

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.06.017

基于冷热循环改进试验的汽车外饰件老化行为

闵全钊, 杨明, 钱银超, 杨万庆

(广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院, 广州 511434)

摘要: 目前常用的冷热循环试验方法对汽车外饰件老化变形问题的复现仍然十分有限, 因此为了寻求更贴合汽车使用工况的老化试验方法, 对冷热循环试验进行改进, 增加振动和红外光照, 改进后的试验称为四综合试验。选取某车型的雨刮侧盖板作为冷热循环试验和四综合试验的产品样件, 并对侧盖板试验后的色差、光泽度、断裂应力以及尺寸变化量进行对比。试验结果表明, 与冷热循环试验相比, 循环10次后, 改进的四综合试验对样件色差的影响与冷热循环试验相差不大, 但对光泽度、断裂应力、尺寸变化量的影响更为显著。通过观察试验后样件的表面形貌可知, 随着循环次数的增加, 表面变得粗糙。通过四综合试验与综合耐久试验的侧盖板尺寸变化量的对比, 发现两者具有较好的相关性, 从而进一步确认了四综合试验的有效性。与冷热循环试验相比, 四综合试验更贴合因外界暴晒和路谱振动复合条件导致的外饰件产品老化实际情况, 为产品的力学性能和外观性能特别是产品翘曲变形提供了加速验证的基础依据, 最后对后续试验的继续改进进行了展望。

关键词: 加速试验; 老化性能; 汽车外饰件; 振动; 红外光照; 冷热循环

中图分类号: TQ323.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)06-0103-06

Aging Behavior of Automobile Exterior Trim based on Improved Thermocycling Test

Min Quanzhao, Yang Ming, Qian Yinchao, Yang Wanqing

(Institute of Automotive Engineering, Guangzhou Automotive Group Co., Ltd., Guangzhou 511434, China)

Abstract : The current commonly used thermocycling test is still limited in reproducing the aging deformation problem of automobile exterior trim. Thus, in order to seek an aging test method that is more suitable for automotive operating conditions, the thermocycling test was improved by increasing vibration and infrared illumination, which was called the four comprehensive test. The thermocycling test and four comprehensive test were conducted on the wiper side cover plate of a certain vehicle model, and the color difference, glossiness, fracture stress and dimension change of the side cover plate sample after the tests were compared. The test results show that, after 10 cycles, the effects of the improved four comprehensive test on the color difference of the sample is not significantly different from the thermocycling test, but the four comprehensive test has more significant impact on glossiness, fracture stress and dimension change. By observing the surface morphology of the sample after the tests, it can be seen that as the number of cycles increases, the surface becomes rough. A comparison of the dimension change of the side cover plate between the four comprehensive test and the comprehensive durability test shows a good correlation between the two tests, which further confirms the effectiveness of the four comprehensive test. Compared with the thermocycling test, the four comprehensive test is more suitable for the actual aging of automobile exterior trim products combined by the conditions of external exposure and road spectrum vibration, which provides the basic basis for accelerated aging test of the mechanical and appearance properties of products, especially the warpage and deformation of products. Finally, the prospect of further improvements in follow-up test is also presented.

Keywords : accelerated test ; aging performance ; automobile exterior trim ; vibration ; infrared illumination ; thermocycling

通信作者: 闵全钊, 硕士, 主要从事汽车外饰件设计、模具设计

收稿日期: 2023-03-20

引用格式: 闵全钊, 杨明, 钱银超, 等. 基于冷热循环改进试验的汽车外饰件老化行为[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(6): 103-108.

Min Quanzhao, Yang Ming, Qian Yinchao, et al. Aging behavior of automobile exterior trim based on improved thermocycling test[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(6): 103-108.

