

我国建筑声学的 20 年回顾与展望

项端祈

(北京市建筑设计研究院 北京 100045)

2001 年 11 月 7 日收到

摘要 我国建筑声学在近 20 年间,无论在科研、设计、声学材料(结构)的研制、生产和应用方面均有较大的发展。在厅堂音质设计的个别领域还取得了突破性的进展,本文就上述几方面作概要的介绍。

关键词 建筑声学,厅堂音质,噪声控制

Architectural acoustics in China—20 years review and prospect

XIANG Duanqi

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

Abstract In the recent 20 years, China has made a great progress in the architectural acoustics in its scientific research, design and development, as well as in the application and production of acoustical materials. This paper gives brief presentation of these advances.

Key words Architectural acoustics, Acoustical quality in hall, Noise control

1 引言

我国近代建筑声学始于 1929 年叶企荪和施汝威两教授对清华大学穹顶大礼堂音质的研究,而在国际声学界早期最有影响的开创性工作之一则为马大猷教授于 1938 年在美国对矩形房间简正振动方式的研究^[1]。除此以外,旧中国处于战乱时期,建筑声学几乎是一片空白。建国后,于 50 年代初,在中科院马大猷教授等的积极参与下,国家制定了声学(包括建筑声学在内)远景规划^[2]。随后马大猷等对建筑声学开展了多方位的基础建设:建立实验基

地,培养专业人才,开设研究课题和招收研究生,进行了与工程实践相结合的建声实验工作^[3],组织和参与国内、外建声学术活动,引入有关文献资料,翻译出版建声书刊^[4],使建筑声学这一边缘学科得以迅速发展。特别是 1958 年人民大会堂内万人大礼堂声学设计的成功,为厅堂音质设计起到巨大的推动和促进作用。至 60 年代中期,国内已有相当一部分大专院校、科研和设计部门建立声学实验室^[5],配备了相当规模的建声人员从事研究和设计工作,不断在噪声控制和厅堂音质方面取得成果。但正值建筑声学处于蓬勃发展的大好时期,1966

年爆发了“文化大革命”。当时机构撤销，人员“下放”，国民经济停滞不前。建筑声学与其它学科一样，完全处于停顿状态。直至 70 年代末，粉碎“四人帮”后，得以复苏，迎来了科学发展的春天。从 80 年代初至今的 20 年间，国民经济的发展，改革开放的不断深入，人民物质和文化生活水准的提高，为建筑声学的持续发展提供了巨大的空间和无限生机，在 50-60 年代奠定的基础上，不断进取，获得了丰硕的成果。2008 年申奥成功，文化建设将出现新的高潮，建筑声学面临新的机遇和挑战。

2 近 20 年建筑声学的发展和取得的成果

由于国民经济的发展，人民物质和文化生活水准的提高，人们对厅堂音质和防止噪声干扰有更高的要求，从而提高了建筑声学在建筑业中的地位 and 作用，促进了建筑声学各领域、特别是厅堂音质设计方面的研究，取得了可喜的进展，它可概括为如下几方面：

2.1 微穿孔吸声板的理论研究和在厅堂声学设计中的应用

由中科院马大猷教授提出的微穿孔板吸声理论和实用方法，为噪声控制和厅堂音质设计提供了一种无需多孔纤维材料的洁净吸声结构，填补了适用于潮湿和洁净房间缺乏吸声构造的空白。被广泛应用于大型游泳馆，超净车间内的吸声体和消声装置。近年来，微穿孔板的运用有了新的扩展，用微穿孔的透明板材（有机玻璃或不碎胶）作为玻璃穹顶、凹弧形玻璃幕墙厅堂的吸声结构，它既能保持采光的功能，适应了室内外空间沟通的设计构思，又解决了由凹弧形玻璃引起声聚焦和多重回声的缺陷。成为近代建筑设计不可多得的吸声构造颇受广大建筑师的欢迎。图 1 为不久前建立的德国柏林议会大厦会议厅的玻璃穹顶，采用微穿孔有机玻璃吸声构造，降低了混响，消除了多重回声缺陷的实例。

