

◇ 研究报告 ◇

# 一种吸油烟机声品质满意度分级限值评定方法

党博<sup>1</sup> 陈克安<sup>1†</sup> 张珺<sup>1</sup> 于巍巍<sup>2</sup> 张凯歌<sup>2</sup> 周海昕<sup>2</sup>

(1 西北工业大学 西安 710072)

(2 杭州老板电器股份有限公司 杭州 311100)

**摘要:** 声品质作为一种描述吸油烟机噪声听觉感知特性的手段已经被行业所接受, 团体标准 T/CAS 341-2019《吸油烟机噪声声品质测试方法》给出了吸油烟机声品质测试与建模方法, 同时通过声品质指数给出了声品质的数值化表达。该标准为各厂商定量描述声品质提供了依据, 但目前仍缺乏对产品声品质满意度级别的划分方法, 这不利于声品质技术的推广应用。该文结合相关标准以及主观评价实验, 以级别容量比为中间量构建声品质指数与分级限值之间的关系, 实现了吸油烟机噪声声品质满意度的分级, 为吸油烟机噪声感知评价标准或规范的制定提供了科学依据, 同时为其他消费品声品质评价与分级提供了有益参考。

**关键词:** 吸油烟机噪声; 心理声学; 声品质; 满意度; 限值

中图法分类号: TB533

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2021)05-0691-07

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2021.05.006

## A Satisfaction grading and evaluation limiting method for the sound quality of range hood

DANG Bo<sup>1</sup> CHEN Ke'an<sup>1</sup> ZHANG Jun<sup>1</sup> YU Weiwei<sup>2</sup> ZHANG Kaige<sup>2</sup> ZHOU Haixin<sup>2</sup>

(1 Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

(2 Hangzhou Robam Appliances Co., Ltd., Hangzhou 311100, China)

**Abstract:** Sound quality has been accepted by the industry as a means of describing the acoustic perception characteristics of range hood noise. The group standard T/CAS 341-2019 "Test Method for Sound Quality of Range Hood" gives the sound quality testing and modeling methods of range hoods. Simultaneously, the numerical expression of sound quality is given through the sound quality index. This standard provides a basis for manufacturers to quantitatively describe sound quality, but there is still a lack of classification methods for product sound quality satisfaction grades, which is not conducive to the promotion and application of sound quality technology. This paper combines relevant standards and subjective evaluation experiments to construct the relationship between the sound quality index and the grading limit with the categorized volume ratio as an intermediate quantity, and realizes the sound quality classification of range hoods. This method provides a scientific basis for the formulation of noise perception evaluation standards or specifications for range hoods, and also provides a useful reference for the sound quality evaluation and classification of other products.

**Keywords:** Range hood noise; Psychoacoustics; Sound quality; Satisfaction; Limit

2020-12-30 收稿; 2021-01-24 定稿

作者简介: 党博 (1996-), 男, 陕西凤翔人, 硕士研究生, 研究方向: 环境声的听觉感知与声品质评价。

† 通信作者 E-mail: kachen@nwpu.edu.cn

## 0 引言

声品质研究始于20世纪80年代中后期。研究指出,声品质中的“声”并不是指声波这样一个物理事件,而是指人耳的听觉感知,“品质”是指人耳对声音事件的听觉感知过程,以及最终做出的主观判断<sup>[1-2]</sup>。声品质这一概念一经提出便受到研究者、制造商和消费者的广泛关注。汽车是最先运用声品质研究成果的产品之一,目前已向多用途多类型的车辆扩展<sup>[3-4]</sup>,此外声品质在家电行业的应用也越来越广泛,在空调器、电器、风扇、压缩机等方面取得了较大进展<sup>[5]</sup>。

吸油烟机作为家庭必备的厨房电器之一,其噪声问题一直备受广大消费者、生产厂家的关注。起初对于吸油烟机噪声控制研究中多注重的是发声机理以及结构优化,对噪声的评价大多使用声压级、声功率级等传统参量<sup>[6]</sup>,后来人们引入更加符合人耳听觉特性的计权声级作为噪声控制的衡量指标<sup>[7-8]</sup>,近年来利用声品质技术评价和控制吸油烟机噪声受到了越来越多的重视。

