

文章编号: 1006-1355(2014)02-0136-04

# 小体量空间的室内音质对比设计及实践

万宇鹏<sup>1</sup>, 姚小兵<sup>1</sup>, 谢荣基<sup>2</sup>

(1. 中国测试技术研究院, 成都 610021;  
2. 四川中测华声科技有限公司, 成都 610000)

**摘要:**以小空间的室内声场为研究对象,针对两个同等规模的小空间分别采用 ODEON 和 CARA CAD 对其声场进行设计和模拟,然后根据声场设计方案和仿真结果对两个小空间实施声学装修,再分别对两个小空间的声场进行检测和分析。通过小空间的音质设计和实践来阐述基于 ODEON 及 CARA 两种声场设计软件设计的效果及特点。最后从声学设计的正确性、合理性、实施性三个方面对声场设计指标进行验证和分析,对这两种软件在小空间声场设计中的表现给出了评价和建议。

**关键词:**声学;室内音质;设计与实践;ODEON;CARA CAD

中图分类号: TU112.4<sup>2</sup>

文献标识码: A

DOI 编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.02.031

## Design and Practice of Acoustics of a Small Room

WAN Yu-peng<sup>1</sup>, YAO Xiao-bing<sup>1</sup>, XIE Rong-ji<sup>2</sup>

(1. National Institute of Measurement and Test Technology, Chengdu 610021, China;  
2. Sichuan National Test Huasheng Technology Co. Ltd., Chengdu 610021, China)

**Abstract:** The indoor acoustic field of a small room is studied. The other two small rooms of the same size are taken as reference rooms, and ODEON code and CARA CAD code are used to design and simulate the sound fields of the two rooms. Afterwards, the two rooms are decorated according to the sound field design and simulation results. Then, the sound fields of the two rooms are tested and analyzed respectively. Through the sound quality design and practice in the two small rooms, the effect and characteristics of the two codes, ODEON and CARA, for sound field design are expounded. Finally, the correctness, rationality and feasibility of the sound field design are verified by analyzing the results, and the evaluation and suggestion of the two codes, ODEON and CARA, used in the design of small rooms are given.

**Key words:** acoustics; room acoustics; design and practice; ODEON; CARA CAD

近几年,建筑声学行业在诸如歌剧院演艺厅、体育场馆等大体量空间中的发展较为迅速,无论是建声设计、设计预算、基建造价、施工监理、电声器材比选采购以及最后的声学验收等都有一系列的正规流程可以参考及实施,然而针对普通民众的例如家庭影院、视听室、琴房、练音间等小体量空间的声学设计及实践普遍就显得随意化、业余化、暴利化<sup>[1]</sup>。

## 1 室内音质设计方法

基于 ODEON 和 CARA CAD 两种声场设计软件针对某高校两间同等规模的小型演播室进行了不同

方法的对比室内音质设计并从声学设计的正确性,声学设计合理性,声学设计实施性的保证这三个方面对设计指标进行验证。

### 1.1 ODEON 建模分析

ODEON 是由丹麦技术大学基于几何声学理论发展起来的一款建筑音质设计软件,它通过虚声源法与声线跟踪法相结合的理论进行声场仿真,在全世界范围内已经得到了声学行业较为广泛认可<sup>[2]</sup>。目前 ODEON 已经在各个建筑设计领域发挥了作用,马歇尔戴等国际知名声学设计公司也将 ODEON 作为常用软件进行厅堂场馆的声场设计。北京人民大会堂音质改造工程中也用 ODEON 进行声场模拟。

图 1 是一个用 ODEON 建模进行声场模拟的流程图<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2013-04-10

