

## 汽车关门声品质主客观维度解构及应用研究

王恒<sup>1</sup>, 申秀敏<sup>1,2</sup>, 龙伟<sup>1</sup>, 李利明<sup>1</sup>, 郭常立<sup>1</sup>, 付江华<sup>2</sup>

(1. 重庆金康赛力斯新能源汽车设计院有限公司, 重庆 401135; 2. 重庆理工大学 车辆工程学院, 重庆 400054)

**摘要:** 通过对关门声品质主观评价维度进行解构, 将关门声的主观感知细分为总体响度、厚重感、紧凑感、精致感 4 个维度, 并采用语义细分法结合等级评价法进行关门声品质的主观感知评价。进一步对声品质评价的大量客观参数进行主客观关联性分析, 找到了与关门声品质 4 个感知维度相关性在 0.9 以上的对应客观量化指标, 分别为峰值响度、低频能量、响度特征谱包络和平均尖锐。结合某乘用车关门声品质的优化案例, 对提出的主客观评价方法的合理性进行了验证, 结果表明, 所建立的主客观评价方法, 可以全面表达人对关门声品质的主观感知评价, 在车门声品质开发过程中能较准确地诊断问题, 对汽车关门声品质的评价与开发具有实际指导意义。

**关键词:** 关门声品质; 维度解构; 主客观评价; 关联性分析; 优化设计

中图分类号: U463.83 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2023.03.11

## The Deconstruction and Application of Subjective and Objective Dimensions in Car Door Closing Sound Quality Research

WANG Heng<sup>1</sup>, SHEN Xiumin<sup>1, 2</sup>, LONG Wei<sup>1</sup>, LI Liming<sup>1</sup>, GUO Changli<sup>1</sup>, FU Jianghua<sup>2</sup>

(1. Chongqing Jinkang Seres New Energy Automobile Design Institute Co., Ltd., Chongqing 401135, China;  
2. School of Vehicle Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

**Abstract:** By deconstructing the subjective evaluation criteria for door closing sound quality, the paper divides the subjective perception of door closing sounds into four dimensions: overall loudness, heaviness, compactness and sophistication. And then the paper uses a combination of the semantic segmentation and the rating evaluation methods to conduct the subjective evaluation of door closing sound quality. Furthermore, the correlation analysis between the subjective and objective evaluations was carried out on a large number of objective parameters and their corresponding objective quantitative indicators. The correlation between the four perceptual dimensions and the following indicators, i. e. the peak loudness, low-frequency energy, loudness characteristic spectrum envelope and average sharpness, exceeds 0.9. Finally, the subjective and objective evaluation method proposed in this paper is verified through optimization of door closing sound quality in a passenger car. The results show that the proposed method effectively captures people's subjective perception evaluations and enables more accurate diagnosis of issues in the process of car door sound quality development. The paper has practical guiding significance for the evaluation and development of car door closing sound quality.

收稿日期: 2022-06-22 改稿日期: 2022-07-13

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项项目 (cstc2019jcsx-zdztzxX0047)

参考文献引用格式:

王恒, 申秀敏, 龙伟, 等. 汽车关门声品质主客观维度解构及应用研究[J]. 汽车工程学报, 2023, 13(3): 388-395.

WANG Heng, SHEN Xiumin, LONG Wei, et al. The Deconstruction and Application of Subjective and Objective Dimensions in Car Door Closing Sound Quality Research[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2023, 13(3): 388-395. (in Chinese)



**Keywords:** door closing sound quality; dimensional deconstruction; subjective and objective evaluation; relevance analysis; optimization design

随着汽车行业的高速发展，人们对汽车的动力性、舒适性、轻量化、NVH等各项性能的要求也随之提高。选购汽车时，人们越来越关注其品质感，作为感受汽车品质印象的关门声，可以给消费者带来诸如舒适感、可靠性、豪华感等复杂的主观感受，消费者可能依据这些主观感受来判断汽车的档次水平，甚至决定是否购买该款汽车，从而直接影响汽车的市场竞争力。所以，国内外许多汽车厂商都投入了大量的精力和成本来提高汽车的关门声品质<sup>[1-3]</sup>。

