

# 噪声主观评价中的白噪声标准样本法及其应用

邓云云<sup>1</sup>, 陈克安<sup>1</sup>, 李豪<sup>1</sup>, 党博<sup>1</sup>, 刘健犇<sup>2</sup>

(1.西北工业大学 航海学院, 陕西 西安 710072; 2.电网环境保护国家重点实验室, 湖北 武汉 430000)

**摘要:**参考评分法是常用的声音主观评价方法之一,在其中选取标准声样本作为参考样本可以提高不同样本组数据之间的可比性,使不同评价结果之间的横向比较成为可能。然而,不同类型噪声引起烦恼感的机制不同,在部分类型噪声评价实验中,已有标准样本法存在适用性不强的问题。为此,在已有标准样本为纯音的基础上,提出了白噪声标准样本法,针对频谱特性和感知特性明显不同的3组相似噪声组合与不相似噪声组合的烦恼度评价,以待测样本法评价结果为基准,开展了2类标准样本法性能的实验研究。结果表明,纯音标准样本法更适合音调感明显的噪声,白噪声标准样本法更适合音调感不强的宽带噪声。研究了不同参考样本法的烦恼度评价结果之间的转化方法,扩大了标准样本法的适用范围。

**关键词:**标准样本法;烦恼度;主观评价

**中图分类号:** TB533

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-2758(2022)04-0746-09

过量的噪声会对听觉和非听觉健康产生不同程度的负面影响。主观评价实验是定量评价噪声烦恼感的基本手段,评分法是常用方法之一<sup>[1-3]</sup>。研究表明<sup>[4-6]</sup>,在对噪声进行评分时,选取确定的声样本作为参考声样本能得到一致性更高的结果,因此人们更多地采用参考评分法<sup>[7-9]</sup>。使用该方法时,一般会在全体待评价声样本中选取感知特性适中的待评价样本作为参考声样本,因而被称为待测样本法。在评价过程中,如果参考样本与待评价样本类型相同,可比性强,则被试评分一致性高,可得到准确的评价值。但不同实验中选取的参考样本往往不同,使得实验结果之间不具可比性。

为此,Nilsson<sup>[10]</sup>提出将每个实验声样本的烦恼度表示为粉红噪声等效声级,即用具有相同烦恼程度的粉色噪声的声级来表征实验声样本的烦恼度,从而使不同实验样本组的烦恼感结果可进行组间比较,但该方法不能直接显示噪声样本的烦恼度。陈兴旺、翟国庆等<sup>[11-12]</sup>针对不同实验样本组主观评价数据的修正和校准做了研究,在实验样本组中添加

若干粉红噪声作为参考样本,借鉴 master scaling 法对噪声感知烦恼等级评分结果进行组内校准,使不同实验样本组间感知烦恼度的可比性得到了明显提升。

基于参考样本法,陈克安等<sup>[13]</sup>提出了纯音标准样本法,选取 1 kHz-70 dB 纯音作为标准参考样本,进行了纯音和叠加声烦恼度主观评价实验,用标准样本的等效声压级变化值表征音频注入法的烦恼感抑制效果,不仅提高了不同实验样本组结果之间的可比性,也构建了不同噪声控制策略中控制效果评价相互沟通的桥梁。然而,标准样本法中纯音与实际噪声中的多频噪声引起的烦恼感存在差异,在有些类型噪声评价过程中会存在样本可比性弱、评价结果一致性降低的问题。为此,本文提出了一种白噪声标准样本法,对3组频谱特性不同的相似噪声组合与不相似噪声组合烦恼度进行了主观评价;以待测样本法评价结果为基准,进行了2种标准样本法的性能对比研究,分析了2种标准样本法的适用性,验证了白噪声标准样本法的可行性和白噪声标

