



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
A+U 高校建筑学与城市规划专业教材

Architecture
and
Urban

建筑声学
设计原理

华南理工大学 吴硕贤 主编
浙江大学 张三明 编著
葛 坚

第2版

中国建筑工业出版社



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
A+U 高校建筑学与城市规划专业教材

Architecture
and
Urban

建筑声学
设计原理

华南理工大学 吴硕贤 主编
浙江大学 张三明 编著
葛 坚

第 2 版

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑声学设计原理 / 吴硕贤主编. —2 版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2019.6

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
A+U 高校建筑学与城市规划专业教材

ISBN 978-7-112-23623-7

I. ①建… II. ①吴… III. ①建筑声学-声学设计-高等学校-教材 IV. ①TU112.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 072681 号

责任编辑: 陈桦 柏铭泽 王玉蓉

书籍设计: 付金红

责任校对: 姜小莲

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
A+U 高校建筑学与城市规划专业教材

建筑声学设计原理 (第2版)

华南理工大学 吴硕贤 主编 浙江大学 张三明 葛坚 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京方舟正佳图文设计有限公司制版

北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14½ 插页: 4 字数: 373 千字

2019年9月第二版 2019年9月第十二次印刷

定价: 39.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-23623-7

(33618)

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)

《建筑声学设计原理》第一版自 2000 年付梓以来，已过了 18 个年头。本书出版后，深受各界的好评，曾多次重印，被许多高校采用作为本科生或研究生的教材，也为广大从事建筑声学的工程技术人员作为重要的参考书。鉴于这十多年来，在建筑声学的科学研究、技术开发和工程实践方面都有了不少新进展，相关的规范标准也作了修订或颁布了新的规范与标准，因此，亟待利用此次再版的机会对第一版的部分内容予以修改和更新。

由于时间较为紧迫，故此次修改、更新自然未能全面反映建筑声学这些年来新进展与新变化，只能作出若干较重要的补充和修订。同时，由于编著者不在同一学校，沟通不甚方便，故此次修订与更新，采用文责自负的办法，分别由各位编著者对原先所负责的章节自行修订与更新。希望通过这次修订，能使得《建筑声学设计原理》重新焕发出青春的活力，与时俱进，更加符合当今建筑声科技的发展，同时继续为建筑声学的教学、科研与工程实践发挥应有的作用。欢迎广大读者对书中不当之处，提出批评指正。

吴硕贤

2018.10.09

众所瞩目的 21 世纪已经到来了。21 世纪将是科学技术飞速发展的时代，是人类与自然更好地协调共处的时代，是人类追求并实现更加舒适宜人的人居环境的时代。新世纪将对建筑师提出更高的要求，即要为人类创造更加健康、美好的空间与环境。随着我国加入 WTO 的脚步的临近，随着人们生活水平的提高，人们对改造声环境质量的要求也越来越高。在此世纪之交，回顾并总结有史以来，尤其是一个世纪以来的建筑声学，特别是观演建筑声学领域的理论研究和工程实践成果，是十分有意义的事情。

原始人类早期的生活实践，就已经包括艺术的活动，其中重要的内容之一就是观演艺术的创造。最早可考的观演建筑包括古希腊的露天剧场和中国古代的“宛丘”。后来，观演活动渐次转入以室内为主，出现了室内剧场、音乐厅等观演建筑。为了追求良好的声环境，历史上人类一直进行着建筑声学方面的探求，并取得了许多成就。然而，现代建筑声学的科学基础却是在 20 世纪初奠定的。百年来，建筑声学理论和技术水平取得了长足的进步。在此世纪之交，总结这份宝贵的科学遗产，将其写入教科书，是十分有价值的事情。

尽管国内此前已出版或翻译出版了若干建筑声学方面的著作和教科书，但是鉴于近年这一领域的许多重要的新成果尚未被较详尽地加以介绍，因此，亟需一本内容较新、系统性较强的建筑声学教科书。笔者多年来潜心于这一领域的研究和教学工作，同时参加了许多观演建筑声学设计工程实践，

