

树脂基复合材料湿热压缩性能研究



曹景斌*,王松,章强

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150066

摘要:通过对比室温和湿热状态时的树脂基复合材料宏观压缩性能,考察湿热环境对树脂基复合材料压缩性能的影响。制定了复合材料湿热压缩性能试验规划,明确了复合材料层压结构和蜂窝夹层结构典型试验方法,阐述了试验件制造流程和试验件切割过程,并对试验数据进行了统计分析。对比试验结果表明,湿热条件对于层压结构压缩强度和蜂窝夹层结构侧压强度都有较大影响,湿热环境是造成结构承载能力下降的重要因素,在确定复合材料结构设计许用值时要重点关注。

关键词:复合材料; 试验; 湿热; 压缩; 侧压

中图分类号:V215.5

文献标识码:A

DOI:10.19452/j.issn1007-5453.2020.03.005

先进树脂基复合材料是一种在20世纪60年代中期崛起并发展起来的新型材料,由于其诸多优势以及低成本技术发展,飞机上已大量采用了先进复合材料结构^[1]。如波音787复合材料用量50%,NH-90直升机复合材料用量约为95%。当今复合材料用量已经成为衡量飞机先进性的重要指标^[2]。然而,相比于金属材料,复合材料对环境十分敏感,特别在湿热联合作用下力学性能下降明显,严重影响了复合材料的使用范围和结构效率^[3-5]。特别当碳纤维增强树脂基复合材料应用于主承力结构时,复合材料吸湿和高温条件下会对其耐力学性能产生不利影响,尤其对复合材料层压板静压缩强度影响显著,甚至对飞机结构安全带来威胁^[6-10]。因此,有必要对先进树脂基复合材料的湿热压缩性能开展深入研究。

树脂基复合材料包含层压结构和蜂窝夹层结构两类。本文通过对两类复合材料在室温(温度23°C±2°C,相对湿度50%±10%)和湿热状态(温度为70°C±3°C,相对湿度为85%±5%的环境下吸湿至平衡状态)两种环境条件压缩性能研究,对比室温和湿热状态时两类复合材料的宏观压缩性能,考察湿热环境对复合材料压缩性能的影响,为将来复合材料设计许用值的确定提供依据,并为两类复合材料在结构设计和使用性提供一定的指导意义。

1 试验

1.1 试验规划

为了考察湿热环境对复合材料结构压缩性能的影响,选取典型结构进行室温和湿热两种状态试验。层压结构选择某型飞机梁缘条典型结构铺层及材料,蜂窝夹层选择某型飞机下蒙皮典型结构铺层及材料,通过对室温状态和湿热状态试验结果进行对比,来验证复合材料湿热压缩性能。层压结构试验验证规划见表1,蜂窝夹层结构试验规划见表2。

表1 层压结构试验规划

Table 1 Test plan of laminate

试验件类型	典型铺层	试验条件	批次×数量	试件尺寸/mm
层压结构	[(±45)/0/0/(0,90)/0/(±45)/0/(0,90)/0/0/(±45)]	室温干态	1×5	100×150
		湿热状态	1×5	

表2 蜂窝夹层结构试验规划

Table 2 Test plan of honeycomb

试验件类型	典型铺层	试验条件	批次×数量	试件尺寸/mm
蜂窝夹层结构	((±45) ₂ /core/(±45) ₂)	室温干态	1×5	160×120
		湿热状态	1×5	

收稿日期: 2019-12-04; 退修日期: 2020-01-14; 录用日期: 2020-01-30

*通信作者.: Tel: 0451-86583422 E-mail: 12921308@qq.com

引用格式: Cao Jingbin, Wang Song, Zhang Qiang. Research on resin composite hydrothermal compressive properties [J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(03): 47-52. 曹景斌, 王松, 章强. 树脂基复合材料湿热压缩性能研究 [J]. 航空科学技术, 2020, 31(03): 47-52.