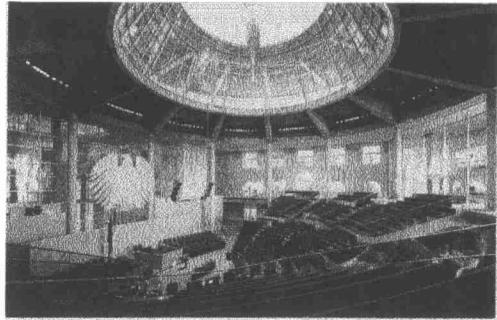


图 1 德国柏林议会大厦会议厅采用微穿孔有机玻璃吸声结构改善音质，消除声学缺陷

2.2 多功能厅堂可调混响设计获突破性进展

我国的剧院均供多功能使用，即使是专业剧院，通常也绝非单一用途。在歌剧院内演奏音乐，在戏剧院内演出歌舞和放映电影是常有的事。而不同的使用功能，要求有各自的最佳混响时间。因此在多功能剧院内如何选择混响时间呢？从 50 年代初至 70 年代末的 30 多年内，混响时间的选择采用两种“方法”：其一是折衷的办法，即取两种使用功能长、短混响时间的中间值，例如音乐、歌舞与电影、会议所需混响时间的中间值，其结果是各项功能均不能达到最佳值；其二是以主要功能确定混响时间，其它功能凑合使用。结果是使大多数剧目处于音质极糟的状况。因此，在多功能剧场的设计中，如何在声学上满足功能要求，也即使每项功能均能有最佳的声学条件，唯一解决的方法是采用可调混响装置。笔者于 80 年代初，开始在剧场的观众厅内采用人工和机械可变吸声结构，调节厅内混响时间（北京良乡剧场、北京工人俱乐部和北京剧院等工程）取得了成效。随着计算机技术的发展，至 90 年代初，开始采用计算机程序控制可调结构，首例工程是广东佛山“金马”剧院，可调混响幅度达 0.5s，圆满解决了音乐、戏剧等多种功能所需的最佳混响要求，同时操作简便和价廉，随后在广东、广西、河北、辽宁、山东和北京的 9 项剧院工程^[6]内采用，均获得良好的效果。积累了经验，使之成为一套成熟、可靠的技术措施，使多功