声品质的概念是BLAUERT于1994年提出，指出声品质是在特定的技术目标或任务内涵中声音的适宜性<sup>[4]</sup>。从定义中不难看出，声品质不仅与某些客观物理量有关，还在很大程度上受到人的主观感知、心理状态及情绪等的影响，所以声品质的评价与分析是一个多维的跨学科的复杂任务。而声品质评价是声品质研究的首要问题，其评价方法包括主观感知评价和客观量化评价两个层次<sup>[5]</sup>。主观感知评价能直接反映人的主观感受，但是耗时耗力，采用客观量化的指标来描述主观感知评价是声品质发展的趋势。目前，关门声品质的主要客观量化指标，一般采用关门时声音的尖锐度、振颤以及响度，同时还可能参考波动度和粗糙度<sup>[6-8]</sup>。但这些客观指标并不能完全体现关门声的品质特征，更不能完全表达人对关门声品质的主观感知评价。

因此，本文从用户对关门声的主观感知出发，对关门声品质的维度进行解构。基于关门声品质的主观评价和客观试验，通过主、客观关联性分析找出与主观感知关联性较强的客观参量。最后，通过某乘用车关门声品质的优化案例，对所建立的主客观评价方法的合理性进行验证。

## 1 关门声品质主观评价

主观评价是以人的主观判断为基础，通过人的主观感受，不借助客观设备，由专业评价人员按照

评价规程对车辆的各项性能进行评价，并将评价结果进行分析量化，给出每项指标的评分及评语<sup>[9]</sup>。

### 1.1 主观评价维度解构

通过问卷调查的方式发现，在汽车关门过程中人们通常用声音大小是否适中，声音是否干净利索，是否有突出的异常声音，总体声音是否低沉厚重来描述。将上述几个方面归纳转化为工程语言，可以用总体响度、厚重感、紧凑感、精致感4个维度来描述。这4个维度能完整而独立地体现汽车关门声的主观感知，同时也为汽车关门声品质客观评价参量的选取奠定了基础。

声品质的解构：以具体声音的物理机理为依据，结合感官性描述，详细解析声特征，就是声音的解构。科学的解构，是开展声品质主客观评价研究的先决条件，关门声品质主观感知评价的解构如图1所示。

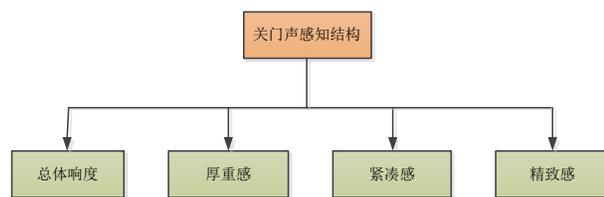


图1 关门声品质解构

总体响度代表主观上感受到的撞击瞬间总体音量感<sup>[10]</sup>。厚重感代表低频能量足够强，并有一定的持续时间，往往给人以高级的品质感受，属于关门声成分中重要的底色。紧凑感代表车门第1次撞击车身门框密封面后多余的动态响应，体现关门声时域上的特征。精致感是关门声中较高层次的评价，除了考虑紧凑感所强调的多次冲击响应和收敛性问题，精致感还探讨车门撞击过程的中高频音色与低频音色动态变化关系与调和关系，体现声音频域上的分布特征。

### 1.2 主观评价方法

目前常用的声品质主观评价方法主要有：排序

法、等级评分法、语义细分法、两两比较法等<sup>[11-13]</sup>。这些方法各有利弊,须根据不同的试验条件选择适当的评价方法才能获取较好的评价结果。

等级评分法是一种绝对评价方法,通过事先给出明确的“标尺”,5级或10级(可人为设定)<sup>[14]</sup>。但当样本过多时,由于缺乏标准参考,会导致声音样本在主观听觉上差别很小、难以分辨的情况。语义细分法可从多维度评价声音样本,适用于需要精确定义声品质属性的评价背景,但挑选维度至关重要,必须能体现样本特征属性。两两比较法相对来说比较容易把握,但当两个样本差异不明显时很难区别且有可能产生过评价。因此,文中对于所采集关门声样本信号的声品质主观评价试验采用语义细分法结合等级评价法进行,通过两种评价方法的优势互补,提高主观评价结果的可信度。

汽车关门声品质主观评价是在声品质评价间进行的,基于HEAD Acoustics SQuare系统,经过培训的工程师可以简易快捷地构建直观的音质测试和评价系统。声品质主观评价间如图2所示。基于SQuare系统的回放评价打分,具体评价步骤如下。

