

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.10.019

高分子材料的降噪性能评价方法

郑樑¹, 李俊杰², 曹巍¹, 杨君胜¹, 陆佳琦¹, 孟涛²

(1. 上汽大众汽车有限公司, 上海 201805; 2. 上海锦湖日丽塑料有限公司, 上海 201107)

摘要: 塑料零件之间受到挤压摩擦产生滑动时, 易发生粘滑现象从而产生异响, 但针对塑料材料降噪性能的评价, 行业内仍然没有统一的测试方法和标准。针对上述情况, 通过设计合适的工装结构模拟塑料之间的粘滑现象进行摩擦异响试验, 通过试验获得的人耳响度值和震动加速度大小表征塑料材料产生噪音倾向的大小。测试结果表明, 设计的试验能够很好地区分普通材料和降噪材料, 并且具有可重复性; 显微形貌观察说明该试验成功地模拟了塑料材料的粘滑现象; 根据德国汽车工业协会制定的材料粘滑性能评价方法对普通材料和降噪材料进行测试, 结果表明摩擦异响试验结果与材料粘滑性能测试的评价结果一致, 说明此试验方法对材料降噪性能的评价具有可靠性。

关键词: 高分子材料; 降噪; 粘滑现象; 异响

中图分类号: TQ325.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)10-0106-04

Characterization Method on Noise Reduction Property of Polymer Materials

Jia Liang¹, Li Junjie², Cao Wei¹, Yang Junsheng¹, Lu Jiaqi¹, Meng Tao²

(1. SAIC Volkswagen Automotive Co. Ltd., Shanghai 201805, China; 2. Shanghai Kumhosunny Plastics Co. Ltd., Shanghai 201107, China)

Abstract : When sliding occurs between plastic parts due to the squeezing and friction, the stick-slip phenomenon appears easily for producing uncomfortable noise, but there is still no unified test method and standard for the characterization method on the noise reduction property of plastic materials. In view of the above situation, appropriate tooling structure was designed for simulating the stick-slip phenomenon between plastics to make the friction abnormal sound test, and the loudness value and vibration acceleration value gained from the test were used to characterize the noise generation risk of plastics. The test results show that the designed test can distinguish the ordinary materials from the noise reduction materials. The observation of microscopic morphology indicates that the test successfully simulates the stick-slip phenomenon of plastic materials. According to the evaluation method of material stick-slip performance developed by German association of automobile manufacturers, the tests of ordinary materials and noise reduction materials were done. It show that the designed friction abnormal sound test results are consistent with the evaluation results of material stick-slip performance test, indicating that the evaluation of the material noise reduction property by using the designed friction abnormal sound test is reliable.

Keywords : polymer material ; noise reduction ; stick-slip ; abnormal sound

随着汽车轻量化和家电的智能化以及价格竞争白热化, 高分子材料因具有价格低、一体成型、后加工简单等优点, 在替代部分金属零件方面已成为必然的趋势。由于大多数家电在工作时会发热或者制冷, 导致不同零件之间由于热胀冷缩产生挤压而发出“吱嘎”异响, 这种情况在空调产品中尤为常见; 在汽车产品中, 由于汽车发动机或行驶震动或零件受外力挤压, 也会导致零件互相摩擦而产生“吱吱”

的异响声。这种异响声可能来自塑料件与塑料件之间的摩擦, 也可能来自塑料件与皮革件或金属件之间的摩擦。静音空调可以给人提供安宁的睡眠环境, 提高人们的睡眠质量, 增加产品卖点; 较低的车内噪音可以提高驾乘人员的舒适度, 降低车内噪音对驾乘人员交流的影响, 帮助驾驶员放松和集中注意力, 避免因噪音影响带来的安全隐患。因此, 静音空调和车内噪声水平不仅能够为企业提高产品竞争

通信作者: 李俊杰, 硕士, 主要从事工程塑料功能化改性及加工应用 E-mail: jjli@kumhosunny.com

收稿日期: 2020-08-10

引用格式: 郑樑, 李俊杰, 曹巍, 等. 高分子材料的降噪性能评价方法 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(10): 106-109, 128.