收稿日期:2021-11-01

基金项目:电网环境保护国家重点实验室开放基金(GYW51202001554)资助

作者简介:邓云云(1991—),西北工业大学博士研究生,主要从事声品质评价与噪声加法控制研究。

通信作者:陈克安(1965—),西北工业大学教授,主要从事环境声的听觉感知及有源噪声控制研究。

e-mail:kachen@nwpu.edu.cn

准样本的选取条件,为标准样本法的应用提供了理论依据。

## 1 参考声样本的选取

### 1.1 白噪声标准样本法

陈克安等人提出的纯音标准样本法<sup>[13]</sup>,以1 kHz-70 dB 纯音作为参考样本,实验过程中,在评价音调感明显的噪声时,被试误判率低,结果相关性强,然而在评价音调感不强的噪声时,参考样本与待评价样本烦恼感的可比性弱,被试误判率变大,评价结果相关性明显降低。为此,本文提出白噪声标准样本法,与纯音标准样本法的适用性进行对比,以扩大标准样本法的适用范围。白噪声标准样本法中,以70 dB(A)白噪声作为参考样本,采用参考评分法对噪声样本进行烦恼度评价。每次实验向被试播放一对声样本(5 s 70 dB(A)白噪声+2 s 空白音+5 s 待评价噪声样本),被试根据待评价噪声样本相对于70 dB(A)白噪声的烦恼感程度,对其进行打分。更详细的使用步骤可参阅文献<sup>[13]</sup>中标准样本法的使用步骤,本文不再赘述。

### 1.2 不同参考声样本的选取步骤

#### 1) 待测样本法

根据已有研究<sup>[8-9]</sup>,待测样本法中参考声样本的烦恼感应在全体声样本中处于中等位置附近。目前广泛使用的表征噪声烦恼感属性的心理声学参量包括响度、粗糙度、波动强度、尖锐度、音调度<sup>[12,14]</sup>,故本研究待测样本法中选取参考声样本的步骤如下:

(1) 计算待评价噪声样本组的心理声学参量(响度、尖锐度、粗糙度、波动强度、音调度),按各个参量分别将该组声样本排序,确定中间5%~10%的声样本;

(2) 选择2~3个有经验的评价人员对这5%~10%的样本进行评价,从中选出一个烦恼感处于中间的样本作为该噪声样本组的参考声样本。

#### 2) 纯音标准样本法

文献<sup>[13]</sup>中已根据我国相关标准的规定,在确保不损伤被试听力的前提下选取了1 kHz-70 dB 纯音样本作为标准样本,本研究中利用 ArtemiS SUITE 11.6 软件生成1 kHz 纯音样本,在不改变频谱特征

的前提下将1 kHz 纯音样本的声压级调整为70 dB,生成纯音标准样本。

### 3) 白噪声标准样本法

参阅纯音标准样本法中参考样本的选取依据,根据我国《声环境质量标准》、《工作场所职业病危害作业分级第4部分:噪声》中的相关规定,选取70 dB(A)白噪声作为标准样本。用 ArtemiS SUITE 11.6 软件生成白噪声样本,将其声压级调整为70 dB(A),生成白噪声标准样本。

## 2 不同参考样本法的性能实验与对比

### 2.1 待评价样本的选取

人群所处的声环境一般是在多种噪声源共同作用下形成的,该环境中的噪声往往是各种单一噪声组分自然混合的结果。根据混合噪声中各单一噪声组分的差异程度,可将噪声的评价分为相似噪声组合的评价和不相似噪声组合的评价。相似噪声组合中各单一噪声组分感知特性相似,如多种类型汽车噪声混合的交通噪声。不相似噪声组合中各单一噪声组分感知特性差异较大,例如音频注入法中常使用自然声、音乐声作为调控声与目标声叠加,它们与目标声的频谱、感知特性明显不同<sup>[11,13,15]</sup>。因此,本文分别选取了3组相似噪声组合与3组不相似噪声组合进行烦恼感评价。

#### 2.1.1 相似噪声组合的评价

在评价音调感明显的噪声时,纯音标准样本法的结果一致性高;在评价音调感不强的噪声时,其评价结果的一致性与相关性明显降低<sup>[13]</sup>,本文提出的白噪声标准样本法旨在弥补这一缺点。为了验证白噪声标准样本法的可行性,并对纯音标准样本法与白噪声标准样本法的适用性进行对比研究,本文选取了3组频谱特性与音调感知特性明显不同的实测噪声,各18个。样本组1为变电站高压并联电抗器C相隔声罩内噪声样本,样本组2为变电站变压器附近巡视走道声样本,样本组3为吸油烟机噪声样本,它们的声级范围、频谱与感知特性见表1。图1为噪声样本组1~3中部分样本的频谱图。分别采用待测样本法、纯音标准样本法和白噪声标准样本法,对噪声样本组1~3的烦恼度进行评价。

表 1 待评价样本组的频谱与感知特性

噪声样本分类	样本组编号	声级范围/dB (A)	主观感知特性
相似噪声组合	1	43.06~70.01	线谱噪声为主,有调性明显
	2	45.58~62.18	宽带噪声为主,有调噪声很弱
	3	58.15~75.51	宽带谱噪声
不相似噪声组合	4	68.06~77.30	线谱噪声为主,有调性明显
	5	53.19~72.79	宽带噪声为主,有调噪声很弱
	6	59.61~71.43	宽带谱噪声