- 1) 设定等级评分法的评价等级。
- 2) 通过语义细分法中的等级评价法,找出各组中评价最差的样本,并定义其分值。
- 3) 设置评分区间和最小评分精度,对于能评价出的特征问题,在正常打分基础上视情况扣分。
- 4) 对每组样本采用两两比较法进行评价,评价结果为 $A>B$ 、 $A=B$ 、 $A<B$ 。目的是对等级评价法进行补充,从而进一步提高主观评价结果的可信度。



图2 声品质主观评价间

正式打分评价时,将前面评价出每组中最差的样本排序在第1(每组中其余评价样本需随机排列),后面样本评分以此作为评价参考,其余样本评分尽可能布满整个打分区间。

## 2 基于主观评价维度的客观量化

基于主观评价维度的声品质客观化研究,主要围绕声品质解构与评价和寻找最合适的客观量化指标两方面进行。首先应从感观出发,用尽可能少的词语去描述一个声音的所有特征,然后基于主观感受,选取尽可能多的客观指标用于相关性分析,最后通过相关性分析来反馈主客观之间的对应关系。

### 2.1 关门声品质客观试验

关门声样本的采集是关门声品质评价中重要的环节。样本质量的好坏将影响到主观评价试验能否顺利进行,进而影响试验结果,甚至能决定整个试验的成败。同时,采样方法和样本数量的选择,也将直接影响评价结果的合理性和可靠性。

在背景噪声 $<20$  dB(A)、截止频率 $<50$  Hz的半消声室内进行关门声品质试验测试。现场布置如图3所示,采集点为每个车门把手后方的400 mm,车身外廓300 mm处,传声器高度为1.60 m。



图3 关门声品质试验现场

试验步骤如下:打开车门,车门开度保持在第1限位角与第2限位角之间,试验人员多次推动车门使其关闭,直到找到最小关闭速度<sup>[15]</sup>;分别以最小关闭速度、1.2倍最小关闭速度和1 m/s关闭速度关门,并依次保存和记录各扇车门的声品质数据及关闭速度,允许速度误差为0.02 m/s,确保上述各关闭速度下分别保存和记录至少4组有效数据。

## 2.2 客观量化指标确定

关门声品质传统研究方法中，客观评价参量有声压级、响度、尖锐度、震颤衰减时间等<sup>[4]</sup>。本文将主、客观关联性强弱为根本依据，筛选出与主观感知维度最为对应的客观参数作为客观量化指标。其中，客观量化指标确定流程如下。

- 1) 样车客观数据采集与客观指标提取。
- 2) 基于SQuare系统的回放评价打分，评分方式采用5分制，评分精度设置为0.5分。
- 3) 对主客观结果进行相关性分析。

相关分析是一种常用的表示变量间线性相关度的分析方法<sup>[16]</sup>。相关性分析因变量类型不同有多种计算方法，常用的有Pearson相关系数法、Kendall's tau-b和Spearman等级相关系数法。文中相关性分析采用应用最广泛的Pearson相关系数法，即互相关系数法，计算公式为：

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中： $R_{xy}$ 为变量 $x$ 和 $y$ 的相关系数； $x_i$ 和 $y_i$ 为向量 $x$ 和 $y$ 中的元素； $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 为向量 $x$ 和 $y$ 的均值； $n$ 为样本数量。

根据上述客观量化指标确定的流程，采集对象样车及另外6台参考样车（其中紧凑型、中级、高级车各2台）作为关门声研究样本，利用SPSS统计分析软件对声品质客观参数与主观评分进行主、客观关联性分析发现：总体响度与峰值响度之间的相关系数为0.951；厚重感与关门过程低频能量之间的相关系数为0.948；精致感与关门过程平均尖锐度之间的相关系数为-0.924，相关性绝对值均超过0.9，如图4~6所示。

此外，通过对各样车关门过程中的尖锐度变化情况进行分析发现：特征响度谱包络线可以对非紧凑感特征进行识别，如关门过程中的“空洞感”、门锁多次撞击收敛差问题、气压平衡阀复位拍击音等问题均可以被特征响度谱包络线这一指标识别，因此，选择特征响度谱包络线为约束关门过程中非