始终不懈地追踪国内外这一领域的新发现、新成果及新技术，感到有责任将之较系统、深入地介绍给广大读者。这是我打算写作此书的初衷。

在全国高校建筑学学科专业指导委员会 1995 年广州、深圳会议及 1996 年西安会议上，与会委员认真讨论并审议了组织出版一套内容更新的建筑学专业本科生和研究生教材事宜，在建议组织编写的重点书目中，就有“建筑声学设计原理”。我作为指导委员会委员，更感到责无旁贷，理应负起一些编著教材的任务。这是促使我决定主编此书的契机。

于是我和浙江大学建筑系环境物理研究室张三明、葛坚副教授分工合作，以近年来我们用于教学实践的讲义为基础，又补充更新了若干章节，写出了此书。其中我本人承担了前言、第一、三、五、十、十一、十二、十六、十八、二十一章及附录中的附四、附五、附六等的写作；张三明承担第六、八、九、十三、十四、十五、十七、十九、二十二章及附录中的附一、附二、附三等的写作；葛坚承担了第二、四、七、二十章的写作。全书最后由我修改、统稿。何光华、李青梅绘制了部分插图。谨此一并致谢！

鉴于建筑声学的内容较为庞杂，尚包括环境声学、噪声控制学等内容，要在一本教科书中全面介绍，虽面面俱到，却容易不深不透。为此，我们决定本书的内容侧重阐述观演建筑声学设计原理。噪声控制学部分主要介绍室内噪声控制方面的内容。

鉴于目前国内尚缺少建筑声学方面的研究生教材，而目前出版这方面的研究生教材尚有困难，因此，本书决定编入部分专题性较强的章节，以*号加以标记。这部分内容对本科生可不讲授，可作为研究生的教学内容，或作为有兴趣的本科生课外阅读教材，同时也为广大建筑师、从事室内设计与装修以及环保、广播、音响及音像制作等工程技术人员提供一本内容新颖、先进，阐述系统、深入的参考读物。

本书稿于1997年写出后，经全国高校建筑学学科专业指导委员会送三位专家评审，又经指导委员会全体委员一致投票通过作为向全国推荐的本科生及研究生教学用书，由建设部人事教育司下文交中国建筑工业出版社出版。在出版社朱象清总编、欧剑常务副总编以及王玉容责任编辑的关心和大力支持下，终于得以付梓，令人感到欣慰！在此谨向上述有关专家、领导致以诚挚的谢意！

由于我们的水平所限，本书不当之处在所难免，还望广大读者批评指正。

吴硕贤

2000.01.09

002	第 1 章	绪论
002		* 1.1 观演建筑声学发展简史
006		1.2 观演建筑的形成与演变
014		* 1.3 中国古代剧场演变及音质设计成就
017	第 2 章	建筑声学基础知识
017		2.1 声音的基本性质
021		2.2 声音的计量
024		2.3 声音与人的听觉
027	第 3 章	语言声和音乐声的特性
027		3.1 语言声的特性
029		3.2 音乐声的特性
038	第 4 章	室内声场
038		4.1 自由声场与室内声场
041		4.2 混响时间及其计算
043		4.3 驻波与房间共振
046	第 5 章	音质评价
046		5.1 音质主观评价
047		5.2 音质客观评价
048		5.3 音质主客观评价的关系
050	第 6 章	吸声材料和吸声结构
050		6.1 概述
051		6.2 材料和吸声结构分类
051		6.3 多孔吸声材料
054		6.4 穿孔板吸声结构
056		6.5 薄膜与薄板吸声结构
057		6.6 其他吸声结构
060		6.7 吸声材料的选用及施工中注意事项