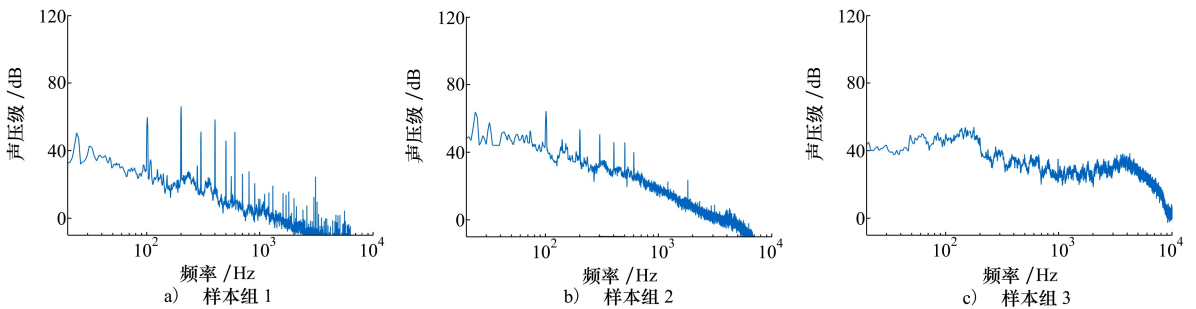


图 1 噪声样本组 1~3 的频谱图

2.1.2 不相似噪声组合的评价

本文以音频注入法为例,进行不相似噪声组合的评价。音频注入法是一种通过向原始噪声(目标声)中添加声音(调控声),使人对混合后的声音(叠加声)主观感受上出现相消效应,从听觉感知的角度降低原始噪声烦恼度的一种方法。为了与相似噪声组合中的音调感差异相对应,分别在噪声样本组 1~3 中选取一个声样本作为目标声,取一种流水声作为调控声,将目标声与调控声以多种信噪比进行叠加,生成样本组 4~6,其主观感知特性见表 1。分别采用待测样本法、纯音标准样本法和白噪声标准样本法对样本组 4~6 进行烦恼度评价。

为了便于后续进行数据的有效性检验,在每个噪声样本组评价实验中,随机选取 1/3 的待评价样本进行二次评价,将这 1/3 的待评价样本与该组中所有声样本随机排序生成待评价样本序列。

2.2 主观实验设计

2.2.1 实验条件

本次主观评价实验在普通房间内,回放系统包括 ArtemiS SUITE 11.6(HEAD acoustics)、双耳机均衡器(HEAD acoustics labP2)和高保真立体声头戴式耳机(Sennheiser HD 600)。

2.2.2 实验流程

本次实验中共有偿招募了 31 名听力正常的在校大学生作为实验被试,男生 15 人,女生 16 人,所有被试实验期间无不适症状。实验分 4 组进行,前 3 组每组 8 人,第四组 7 人。

采用参考评分法分别对噪声样本组 1~6 进行烦恼度评价。实验开始前,由主试向被试讲解实验流程及注意事项,要求被试扫描问卷二维码进入实验问卷,并选取一些声样本进行试听训练,使被试对整体声样本的范围、参考声样本及评分方式有一个全面的了解。

实验过程中被试首先会听到第一段 5 s 的声音,即参考样本,其烦恼度默认为 5。紧接着 2 s 空白后,被试会听到第二段 5 s 的声音为待评价样本。在听完第二段声音后,被试有 5 s 的时间评价第二段噪声相对于第一段声样本的烦恼感,评价时采用 9 级数字量表,精度为 0.5 分,其中“9”表示待评价样本相对参考样本“非常/极其烦恼”、“5”表示待评价样本与参考样本“同样烦恼”、“1”表示待评价样本相对参考样本“非常不烦恼”。

每组实验的整体时长(包括空白间隔)控制在 20 min 以内,休息 10 min 后继续实验,以免被试疲劳导致实验准确度下降。

2.2.3 数据剔除

统计实验数据时,首先对实验数据进行误判分析,从中剔除误判率较高的被试数据,确保后续分析结果的准确性。在2次重复评价结果中,借鉴成对比较法的*i-i*误判和*i-j*误判分析,当参考样本与待评价样本为同一个时,若评分不为5,则认为出现误判;当参考样本与待评价样本不同时,2次评价价值差值在2以上则认为出现误判。实际数据处理中,如果某个被试的误判率大于0.4,则剔除该被试数据。此外,还对数据进行了相关分析、聚类分析,剔除了相关性低于0.5,不能与其他被试聚为一类的被试数据。所有实验样本组分别剔除的被试人数见表2。