能剧院在声学上实现多用途的要求。图 2 和图 3 分别为计算机程控可变吸声结构的方块图和汕头广播剧院观众厅可调结构建成后的内景。

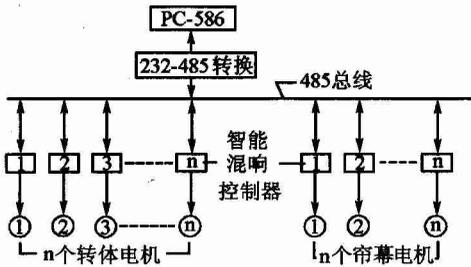


图 2 几个剧院观众厅采用分布式计算机程控可变吸声结构的方块图

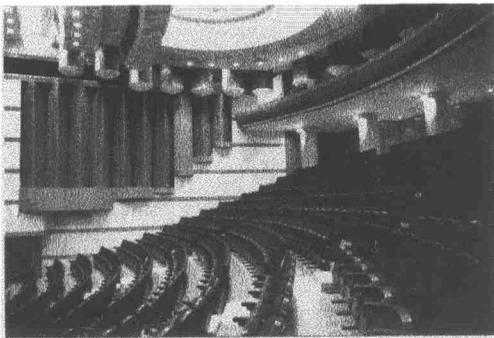


图 3 汕头广播剧院观众厅的可调混响装置（顶部升降体，侧墙转体）的内景

2.3 厅堂音质设计中广泛采用 (CAD) 计算机辅助设计

在厅堂设计的方案或扩初设计阶段，预测厅堂的音质状况，采用计算机声学模型试验进行多方案比较和优化设计，以此检别体形设计中是否存在先天性缺陷，在声学设计中起到至关重要的作用。该项技术已广泛应用于综合性体育馆扩声系统声场分布的设计和方案竞赛（投标）中，在厅堂建声设计中仅限于音质要求较高的音乐厅和歌剧院建筑。图 4 为广州星海音乐厅交响乐厅利用计算机模型了解凹弧形壳顶引成声聚焦的情况。

2.4 虚拟仪器更替传统的声学仪器

传统的声学测量仪器大部分是模拟式的

仪器。少数进口声学仪器包含数字信号处理部分，但均由硬件的数字电路来实现。这些声学仪器体积大、笨重，功能又比较单一，不适用于厅堂声学工程的现场测量，严重影响声学设计中的现场中间（中期）试验和竣工调试工作。

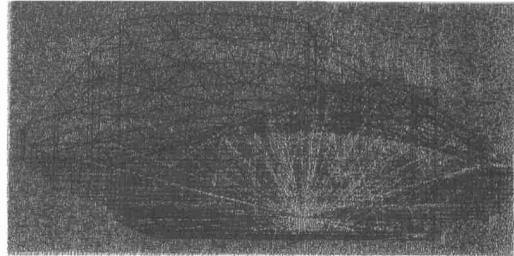


图 4 广州星海音乐厅交响乐厅用计算机模拟试验证实壳顶产生声聚焦的状况

随着超大规模集成电路技术，计算机技术和数字信号处理技术的飞速发展，整个电子产品领域正经历一场“数字化革命”。由于数字系统性能大大优于模拟系统，因此，传统的声学仪器可由模拟系统转为数字系统。在一个数字化软件化的声学测量分析系统中，各种声学测量分析功能均通过软件来实现。这样的系统被称为“虚拟仪器”，它是当今世界上测量分析技术的发展潮流。中科院声学研究所李毅民教授经过多年的研制，提出了适用于各项建声参数（混响时间、声场分布、频率响应、早期反射声等）测量的软件包（虚拟仪器）。图 5 是其硬件组成方块图^[7]，为当今国内建声测量，特别是现场测量提供了正确、实用和方便测试手段。对建声的发展作出重大贡献。

2.5 新材料、新结构的研制和应用

用于厅堂声学设计中的声学材料或结构不仅应具有良好的声学性能（吸声、扩散），同时还必须具备适应建筑师所要求的艺术效果。因此，新型的声学材料应是声学功能与艺术效果的有机结合体。故称装饰吸声板材，目前国内引进生产的各种软包吸声、条木和穿孔饰面板材以及多种冲孔图案的金属板和吸声帘幕，广