062	第 7 章	建筑隔声
062		7.1 概述
062		7.2 空气声隔绝
067		7.3 固体声隔绝
068		7.4 隔声评价与隔声标准
076	第 8 章	建筑中的噪声控制
076		8.1 概述
077		8.2 噪声评价指标与室内允许噪声标准
078		8.3 建筑中噪声控制的原则和方法
083	第 9 章	音质设计概论
083		9.1 音质设计的目标和内容
084		9.2 大厅容积的确定
084		9.3 大厅体形设计
090		9.4 房间混响设计
093	第 10 章	音乐厅音质设计
093		10.1 音乐厅体形设计
096		10.2 音乐厅乐台设计
097		10.3 音乐厅音质设计要点
098	第 11 章	剧场音质设计
098		11.1 歌剧院音质设计
100		11.2 地方戏剧场音质设计
101		11.3 话剧院音质设计
102	第 12 章	多功能厅音质设计
102		12.1 多功能厅体形设计
102		* 12.2 浮云式反射板设计
104		* 12.3 音乐罩设计
106		12.4 多功能厅音质设计要点

107	第 13 章	体育馆音质设计
107		13.1 概述
107		13.2 多功能体育馆混响时间及其频率特性
108		13.3 多功能体育馆音质设计要点
111		* 13.4 专用体育馆音质设计
113	第 14 章	电影院音质设计
113		14.1 概述
113		14.2 电影院体形设计
114		14.3 立体声影院的混响时间及吸声材料选用
115		* 14.4 其他电影院音质设计
116	第 15 章	录演播室音质设计
116		15.1 概述
118		15.2 音乐录音棚音质设计
123		15.3 语言录音室音质设计
123		15.4 电视演播室音质设计
125		15.5 控制室设计
126	* 第 16 章	家庭影院和听音室的音质设计
126		16.1 家庭影院音质设计
128		16.2 听音室音质设计
130	* 第 17 章	其他建筑的声学设计
130		17.1 声学实验室设计
133		17.2 教室声学设计
135		17.3 琴室声学设计
135		17.4 歌舞厅声学设计
136		17.5 开敞办公室及旅客等候厅声学设计
137	* 第 18 章	户外公共观演空间声学设计
137		18.1 概述

138		18.2 公共观演空间的新发展
139		18.3 公共观演空间的声学设计
141	第 19 章	电声系统
141		19.1 扩声系统
144		19.2 扩声系统常用设备
148		19.3 扩声系统设计及设备选型
150		19.4 扩声系统扬声器的布置与安装
151		19.5 扩声系统对建筑设计的要求
153		* 19.6 室内音质主动控制
156	* 第 20 章	室内声场的计算机模拟
156		20.1 室内声场计算机模拟技术的发展
157		20.2 室内声场计算机模拟的基本方法
162		20.3 室内声场计算机模拟软件介绍
165	* 第 21 章	声学设计中的缩尺模型试验
165		21.1 声学缩尺模型技术发展简史
166		21.2 缩尺模型声学试验原理
167		21.3 缩尺模型试验仪器设备
169	第 22 章	建筑声学测量
169		22.1 声学测量概述
173		22.2 环境噪声测量
174		22.3 混响时间测量
175		22.4 吸声系数测量
177		22.5 隔声测量
179		* 22.6 厅堂扩声特性测量
181		* 22.7 其他建筑声学测量简介
184	附录一	常用材料和结构的吸声系数
187	附录二	常用墙板空气声隔声量

190	附录三	各类型楼板的标准撞击声级
192	* 附录四	重要厅堂数据
198	* 附录五	音质评价物理指标及其相关的主观感受
200	* 附录六	重要民族与西洋乐器图
210	参考文献	

A+U

第1章 Introduction 绪论

1.1 观演建筑声学发展简史

1995年6月5日至7日，美国声学学会在麻省理工学院（MIT）隆重举行关于赛宾（W.C.Sabine，1868—1919）研究建筑声学一百周年的纪念活动。著名的波士顿流行乐交响乐团在波士顿音乐厅举行音乐会，东京弦乐四重奏乐队也在MIT的克雷斯科格大厅举行演奏会，以缅怀这位杰出的声学家在建筑声学方面奠基性的功绩。