表2 各实验样本组剔除的被试人数

样本组编号	待测样本法	纯音标准样本法	白噪声标准样本法
1	4	3	5
2	6	4	9
3	6	2	7
4	11	6	9
5	7	5	5
6	7	4	11

对于每个声样本的剩余有效评分,计算平均值作为该样本的烦恼度评价价值。

2.3 实验结果与分析

通过主观评价实验、数据剔除后,得到了噪声样本组1~6分别在待测样本法、纯音标准样本法、白噪声标准样本法下获得的噪声烦恼度评价结果,分别对2种标准样本法的评价结果与待测样本法的评价结果进行相关性分析。以每一个噪声样本组在待测样本法中的评价价值为基准值 $A_0$ ,分别计算样本组在纯音标准法的评价价值 $A_p$ 、白噪声标准法的评价价值 $A_w$ 与 $A_0$ 之间的皮尔逊相关系数,判断2种标准样本法的实验结果与待测样本法的评价结果之间的吻合程度。

2.3.1 相似噪声组合的评价结果

图2为噪声样本组1~3分别在待测样本法、纯音标准样本法、白噪声标准样本法下获得的噪声烦恼度评分。从图中可以看出样本组1~3在3种参考样本法下得到的噪声烦恼度评分的变化趋势比较吻合,计算2种标准样本法的评价结果与待测样本法评价结果的相关性,见表3。

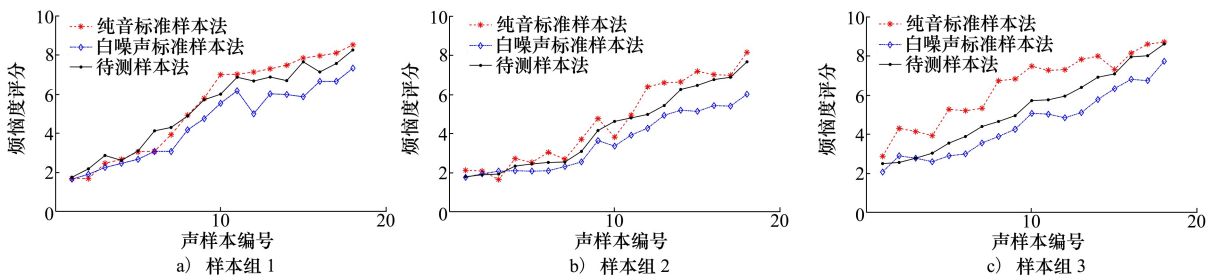


图2 噪声样本组1~3的噪声烦恼度评分

表3 不同参考样本法的相似噪声组合烦恼度评分之间的相关性

样本组编号	待测样本法	纯音标准样本法	白噪声标准样本法
1	1	0.987 1	0.979 7
2	1	0.974 9	0.990 3
3	1	0.950 0	0.986 5

评价数据与待测样本法的相关系数为0.987 1,略高于白噪声标准样本法与待测样本法的相关性,因此使用纯音标准样本法更合适;而对于样本组2和样本组3,白噪声标准样本法评价结果与待测样本法的相关系数更高,分别为0.990 3,0.986 5,因此更适合选用白噪声标准样本法。

2.3.2 不相似噪声组合的评价结果

图3为噪声样本组4~6分别在待测样本法、纯音标准样本法、白噪声标准样本法下获得的烦恼度评价结果。分析样本组4~6在3种参考样本法下的评价结果之间的相关性,见表4。