塑料件因其具有力学性能好、成型多样性等优点而被广泛运用于汽车外饰件领域,但因汽车外饰件一般都暴露在外界环境,且在行驶中始终受到发动机和路面不平引起的振动等激励影响,所以在这种复杂的使用工况下,不可避免地会产生老化现象^[1-6]。

外饰件的老化衰减^[7-8]主要体现在外观性能和力学性能两个方面。目前针对外饰件产品的色差、光泽度和力学性能变化方面,现有的人工加速试验能够较好提前预测,王俊等^[9]研究了汽车保险杠聚丙烯(PP)自然暴晒与氙灯老化试验之间的相关性,结果表明氙灯老化试验对湿热带自然环境具有良好的相关性,可用于汽车保险杠PP材料耐候性的评价。李洋等^[10]通过热氧加速老化实验研究温度对PP老化的影响,使用温度和寿命之间的方程模型,推算PP材料的使用寿命。蔡航等^[11]通过人工加速老化试验研究并分析了汽车内饰用PP材料老化性能,为后续材料的改性再生研究提供依据。但针对产品在使用过程中的变形^[12],其试验结果经常出现人工加速试验结果未能复现实车的问题,甚至出现相违背的结果。笔者选取某车型的雨刮侧盖板,通过对其冷热循环试验和冷热温循环+振动+阳光模拟改进试验的对比(因冷热温循环+振动+阳光模拟试验包含温度、湿度、振动^[13-14]以及阳光模拟,所以后续简称为四综合试验),研究外饰件产品外观性能和力学性能变化情况,从而希望寻找出更加贴合实际使用工况的人工加速试验方法来验证汽车外饰件产品变形的预测。

1 实验部分

1.1 试验样件及工装

选取雨刮侧盖板作为试验样件,如图1所示,主要是因为其周边匹配多,方便对产品变形量的测量,某车型雨刮侧盖板是双色注射成型,尺寸为207 mm×66 mm×86 mm,硬胶材料为质量分数20%滑石粉填充PP/三元乙丙橡胶共混物(PP+EPDM-TD20),软胶为热塑性动态硫化弹性体(TPV),初始性能见表1,其中软胶部分为可见外观区域,硬胶为不可见区域。

表1 雨刮侧盖板的材料性能

材料名称	拉伸强度/ MPa	弯曲弹性模 量/MPa	硬度
PP+EPDM-TD20	28	2 650	70±5 (SD)
TPV	9.5	140	90±5 (SA)

注:SD为邵氏硬度D型,SA为邵氏硬度A型。



图1 雨刮侧盖板(左右对称)

1.2 主要设备与仪器

温湿度箱:FW8040SWAF型,工业和信息化部电子第五研究所;

三综合试验系统:THVS4010G型,重庆哈丁环境试验技术股份有限公司;

红外试验系统:DC-8000-80/SA-80型,苏州苏试试验集团股份有限公司;

电子万能试验机:Zwick/RoellBT2-FR020TEW-A50型,德国Zwick Roell公司;

色差仪:CM-2500d型,日本柯尼卡美能达公司;

光泽度计:MG6-SA型,泉州科仕佳公司;

扫描电子显微镜(SEM):GeminiSEM 360型,德国蔡司公司。

1.3 试验条件

将雨刮侧盖板(每批120件,左右各60件)分两批按实车状态固定在工装台架上(见图2),分别进行冷热循环试验和四综合试验。冷热循环试验条件如图3所示,一个循环时间为18 h,需连续执行10个循环。四综合试验在冷热循环试验基础上增加耐久振动的功率谱密度(PSD),如图4所示,且在雨刮侧盖板表面布置温度传感器,在每个循环中采用红外光照,让盖板表面温度达到 $(110\pm 2)^{\circ}\text{C}$,持续时间约5 h,模拟阳光暴晒状态,而在 -40°C 处将红外光照关闭。在两个试验条件下的第3,5,7,10次循环时取件,每次取3组,每组测量10个样件,并记录相关数据。



