

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.11.019

环境因素对石英纤维增强氰酸酯树脂基复合材料力学性能的影响

张亚娟, 成竹, 刘海燕

(中国飞机强度研究所, 西安 710065)

摘要: 对石英纤维增强氰酸酯树脂基复合材料进行了湿热、高低温、太阳辐照、盐雾、振动、冲击等环境试验, 分析了多种环境因素对复合材料力学性能的影响。结果表明, 在气候环境因素中, 高低温、湿热和太阳辐射环境试验对该复合材料的力学性能影响程度较大, 前两者使其弯曲强度以及太阳辐射环境试验使其弯曲弹性模量分别下降了8.36%, 6.35%, 7.87%; 相对于振动、冲击及离心加速度等机械使用环境因素, 气候环境因素使该复合材料的力学性能下降较大, 气候环境是影响复合材料力学性能的主要因素。

关键词: 环境试验; 石英纤维增强氰酸酯树脂基复合材料; 气候环境试验; 力学性能; 下降率

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)11-0084-04

Effect of Environment Factors on Mechanical Properties of Quartz Fiber Reinforced Cyanate Ester Composites

Zhang Yajuan, Cheng Zhu, Liu Haiyan

(Research Institute of China Airplane Strength, Xi'an 710065, China)

Abstract: Hydrothermal, high-low temperature, sun radiation, salt spray, vibration, impact and centrifugal acceleration environment tests of quartz fiber reinforced cyanate resin ester composites were carried out, and effects of these environment tests on the bending properties of the composites were studied. The results show that high-low temperature, hydrothermal and sun radiation environment tests obviously influence the mechanical properties of the composites, and the decline rates of the bending strength in the former two tests and the bending elastic modulus in the sun radiation environment tests of the composites are 8.36%, 6.35% and 7.87% respectively. The climate environment factors influence the bending properties of the composites much more than mechanics environment factors, which include vibration, impact and centrifugal acceleration. The climate environment factors are main factors which influence the mechanical properties of the composites.

Keywords: environment test; quartz fiber cyanate composite materials; climate environment test; mechanical property; decline rate

氰酸酯树脂是一种含有2个以上氰酸酯官能团(—OCN)的新型高性能热固性树脂, 由于它及其复合材料具有优异的力学性能、尺寸稳定性、极低的介电常数和介电损耗、较低的吸湿率以及良好的热稳定性能, 因此被广泛应用在航空、航天、电子、微波通讯等领域^[1]。关于氰酸酯树脂基复合材料性能研究的报道很多, 如氰酸酯树脂的增韧改性及其复合材料的成型工艺研究^[2-4], 对氰酸酯基复合材料耐单一气候环境老化性能的研究也有不少报道^[5-6], 但对于多种使用环境参数影响下氰酸酯树脂基复合材料力学性能的研究较少^[7]。笔者通过对石英纤维增强氰酸酯基复合材料进行高低温、湿热、盐雾、太阳辐射、

振动、冲击及离心加速度等环境试验研究, 测试其经环境试验老化前后的弯曲性能, 分析多种复杂环境参数对该复合材料力学性能的影响, 这对氰酸酯基复合材料的结构设计及工程应用具有重要的参考价值。

1 试验部分

1.1 原材料

石英纤维增强氰酸酯基复合材料层合板:
80 mm × 12 mm × 4.0 mm。

联系人: 张亚娟, 硕士, 高级工程师, 主要从事复合材料的力学性能及环境试验方面的研究工作

收稿日期: 2013-08-17

1.2 仪器及设备

振动、冲击台系统: SAT120F-T2000-44 / ST 型, 美国 UD 公司;
离心试验机: 自制;
盐雾腐蚀试验箱: YWX/Q 型, 无锡苏南试验设备有限公司;
热冲击试验箱: TS05F 型; 高低温交变湿热箱: SDJ7104 型, 重庆五环实验仪器有限公司;
氙灯耐气候试验箱: SN-900B 型, 无锡苏南试验设备有限公司;
疲劳试验机: INSTRON-8801 型, 美国 Instron 公司。

1.3 环境试验

(1) 加速度试验。

试验依据 GJB150.15-1986《军用设备环境试验方法加速度试验》。将试样按试验要求的方向安装在离心试验机的横梁上, 试验件重心距试验机旋转轴心 2.48 m(旋转半径), 整个装置如图 1 所示。

