

# 由喇叭振动引起笔记本杂音的客观测试方法及其指标探究

肖自锋, 唐波, 李超

联想(上海)信息技术有限公司, 上海  
Email: xiaozf2@lenovo.com

收稿日期: 2021年8月7日; 录用日期: 2021年9月2日; 发布日期: 2021年9月9日

---

## 摘要

笔记本喇叭工作时其振动有可能传递到笔记本壳体上, 易引发一些松物件(键盘, 触摸板)的振动, 进而产生杂音。长期以来, 业内一直以主观评价的方式来对该问题进行评估, 耗费大量人力物力。因此, 开发一套有效的客观测试方法具有重要的意义。本研究通过分析喇叭的振动特性以及笔记本杂音的声学特征, 开发了用于激励笔记本喇叭的通用激励声源以及提取杂音声压能量的方法, 进而制定了笔记本杂音的测试方法及测试指标(喇叭杂音度)。并依据该指标选定样本进行用户调研, 得到了主观评价与客观测试相吻合的结论, 证实了该测试方法及测试指标的有效性。

## 关键词

笔记本, 喇叭, 振动杂音, 客观测试

---

# Exploration of Objective Test Method and Index of Notebook Noise Caused by Speaker Vibration

Zifeng Xiao, Bo Tang, Chao Li

Lenovo (Shanghai) Information Technology Limited Corporation, Shanghai  
Email: xiaozf2@lenovo.com

Received: Aug. 7<sup>th</sup>, 2021; accepted: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2021; published: Sep. 9<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

The vibration of notebook speaker may be transmitted to the notebook shell when it works, caus-

ing some loose parts (keyboard, touchpad) to vibrate, and then produce noises. For a long time, the industry has been evaluating the problem by subjective evaluation, which consumes a lot of manpower and material resources. Therefore, it is of great significance to develop an effective and objective test method. This study analyzed the vibration characteristics of the speakers and the acoustic characteristics of the notebook noise, and developed a general sound excitation for the notebook speaker and the method of extracting the noise pressure energy. Then, the test method and test index (SNI: speaker noise index) of the notebook noise caused by the speaker vibration are developed. According to the sample selected by the index, the user survey was carried out, and the conclusion that the subjective evaluation is consistent with the objective test is obtained, so the validity of the test method and test index is confirmed.

## Keywords

Notebook, Speaker, Noise, Objective Test

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

一直以来笔记本朝着轻薄化的方向发展，而用户对于音效的追求也从未停歇。新冠疫情的爆发，刺激了用户在家学习、在家办公的需求，此类用户场景对喇叭性能提出了更高的要求。喇叭的音量越来越大，其振动位移也越来越大，导致振动能量越来越容易传导至机壳上，进而引起键盘、触摸板等松动件的振动，发出噪声，影响声音品质。同时更轻薄的机身又加剧了该问题的发生。

长期以来，业内一直以主观评价的方式来对该问题进行评估。但主观评价的结果受评价人员心情、年龄、数里、听音环境等诸多因素影响，结果可重复性较差，且耗时耗力。

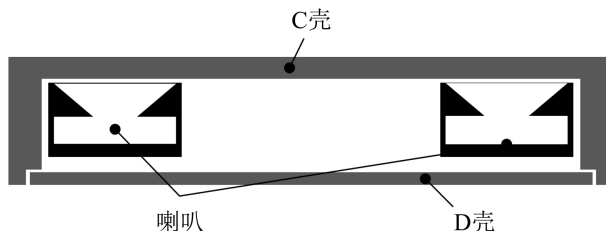
由喇叭引起笔记本振动杂音的指标开发相关的研究较少。但该问题与汽车异响产生机理类似，在汽车异响的指标开发方面，近年来有很多的学者专家对其进行了研究。申超、沈沉[1][2]基于心理声学对汽车座椅异响进行了研究，将响度、尖锐度、粗糙度等心理声学参数应用于异响的评价，并对主观评价评分进行了多参数的拟合，得出一个综合性的评价指标。陈桂均[3]对关门声品质的评价进行了研究，主要采用了响度及能量衰减时间作为客观参数指标。陶泽平[4]对汽车仪表盘异响进行了研究，采用了逐步回归法将主观评分对客观心理声学参数进行回归分析，得出响度是影响主观评价得分的最主要客观参数。

本研究通过分析喇叭的振动特性以及笔记本杂音的声学特征，发现喇叭振动位移、传递力较大的频率与笔记本杂音所处的频率重叠区域极少。这是因为笔记本杂音是由触摸板、键盘自身内部结构件撞击产生，而这些松动件质量较轻，刚度较大，故而杂音所处的频率区域较高；而处于激励端的喇叭，频率越低其振动位移越大，传递至机壳的传递力也越大。依据这个特征，可以制定低频的激励声源来激励喇叭，而在采集到的声音里提取高频部分的声压作为杂音大小的指征参数：喇叭杂音度。另外，选取了 5 个样本，分别测试喇叭杂音度，并进行了主观评分。然后对主观评分和喇叭杂音度进行数据拟合，考察二者相关性。