Jia Liang, Li Junjie, Cao Wei, et al. Characterization method on noise reduction property of polymer materials[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(10): 106-109, 128.

力,还可以塑造良好的企业形象,给消费者带来技术领先和高质量制造的认知。目前,空调和汽车产品中的异响问题已经成为两大行业关注的焦点之一,也是高端制造与中低端制造的关键区别点。空调产品,尤其是汽车产品的噪声问题是非常复杂的。例如,空调噪声可分为气动噪声、机械噪声和电磁噪声三大类^[1-2],引起车内噪声的因素主要有发动机噪声、进排气噪声、传动系统噪声、高速行驶时的风噪声以及零件震动噪声等^[3]。目前针对空调和汽车产品的噪声解决方案主要有粘贴无纺布、涂覆润滑油、包覆吸音棉、增加橡胶内衬等方式^[4-7]。但是,传统上对异响问题的评判仍需进行零件组装,主观评价异响的严重程度,基本属于“发现-修复”的方式,优化周期较长且成本高昂。

塑料制件之间发生摩擦或挤压时,可能会发生典型的粘滑现象。粘滑指的是两个材料受到外力后,由于摩擦运动使材料由相互粘着的状态突然转变为脱离滑动的状态的一种现象^[8-9]。粘滑现象会导致塑料件的摩擦震动而发出异响声,因此,如果采用合理的粘滑评价手段,可以将异响风险的识别和控制提前到产品设计前期,在材料开发阶段就引入防异响的功能,降低零件发生异响的风险,可大幅度缩短相应产品的开发周期、提高产品质量和竞争力,并且可避免粘贴无纺布、涂覆润滑油等后期的繁琐降噪工作,明显提高产品生产效率。标准 VDA 230-206 是德国汽车工业协会制定的一种检测材料粘滑行为评价的方法,其可以表征皮革与皮革、皮革与塑料制件互相摩擦时粘滑行为发生的倾向,倾向程度由异响风险系数 (RPN) 表示^[10]。但在塑料改性行业内,该测试方法暂时还未得到成熟应用,且该测试方法要求的样板接触面积较大,测试过程中的压强较低,因此测试时一般不会产生异响,而是通过较为复杂的计算公式将多种因素叠加而输出 RPN 值,测试结果不具有可视化。笔者通过合适的工装设计进行了摩擦异响试验,目的是在模拟材料粘滑摩擦的同时,通过对比噪音和震动参数的大小来评价塑料产生异响倾向的大小,因此该方法更贴近零件使用时的工况且具有直观性。

1 实验部分

1.1 主要材料

常规丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS): 750, 韩国锦湖石油化学株式会社;

常规聚碳酸酯 (PC)/ABS: HAC8250, 上海锦

湖日丽塑料有限公司;

降噪 ABS: ABSGN212, 上海锦湖日丽塑料有限公司;

降噪 PC/ABS: K8266, 上海锦湖日丽塑料有限公司。

1.2 摩擦异响试验

设计的工装结构如图 1 所示。

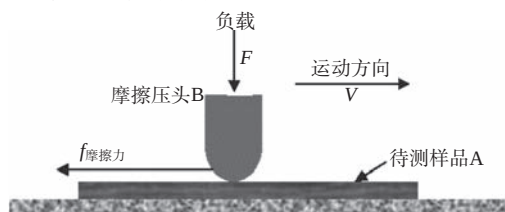


图1 模拟零件摩擦工装设计结构示意图

为了减小试验误差、保证试验结果的可重复性,在试验过程中保证压力、摩擦速度恒定,待测样品 A 的测试面平整光滑,摩擦压头 B 的材质可与 A 相同或者一直固定为同一材质。试验具体条件为:室内温度 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, 空气湿度为 $(50 \pm 5)\%$, 环境底噪 30 dB, 恒定负载 F 为 10 N, 摩擦速度 V 为 100 mm/min, 为保证数据的可靠性,摩擦次数不低于 5 个周期;摩擦压头 B 材质固定为常规 ABS750, 待测样品 A 尺寸为 140 mm × 90 mm × 3 mm。由于塑料材料受到压力会产生局部轻微形变,其静摩擦力一般远大于动摩擦力,因此压头和样板之间滑动摩擦时易产生典型的粘滑现象^[11-12]。而粘滑现象发生时会产生震动和噪音,将震动传感器粘贴在摩擦压头上采集摩擦过程中产生的震动参数,声音传感器距待测样板 5 cm 采集声音参数 (人耳响度和震动加速度)。

