

# 混响感知的听觉心理<sup>\*</sup>

孟子厚<sup>†</sup>

(中国传媒大学传播声学研究所 北京 100024)

**摘要** 综述了中国传媒大学传播声学研究所近年来在混响的主观感知机理上的研究工作和进展, 涉及混响感的语意调查与分析, 音乐听闻的混响偏爱度实验, 混响感的差别阈限, 混响感的因素分析, 以及混响处理与音乐情感之间的相互影响等研究结果。对混响感知的研究对进一步探究在有界空间中主观听感的生理心理机制是十分有启发的。

**关键词** 混响, 听觉感知, 差别阈限, 听感偏爱, 因素分析

**中图分类号**: TU112.4

**文献标识码**: A

**文章编号**: 1000-310X(2013)02-0081-10

## Research on the acoustical psychology of reverberation perception

MENG Zihou

(Communication Acoustics Laboratory Communication University of China, Beijing 100024, China)

**Abstract** It is to review the research on the perception of reverberation in the Communication Acoustics Laboratory Communication University of China. The research has been developed in several directions including: studies on the semantic meaning of reverberance or the subjective impression of reverberation; the preference of reverberance for music listening; the just noticed difference of reverberance; the factor analysis of reverberance; and the relationship between the reverberance and the music emotion. The study and the discussion on the perceived reverberation are helpful for the further research on the physiological and psychological mechanism of the auditory perception in a limited space.

**Key words** Reverberation, Auditory perception, Just noticed difference, Listening preference, Factor analysis

## 1 引言

混响是在有界空间中存在的声学现象, 是一个物理过程, 它一方面可以通过客观参数进行描述和度量, 另一方面通过人的听觉系统而被感知。混响时间是室内声学中的基本概念和决定室内音质最

重要的参数, 传统的混响设计只是进行混响时间的计算, 但在实际中人们发现混响时间并非决定室内音质的唯一参量。对室内音质的认识主要是通过对混响的感知来达到的。混响的主观感知是一种复杂的、综合的感觉, 虽然对于“混响感”这一概念仍然没有一致的、明确的定义, 但是几乎所有的研究者

2012-10-31 收稿; 2013-01-13 定稿

<sup>\*</sup>自然科学基金项目(10474005, 10874155)

作者简介: 孟子厚 (1962-), 男, 陕西西安人, 研究员, 博士, 博士生导师, 研究方向: 传播声学, 声频技术。

<sup>†</sup>通讯作者: 孟子厚, E-mail: mzh@cuc.edu.cn

都认为单一的物理参数无法准确描述厅堂的音质。

对混响作为一个物理过程的研究已经有上百年的历史了<sup>[1]</sup>，但是对混响的主观感知机理的研究却要薄弱得多。主观混响感是在有限空间中听者对声音的一个整体感觉，具有一定的模糊性，应从整体上来认识它。在具体的工程和艺术实践中，混响的设计应该是混响感的设计，而不仅仅局限于混响时间的设计。要对混响感进行设计，就必须搞清楚混响感生成的物理心理机理或者是影响因素，找出可以进行混响设计和评价的定性或定量规律。对混响感的因素分析和混响感的感知机理的研究目前还不是很多，基本上都是一些探索性的工作，本文概括总结了中国传媒大学传播声学研究所近年来对混响感的感知机理进行初步探索的一些结果。

2 混响与混响感

混响时间的研究已有上百年的历史，混响时间的估算公式从最初的赛宾公式出发，不断有研究者根据不同的声场情况提出了改进的，或针对特定声场类型的混响时间的估算公式<sup>[2]</sup>。混响时间定义为声源停止发声后，平均声能密度自原始值衰变到其百万分之一（60 dB）所需要的时间，在扩散声场中也就是声压级下降 60 dB 所需要的时间，对这个定义百年来一直没有什么争议。虽然如此，但仔细考

证对混响这一现象的定义，不同的学者之间还是有一定的差别。Morse 对混响（reverberation）的定义可以追溯到最早在 1936 年所著的《振动与声》一书<sup>[3-4]</sup>。Morse 对混响的定义其实有两层含义，一是声源停止后，声音按指数衰减的现象；另一层含义是快速起伏变化的讲话者（声源）的特征被模糊了的现象。混响时间的定义是直接基于前一种混响的定义的。而听者对混响的感知，更多地是通过第二种现象的。

主观混响感（reverberance）或混响的主观印象（subjective impression of reverberation）“是听感上对室内混响过程的主观感觉，或者是现场直接听音或重放声的（客观和人工）混响状况给人听觉上的主观感受”<sup>[5]</sup>。主观上的混响感的感知并不一定要以“声源突然关闭”为先决条件，它更多地是通过 Morse 所给出的第二种混响现象的描述所感知的。由于操作定义的流行，在进行与混响感有关的听感实验或进行混响感的设计时，受试者和设计者往往忽略了混响的本质定义，甚至难以理解混响感的确切含义。为了探究在汉语语境下听者对“混响感”的语意理解，进行了一项语意调查<sup>[6]</sup>。一共列出了 16 项可能影响主观混响感的因素，如表 1 所示，这些因素的选择主要考虑自然声场的情况，并不特别涉及由电声系统生成的二次混响和不自然的仿真混响等。

表 1 “混响感”语意调查问卷表

| 编号 | 可能影响主观混响感的因素    | 对主观混响感影响的程度 |    |     |    |    |
|----|-----------------|-------------|----|-----|----|----|
|    |                 | 很大          | 较大 | 有一些 | 较小 | 没有 |
| 1  | 猝发声在房间中的衰减速率    |             |    |     |    |    |
| 2  | 房间的大小           |             |    |     |    |    |
| 3  | 房间的形状           |             |    |     |    |    |
| 4  | 声源与听音位置的距离      |             |    |     |    |    |
| 5  | 声音的入射方向（前后上下左右） |             |    |     |    |    |
| 6  | 被声音包围的感觉        |             |    |     |    |    |
| 7  | 感觉到的回声          |             |    |     |    |    |
| 8  | 声音的内容（音乐、语言等）   |             |    |     |    |    |
| 9  | 对声音内容的熟悉程度      |             |    |     |    |    |
| 10 | 对声音音色和内容的偏爱     |             |    |     |    |    |
| 11 | 房间的视觉环境（色彩、画面）  |             |    |     |    |    |
| 12 | 声音的温暖度          |             |    |     |    |    |
| 13 | 声音的浑厚感          |             |    |     |    |    |
| 14 | 声音音量大小          |             |    |     |    |    |
| 15 | 房间里的温湿度（冷暖、干湿）  |             |    |     |    |    |
| 16 | 房间里的空气质量（通风、异味） |             |    |     |    |    |

