

飞艇蒙皮材料加速老化性能试验研究

张金奎¹, 刘涛², 鲁国富¹

(1. 中航工业特种飞行器研究所, 湖北 荆门 448035;
2. 中国人民解放军军械通用装备军事代表局, 北京 100841)

摘要:目的 研究某飞艇蒙皮材料加速老化性能,以及不同环境因素对飞艇蒙皮材料老化的影响。方法 根据某飞艇的使用环境,对 URETEK-3216LV 和 HD-150 两种飞艇蒙皮材料进行了实验室加速老化组合试验。结果 得到了不同环境条件下两种飞艇蒙皮材料加速老化后断裂强力退化规律。结论 URETEK-3216LV 材料对高湿环境最为敏感,而 HD-150 材料对高温环境最为敏感。URETEK-3216LV 材料耐候性能比 HD-150 材料耐候性强。

关键词: 飞艇; 蒙皮; 加速老化; 加速环境谱

DOI:10.7643/issn.1672-9242.2014.04.018

中图分类号: V250.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)04-0093-05

Research on Accelerated Aging Test of Airship Envelop Material

ZHANG Jin-kui¹, LIU Tao², LU Guo-fu¹

(1. AVIC Special Vehicle Research Institute, Jingmen 448035, China;
2. Ordnance General Armament Representative Office of PLA, Beijing 100841, China)

ABSTRACT: Objective To study the aging property of envelop material for a certain type of airship and the effect of different environmental factors on the airship envelop material. **Methods** Based on the operation environment of the airship, laboratory accelerated aging combination test was carried out for the two airship envelop materials URETEK-3216LV and HD-150. **Results** The deterioration law of breaking force of the two airship envelop materials after accelerated aging in different environmental conditions was obtained. **Conclusion** The test results showed that high-humidity environment had the greatest influence on the ageing performance of URETEK-3216LV, while high-temperature environment had the greatest influence on the ageing performance of HD-150. The weatherability of URETEK-3216LV was better than that of HD-150.

KEY WORDS: airship; envelop material; accelerated aging; accelerated environmental spectrum

近年来以飞艇为代表的浮空飞行器在军事侦查、空域预警、通信中继和空间探测等领域的应用优

势备受人们关注。蒙皮材料作为飞艇的主体结构材料,其性能的高低直接影响飞艇的应用效能,如浮空

收稿日期: 2014-03-07; 修订日期: 2014-06-06

Received: 2014-03-07; Revised: 2014-06-06

作者简介: 张金奎(1983—),男,河北邢台人,硕士,工程师,主要研究方向为飞行器结构损伤容限。

Biography: ZHANG Jin-kui(1983—), Male, from Xingtai, Hebei, Master, Engineer, Research focus: damage tolerance analysis of craft structure.

高度、持续飞行时间、有效载荷、服役寿命等^[1-7]。美国军方曾委托兰德(Land)调查公司对飞艇军事应用和蒙皮材料现状进行了调查^[6-7],其调查报告中指出,目前飞艇材料存在几个重要问题需要解决,其中最受人们关注的问题为飞艇蒙皮材料老化性能的改进及对其老化寿命的评定。由于飞艇蒙皮材料长期暴露于环境中,尤其近年来发展的临近空间飞艇^[7-13],其工作环境恶劣、续航时间长,导致飞艇蒙皮材料的耐候性问题更加突出。

目前,飞艇设计规范中均未涉及材料老化,飞艇材料老化评定没有依据可供参考。结合使用模式和使用要求,型号研制中飞艇蒙皮材料加速老化可参考 ASTM G155-05a, ASTM D5427 和 GJB 150 等标准。

文中以某飞艇的使用环境为依据,根据相关标准开展了飞艇蒙皮材料的加速老化试验研究并分析蒙皮材料在环境作用下的老化性能^[14-15]。

1 加速老化试验

试验材料为飞艇型号研制中采用的蒙皮材料 URETEK-3216LV, HD-150, 试验件分 2 类,分别为本体试验件和热合连接件。加速老化试验件和试验项目详细说明见表 1、表 2。试验中设备分别为高低温交变湿热环境试验箱(型号为 SU2000C)、光照试验箱(型号为 Q-SUN XE-3-HSC)、盐雾试验箱(型号为 VSC1000)。