在赛宾之前，建筑声学可说是仅仅停留在感性认识 and 实践经验阶段。尽管19世纪世界各地也曾建造过以维也纳音乐友协会音乐厅为代表的厅堂建筑，音质也非常出色，但是这些音乐厅的设计与建造主要依靠的是建筑师的经验和直觉判断，并未经过科学计算。这种情况直到赛宾定义了混响时间这一评价厅堂音质的物理指标之后，方才发生根本的改变。

赛宾发现混响公式的经过是颇富有戏剧性的。1895年，他年仅28岁，是哈佛大学物理系最年轻的助理教授。他受命对校园内新落成的Fogg艺术博物馆礼堂音质模糊不清的问题进行处理。这成为他开创性研究工作的开始。研究工作于1896年春夏之交进入高潮。当时他利用风琴管作为声源，依靠耳朵作为声接收器，并用一只停表作为计时器，大量的坐垫作为吸声材料，夜以继日地进行实验研究。探

索吸声量 A 与混响时间 RT 的关系，获得有关 RT 与 A 的关系的实验曲线。1898年，赛宾被邀请担任波士顿音乐厅的声学顾问。起初他踌躇不决，因为他当时尚未从 RT 与 A 的曲线中得出明确的数学公式。是年秋天的一个晚上，他苦思冥想，忽然疑团顿释，发现了规律。他兴奋地对母亲喊道：“妈妈，这是一个双曲线。”他意识到房间的吸声量 A 乘以 RT 是一个常数，并正比于房间的体积 V 。这就是著名的赛宾混响公式。1900年，他发表了题为《混响》的著名论文，奠定了厅堂声学乃至整个建筑声学的科学基础。混响时间至今仍是厅堂音质评价的首选物理指标，为指导厅堂声学设计提供科学依据。

发现混响时间公式后，赛宾欣然答应出任波士顿音乐厅声学顾问。波士顿音乐厅于1900年10月15日开幕，至今仍被评为世界上最好的三个音乐厅之一。波士顿音乐厅是世界上第一个经过科学计算设计而建成的音乐厅。此后，赛宾继续为许多建筑工程担任声学顾问，直至第一次世界大战爆发，他在军事部门担任战时的职务，占据他的余生。

自赛宾之后至“二战”之前，声学家的注意力都集中于改进 RT 的计算，改进测试技术，研究材料的吸声性能及探讨 RT 的优选值上。1929~1930年间，有几位声学家各自用统计声学方法导出混响时间的理论公式。其中最有代表性的是依林（C.Eyring）公式。1930年，麦克纳尔

(W.A.MacNair)发表了有关厅堂最佳RT值的论文。这时期还有莫尔斯(P.M.Morse)等人(包括我国的马大猷)在室内波动声学 and 简正理论上获得了开创性的研究成果。1932年努特生(V.O.Knudsen)出版的《建筑声学》和1936年莫尔斯出版的《振动与声》标志着建筑声学已初步形成一门系统的学科。20世纪30年代声学缩尺模型开始出现。声学专家们采用1:5的模型和变速录音的方法研究混响过程。从1940年代开始,声学专家们探求将缩尺模型应用于指导厅堂声学设计。

在探讨最佳混响时间的过程中,人们发现,在同一大厅中,RT值大致相同,但位置不同,可以具有不同的音质;RT值相同的不同大厅也可以具有不同的音质,RT值不同的大厅也可以被评定为具有同等良好的音质。可见,RT并非决定厅堂音质的唯一指标。此外,无论赛宾公式还是依林公式,都认为RT与房间的形状无关,与吸声材料的空间分布无关。这与实际情况有所差别。这些疑问启示着进一步研究的方向。