2016年,季俊生等<sup>[9]</sup>通过对声品质评价技术的应用,改进了吸油烟机风道设计和吸声结构,使低频和中高频噪声得到有效控制,经检测整机响度从12.25 sone降低到9.16 sone,语音清晰度从72.6%提升到85.15%。2017年,李晗等<sup>[10]</sup>对吸油烟机的噪声与振动进行了测试分析,建立了吸油烟机噪声烦恼度评价模型。同年,张玉等<sup>[11]</sup>应用多孔性纤维金属材料在改善吸油烟机声品质方面进行了研究。2019年,中国标准化协会发布团体标准T/CAS 341-2019《吸油烟机噪声声品质测试方法》<sup>[12]</sup>(以下简称标准),通过对吸油烟机噪声的采集、主观评价试验及数据的处理,分析噪声中的响度、尖锐度、粗糙度与被试烦恼度的相关性。最终建立吸油烟机噪声烦恼度的多元回归模型,从而可以从客观参数得出产品的声品质指数。

如何利用声品质指数对吸油烟机声品质进行分级是制定产品声品质满意度级别、为消费者提供简明易懂的噪声评价指标,以及推动行业降噪技术进步的基础性问题,然而目前没有相应的量化方法。本文提出了一种确定吸油烟机声品质满意度分级限值的方法,结合相关标准及主观评价实验给出了一种确定吸油烟机声品质等级和限值的步骤和案例。

## 1 声品质分级及其限值的确定

### 1.1 相关术语及其含义

#### 1.1.1 声品质指数

《吸油烟机噪声声品质测试方法》(T/CAS 341-2019)中定义:声品质指数(Sound quality index, SQI)是评价吸油烟机声品质的一种量,它使用烦恼度值转换得到。该标准中通过建模得到了烦恼度以及SQI,其中烦恼度公式为

$$A = 0.4974 + 0.3828L + 2.0119S - 3.0698R. \quad (1)$$

SQI计算公式为

$$\begin{aligned} \text{SQI} = 95.026 - 3.828L - 20.119S \\ + 30.698R, \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $L$ 为响度, $S$ 为尖锐度, $R$ 为粗糙度。

结合式(1)与式(2)可以得到烦恼度与SQI转换关系为

$$\text{SQI} = 100 - 10A. \quad (3)$$

#### 1.1.2 声品质满意度

声品质满意度是对特定类型产品辐射噪声声品质满意程度的一种评判指标,其类别和相应的限值也称为声品质分级。在声品质分级研究和运用中,会使用到如下3种满意度,分别是:(1)测量满意度( $S_M$ ),它是针对现有产品进行声品质测试,通过主观评价实验获得的一种满意度;(2)调查满意度( $S_C$ ),通过问卷调查进行统计计算获得;(3)规范满意度( $S_S$ ),是由某种标准或规范确定的声品质满意度。

#### 1.1.3 级别容量比

级别容量比(Categorized volume ratio, CVR)为某一满意度级别的产品个数占全体产品个数之比。累计级别容量比(Cumulative categorized volume ratio, CCVR)为不超过某一满意度级别的产品占全体产品个数之比。

与满意度相对应,CVR为3种:(1)测量级别容量比( $\text{CVR}_M$ ),由主观评价实验获得;(2)调查级别容量比( $\text{CVR}_C$ ),由问卷调查获得;(3)设计级别容量比( $\text{CVR}_S$ ),参考 $\text{CVR}_C$ 情况下人为设定的级别容量比。