作者简介: 万宇鹏(1985-),男,四川成都人,硕士,目前从事声学计量、建筑声学等方向的研究。

E-mail: wanyu1014@163.com

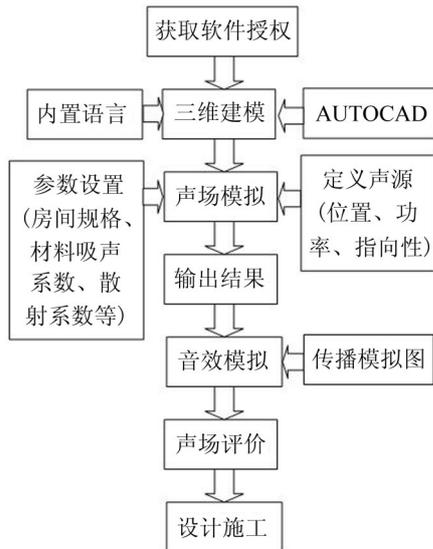


图1 ODEON建模声场模拟流程图

## 1.2 CARA CAD建模分析

CARA(Computer Aided Room Acoustics) CAD是一款由德国ETS Services GmbH & Co. KG公司开发的专门针对家庭影院、视听室等室内声场的设计软件。CARA以有限元分析为基础,它将房间分割成若干小单元,根据对每个小单元的声学性能进行计算组合完成整个声场的声环境分析和结果数据计算,更加适合小房间的声学设计。通过软件可以进行室内声场的建模、造型、选材、选设备、仿真、试听等一系列的声学设计及模拟操作。CARA目前在国内应用量较少,但因其功能与ODEON、EASE、RAYNOISE等声学软件相比较为简单,音响设备库、声学材料库等能够自定义。尽管CARA对大体量空间的声学设计与实际声场参数还有差异,但它在小体量空间的声场设计和后期验收中还是具有较高的设计还原度,所以就用ODEON和CARA针对同等规模的演播室分别进行室内声场设计,然后按照设计方案施工,并对比ODEON和CARA之间声场设计实践结果。

## 2 小体量空间声场设计及实践

房间长5.9 m,宽4.1 m,高3.75 m,建成后室内计划放置一张演播台、两张旋转座椅、一盆绿色植物、背景布、三基色灯等物件,分别用ODEON和CARA建模对房间内的声场进行设计及模拟。因为受到诸如房间大小、软件材质库、软件算法、施工工艺等实验条件的限制,不可能做到单一变量的对比测试,但是根据大概建模的设计和模拟还可以对ODEON和CARA CAD在小体量空间声场的设计中

作用做一个基本的了解。主要考察的指标是小体量空间的混响时间及有无明显声场缺陷。

### 2.1 ODEON声场设计(1号演播室)

因为这两间小型演播室是在一间大教室中用轻质隔墙隔断出来的,墙体隔声效果较差,墙体及门都需要进行后期改造。整个房间挑高3.75 m,不利于声场传播,需要进行吊顶处理。

根据矩形房间中共振频率的通用计算公式<sup>[4]</sup>

$$f_{n_x, n_y, n_z} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2} \quad (1)$$

$c$ ——声速;

$L_x$ 、 $L_y$ 、 $L_z$ ——房间的长宽高,m;

$n_x$ 、 $n_y$ 、 $n_z$ ——零或任意正整数,但不同时为零。

为了克服小房间容易出现的简并现象,初步设计将吊顶下降为距地3.15 m处,使室内长宽高比例不同,由此使得室内共振频率的分布更加均匀。

该小型演播室功能很简单,以满足日常录播为主,整体墙面首先设计进行隔声处理,通过轻钢龙骨填棉,固定隔音毡及石膏板,再以石膏板为基层进行扩散及吸声处理。墙面进行凸弧形造型作为声场扩散,辅以天花一定程度的不规则扩散使演播室内声场更加均匀。吸声部分采用聚酯纤维板材料、环保玻璃棉等材料来实现<sup>[5,6]</sup>。要求1号演播室设计中频混响时间指标为0.35 s,室内本底噪声满足NR-30,录制时声场分布均匀,没有声聚焦、二次回声、颤动回声等声场缺陷。

装修后的房间尺寸5.9 m×4.1 m×3.15 m,设计混响时间0.35 s,结合Schroeder Frequency(施罗德频率)公式计算出 $f_s$ 大约在140 Hz。

$$f_s = 2000 \times \sqrt{\frac{R_t}{V}} \quad (2)$$

$R_t$ ——混响时间;

$V$ ——体积。

ODEON仿真结果如图2、图3所示。

在中期监控(施工过程中多次测试,根据设计方案及时修正施工方案)下,施工方按照声学设计对演播间进行了装修。完工后对该室内声场进行了声场检测,检测设备为丹麦B&K公司3560C PULSE声分析仪、4190传声器、发令枪等<sup>[7]</sup>。经测室内中频混响时间为0.33 s,本底噪声29.0 dB(A),室内声场分布较为均匀,且没有发现颤动回声、声阴影等明显声场缺陷。混响时间采用脉冲法检测,检测数据如下。