图2 模拟装配工装台架

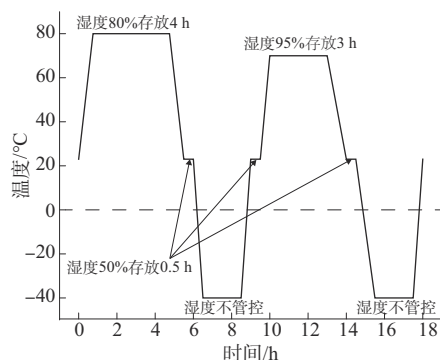


图3 一个冷热循环(18 h)

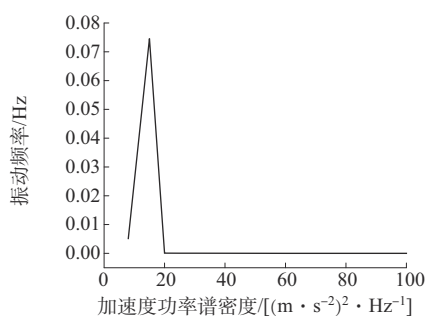


图4 耐久振动PSD

1.4 性能测试与表征

(1)力学性能测试。

产品为异形件,不好夹持,因此对产品裁样,用工装夹具夹住裁样后的雨刮侧盖板两头,如图5所示,施加拉力直至断裂,记录最大力值,记录为断裂应力。



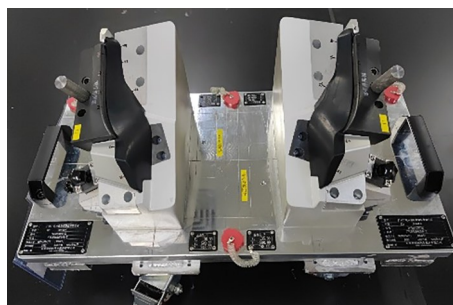
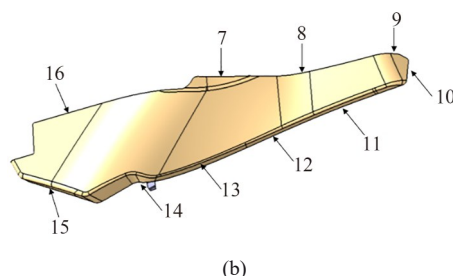
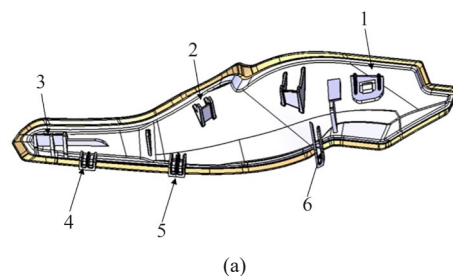
图5 断裂应力测量

(2)外观表征。

根据 ASTM D2244-2016 测量产品软胶可见区域的色差变化。按 GB/T 8807-1988 测试产品光泽度。截取冷热循环试验和四综合试验前后的产品进行表面喷金处理后,采用 SEM 观察其表面形貌。

为了更好分析试验前后产品翘曲的变化量,将其细分为卡脚尺寸变化量、面差变化量和间隙变化量三部分,将试验前后样件装在检具工装上,测量关键尺寸,如图6所示,1~6为产品的卡脚尺寸变化量测量点,7~13为面差变化量测量点,14~16为间隙变化量测量点,测量时需对左右件进行区分,将左

侧雨刮侧盖板记为L,将右侧雨刮侧盖板记为R。



1~16为测量点

a—卡脚测量位置; b—面差和间隙测量位置; c—检具工装

图6 翘曲变化量测量

2 结果与讨论

2.1 色差、光泽度及断裂应力分析

图7为左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的色差变化。由图7可知,在冷热循环和四综合试验中,随着循环次数的增加,侧盖板的色差整体都呈上升趋势,在第3次循环和第5次循环间,色差出现局部下降趋势。且在第3次循环时,四综合试验的色差变化量远超前于冷热循环试验,而在第