### 1.2 基本思路

本文所指的声品质分级是指确定规范满意度的级别及其限值,式(2)给出的SQI的分布范围为

1~100,因此声品质分级就是要确定声品质满意度级别与SQI的对应关系。由于声品质分级包含了消费者对产品声音特性现状的认知,以及对未来技术发展的心理预期,因而确定声品质分级的原则包括:(1)同一功能不同型号产品声品质指数的分布情况;(2)公众对当前市场上销售产品声品质现状的感受和认知;(3)从推动技术进步、促进行业创新与发展、保护消费者利益及兼顾制造商承受能力的角度,平衡制造商、消费者、政府产业政策及导向的不同诉求对声品质限值进行调整。依据以上原则,本文给出确定吸油烟机声品质满意度分级的基本步骤(如图1所示)。

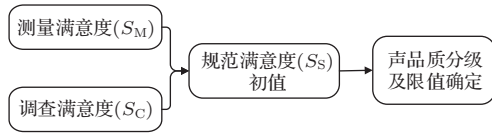


图1 确定产品声品质分级限值的基本步骤

Fig. 1 Basic steps for product sound quality classification and limit determination

原则(1)的实现需要对市场上不同型号产品的声品质指数进行测量,通过声样本采集、预处理、主观评价实验和数据处理等步骤获得产品的SQI分布情况。因此首先在实验室中获得 $S_M$ 。结合相关标准以及心理声学要求设计主观评价实验,通过数据处理后获得CCVR与SQI的响应曲线(即 $CCVR_M$ 曲线)。

接下来以原则(2)出发面向大众,广泛调查公众对于产品声品质的感知,汇总形成 $S_C$ 。在确定分级数后,扩大被试范围,通过问卷形式进行听音实验,调查大众对于市场上该产品噪声的满意程度,获得表征各等级与CVR关系的 $CVR_C$ 曲线。此时以CVR作为桥梁,用 $S_C$ 中的各等级CVR数值查询 $S_M$ 的 $CCVR_M$ 曲线得到 $S_S$ 初值。

依据原则(3),综合考虑行业当前生产水平、承受能力以及消费者利益多方面因素,本着为消费者提供简明易懂的噪声评价指标和推动行业进步的目的,由行业专家评审团对 $S_S$ 初值进行人为调整设计得到 $S_S$ 终值。下文以吸油烟机噪声声品质分级为案例给出了该方法的建议流程。

## 2 测量满意度的获取

本节中依照标准T/CAS 341-2019《吸油烟机噪声声品质测试方法》进行了烦恼度主观评价实验,

剔除实验异常数据后将烦恼度值转化为SQI,进一步得到了 $CCVR_M$ 曲线。

### 2.1 烦恼度主观评价实验

#### 2.1.1 评价尺度

依照标准T/CAS 341-2019中A.3(主观评价试验设计),以烦恼度为评价指标,使用参考评分法对样本进行评价。心理声学实验一般采用数字0~10所表示的11级尺度,在实验中发现该尺度过于细化,被试对于相邻数字所代表的语义区分不清,因此去掉两端改用9级评价尺度,见表1。

表1 9级评价尺度

Table 1 9-level evaluation scale

特 别 不 烦 恼	相 当	比 较	有 点	相 同	有 点	比 较	相 当	特 别 烦 恼
1	2	3	4	5	6	7	8	9

#### 2.1.2 声样本

实验中声样本来自于目前市场上8种常见品牌的27款吸油烟机。在半消声室内按照标准中的4(试验方法)进行设备安装并连接实验仪器。使用B&K人工头及Pulse系统录制吸油烟机的双耳声样本。录制时档位及状态和标准GB/T 17713-2011《吸油烟机》<sup>[13]</sup>中测试噪声时保持一致(即正常工作时转速最高档)。每台机器录制3次,共得到81个声样本。

研究表明,时长为5s的声音即可产生稳定的感知印象。因此在计算客观参量确定所录制的声样本无误后将所有声样本截取为5s长的声音片段。

参考声样本的选取:对整批声样本进行物理特性参量(响度、尖锐度等)计算,选取位于中部的声样本8~10个,再通过有声学实验经验的相关人员对中部样本进行粗评,选取烦恼度中等的样本作为参考声样本。

