

ABS 塑料低压低温气候环境适应性 快速评价方法

向江涛¹, 杨小奎¹, 杨晓然¹, 吴帅^{1,2}, 张世艳¹

(1.西南技术工程研究所, 重庆 400039;

2.西藏拉萨大气环境材料腐蚀国家野外科学观测研究站, 拉萨 850100)

摘要: **目的** 研究采用新型低气压环境综合加速试验技术开展 ABS 塑料低气压低温环境适应性试验的模拟性和加速性。**方法** 对比开展新型低气压环境综合加速试验与低气压低温自然环境试验, 分析 ABS 塑料在两种环境试验中的老化机理、拉伸强度和简支梁缺口冲击强度变化规律的相似性, 进一步采用加速转换因子 (ASF) 法处理试验数据, 分析新型低气压环境综合加速试验技术的加速性。**结果** 新型低气压环境综合加速试验后, ABS 塑料的红外光谱、拉伸强度和简支梁缺口冲击强度变化规律基本相同, 与低气压低温自然环境试验相比, 以 ABS 塑料的拉伸强度变化率统计, 加速倍率为 10~12.3, 以简支梁缺口冲击强度变化率统计, 加速倍率为 11.6~15.5, 两种统计方法下的加速倍率都随时间的延长而改变。**结论** 利用新型低气压环境综合加速试验技术开展评价 ABS 塑料低压低温环境适应性试验有较好的模拟性和加速性。

关键词: 低压低温环境; 综合加速试验; ABS 塑料; 加速转换因子; 加速性; 模拟性

中图分类号: TJ01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9242(2022)02-0085-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2022.02.014

Rapid Evaluation Method for Climate Environment Adaptability of ABS Plastic at Low Pressure and Low Temperatures

XIANG Jiang-tao¹, YANG Xiao-kui¹, YANG Xiao-ran¹, WU Shuai^{1,2}, ZHANG Shi-yan¹

(1. Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China; 2. Lhasa Tibet, Materials Corrosion in Atmospheric Environment, National Observation & Research Station, Lhasa 850100, China)

ABSTRACT: This paper aims to study the simulation and acceleration of the environmental adaptability test of ABS plastics in low air pressure and low-temperature environment by using a new comprehensive accelerated test technology. By comparing the new low air pressure environment comprehensive accelerated test with the low air pressure and low-temperature natural environment test, the aging mechanism, tensile strength and similarity of variation law of notched impact strength of simply supported beams were analyzed. The acceleration switchover factor (ASF) method was used to process the test data, and the acceleration of the new low air pressure environment comprehensive accelerated test technology was analyzed. After the comprehensive accelerated test in the new low air pressure environment, the variation rules of the infrared spectrum, tensile strength and

收稿日期: 2021-09-30; 修订日期: 2021-11-16

Received: 2021-09-30; Revised: 2021-11-16

作者简介: 向江涛 (1972—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为环境试验与观测技术。

Biography: XIANG Jiang-tao (1972—), Male, Senior engineer, Research focus: environmental test and observation technology.

引文格式: 向江涛, 杨小奎, 杨晓然, 等. ABS 塑料低压低温气候环境适应性快速评价方法[J]. 装备环境工程, 2022, 19(2): 085-090.

XIANG Jiang-tao, YANG Xiao-kui, YANG Xiao-ran, et al. Rapid Evaluation Method for Climate Environment Adaptability of ABS Plastic at Low Pressure and Low Temperatures[J]. Equipment Environmental Engineering, 2022, 19(2): 085-090.

notched impact strength of ABS plastics are the same. Compared with the natural environmental test in the low air pressure and low-temperature environment, the accelerated ratio is in the range of 10 ~ 12.3 times based on the statistics of the change rate of tensile strength of ABS plastics; Based on the change rate of notched impact strength of the simply supported beam, the accelerated ratio is 11.6 ~ 15.5 times, and the accelerated ratio under the two statistical methods changes with time. Using the new low air pressure environment comprehensive accelerated test technology to evaluate the low pressure and low-temperature environment adaptability test of ABS plastics has good simulation and acceleration.