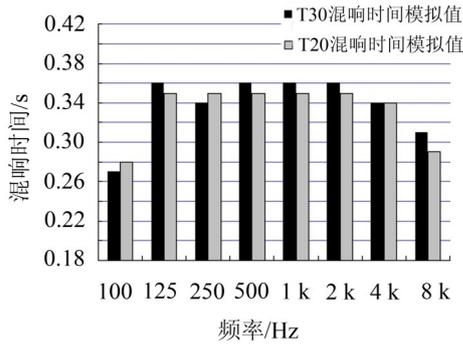


图2 ODEON混响时间模拟图

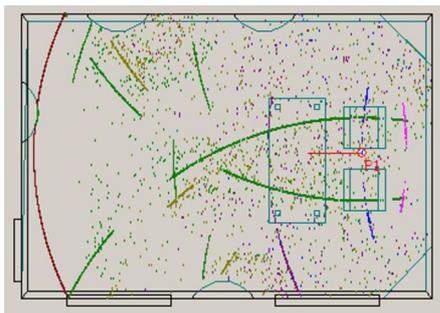


图3 ODEON声场扩散模拟图

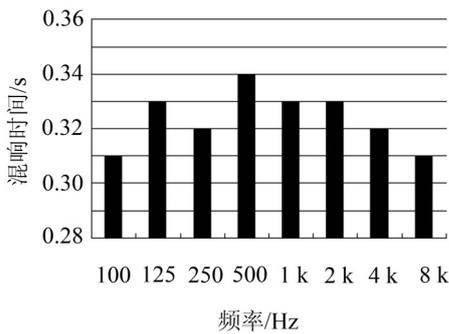


图4 1号房混响时间检测图

## 2.2 CARA声场设计(2号演播室)

CARA建模比ODEON繁琐,操作性不如ODEON简单、方便,兼容性也没有ODEON那么好。但因其独特的建模方式,使得CARA建模更直观,虽不太符合国人的操作习惯,但是在小体量空间的声场建模和设计上还是能够满足基本要求。为了与ODEON的声场设计与实践相比,在2号演播室中的装饰造型环节比对1号演播室来设计,隔音层的处理、墙体的凸弧形扩散、天花的吸声与扩散、墙面的软包、隔声门的处理、灯光、室内物件等都保证与1号演播室相同。同样,也在CARA软件中对所有室内材质进行定义,所取材料吸声系数只做了少量处理,但也尽可能的采用ODEON数据库中的值。2号演播室设计中频混响时间指标为0.40 s,室内本底噪声满足NR-30,录制时声场分布均匀,没有声聚焦、二次回声、颤动回声等明显声场缺陷。

CARA仿真结果如图5、图6所示:

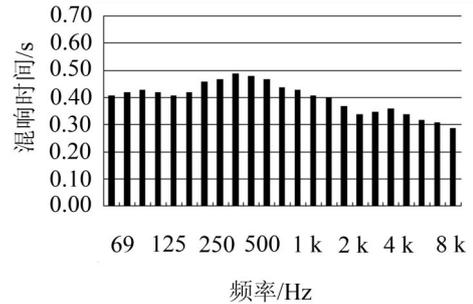


图5 CARA混响时间模拟图

设计完成后,施工方按照声学设计对2号演播间进行了装修,其间因中期检测混响时间偏短对方案进行了一次细小调整。完工后同样用脉冲法对2号厅进行了声场检测。发现室内中频混响时间为0.44 s,与

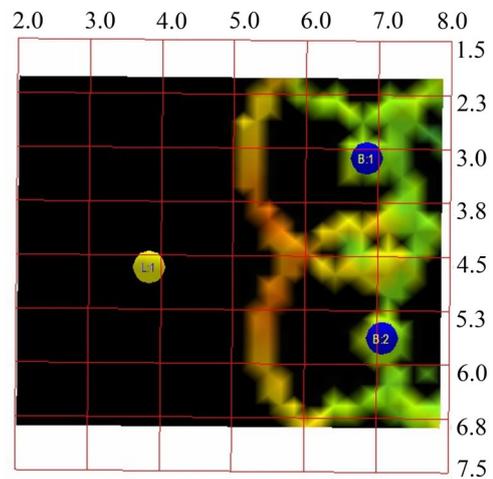


图6 CARA声场扩散模拟图

设计值有一定误差,但是与模拟值相近。室内本底噪声31.2 dB(A),室内声场分布较为均匀,但是房间中可能由于平行墙面材质和施工等因素在某些地方存在一定程度的颤动回声,没有发现声阴影等其他明显声场缺陷。混响时间检测数据如下<sup>[8]</sup>:

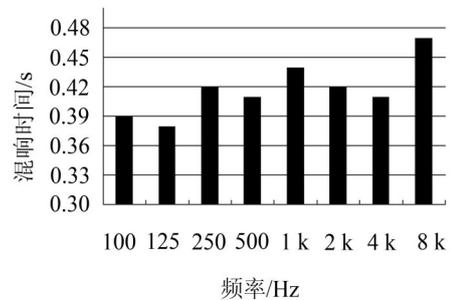


图7 2号房混响时间检测图

## 3 结语

ODEON在室内音质设计中建模方便、材料库丰富、自定义灵活,在设计过程中较为顺利地满足了声学设计师的各种需求。ODEON仿真结果与实践结

果相近,在声场设计时在中高频部分具有一定的数据参考价值。而CARA CAD在开发和宣传时本身就是着重针对小体量空间而设计的,所以它在专门针对小体量空间中的声场模拟数据还是具有较大的可信度。

