

# 大厅声学发展中若干热点的管见

王季卿

(同济大学声学研究所)

Hot Topics on Auditorium Acoustics

Wang Jiqing

(Institute of Acoustics, Tongji University Shanghai, China)

Abstract

Among many interesting problems in auditorium acoustics, the author presents in this paper some comments on the following hot topics: (1) methods of subjective assessment, (2) objective criteria, (3) shape of the concert hall and (4) model tests.

1962年纽约林肯中心新建音乐厅 (Philharmonic Hall), 由于存在严重音质缺陷而引起了一场骇然大波。以后虽屡请国际声学名家改进, 仍未见效, 甚至更糟<sup>[1]</sup>。于是有人对音乐厅音质设计产生了一些消极思想。认为音质设计中经验艺术重于科学技术, 成功与否要碰运气。也有人认为音质设计规则早在五十年代初就已成熟, 照章办事, 可保无虞, 如要别出心裁搞些新玩意儿, 则必出毛病。1976年该厅拆掉内部重建, 就采用传统“鞋匣”式, 音乐界的尖锐意见也就此平息了。

结局难道就这样完了吗? 作为一项工程的改建, 在没有其它把握时, 采取这一办法无可非议, 但是作为科学探索, 应在失败中追究其原因, 而不是绕着走。因此这件事也给建筑声学界带来了很大促进, 产生了生机。兹就发展中若干热点问题谈些个人看法。

## 一、音质评价方法

长期来音质评价工作着重于: (1) 主观评价术语的统一, (2) 提出相应的客观物理参量, (3) 实验室和现场资料的累积和评判。音质评价有很大的宽容度和模糊性, 这有其本身性质(如各人欣赏水平不同)所决定的一方面, 但也无可否认, 各个评价术语不可能很严密, 有时对于有经验的听者也会感到为难。何况其内容还有着交错的含义, 加上各个厅堂无法在同一时刻和同一基础上进行互比, 使评价结果的可靠性更值得怀疑。再说, 厅堂音质的综合评价中各个主观参量不会是等价的, 在考虑各项“贡献权”计权因子时该凭什么来决定呢? 在这个非常关键的问题上往往会掺入很大的任意性——即所谓主观经验决定!

Behanek提出的18个评价术语<sup>[2]</sup>, 以

及由此总结出的评分方法<sup>[3]</sup>,由于非常实用,很受设计者欢迎,这些评价是可以很直观地译成设计图上所需的资料,将所有正面的和反面的得分累计,便可得出该厅的总评价。Beranek在考虑各项指标的“贡献权”时,尽管作了访问调查,但仍然跳不出凭个人经验这一致命弱点。

包紫薇在我国的电声和建声音质评价方面做出了出色的成绩,最近她对厅堂音质提出了ARBI四个主观参量和STUFEL五个客观量,<sup>[4][5]</sup>是引人注意的。这些参量经过加权处理后可得出大厅的综合评价,但它也带有很大的任意性。

以上两例至少看出有两个问题值得研究。一是各个评价参量的独立性如何(对主观参量尤其突出),二是各个参量的“贡献权”该如何客观地的确定。

以包紫薇的ARBI(清晰度、丰满度,平衡度和亲切感)主观参量来看,它们都或多或少地与响度有关,但未列出专项。再说乐队的层次清晰(清晰度A)和各声部的比例合适(平衡度B)又是难解难分的。因此如果声音主观属性参量的独立性不强,评价时要有麻烦;无意之中对某项共同因素会重复地给分,提高了它的贡献权。

第二个问题,看来只有利用层次分析法(A analytical Hierarchy Process, AHP)才能将诸多因素的“权数”分别加以客观确定,这里必然要用到“成对比较”测验法,可将几个变量用相关矩阵来分析各量之间相关性,从而得知各个因子所占重要性,于是可走上量化道路。这种方法的另一优点是,无需再煞费苦心,而仍然模糊两可的在评价术语上多化精力了。

七十年代初哥廷根大学和柏林大学的两个研究小组都认为,用了现代心理实验学,多变量分析方法中的因子分析法最适于解决室内音质评价问题。他们分别利用“干”的音乐录音(即在消声室中的录音)在大厅中重