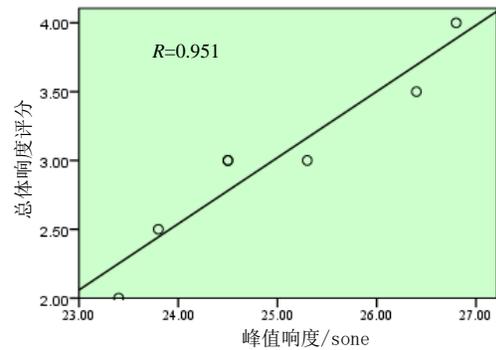


图4 峰值响度与总体响度相关性分析

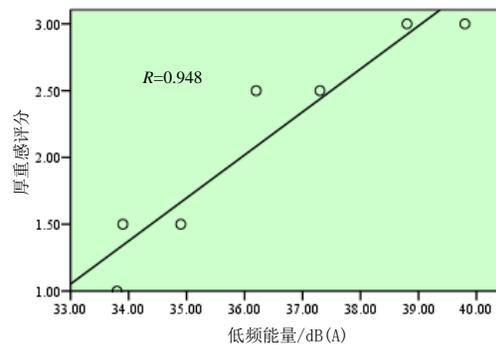


图5 低频（20~80 Hz）能量与厚重感相关性分析

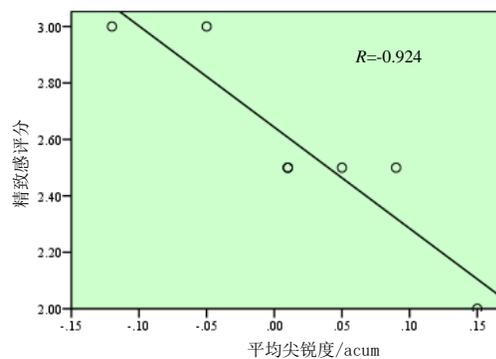


图6 平均尖锐度与精致感相关性分析

紧凑感特征的相关性指标。图7为各样车完整关门过程特征响度谱分析结果。

通过上述分析，最终确定由关门峰值响度、低频（20~80 Hz）能量、响度特征谱包络和平均尖锐度分别描述总体响度、厚重感、紧凑感和精致感。关门声品质主客观指标对应关系如图8所示。

根据产品定位与性能对标，参考以往声品质特征设计方向选择制定整车性能开发目标，给出峰值响度（soneGF）推荐范围是： $22 \leq$  峰值响度（soneGF） $\leq 26$ ；具备较强厚重感的低频（20~80

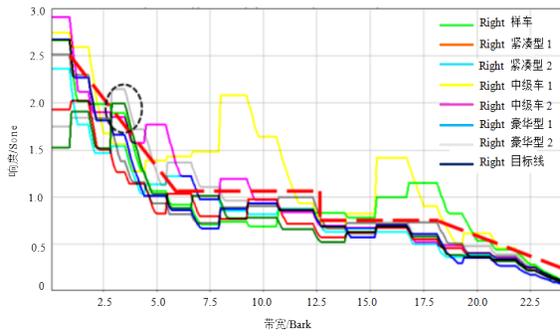


图 7 各样车关门过程特征响度谱分析

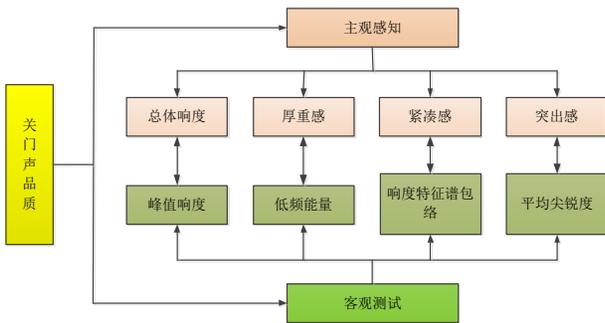


图 8 关门声品质主客观对应关系

Hz)能量(Square 平均)推荐范围是:  $\geq 35$  dB(A); 给出具备较好关门精致感的平均尖锐度推荐范围是: 1.0~1.08 acum; 给出具备较好关门紧凑感的推荐范围是: 1~5.5 Bark, 2.5~1.0 soneGF; 5.5~12.5 Bark, 1 soneGF; 12.5~18 Bark, 0.75 soneGF; 18~24 Bark: 0.75~0.25 soneGF。