1.3 显微分析

为了更清楚地观察材料在摩擦异响时是否发生粘滑行为,将摩擦异响实验后的样板进行吹扫清洁后,在显微镜下对其表面划痕进行观察并分析。

1.4 RPN 测试

根据德国汽车工业协会制定的标准 VDA 230-206,待测样品的尺寸为 90 mm × 50 mm × 3 mm, 上摩擦副尺寸为 25 mm × 50 mm × 3 mm, 接触面积为 1250 mm², 滑动距离固定为 50 mm, 滑动速度为 1 mm/s 和 4 mm/s, 负载为 10 N 和 40 N。测试前,将样品在 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, $(50 \pm 5)\%$ 湿度环境中放置 24 h 以上。

根据标准 VDA 230-206 规定,材料发生粘滑现象的可能性分为十个等级:当 RPN 为 1~3 时,判

定材料发生粘滑异响的风险低;当 RPN 为 4~6 时,认为材料有中等风险产生粘滑异响;当 RPN 为 7~10 时,认为材料受到摩擦时有较大的概率发生粘滑异响。

2 结果与讨论

2.1 人耳响度结果分析

人耳响度又称为音量,计量单位为宋,表示的是声音的响亮程度,相比分贝 (dB),人耳响度更能够模拟人对异响的主观感受。图 2 是不同材料的样板经过摩擦发出异响时的人耳响度随时间即摩擦次数的变化曲线。通过图 2 的人耳响度值对比可以看出,常规 ABS 和常规 PC/ABS 的响度峰值分别可达到 52 宋和 88 宋,而经过降噪改性的 ABS 和 PC/ABS,人耳响度峰值分别只有 7 宋和 32 宋,异响响度值大幅度降低,说明改性后的材料,其摩擦产生明显异响的风险更小。

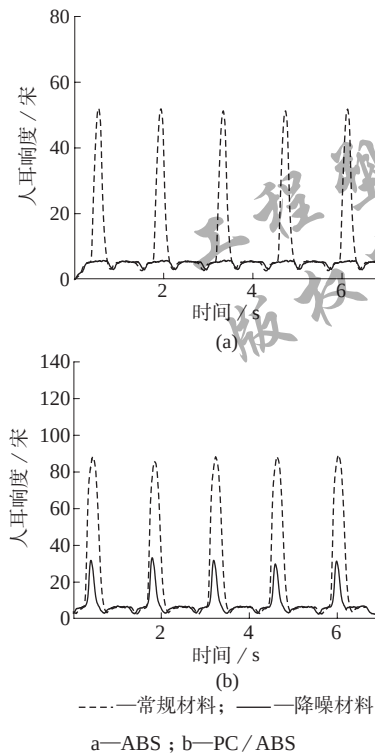


图 2 不同材料的人耳响度随时间的变化曲线

2.2 震动加速度结果分析

声音的产生都会伴随着震动,一般情况下震动频率越高,震动越剧烈,震动加速度越大,声音也越高。不同材料的样板经过摩擦发出异响时的震动加速度随时间变化曲线如图 3 所示。试验时测试了 X 轴 (摩擦方向)、Y 轴 (平行板面并垂直摩擦方向) 和 Z 轴 (垂直板面方向) 上的震动加速度大小,其中 X 轴即摩擦方向上的震动加速度峰值远远大于