根据表3可知,使用纯音标准样本法和白噪声标准样本法都能较好地评价样本组1~3的噪声烦恼度;但对于噪声样本组1,纯音标准样本法的主观

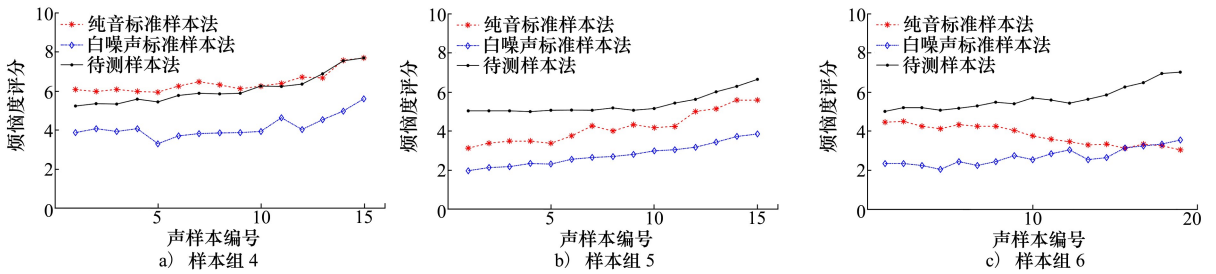


图 3 噪声样本组 4~6 的噪声烦恼度评分

表 4 不同参考样本法的不相似噪声组合烦恼度评分之间的相关性

样本组编号	待测样本法	纯音标准样本法	白噪声标准样本法
4	1	0.948 1	0.853 5
5	1	0.899 1	0.902 6
6	1	0.632 6	0.685 1

分析可知:使用不同参考样本对不相似噪声组合评价结果的影响规律与相似噪声组合评价中的规律一致。对于样本组 4,纯音标准样本法的实验结果与待测样本法的相关系数为 0.948 1,明显高于白噪声标准样本法与待测样本法的相关性,适合采用纯音标准样本法;而对于样本组 5,白噪声标准样本法与待测法的相关系数为 0.902 6,实验数据较纯音标准样本法时更好,适合采用白噪声标准样本法。样本组 6 在纯音标准样本法、白噪声标准样本法中的数据与待测样本法的数据相关性均不高,原因在于标准样本的声级较样本组 6 中全体样本来说偏高,从该样本组的主观实验评分分布来看,整个样本组的烦恼感与标准参考样本相比,都处于不烦恼的一侧,导致主观评价达不到所预期的评价精度,但也能看出白噪声标准样本法的结果与待测样本法结果之间的相关性略高。

为了验证标准样本的声级对主观评价结果的影响,

分别以 1 kHz-60 dB 纯音、55 dB(A)、60 dB(A)白噪声作为标准参考声样本,对样本组 6 进行第二次主观评价,结果如图 4 所示。

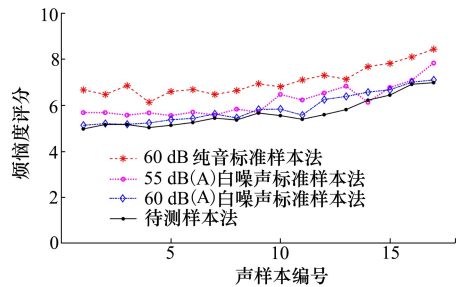


图 4 样本组 6 第二次实验中的噪声烦恼度评分

表 5 为样本组 6 在不同参考样本下的结果与待测样本法的相关性分析结果,在对样本组 6 进行评价时,选取 60 dB(A)白噪声作为标准参考样本得到的实验数据比使用其他标准参考样本时更准确。分析原因在于两点:①从频谱分析及主观感知特性来看,样本组 6 属于宽带谱噪声,因此更适合选取白噪声标准样本法进行评价;②样本组 6 中所有声样本的 A 声级平均值(average)为 62.8 dB(A),中位数(median)为 61.0 dB(A)。中位数又称中值,是按顺序排列的一组数据中居于中间位置的数,它不受偏大或偏小数据的影响,用它来代表样本组 6 的一般声级水平最合适。从样本组 6 的第二次实验数据分析可以看出,当标准白噪声的 A 声级更接近样本组 6 中样本 A 声级的中位数时,实验结果更准确。

表 5 样本组 6 在不同参考样本下的噪声烦恼度评分之间的相关性

参考样本	待测样本	70 dB(A)白噪声	60 dB(A)白噪声	55 dB(A)白噪声	1 kHz-60 dB 纯音	1 kHz-70 dB 纯音
相关性	1	0.685 1	0.966 0	0.866 5	0.943 1	0.632 6

### 3 白噪声标准样本法的应用

在实际研究过程中,由于研究目的、实验任务等对实验结果的要求不同,一般主观实验得到的是不同参考样本下的评价结果,若要进行不同实验组结果之间的对比,则需要将待比较的全体样本混合,选取合适参考样本重新进行实验,样本数量过大,工作量剧增。若将不同参考样本下的评价结果进行转化,得到同一参考样本下的评价值,即可进行横向比较,避免重复实验,极大地减少工作量。