### 3 应用实例

以某乘用车关门声品质优化为例, 运用前文所述的主客观维度解构方法, 确定优化方向并验证其适用性。

#### 3.1 问题描述

对于基础样车, 通过总体响度、厚重感、紧凑感、精致感 4 个维度分别进行细致主观评价, 并反复确认和记录问题特征。基础样车主要表现出的声特征问题有: 1) 总体响度适中, 关门低频厚重感不足; 2) 门锁撞击高频金属音较弱, 但存在较明显的“空洞感”。

##### 3.1.1 低频厚重感不足分析

按照关门声 20~80 Hz 能量统计方法, 基础样车低频能量统计结果为 31.8 dB(A), 与目标值有

一定差距。基于小波分析的能量分布情况如图 9 所示。特定分析时长和初始定义规则时域数据谱计算结果如图 10 所示。

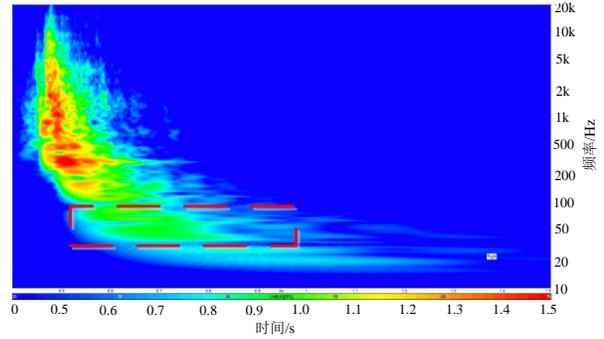


图 9 关门声品质小波分析结果(原状态)

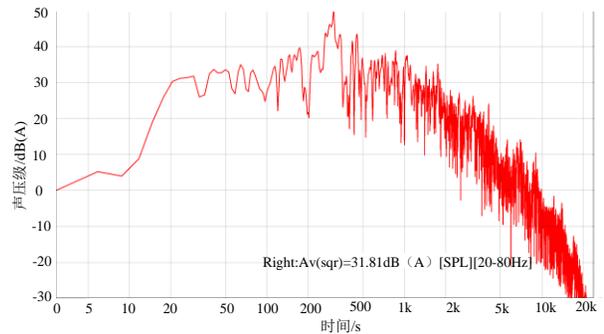


图 10 关门过程频谱分析

#### 3.1.2 关门过程“空洞音”分析

样车关闭左前车门, 主观感受有明显单频声冗余, 主观上形象地描述为“空洞音”。经客观测试、分析发现锁销安装点动刚度在 285 Hz 处存在明显弱点, 且锁销安装点 20~500 Hz 平均动刚度仅为 1 404.79 N/mm, 刚度偏小。为确认问题, 首先通过手工优化方案对锁销安装点动刚度进行加强, 如图 11 所示。



图 11 锁销安装点动刚度手工加强方案

左前车门锁销安装点加强前后动刚度对比如图 12 所示, 图中红线、绿线和蓝线分别为样车原

状态、优化后和对标车锁销安装点动刚度曲线。由图 12 可知，优化后 285 Hz 弱点不存在；优化后整体动刚度及 285 Hz 动刚度弱点得到明显提升。图 13 为加强前后车门关门声品质对比，由图可知，285 Hz 单频冗余和声音收敛性均得到明显改善。主观评价左前车门关门“空洞音”消失。