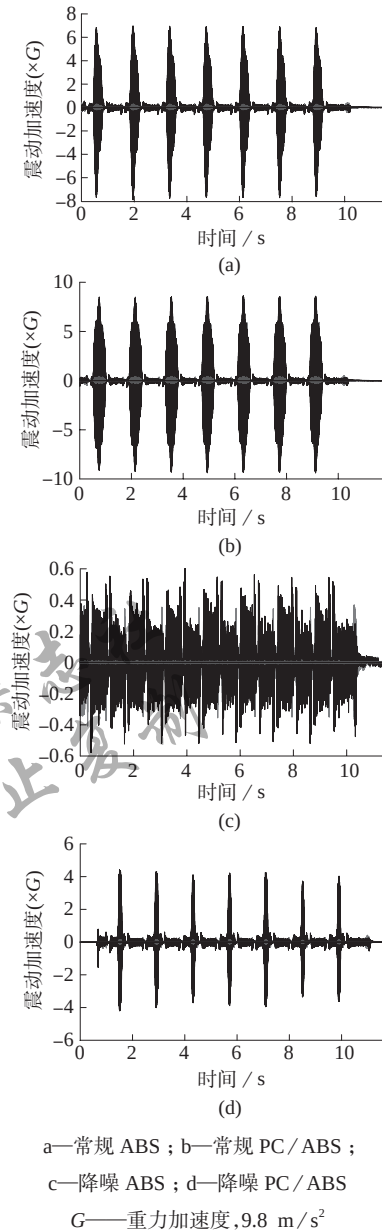


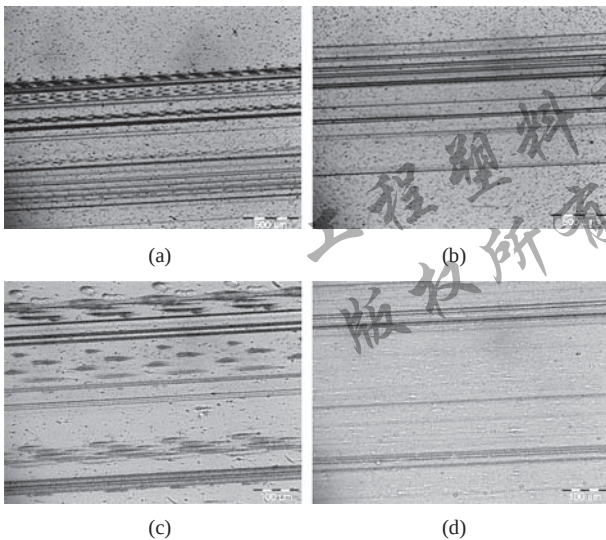
图 3 不同材料的震动加速度随时间的变化曲线

其它方向数值,这说明压头与板面摩擦时,几乎只在运动方向上发生了震动,即粘滑的方向与摩擦方向是一致的,说明在试验过程中发生了典型的粘滑现象。因此,图 3 主要显示了 X 轴上的震动加速度随时间变化曲线。从材料的震动加速度数据可以看出,对未经过降噪改性的常规 ABS 和常规 PC/ABS 进行摩擦异响试验模拟粘滑行为,测试样板发出异响时,样板本身发生了剧烈的震动,其震动加速度峰值分别约为 7G 和 8.5G;降噪 ABS 材料的震动加速度峰值只有 0.6G,并且几乎无异响声,降噪 PC/ABS 材料的震动加速度下降到 4.5G。这与摩擦异响获得的人耳响度值的趋势变化是对应的。另外,

震动加速度的宽度反映了单次摩擦噪音的持续时间长短,降噪改性的 PC/ABS 的震动加速度宽度小、数值低,说明异响声小且持续时间较短,材料的降噪性能得到明显改善。

2.3 显微分析

以常规 ABS 和降噪 ABS 为例,对经过摩擦异响试样的样板的划痕进行了显微形貌观察,如图 4 所示。由图 4 可以明显看出未经过降噪改性的 ABS 的划痕是不连续的,说明其发生了典型的粘滑现象。这是因为材料的静摩擦力远远大于动摩擦力,导致其在滑动过程中产生了震动,最终产生较大的摩擦异响。而经过降噪改性的 ABS,其摩擦划痕是连续的,说明整个滑动过程比较稳定,没有发生明显的粘滑现象,因此,经过降噪改性的 ABS 在摩擦异响实验中产生的响度值较小,材料发生异响的倾向明显得到改善。



