

# 声环境评价的双耳听觉适应方法

贺加添

(同济大学声学所 上海·200092)

声环境评价涉及到许多的参量,有声学量也有听觉量。听觉量一般需通过听觉实验来测量,这在实际中常常是很难实现的。本文介绍的“声环境评价的双耳听觉适应方法”,通过模拟人的左右两耳的拾音及听觉系统的双耳信号处理过程,按人的主观判断标准,用物理测量的方法估计听觉量的大小。本方法尚处于发展之中。

## Evaluating sound environments with binaural aurally-adequate sound-measuring method

HE Jiatian

(Institute of Acoustics, Tongji University)

The evaluation of sound environments is a multifactorial task, comprizing measurement of both acoustic and auditory quantities. In general, auditory quantities are measured by means of listening test with human subjects, although they are difficult to carry out. aurally-adequate sound-measuring method aims at estimating auditory quantities from the results of physical measurements by using binaural record and binaural signal-processing technology.

### 1 引言

众所周知,常规声级下声环境对人的影响主要是心理方面的,声环境影响心理的因素很多,如声音的内容、声级、持续时间、频谱分布、时序结构及空间特性等。一般而言,常把描述声环境的诸多参量分为物理量和听觉量两大类。物理量是一种客观量,可通过物理仪器进行测量,如声压级、频率等

等;听觉量是一种心理量,可通过听觉实验来量度,如响度、丰满度等等。

理论上讲,听觉量是不能用物理方法来测量的。但若对每个声环境的听觉量都通过听觉实验来确定,显然是既花钱费力,又不易实现。于是产生了“听觉适应方法”,通过分析听觉量的特点,用物理测量的方法,按人的听觉系统的标准,去估测听觉量的大小,

收稿日期: 93-11-22

修回日期: 94-1-20

英文里称其为 AASMM (即, aurally-adequate sound-measuring method)。

听觉适应方法的重要性, 早已认识到, 如 A 计权声级的测量, 就是一种模拟人耳单耳响度的听觉适应测量方法, 三十年前由 ISO 组织制订了有关 A 计权声级的测量标准。该方法由于较为简单, 不能精确反映人耳的听觉特性, ISO 在制定关于 dB(A) 的标准时就指出: 应由更好的标准化的听觉适应测量方法取代它。

后来, 为了更好地确定单耳响度, 虽然研制了多种形式的响度计。但这种仪器一直未能广泛地推广使用, 其主要原因有两个: 一是忽略了双耳的信号处理过程, 二是人们存在这样的疑问: 在实际测量中, 基于一个传声器拾音的响度测量方法能比 A 声级提供更多更有用的信息吗?

前面已提到, 声环境对人心理影响的参量很多, 单凭一个 A 计权声级, 在很多场合是无法对声环境做出全面评价的。下面将要提到的双耳拾音技术, 由于考虑了双耳传递函数的作用, 在它拾取的信号中, 包含了对所有听觉量的贡献, 若再加上双耳信号处理技术, 从原理上讲, 它将是一种全面估计声环境听觉量的听觉适应方法。

## 2 原理<sup>[1~3]</sup>

双耳听觉适应系统主要由两部分组成: 双耳拾音系统及模拟听觉系统的双耳信号处理系统, 如图 1 所示。双耳拾音可将很小的传声器放入人的耳道中拾音, 但一般的作法是将传声器置入人工头耳道的鼓膜处。人工头具有人头的形状, 包括鼻子、耳廓及耳道等, 有时还有躯干, 甚至还模拟鼓膜的声学阻抗。精确地复制一个人工头, 能保证在人工头中声波的传输过程与真实人头中的传输过程相同。

