



## 噪声对人的影响 (II)

### ——噪声对听觉的影响

沈 隰

(中国科学院声学研究所)

1990年5月4日收到

人耳可以分成三部分：外耳、中耳和内耳。外耳包含耳壳、耳道和鼓膜。中耳是一个小腔，有欧氏管通到鼻腔，使鼓膜两侧保持平衡。中耳内有三块听小骨：椎骨、砧骨和镫骨。椎骨连到鼓膜上，镫骨则连到内耳的卵圆窗。三块听小骨的作用是把鼓膜上微弱的振动放大后传入内耳。内耳的听觉部分是耳蜗，它的形状象螺旋管，中间有基底膜把它分隔为两半，膜端有小孔通道。耳蜗内充满淋巴液。基底膜上有柯蒂氏器官，其上有大量灵敏的毛细胞。毛细胞分两层，均匀地分布在基底膜上。外毛细胞把基底膜振动放大并传给内毛细胞，后者的神经末梢受到刺激就发出神经脉冲，把信息通过听神经系统传给大脑。

受噪声影响的人耳的功能主要是分析声音和感知响度。听觉系统分析声音以便将声波中的信息从不需要的噪声中判别或区分出来。在听声音过程中，噪声总是存在的，噪声对需要信号的干扰或掩蔽，从某种意义上来说是分析的逆过程。听觉系统能够分析复杂声的频谱分量，但由于过量地遭受噪声影响，频谱分析功能可能部分或全部受到干扰，从而使人耳被社会中各种噪声所损伤。噪声干扰产生的掩蔽效应使人们听不到声信号。较强的噪声能引起暂时性听力阈移 (TTS)，有时会损伤鼓膜，或者传入内耳破坏毛细胞形成永久性听力阈移 (PTS)。

#### 一、掩蔽和听觉反射

噪声对听觉的一个重要影响是掩蔽效应。一个需要声音的听阈因另一个不需要声音的存在而提高的现象称为听觉掩蔽。所提高的分贝数就是掩蔽量。掩蔽现象在很大程度上与任何心理或非听觉系统的功能无关。

在纯音干扰情况下，被掩蔽声信号和掩蔽声的频率相同时，掩蔽量最大。但掩蔽的影响较广泛，更高频率和更低频率的声音也受到掩蔽。纯音掩蔽现象表明最大的掩蔽出现在掩蔽声频率附近，掩蔽量随掩蔽声的增强而加大，掩蔽曲线的形状决定于掩蔽声的强度和频率，低频声的掩蔽范围大于高频声的掩蔽范围。当噪声掩蔽纯音时，在以纯音频率为中心的一定频带宽度内的噪声总功率起作用，这个频带宽度称为临界频带宽度。窄带噪声被一个稍高于噪声频率和一个稍低于噪声频率的纯音掩蔽时或者两个连续噪声相互掩蔽时也可以用临界频带宽度的概念。

在掩蔽现象发生在掩蔽声和被掩蔽声同时作用的条件下称为同时掩蔽。但掩蔽也可发生在两者不同时作用的条件下。被掩蔽声作用于掩蔽声之前的掩蔽称为后掩蔽。掩蔽声作用在前，被掩蔽声作用在后称为前掩蔽。

在噪声中从保护人耳来说，听觉反射起着

重要作用,但这种反射也影响对某些声音响度的感觉。在中耳内有两块小肌肉(镫骨肌和鼓膜肌)依附于连接鼓膜和耳蜗的听小骨上,它们的作用是传递听觉反射。听觉反射能在掩蔽、响度和听觉疲劳等方面影响噪声的效应。当耳朵暴露于阈级以上约80dB的声音时,镫骨肌和鼓膜肌就会收缩。如果声音非常强,一只耳朵内的声音也将在另一只耳朵内触发反射,虽然受到声音刺激的耳内收缩较未暴露于声音的耳内收缩更强烈些。总之,声音强度增大,收缩程度也随之增大。在强烈的稳态噪声作用约15分钟后出现连续刺激时,反射似乎会适应或缓和下来,而肌肉并不疲劳。因此可以认为,为了补偿随着长时间的刺激而逐渐降低的声音响度,反射在连续不断的刺激下逐渐缓和。因此对于连续的强噪声暴露,听觉反射不能有效地防护听力损失,但它能防止由于炮声暴露引起的听觉疲劳。对于间歇性和强烈的脉冲噪声最易触发和维持反射。根据刺激强度,反射的执行时间约35ms—150ms。但应指出,反射是无意识的,它的出现不易觉察。

听觉反射可用作诊断某些听力疾病的手段,特别是,如果没有听觉反射,则表明有中耳传导性疾病。具有明显听力损失的人,其听觉反射比正常人的听觉反射要弱些。

## 二、响 度

具有音调的响度是声音最基本的感觉属性。响度定义为声音的主观强度,它与声音可能具有的任何意义无关,仅是听觉判断声音强弱的属性,反映由于声音入射到鼓膜使听者获得的感觉量。响度主要决定于引起听觉的声压(或声强),但受频率的影响也很大。