KEY WORDS: low pressure and low temperature environment; comprehensive accelerated test; ABS plastic; acceleration switchover factor; acceleration; simulation

目前,国内对低气压、低温试验谱已有较多研究,但是都局限在单因素或双因素试验谱研究,未考虑多因素同时交互作用^[1-6],制定的试验谱可能失真,无法实施或实施成本高昂。本文所述新型低气压环境综合加速试验技术是在试验箱内模拟低气压、低温自然环境条件下各种环境因素(如光照、气压、温度、湿度和风速等^[1,7-8])同时作用的环境综合试验技术,不仅考虑了多种环境因素的交互作用,同时强化了紫外辐射强度等因素,理论上环境试验的模拟性、加速性更好^[5,9-12]。

ABS为丙烯腈、丁二烯和苯乙烯组成的三元共聚物,其力学性能和热学性能优良,弹性模量为2.2 GPa, -40~100℃范围内性能稳定,广泛应用于汽车、电子电器和建材领域^[13],是目前产量最大,应用最广泛的聚合物。本文以ABS塑料为对象,研究其拉伸强度、简支梁缺口冲击强度和红外光谱在新型低气压环境综合加速试验和低气压低温自然环境试验后的老化规律,并进一步利用拉伸强度、简支梁缺口冲击强度变化数据。采用加速转换因子(ASF)法^[14]分析该技术的加速性,不仅可验证该技术的模拟性和加速性,也表明该技术具有广泛应用性。

1 试验

1.1 材料与试样

ABS塑料拉伸样品采用机加工制作,按GB/T 1040.2—2006^[15]中1B型试样要求,制作成4 mm厚哑铃型试样。冲击试样按GB/T 1043.1—2008^[16]的要求,制作成简支梁单缺口样品。试验前,先检测样品的拉伸强度、简支梁缺口冲击强度和傅里叶红外光谱,以便对比试验后ABS塑料性能的变化情况。

1.2 方法

在拉萨开展户外暴露试验,执行GB/T 3681—2011《塑料 自然日光气候老化、玻璃过滤后日光气候老化和菲涅耳镜加速日光气候老化的暴露试验方法》^[17]、WJ 2155—1993《兵器产品自然环境试验方法 大气暴露试验》^[18]的要求。拉伸样品户外朝南45°角,无背板暴露。冲击样户外水平放置,缺口朝上,

试验时间为12个月。

新型低气压环境综合加速试验采用“多因素综合高原高寒气候环境模拟加速试验箱”,该设备利用试验箱内的温度、湿度、气压和辐照度传感器等将箱体内部环境参数值传输给PLC,并与程序设定值比较,进一步控制各电气系统工作,最终实现光照、气压、温度、湿度和风等因素同时施加。试验条件综合考虑模拟性和加速性,因此主要试验条件根据我国高原高寒地区实测试验样品表面极值设定,如最高温、最低温和最大温差等的设计。由于高原地区的紫外辐射比例高于其他地区,且高分子材料光化学老化主要是紫外的效应,因此光辐射条件增加可调节的紫外辐射,以提高模拟性和加速性作用。试验进行360周期,每周周期4 h,共60 d,新型低气压环境综合加速试验谱见图1所示。试验开展过程中,每个检测周期检测ABS塑料的拉伸强度和简支梁缺口冲击强度。试验结束后,测试ABS塑料的傅里叶红外光谱。

2 结果与讨论

2.1 傅里叶红外检测结果

试验结束后,ABS塑料傅里叶红外谱检测结果如图2所示。由图2的原始红外光谱可以看出,1707、1460 cm⁻¹附近峰为特征吸收峰。新型低气压环境综合加速试验后,涂层特征峰1707、1460 cm⁻¹强度有减小趋势,甚至基本消失,与低气压低温自然环境试验后特征峰变化规律基本一致。

2.2 ABS塑料拉伸强度检测

按GB/T 1040.2—2006《拉伸性能的测定 第2部分:模塑和挤塑塑料的试验条件》^[18]规定测试ABS塑料的拉伸强度,并计算拉伸强度变化率。ABS塑料拉伸强度的变化率见表1,变化规律如图3所示。可以看出,两种试验环境中,ABS塑料拉伸强度变化规律基本相同,拉伸强度呈单边下降趋势。