语意调查首先是对专业人士进行的。调查分别在广州和北京的两个专业学术会议上进行。一个会议是建筑物理专业的会议，一个会议是音频工程的学术会议，因此被访谈者分为两大专业背景：音频工程（电声）专业背景，建筑声学专业背景。总共访谈了百余人，对调查结果按照专业、年龄、性别、地域等因素分组进行对比分析，以探究不同的专业背景、性别、地域、偏爱等个人因素是否对混响感的语意理解也有影响。

对语意调查结果的分析发现：（1）音频组与建声组在最重要的前几个因素的排序和权重上有较明显的差异，如图1所示；音频组认为房间的大小最重要，对混响感的影响很大，猝发声源的衰减速率、房间的形状、听音距离、回声感觉、音量等对混响感也有较大的影响。而建声组认为只有猝发声源的衰减速率与房间的大小对混响感有较大的影

响。建声组对混响感的语意因素的理解相对比较保守和集中；（2）男性组与女性组有一些差异，但不是太重要，主要体现在对房间形状的感知和对房间视觉环境的感知上；形状和色彩感知的性别差异看来要明显一些；（3）南方组与北方组在前四个最重要的语意因素上有明显差异。南方组认为最重要的因素是猝发声的衰减速率，但不是很重要，只是较重要，其次是房间大小、回声感觉、和音量大小；而北方组认为房间大小很重要，其次较重要的有有声源距离、房间形状、猝发声的衰减速率、回声感、音量大小等。北方组在混响感的语意理解上反而比南方组要“细腻”一些；（4）年长组与年青组有较大差异。年青组对混响感的语意理解主要集中在猝发声的衰减速率、房间大小、房间形状上。而年长组所考虑的因素则要多一些、全面一些。

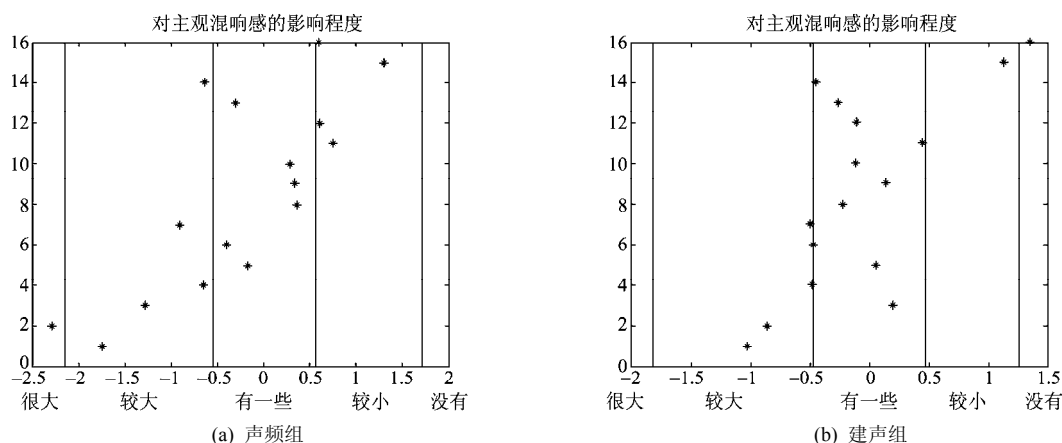


图1 音频组与建声组语意调查结果比较<sup>[6]</sup>

总的看来，对主观混响感有较大影响的语意因素主要集中在猝发声源的衰减速率、房间的大小、感觉到的回声、以及声源与听音位置的距离等因素上。虽然猝发声源的衰减速率可能是最重要的，但对不同专业背景的人士来看可能会有差别，如从事音频（电声）技术的专业人员认为房间的大小最重要，而长期工作生活在北方的专业人士也倾向于更加重视房间的大小。常听音乐会的人士和青年人对混响感语意因素的理解要相对集中一些，这实际上可能反映了两个不同的极端，一个是有丰富的现场听感经验，以经验知识为主；一个是缺少现场听感经验，以专业知识为主。

### 3 音乐听闻的最佳混响感

音乐的听闻环境对音乐的感知是有影响的<sup>[7]</sup>，不同的音乐所需要的最佳混响时间不一样。Ando通过对六段音乐片段的信号特征分析和听感偏爱度实验得出：聆听音乐的最佳混响时间与音乐信号自相关函数的有效持续时间成23倍的关系<sup>[8-9,14]</sup>。对这个结论其实是有争议的，音乐听闻的最佳混响感要求是一个复杂的问题，与音乐的特征、听者的背景、环境声学条件的细节等都有关系，不大可能只与音乐信号的某个参数特征成比例关系。

