

建筑环境声学研究的进展

——记第二届西太平洋地区声学会议

柳孝图

(南京工学院)

由英国声学学会香港分会和香港理工学院组织的第二届西太平洋地区声学会议,于1985年11月28日至30日在香港举行。我国以及其它十多个国家和地区的140人参加了会议。

会上宣读了100余篇论文,并安排参观了香港理工学院环境研究中心、香港环境保护局和新建成的香港艺术学院。此外,有些声学材料和建筑围护部件、声学仪器的生产和制造厂商在会议期间举办了展览。

我主要参加了环境声学的学术交流活。这方面涉及到的有环境声学的标度和方法、厅堂音质及设备噪声、城市噪声、机械噪声与振动、噪声控制元素等专题。本文拟选其中三个专题的交流论文并结合参观的见闻,介绍会议上所反映的建筑环境声学研究的进展。

一、音乐厅音质评价的客观量

新西兰学者马歇尔(A. H. Marshall)综述了近年来研究者们所主张的在厅堂里决定人们对音乐感受的四个声学因素,即声音的响度(或强度)、空间印象(或围绕的感觉)、明晰度和可听的混响。这些客观量都是(积分的)早期反射声能的函数,也与迟到的未积分的声能有关:

1. 声音的响度 代表在距一个全指向性声源10m处的直达声声压级。

2. 空间印象 取决于在直达声到达后第一个80ms以内的侧向反射能量的总和。其表达式为:

$$L = \frac{\int_0^{80} r \cos \theta dt}{\int_0^{80} r dt}$$

式中 r 是到达听众席位的声能(包括直达声), θ 是到达的反射声途径(声线)与通过听者耳朵的轴线之间的夹角。 L 通常以小数表示,评价标准是0.12。

3. 明晰度 用于评价音乐的表达式为

$$C = 10 \lg \frac{\int_c^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt}$$

该式比较了在第一个80ms内到达的声能以及其后到

达的包括直达声在内的全部声能。对于满意的明晰度, C 为0dB。混响场的可闻度决定 C 的上限值。

4. 混响 以混响时间测量,或是用其导出量测量。后者例如早期衰减时间(EDT),即指60dB衰减过程的前15dB衰减的斜率。早期衰减时间与主观反映之间的相关性比混响时间要好。

通过在一些大厅的设计和使用的实践,对上述客观评价量已经有较深入的了解。现在所关心的问题并非这四个量各自的数值,而是他们的相互关系。

最近还提出了音色和第一次反射声的延迟(作为听闻音乐自相关函数的函数)。另一方面,在厅堂声学设计中应力求避免的消极因素是回声和音调的畸变(相对于音色)。

A. H. 马歇尔指出上述客观评价量的局限性:首先,他们主要是根据在欧洲使用的大厅里对听众的音乐感受的研究而得出的;其次,在厅堂的初步设计阶段,还没有适当研究的数学分析方法可供预计这些因素(在一定的条件下,混响时间除外)。

A. H. 马歇尔提到了德国学者以不同的方法研究了人们的主观评价。认为听众对音乐的喜爱取决于四个客观的、相互独立的参数。其中三个都是“单耳的(非立体声的)——暂态”量,根据声源的自相关函数表示;而第4个参数则是“双耳的——立体的”量,以内耳的互相关系数表示。这些参数的最佳值依听众主观感受喜爱的理论确定。A. H. 马歇尔认为德国学者的这一见解是打算根据有限的听觉系统的神经生理学的知识,把音质评价的各个方面组合在一起。

南朝鲜学者介绍了为使具有三面看台的体育馆能满足会堂的音质要求而作的特殊的电声系统设计。在表演台两侧各设一个长度为3.2m的凸曲面状的声柱;在大厅内(低于表演台的高度)另设四个直线形的声柱。

二、环境噪声的预测和评价

交通噪声对城市居民环境的影响是直接关系到环境保护法的一个问题。英、中、南朝鲜等国的学者通过对交通噪声特征、等效连续声级(L_{eq})以及统计声级

中值 (L_{50}) 的观测,分别提出了一些预计城市交通干道噪声的模式。

南朝鲜学者还根据对噪声物理量度和社会评价标准相关分析的结果,提出对交通噪声主观反映的预计方法。在香港环境保护局和香港理工学院环境研究中心,都通过模型试验,研究了沿街建筑受噪声干扰的情况及声屏障的降噪效果。

来自附近的或相邻的建筑物中的噪声,是住宅区和住宅的声环境设计中需要考虑的引起干扰的一个主要问题。打开的窗户是各幢住宅建筑物之间传声的重要途径。澳大利亚和印度尼西亚的学者通过对1/8的建筑物模型所进行的实验,对这种传播途径作了定量的分析研究。他们把建筑物模型放在消声室内,使用一个产生宽频谱噪声的喷气噪声源,以自由场响应的电容话筒在模型房间内接收声音,对在相当于足尺房间中语言的频率(250—2000Hz)的四个倍频带进行测量。对于两幢模型房屋(两个开窗的模型房间),在两开口之间有不同距离和相对的角度、不同的开口面积以及不同的反射面条件等都作了比较。通过实验记录了以dB(C)—dB(A)表示的声衰减的一些初步结果。