“二战”后,对房间的声脉冲响应进行了较系统的研究。所谓声脉冲响应,指的是在房间某处用短促的脉冲声激发,而在接收处测得的直达声和各界面的反射声依到达时间和强度排列的响应图。脉冲响应充分反映了房间的声学特性。当时声学专家们对反射声的延时和相对强度与主观听觉的关系进行了深入的研究。首先是1951年,哈斯(H.Haas)发现延时大于35ms且具有一定强度的延迟声可以从听觉上被分辨出来,但其方向仍在未经延时的声源方向。只有延时50ms时,第二声源才可以被听到。这就是著名的哈斯效应。哈斯效应的发现促使声学专家们自20世纪50年代以来掀起了寻找新的厅堂音质指标的热潮,RT不再是唯一的指标。

在所提出的音质指标中,有一类是从时域上求出声能比的,即把直达声以及在50ms(对于音乐声可放宽至80ms)内到达的反射声称为早期声,而把余下的反射声称为混响声,定义出早期声与混

响声的声能比。属于这类指标的有1950年由白瑞纳克(L.L.Beraneck)和舒尔茨(T.J.Schultz)提出的混响声能与早期声能的比值(1965年,他们把此比值的对数的10倍定义为行进活跃度 R),席勒(R.Thiele)于1953年提出的清晰度 D 以及克莱默(L.Cremer)和库勒(Kürer)于1969年建议的涉及能量重心到达时间的指标,称为重心时间 t_g 。另一类是与RT相类似的用于描述稳态声能衰变快慢的指标。其中最重要的是乔丹(V.L.Jordan)于1975年提出的早期衰变时间EDT。它被定义为据稳态声能衰减10dB的衰变率推出的混响时间。这类指标后来都被证明与RT高度相关,并非独立的指标。60年代末,厅堂声学的一个重大进展是认识到侧向反射声能对于听觉空间感的重要性。这意味着对反射声的研究从时间域发展到空间域。最早是德国声学家施罗德(Schroeder)等人于1966年在测量纽约菲哈莫尼音乐厅时,发现了早期侧向声能与非侧向声能比例关系的意义。接着,新西兰声学家马歇尔(H.Marshall)发现,第一个反射声若来自侧向,对音质有好处。这方面系统的研究工作是由英国声学家巴隆(M.Barron)及德国声学家达马斯克(P.Damaske)于60年代末、70年代初进行的。他们的研究证实,早期侧向反射声与良好的音乐空间感有关。据此,声学专家们又提出了若干与空间感有关的物理指标。较重要的是侧向能量因子LEF(由乔丹和巴隆分别于1980年和1981年提出)以及双耳互相关系数IACC。后者由德国声学家戈特洛伯(Gottlob)于1973年提出。LEF的定义是早期侧向声能(5~80ms)与早期总声能之比;IACC是衡量双耳声信号差异性的指标。它是用两个传声器在听者耳道入口处测量声场,再用专门编制的计算程序计算测量声音不一致的程度。IACC值越低,空间感越佳。

20世纪50~60年代,一批重要的建筑声学著作相继出版,如1950年努特生和哈里斯(C.M.Harris)合著的《建筑中的声学设计》,1954年白瑞纳克的《声学》和1949~1961年克莱默的《室内声学的科

学基础》等。

从20世纪50年代开始,厅堂缩尺模型研究有了长足的进展。首先是关于模型相似性原理的研究取得成果,其次是测试技术有所改进,使这一技术在厅堂声学研究与设计中获得初步应用。由于厅堂模型的尺度按比例缩小,因此在其中传播的声波波长也相应缩小,因此声音频率必须按相同的比例增大。这意味着吸声材料也必须相应改变。相似性理论即是要解决这类问题。从60年代起,日本、英国、荷兰等国都加入了研究和应用缩尺模型的行列,推动这方面的研究达到了极盛期。如日本的伊藤毅(1965)等人开展了界面吸声系数模拟的研究,石井圣光(1967)等人提出用氮气置换法来解决空气吸声模拟的问题等,使缩尺模型开始大量应用于指导厅堂设计实践。例如乔丹在纽约歌剧院及悉尼歌剧院等大厅设计中,都应用了缩尺模型技术。60年代,厅堂音质测试技术及方法本身也取得了突破。特别值得一提的是施罗德提出用脉冲响应积分法来测量 RT ,并提出了室内声场增长和衰变的互补理论。