我们知道, 人的听觉系统是一个高灵敏

度、大动态范围(0~120dB)的“精密仪器”, 人对声环境的主观判断、心理反映都是通过人的双耳拾取信号, 听觉系统对该信号进行处理的结果。

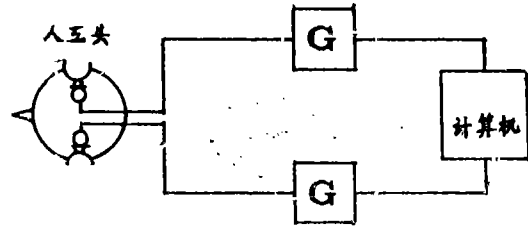


图 1 双耳听觉适应系统示意图

双耳听觉适应系统与传统的声学测量系统在结构上有很大的差异。首先, 表现在拾音系统上。传统的拾音系统为一单点传声器, 传声器的传输特性与方向和频率无关。而双耳拾音系统则有两个输入信号, 为双信号输入系统。人的外耳是一个滤波器, 由于声波在耳廓、头、躯干上的绕射和反射及耳道中的共振, 使该滤波器具有很独特的滤波特性。双耳信号不仅与声波的频率有关, 而且与声源的方向有关, 对某些频率, 当声源相对于人头的方向发生变化时, 声压级相差高达 30 dB。这就使得双耳拾取的信号与传统拾音信号之间产生差别及双耳信号更能反映人的听觉特性。

众所周知, 数学上通过传递函数来描述双耳的传输特性。对于一个线性系统, 若从频域上讨论, 其输出信号等于输入信号与传递函数的乘积。从理论上讲, 传递函数包含了所有对输入信号起作用的参量的贡献。

双耳的传递函数(若在频域上讨论)定义为鼓膜处的声压  $P_1(f)$  及  $P_r(f)$  与人头不在时, 原人头中心位置的声压值  $P(f)$  之比, 即

$$\text{左耳的传递函数} = P_1(f)/P(f)$$

$$\text{右耳的传递函数} = P_r(f)/P(f)$$

人工头双耳传递函数可在实验室里严格测定。

人工头系统现已形成商品出售, 如德国

的Neumann和Head Acoustics GmbH公司,丹麦的B&K公司等生产人工头系统。

计算机双耳信号处理系统是一个很关键的部分,它要模拟人的听觉系统的信号处理过程,才能得出有关听觉量的值。听觉系统的信号处理过程是一个很复杂的过程,它包括频谱和时序分析,时域和频域上的各种卷积、相关和权重运算等。对于某些简单的听觉量,如单耳响度、钝度、锐度等,由于已有了这方面的估算公式,计算机已能很好处理。对于那些较复杂的听觉量的信号处理,可以说,其研究工作还刚刚起步。由于现代科学技术的总体水平已很高,对听觉量的信号处理方面并不存在什么难以逾越的障碍,可以预料在某些方面,如方向或信号的选择性及双耳响度等,近期会有大的进步。

在现阶段,由于双耳信号处理技术跟不上,可采用图2的形式,由人脑直接对信号进行判断。同时图2也可作为模拟声环境下的主观听觉实验系统。

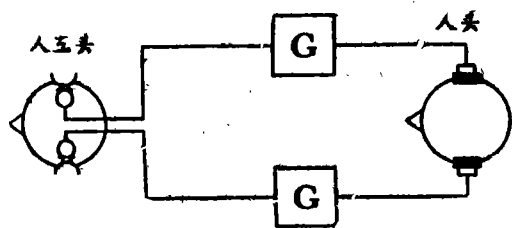


图2 主观听觉实验系统

图1和图2中的G为等化器。人工头中的传声器及装置中的其它电路和器件,都具有各自的频响特性,为使整个系统的传递函数在所要求的频段上始终为1,则需要一个补偿滤波器G来保证输出的信号与双耳鼓膜处的声压信号完全一致。

值得说明的一点是,人工头作为双耳听觉适应系统的拾音部分,只可能按大多数人的平均头型进行制作,不同头型(包括头部形状、有无头发、躯干等)之间差异的大小决定了拾音系统的适应范围。根据作者做