#### 2.1.3 被试

实验分3批次进行,第1批实验于2017年进行,被试38人<sup>[10]</sup>,第2批实验于2018年进行,被试56人<sup>[14]</sup>,第3批于2020年进行,被试16人。

共计招募被试110人,其中51.8%的人为具有声学知识的专业人员和技术人员,此外还有销售人员、行政后勤人员等(见图2),其中男性57.3%,女性42.7%,年龄从18~50岁不等,大部分年龄在18~25岁。所有被试健康状况正常,无耳病症状,

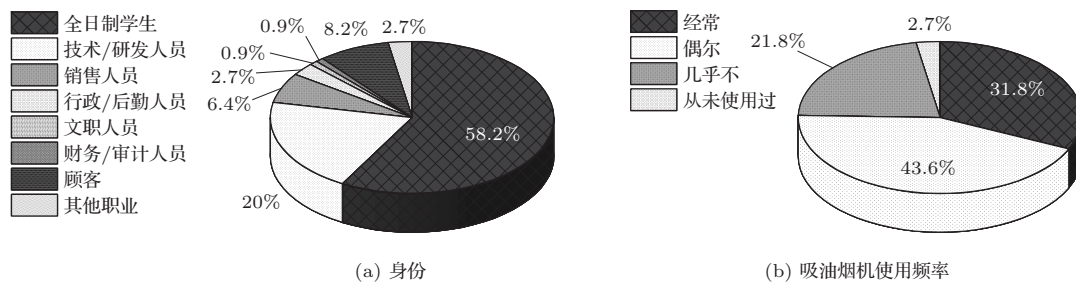


图2 主观评价实验被试信息

Fig. 2 Subjective evaluation experiment subjects information

耳道无耵聍堵塞,无过度噪声暴露史,无耳毒性药物或家族性听力损失者。测试期间无感冒不适等症状。听力测试结果表明所有被试在125~8000 Hz的频率范围内听阈级都低于15 dB。

#### 2.1.4 实验环境及设备

研究表明,通过耳机进行实验,评价结果不受房间声学特性或者被试位置的影响,可有效屏蔽外界噪声干扰且信号失真小。本次实验在安静房间内进行,噪声样本通过计算机声卡输出给BEHRINGERHA4700耳机放大器,然后通过SENNHEISER HD600监听级耳机播放给被试。

#### 2.1.5 实验流程

##### (1) 实验人员讲解

实验前由实验人员讲解实验目的、流程、注意事项,解答评价人员的疑问。

##### (2) 评价人员训练

首先,将所有声样本播放给被试,说明本次实验声样本大致范围,使被试对整个实验的声样本有一个大致的印象;然后,播放数遍参考声样本,要求被试熟悉参考声样本;最后,随机选取6~8对声样本,要求被试进行打分,使被试熟悉实验流程及打分方式,此部分评价结果不用于后续数据处理及分析。

##### (3) 正式实验

实验过程中,被试每次听到一对声音,每对包含两段5 s的声音,中间间隔2 s。第一段声音为参考样本,第二段声音为待评价样本。在听完每对声音后,被试有5 s的时间来比较相对于参考样本,第二段声音的烦恼度等级,并对其打分。

## 2.2 数据处理

### 2.2.1 数据剔除

数据的剔除按照以下规则进行:

#### (1) 误判分析

误判分析用于判断同一被试两次评价结果的一致性。原始数据中的误判行为分为两类,即“可允许误判”和“不可允许误判”。理想情况下,在同一实验室内,同一位评价者采用同一种评价方法在短时间内对同一声音样本进行相互独立 $p$ 次重复评价所得的 $p$ 个评价数据应完全一致。然而,考虑到实际中各种不确定性因素的影响,在上述重复性条件下,应允许同一评价者对同一声音样本多次重复评价的结果之间存在一定程度的差异,只要这一差异超过某一数值的概率低于可接受性检验的显著水平即可。