#### 3.1 数据转化

对于不同样本组的数据校准与转化,陈兴旺等<sup>[11]</sup>已经提出了分段内插值法,将每个样本组按照评价值分为两段,对所有样本组端点处样本随机混合后进行评价,以端点样本原始数据为  $x$  值,再次实验得到的数据为  $y$  值,分段采用内插值法修正各样本的评价值。本文借鉴自适应分组成对比较法中各组间数据建立联系的思想<sup>[16]</sup>,对已有的待测样本法实验结果进行转化。选取3个关联样本建立待测样本法数据组与白噪声标准样本法数据组之间的联系,即可将不同实验组的待测样本法评价值转化为

表6 样本组1~3中关联样本的烦恼度评价值

烦恼度评价值	样本组1			样本组2			样本组3		
	H1	R1	L1	H2	R2	L2	H3	R3	L3
$A$	8.26	4.88	1.75	7.72	4.82	1.78	8.67	4.96	2.48
$A'$	7.33	4.17	1.65	6.05	3.93	1.75	7.78	4.26	2.05

2) 根据样本组  $i(i=1,2,3)$  的关联样本在待测样本法中的评价值向量  $A_i$  与其在白噪声标准样本法中的评价值向量  $A'_i$  建立关联函数:

$$A'_i = a_i A_i + b_i \quad (2)$$

3) 利用(2)式对样本组  $i(i=1,2,3)$  中全体样本的烦恼度评价值进行转化,得到样本组1~3在白噪声标准样本法中的烦恼度评价结果。分析各样本组转化值与实验值之间的均方误差,并与采用分段内插值法校准的均方误差对比,结果见表7。结果表明采用关联函数法能更好地进行不同参考样本法数据之间转化,实现不同样本组数据之间的对比。

表7 各样本组白噪声标准样本法转化的均方误差

方法	样本组1	样本组2	样本组3
关联函数法	0.156 1	0.043 1	0.109 7
分段内插值法	0.136 2	0.110 1	0.100 5

白噪声标准样本法的评价值。

根据待测样本法的主观评价结果,选出其中烦恼度最大、最小的样本及参考样本(H, L和R)作为关联样本,它们的烦恼度评分分别为  $A_H, A_R, A_L$ 。以白噪声标准样本为参考样本,对关联样本进行烦恼度评分,结果为  $A'_H, A'_R, A'_L$ 。由此可得到关联样本在待测样本法中的评价值向量  $A$  与其在白噪声标准样本法中的评价值向量  $A'$  之间的关联函数为

$$A' = aA + b \quad (1)$$

利用(1)式即可将待测样本法数据转化,得到该样本组在白噪声标准样本法下的结果。

本文以2.3节中得到的样本组1~3评价结果为例,利用上述关联函数法将各样本组的待测样本法数据转化为白噪声标准样本法下的数据,具体步骤如下:

1) 从样本组1~3中分别选取烦恼度最大、最小的样本及参考样本,将3组关联样本随机排序2次生成待评价样本序列,以70 dB(A)白噪声为参考样本,对该实验样本序列进行烦恼度评分,各样本的烦恼度评价值见表6。其中  $A$  为各关联样本在待测样本法中的烦恼度评价值,  $A'$  为各关联样本在白噪声标准样本法中的烦恼度评价值。

#### 3.2 参考样本的等效声压级变化值

通过3.1节中提到的转化方法,可进行白噪声标准样本法评价结果与待测样本法结果之间的互相转化,由此更好地构建噪声控制策略中加法控制与减法控制效果评价相互沟通的桥梁。

1) 将不同实验组的待测样本法实验结果转化为白噪声标准样本法的评价值,便于进行不同样本组间的对比,以便选取最优的调控声,并定量表达烦恼感抑制程度。例如在音频注入法中,通过(3)式计算得到目标噪声的烦恼度下降值  $R_{as}$ <sup>[13]</sup>

$$R_{as} = \frac{A_t - A_c}{A_t} \times 100\% \quad (3)$$

该值表示在注入调控声前后目标声烦恼度的变化值相对于目标声原本烦恼度的大小,其中  $A_t$  表示目标声的烦恼度评分,  $A_c$  表示某一信噪比叠加声的

烦恼度评分。标准样本法获得的  $R_{as}$  值标示为  $R_{as_s}$ ，待测样本法获得  $R_{as}$  值标示为  $R_{as_t}$ 。根据文献[13]中建立的标准样本烦恼度下降值( $R_{as_s}$ )与等效声压级变化值( $R_{ps}$ )的思想,可将目标声的烦恼度下降值  $R_{as_t}$  等效为标准样本的等效声压级变化值  $R_{ps_t}$ ,定量表达音频注入法中调控声对目标声的烦恼感抑制程度。此外,还便于进行烦恼感相消效应的特性研究。