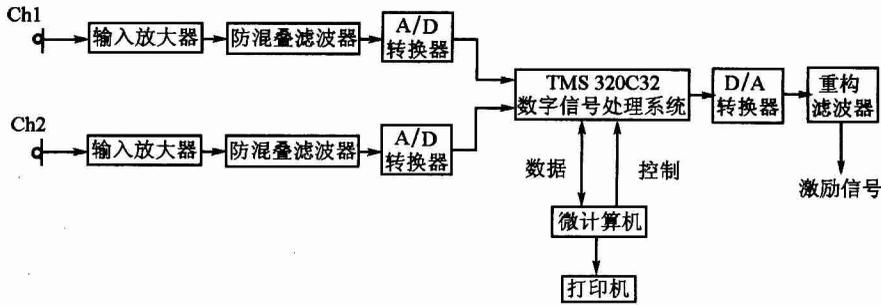


图5 软件包的硬件方块图

泛地应于各类厅堂建设中。根据施罗德声扩散原理设计制作的“数论扩散体”（QRD）也正在一些厅堂（中央音乐学院礼堂、大连广播大厦文艺录音棚等厅堂）中应用。图6即为文艺录音棚内所用的施罗德扩散体内景。此外，由日本、瑞典、荷兰和美国进口和国产的各种环保型吸声棉、穿孔塑胶面泡沫板材、金属压制透声板（卡罗姆）和复合装饰吸声板，也被广泛使用。为近代厅堂建筑声学设计提供了声学性能与艺术效果有机结合的新型材料和构件。图7为几种条木和穿孔吸声装饰板材的形式。

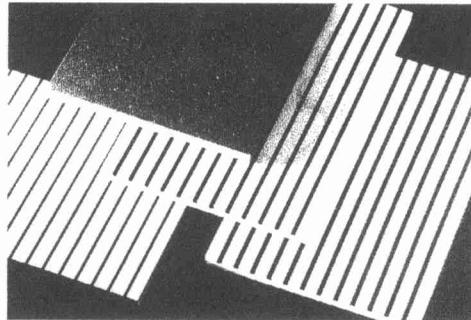


图7 新型条木和穿孔吸声装饰板材

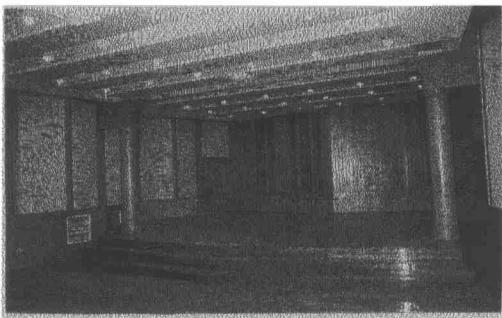


图6 大连广播大厦文艺录音棚内所采用的施罗德扩散体内景

2.6 确立了适合国情的声学设计指标和设计程序

近10年来，国内为适应精神文明建设的需要，新建和改建了一大批音质要求很高的大型厅堂，如已建成使用的广州星海音乐厅、南宁民族艺术宫音乐厅、河北艺术中心音乐厅、上海大剧院、辽宁大剧院、保利剧院、中南海

怀仁堂、民族文化宫大剧院、北京工人俱乐部……等工程；正在建设中的国家大剧院、深圳文化中心音乐厅、杭州大剧院、宁波大剧院、上海东方艺术中心等工程。通过国内声学工作者亲身参与声学设计、实验研究、施工和现场声学调试全过程的实际工作，不断总结经验、教训并在此基础上建立适合于国情的各项声学指标和符合我国实际操作的声学设计程序。而不再照抄国外的数据。使厅堂声学设计建立在更为科学的基础上，确保获得良好的音质，图8为目前采用、并被实践验证为切实可行的声学设计操作程序^[8]。

2.7 空调系统消声、减振装置的商品化和隔声构件的标准化、系列化

低噪声是建声设计中的一项重要指标。为控制噪声，必须降低空调系统的噪声和通过建筑围护结构传入的户外噪声。目前，消声、减振装置已有系列产品，如系列阻性、抗性、阻抗复合消声器，折板消声器和各种减振元件（弹