为了探究中国民族器乐听闻的最佳混响感，对

10种乐器所演奏的90余首民乐进行了混响处理的听感偏爱度试验<sup>[10-11]</sup>。乐器包括：琵琶、二胡、扬琴、古琴、古筝、南笛、北笛、巴乌、葫芦丝、箫等。所选的乐曲基本上都是相应乐器的保留曲目，或流传非常广泛的曲目。试验的整体思路为选定与混响感有关的物理参数，对模拟厅堂的脉冲响应进行控制，将脉冲响应和90首民乐片段的干信号卷积，得到具有不同混响感的实验信号，组织受试人选择适当的听音方式，进行混响感主观偏爱的实验，对数据进行统计分析。按通常的做法，在混响感的实验中只考虑后期混响对混响感的影响，一般不考虑直达声和早期反射声的影响，或者尽可能避免直达声和早期反射声的影响。在试验中对脉冲响应的混响时间RT、清晰度C80、初始时延间隙(Initial-Time-Delay Gap, ITDG)进行控制。根据前期实验的综合考虑和Ando等人的文献，选取了C80 = 0 dB、ITDG = 30 ms，在实验中固定SPL在78 dB~80 dB。不同混响时间取值的脉冲响应的频率特性曲线保持平直。在试验时同时要求被试对所听音乐的情感属性按八类进行选择 and 标注，这八类情感属性为：

- |            |         |
|------------|---------|
| △ 恬静，悠闲，安逸 | △ 无奈，漠然 |
| △ 愤怒，激动    | △ 恐慌，惊慌 |
| △ 欢快，愉悦    | △ 奋进，向上 |
| △ 忧郁，哀伤    | △ 怨恨，悲愤 |

不同乐器有不同的最佳混响时间，在这样范围的混响时间范围内演奏相应的独奏乐器会获得较好的混响感，从而提高整体的效果。图2是不同乐器的最佳混响时间的分布，结果表明扬琴适合在0.7 s左右的短混响的环境内进行演奏，箫适合在2 s左右的较长混响时间内演奏，其他乐器的最佳混响时间范围相互重叠，平均值在1.3 s附近。总体来看，弹拨乐器的最佳混响时间要低于拉弦乐器和吹奏

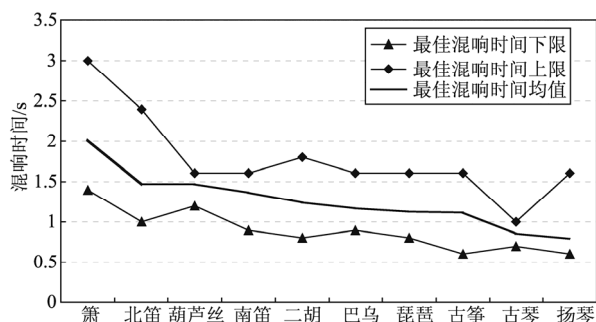


图2 按乐器统计的最佳混响时间的分布

乐器的最佳混响时间。民乐片段的演奏速度对混响感的影响效果也很明显，如图3所示。演奏速度较快的曲目的最佳混响时间范围最短，较慢的曲目的最佳混响时间范围较长。但是由于民乐的演奏手法与西乐不同，很多曲目存在着变速，或者速度不统一的情况，所以情况比较复杂，从实验结果上看不能单一的从演奏速度上得到较为精确的民乐演奏环境的最佳混响时间值，还需要参考其他的参数。

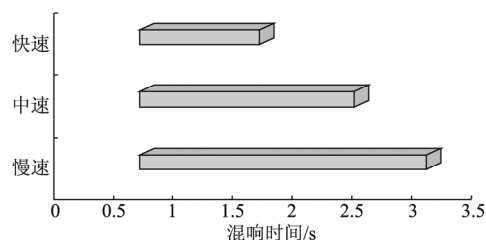


图3 按乐曲的节奏速度统计的最佳混响时间的分布

图4是按照乐曲的情感属性进行的最佳混响时间的统计分布。由于实验中不同情感属性的乐曲的数目不一样，难以从此结果中看出明显的规律。但是将乐曲所表达的情感与演奏乐器结合对结果进行分类，发现情感对独奏乐器混响感还是有一定的影响。北笛适合演奏欢快愉悦的曲目，箫适合演奏恬静、悠闲、安逸以及忧郁、哀伤的曲目，扬琴可用来演奏各种情感的乐曲。快节奏的演奏速度适合演奏欢快、愉悦的曲目，中速适合演奏恬静、悠闲、安逸的曲目，慢速适合演奏恬静、悠闲、安逸和忧郁、哀伤的曲目。

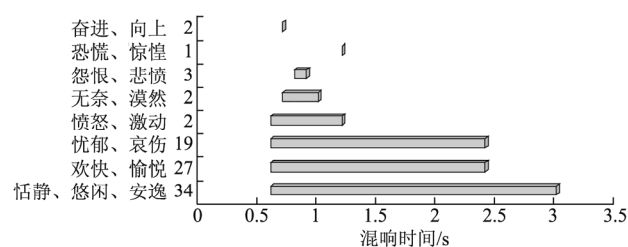


图4 按乐曲的情感属性统计的最佳混响时间的分布  
(情感属性旁的数字为实验中此类情感的曲目)

对用来进行实验的民乐的最佳混响时间与其自相关函数的有效持续时间作相关分析，发现两者之间并不存在显著的线性关系<sup>[12-13]</sup>，这与Ando等的结论不符合<sup>[14]</sup>。对民乐的信号特征进行综合分析，发现音高特征、节奏特征、Mel频率倒谱系数(Mel-Frequency Cepstrum Coefficients, MFCC)等

特征可能与民乐听闻环境的最佳混响时间有关。最佳混响时间可能与民乐片断的音高强度、以及提取出来的 MFCC 系数有某种函数关系。虽然现在还很难说清音高强度和 MFCC 系数的物理意义,以及二者是如何并影响最佳混响时间的,但可以确定民乐听闻的最佳混响时间可能是由多个信号特征参数共同作用决定的,其中每个特征参量的物理意义以及每个特征参量对影响最佳混响时间的程度需要进一步深入的研究。