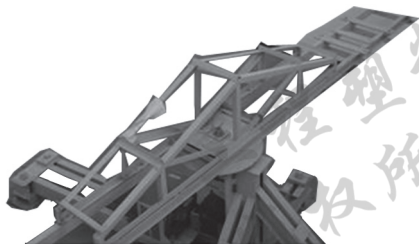


图 1 离心加速度试验装置

(2) 振动及冲击试验。

振动试验依据 GJB 150.16-2009《军用设备环境试验方法振动试验》测试。

振动试验条件为: 在试验件的 X, Y, Z 方向进行振动试验, 振动试验条件如图 2 所示, 试验时间为每轴向 60 min。

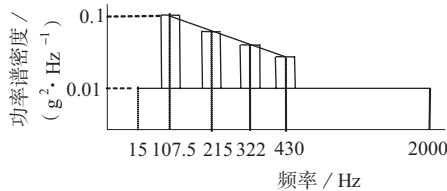


图 2 振动试验条件

冲击试验依据 GJB 150.18-2009《军用设备环境试验方法冲击试验》测试。冲击试验条件如表 1 所示。

表 1 冲击试验条件

轴向	波形	峰值加速度 / g	持续时间 / ms	次数
X, Y, Z	半正弦波	± 15	11	各 3

(3) 高低温试验。

低温为 -55℃, 降温速度不超过 10℃ / min, 试验时间为 24 h;

高温为 +70℃, 升温速度不超过 10℃ / min, 试验时间为 48 h。

(4) 湿热试验。

升温段: 室温至 +55℃, 相对湿度 95%, 升温时间为 2 h;

高温高湿段: 温度 +55℃, 相对湿度 95%, 试验时间为 6 h;

低温段: 温度 +45℃, 相对湿度 88%, 试验时间为 16 h。

(5) 盐雾试验。

试验温度为 +35℃, 喷雾溶液为浓度 (5 ± 1)% 的氯化钠溶液, 溶液 pH 值为 6.5 ~ 7.2, 盐雾沉降量为 (1 ~ 2) mL / 80 (cm² · h), 连续喷雾 48 h。

(6) 太阳辐射试验。

采用稳态长期光化学效应循环, 即光辐射强度为 1120 W / m², 温度 +43℃, 保持 20 h, 停止光辐射 4 h, 24 h 为 1 个循环, 循环方式见图 3, 共进行 3 个循环。

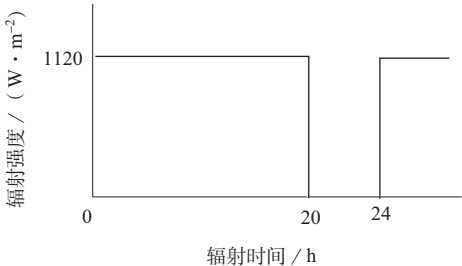


图 3 稳态长期光化学效应日循环

1.4 弯曲性能试验

弯曲性能按照 GB/T 1449-2005 测试。采用弯曲试验机测试试样的三点弯曲性能, 跨距为 60 mm, 加载速度 10 mm / min, 如图 4 所示。

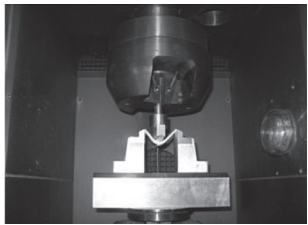


图 4 三点弯曲试验

1.5 试验过程

对石英纤维增强氰酸酯树脂基复合材料弯曲试验的标准试样先分别进行高低温、湿热、盐雾、太

阳辐射、振动、冲击及加速度试验后,再做三点弯曲力学性能试验,考核气候环境试验及其它机械使用环境试验对复合材料力学性能的影响。

2 结果与讨论

对同一种材料在老化过程中不同性能的下降是不等速的。某些性能对环境敏感,下降得快,是引起材料破坏的主要因素,弯曲试验使试样一面承受拉伸力,另一面承受压缩力,可以相对反映复合材料中纤维和基体的综合性能。因此热固性塑料弯曲性能的变化情况可以作为力学性能评价指标^[8]。

2.1 复合材料的环境效应

复合材料的环境效应是指其受到气候及机械使用等环境因素的影响,引起材料微观结构、外观形态或使用性能的变化。气候环境因素主要有温度、湿度、盐雾和太阳辐射等因素;机械环境因素有冲击、振动及离心加速度等因素。

高温试验使聚合物树脂软化分解,释放出小分子是试样力学性能下降的主要原因;

湿热试验的热老化对聚合物树脂的主要作用是塑化作用,在湿热老化期间,后固化与物理老化均不明显。一方面湿热老化初期由于水分子扩散浸入树脂后使材料的大分子溶胀,分子之间距离增大,破坏了分子链间的作用力,导致其力学性能下降。另一方面随着吸湿量的增加,破坏程度加剧,直到吸湿平衡阶段,即吸湿饱和状态下,水分子在热作用下与某些树脂的大分子相结合,产生新的交联^[8],从而导致受温度影响的试样的力学性能提高。