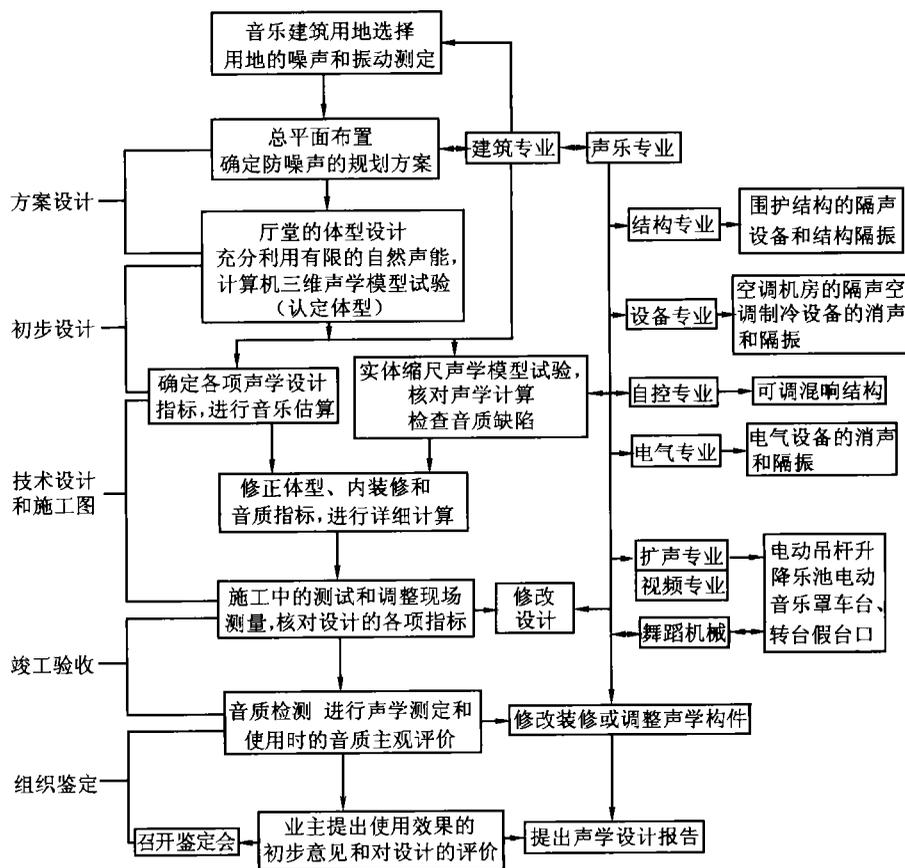


图 8 目前采用的切合实际的声学设计操作程序

簧、橡胶隔振器、弹簧吊钩、橡胶和不锈钢软接管等)在市场上由专门的工厂生产作为商品出售,多年的使用表明,是有效和可靠的。

目前围护结构的空气声隔声构件,如轻质隔墙(石膏板复合墙体,加气混凝土条板和砌块墙体,圆孔炭化石膏板等轻墙)已有系列的构造图集,并对每种构造标有计权隔声量数据;单层重墙(混凝土、砖墙)和设有空气间层的复合墙体,虽无系列图册,但在多种“声学设计手册”内都有详细介绍;标准隔声门窗(隔声、防火隔声钢、木门窗)作为定型产品在工厂预订出售。建筑师可根据隔声和装修要求选用,改变了过去单体加工造价高、工期长,难以确保质量的缺点。大大方便了噪声控制工程的设计和施工操作。

2.8 建声设计和声学测量的标准化和规范化

近 20 年来,在全国声学标准化委员会的领导下,组织编制了几十项声学设计和声学测量规范和行业标准并参与了与建筑声学有关的建筑设计规范。如剧场建筑设计规范(JGJ57-2000),体育馆声学设计和测量规范(JGJ/T131-2000),民用建筑隔声设计规范(GBJ118-88),建筑隔声评价标准(GBJ121-88),还有厅堂音质设计规范,厅堂缩尺模型试验规范,以及隔声、吸声、隔振、噪声等测量规范,这对建声设计规范化和标准化从而为获得良好的音质效果起到重要的保证作用。

有关建筑声学近年年的发展还有多方面的研究成果和工程实践的经验。如同济大学和南京大学声学研究所对厅堂音质评价的研究;华南理工大学、浙江大学对语言清晰度评价的研究,以及中科院声学所、劳动保护科学研究所