2) 同时,也可以将音频注入法中标准样本下的评价结果转化到待测样本法下,用目标声的声压级变化值( $R_{ps_t}$ )表示调控声的烦恼感抑制效果,具体步骤见图 5。首先,在对关联样本进行待测样本法的评价时,选取目标声为参考样本,将标准样本法的评价结果转化到待测样本法下,计算目标声的烦恼感下降值。其次,建立目标声样本  $R_{as_t}$  与  $R_{ps_t}$  的函数关系,通过该函数关系计算主观评价实验中目标声的  $R_{as_t}$  值对应的目标声的  $R_{ps_t}$  (dB),即可得到与该最优调控声的烦恼感抑制效果相对应的目标声等效声压级变化值。

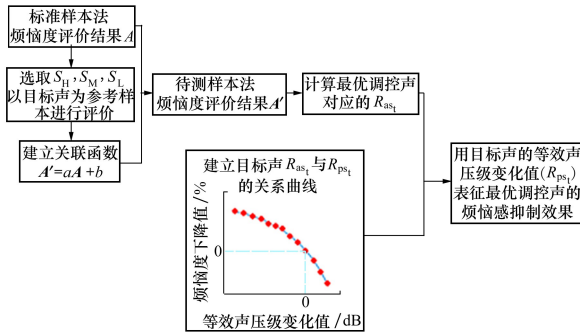


图 5 标准样本法评价结果转化流程图

## 4 结 论

本文提出了一种基于白噪声的标准样本法,对频谱特性与感知特性明显不同的 3 组不同相似噪声组合与不相似噪声组合进行烦恼度评价,以待测样本法主观评价结果为基准,进行了白噪声标准样本法和纯音标准样本法的性能实验对比研究。分析不同参考样本法下对相似噪声组合与不相似噪声组合的评价结果,验证了白噪声标准样本法的可行性,并得到了以下结论:

1) 使用纯音标准样本法和白噪声标准样本法都可以有效地对噪声烦恼感进行评价,在评价频谱特性和感知特性明显不同的待评价样本时,2 种标准样本法各有优势。

2) 纯音标准样本法更合适评价具有明显的音调感,且以有调噪声为主的待评价噪声。而白噪声标准样本法更适合评价以宽带噪声为主或几乎没有音调感的噪声。

3) 标准样本的声级对主观评价的结果有很大的影响,当白噪声标准样本的 A 声级更接近待评价样本组中全体样本的 A 声级中位数时,实验结果更准确。

4) 利用关联函数法,可以将不同参考样本法中的主观评价结果进行互相转化,以满足研究的目的与需求。不同样本组适用的标准样本的声级会有所不同,可以利用该转化方法进行不同声级标准样本实验结果间的转化。

根据本研究的结论,纯音标准样本法更合适音调感明显的噪声,白噪声标准样本法更合适音调感不强的宽带噪声,下一步的工作将对 2 种标准样本法适用范围之间的明确界限进行研究。

## 参考文献:

[1] ZWICKER E, FASTL H. Psychoacoustics[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 1990

[2] DAVID M H, JAMIE A. Acoustics and Psychoacoustics[M]. Great Britain: Focal Press, 2006

[3] 陈克安. 环境声的听觉感知与自动识别[M]. 北京:科学出版社, 2014  
CHEN Ke'an. Auditory perception and automatic recognition of ambient sound[M]. Beijing: Science Press, 2014 (in Chinese)

[4] YU H, GRIFFIN M J. Comparison of absolute magnitude estimation and relative magnitude estimation for judging the subjective intensity of noise and vibration[J]. Applied Acoustics, 2014, 77: 82-88

[5] ANDREW T, FALK S, STEFANO M, et al. The benefits of magnitude estimation relevance assessments for information retrieval evaluation[C]// Proceedings of the 38th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information