人耳有累积响度的一段时间,有时称为耳的“时间常数”,约等于1s用来检测安静时和有掩蔽噪声时的纯音。在阈上级检测声音响度变化的时间常数大约为0.3s。在临界累积时间以外发生的声能对于在这段时间内感觉到的声音响度不起作用。这段临界累积时间完全不受

应用声学

声音的频率分量约束。然而更重要的是在处理积分感觉响度而不是声能本身。

描述响度的声音感知作用有四种基本心理-物理关系:(1)需要使可听声频率范围内每个纯音或临界频带宽度噪声的声强级主观上呈现相等的响度;(2)需要得到声音响度稳定的持续时间(即临界累加时间),对于人耳大约为1s;(3)响度的增长随声谱的带宽而展宽;(4)响度的增长随给定声音的物理强度而增加。弗莱彻和蒙森测量了响度,他们规定1000Hz纯音作为标准声,其它纯音对照它来判断响度,得出了等响曲线。斯蒂文斯建议用宋(Sone)作为响度单位,1sone是1000Hz声压级40dB纯音所引起的响度。以后的研究获得了相对于1000Hz纯音或中心频率为1000Hz的窄带噪声来判断的纯音和窄带噪声的响度。对于大约1s的持续时间,响度正比于经适当频率计权的声音的能量。持续时间小于1s声音的响度与它的“脉冲性质”以及所具有频率计权能量大小有关。但是对于长于大约1s的持续时间的噪声,它的响度仍然是在相同的主观声级。

关于评价日常生活中噪声的响度,用等响曲线计算太复杂,因此白瑞纳克建议采用倍频带响度的宋值简单累加以给出一个合理的近似方法来评价一个或几个倍频带无规噪声的复合声音响度。因此具有和纯音相同总声压级的中心频率相同的倍频带无规噪声和纯音假设是等响的。稍后提出了评价具有连续频谱复杂声音总响度的新方法,即斯蒂文斯法和茨维克法。国际标准组织(ISO)已将斯蒂文斯提出的Mark VI法推荐为计算用倍频带滤波器测得的声音响度的方法,而茨维克法用于三分之一倍频带带通滤波器测得的声音<sup>12</sup>。

## 三、老年性、社会性和病理性耳聋

由于衰老(老年性耳聋),在日常生活中噪声的暴露(社会性耳聋)和由其它原因引起的各种常见耳病(病理性耳聋)会引起听觉系统的听阈灵敏度变化。习惯上社会性耳聋只指非工业

噪声导致的听阈上移,而工作场所导致的听阈上移被视为工业噪声导致的听阈上移。

美国公共卫生署 (USPHS) 在 1960—1975 年多次对美国公民进行的听力调查提供了有关问题的综合性数据库。这次调查的人数非常多,被调查的人是从各地和各类人员中任意选择的。调查结果表明听力灵敏度随着成长而增加,直到大约 16 岁为止,18—20 岁左右以后的听力灵敏度逐渐减退。社会性耳聋始于少年时期,男性经受的强噪声暴露比女性多。由听力调查获得的结论如下:(1) 种族和性别在决定听力灵敏度方面不是重要因素,(2) 预测老年性耳聋的一般方法好象也能预测工业化社会中老年性耳聋加上社会性一病理性耳聋,(3) 工业化社会和无噪声的非工业化社会的纯音听阈调查提供一个基础来判断老年性耳聋,(4) 工业化社会中妇女的噪声暴露显然比男子少,而且她们患社会性耳聋或病理性耳聋也明显低于男子,(5) 在工业化社会中耳科检查确定的病理性耳聋很普遍。

由于噪声的愈量暴露而引起耳蜗内毛细胞的损伤通常是用纯音的听阈上移来测量。为了定量描述工业噪声暴露的阈移(听力损失)必须确定由于年龄(老年性耳聋)和日常生活中噪声(社会性耳聋)产生的阈移。对于没有噪声暴露的社会和工业化社会中的听阈进行比较,可求得由于社会性一病理性耳聋而导致的平均阈移,它的大小对于 70 岁的男子在 4000Hz 时大约为 25dB,而对于女子则为 10dB。在这些阈移中的一部分(对于男子为 15—18dB)可能是由于在工业化社会中人们的病理性耳聋比非工业化社会中更为严重而引起的。

病理性耳聋看来是所有听力测试频率都引起平均阈移 5dB 的原因。通常工厂工人的听阈比总人口的平均值约升高 10dB。

#### 四、噪声暴露引起的听力损失

在噪声环境中即使暴露很短的时间,离开噪声场所到安静环境下用听力计检查,也会发

现听力下降.这种现象是由于听觉疲劳形成的,但在充分休息后听力会恢复.这种听力降低称为噪声引起的暂时性阈移 (NITTS),也称听觉疲劳.一般测 TTS 用暴露后两分钟的数值 (TTS<sub>2</sub>),以后听力的恢复只和这个值有关,和暴露方式无关.但是,如果长期持续不断地受到强噪声的刺激,这种听觉疲劳就不能恢复.这时内耳会发生器质性病变,由“暂时性阈移”变成“噪声引起永久性阈移 (NIPTS)”或耳聋.噪声引起的 TTS 和 PTS 之间有一定关系.日常生活中的噪声是老年性耳聋的一个重要因素.永久性阈移 (PTS) 是指单纯由噪声引起的,因此应该从测得的听力损失减去老年性耳聋的听力损失.