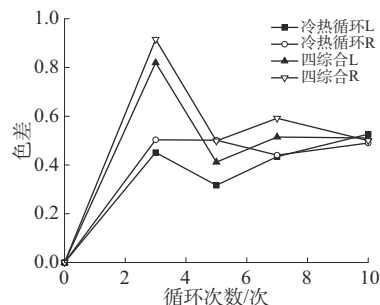


图7 左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的色差变化

10次循环,色差的变化量又趋于相近。

图8和图9为左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的光泽度和断裂应力变化。由图8和图9可知,循环次数由1次增至7次,冷热循环试验下的产品光泽度总体呈现上升趋势,尤其是右侧产品在冷热循环试验中的光泽度提升较明显;而在四综合中的光泽度随着循环的次数增加,呈现整体下降的趋势。产品的断裂应力随着循环的次数增加总体呈现先上升后下降的趋势。四综合试验中光泽度和断裂应力的下降变化量远大于冷热循环试验。在10次循环后,冷热循环后左侧和右侧的光泽度分别为92.75%和118.52%,断裂应力分别为881.34 N和895.50 N;四综合试验后左侧和右侧的光泽度分别为82.21%和82.86%,断裂应力分别为812.40 N和850.08 N。可以看出振动和红外光照对产品初期的色差影响较大,而对产品的光泽度和断裂应力的整个循环都有较为明显的影响,降低了光泽度和断裂应力的峰值。

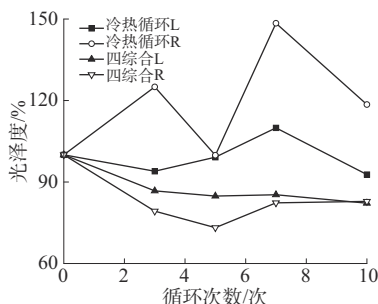


图8 左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的光泽度变化

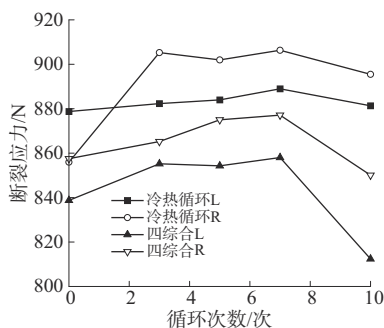


图9 左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的断裂应力变化

2.2 变化量分析

左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的变化量如图10、图11和图12所示。图10中,卡脚尺寸在冷热循环试验的变化量基本为负值,代表卡脚尺寸缩小,表现为产品安装松动,而循环至5次后,卡脚尺寸在四综合试验的变化量为正值,代表卡脚尺寸增大,表现为产品安装过紧。在图11中,

冷热循环试验和四综合试验的面差变化量在前5次循环中呈现相反的趋势,在冷热循环试验中,先增长后下降,而在四综合试验中,先下降后增长,同时在10次循环后,冷热循环试验的变化量为负值,代表产品呈现为内凹,四综合试验的变化量为正值,代表产品呈现为外翘。而在图12中,四综合试验中的间隙变化量在循环10次后大于冷热循环试验的变化量,代表了四综合试验中产品的外观间隙变大且更为显著。