4 混响感的差别阈限

关于混响的差别阈限,大部分文献都引用 Serephim (1958)<sup>[15]</sup>的实验结果。Karjalainen (2001)等人<sup>[16]</sup>和 Niaounakis (2002)<sup>[17]</sup>等人也做过此方面的研究。Seraphim 首次对混响时间的差别阈限进行测量,素材是 800~1600 Hz 的倍频程噪声,发现当混响时间大于 0.6 s 时,相对差别阈限大约是 4%,而对于较短的混响时间,其相对差别阈限值有所增加,当混响时间为 0.2 s 时,达到 12%。Karjalainen 研究脉冲信号和语音信号的混响时间差别阈限,发现相对差别阈限在 10%以内。Niaounakis 对 5 段西方音乐进行实验,相对差别阈限为 4.5%~9.5%。这些结果很相似,混响时间的相对差别阈限均在 5%~10%,但是这些结果都是用西方音乐、语音和无意义信号对西方受试人测得的。

工程实践和科研中所引用的混响时间的相对差别阈限在 5%~10%之间,这个依据基本上都是源自 Seraphim 的测量结果。在 Seraphim 的实验中受试人被要求判断指数衰减的窄带噪声信号从起始衰减到本底噪声水平的时间,混响时间的大小是根据指数衰减的比率来获得的,实验方法是恒定刺激法,得到的是 75%的差别阈限。严格地来讲,在这

样的实验设计下受试人判断的是物理定义上的“噪声混响时间”的时长的差别阈限,这与人们通常对不同的听音环境的主观混响感的差别阈限有本质区别。文献[18]以 19~23 岁的本科生为受试人,测量白噪声时长的差别阈限。采用的信号是两端截止的白噪声,实验方法是恒定刺激法,噪声信号的长度范围为 0.3 s~8 s,得到的 75%的差别阈限范围是在 5%~9%,与 Seraphim 的实验结果是在一个范围内,说明了 Seraphim 根据“混响时间”的物理定义所设计的实验,其实是对噪声时长差别阈限的测量,而不是对主观混响感差别阈限的测量。虽然 Seraphim 的实验中对噪声结尾的判断是根据其衰减到本底噪声为线索的,但它的实质与对两端截止的噪声时长的判断是一致的。在实际的混响设计中需要考虑的是由音乐信号所表现出的主观混响感的差别阈限,需要强调混响传递给听众的主观感觉的差别阈限,因此提出“主观混响感”的差别阈限这个概念。考虑到混响的感知可能与听音人群和音乐内容有关,所以用中国民族器乐为素材测量了主观混响感的差别阈限,并在此基础上分析了影响实验结果的因素<sup>[19-21]</sup>。

选取了三件乐器的三首曲目作为实验素材,包括琵琶曲《彩云追月》、二胡曲《闲居吟》、笛曲《五梆子》。三件乐器代表了弹拨乐器、拉弦乐器、吹奏乐器。参加试验的受试包括三组不同的人群:有经验的音响技师 9 人(年龄 28~52 岁)、音响工程专业学生 15 人(年龄 19~21 岁)、普通学生 10 人(年龄 22~24 岁),受试人均听力正常。表 2 是测量结果。

通过对实验结果的观察可以发现:实际测得的混响感的差别阈限(绝对值)随着混响时间的增长基本呈线性趋势增长。以民族器乐为素材、以中国人为受试人的混响感的差别阈限大约在 25%~30%之间,这与 Seraphim 所测得的 5%的“混响时间”

表 2 主观混响感的差别阈限

| 受试人      | 乐器 | 在不同混响时间上的相对差别阈限 |       |       |       | 平均值   |
|----------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|          |    | 1 s             | 2 s   | 3 s   | 4 s   |       |
| 音响技师     | 琵琶 | 34.5%           | 22.5% | 23.3% | 26.3% | 26.7% |
|          | 二胡 | 39.0%           | 22.5% | 21.2% | 23.1% | 26.5% |
| 普通学生     | 琵琶 | 33.0%           | 25.8% | 25.2% | 27.8% | 28.0% |
|          | 二胡 | 32.0%           | 25.3% | 26.2% | 26.1% | 27.4% |
| 音响工程专业学生 | 二胡 | 31.5%           | 27.8% | 26.3% | 24.3% | 27.5% |
|          | 笛子 | 27.0%           | 28.5% | 26.8% | 25.1% | 26.9% |
| 平均值      |    | 32.8%           | 25.4% | 24.9% | 25.1% | 27.1% |

的差别阈限有显著的不同;对大部分实验结果,1 s 的相对差别阈限比 1 s 以上的差别阈限都要大;不同的受试人群体对实验结果有一定的影响,三组受试人的结果的差异应该与他们所受到的知识背景和技能训练有关系;对同一组受试人来说,实验所用的器乐不同,混响时间的差别阈限也不完全相同,但是对民族器乐没有特别喜好的一般受试人来说,实验中所采用的乐器和乐曲对混响时间差别阈限的影响不大。

## 5 混响感的因素分析

主观混响感的构成要素主要来自三类:声音要素、空间因素和艺术元素,如图 5 所示。声音的感知要素就是声音的长度、强度、和高度。具体到客观声学参量,就是混响时间的长度、感知声音的声压级、以及声音的频率成分或音色。空间因素是指混响感知的空间结构诸要素,包括空间体积的大小、与声源之间的相对感知距离的远近、反射和散射声的结构、以及房间的体型结构等。空间感知因素中有一维感知因素,也有三维(立体)感知要素。但其中一维感知要素是最基础性的要素,也是构成三维要素的核心和基础。一般地,一维要素表现为单声道感知时的空间因素,三维要素表现为立体声(或双耳)感知时的空间要素。鉴于三维要素研究时的空间变量较多,实验比较复杂。所以一般对混响感的因素分析都从一维感知出发。艺术元素也指声音的内容要素,这对混响的感知也起着重要的影响,但是对这方面的认识目前还不十分的深入和全