发,同时在听众席上用假人头双通道录音作为评判的素材,在实验室中重放时只要求听试者回答两个重放录音中喜欢哪一个成对比较测验来进行,Cremer<sup>[6]</sup>在总结这项工作时称之为目前音质评价研究的唯一出路,他对过去那种列出若干音质评价术语,要求听众评分的方法深表怀疑。

1982年Schroeder在上海的一次学术报告中,生动地举了中国名菜“酸辣汤”为例。他认为要问人们好吃在那里是很不容回答的,但人人都可以说出是否喜欢,他的观点与Cremer的相同。

## 二、音质评价参量

声能比<sup>[7]</sup>和由调制传输函数(MTF)引出的语言传输指数(STI)<sup>[8]</sup>是当前用于评价厅堂语言清晰度的两种方法和参量,它们的出发点是不同的。声能比告诉建筑师如何充分利用早期反射声能,涉及房间形体和界面处理。而MTF中所考虑的混响和噪声这两个干扰因素,在音质设计中已各有规定的指标,而且设计都很易控制,至于形体影响,在MTF中并未直接反映,所以前一参量对建筑师帮助较大。

厅堂建成后的语言清晰度评价虽已有一些现场测验方法,但要兴师动众,加上一系列很难控制的人为因素,使这一评价工作难以普及。如果采用经过简化的所谓快速语言传输指数(RASTI)方法,仅几秒钟就可完成一点的测量。当然声能比的测量从原理上讲也许更简单一些,就是迄今没有定型的仪器,也影响到这一参量的普及和资料积累。

在音乐厅的一些音质评价参量中,如混响时间、接收点的声级和早期反射声能等都只需用单个传声器(单耳)接收。唯独对于演奏者近百人的交响乐来说,要使听众确实感觉到是“浸染”到了大乐队的气势,就要求有一种由双耳来判断的所谓环绕感<sup>[9]</sup>在纽约

Philharmonic大厅出问题以后,更使人想起变个因素多么重要。侧向反射便成为衡量这种效果的指标,于是有侧向效率LE和空间响应RR等评价参量的提出。

七十年代以来,从双耳听响应来评价音有了迅速发展,超级立体声的录音只用两个通道就完全可以模拟大厅的音质,使厅堂评价可在实验室内进行,其中如双耳听闻相关系数(IACC)评价量的提出,引起了广泛的注意<sup>[10]</sup>。它是建立在两耳接收信号的差别来判断声源的方位感和空间的基础上的一个音乐(严格讲是交响乐)评价参量<sup>[11]</sup>。因此侧向反射强,到达两耳声波的相关性会变小,即IACC减少,表征了空间感好的效果。甚至有人认为交响乐在一个无顶的庭院中演奏,其音质效果会比音乐厅中还好。

侧向早期反射声的重要性被如此地强调,是否过份了?以音质优良著称的波士顿交响音乐厅为例,它是一个鞋匣式大厅,两侧包厢上的座位是平行于侧墙布置的,这些位置上的IACC当然很小,音质就很好?同时它的LE很低,因为没有侧向反射,故又可引出音质必然很差的结论?实际上两者均不是。

再说美国Tanglewood音乐厅是没有侧墙的敞开式大厅,在五十年代后期加装了浮云式反射板后音质大为改善,迄今仍然吸引着大量夏季音乐会的听众,波士顿交响乐队对此厅的音乐评价也很高,又将如何解释呢?

事实上环绕感还与大厅混响时间、接收声级等因素有关,所以IACC评价参量之尚不成熟是可想而知的。当然其中还有些基本理论问题引起了很大的争论。<sup>[12]</sup>

### 三、音乐厅的体型设计

“鞋匣”式大厅沿用了一个多世纪,近几年来新建的一些成功音乐厅中,也不乏这类体型。但它毕竟在不少座位上的视线不理想,

尤其对容量大的多用途大厅来说,建筑师总希望在体型上跳出这个框框。

另一方面,这种大厅的侧墙是完全竖直的,从几何作图不难看出,侧墙早期反射声真正落到听众席的并不多,因此有人把大片侧墙做成内倾角度很大的形式。最典型的是Marshall设计的三个音乐厅(两个在新西兰已建成;一个在香港,即将建成)。