由2.1.1节可知,评价者给出的是1~9的数字所代表的烦恼度等级。若某位评价者对某个声音样本所做出的两次重复评价结果中,两个评价值一致或两个评价值代表了相邻的烦恼等级,此时的误判即为可允许误判。统计被试的不可允许误判情况,当其误判率大于0.6时,剔除该被试。

#### (2) 相关分析

相关分析用于判断同一被试两次评价结果之间的相关性。实验中,用同样的量表,对同一组受试者进行两次重复测量,实验认为在这段时间内受试者的情况没有发生变化,同一被试两组评价值的Pearson相关系数若低于0.7,则认为该被试不稳定,予以剔除。

#### (3) 聚类分析

聚类分析用于判断不同被试评价结果的一致性。烦恼度是主观性的度量,而人们的生活习惯和文化背景往往会影响其评分,因此烦恼度评分可能具有较大的个体差异。当少数被试远离其他被试时,说明其在进行烦恼度评分时可能采用了不同的策略,予以剔除。



### 2.2.2 数据转化

#### (1) 不同参考样本下评价价值转化

随着吸油烟机产品的更新换代, 3批次实验过程中使用了不同的参考声样本, 借鉴成对比较法思想, 选取种子样本将数据转化为同一参考样本下的评价价值。

分组成对比较法 (Grouped paired comparison, GPC), 是将样本分为多个样本组, 随后选取两个参考样本, 即种子, 加入每个样本组中, 对每个样本组进行独立的成对比较评价, 通过预设的种子样本建立样本组间的联系来重建整体样本的评价价值。前后两组之间的  $k$  和  $\beta$  值可由式 (4) 求出:

$$V_k + \beta = V', \quad (4)$$

其中:  $V$  和  $V'$  是种子样本在前后两组的评价价值向量。因此选取种子样本在不同参考样本下进行评价, 根据式 (4) 完成评价价值转化。

#### (2) 烦恼度与声品质指数相转化

通过式 (3) 将烦恼度 ( $A$ ) 转化为 SQI。

### 2.3 测量满意度累计 CVR 曲线

对实验数据进行 3 次曲线拟合 ( $R^2 = 0.992$ ) 后如图 3 所示。其中,  $S_M$  的 CCVR 与 SQI 关系为式 (5):

$$\begin{aligned} \text{CCVR} = 100\% \times & (-0.1092 + 0.003724 \times \text{SQI} \\ & + 0.0005212 \times \text{SQI}^2 \\ & - 0.000004828 \times \text{SQI}^3). \end{aligned} \quad (5)$$

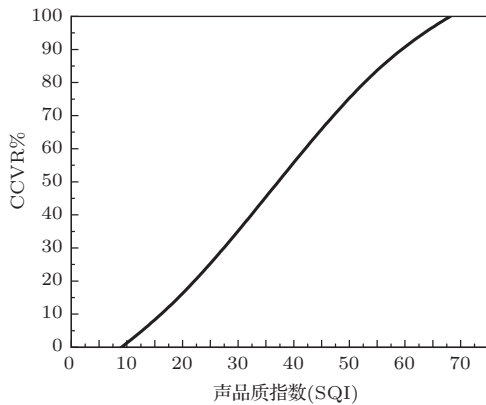


图3 CCVR<sub>M</sub> 曲线

Fig. 3 CCVR curve of  $S_M$

## 3 调查满意度的获取

本节依据心理声学实验相关规范设计并进行了调查满意度实验, 以问卷形式调查了大众对于噪

声的满意程度, 获得了可以表征 CVR 与分级关系的 CVR<sub>C</sub> 曲线。

### 3.1 实验设计

通过查阅相关标准以及文献, 发现大部分产品分级为 5 级和 3 级, 因此以 5 级尺度 (见表 2) 进行满意度调查, 实验数据在此基础上也可向 3 级转化。

表 2 5 级评价尺度

Table 2 5-level evaluation scale

优秀	良好	中等	合格	不合格
1	2	3	4	5

(1) 评价指标: 满意度。问卷描述语“请想象您正在家中使用该吸油烟机, 请根据噪声评定等级并打分”。

(2) 声样本、听音环境、回放设备、以及数据剔除同测量满意度。

#### (3) 实验流程

评价人员依据个人的真实感受, 采用不同的等级描述词, 对特定声样本进行主观感知的量值判断。实验前有实验员讲解实验目的及流程, 对被试进行适当训练。实验过程中, 被试每次听到一段声音, 按照个人感受在问卷上进行打分, 每段声音时长为 5 s, 打分时间为 5 s。