表中, core 指 Nomex 纸蜂窝, Q/2AJ630-2007 Type V, Class4, Grade3.0; 中温碳纤维 T300 编织物预浸料 Q/2AJ631TypeII, Class2, 3K-70-PW; 中温碳纤维 T300 单向带预浸料 Q/2AJ631TypeII, Class1, Grade95。

1.2 试验方法

1.2.1 层压结构侧压试验方法

层压结构侧压试验方法参考相关标准^[11], 在试件上下面板中心位置粘贴应变片, Z 向位移测量采用设备夹头自带位移传感器测量, Y 向位移测量采用外接交流位移传感器测量。位移测量点示意如图 1 所示, 试验安装如图 2 所示。

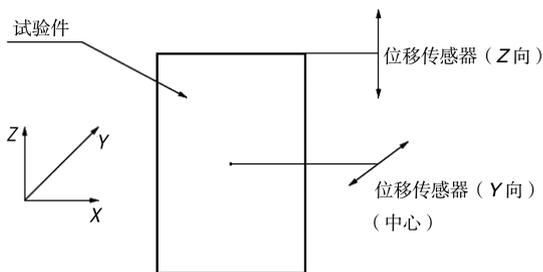


图1 位移测量点示意

Fig.1 Displacement measurement

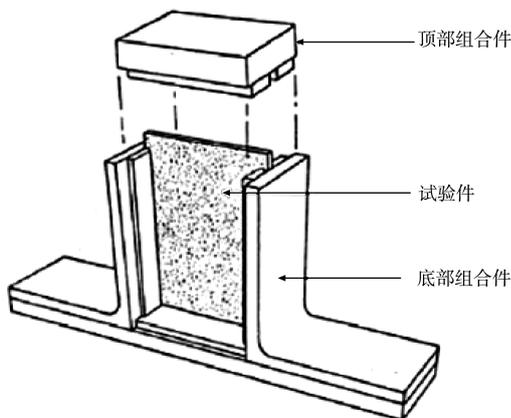


图2 试验安装图

Fig.2 Test installation

1.2.2 蜂窝夹层结构侧压试验方法

蜂窝夹层结构侧压试验方法参考相关标准^[12], 在试件上下面板中心位置粘贴应变片, Z 向位移测量采用设备夹头自带位移传感器测量, Y 向位移测量采用外接交流位移传感器测量, 试验安装如图 3 所示。

为防止试验时试验件端部破坏, 在试验件切割后两端加凝固性填料加固。先将切割试验件两端的蜂窝各去掉

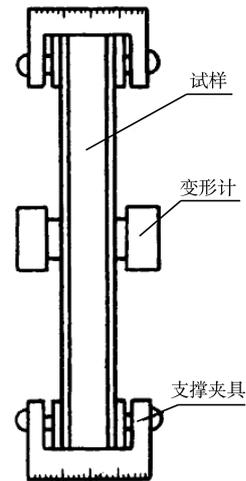


图3 试验安装图

Fig.3 Test installation

20mm, 然后将去掉部位用填料加固(两端要压平), 最后在试件两端粘贴加强片, 试件加固如图 4 所示。

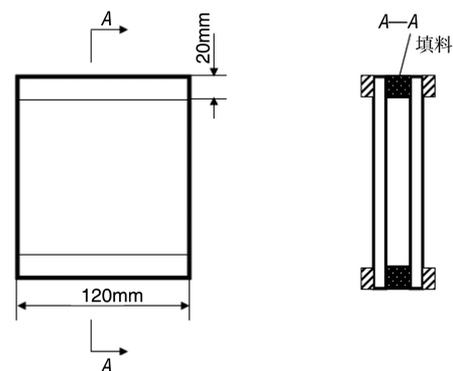


图4 试件加固示意

Fig.4 Specimen enhancement

1.2.3 试验件制备

试验件制备按照常规的复合材料层压结构和蜂窝夹层结构制造工艺和质量控制程序, 分别单独制造两块大板。根据试验规划要求, 每一大板须切割 6 个试件, 其中 5 件用于试验, 1 件作为备件, 用于进行室温和湿热状态压缩试验。试件经无损检测合格后方可用于试验。试验件制备流程如图 5 所示。层压板压缩试验大板切割示意图如图 6 所示, 夹层结构侧压试验大板切割示意图如图 7 所示。