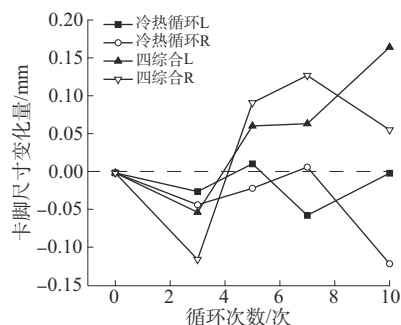


图10 左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的卡脚尺寸变化量

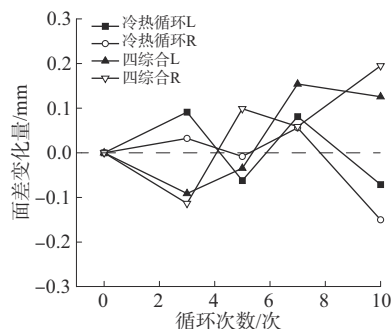


图11 左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的面差变化量

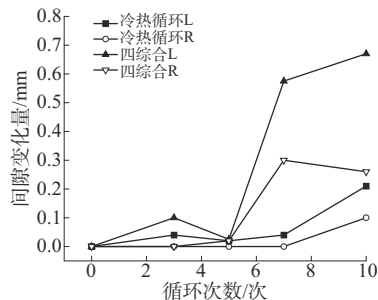
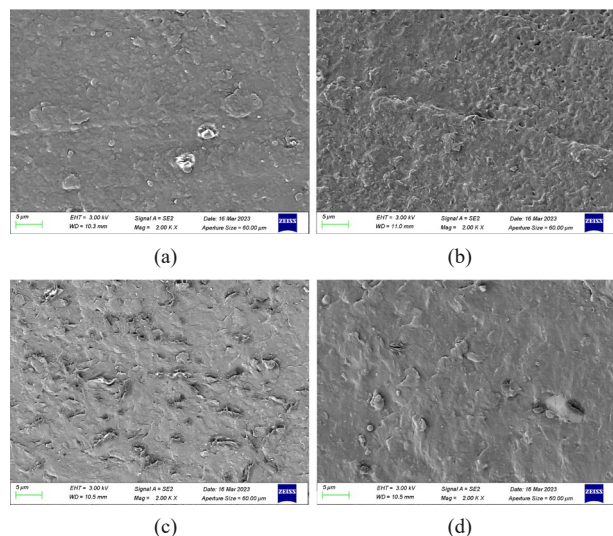


图12 左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的间隙变化量

2.3 SEM分析

图13为左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的产品表面SEM照片。由图13可知,试验前的产品表面光滑,几乎没有破损的现象,随着循环次数的增加,产品表面由光滑变得粗糙甚至出现斑点进而形成裂纹^[15],说明循环次数的增加破坏



a—未循环产品; b—四综合试验循环5次;
c—四综合试验循环10次; d—冷热循环试验循环10次
图13 左右侧雨刮侧盖板经冷热循环和四综合试验后的产品表面SEM照片

了聚合物原有的结构,使其表面出现缺陷从而引发降解,致使分子链断裂。

当相同循环周期时,侧盖板在振动和红外光照的作用下,表面形貌变得更粗糙,其主要原因是软胶TPV材料中的EPDM和PP有着不同的应力-应变行为,在振动和红外光照加速作用下,EPDM和PP的界面出现了分子链的滑移及断裂^[16-17],使其表面变得更粗糙,并伴随力学性能的削弱。

3 实车验证

综合耐久试验是指通过各种组合路面,系统模拟整车使用工况,其工况一般远高于日常使用的场景,是验证整车零部件耐久可靠性的有效手段。笔者选取3台综合耐久试验车的雨刮侧盖板(如图14所示),测试其色差、光泽度和断裂应力数据,取其平均值,与四综合试验的数据进行对比,结果见如表2。综合耐久与四综合试验测量的各尺寸变化量如图15所示。由表2可见,在色差与光泽度方面,四综合试验与综合耐久试验还有较大差异(四综合试



图14 综合耐久试验车的雨刮侧盖板

表2 综合耐久与四综合试验结果

类型	色差		光泽度/%		断裂应力/N	
	L	R	L	R	L	R
四综合试验	0.51	0.50	82.2	82.86	812.4	850.07
综合耐久试验	0.80	0.86	76.6	73.00	823.0	845.00