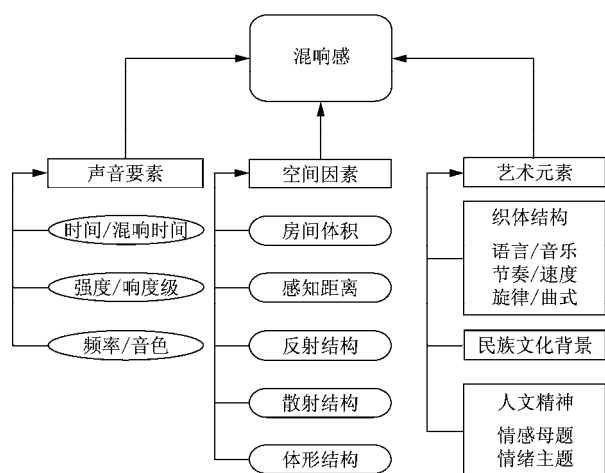


图 5 主观混响感的生成因素

面。从艺术创作和期望效果来说,混响感是可以作为一个艺术创作要素参与声音艺术作品的创作。语言艺术和音乐艺术所要求的混响环境是不一样的。即使对音乐来讲,节奏、旋律、曲式等的不同,对混响的要求也是不一样的。某种特定的情感表现,在不同的混响条件下,其感知或表现的效果也是不一样的。声音艺术是有民族文化烙印的,具有特定的人文精神,在中国民族音乐中以花鸟为母题的音乐和以企仙为母题的音乐,其所表现的意境和与之相关的混响感知明显是不同的。

对混响感的生成因素的研究是在实验室模拟条件下进行,但这并不影响研究结果对实际应用的指导意义。在实验室条件下,通过大量的主观听感实验,分别探究每个单一因素对混响感知的定性或定量规律<sup>[22-29]</sup>。在实际感知中,不同因素之间可能会相互影响,这个是需要更深层次上研究的问题。在实验中所用的场景有实测的场景也有用仿真软件生成的场景。主观听感实验的受试者以在校大学生为主,音乐素材以民乐为主。以下给出的是混响感的部分因素的实验结果。

### (1) 混响时间与混响感

混响感与混响时间基本上满足单调的指数函数关系。图 6 是一例主观混响感与混响时间关系的测试结果<sup>[22-23]</sup>。此例是在不改变房间参数和听音位置只改变吸声量的情况下,调节混响时间从 0.6 s 到 6.0 s,得到 28 个混响时间不同的房间脉冲响应。将笛曲《春到湘江》的干信号,分别与 28 个房间脉冲响应进行卷积,模拟不同混响时间时的听音情况。将混响时间为 1.5 s 的乐段作为参考信号,并定义它的混响感为 1,由尺度估计法要求被试判断相对参考信号的混响感强度。

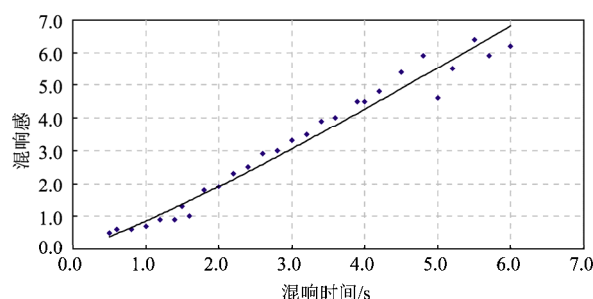


图 6 空间因素不变时主观混响感与混响时间的关系

### (2) 声音强度与混响感

图 7 是混响时间为 2 s 时声音强度与主观混响

感关系的实验结果<sup>[26]</sup>,图中的纵坐标是以对数格式给出的混响感级(dB)。随着音乐声的声压级不断增加,混响感随之增强。但是这种变化趋势不是固定的,而是在某一个声压级范围内到达一个最大值。每种乐器曲目的混响感随声压级逐渐变化的趋势并不一致,这可能是由于不同乐器的音色也会对混响感有所影响。

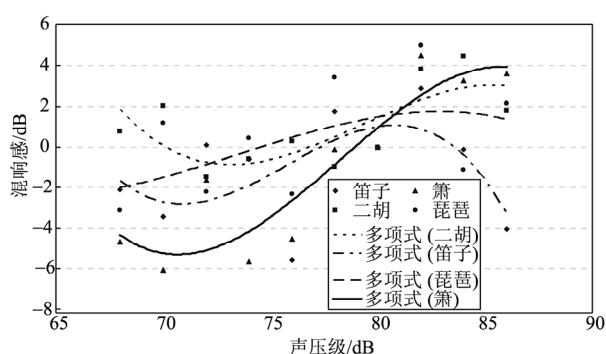


图7 混响时间为2 s时主观混响感与声音强度的关系

### (3) 声音频率对混响感的影响

声音频率对混响感的影响包括声音本身的频率特征、混响时间的频率特征,以及这两者之间的补偿设计等。图8是对带限噪声的连续混响感的感知实验结果<sup>[27]</sup>。带限噪声的连续混响感并不受到混响时间的影响,而是与频率相关,带限噪声的中心频率越低,混响的主观感知越强,混响感与频率成负相关<sup>[27,29]</sup>。

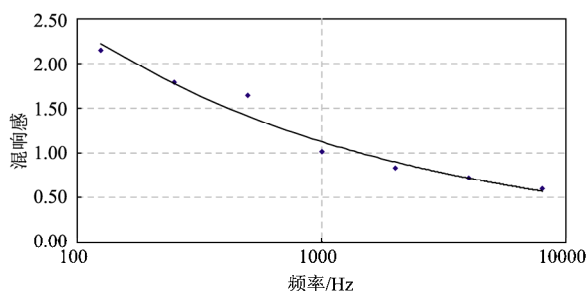


图8 带限噪声的频率与连续混响感的关系  
(频率轴按对数标度)

### (4) 空间结构与混响感的设计

混响时间的设计只需要考虑房间的总容积和总吸声量,混响时间与房间的总容积成正比与总吸声量成反比。但是主观混响感的与空间结构的关系就要复杂得多。图9到图14是在混响感的因素分析实验中得到的混响感与不同的空间参数或反映