这一时期,厅堂声学的数字仿真技术也发展起来。最早可查到的文献为阿尔雷德(C.J.Allred)和纽豪斯(A.Newhouse)于1958年发表的用蒙特卡罗法计算声线在界面上碰撞几率的论文。1968年,挪威国立物理技术研究所的克罗克斯塔德(A.Krokstad)等人首次发表了关于用声线跟踪法模拟室内声场的文章。自1967年起,他们在这方面的工作持续了15年之久。

“二战”后,世界各地尤其是欧州和北美兴建了许多多功能厅、音乐厅和歌剧院,例如建于1951年的伦敦皇家节日厅(声学顾问P.H.Parkin)。为了弥补 RT 的不足,该厅采用后来称为“受援共振”的电声系统来延长 RT ,成为世界上第一个成功地采用此项技术的音乐厅。20世纪50年代末,白瑞纳克为拟建的纽约林肯中心菲哈莫尼音乐厅的设计作准备,调查了20个国家的54个厅堂,于1962年出

版了《音乐、声学和建筑》一书,总结了当时厅堂设计的经验。60年代,厅堂建筑尝试不规则形环绕式布局等新的空间形式。这方面成功的例子当首推柏林爱乐音乐厅(由克莱默任声学顾问,于1963年建成)。据说该厅的设计灵感来自山地葡萄园。它开创了葡萄园式错落包厢座席的新形式,并同样达到了完美的音质效果,是音乐厅建造史上又一座里程碑。60年代,“浮云式”反射板开始引入音乐厅和多功能厅,以提供早期反射声(例如纽约菲哈莫尼厅)。其中不乏成功的例子,例如美国麻省的Tanglewood音乐棚。

20世纪70年代以来,继续提出若干新的音质指标(包括前述的 LEF 、 $IACC$ 等)。但这时研究的重点已不在于提出新的指标,而在于研究这些指标的独立性,它们与主观听觉的关联以及音质的综合评价。由于60年代建成的纽约菲哈莫尼厅在落成初期存在若干音质缺陷,使声学界意识到人们对于音质物理指标与主观感受的相互关系实际上不甚明了。为此,施罗德向德国科学基金会(DFG)申请资助这项基础研究。以此为契机,开始了厅堂声学研究不断深化并取得多方面成就的新时期。

20世纪70年代中期以来,由施罗德领导的哥廷根大学研究小组与由克莱默领导的柏林技术大学研究小组进行了一系列有关音质主观优选试验的研究工作,其中有两项工作最为重要。一是柏林小组的威尔肯斯(H.Wilkens)及列曼(P.Lehmann)于1975~1976年跟随一个交响乐队对六个厅堂作了研究。它们将在厅堂记录下的音乐在实验室内重放,由试听者根据一种六个等级的语义学标度进行音质判断,再将此结果进行因子分析。与此同时,测量有关厅堂的物理参量,然后分析物理参量与主观听音结果的关系。另一项研究是哥廷根小组的戈特洛伯和席伯拉斯(Siebrasse)于1972~1973年采用高保真录音重放技术在25个音乐厅中重放先在消声室中录制的“干”的音乐片断,用人工头记录接收信号,然