a, c—常规 ABS 划痕的 5 倍和 20 倍显微镜照片;
b, d—降噪 ABS 划痕的 5 倍和 20 倍显微镜照片

图 4 常规 ABS 和降噪 ABS 的摩擦划痕显微照片

2.4 RPN 测试结果分析

表 1 为常规 ABS、常规 PC/ABS 和降噪 ABS、降噪 PC/ABS 在不同测试压力、速度下的 RPN 值。从表 1 测试结果看,测试压力越高,各材料的 RPN 值越大,且相比 4 mm/s 的滑动速度,各材料在 1 mm/s 的滑动速度下发生异响的风险更高。未降噪改性的常规 ABS 和常规 PC/ABS,在 40 N, 1 mm/s 的测试条件下, RPN 值分别为 9 和 10;在相同条件下,经过降噪改性的 ABS 和 PC/ABS, RPN 值分别为 2 和 3,说明材料发生异响的风险大幅度降低。根据表 2 的数据对比来看,未降噪改性

的常规 ABS 和常规 PC/ABS 的震动加速度、响度和 RPN 值均更高,而降噪改性的材料明显具有更低的震动加速度、响度和 RPN 值, RPN 测试结果与摩擦异响测试的结果具有一致性,说明摩擦异响实验对材料降噪性能的评价具有可靠性。

表 1 不同材料的 RPN 测试结果

材料种类	测试压力 / N	滑动速度 / (mm · s ⁻¹)	RPN 值
常规 ABS	10	1	7
	10	4	5
	40	1	9
	40	4	7
降噪 ABS	10	1	1
	10	4	1
	40	1	2
	40	4	1
常规 PC/ABS	10	1	7
	10	4	5
	40	1	10
	40	4	7
降噪 PC/ABS	10	1	2
	10	4	1
	40	1	3
	40	4	2

表 2 材料的 RPN 值与摩擦异响测试结果汇总

材料种类	震动加速度 峰值 (× G)	人耳响度 峰值 / 宋	RPN 值 范围
常规 ABS	7	52	5~9
降噪 ABS	0.6	7	1~2
常规 PC/ABS	8.5	88	5~10
降噪 PC/ABS	4.5	30	1~3

3 结论

通过对常规材料和降噪改性材料进行摩擦异响试验、显微分析以及 RPN 测试,结果表明:

(1) 显微形貌分析说明该工装设计成功地模拟了材料在摩擦过程中的粘滑行为。

(2) 摩擦异响试验和材料 RPN 测试表明,未经降噪改性的常规 ABS 和常规 PC/ABS 在摩擦过程中异响明显, RPN 值较高,说明发生异响的风险较大;而经过降噪改性的材料,人耳响度、震动加速度和 RPN 值都较低,说明发生异响的风险也较低。摩擦异响试验和 RPN 测试结果具有一致性,说明该摩擦异响试验能够很好地评估 ABS 和 PC/ABS 材料的异响风险大小。

参考文献

- [1] 杜力,赵鹏云. 中央空调噪声分析及控制研究 [J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2009, 26(3): 291-294.
Du Li, Zhao Pengyun. Analysis and control of noise in central air conditioning system [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2009, 26(3): 291-294.

(下转第 128 页)