2.3 简支梁缺口冲击强度检测

按GB/T 1043.1—2008《塑料 简支梁冲击性能的测定 第1部分:非仪器化冲击试验》规定测试ABS

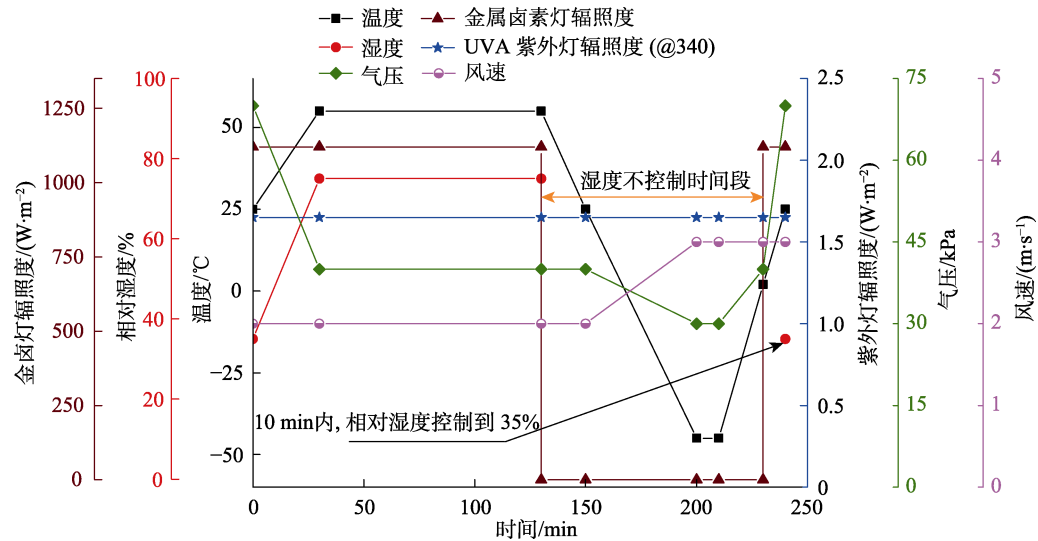


图 1 新型低气压环境综合加速试验谱
Fig.1 Comprehensive accelerated test spectrum of new low pressure environment

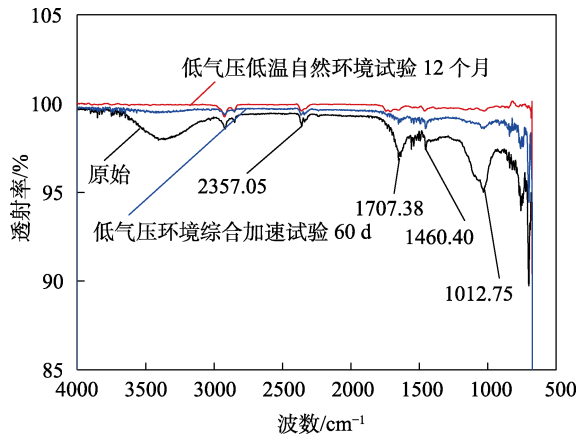


图 2 ABS 塑料经两种环境试验后的红外谱
Fig.2 Infrared spectrum of ABS plastic after two environmental tests

塑料的简支梁缺口冲击强度，其变化率见表 2，变化规律如图 4 所示。可以看出，两种试验环境中，ABS 塑料的简支梁缺口冲击强度变化规律基本相同，抗冲击性能都呈明显下降趋势。