低温试验可以改变材料的物理特性,使材料硬化和脆化。

盐雾试验主要是通过模拟海洋大气或海边大气中的盐雾,同时配合温度、湿度等环境因素,对复合材料进行腐蚀老化,进一步强化海洋环境的气候特征。含盐潮湿大气的水分子进入复合材料后,使树脂基体与增强纤维之间由于吸湿膨胀程度的不同而发生界面脱粘的现象,降低了增强材料和树脂基体之间的应力传递,导致复合材料的力学性能下降。

太阳辐射试验会使表面层压材料起泡、脱落和分层。使聚合物性能发生变化,光化学反应使聚合物发生光降解,性能下降。部分结构劈裂,在高温下表现为结构热熔解体,试样破坏强度受破坏模式的影响较大。

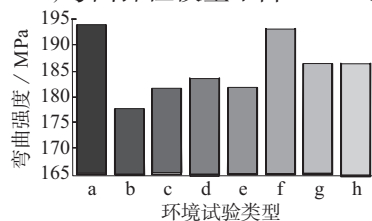
冲击试验可使复合材料加速疲劳(低周疲劳),基体部分产生破裂;

振动试验的振动导致复合材料内部结构的动态位移,基体材料产生裂纹或断裂;

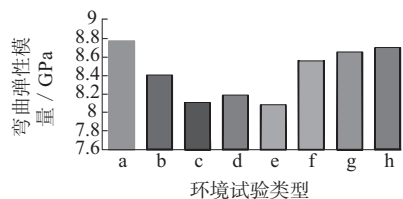
加速度试验使复合材料承受惯性载荷外,还承受气动载荷,可能导致复合材料结构变形,基体出现裂纹甚至断裂。

2.2 环境试验对复合材料弯曲性能的影响

对于聚合物基复合材料,热、光和湿度等气候环境是影响其性能的主要因素。图5和图6分别为几种环境试验对材料弯曲强度、弯曲弹性模量影响程度的比较。可以发现,经气候环境试验的老化后,该复合材料的弯曲性能有不同程度的下降。湿热试验和盐雾试验中都涉及湿度的影响,吸湿对增强材料的性能影响不大,弯曲试验时复合材料正面受层间剪切背面受拉伸力,而层间剪切和拉伸性能主要由增强材料控制,因此湿热试验和盐雾试验对该材料的弯曲性能影响程度较小,分别使材料弯曲强度下降6.35%和5.31%;由于氰酸酯树脂与石英纤维的收缩或膨胀率相差较大,高低温试验使基体与树脂产生较大的内应力,引起微观开裂,因此涉及温度环境因素的高低温试验对该复合材料的弯曲强度影响较大,弯曲强度下降了8.36%,弯曲弹性模量下降了4.22%;紫外线照射的光化学反应使树脂基体发生光降解,太阳辐射产生的热效应使树脂基体发生热降解,表面易纤维外露,材料内部裂纹和空隙增加,因此对材料的承载性能影响较大,使其弯曲强度下降了6.24%,弯曲弹性模量下降7.87%。



a—原始值; b—高低温; c—湿热; d—盐雾;
e—太阳辐射; f—加速度; g—振动; h—冲击
图5 环境试验对试样弯曲强度的影响



a—原始值; b—高低温; c—湿热; d—盐雾;
e—太阳辐射; f—加速度; g—振动; h—冲击
图6 环境试验对试样弯曲弹性模量的影响

王佩艳等^[9]通过环境试验对复合材料拉伸性能影响的研究发现,温度对复合材料的影响主要表

现在强度方面,而对模量的影响较小。图7为环境试验对复合材料弯曲强度和弯曲弹性模量保持率的影响。由图7也可得到此规律,高低温环境试验对该复合材料弯曲强度的影响较大,性能保持率仅为91.64%,但对弯曲弹性模量的影响较小,性能保持率为95.78%。太阳辐射试验对复合材料弯曲弹性模量影响较大,性能保持率仅为92.13%。

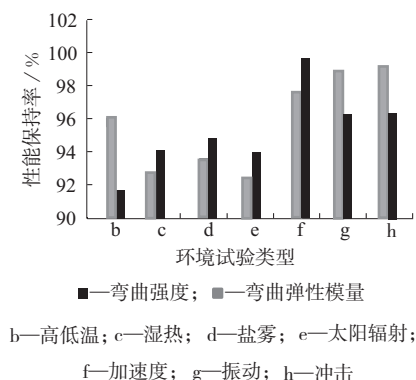


图7 环境试验对复合材料弯曲性能保持率的影响

由以上分析可知,机械环境试验的弯曲性能下降得均比气候环境试验小,其中加速度试验使材料的弯曲强度下降0.46%,弯曲弹性模量下降2.39%;振动试验使材料的弯曲强度下降3.9%,弯曲弹性模量下降1.35%;冲击试验使材料弯曲强度下降3.57%,弯曲弹性模量下降0.86%。由此可见相对气候环境老化试验,机械环境老化试验对该复合材料的力学性能影响不大,因此对于复合材料应多关注气候环境老化试验对其使用性能的影响。