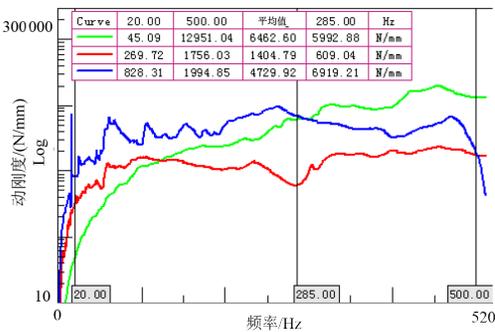


图 12 加强前后锁销安装点动刚度对比

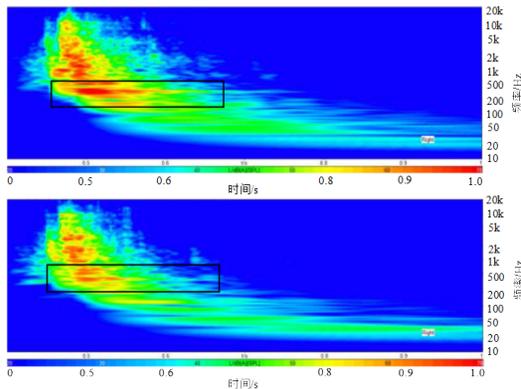


图 13 加强前后车门关闭声品质对比

### 3.2 设计改进

通过上述分析，主观感知问题已具体到客观问题点，下面针对识别到的问题点开展优化工作。

1) 低频厚重感不足优化：优化车门装配精度，目前样车车门铰链侧密封条压缩量明显大于门锁侧密封条压缩量；增大密封条压缩量，由原状态 3 mm 增大到 3.5 mm；优化密封条泡管结构，由单脚支撑改为双脚支撑，如图 14 所示。

2) 关门过程“空洞音”优化：通过对车门锁销安装点局部结构（图 15）进行有限元网格划分，根据经验将 B 柱内部加强板（图 16 右侧红色部分）向负 Z 向延伸到锁销安装点位置，此外厚度在 0.8~2.0 mm 之间以每 0.3 mm 递增的方式设置 4 组厚度。

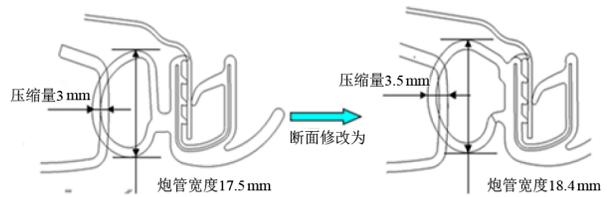


图 14 密封条炮管结构示意图

通过有限元计算可知：当厚度由原来的 0.8 mm 增加到 1.7 mm 时，锁销安装点平均动刚度和最小安装点动刚度均满足经验目标。在 20~500 Hz 内，优化后锁销安装点平均动刚度  $\geq 4\ 500$  N/mm，且最小安装点动刚度  $> 2\ 500$  N/mm。



图 15 车门锁销安装点结构

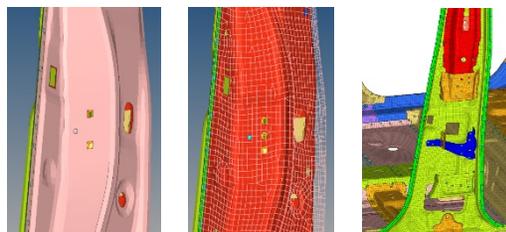


图 16 车门 B 柱局部结构

### 3.3 效果验证

为验证最终优化设计的效果，根据峰值响度、低频能量统计、响度特征谱包络和平均尖锐度 4 个客观参数，对比样车关门声品质优化前后及对标车的状态，分别如图 17~20 所示。