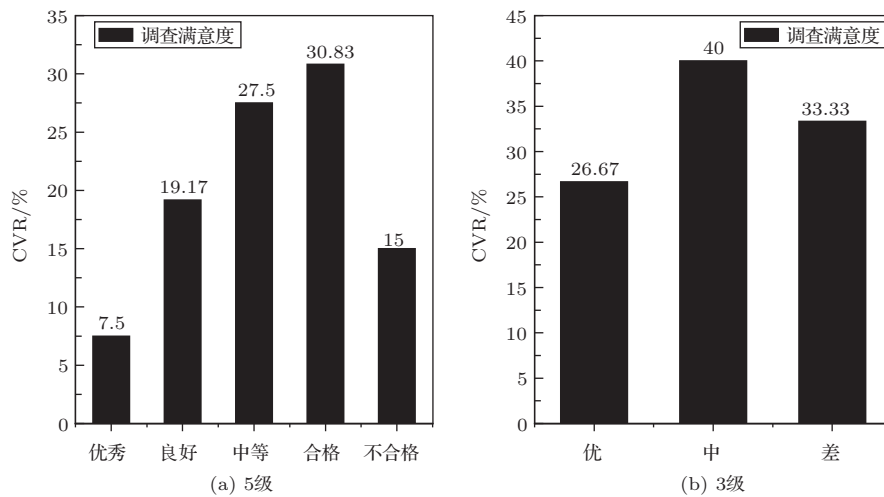
### 3.2 被试

本次调查满意度实验中共计招募被试 87 人, 其中 22 人为具有声学知识或声学实验经验的全日制学生, 剩余 65 人为某品牌厨卫公司工作人员, 包括吸油烟机技术研发人员 (占被试总人数的 49.4%)、生产人员 (8%)、管理人员 (2.3%)、文职人员 (3.4%) 以及后勤人员 (11.5%)。人群的划分考虑到具有声学知识以及技术研发人员对于噪声的评测会受到本身知识的影响, 能够把握声音的多维特征, 行政、后勤人员具有丰富的使用经验, 能够给出贴合大众的真实评价。

### 3.3 调查满意度 CVR 曲线

#### 3.3.1 5 级满意度

对 5 级评价尺度下的实验结果按照四舍五入原则直接转化为 5 级满意度结果, 如经过数据处理后, 87 名被试对某个声样本的打分均值为 3.59, 则该产品得分为 4, 对应等级为合格。5 级 CVR<sub>C</sub> 曲线见图 4(a)。

图4 CVR<sub>C</sub>曲线Fig. 4 CVR<sub>C</sub>

### 3.3.2 3级满意度

对于调查满意度实验评价区间 $[1, 5]$ 进行重新划分可以得到3级满意度,均值为 $[1, 2.5]$ 的产品为1级, $(2.5, 4]$ 为2级产品评价区间, $(4, 5]$ 为3级产品评价区间。3级CVR<sub>C</sub>曲线见图4(b)。

## 4 声品质限值的确定

### 4.1 规范满意度初值

通过CVR<sub>C</sub>曲线数值查询CCVR<sub>M</sub>曲线获得 $S_S$ 初值。例如5级满意度时,1级产品CVR为7.5%(图4(a))即SQI由高到低排序前7.5%的产品为1级,查询CCVR<sub>M</sub>曲线(图3),92.5%所对应的SQI为58.45,则1级产品的SQI下限为58.45。各等级产品的声品质指数如表3所示。