- method and corrosion resistance test of a kind of enamel composite pipe[J]. Corrosion and Protection, 2015, 36(6):586-589.
- [13] 韩帅豪, 岑宏宇, 陈振宇, 等. 原油与高压 CO₂ 共存条件下咪唑啉缓蚀剂的作用行为研究 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2017, 37(3):221-226.
- Han Shuaihao, Cen Hongyu, Chen Zhenyu, et al. Inhibition behavior of imidazoline inhibitor in corrosive medium containing crude oil and high-pressure CO₂[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2017, 37(3):221-226.
- [14] Marshall D. Protecting oilfield tubulars against corrosion[J]. Reinforced Plastics, 2014, 58(1):39-41.
- [15] 李发根, 杨家茂, 冯泉, 等. 在役双金属复合管道失效机制及控制措施分析 [J]. 焊管, 2019, 42(9):64-68.
- Li Fagen, Yang Jiamao, Feng Quan, et al. Failure mechanism and control measures analysis of bimetal composite pipelines[J]. Welded Pipe and Tube, 2019, 42(9):64-68.
- [16] 李厚补, 羊东明, 戚东涛, 等. 增强热塑性塑料连续管标准现状与发展建议 [J]. 塑料, 2016, 45(4):85-87.
- Li Houbo, Yang Dongming, Qi Dongtao, et al. Present status and development proposals of standards of reinforced thermoplastic pipes[J]. Plastics, 2016, 45(4):85-87.
- [17] Li Houbo, Yan Milin, Qi Dongtao, et al. Failure analysis of steel wire reinforced thermoplastics composite pipe[J]. Engineering Failure Analysis, 2012, 20:88-96.
- [18] Wang Zhongyi, Liu Bin, Yang Yang, et al. Experimental and numerical studies on corrosion failure of a three-limb pipe in natural gas field[J]. Engineering Failure Analysis, 2016, 62:21-38.
-
- (上接第 109 页)
- [2] 李思远, 杨伟, 杨鸣波. 降噪高分子材料及其应用 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32(5):70-73.
- Li Siyuan, Yang Wei, Yang Mingbo. Polymeric noise reduction composites and their applications[J]. Engineering Plastics Application, 2004, 32(5):70-73.
- [3] 顾灿松, 邓国勇, 何森东. 汽车空调系统异响引起的车内噪声研究与解决 [J]. 汽车技术, 2008(11):21-23.
- Gu Cansong, Deng Guoyong, He Sendong. The analysis and solution to car interior noise caused by abnormal noise from air conditioner[J]. Automotive Technology, 2008(11):21-23.
- [4] 蒋永敏. 浅析汽车的吸音隔音材料 [J]. 中国包装工业, 2014(2):9-10.
- Jiang Yongmin. Analysis of the sound-absorbing and sound-proof materials in automobile[J]. China Packaging Industry, 2014(2):9-10.
- [5] 仇文波. 一款微型轿车前门玻璃升降器异响问题的改善 [J]. 汽车工艺与材料, 2015(11):10-16.
- Qiu Wenbo. An improvement for noisy issue of front regulator of mini passenger vehicle[J]. Automobile Technology & Material, 2015(11):10-16.
- [6] 蒋雄, 邱德平. 汽车内饰塑料件 NVH 异响改善 [J]. 汽车工程师, 2018(4):31-34, 37.
- Jiang Xiong, Qiu Deping. Improvement of the acoustic performance of vehicle plastic interior parts[J]. Auto Engineer, 2018(4):31-34, 37.
- [7] 江文杰, 孙成武. 某车型汽车座椅异响问题的研究与解决 [J]. 机械制造, 2016(4):44-46.
- Jiang Wenjie, Sun Chengwu. Research and solution of abnormal sound of a car seat[J]. Machinery, 2016(4):44-46.
- [8] Yoshizawa H, Israelachvili J. Fundamental mechanisms of interfacial friction II: Stick-slip friction of spherical and chain molecules[J]. J Phys Chem, 1993, 97(43):11 300-11 313.
- [9] Yoshizawa H, You L C, Israelachvili J. Fundamental mechanisms of interfacial friction. 1. Relation between adhesion and friction[J]. J Phys Chem, 1993, 97(16):4 128-4 140.
- [10] Stoll A, Cavalcante M. Stick-slip characteristics of leather / artificial leather[M]//Trapp M, Chen Fang. Automotive buzz, squeak and rattle: Mechanisms, analysis, evaluation and prevention. Amsterdam: Elsevier, 2011: 63-98.
- [11] Rojsatean J, Larpsuriyakul P, Prakymoramas N, et al. Friction characteristics of self-lubricating ABS under different surface roughnesses and temperatures[J]. Tribology International, 2017, 109:229-237.
- [12] Popp K. Vibration control to avoid stick-slip motion[J]. Journal of Vibration & Control, 2004, 10(11):1 585-1 600.