3 结论

(1) 高低温试验使该复合材料的弯曲强度下降了8.36%,弯曲弹性模量下降了4.22%;湿热环境试验使该复合材料的弯曲强度下降了6.35%,弯曲弹性模量下降了7.54%;太阳辐射环境试验使该复合材料的弯曲强度下降了6.24%,弯曲弹性模量下降了7.87%。因此高低温、湿热和太阳辐射环境是影响该复合材料使用性能的主要气候因素。

(2) 石英纤维增强氰酸酯树脂基复合材料是热固性材料,其破坏形式属于脆性破坏,温度对该复合材料弯曲性能的影响主要表现在强度方面,对模量的影响相对小一些,经高低温环境试验老化后该复合材料的弯曲强度的保持率为91.64%,弯曲弹性模量的保持率为95.78%。

(3) 相对于机械环境条件,气候环境因素对复合材料的力学性能影响更显著,气候环境试验使该复

合材料的弯曲强度下降为5.31%~8.36%之间,弯曲弹性模量下降为4.22%~7.87%;而机械环境试验使该复合材料的弯曲强度下降0.46%~3.9%,弯曲弹性模量下降0.86%~2.39%。

参考文献

- [1] Pazhanikumar T, Sivasankar B, Sugumaran T. Synthesis, characterization and applications of polyurethane aryl cyanate ester resin[J]. High Performance Polymers, 2007, 19(2): 97-112.
- [2] 王冠,付刚,高堂玲,等. 改性氰酸酯胶膜的制备与性能[J]. 宇航材料工艺, 2012(3): 42-45.
Wang Guan, Fu Gang, Gao Tangling, et al. Preparation and properties of modified cyanate ester resin adhesive film[J]. Aerospace Materials & Technology, 2012(3): 42-45.
- [3] 任鹏刚,梁国正,杨洁颖,等. 环氧改性氰酸酯复合材料工艺性研究[J]. 宇航材料工艺, 2003, 33(5): 26-34.
Ren Penggang, Liang Guozheng, Yang Jieying, et al. Laying properties of composite with modified cyanate ester[J]. Aerospace Materials & Technology, 2003, 33(5): 26-34.
- [4] 郭笑坤,殷立新,詹茂盛. 雷达罩用复合材料的研究进展[J]. 高科技纤维与应用, 2003, 28(6): 29-33.
Guo Xiaokun, Yin Lixin, Zhan Maosheng. Progress in the research of low loss tangent ploymer-matrix composities for radomes[J]. Hi-Tech Fiber & Application, 2003, 28(6): 29-33.
- [5] 付东旭,王帆,王家樑,等. 改性双酚A型氰酸酯体系耐湿热性能的研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2012(5): 19-22.
Fu Dongxu, Wang Fan, Wang Jialiang, et al. Hydrothermal behaviours of modified bisphenol a dicyanate ester resin systems[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2012(5): 19-22.
- [6] 王磊,林娜,潘玲英,等. 新型改性氰酸酯及其复合材料性能[J]. 宇航材料工艺, 2012(4): 45-47.
Wang Lei, Lin Na, Pan Lingying, et al. Performance of a new type of cyanate ester resin and composite materials[J]. Aerospace Materials & Technology, 2012(4): 45-47.
- [7] Kootsookos A, Mouritz A P. Seawater durability of glass-and carbon-polymer composites[J]. Composites Science and Technology, 2004, 64: 1503-1511.
- [8] 李春平,王海鹏. 紫外线和盐雾腐蚀对拉挤成型复合材料(FRP)性能的影响研究[J]. 纤维复合材料, 2010, 6(3): 7-9.
Li Chunping, Wang Haipeng. Study on the effects of UV and salt spray corrosion on the performance of pultruded composites(FRP) [J]. Fiber Composites, 2010, 6(3): 7-9.
- [9] 王佩艳,王富生,岳珠峰. 石英纤维布氰酸酯树脂基复合材料的环境试验性能研究[J]. 实验力学, 2010, 25(3): 325-329.
Wang Peiyan, Wang Fusheng, Yue Zhufeng. Experimental study of quartz fibre cyanate resin matrix gfrp performance in variant environment[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2010, 25(3): 325-329.