到目前为止,已经完成的研究和分析允许在统计基础上预测由于噪声暴露引起的听力损伤.在这种预测方法中考虑了对于日常生活的噪声(社会性耳聋),非噪声性听觉疾病(病理性耳聋),年龄(老年性耳聋)和暴露的时间特征(间歇性)对纯音听阈的影响.当噪声是周期性地间歇,其相对安静的时间比有噪声的时间更长时,噪声损伤的危险性明显地低于在每天总能量相同但时间差不多的暴露中的危险性.在这些情况下,听觉系统可能损伤的程度小于有时为评价噪声环境而推荐的等能量模型的预测量.显然是因为用阈移测量方法求得的听觉疲劳恢复所需的时间比疲劳累积所需的时间更长些.当在脉冲之间允许有恢复效应时,猝发脉冲声(短于 1s)引起的听觉损伤危险显然可以从能量计权测量来预测.当企图预测猝发脉冲的损伤危险时也要考虑作为保护机构的听觉反射作用.

从暂时阈移的实验室数据和对工业中收集到听力损失数据可发现在 60dBA 声级的稳态噪声中每天暴露 8 小时,暴露 50 年左右,或它的等效暴露量,相对于无噪声暴露的所有人口在 4000Hz 处听阈上移 2—5dB. 这上移量是工业化社会中由典型的老年性耳聋和病理性耳聋引起,但不是社会性耳聋引起.暴露在现代化社会日常生活的噪声中到 70 岁在 4000Hz 会引

起听力损失：对于男性为 8—10dB，对于女性为 5dB。这个损失量是在稳态噪声下每天暴露 8 小时经 50 年左右预测的：对于男性为 75 dBA，对于女性为 70dBA。上述结论与每天生活中测量的噪声能量是一致的。

ISO 已公布了一个标准作为听力保护为目的的职业性噪声暴露的评价<sup>[2]</sup>。近年来美国公共健康机构的研究表明噪声暴露引起的听力损伤可能远大于 ISO-1999 危险表中所预测的，因此 ISO 正在考虑进行修改。

## 五、噪声引起的听力损伤和障碍

噪声导致听力损失的人所经历的在损伤和障碍方面的效果存在着争议，其中一部分是由于相对实用的噪声控制和工人补偿的经济方面的问题。依据美国眼科和耳科学会(AAOO)听力保护委员会颁布的准则，损伤最初定义为纯音听力图和语言交流能力之间的关系。AAOO 于 1959 年提出在安静情况下听懂日常谈话的能力在 500Hz, 1000Hz, 2000Hz 纯音听力的平均值超过相对于 ISO 听力计零级 25dB 时，则认为是损伤了。目前 AAOO 正在考虑增加 3000Hz 来求平均。对于正常听力在 500Hz,

1000Hz, 2000Hz 的平均阈移为 39dB 的人们，在实验室测试中能正确感知 25% 的句子和 10% 的单字；鉴别频率和响度的能力只能保持听觉系统全部能力的 50%。对于在 500Hz, 1000Hz 和 2000Hz 的平均听力级为 39dB 的人，大约有 75% 的人有社交障碍以致引起日常生活中语言通讯的困难。对于 500Hz, 1000Hz 和 2000Hz 的平均听力级在 55dB 左右的人通常不能感觉到谈话声级的语言存在。

在噪声很强的工厂里耳聋的发病率很高。在 95dB 的噪声环境里长期工作，大约会有 29% 的人丧失听力，即使噪声只有 85dB，也还会有 10% 的人发生耳聋。在 110—120dB 的噪声场内会引起耳痛，更强的噪声会使听觉器官损伤，例如，如果人们突然暴露在高强度噪声下（140—160dB）就会使听觉器官发生急性外伤，引起鼓膜破裂，出血，螺旋器从基底膜急性剥落，甚至双耳完全失聪。在战场的爆炸声浪中就会遇到这类暴震性耳聋。

### 参 考 文 献

- [1] ISO-532-1975 响度的计算方法；
- [2] ISO-R1999-1975 为听力保护对职业性噪声暴露的评价。

（上接 36 页）

力量的发挥配合方面，特别是在研究和开发工作的技术手段（硬件设备和软件支持）方面，还存在着许多问题，也比先进国家落后得多。

我国是多民族国家，现在的研究和开发工作仅限于汉语；对汉语又主要限于普通话。大量的民族语言和方言的言语技术工作还有待开

展，前景是非常广阔的。为了做好我们的工作，一方面需要国内同行通力协作、相互支持、提高水平、减少重复，另一方面也需要国家给予必要的重视和支持，以及加强国内国际的学术交流与合作。