对于旅馆客房的隔声问题,中国和日本学者的研究都认为除需解决一般所指的噪声干扰外,还应考虑语言私密性的要求。中国学者提出对于客房之间的隔墙,除以隔声指数 I_a 作为安静标准外,还应以清晰度指数 AI 作为对隔墙要求的私密标准。鉴于语言频率(对清晰度指数起作用的部分)的特点,根据 I_a 和 AI 两项指标,在注意避免吻合效应和侧向透射等影响的情况下,有些轻质复合材料(结构)可用作旅馆客房之间的隔墙。日本学者认为尽管邻室可能有各种噪声,但谈话声是最大的干扰源。为使邻室传入的声音降至背景噪声的掩蔽级以下,干脆提出根据谈话的噪声级作为对隔墙隔声要求和设计的依据。此外,也还需要考虑包括墙体材料、墙的面积、吸声能力、声场、骨架的间隙和连接,侧向透射等因素可能引起的声压级差的起伏。

中国学者还介绍了对中、小学校教室内的噪声限值的研究,提出了以统计百分数声级 L_{10} 作为噪声标准,也建议了容许标准的数值。

三、噪声控制元素和建筑部件

为了改善人们的声环境,一些国家的学者在改进声屏障的吸声降噪效果、新吸声材料等方面作了许多研究。一些专业工厂研制了许多配套的吸声降噪建筑部件。

人所共知,噪声在声屏障顶部的衍射限制了屏障的降噪效果。对屏障表面作吸声处理固然可使衍射作用有所减弱,但若对屏障顶部的形状作适当选择,可大

大提高降噪效果。这方面的研究者曾对屏障的形状、厚度等有过不少选择和比较研究,认为双层墙屏障的效果最好,然而这种屏障的造价过大,并且往往因场地的限制也难以办到。南朝鲜学者根据声波的衍射和反射理论,提出以顶部具有适当形状的开口宽度和深度的Y形及U形屏障代替双层墙屏障。例如,理论分析及试验表明,可建造2m高的单层墙,其上有1m深和1m宽的U形结构,来代替3m高的双层墙,这样能大大节省设置屏障所需的材料和施工等费用。

屏障降噪本身的固有问题是因地面的反射波和直达声波之间的干涉,可能影响某些频率范围的降噪效果。研究也表明,对于双层墙屏障,在一定的频率范围里和相当程度上可以改变这种干涉特性。

通常使用穿孔板作为多孔吸声材料(如玻璃棉、矿棉等)的护面层。中国学者对微穿孔板(孔径以毫米计)的吸声机理的研究表明,在任何需要控制噪声和混响的场合,可以仅使用这种微穿孔板,它本身就是高效率的吸声结构,无须和其它多孔吸声材料组合使用。根据所要求的频率、最大声吸收值及吸声频带宽度,可以直截了当地按照所提出的简化公式计算、设计微穿孔板吸声结构。

一些功能复杂的现代建筑,往往把具有强噪声、振动源的部分与要求安静的部分组合在同一幢建筑物中。一方面是噪声源的不断增加,另一方面是轻型建筑材料的发展,使噪声与振动的干扰更为突出。一家公司研制了复合楼板、隔墙和天棚的系列产品,这些建筑部件,通过弹性地耦合传来的空气声、撞击和振动,因而具有极高的透射损失。例如一种20cm厚的浮筑楼板,其透射损失比同样厚度的混凝土板大35dB,并且楼板的重量也轻得多。这种浮筑楼板的良好隔声性能主要由特制的隔声垫块所提供。隔声垫块是由抗水树脂将经退火的弹簧片与玻璃纤维胶结而成。以这种垫块与钢筋混凝土板组合的浮筑楼板的承载能力为250—2000kgf/m²(约为2450—19600Pa)。对于悬吊吸声天棚,该公司研制了依所需降低的噪声的不同频率可选用的玻璃纤维吊钩、金属弹簧吊钩或是两种材料组合的吊钩。

另一些公司研究生产的隔声门,不是用门楣、多层压缝条等传统做法,而是:1.关门依靠凸轮铰链与手动闭合器相结合使门缝密闭;2.自动调节的磁化的金属门框和主要的垫料卡住密缝条;3.在门扇靠近地面处装置的密缝条紧紧地压缩。

为解决机械通风设备带来的噪声问题,有公司专门研制了声学百页窗,由带声学材料的金属百页片组装而成。开口面积、叶片角度均考虑到对通过的气流产生的阻力最小。不同规格的百页窗可使在频率为500Hz及其以上的噪声分别降低27—40dB。