为了解决长混响要求所带来的容积增大,尤其使前座听众缺乏早期反射声,浮云式反射板可以解决这一矛盾,也给大厅内景带来了新的面貌。偏偏纽约Philharmonic大厅缺乏低频的重要原因之一是由于反射板的排列上出了问题,加上强调侧向反射效果者对此有所贬低,所以有全盘否定浮云之势。但是浮云确有助于音质的事例还是不少,这一措施仍然被某些声学设计乐于采用。

1960年前后,西德出现了几座不对称的自由体型大音乐厅,它们的音质受到赞誉,于是在音乐厅设计中又增添了一个“品种”。1986年在美国洛杉矶新落成的一座演艺中心,<sup>[13]</sup>更是别出心裁。全厅由左右交错布置的不对称四层座席组成,把一个3000座大厅用“矮墙”分隔为四个小区,这些矮墙又都起着侧向反射作用。其形状之特殊,充分体现了设计思想(声学建筑)的解放,当然它是建立在一定实验基础上的创作,<sup>[14]</sup>不是随心所欲的结果。

我国目前还没有一个座音质优良的专用音乐厅,但是计划中的几个音乐厅都面临着采用何种形体为好的抉择。如能认真总结一下利弊,并结合工程实际情况,可以有所作为的。

### 四、模型试验

一座耗资巨大的厅堂,如果能在建造之前通过模型来验证一下其音质,把不可捉摸的音质问题具体地演示一番,发现有重大缺

陷可以及早弥补,当然是件好事,问题是它的现实性如何?

廿年代就有用水槽作模型实验,它显示的两维图案,只能说属于教学示范性质。三十年代利用光学法对模型房间中平均自由程进行测量则属于三维性质的了。后来电声器件的微型化使模型试验进入了声场阶段,但是模型试验要解决和能解决什么问题,是大家最为关心的,也是试验有无价值的根本问题。

我很同意Beranek(1962年出版的书[3]中424页)和Cremer(1982年英译本书[6]中529页)的看法。前者认为在那个时候“模型试验能获得的资料,没有多少是从建筑图上无法直接求得的”,后者认为当时(七十年代末)“模型的技术还远远不能提供厅堂音质的精确效果”,何况耗资很大费时很多的模型是否跟得上整个大厅设计的进度也值得怀疑。

如果模型试验,仅仅为了混响时间的测量则大可不必。至于测得了脉冲响应以后如何进行定量分析,在实际厅堂(足尺的模型!)中也尚在探索之中,那末在缩尺模型中又将如何呢?在现阶段,利用模型对某些声场现象作对比研究看来还是有成效的。例如有人对改变吸声材料在室内的位置,或者改变声源和接收者位置等,对混响时间会有多少影响,曾得出了与理论计算相验证的结果,但未涉及主观评价的内容。要对直接评价的参数进行测试,目前困难不少。

有一种很吸引人的模型试验,即按模型比例提高录音机速度来发声,在模型中接收的录音又按该比例减速重发,通过耳机给评价人试听,这里有许多技术须要解决,否则只会给人非常兴奋的“效果”。因为所用录音机的性能很好,节目源选得也很悦耳动听,在两次变速过程中就不带来太明显的畸变。至于模型大厅在“转录”过程中却并没有参与太多,也就是说所要研究的主要对象恰被忽略了。理由也得简单,所用节目源不

是“干”的音乐片段;模型中的空气未经任何处理,对于1:10模型来说,500—4000Hz的节目源就变成5000—40,000Hz了,在反射声中空气吸收占了很大比重;加上扬声器和传声器在如此高频的指向特性没有控制等等因素,因此基本上是在“直达声”下的转录,是在考验录音机而不是大厅。

七十年代以来把模型试验和计算机结合起来,这项工作就出现了很大转机。首先是一些常规参量的测量在模型中可以较精确地得出,包括混响时间 $T_{60}$ ,声能比 $C_{a0}$ ,侧向效率LE和总声级 $L_T$ (如与同一声源在自由场中10米处的参考声级相比的增益)等等。同时可根据模型中脉冲响应的序列来加工“干”音乐节目源,或称之为混合模拟法(Hybrid Simulation),用以预计大厅建成后效果的判断。这一成果对录音后期加工也很有用。