表3 吸油烟机声品质规范满意度初值

Table 3 Satisfaction limits of range hood sound quality

级数	等级	语义	SQI
5	1级	优秀	$58.45 \leq \text{SQI}$
	2级	良好	$47.85 \leq \text{SQI} < 58.45$
	3级	中等	$35.25 \leq \text{SQI} < 47.85$
	4级	合格	$20.80 \leq \text{SQI} < 35.25$
	5级	不合格	$\text{SQI} < 20.80$
3	1级	优	$47.85 \leq \text{SQI}$
	2级	中	$29.65 \leq \text{SQI} < 47.85$
	3级	差	$\text{SQI} < 29.65$

### 4.2 规范满意度终值

依据确定声品质分级的第三条原则,由行业专家举行座谈会会对 $S_S$ 初值进行讨论优化得到 $S_S$ 终值,即满意度限值。

## 5 结论

标准T/CAS 341-2019《吸油烟机噪声声品质测试方法》通过声品质指数这一指标将吸油烟机声品质进行数值化表达,在此基础上本文通过主观评价实验以及调查满意度实验给出了吸油烟机声品质满意度限值。本文的主要工作包括:

(1) 提出了一种确定产品声品质满意度分级以及确定限值的方法,以吸油烟机声品质为案例,结合相关标准及主观评价实验给出了一种确定其等级和限值的步骤。

(2) 招募被试110人完成了测量满意度实验,被试87人完成了调查满意度实验,通过数据处理分别得到了吸油烟机声品质5级和3级满意度。

产品声品质分级是一个不断修正和优化的过程,今后仍需市场大样本对该方法进行验证,以检验等级划分及限值选择的合理性,同时将结合技术进步对其不断修正。

## 参 考 文 献

- [1] Blauert J. Product-sound assessment: an enigmatic issue from the point of view of engineering[C]. Proc. Inter-noise 94, Yokohama, Japan, 1994, 2: 857-862.

- [2] Blauert J, Jekosch U. Sound quality evaluation—A multi-layered problem[J]. *Acta Acustica United with Acustica*, 1997, 83(5): 747–753.
- [3] Qian K, Hou Z. Intelligent evaluation of the interior sound quality of electric vehicles[J]. *Applied Acoustics*, 2021, 173: 107684.
- [4] Zhang E, Zhuo J, Hou L, et al. Comprehensive annoyance modeling of forklift sound quality based on rank score comparison and multi-fuzzy analytic hierarchy process[J]. *Applied Acoustics*, 2021, 173: 107705.
- [5] 毛东兴. 声品质研究与应用进展 [J]. *声学技术*, 2007, 26(1): 159–164.  
Mao Dongxing. Progress in sound quality research and application[J]. *Technical Acoustics*, 2007, 26(1): 159–164.
- [6] 谭玄, 刘建明. 吸油烟机风机系统降噪设计 [J]. *家用电器科技*, 2001(3): 60–61.
- [7] 冯翔. 吸油烟机降噪的探讨 [J]. *家电科技*, 2004(6): 54–58.
- [8] 胡如夫, 赵伟敏. 家用油烟机离心风机降噪研究 [J]. *轻工机械*, 2000(2): 28–31.
- [9] 季俊生, 魏喜明, 余悦冰, 等. 吸油烟机声品质评价技术及应用研究 [Z]. 2016.
- [10] 李晗, 陈克安, 于巍巍, 等. 吸油烟机噪声声品质的评价及建模 [C]. 2017年中国家用电器技术大会论文集, 2017: 1063–1068.
- [11] 张玉, 贺金芳, 武磊. 多孔性纤维金属材料在提升吸油烟机声品质方面的应用 [C]. 2017年中国家用电器技术大会论文集, 2017: 944–948.
- [12] 吸油烟机噪声声品质测试方法: T/CAS 341–2019[S].
- [13] 吸油烟机: GB/T 17713–2011[S].
- [14] 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.