## 2. 激励声源的制定

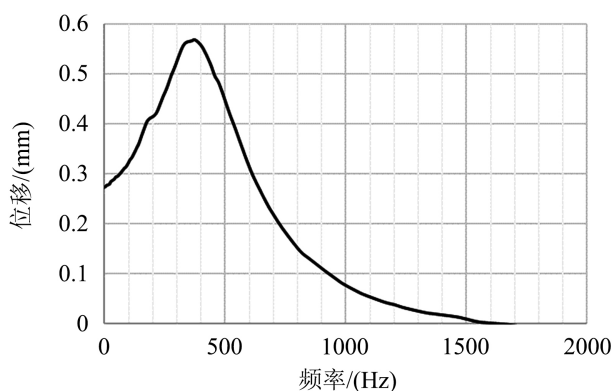
笔记本喇叭一般位于笔记本两侧，通过软垫安装在 C 壳上，如图 1 所示。喇叭工作时，一方面如果

位移过大, 将会导致喇叭触碰 C/D 壳, 形成硬接触, 从而直接将振动传递到松动件(键盘, 触摸板)上, 引发振动杂音。另一方面如果软垫隔振不足, 喇叭的振动会通过软垫传递到 C 壳上, 也会引发松动件的振动杂音。

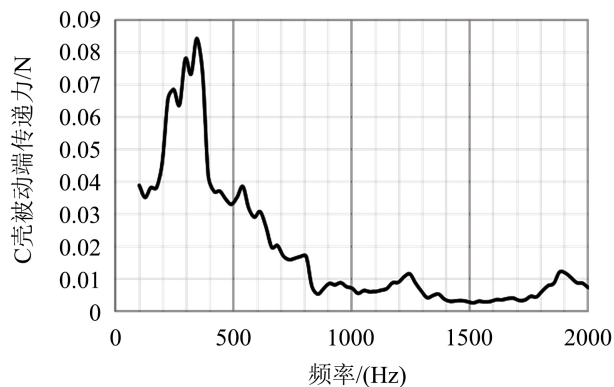


**Figure 1.** Installation of notebook speaker  
**图 1.** 笔记本喇叭安装位置示意图

通过试验和仿真可以得到笔记本喇叭模组在恒定功率下的位移频率响应曲线及 C 壳安装点的力频率响应曲线。图 2 图 3 分别为试验得到的位移频率响应曲线及力频率响应曲线。可以发现, 对于笔记本喇叭系统, 最大的位移以及最大的传递力均发生在频率较低的频段, 因此最易引起笔记本振动杂音的激励频率也应位于该频段内。



**Figure 2.** Typical displacement frequency response of notebook speaker  
**图 2.** 笔记本喇叭典型振动位移频率响应



**Figure 3.** Typical C-shell received force frequency response of notebook speaker  
**图 3.** 笔记本喇叭典型 C 壳传递力频率响应

基于以上的分析,理想的激励声源应覆盖易引发笔记本振动杂音的频率范围,经过大量样本的分析及测试,位移在 0.1 mm,传递力在 0.02 N 以下的频率范围均在 1000 Hz 以下。由此,可以在白噪声的基础上进行低通滤波得到激励声源,为使激励覆盖易引发杂音的频率范围,低通滤波器截止频率可设定为 1000 Hz,其频谱如图 4 所示。

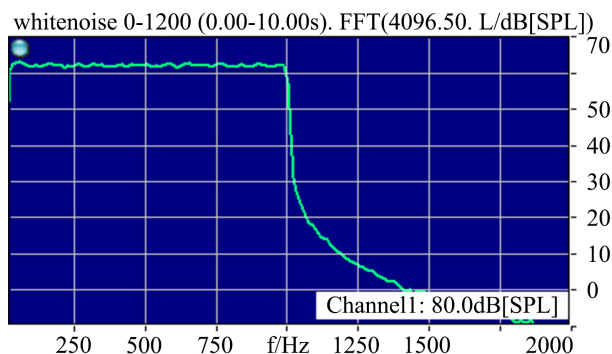


Figure 4. Spectrum of excitation source

图 4. 激励声源频谱

### 3. 噪声声学特征识别及指标制定

在笔记本实际使用过程中,我们发现钢琴曲较容易引起客户对振动杂音的抱怨。因此,试验使用售后退机播放钢琴曲,并记录声音。售后退机测试频谱图及原始音源频谱图如图 5 所示。