等单位对有源消声的实验室研究和对噪声、振动控制方面的研究工作,均有不少成果,由于受篇幅所限,不一一介绍。

3 对新世纪建筑声学的展望

随着我国国民经济的迅速发展、人民物质和文化生活水平的提高,以及2008年申奥成功,北京和全国必将兴起文化建设的高潮,促进全民族整体素质的提高。建筑业,特别是文化建筑必将得到巨大的发展。建筑声学将面临前所未有的机遇和挑战。

3.1 促进和推动厅堂音质设计和评价方法的研究

在文化建筑中表演高雅艺术的音乐厅、歌剧院、戏剧院工程将占主要部分。由于音质标准高,又要求自然声演出,因而建声设计将成为这类工程设计中的主导。从而促进和推动建筑声学这一学科内各个领域的发展。特别是对适应国情的声学设计指标和对厅堂音质主观评价方面的研究,将取得进展。以解决大量工程设计的实际需要。

3.2 可调混响、可变容积将成为新世纪厅堂的发展方向

近代大型观、演建筑,音质和装修艺术要求高、投资大、建造周期长,为充分发挥其经济效益和社会效益,对“一厅多用”的要求将更加迫切。可调混响设计将在已经取得成果的基础上进一步得到扩展,并成为多功能厅堂不可缺少的一项技术措施。而不同功能对厅堂容积(每座容积)也有各自的最佳值,因此,可变容积也必将得到相应的重视和发展。

3.3 声学构件的标准化、定型化和商品化将进一步扩展

无论是建声构件(吸声、扩散、反射等构件)或噪声控制的构件(消声、减震、隔声等)为适应大规模建设的需要,必须有专业的工厂生产,进行标准化设计作为定型产品销售,才能确保质量,便于选用。在声学工程施工中,

承接声学装修的专业队伍,将通过大量的工程实践得到发展,并逐渐成为建筑施工中必不可少的新兴业务,弥补目前声学工程在施工中的薄弱环节。

3.4 有望在新世纪初培植一批有较高理论水平、具有丰富实践经验的建筑声学专业人才

大量的高质量文化建设和体育场馆建设,以及配套的公寓、旅馆、新闻发布中心和娱乐设施,均离不开建筑声学设计、音质设计、噪声和振动控制都将成为建筑工程设计中的关键性专业。没有建筑声学的参与,就不可能有满足使用要求的现代建筑。通过大量的工程实践是培养建声专业人才最有效的途径。可以预见,今后肯定会有一些高等院校、科研机构,设置有针对性的研究课题展开工作,并参与工程实践活动。理论联系实际,为我国建筑声学创造新的业绩。

回顾建筑声学近20年来所经历的不平凡的历程和在困境中所取得的成果,展望未来,在新的的大好形势下,必将获得辉煌的业绩。

参 考 文 献

- 1 MAA Dahyou (马大猷). *J.Acoust.Soa.Am*, January,1939.
- 2 1956年国家制定科学工作远景规划时,马大猷被派主持了声学方面的规划。
- 3 1957年接受天津教工俱乐部礼堂的声学设计而进行了我国第一个缩尺(1:40)实体声学模型试验。
- 4 马大猷译《实用建筑声学》,王季卿等译《建筑中的声学设计》,冯纪忠译《声学入门》,吕如榆译《近代实用建筑声学》等。
- 5 上海同济大学、南京大学、中科院声学研究所、中国建筑科学研究院和北京市建筑设计研究院相继建立了声学实验室,并配备丹麦B&K公司生产的声学仪器。
- 6 广州星海音乐厅室内乐厅,汕头广播剧院,南宁民族艺术宫音乐厅,河北艺术中心音乐厅,大连广播剧院,北京丰台影剧院,北京保利剧院和山东南山剧院等9项工程均采用计算机调控厅内混响时间。
- 7 李毅民.声学测量分析技术的革命《工程声学》(VI)北京声学学会编,2000.
- 8 项端祈.《音乐建筑—音乐·声学·建筑》.中国建筑工业出版社,1999.