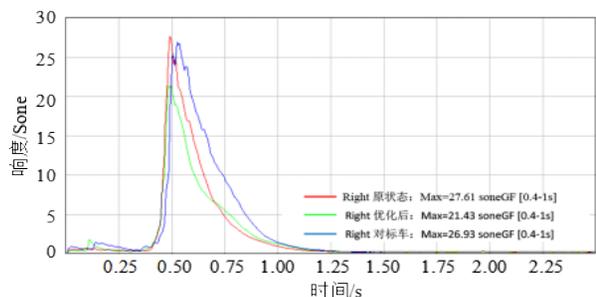


图 17 峰值响度

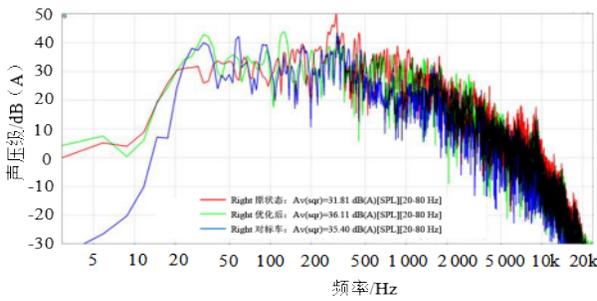


图 18 20~80 Hz 低频能量统计

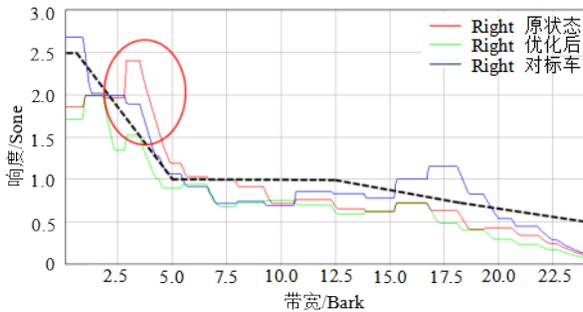


图 19 响度特征谱包络

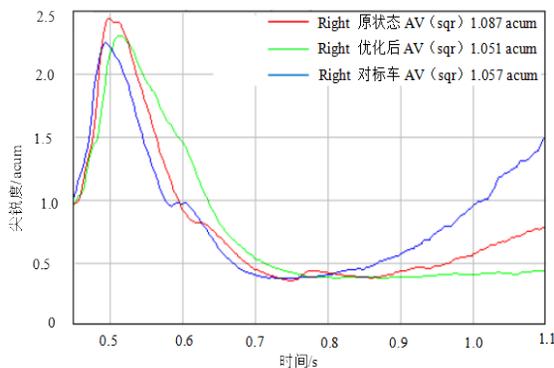


图 20 平均尖锐度

经过上述方案的实施,由图 17~20 计算可得:峰值响度由原来的 27.61 soneGF 减小到 22.78 soneGF,改善比达 17.5%;响度特征谱包络线基本降至目标线以下(图中黑色虚线为响度包络普目标线);低频(20~80 Hz)能量即低频平均声压级由 31.81 dB(A)提高至 35.50 dB(A),改善比达 11.6%;

## 参考文献 (References)

- [1] LEE S K. Objective Evaluation of Interior Sound Quality In Passenger Cars During Acceleration [J]. Journal of Sound and Vibration, 2008, 310(1-2): 149-168.
- [2] SHIN T J, PARK D C, LEE S K. Objective Evaluation of

平均尖锐度由 1.087 acum 降至 1.051 acum,改善比为 3.3%。客观指标基本满足设计要求。

进一步通过对样车及对标车关门声品质优化前后状态开展主观评价发现:优化后样车关门声品质相比原状态有明显提升,关门过程峰值响度降低,关门声品质紧凑感、精致感、低频厚重感均得到明显提升,均已达到或超越对标车水平。

## 4 结论

本文以汽车关门声品质优化为切入点,系统介绍了关门声品质主观评价和客观试验的基本方法。通过对关门声品质主观评价维度的解构,确定了用于关门声品质主观评价的 4 个维度。摒弃了传统的声压级、响度和振颤衰减时间等客观评价指标,在主观评价和客观试验的基础上,通过主客观关联性分析,提出了与主观感受关联度更高的客观参数,大幅提高了关门声品质优化的准确性和可操作性。结合某乘用车关门声品质优化的具体案例,验证了所提出的主客观评价方法的合理性,为关门声品质优化问题提供了一种切实可行的方法,结论如下。

1) 研究表明,通过主观评价、客观测试,结合主客观关联性分析,在关门声品质开发过程中能较准确地诊断问题,对于提高关门声品质具有明显优势。

2) 通过细分人对关门声的主观感知,从总体响度、厚重感、紧凑感、精致感 4 个维度可以表达人对关门声品质的主观感知评价,且具有全面准确的特点。

3) 以主客观关联性大小为基本依据,筛选出与主观评价的总体响度、厚重感、紧凑感和精致感 4 个维度对应的客观指标,分别是峰值响度、低频(20~80 Hz)能量、响度特征谱包络和平均尖锐度,且客观指标能较好地反映主观感知结果。

- Door-Closing Sound Quality Based on Physiological Acoustics [J]. International Journal of Automotive Technology, 2013, 14(1): 133-141.