空间结构的变量之间的关系<sup>[22,24-25]</sup>。这些实验结果可以作为在混响感的设计中对空间结构进行设计的定性参考依据。

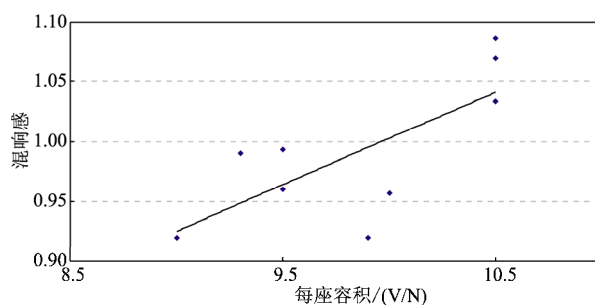


图9 每座容积与混响感的关系

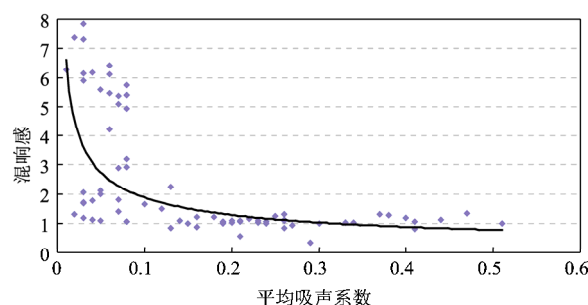


图10 平均吸声系数与混响感的关系

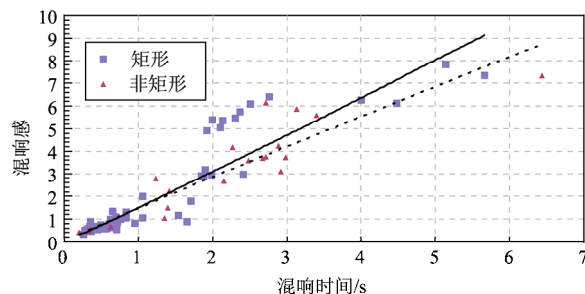


图11 房间体形对混响感的影响

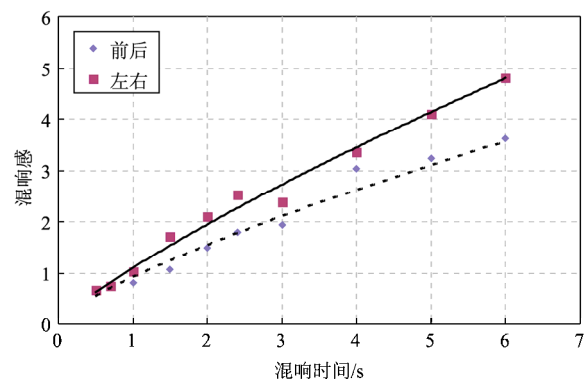
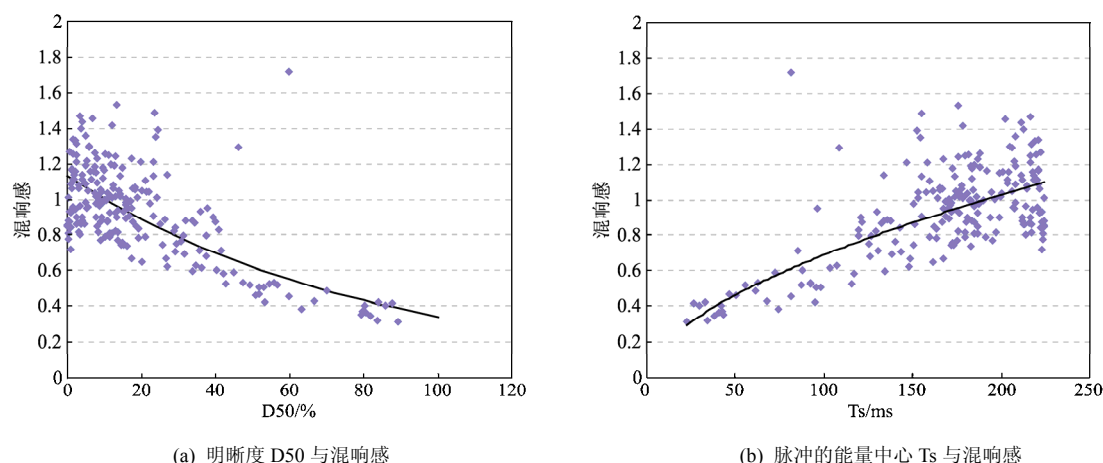


图12 反射声方向对混响感的影响



(a) 明晰度 D50 与混响感

(b) 脉冲的能量中心 Ts 与混响感

图 13 房间脉冲响应参数与混响感的关系

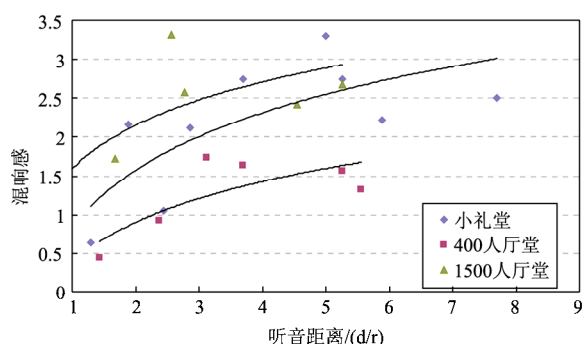


图 14 三个厅堂中听音距离与混响感的关系

混响时间与总的房间容积成正比,但是主观混响感与每座容积成正比,这反映了每个听众席得到的“音乐空间”对主观混响感的影响很密切。平均吸声系数反映了房间的空间结构的“凹凸”程度,同样的总吸声量下,房间表面的“凹凸”程度越大,平均吸声系数越小,混响感越大,但是按理论计算的混响时间是不变的。总体上来说矩形结构的房间比非矩形结构的房间能营造出更强的混响感,因为矩形房间能提供更多的侧向反射声。两侧来的反射声比前后方向的反射声能提供更强的混响感。声音的接收点在房间中的具体位置会直接影响到感知点处的房间脉冲响应函数的结构和相对的感知距离,这些结构参数对混响感也有影响,在实际的听众席的布局设计中也应该考虑这些因素的影响。