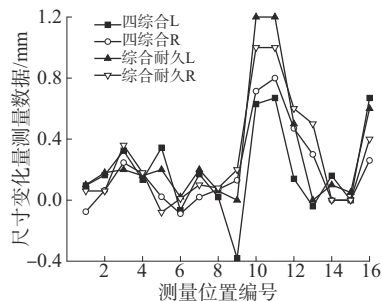


图15 综合耐久与四综合试验的尺寸变化量测量数据

验的色差较小、光泽度较高),而断裂应力差异较小,其原因可能是与暴晒时间或采用红外光照有关,后续可通过增加循环时间或氙灯来进一步验证。

通过系数分析方法量化综合耐久试验与四综合试验测量的尺寸变化量相关性关系,得到左侧的变化量相关性系数 $\gamma_L=0.81$,右侧的变化量相关性系数 $\gamma_R=0.78$,且四综合试验与综合耐久试验测量的尺寸变化量变化趋势和范围基本一致,说明四综合试验与综合耐久试验有较好的相关性,更贴近车辆实际的使用工况,能更好复现雨刮侧盖板的翘曲变形情况,可为后续新车型开发设计验证提供有效的加速手段,加快新车型的开发节奏。

4 结论与展望

(1)在色差方面,随着循环次数的增加,冷热循环试验与四综合试验下产品色差总体呈现上升趋势,在第10次循环后,两者的色差的变化量趋于相近。在光泽度方面,循环次数由1次增至7次,冷热循环试验下产品光泽度随循环次数的增加总体呈现上升趋势,而四综合试验下产品光泽度总体呈现下降趋势。在断裂应力方面,总体随着循环的次数增加,两种试验下的产品断裂应力总体呈现先上升后下降的趋势。在第10次循环后,四综合试验下的光泽度和断裂应力比冷热循环试验下降量更大。在产品尺寸变化量方面,在10次循环后两种试验下的卡脚和面差变化量都呈相反趋势,而在间隙变化量方面,四综合下的上升量比冷热循环更大。

(2)综合耐久试验与四综合试验具有良好的相关性,因此四综合试验能够作为预测汽车雨刮侧盖板变形的有效手段,尽管笔者仅选取了侧盖板作为试验对象,但对其它外饰件仍有一定的指导意义,

也是本课题下一步需要探索方向。

(3)在色差方面,四综合试验的数值小于综合耐久试验,光泽度方面,四综合试验的数值大于综合耐久试验,而在断裂应力方面,其数值相近。其主要原因和后续的改进如下所示:其一是模拟阳光采用红外光照,与实际环境的自然暴晒还是有一定程度的差异,后续将采用氙灯光照或全光谱^[13]贴近真实阳光来进行加速试验;其二是振动载荷来源于实车采集,但其载荷能否满足使用所有工况,需进一步验证;其三是四综合试验目前只进行10次循环,增加循环次数是否能让产品的外观性能和力学性能更加贴近实车状态,这也是后续研究的方向。