表 1 飞艇蒙皮材料参数

Table 1 Parameters of airship envelop material

参数名称	材料制造商	耐候层	承力纤维	密度/(g·m ⁻²)	新材料断裂强力/(N·mm ⁻¹)
URETEK-3216LV	美国 URETEK 公司	Polyurethane	Vectran	205	本体件:87.55 热合件:75.70
HD-150	长春应用化学研究所	—	涤纶织物	150	本体件:20.00 热合件:16.26

表 2 加速老化试验项目及参数

Table 2 Parameters and items of accelerated aging experiment

试验项目	重要参数	参考标准	试验件
光加速老化	在温度为 77 ℃,相对湿度为 70% 下,照射 1.5 h,再照射和喷水 0.5 h,试验时间为 1344 h	ASTM G155-05a	URETEK-3216LV 本体及热合试验件
湿热交变	最低温度为 -40 ℃,最高温度为 107 ℃,试验时间为 96 h		URETEK-3216LV 本体及热合试验件;
高湿	温度为 80 ℃,相对湿度为 95%,试验时间为 336 h	ASTM D5427	HD-150 本体及热合试验件
高温	温度为 120 ℃,试验时间为 336 h		
盐雾	参见标准	GJB 150.11A—2009	URETEK-3216LV
综合环境试验	环境谱如图 1 所示	ASTM D5427	本体及热合试验件

根据飞艇的使用环境及使用模式,对飞艇蒙皮材料及典型连接开展光加速老化试验、湿热交变试验、高湿加速老化试验、高温加速老化试验,并考虑飞艇使用环境中高温、高湿环境十分严酷,故对飞艇材料进行一种综合环境试验,研究高温、高湿及湿热交变对蒙皮材料老化的影响,试验参数见表 2,其中加速老化环境谱如图 1 所示。试验件结构形式如图

2 所示。

加速老化试验后,根据 GB/T 3923.1 测定飞艇蒙皮材料的剩余断裂强力作为材料性能评价指标。试验完成后试验件破坏/老化损伤形式如图 3 所示。剩余断裂强力测试结果如图 4 所示,给出了部分试验数值的断裂强力下降率。

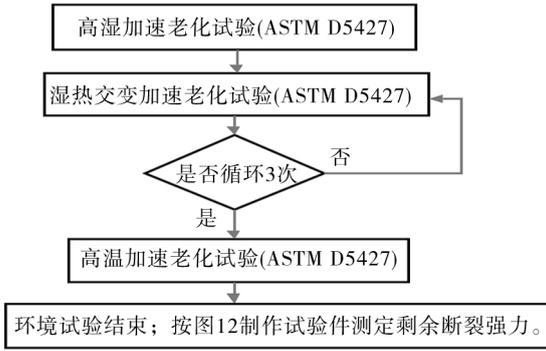
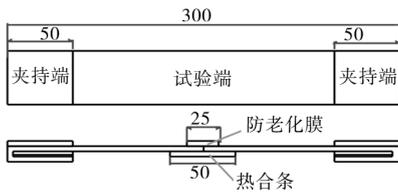


图 1 综合环境加速老化环境谱

Fig. 1 Accelerated environmental spectrum of the integrated environment experiment



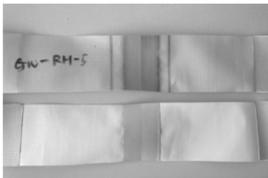
a 热合连接试验件(HD-150热合件无防老化膜)