过的实验,个体差异对双耳信号的影响不明显,而且主要在高频段(大于4 kHz),作为一级近似,可以忽略个体差异的影响。不过,有作者报导<sup>[4]</sup>,在人的双耳中拾取的信号,再在同一人的双耳处重放,可以避免前向定位的困难。

听觉系统是一个很精密的“仪器”,但它只具有有限的记忆时间,如果不是不可能的话,也很难跟踪和记录声环境中所有听觉量的变化。在这方面,双耳听觉适应系统能贮存和记忆大量的信息,具有人的听觉系统无法比拟的优势。

### 3 双耳听觉适应系统的特性

由于双耳的特殊传声机理及听觉系统特殊的双耳信号处理过程,使得双耳听觉适应测量结果与传统声学测量结果在某些方面会得出不一致的结论,具有许多独特的性质,现略举几例:

#### (1) 空间特性

若有多个声源在空间中同时发声,用人工头系统拾音,再通过耳机对人重放,则听者能明显感觉到声场的空间分布。如若用传统的单点传声器拾音,则听不出声场的空间感来。传统的声测量法不能用来分析声场的空间特性。

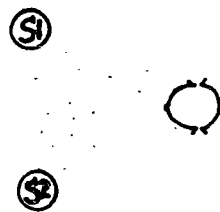


图3 声源对称布置图示

又如图3中的两声源S1、S2与人头的中线对称布置,若两声源信号刚好相反,由于声波的相消原理,在参考点(人头中心点)声压为零(传统方法测量结果)。当人头位于参考点时由于双耳在空间上的距离,导致两

信号之间存在声压差和相位差。除了低频段稍受影响外，在高频段，通过人耳的补偿作用，几乎不受影响。事实上，若我们测量某一路双耳信号的A计权声压值（只考虑频率大于300Hz的部分）所得结果与声源位相是否相同或相反无关。

## (2) 信号的选择性

若空间中分布多个声源，各声源的声功率大致相同但发出各不相同的声信号。当某一声源停止发声时，用传统的方法进行测量，声级并没有发生多大的改变。若用人耳的听觉系统对双耳信号进行处理，却能探测到声信号的明显差异，即输入到双耳的信号发生了变化。

又如在一个盛大的鸡尾酒会上，同时有许多人在谈话，对于人的听觉系统，可以把注意力集中于某人的说话，增大该信号的清晰度，抑制其它信号的干扰。也就是说，人耳的信号处理系统，具有对声信号的选择性。这就是为什么有一只耳朵失聪的人在嘈杂的声环境中难于听清对方谈话的原因。在这点上传统单点传声器是无法实现的。

## (3) 掩蔽效应<sup>[5]</sup>

在声掩蔽方面，双耳听觉适应测量结果与传统声测量结果之间也存在明显的差异。若两声源位于水平面内，方位角分别为 $80^\circ$ 和 $-50^\circ$ ，前者发出中心频率为4 kHz的1/3倍频带噪声，后者发出频率为4 kHz的正弦脉冲。当人倾听用单点传声器录制的信号时，听不出脉冲声的存在。若用人工头录制双耳信号，再通过耳机重放，则能非常清晰地听出噪声中的纯音脉冲来，如图4所示。产生明显差异的原因，一是双耳的传递函数的作用，二是听觉系统双耳信号处理的结果。

由此可以推断，双耳的响度与单耳的响度是不同的。Blauert<sup>[5]</sup>做过如下实验，用60dB的粉红噪声去掩蔽水平面内的以 $60^\circ$ 角入射的纯音，噪声以两种方式入射，一种是平面波，入射角为 $0^\circ$ 度；另一种为无规入射，

得出的双耳听阈声级如图5所示。图5表明：低于2 kHz时，混响场的掩蔽效果比平面波正入射效果好；高于2 kHz时，平面波正入射效果比混响场稍好。一般而言，双耳掩蔽阈与单耳相比，存在明显的差别，大约低2~15dB。