后再到消声室中重放，由试听者判断哪个厅堂的音质较佳，最后进行因子分析，试图找到听者独立的判断指标，并与厅堂物理参数相关。后来，哥廷根小组又进行了利用计算机数字仿真声场作主观优选的研究。他们对音乐信号通过计算机进行调制脉冲响应处理，再进行试听者的主观优选试验和相关分析。用这种方法允许对声场参量加以系统的改变。日本神户大学的安藤四一（Y.Ando）参加并总结了哥廷根小组近十年的工作，于1985年出版了《音乐厅声学》一书。该书提出4个独立的音质指标：①混响时间 RT ；②听者处声压级 L_p ；③初始延时间隙 $ITDG$ （指直达声与第一个强反射声之间的时间间隔）；④双耳互相关系数 ACC 。他还提出用这四个参数的主观优选值的指数进行加权相加的方法来综合评价厅堂音质。另一种方法是用模糊集理论来综合评价厅堂音质。这是由笔者于1991年发表于《美国声学学会志》上的一篇文章提出的（我国学者包紫薇、王季卿也独立地提出或建议用模糊数学的方法评价音质）。此外，笔者与奥地利声学家奇廷格（E.Kittinger）还建议用乐队齐奏强音标志乐段的平均声压级 L_{p0} 来作为表征厅堂响度的物理指标。

20世纪70~80年代，豪特古斯特（T.Houtgust）和斯邓肯（H.J.M.Steenken）提出了基于调制传输函数（ MTF ）的对厅堂语言清晰度作快速定量测量与评价的新方法。1973年，他们首先提出将 MTF 作为厅堂语言清晰度的评价指标。为了加速测量过程，豪特古斯特又于1988年提出快速测量语言传输指数（ $RASTI$ ）的简便方法。该方法已得到国际电工委员会（ IEC ）的认可。测试仪器已商品化，如语言传输测试仪BK3361，使室内语言清晰度可用电子仪器作快速客观评价。

声场计算机数字仿真技术自20世纪70年代以来进入蓬勃发展期。1972年，琼斯（D.K.Jones）和吉布斯（B.M.Gibbs）创造了利用虚声源法模拟室内声场的工作方式。此后，计算机模拟沿两个方

向进行：一是利用计算机试验来研究室内声学，对经典理论进行验证；二是致力于仿真技术实用化，用于指导厅堂声学设计。此外，利用有限元和边界元法计算室内声学参量的数值计算技术也发展了起来。80年代计算机仿真技术不断发展，如声象法用于复杂形体仿真的新算法以及声线跟踪法用于衍射效应仿真的算法等都在80年代先后提出。近年，计算机仿真着重考虑扩散问题。浙江大学建筑环境物理研究室也进行了三维声线随机跟踪算法的研究，并取得了成果。另一个新的进展是关于声场的可听化研究。其基本原理是将一个“干”的音乐或语言信号（指在消声室自由声场内录制的未经厅堂影响的原始信号），输送至一数字滤波器（该滤波器具有与所研究的房间相同的脉冲响应）进行调制。从数学上讲即将原始声信号与脉冲响应进行卷积计算。调制后的声信号再经由耳机或扬声器组重放，听者便可预听到该厅堂的声学效果。为达到逼真的听觉效果，数字滤波器不仅要模拟房间本身的声学特性，还要模拟人的头部和外耳对声信号的影响，也即要包括人的头部和外耳的传递函数。该函数可通过实际人头或人工头的测量得到，并加入到数字滤波器中。这意味着计算机声场仿真已发展到可听化技术（Auralisation）的新阶段。

20世纪70年代以来，在厅堂设计实践中，陆续有许多环绕式大厅建成。这些大厅的平面是圆形、椭圆形或多边形，座位区三面或四面将乐台包围。1986年建成的美国加州橘子郡演艺中心剧场，别出心裁地将3000座的观众厅分割成4个局部小厅，共享一个舞台。大厅中间插入一块墙面，使各厅的局部宽度减少至20~25m。这种新颖的创意，为厅堂设计提供了新鲜而又成功的经验。

20世纪70年代以来，厅堂声学方面的重要著作除了前述的《音乐厅声学》外，尚有1973年库特鲁夫著的《室内声学》、1978年克莱默和缪勒（H.Müller）合著的《室内声学的原理和应用》以及白瑞纳克1996年的新作《音乐厅和歌剧院的