b 本体试验件结构

图 2 试验件结构

Fig. 2 Schematic diagram of specimens



a HD-150热合件湿热交替老化后外观



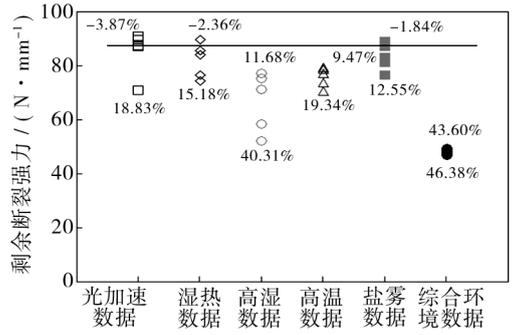
b URETEK-3216LV(本体)高湿老化后拉伸破坏形式



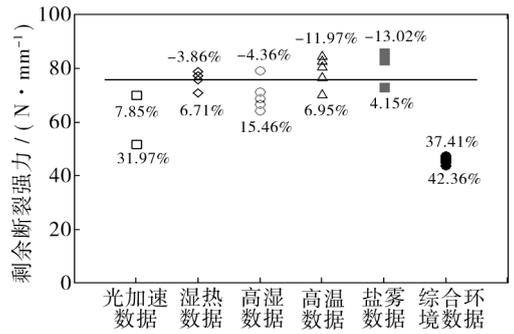
c URETEK-3216LV(热合)高湿老化后拉伸破坏形式

图 3 试验件破坏形式

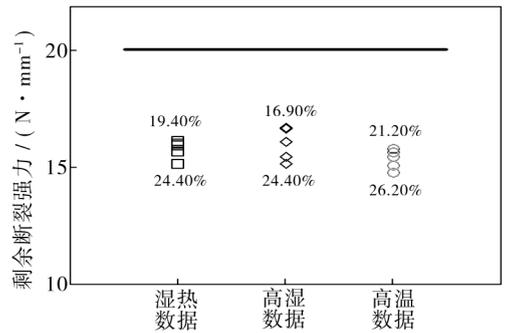
Fig. 3 Damage mode of specimens



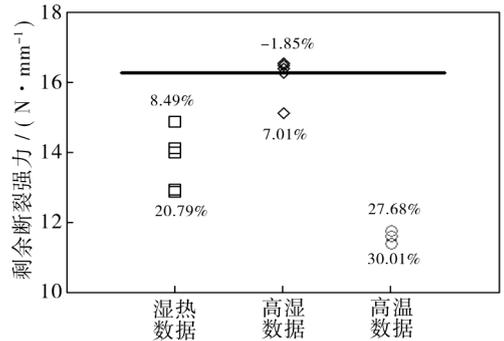
a URETEK-3216LV 本体



b URETEK-3216LV 热合件



c HD-150 本体



d HD-150 热合件

图 4 试验件剩余断裂强力

Fig. 4 Residual breaking force of specimens

2 老化性能分析

2.1 分散性对试验结果的影响

在加速老化试验后,部分试验件剩余断裂强力大于老化前。主要因为飞艇材料本体及热合连接件的分散性较大,部分试验件制作完成后,其断裂强力大于标称值。

当加速老化试验谱较轻,老化后飞艇蒙皮材料强度下降较小,此时材料和工艺的分散性对试验结果影响较大。因此在进行飞艇蒙皮材料加速老化试验前,要考虑到分散性对试验结果的影响。

2.2 URETEK-3216LV 本体/热合件试验结果分析

从图 4a 可知,URETEK-3216LV 材料对单环境因素敏感度由大到小排列分别为高湿、高温、湿热交变、光加速、盐雾。URETEK-3216LV 材料对高湿环境最为敏感,最大下降率达到 40.31%,而盐雾环境下 URETEK-3216LV 材料断裂强力下降率较低,盐雾环境对该材料老化影响较小,在飞艇研制过程中可忽略盐雾对飞艇蒙皮材料老化的影响。由于 URETEK-3216LV 材料表面有一层耐候层,故该材料本体件在光加速环境不敏感。从图 4b 可知,URETEK-3216LV 热合件受分散性影响较大,但在光加速老化试验后其断裂强力下降较大,最大下降率达 31.97%,平均下降率为 19.91%。从图 2 热合试验件结构形式可知,热合区域长 50 mm,上层防老化膜长 25 mm。在进行热合工艺时,极易破坏 URETEK-3216LV 材料本身的耐候层,而防老化膜又没覆盖整个热合区域,导致承力纤维暴露在紫外线环境中而受到损伤,使热合试验件剩余断裂强力明显下降。在飞艇研制过程中,需要考虑热合工艺对蒙皮材料的损伤,改进设计,增强飞艇的耐候性能。