## 6 混响与音乐情感感知

声音的内容和其所表现的艺术内涵对混响感

也是有影响的,同时混响条件也影响着对声音艺术作品的情感感知<sup>[30-34]</sup>。对舞台表演的混响效果设计,也应该考虑到声音的内容。一般来说,语声比音乐更容易感觉到混响感<sup>[24]</sup>。图 15 为 90 首民乐在相同的混响时间下所感觉到的混响感<sup>[22]</sup>,可见音乐的内容,包括音色和情感表现,对混响感的感知都有明显的影响。图 16 是 90 首民乐在各自的最佳混响时间处理下的混响感<sup>[22]</sup>,说明音乐的最佳混响感应该也是与音乐的内容相关的。

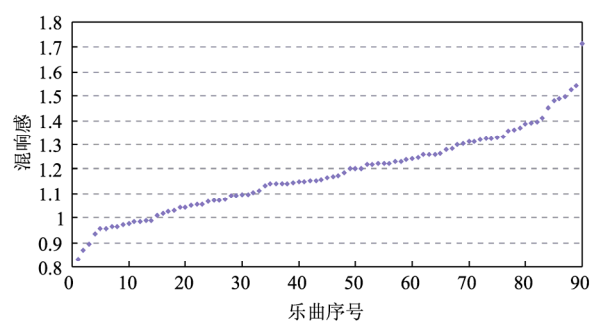


图 15 混响时间为 1.3 s 时 90 首民乐片段的混响感排序

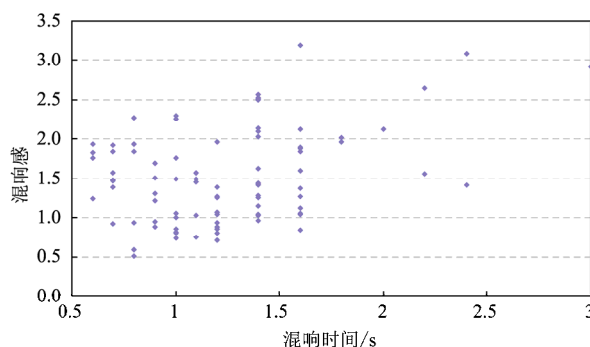


图 16 最佳混响时间下 90 首民乐片段的混响感

图 17 和图 18 分别是在相同的混响时间处理下,“愉快”和“神圣”两种不同的情感尺度的变化对主观混响感感知的影响,可以看出对不同类型的情感,其情感程度的强弱对混响感的感知影响有可能是完全相反的。一般的规律是:随着“愉快感”的增加,混响感的感知会下降,然后趋于稳定。而随着“神圣”感的增加,混响感的感知也一致性地增加。图 19 是混响处理对“悲伤感”感知的影响,随着对作品的混响处理的增加,“悲伤感”先增加,在 3~4 s 之间达到极值,然后逐渐下降。图 20 是混响处理对“闲适感”的影响,随着对作品混响处理的增加,“闲适感”逐渐下降并趋于平缓。

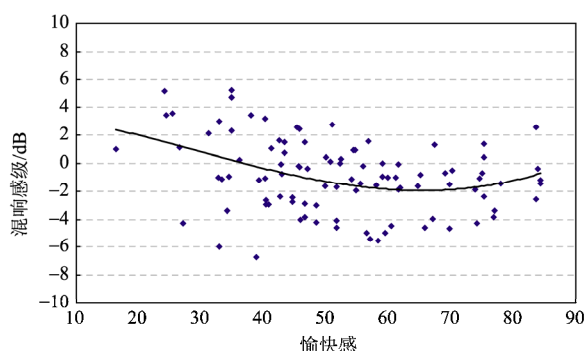


图 17 “愉快”程度对混响感的影响

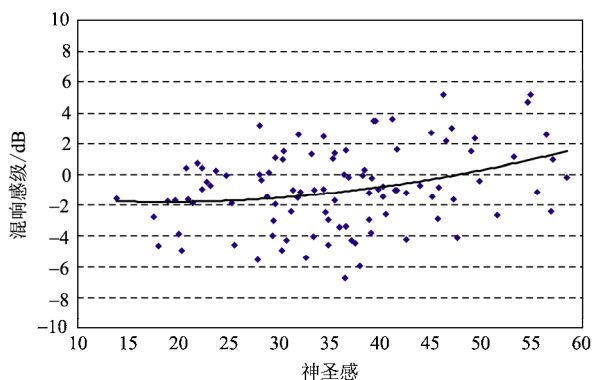


图 18 “神圣”程度对混响感的影响

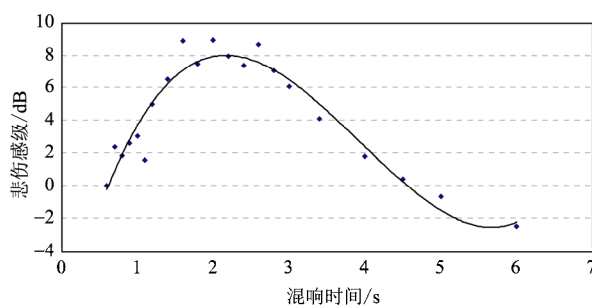


图 19 混响处理对“悲伤”感的影响

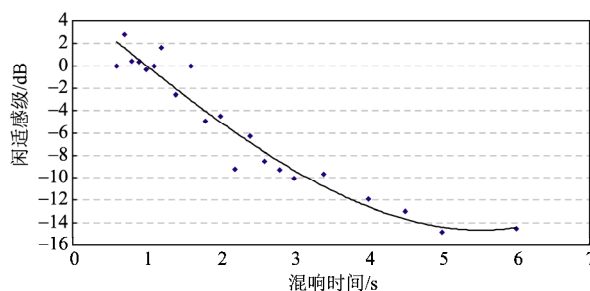


图 20 混响处理对“闲适”感的影响

## 7 总结

有界空间里的混响是一个物理过程,对这个物理过程的描述也不是简单的一个混响时间所能完成的,完整地描述这个物理过程需要从多个方面来看。所以当考虑到声音是被人所感知的时候,主观混响感也就是一个复杂的需要多因素分析和描述的听觉生理和心理问题。混响的设计在人们对声学规律所知甚少的年代是一门经验艺术,有了混响时间的理论后又习惯于把它作为一门纯粹的工程技术。从以人为本和听觉关怀的角度出发,混响设计应该是人所体验到的混响感的设计,而不是简单的混响时间的设计。