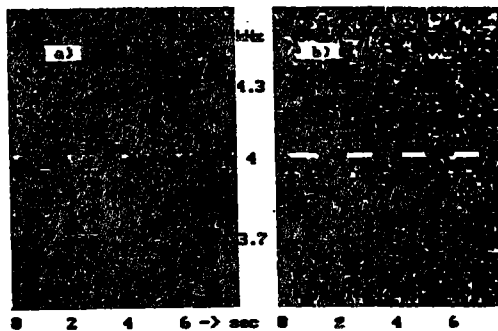


图4 声掩蔽时频图，(a)单点传声器记录的信号；(b)人工头某通道记录的信号

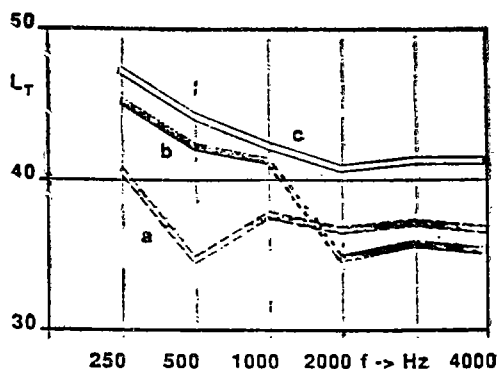


图5 水平面内以 $60^\circ$ 方位角入射的纯音的掩蔽阈 $L_r$ 。(a)60dB的掩蔽粉红噪声以平面波正入射；(b)60dB的掩蔽粉红噪声无规入射；(c)单耳掩蔽阈

## 4 结束语

前面我们提出了用物理测量的方法估计听觉量大小的双耳听觉适应方法，但并不是说心理量(听觉量)都能用物理方法来测量，很多时候还是需要严格的听觉实验的，如视觉环境的影响、人对声环境的认识程度及人的主观意志等都可能影响人对声信息的判断

(下转88页)

### 3 结束语

综上所述,对一端接有圆柱杆的复合超声变幅杆,可用“替代法”来完成其设计,方法简明。需要指出的是,为使高斯形变幅杆的输出端有一定的截面积,文献<sup>[1]</sup>提出可用一段均匀短棒来代替其会聚端适当的截面截

去一段。本文正是将其提出的方法推广到一端接有圆柱杆的复合超声变幅杆中,从而得到上述结果。

#### 参考文献

- 1 林仲茂. 超声变幅杆的原理和设计. 科学出版社, 1987.

(上接78页)

和解释。双耳听觉适应方法也为我们在实验室里建立模拟声环境,进行听觉实验所需的高保真声环境的重放声信号,提供了条件。

双耳听觉适应方法不是对传统声学测量方法的补充,而是把测量技术拓展到一个更广大、更重要的领域。特别是对一些复杂声场的评价,它能得到比传统测量方法更多、更有用、更符合人的主观标准的信息。尽管它本质上还是一种物理测量方法,但它是以人耳听觉系统感知的标准去描述、去评价声环境的。不久的将来,它将作为一种可靠的声环境评价方法,应用在我们的研究和实际工作中。

钟祥璋教授对本文提过宝贵意见,作者在此表示感谢!

#### 参考文献

- 1 徐勇、王炳麟:“用于厅堂音质评价研究的人工头传输系统的特性研究”声学学报, 1992, 17(4):262
- 2 贺加添. 可听声声场模拟技术. 声学技术, 1993, 12(4):20~25
- 3 H. Moller. Fundamentals of binaural technology, Applied Acoustics 1992, 36:171
- 4 R.A. Butler. Spectral cues in the localization of sound in the median sagittal plane. J. Acoust. Soc. Am, 1977, 61:1264
- 5 J. Blauert. Evaluating sound environments with binaural technology—Some basic consideration. J. Acoust. Soc. Jon (E), 1993, 14:3