2.4 新型低气压环境综合加速试验加速性

采用加速转换因子（ASF）法评估新型低气压环境综合加速试验的加速性。本文以 ABS 塑料拉伸强度变化率和简支梁缺口冲击强度变化率为例计算加速倍率。

2.4.1 拉伸强度变化率

分别对 ABS 塑料低气压低温自然环境试验和新型低气压环境综合加速试验后的拉伸强度变化率数据进行拟合，结果如式（1）、式（2）所示。

$$y_{\text{户外}} = -45.499 + 44.0245 \times e^{-T/3.5966}, r^2 = 0.97 \quad (1)$$

$$y_{\text{加速}} = -54.425 + 52.1903 \times e^{-t/14.735}, r^2 = 0.96 \quad (2)$$

式中： $y_{\text{户外}}$ 为低气压低温自然环境试验的拉伸强度变化率； $y_{\text{加速}}$ 为新型低气压环境综合加速试验的拉伸强度变化率； T 为低气压低温自然环境试验时间； t 为新型低气压环境综合加速试验时间。

根据式（1）、式（2），计算两种试验中达到相同拉伸强度变化率的时间，见表 3。

表 1 两种环境试验后 ABS 塑料拉伸强度变化率
Tab.1 Change rate of tensile strength of ABS plastics after two environmental tests

低气压低温自然环境 试验时间/月	ABS 塑料拉伸强度 变化率/%	新型低气压环境综合加速 试验时间/d	ABS 塑料拉伸强度 变化率%
0	0	0	0
1	-14.0	5	-22.1
2	-23.3	10	-25.3
3	-22.6	15	-37.0
6	-37.5	30	-44.7
9	-41.1	45	-50.3
12	-44.9	60	-56.7

注：拉伸强度变化率为负数时，表示拉伸强度变小

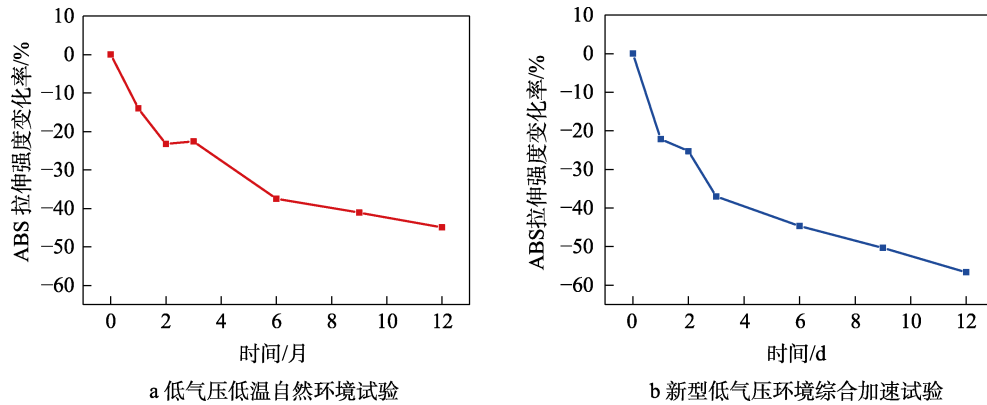


图 3 两种环境试验中 ABS 塑料拉伸强度的变化规律

Fig.3 Variation law of tensile strength of ABS plastics in two environmental tests: a) low pressure and low temperature natural environment test; b) new low pressure environment comprehensive accelerated test

表 2 两种环境试验后 ABS 塑料简支梁缺口冲击强度变化
Tab.2 Change of notch impact strength of ABS plastics after two environmental tests

低气压低温自然环境 试验时间/月	ABS 塑料简支梁缺口冲击强 度变化率/%	新型低气压环境综合加速 试验时间/d	ABS 塑料简支梁缺口冲击 强度变化率/%
0	0	0	0
1	-5.9	15.4	-23.5
2	-5.9	21.9	-29.4
3	-35.3	10.4	-41.2
6	-35.3	13.3	-44.1
9	-46.5	26.8	-47.6
12	-50.0	31.4	-52.9