参考文献

- [1] 马坚. 汽车气候老化应用技术[M]. 广州:华南理工大学出版社, 2013.
Ma Jian. Automotive weathering application technology[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2013.
- [2] 陆启凯. 汽车气候老化实验技术[M]. 广州:华南理工大学出版社, 2010.
Lu Qikai. Automotive weathering test technology[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2010.
- [3] 王国建,孙耀宁,姜宏,等. 湿热-高温循环老化对环氧乙烯基酯树脂/玻璃纤维复合材料性能影响[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(9): 121-126, 132.
Wang Guojian, Sun Yaoning, Jiang Hong, et al. Influences of cyclic hygrothermal-thermal aging on properties of epoxy vinyl ester resin/glass fiber composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(9): 121-126, 132.
- [4] 高超干,周储伟. 复合材料环境当量等效加速老化试验方法[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(8): 103-107, 117.
Gao Chaogan, Zhou Chuwei. Environmental factor equivalent accelerated aging test method for composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(8): 103-107, 117.
- [5] Assink R A, Gillen K T, Sanderson B. Monitoring the degradation of a thermally aged EPDM Terpolymer by ¹H NMR relaxation measurements of solvent swelled samples[J]. Polymer, 2002, 43(4): 1 349-1 355.
- [6] Azuma Y, Takeda H, Watanabe S, et al. Outdoor and accelerated weathering tests for polypropylene and polypropylene/talc composites: A comparative study of their weathering behavior[J]. Polymer Degradation and Stability, 2009, 94: 2 267-2 274.
- [7] 陈平方,余晓杰,陆挺. 整车自然暴晒与全光谱阳光模拟老化相关性研究[J]. 环境技术, 2020, 38(3): 70-73.
Chen Pingfang, Yu Xiaojie, Lu Ting. Study on the correlation between vehicle natural exposure and full-spectrum sunlight simulation aging[J]. Test Techniques and Methods, 2020, 38(3): 70-73.
- [8] 陶友季,张晓东,麦堪成,等. β -PP在国内典型气候条件下的自然老化行为研究[J]. 合成树脂及塑料, 2011, 28(2): 63-66, 84.
Tao Youji, Zhang Xiaodong, Mai Kancheng, et al. Study on natural weathering of β -polypropylene under typical domestic climates[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2011, 28(2): 63-66, 84.
- [9] 王俊,揭敢新,彭坚. 汽车保险杠用聚丙烯材料的老化研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(3): 10-13.
Wang Jun, Jie Ganxin, Peng Jian. Study on aging of PP materials for auto bumper[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(3): 10-13.
- [10] 李洋,李培耀,郭兵,等. 聚丙烯热氧加速老化评估和使用寿命的研究[J]. 塑料工业, 2015, 43(11): 93-96.
Li Yang, Li Peiyao, Guo Bing, et al. Study on accelerated aging assessment and service life of polypropylene[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(11): 93-96.
- [11] 蔡航,孟正华,许欢,等. 汽车内饰用聚丙烯材料老化性能分析[J]. 塑料科技, 2019, 47(7): 50-54.
Cai Hang, Meng Zhenghua, Xu Huan, et al. Aging property analysis of polypropylene materials for automotive interior[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(7): 50-54.
- [12] 王璟,赵辉. 汽车外饰塑料件热变形的影响因素研究[J]. 车辆与动力技术, 2010(2): 50-53.
Wang Jing, Zhao Hui. Effect factors of vehicle exterior plastic parts deformation in high temperature[J]. Vehicle & Power Technology, 2010(2): 50-53.
- [13] 张伟. 温、湿、振三综合环境试验技术的应用[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2004(6): 38-41.
Zhang Wei. Integrated environmental test of temperature, humidity and vibration[J]. Electronic Product Reliability and Environmental, 2004(6): 38-41.
- [14] 吴潇,李占江. 浅谈汽车行业中的振动试验[J]. 汽车电器, 2018(1): 48-51.
Wu Xiao, Li Zhanjiang. Discussion on vibration tests in automobile industry[J]. Auto Electric Parts, 2018(1): 48-51.
- [15] 王刚,王苓,黄旭,等. 聚丙烯拉伸断裂过程中的银纹性能研究[J]. 塑料科技, 2012, 40(4): 110-113.
Wang Gang, Wang Ling, Huang Xu, et al. Study on craze behavior of polypropylene during tensile fracture[J]. Plastics Science and Technology, 2012, 40(4): 110-113.
- [16] 李少杰,杨其,黄亚江,等. EPDM/PP热塑性弹性体在循环应力下的老化行为研究[J]. 化学研究与应用, 2012, 24(8): 1 221-1 225.
Li Shaojie, Yang Qi, Huang Yajiang, et al. Study of the aging behavior of EPDM/PP thermoplastic elastomers under cyclic stress[J]. Chemical Research and Application, 2012, 24(8): 1 221-1 225.
- [17] 田洪池,伍社毛,韩吉彬,等. 动态硫化EPDM/PP共混型热塑性弹性体的老化效应[J]. 合成橡胶工业, 2004(1): 34-38.
Tian Hongchi, Wu Shemao, Han Jibin, et al. Study on heat aging effect of EPDM/PP[J]. China Synthetic Rubber Industry, 2004(1): 34-38.