近廿年来,模型试验中有一支异军突起——即室内声场的计算机模拟,它不仅可用于验证室内声场的理论,同时也为厅堂音质辅助设计提供了有效的手段,一个大厅的输入数据有一、二个工作日就可完成,模拟运算一次也不过1~2小时。如果对图纸加以修改后再重复运算十次,也只须一天的运算时间。而且这种运算正在向小型机发展,有利于推广应用。这方面已有详细综述文章,<sup>[15]</sup>这里就不赘述了。

### 参考文献

- [1] 王季卿,厅堂音质发展的曲折,声学技术,7卷(1988年)2期3—4页。
- [2] L.L. Beranek, *Seking communication: Musical-acoustic vocabulary*. Sound, Vol.1, No.4, P22—26.
- [3] L.L. Beranek, *Musica, Acoustics and Architecture*. John Wiley & Son, Inc. (1962).
- [4] Z. Bao, A new idea of comprehensive rating of sound quality in auditoriums, 84th AES Convention (March 1—4, 1988) Paris, 2636(K—10)

(下转第59页)

特点是可在共振法和自由衰减法等常用测量方法不适用的条件下,测定大阻尼结构的物理参量,从而弥补了其它方法的不足。

由于采用光断续器作为拾振器,有效地克服了拾振器引入的误差,提高了测量精度。用微计算机作为智能终端,不仅能准确地测量波速,而且还可以避免人为的误差,提高了测量的可重复性。

### 参考文献

- [1] A. Schlagel, "Measurement of Modulus of Elasticity and Loss Factor for Solid Materials", B.K.
- [2] H. Oberst, "Über Dämpfung der Bieg Eschwingungen Dunner Bleche Durch Fest Haf teend Belage., Acustica, No. 4, 1952.
- [3] Ahip D. "Nashif, Vibration Damping" 1985.
- [4] J. T. Broch, "Mechanical Vibration and shock Measurements", 1984.
- [5] "噪声和电声测量", 同济大学声学研究所, 1984.
- [6] 倪乃琛 "噪声与振动控制中的粘弹性阻尼", 1984.
- [7] 赵松龄 "噪声的降低和隔离", 1985.
- [8] 周明德 "微计算机硬件、软件及其应用", 1984.
- [9] 袁忠长 "微计算机的接口及控制系统", 1983.
- [10] 肖明辉 "实验误差估计与数据处理", 1980.
- [11] F. H. Chu "Experimental Determination on of Damping in Materials and structures AMD V01. 38, 1980
- [12] Morse "Sound and Vibration", 1948.
- 
- (上接第21页)
- [5] Z. Dao, A tentative study of the fuzzy feature of the sound quality perception. 84th AES Convention (March 1-4, 1988) Paris, 2640 (L-4).
- [6] L. Cremer et al; Principles and Applicatons of Room Acoustics. (德文原版1987年, 英译本1982年)
- [7] J. Q. Wang and L. Zhao, An experimental study of acoustic ratio and speech intelligibility 12th ICA (July 25-31, 1986) Toronto E10-4
- [8] T. Houtgast et al, A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria. JASA 77 (3) (1985) 1069-1077.
- [9] 王季卿; 国外音乐厅声学设计中的一些新设想, 声学学报 1981年2期123-125页
- [10] 王炳麟; 日本的厅堂音质研究近况, 声学进展, 1984年2期9-15页, 4期13-21页。
- [11] 戴根华; 厅堂音质的主观评价和最佳设计参数, 声学技术1988年2期. 7-43页,
- [12] A. H. Marshall, Book Review of "Concert Hall Acoustics" by Y. Ando. JASA 79 (2) (1966) 582-583; JASA 82 (1) (1987) 402-430.
- [13] D. A. Paoletti et al, The acoustical design of the Orange County Performing Arts Center Theater. 11th ICA (1983) Paris, 71-74.
- [14] D. A. Paoletti et al, The use of large models and computers in determining the acoustical environment for performing arts facilities. Proc. Research and Design'85. AIA Conference, Los Angeles (1985).
- [15] 彭杰, 室内声场的数字模拟—历史、现状和发展, 电声技术 1987年6期2631页。