注：简支梁缺口冲击强度变化率为负数时，表示简支梁缺口冲击强度变小

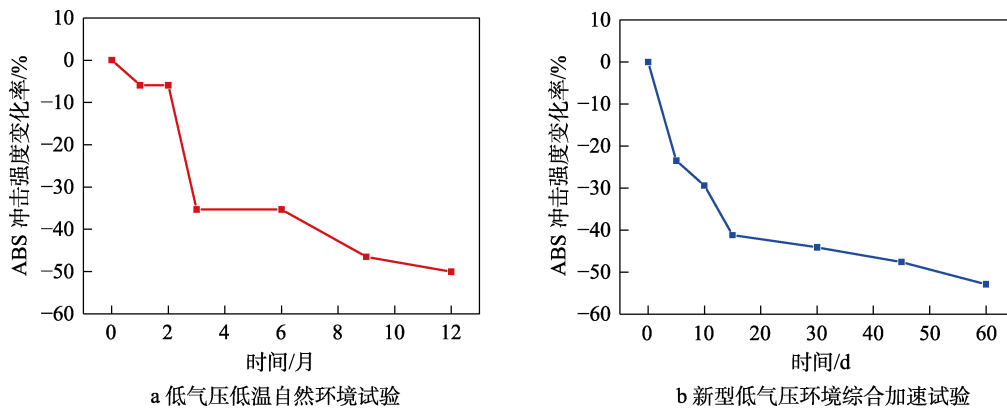


图 4 两种试验中 ABS 塑料简支梁缺口冲击强度的变化规律

Fig.4 Variation law of notch impact strength of ABS plastic simply supported beam in two tests: a) low pressure and low temperature natural environment test; b) new low pressure environment comprehensive accelerated test

表 3 两试验方法中 ABS 塑料达到相同拉伸强度变化率的时间

Tab.3 Time for ABS plastics to reach the same tensile strength change rate in the two test methods

试验方法	ABS 塑料拉伸强度变化率/%					
	6	13	20	27	34	41
低气压低温自然环境试验时间/d	10	33	60	93	144	246
新型低气压环境综合加速试验时间/d	1	3	6	9	14	20
T/t	10	11	10	10.3	10.3	12.3

以新型低气压环境综合加速试验时间 t 为横坐标,以达到相同拉伸强度变化率低气压低温自然环境试验和新型低气压环境综合加速试验时间比值 T/t 为纵坐标,作 ASF 随时间变化曲线,并进行回归分析,如图 5 所示。

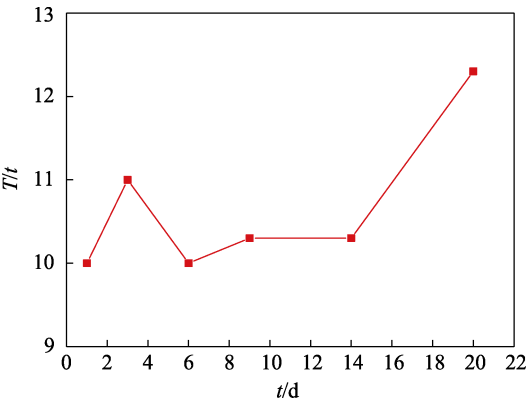


图 5 ABS 塑料拉伸强度变化率随时间的变化曲线
Fig.5 Variation curve of tensile strength change rate ASF of ABS plastics with time

由计算结果可知,ABS 塑料拉伸强度变化率 ASF 评测的加速倍率不是固定的,但是变化不大,加速倍率为 10~12.3。

2.4.2 简支梁缺口冲击强度变化率

根据 ABS 塑料低气压低温自然环境试验和新型低气压环境综合加速试验后的简支梁缺口冲击强度变化率数据进行拟合,结果如式 (3)、式 (4) 所示。

$$y_{\text{户外}} = -55.8825 + 58.5731 \times e^{-T/0.1965}, r^2 = 0.85 \tag{3}$$

$$y_{\text{加速}} = -49.4061 + 48.4682 \times e^{-t/0.1043}, r^2 = 0.97 \tag{4}$$

根据式 (3)、式 (4), 计算不同试验中达到相同简支梁缺口冲击强度变化率的时间, 见表 4。

以新型低气压环境综合加速试验时间 t 为横坐标,以达到相同简支梁缺口冲击强度变化率低气压低温自然环境试验和新型低气压环境综合加速试验时间比值 T/t 为纵坐标,作 ASF 随时间变化曲线,并进行回归分析,如图 6 所示。由图 6 得出回归方程为:

$$\text{ASF}_{\text{户外-模拟加速}} = 8.804 \times e^{-t/15.25} + 9.368, R^2 = 0.95 \tag{5}$$