综合环境加速老化试验考虑了飞艇服役环境中高温、高湿及干湿交变对蒙皮材料的老化损伤,导致综合环境老化后剩余断裂强力下降明显,下降率为 40% 左右。

2.3 HD-150 本体/热合件试验结果分析

HD-150 材料主要用于飞艇的副气囊,无光照,

且接触外界环境较弱,故该材料不进行光加速、盐雾及综合环境老化试验。

从图 4c 和图 4d 可以看出,HD-150 本体和热合件对高温环境最敏感,尤其是热合连接件表现明显,其断裂强力最大下降率为 30.01%,平均下降率为 28.78%。该材料对高湿环境的敏感度最低,其断裂强力最大下降率为 7.01%。单环境因素对 HD-150 材料老化的影响由大到小为高温、湿热交变、高湿环境。

从表 3 可知,HD-150 在湿热交变、高湿和高温等 3 种单项环境中,断裂强力下降高于 URETEK-3216LV,说明环境因素对 HD-150 材料的影响大于 URETEK-3216LV 材料,HD-150 材料耐候性较差。

表 3 断裂强力下降率对比

Table 3 Comparison of breaking force descent rate

		%			
		湿热交变	高湿	高温	
URETEK-3216LV	本体件	平均下降率	6.33	23.33	13.32
		最大下降率	15.18	40.31	19.35
	热合件	平均下降率	-0.13	7.76	-4.61
		最大下降率	6.71	15.46	6.94
HD-150	本体件	平均下降率	21.14	20.08	23.36
		最大下降率	24.40	24.40	26.20
	热合件	平均下降率	15.35	0.59	28.78
		最大下降率	20.79	7.01	30.01

2.4 工程应用分析

通过对 URETEK-3216LV 材料在 6 种环境中的老化试验结果分析可知,综合环境老化试验对该蒙皮材料老化影响最大,且考虑了某飞艇服役环境中主要的环境因素,该试验结果可作为评判该飞艇蒙皮材料加速老化性能的依据。光照对耐候层完好的本体件影响很小,可忽略,但对耐候层损伤的热合件影响较大,在工程应用中采用防老化条设计弥补耐候层的损伤,因此,可采用不含光照的环境谱进行加速老化试验。

HD-150 材料对高温环境最为敏感,湿热交变影响也较大,且湿热交变综合考虑了湿度、温度对蒙皮材料老化的影响。由于其在实际使用中要经历湿热环境,故在飞艇研制过程中可采用湿热交变环境谱进行该材料的加速老化试验研究其老化性能。

基于文中研究成果,可根据飞艇真实服役环境继续开展综合环境老化及环境谱研究,对比飞艇蒙

皮材料的自然环境老化结果,验证该研究方法的有效性,并最终得出飞艇蒙皮材料加速老化当量关系。

3 结论

1) URETEK-3216LV 材料对高湿环境较为敏感,热合工艺对热合区的耐候层造成损伤,光照对热合区域的老化影响较大,在结构设计中应考虑保护措施。

2) HD-150 材料对高温环境较为敏感,其耐候能力比 URETEK-3216LV 弱。

3) 该研究结果可为飞艇设计中飞艇蒙皮材料的选择提供参考。

参考文献:

- [1] SHOJI M,ATSUSHI T. On the Structures of the Low Altitude Stationary Flight Test Vehicle[C]//AIAA 5th Aviation, Technology, Integration, and Operations Conference. Arlington, Virginia, 2005.
- [2] 顾正铭. 平流层飞艇蒙皮材料的研究[J]. 航天返回与遥感, 2007, 28(1): 62—66.
GU Zheng-ming. Research of Stratospheric Airship' Skin Material [J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2007, 28(1): 62—66.
- [3] 王彦广,李健全,李勇,等. 近空间飞行器的特点及其应用前景[J]. 航天器工程, 2007, 16(1): 50—57.
WANG Yan-guang, LI Jian-quan, LI Yong, et al. Characters and Application Prospects of Near Space Flying Vehicles [J]. Spacecraft Engineering, 2007, 16(1): 50—57.
- [4] 崔尔杰. 近空间飞行器研究发展现状及关键技术问题[J]. 力学进展, 2009, 39(1): 658—673.
CUI Er-jie. Research Statutes, Development and Key Technical Problems of Near Space Flying Vehicles [J]. Advances in Mechanics, 2009, 39(1): 658—673.
- [5] 刘东旭,樊颜斌,马云鹏,等. 氦气渗透对高空长航时浮空器驻空能力影响[J]. 宇航学报, 2010, 31(11): 2478—2482.
LIU Dong-xu, FAN Yan-bin, MA Yun-peng, et al. Effect of Helium Permeability on Working Endrance High Altitude Long Duration LTA Vehicle [J]. Journal of Astronautics, 2010, 31(11): 2478—2482.
- [6] 谭惠丰,刘羽熙,刘宇艳,等. 临近空间飞艇蒙皮材料研究进展和需求分析[J]. 复合材料学报, 2012, 29(6): 1—8.

TAN Hui-feng, LIU Yu-xi, LIU Yu-yan, et al. Reserch Progress and Requirement Analysis of Envelope Materials for Near Space Airship [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2012, 29(6): 1—8.

- [7] 李云仲,熊伟,朱辰,等. 系留气球软式索具加速老化试验研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(3): 44—46.
LI Yun-zhong, XIONG Wei, ZHU Chen, et al. Research on Captive Ballom Soft Rigging by Accelerated Ageing Test [J]. Equipment Enviromental Engineering, 2013, 10(3): 44—46.
- [8] LIN Liao, IGOR P. A Review of Airship Structural Research and Development [J]. Progress in Aerospace Sciences, 2009, 45: 83—96.
- [9] LEE M, STEVE S, STAVROS A. The High Lighter Than Air Airship Efforts at the US Army Space and Missile Defense Command/Army Forces Strategic Command [C]//The 18th AIAA Lighter-Than-Air Systems Technology Conference. 2009. (余不详)
- [10] RAVINDRA J, AMOOL A R. Conceptual Design of Airship Using Knowledge Based Engineering [C]//The 18th AIAA Lighter-Than-Air Systems Technology Conference. 2009. (余不详)
- [11] 童靖宇,向树红. 临近空间环境及环境试验[J]. 装备环境工程, 2012, 9(3): 1—4.
TONG Jing-yu, XIANG Shu-hong. Near Space Environment and Environment Tests [J]. Equipment Enviromental Engineering, 2012, 9(3): 1—4.
- [12] 赵保平,孙建亮,庞勇. 航天产品环境适应性问题研究[J]. 装备环境工程, 2011, 8(3): 42—48.
ZHAO Bao-ping, SUN Jian-liang, PANG Yong. Research on Environmental Worthiness Problems of Aerospace Product [J]. Equipment Enviromental Engineering, 2011, 8(3): 42—48.
- [13] LEWS J, GEOFFREY S S, ISAAC R P. High-altitude Airships for the Future Force Army, DASW01-01-C003 [R]. USA: Rand Corporation, 2005.
- [14] 章新瑞,史伟. 环境试验在产品全寿命周期的应用[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 65—69.
ZHANG Xin-rui, SHI Wei. Application of Environmental Rest in Product Full Life Cycle [J]. Equipment Enviromental Engineering, 2010, 7(6): 65—69.
- [15] 周跃芬,高军,孙立军. 环境分析技术应用探讨[J]. 装备环境工程, 2011, 8(2): 89—92.
ZHOU Yue-fen, GAO Jun, SUN Li-jun. Discussion on the Application of Environmental Analysis Technology [J]. Equipment Enviromental Engineering, 2011, 8(2): 89—92.