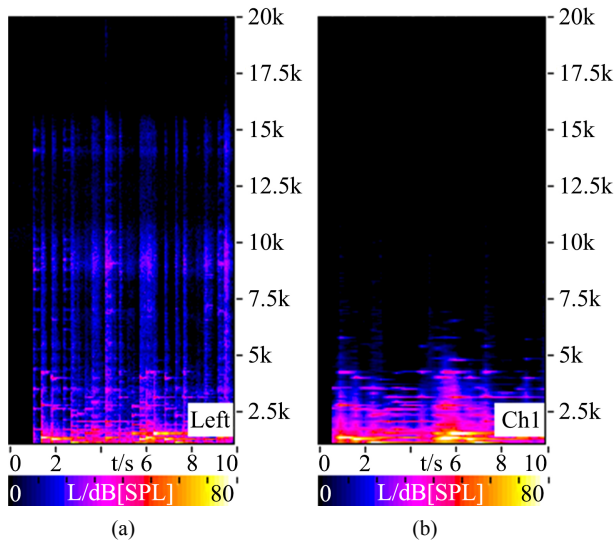


Figure 5. Spectrum of playback by the complained notebook and original music. (a) complained notebook; (b) original music

图 5. 售后退机测试频谱图及原始音乐频谱图。(a) 售后退机; (b) 原始音源

与原始音乐频谱相比,测试样本频谱在 5 k 频率以上部分存在多余的能量,频率主要集中在 7.5 k~11 k 和 13 k~16 k 之间,经滤波回放分析,正是这些多余的能量引起了主观听感的杂音。此外,大量的样本试验分析证实了该结论。

综合上面的分析：最易引发振动杂音的激励频率在 1 kHz 以下，而引起主观听感杂音的频率成分主要频率成分在 5 kHz 以上。因而可以将上节中制定的激励音源进行激励，将测试得到的声音进行 5 kHz 高通滤波，然后统计其声压级，使可得到应用于评价振动杂音性能的客观指标：喇叭杂音度。

#### 4. 用户调研

调研选取了 5 个样本，喇叭杂音度分别为 23.1, 24.8, 27.3, 32.4, 38.4。实验对象共 9 个，其中男性 5 人，女性 4 人。测试使用易产生振动杂音的钢琴曲进行测试，并在消音室中进行，被测人员戴上眼罩进行盲听，如图 6 所示。然后对振动杂音按表 1 的评分表进行评分。



Figure 6. Subjective evaluation  
图 6. 被测人员主观评价

Table 1. Score table of subjective evaluation

表 1. 主观评价评分表

主观评分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
品质表现	极其不满意		非常不满意		不满意	中立	有点满意	满意	非常满意	极其满意

主观评价与喇叭杂音度拟合结果如图 7 所示。因振动杂音是一个负面指标，所以在实验中，很少有人会给出满意的评价，因而没有测试样本能得到 8 分以上的评分。拟合曲线残差为 0.9981，说明喇叭杂音度与喇叭杂音主观评价评分相关性极强，喇叭杂音度能够非常好地体现笔记本振动杂音的水平。

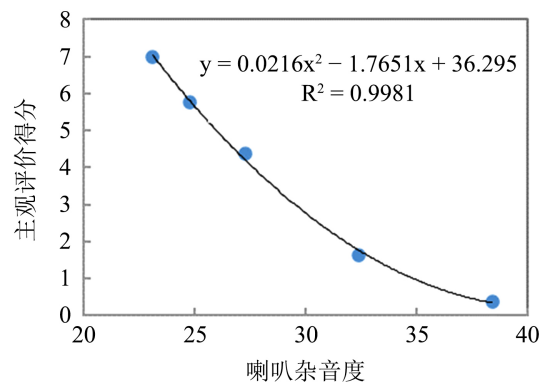


Figure 7. Fitting of subjective score to the SNI (speaker noise index)  
图 7. 主观评分对喇叭杂音度的拟合

## 5. 结语

1) 笔记本喇叭本体振动位移及传递力较大的频率范围在 1 kHz 以下, 而笔记本杂音所处的频率范围在 5 kHz 以上, 重叠区域极少;

2) 采用 1 kHz 低通白噪声能够有效地激励出笔记本振动杂音;

3) 在采集到的声压信号中采用 5 kHz 高通滤波够有效地提取笔记本振动杂音, 进而得到喇叭杂音度;

4) 喇叭杂音度与喇叭杂音的主观评分有极强的相关性, 可以非常好地表征笔记本喇叭振动杂音的水平, 从而可以替代主观评价, 对笔记本共振杂音进行有效判定。

## 参考文献

- [1] 申超, 彭宇明, 杨明亮, 等. 基于台架试验的汽车座椅异响评价方法探究[J]. 噪声与振动控制, 2017, 37(3): 101-106.
- [2] 沈沉, 刘宇, 罗俊雄, 等. 基于心理声学的汽车子系统振动异响评价探究[J]. 汽车工程学报, 2016, 6(3): 223-228.
- [3] 陈桂均, 邹亮, 陆明, 等. 汽车关门声品质的评价及改进[J]. 客车技术与研究, 2020, 3(3): 49-52.
- [4] 陶泽平, 郑敬峰, 潘燕璐. 汽车仪表板振动异响的声品质评价方法[J]. 上海汽车, 2020(12): 27-32.