式中: $\text{ASF}_{\text{户外-模拟加速}}$ 为加速倍率; R 为相关系数。

表 4 两试验方法中 ABS 塑料达到相同简支梁缺口冲击强度变化率的时间
Tab.4 Time for ABS plastics to reach the same notch impact strength change rate in the two test methods

试验方法	ABS 塑料达到相同简支梁缺口冲击强度下降率/%					
	24	28	32	36	40	44
低气压低温自然环境试验时间/d	93	114	138	165	198	243
新型低气压环境综合加速试验时间/d	6	8	10	12	16	21
T/t	15.5	14.25	13.8	13.8	12.4	11.6

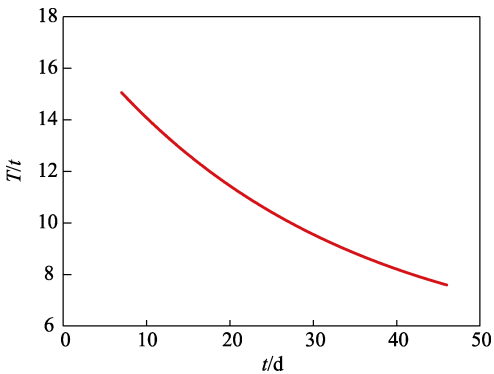


图 6 ABS 塑料简支梁缺口冲击强度变化率随时间的变化曲线
Fig.6 Variation curve of notch impact strength change rate of ABS plastics with time

3 结论

1) 新型低气压环境综合加速试验技术有较好的加速性。与低气压低温自然环境试验相比,新型低气压环境综合加速试验技术有显著的加速性。其中,以 ABS 塑料的拉伸强度变化率统计,加速倍率为 10~12.3; 以简支梁缺口冲击强度变化率统计,加速

倍率为 11.6~15.5 倍,两种统计方法下的加速倍率都随时间的延长而发生改变。

2) ABS 塑料在新型低气压环境综合加速试验中,拉伸强度变化、简支梁缺口冲击强度变化规律与低气压低温自然环境中的数据变化规律相同,说明新型低气压环境综合加速试验技术有较好的模拟性。

参考文献:

[1] 许翔, 刘瑞林, 董素荣, 等. 轮式车辆高原环境适应性评价研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(4): 82-87.
XU Xiang, LIU Rui-lin, DONG Su-rong, et al. Fuzzy Comprehensive Evaluation on Plateau Environmental Adaptability of Wheeled Vehicles[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(4): 82-87.

[2] 郭昕, 杨志军. 航空发动机高、低温起动及高原起动试验技术探讨[J]. 航空动力学报, 2003, 18(3): 327-330.
GUO Xin, YANG Zhi-jun. Study of Aeroengine Starting Tests at High/Low Temperatures and at Plateau[J]. Journal of Aerospace Power, 2003, 18(3): 327-330.

[3] 朱强, 陈云翔, 车飞, 等. 高原地区太阳辐射对飞机维修保障的影响[J]. 光电与控制, 2014, 21(11): 88-92.