鉴于我们目前对主观混响感的认知机理的了解其实并不深入,完全凭借科学和技术手段对混响感进行设计往往还是无从下手,所以混响设计在目前还是应该让它回归到科技艺术的层面来。为了了解混响感这个问题的复杂性和多面性,本文综述了我们近年来对混响感知的一些研究工作,这些工作大多也是探索性的,结论不一定准确,而且肯定有一些争议。但是相信这些工作对进一步的研究是有启发的。

## 参 考 文 献

- [1] 孙广荣. 混响时间百年研究[J]. 电声技术, 2008, 32(6): 4-5.
- [2] 马大猷. 赛宾前后的声学, 声学基础研究论文集[G]. 北京: 科学出版社, 2005: 715-722.
- [3] MORSE P M, INGARD K U. Theoretical Acoustics[M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1968, 558-578.
- [4] 莫尔斯 P M. 振动与声(南京大学翻译组)[M]. 北京: 科学出版社, 1974: 382.
- [5] 沈嶷. 电声词典[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 456, 473-474.
- [6] 孟子厚, 戴璐, 赵凤杰. 汉语语境下混响感的语意调查与分析[J]. 声学学报. 2010, 35(3): 366-374.
- [7] BERANEK L. Concert Halls and Opera Houses[M]. New York:

- Acoustical Society of America, 1996.
- [8] ANDO Y. Concert Hall Acoustics[M]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1985.
- [9] ANDO Y. Architectural Acoustics[M]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1998.
- [10] 何穆. 民乐混响感主观偏爱度的实验测量和分析[D]. 中国传媒大学硕士论文, 2008 年 5 月.
- [11] 孟子厚, 赵凤杰. 民乐片段混响感主观偏爱度的初步实验[J]. 应用声学, 2007, 26(1): 41-45.
- [12] 石蓓. 民乐自相关函数有效持续时间的影响因素分析[D]. 中国传媒大学硕士学位论文, 2006 年 5 月.
- [13] 苏昱. 民乐听闻环境参数与其信号特征参数之间的相关性分析[D]. 中国传媒大学硕士学位论文, 2008 年 5 月.
- [14] 梁贵堡. 利用音乐讯号之自相关函数书技术研究中国古建筑空间之音响环境特性[D]. (台湾) 朝阳科技大学建筑及都市设计研究所硕士论文, 2003 年.
- [15] SERAPHIM H P. Untersuchungen über die Unterschiedsschwelle exponentiellen Abklingens von Rauschbandimpulsen[J]. Acustica, 1958, 8: 280-284.
- [16] KARJALAINEN M, JÄRVELÄIENE H. More about this reverberation science: Perceptually good late reverberation[C]. New York: 111th AES Convention, preprint 5415, 2001.
- [17] NIAOUNAKIS T I, DAVIES W J. Perception of reverberation time in small listening room[J]. J. Audio Eng. Soc., 2002, 50(5): 343-350.
- [18] 何穆, 赵凤杰, 孟子厚. 噪声时长差别阈限的实验[C]. 厦门: 中国声学学会 2006 年全国声学学术会议, 2006.
- [19] 赵凤杰. 民族器乐主观混响感差别阈限的实验研究[D]. 中国传媒大学硕士论文, 2006 年 6 月.
- [20] 赵凤杰, 孟子厚, 盛胜我. 民族器乐主观混响感差别阈限的测量[J]. 声学学报, 2008, 33(6): 498-503.
- [21] 赵凤杰. 双斜率衰变声场的混响感研究[D]. 同济大学博士论文, 2010 年 6 月.
- [22] 戴璐. 混响感的因素分析[D]. 中国传媒大学博士论文, 2012 年 5 月.
- [23] MENG Zihou, DAI Lu. Test on the Exponential Law of Reverberation Perception and the Reverberation Time[C], Shanghai: Inter-noise 2008,
- [24] 戴璐, 梁志俊. 北京教堂声学特性的试验分析[J]. 电声技术, 2012, 36(4): 5-8.
- [25] 戴妮娜. 民乐观演环境的声学设计[D]. 中国传媒大学硕士论文, 2010 年 5 月.
- [26] 庄周, 戴璐, 孟子厚. 音量对主观混响感的影响[J]. 电声技术, 2011, 35(11): 36-38.
- [27] DAI Lu, MENG Zihou. Reverberation perception of band-limited noise[C]. Osaka, Japan: The 40th International Congress & Exhibition on Noise Control Engineering, 2011.
- [28] 莫方朔, 王季卿, 李晴. 无顶空间内混响感特性的研究[J]. 声学学报, 2012, 37(1): 30-35.
- [29] 乔新巧, 莫方朔, 盛胜我. 混响感频率特性的初步研究[C]. 江苏南京, 2010 年建筑环境科学与技术国际会议论文集, 2010: 634-637.
- [30] 夏博雯. 混响感与音乐情感感知的相互影响[D]. 中国传媒大学硕士论文, 2011 年 5 月.
- [31] 庄周. 混响对音乐情感感知的影响[D]. 中国传媒大学硕士论文, 2012 年 5 月.
- [32] 庄周, 孟子厚. 混响对音乐情感感知的影响[J]. 演艺科技, 2012(8): 10-13.
- [33] 夏博雯, 孟子厚. 音乐情感对混响感感知的影响[C]. 广州: 中国声学学会第九届青年学术会议, 2011.
- [34] 夏博雯, 孟子厚. 混响处理对音乐情感感知的影响[J]. 声学技术, 2010, 29(6): 350-351.