但是ODEON和CARA CAD在小体量空间的设计和计算上都还是有一定局限性的。如计算小房间中的混响时间,其预测精度很大程度上决定于输入界面的吸声性能。而ODEON和CARA的模型算法是不同的,基于几何声学的ODEON模型所获得的结果在低频是不可靠的。另外,在ODEON中模拟结果还受到TO(TRANSITION ORDER)阶数的影响<sup>[9]</sup>。采用CARA基于有限元法的模拟算法中对于高频要求每个单元的尺度足够小(文中计算至8 kHz),其计算量将是比较大的,如何解决计算时间的问题也是设计模拟中需要考虑的问题。

另外,小体量空间中的混响时间测试本身存在较大的不确定性,尤其是低频部分,由于本征频率数量少,声场不均匀,其中空间不同位置上的衰变特性也是不同的。在SCHROEDER频率以下,采用传统的混响时间测试方法获得的结果是不可靠的,实际上对于只有少数本征频率的条件下是不能采用扩散场中的“混响时间”这一概念描述声场衰变的。模拟获得的倍频程混响时间与测试得到的结果进行比

较,在低频时,其结果并不能说明模拟计算的准确性。

综上,可以认为ODEON应该更多应用在针对中高频的大房间的声场设计和模拟;而CARA CAD主要应用于中低频小房间的声场设计和模拟中。设计软件只能在声学工程中起到辅助性的作用,实际工程中还应该高度重视中期监控和设计方案的纠偏工作,才能做出声场效果突出的工程。

#### 参考文献:

- [1] 曾亚光,等.住宅低频噪声分析及现场测试方法研究[C].2010'中国西部声学学术交流会论文集,2010.
- [2] 万宇鹏,等.一个基于ODEON设计的视听室室内声场研究[C].2011'中国西部声学学术交流会论文集,2011.
- [3] Claus Lynge Christensen. Odeon room acoustics program user manual[EB/OL]. 2008.
- [4] 吴硕贤,等.建筑声学设计原理[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [5] 钟祥瑞.建筑吸声材料与隔声材料[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [6] 陈文炯,等.多孔材料吸声性能分析与设计优化[J].噪声与振动控制,2012.
- [7] 蒲志强,等.消声室声学性能评价方法探讨[J].中国测试,2012.
- [8] 潘孟春,等.自动测试系统中的数据处理方法[J].中国测试技术,2008.
- [9] 威廉J.卡瓦诺夫,等.建筑声学原理和实践[M].北京:机械工业出版社,2005.

#### (上接第113页)

取代,项目飞机A319-NEO取代A319-1,项目飞机B737-7 Max取代B737-6,项目飞机B737-7 Max取代波音737-7;对于SC-4的飞机项目飞机A320-NEO取代A320-2,项目飞机A321-NEO取代A321-2,项目飞机B737-8 Max取代B737-8,项目飞机B737-9 Max取代B737-8 FP,B737-9 ER取代B737-9;对于SC-5的飞机项目飞机B767-4 ER只取代B767-2 ER和B787-8(B767-3 ER保留),项目飞机A350-8只取代A330-2(A330-3保留)。

## 4 结语

随着科技的进步和发展,民用航空的噪声严格度会越来越高,因此需要更高的水平来满足更高的严格度要求。一方面可以通过改进航空器自身的设计来满足要求,另一方面可以使用其他已经满足噪声严格度要求的航空器进行替代。但是进行这些工作的同时又要考虑到技术成本,燃油成本,总体成本,经常性成本和非经常性成本等各个方面。非经

常性成本是考虑了发动机制造商和飞机运营人。其他利益相关者(乘客,机场)也被评估<sup>[5]</sup>。这可以运用各种经济成本模型进行计算,例如APMT和FESG等。这些都为民航业满足更高要求的严格度要求提供了方便。

如今,国际上已经开始实施第4章-7 EPN dB这一方案,这说明了将会有很多机队的飞机将会被替代,新的飞机将会被引入。而今后第4章-9 EPN dB的方案实施指日可待,因此对民航业的冲击将会更大。

#### 参考文献:

- [1] GB9660-1988.机场周围飞机噪声环境标准[S].
- [2] 中国民用航空总局适航审定司,中国民用航空规章第36部航空器型号和适航合格审定噪声规定[S].北京:中国民用航空总局,2005.
- [3] ICAO. Environmental technical manual on the use of procedures in the noise certification of aircraft[Z]. 2008.
- [4] Committee on aviation environment protection (CAEP) ninth meeting [Z]. 2013.
- [5] 杨尚文.机场航空噪声影响评价及控制研究[D].天津:中国民航大学,2008.