- ZHU Qiang, CHEN Yun-xiang, CHE Fei, et al. Influence of Solar Radiation in Plateau Section on Aircraft Maintenance Support[J]. Electronics Optics & Control, 2014, 21(11): 88-92.
- [4] 高强, 庞志兵, 魏赫. 高原高寒环境对武器装备的影响研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 118-122.
GAO Qiang, PANG Zhi-bing, WEI He. Performance of Weapon Equipment Influenced by Plateau and High Cold Environment and Its Study[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6): 118-122.
- [5] 王坚, 王保贵, 张晨, 等. 高原气候环境对装备影响及适应性措施[J]. 环境技术, 2013, 31(6): 25-28.
WANG Jian, WANG Bao-gui, ZHANG Chen, et al. Countermeasures on Influence of Plateau Climate Environment on Equipment and Its Environmental Worthiness[J]. Environmental Technology, 2013, 31(6): 25-28.
- [6] 刘昆成, 郑佑胜. 高原及湿热环境对橡胶材料劣化影响的对比分析研究[J]. 环境技术, 1997, 15(5): 5-10.
LIU Kun-cheng, ZHENG You-sheng. The Study of Effect of Plateau, Damp and Hot Conditions on the Aging Property of the Rubber Compound[J]. Environmental Technology, 1997, 15(5): 5-10.
- [7] 杨晓然, 彭小明, 杨小奎, 等. 多因素综合高原高寒气候环境模拟加速试验箱研制[J]. 装备环境工程, 2020, 17(7): 27-33.
YANG Xiao-ran, PENG Xiao-ming, YANG Xiao-kui, et al. Development of Multifactor Integrated Frigid Plateau Climate Simulation and Acceleration Test Chamber[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(7): 27-33.
- [8] 许翔, 张众杰, 凤蕴, 等. 汽车环境适应性试验综述[J]. 装备环境工程, 2013, 10(1): 61-65.
XU Xiang, ZHANG Zhong-jie, FENG Yun, et al. Review of Automobile Environmental Worthiness Test[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(1): 61-65.
- [9] ZIEINIK A F. 老化测试——为什么您更加需要它[J]. 装备环境工程, 2007, 4(5): 39-41.
ZIEINIK A F. Weathering Testing—Why You Need It More the Ever[J]. Equipment Environmental Engineering, 2007, 4(5): 39-41.
- [10] 刘树文, 蒋祖华, 祁黎. 汽车非金属材料的实验室加速老化和户外自然老化[J]. 广东塑料, 2005(5): 44-46.
LIU Shu-wen, JIANG Zu-hua, QI Li. Laboratory Accelerated Aging and Outdoor Natural Weathering of Automobile Non-Metallic Materials[J]. Guangdong Plastics, 2005(5): 44-46.
- [11] 王俊, 揭敢新. 高聚物的老化试验[J]. 装备环境工程, 2005, 2(3): 47-53.
WANG Jun, JIE Gan-xin. Weathering Tests of Polymer[J]. Metal Forming Technology, 2005, 2(3): 47-53.
- [12] 高强, 庞志兵, 魏赫. 高原高寒环境对武器装备的影响研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 118-122.
GAO Qiang, PANG Zhi-bing, WEI He. Performance of Weapon Equipment Influenced by Plateau and High Cold Environment and Its Study[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6): 118-122.
- [13] 范子郁. ABS树脂冲击强度影响因素及对策[J]. 工程技术, 2016, 2(9): 132.
FAN Zi-yu. Influencing Factors and Countermeasures of Impact Strength of ABS Resin[J]. Engineering Technique, 2016, 2(9): 132.
- [14] 王艳艳, 宣卫芳, 王一临. 实验室光源暴露试验与户外环境试验相关性研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 49-52.
WANG Yan-yan, XUAN Wei-fang, WANG Yi-lin. Study of the Relativity between Laboratory Light Sources Exposure Test and Outdoor Exposure Test[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(6): 49-52.
- [15] GB/T 1040.2—2006, 塑料 拉伸性能的测定 第2部分: 模塑和挤塑塑料的试验条件[S].
GB/T 1040.2—2006, Plastics—Determination of Tensile Properties—Part 2: Test Conditions for Moulding and Extrusion Plastics[S].
- [16] GB/T 1043.1—2008, 塑料 简支梁冲击性能的测定 第1部分: 非仪器化冲击试验[S].
GB/T 1043.1—2008, Plastics—Determination of Charpy Impact Properties—Part 1: Non-Instrumented Impact Test[S].
- [17] GB/T 3681—2011, 塑料 自然日光气候老化、玻璃过滤后日光气候老化和菲涅耳镜加速日光气候老化的暴露试验方法[S].
GB/T 3681—2011, Plastics—Methods of Exposure to Direct Weathering, to Weathering Using Glass-Filtered Daylight, and to Intensified Weathering by Daylight Using Fresnel Mirrors[S].
- [18] WJ 2155—1993, 兵器产品自然环境试验方法 大气暴露试验[S].
WJ 2155—1993, Natural Environment Test Method of Weapon Products—Atmospheric Exposure Test[S].