2 试验结果及分析

2.1 试验数据

层压结构压缩试验现场图片和试验件破坏照片如图 8 和图 9 所示。层压结构室温试验破坏载荷见表 3, 对对应

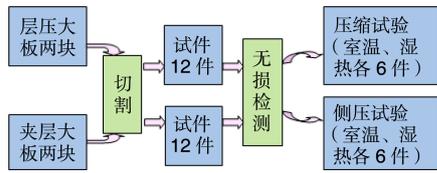


图5 试验件制备流程

Fig.5 Manufacture process



图8 试验现场照片

Fig.8 Test photo

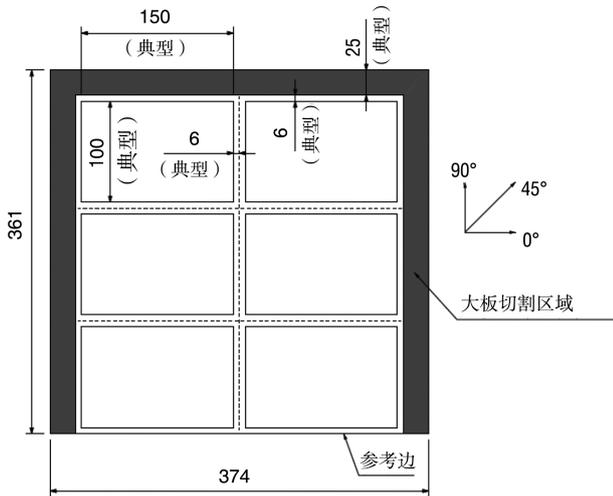


图6 层压结构试验大板切割示意图(单位: mm)

Fig.6 Laminate cut(Unit: mm)



图9 试验件破坏图片

Fig.9 Specimen broken

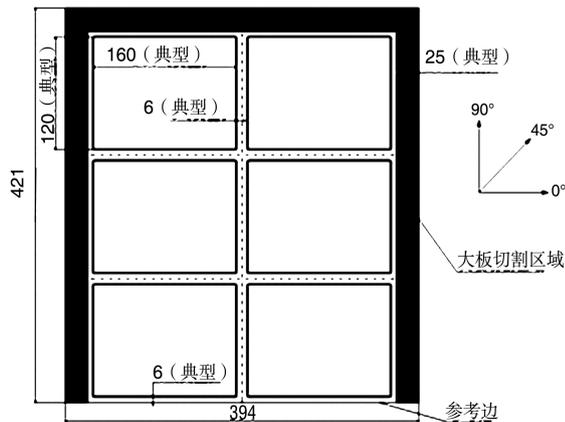


图7 夹层结构试验大板切割示意图(单位: mm)

Fig.7 Honeycomb cut(Unit: mm)

力、应变见表4;层压结构湿热试验破坏载荷见表5,对应应力、应变见表6。

蜂窝夹层结构侧压试验现场图片和试验件破坏照片如图10和图11所示。蜂窝夹层结构室温试验破坏载荷见表7,对应应力、应变见表8;蜂窝夹层结构湿热试验破坏载荷见表9,对应应力、应变见表10。