Retrieval, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2015

- [6] TORIJA A J, FLINDELL I H. The subjective effect of low frequency content in road traffic noise[J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2015, 137(1): 189-198
- [7] TORIJA A J, FLINDELL I H, SELF R H. Subjective dominance as a basis for selecting frequency weightings[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2016, 140(2): 843-854
- [8] 陈克安, 张珺, 于巍巍, 等. 吸油烟机声品质评价标准及其建模研究[J]. *中国标准化*, 2019(13): 79-85  
CHEN Ke'an, ZHANG Jun, YU Weiwei, et al. Research on the standard of sound quality evaluation of range hoods and its modeling[J]. *China Standardization*, 2019(13): 79-85 (in Chinese)
- [9] 邓云云, 陈克安, 王雪, 等. 基于声品质的直升机舱内典型降噪措施分析[J]. *噪声与振动控制*, 2021, 41(1): 133-139  
DENG Yunyun, CHEN Ke'an, WANG Xue, et al. Analysis of typical noise reduction measures in a helicopter cabin based on sound quality[J]. *Noise and Vibration Control*, 2021, 41(1): 133-139 (in Chinese)
- [10] NILSSON M E. A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 2007, 302(1/2): 197-207
- [11] 陈兴旺. 特高压变电站低频噪声人体感受实验研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016  
CHEN Xingwang. The experimental study on human perception of low-frequency noises induced from ultra-high voltage transformers[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012 (in Chinese)
- [12] DI G Q, LU K G, SHI X F. An optimization study on listening experiments to improve the comparability of annoyance ratings of noise samples from different experimental sample sets[J]. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 2018, 15(3): 474-486
- [13] 陈克安, 李豪, 邓云云, 等. 音频注入抑制噪声烦恼感的标准样本评价法[J]. *西北工业大学学报*, 2021, 39(6): 1274-1280  
CHEN Ke'an, LI Hao, DENG Yunyun, et al. Standard sample evaluation method for noise annoyance suppression from audio injection[J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2021, 39(6): 1274-1280 (in Chinese)
- [14] 赵忠峰, 陈克安. 基于 Zwicker 理论的噪声客观评价方法[J]. *电声技术*, 2005(10): 63-65  
ZHAO Zhongfeng, CHEN Ke'an. Objective evaluating approaches for noise based on zwicker theory[J]. *Audio Engineering*, 2005(10): 63-65 (in Chinese)
- [15] HAO Y Y, KANG J, HEINRICH W. Assessment of the masking effects of birdsong on the road traffic noise environment[J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2016, 140: 978-987
- [16] 黄煜, 陈克安, 闫靓, 等. 自适应分组成对比较法: 原理及种子的选择[J]. *声学学报*, 2008(5): 443-449  
HUANG Yu, CHEN Ke'an, YAN Liang, et al. Adaptive grouped paired comparison: theory and selection of seeds[J]. *Acta Acustica*, 2008(5): 443-449 (in Chinese)

## The white noise standard sample method and application for subjective noise evaluation

DENG Yunyun<sup>1</sup>, CHEN Ke'an<sup>1</sup>, LI Hao<sup>1</sup>, DANG Bo<sup>1</sup>, LIU Jianben<sup>2</sup>

(1.School of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;  
2.State Key Laboratory of Power Grid Environmental Protection, Wuhan 430000, China)

**Abstract:** The anchored scoring method is one of the widely used subjective sound evaluation methods. The comparability between subjective sound evaluation data obtained from different sample sets can be enhanced by selecting the standard sound sample as reference sample in subjective sound evaluation, thus facilitating the horizontal comparison between different evaluation results. However, the applicability of the standard sound sample method is poor in the experiments on evaluating some types of noise because the mechanisms of annoyance caused by different types of noise are discrepant. Therefore, the standard sound sample method for white noise that takes the existing pure tone as standard sample is proposed. Taking the evaluation results of the common anchored scoring method as benchmark, the experimental study of the performances of the standard sound sample method and the anchored scoring method was carried out according to the evaluation of the annoyance degrees of the two types of similar noise combination or dissimilar noise combination that have obviously different spectra and perceptual characteristics. The results show that the standard sound sample method for pure tone is suitable for noise with obvious tonal perception and that the standard sound sample method for white noise is suitable for broadband noise with weak tonal perception. Finally, the method of conversion between the annoyance evaluation results on different reference samples is studied to enhance the applicability of the standard sound sample method.

**Keywords:** standard sound sample method; subjective evaluation; annoyance

**引用格式:** 邓云云, 陈克安, 李豪, 等. 噪声主观评价中的白噪声标准样本法及其应用[J]. 西北工业大学学报, 2022, 40(4): 746-754

DENG Yunyun, CHEN Ke'an, LI Hao, et al. The white noise standard sample method and application for subjective noise evaluation[J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2022, 40(4): 746-754 (in Chinese)