- [3] 《中国公路学报》编辑部. 中国汽车工程学术综述·

- 2017[J].中国公路学报,2017,30(6):1-197.  
Editorial Department of China Journal of Highways. Summary of China Automotive Engineering Academic Research, 2017[J].Chinese Journal of Highways, 2017, 30(6):1-197.(in Chinese)
- [4] BLAUERT J.Product-Sound Design and Assessment: An Enigmatic Issue from the Point of View of Engineering [C].Hamburg: Inter-Noise Conference, 1994.
- [5] 姜吉光,王登峰,苏丽俐,等.车内噪声品质偏好性主客观评价及相关性分析[J].汽车技术,2012(8):6-10.  
JIANG Jiguang, WANG Dengfeng, SU Lili, et al.Principal and Objective Evaluation and Correlation Analysis of Interior Noise Quality Preference [J]. Automobile Technology, 2012(8):6-10.(in Chinese)
- [6] PARIZET E, GUYADER E, NOSULENKO V.Analysis of Car Door Closing Sound Quality [J]. Applied Acoustics, 2008, 69(1):12-22.
- [7] 申秀敏,左曙光,王勇,等.轿车声品质主观评价研究[J].噪声与振动控制,2013,33(1):96-101.  
SHEN Xiumin, ZUO Shuguang, WANG Yong, et al. Study on Subjective Evaluation of Car Sound Quality [J]. Noise and Vibration Control, 2013, 33(1):96-101. (in Chinese)
- [8] 王长山,张立军.汽车关门声品质评价方法的研究[J].汽车工程,2011,33(10):902-906,901.  
WANG Changshan, ZHANG Lijun. Study on the Evaluation Method of Sound Quality of Automobile Closed Door [J]. Automotive Engineering, 2011, 33(10):902-906,901.(in Chinese)
- [9] 刘宁宁,李文静,王岩松,等.声品质主观评价方法对比分析[J].现代制造工程,2016(10):6-11.  
LIU Ningning, LI Wenjing, WANG Yansong, et al. Comparative Analysis of Subjective Evaluation Methods of Sound Quality [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2016(10):6-11.(in Chinese)
- [10] 杨光.某乘用车关门声品质的分析与优化[J].时代汽车,2018(12):134-135.  
YANG Guang. Analysis and Optimization of the Quality of a Passenger Car Closing Door [J]. Times Auto, 2018 (12):134-135.(in Chinese)
- [11] 庞剑.汽车车身噪声与振动控制[M].北京:机械工业出版社,2015.  
PANG Jian. Automotive Body Noise and Vibration Control [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2015. (in Chinese)
- [12] 郭栋,石晓辉,胡纬庆,等.基于语义细分法的某汽车传动系声品质评价[J].中国公路学报,2017,30(6):307-314.  
GUO Dong, SHI Xiaohui, HU Weiqing, et al. Sound Quality Evaluation of an Automobile Transmission System Based on Semantic Subdivision Method [J]. China Journal of Highway and Transport, 2017, 30(6):307-314.(in Chinese)
- [13] 杨川,于德介.汽车关门声品质改进方法的研究[J].汽车工程,2012,34(8):686-691.  
YANG Chuan, YU Dejie. Study on the Improvement Method of Car Door Sound Quality [J]. Automotive Engineering, 2012, 34(8):686-691.(in Chinese)
- [14] 赵丽路,于德介,陈关宝.汽车关门声品质评价参数的建立[J].噪声与振动控制,2013,33(3):132-137.  
ZHAO Lili, YU Dejie, CHEN Guanbao. Establishment of Quality Evaluation Parameters for Car Door Closing [J]. Noise and Vibration Control, 2013, 33(3):132-137. (in Chinese)
- [15] 徐中明,吴丹,夏小均,等.不同关门力度下乘用车关门声品质评价[J].重庆大学学报,2017,40(1):11-19.  
XU Zhongming, WU Dan, XIA Xiaojun, et al. Evaluation of Sound Quality of Passenger Car Closing Door Under Different Closing Forces [J]. Journal of Chongqing University, 2017, 40(1):11-19.(in Chinese)
- [16] 邱皓政.量化研究与统计分析:SPSS(PASW)数据分析范例解析[M].重庆:重庆大学出版社,2013.  
QIU Haozheng. Quantitative Research and Statistical Analysis: Sample Analysis of SPSS (PASW) Data Analysis [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2013.(in Chinese)

## 作者简介



王恒(1992-),男,湖北荆门人,硕士,工程师,主要研究方向为汽车NVH开发与控制。

Tel: 17725156412

E-mail: 1017660975@qq.com