表3 室温试件试验破坏载荷

Table 3 Specimen broken load at room temperature

编号	破坏载荷/dN					平均值/dN
01~05	9380	9010	9982	11682	9861	9983

表4 室温试件应力、应变

Table 4 Specimen stress and strain at room temperature

室温	截面面积/mm ²	应力/MPa	平均应变/(应力/E)
	100×1.88	531	8169

表5 湿热试件试验破坏载荷

Table 5 Hydrothermal specimen broken load

编号	破坏载荷/dN					平均值/dN
01~05	8332	7985	8135	8031	8027	8102

表6 湿热试件应力、应变

Table 6 Hydrothermal specimen stress and strain

湿热	截面面积/mm ²	应力/MPa	平均应变/(应力/E)
	100×1.92	422	6493

2.2 试验数据分析

根据试验数据,拟合室温和湿热状态下层压结构载荷-



图10 试验现场照片
Fig.10 Test photo



图11 试验件破坏图片
Fig.11 Specimen broken

表7 室温试件试验破坏载荷

Table 7 Specimen broken load at room temperature

编号	破坏载荷/dN					平均值/dN
01~05	1200	1260	1320	1320	1380	1296

表8 室温试件应力、应变

Table 8 Specimen stress and strain at room temperature

室温	截面面积/mm ²	应力/MPa	平均应变/(应力/E)
	120×6.88	15.69767	9514

表9 湿热试件试验破坏载荷

Table 9 Hydrothermal specimen broken load

编号	破坏载荷/dN					平均值
01~05	905	899	1118	950	1143	1003

表10 湿热试件应力、应变

Table 10 Hydrothermal specimen stress and strain

湿热	截面面积/mm ²	应力/MPa	平均应变/(应力/E)
	120×6.92	12.075	7318

位移曲线图和试件破坏载荷分布图,载荷-位移如图12所示,试件破坏载荷分布如图13所示。

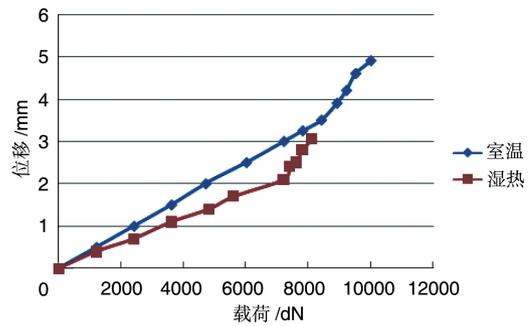


图12 层压结构载荷-位移

Fig.12 Laminate load displacement

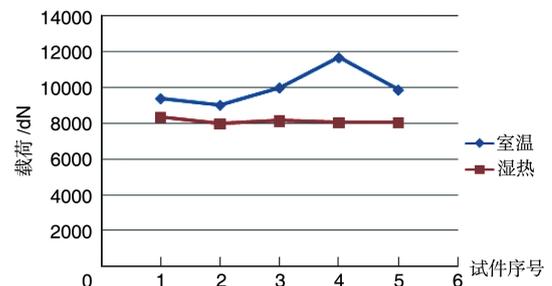


图13 层压结构试件破坏载荷分布

Fig.13 Laminate specimen broken load

从层压结构载荷-位移曲线可以看出,载荷-位移曲线基本呈线性分布;湿热状态对于层压结构压缩强度有较大影响,相对于室温状态层压结构承载能力下降23%。层压结构试件破坏载荷分布图显示试件破坏基本围绕中值附近,个别由于分散性导致破坏偏离,但不影响整个试验结果。

根据试验数据,拟合室温和湿热状态下蜂窝夹层结构载荷-位移曲线图,载荷-位移如图14所示,试件破坏载荷分布如图15所示。

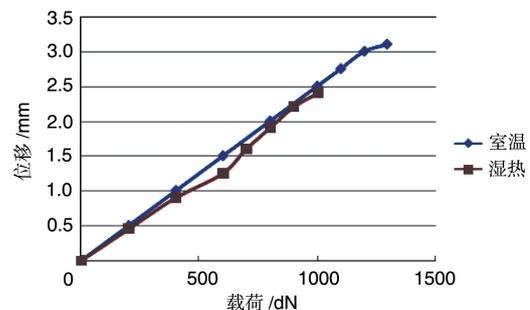


图14 蜂窝夹层结构载荷-位移

Fig.14 Honeycomb load displacement

从蜂窝夹层结构载荷-位移曲线可以看出,载荷-位移曲线基本呈线性分布;湿热状态对于蜂窝夹层结构压缩强度有较大影响,相对于室温状态蜂窝夹层结构承载能力下降

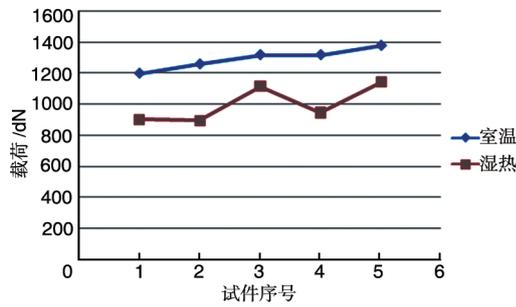


图15 蜂窝夹层结构试件破坏载荷分布

Fig.15 Honeycomb specimen broken load

29%。夹层结构试件破坏载荷分布图显示试件破坏基本围绕中值附近,个别由于分散性导致破坏偏离,但不影响整个试验结果。

3 结论

通过对两类复合材料结构在室温和湿热状态下压缩性能研究,考察湿热环境对复合材料压缩性能的影响得出如下结论:

(1)室温状态和湿热状态下,层压结构和蜂窝夹层结构载荷-位移曲线基本呈线性分布。

(2)湿热条件对于层压结构压缩强度和蜂窝夹层结构侧压强度都有较大影响,湿热环境是造成结构承载能力下降的重要因素。

(3)本试验中湿热条件下层压结构压缩强度相对于室温条件压缩强度下降23%;湿热条件下蜂窝夹层结构侧压强度相对于室温条件侧压强度下降29%。

(4)湿热条件是造成复合材料设计许用值不高的的重要原因,在确定设计结构许用值时要重点关注。

AST

参考文献

- [1] 杨乃宾,倪先平.直升机复合材料结构设计[M].北京:国防工业出版社,2008.
Yang Naibin, Ni Xianping. Composite structure design for helicopter[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008. (in Chinese)
- [2] 杜善义.先进复合材料与航空航天[J].复合材料学报, 2007, 24(1):1-12.
Du Shanyi. Advanced composite materials and aerospace engineering[J]. Acta Materiae Composite Sinica, 2007, 24 (2): 1-12. (in Chinese)
- [3] 郑洁,赵占文.湿热环境对复合材料结构承载能力影响试验

研究[J].航空科学技术, 2017, 28(3): 55-58.

Zheng Jie, Zhao Zhanwen. Experimental research on the influence of hygrothermal environment on compressive carrying capacity of composite stiffened plates [J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28(3): 55-58. (in Chinese)

- [4] Selzer R, Friedrich K. Influence of water uptake on inter-laminar fracture properties of carbon fibre-reinforced polymer composites[J]. Journal of Materials Science, 1995, 30 (2) : 334-338.
- [5] Selzer R, Friedrich K. Mechanical properties and failure behavior of carbon fibre-reinforced polymer composites under the influence of moisture [J]. Composites, 1997, 28A: 595-604.
- [6] 吕小军,张琦,马兆庆,等.湿热老化对碳纤维/环氧树脂基复合材料力学性能影响研究[J].材料工程,2005(11):50-54.
Lv Xiaojun, Zhang Qi, Ma Zhaoqing, et al. Study of hydrothermal aging effect on mechanical properties of carbon fiber/epoxy resin composite [J]. Journal of Materials Engineering, 2005 (11): 50-54. (in Chinese)
- [7] 魏洪,张磊,张丽.复合材料细观结构表征与力学性能[J].航空科学技术, 2016, 27(6):26-29.
Wei Hong, Zhang Lei, Zhang Li. Composite meso-structure characteristics and macro mechanical properties [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27(6) : 26-29. (in Chinese)
- [8] 李敏,张宝艳.改性双马树脂/碳纤维复合材料体系耐湿热性能研究[J].热固性树脂,2006,21(5):25-27.
Li Min, Zhang Baoyan. Study on the hydrothermal properties of a modified bismaleimide resin/carbon fiber composite[J]. Thermosetting Resin, 2006, 21(5):25-27. (in Chinese)
- [9] Bao L R, Yee A F. Moisture diffusion and hygrothermal aging in bismaleimide matrix carbon fiber composites, Part I Uniweave composites [J]. Composites Science and Technology, 2002, 62: 2099-2110.
- [10] Ray B C. Temperature effect during humid ageing on interfaces of glass and carbon fibers reinforced epoxy composites [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2006, 298 (1) : 111-117.
- [11] Astm D6641/D6641M-01 Standard test method for determining the compressive properties of polymer matrix composite

laminates using a Combined Loading Compression (CLC) test fixture1[S].2001.

- [12] Astm C364/C364M-16 Standard test method for edgewise compressive strength of sandwich constructions [S]. American: America Society for Testing and Materials, 2016.

(责任编辑 王为)

作者简介

曹景斌(1981-)男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞

机结构强度。

Tel:0451-86583422 E-mail: 12921308@qq.com;

王松(1986-)男,学士,工程师。主要研究方向:飞机结构与维修。

Tel:0451-86583946 E-mail: wangsong@163.com

章强(1985-)学士,高级工程师。主要研究方向:飞机结构设计。

Tel:0451-86582738

E-mail: Zhangqiang0451@163.com

Research on Resin Composite Hydrothermal Compressive Properties

Cao Jingbin*, Wang Song, Zhang Qiang

Harbin Aircraft Industry Group Co. Ltd. , Harbin 150066, China

Abstract: By comparing the macro compression properties of resin composite at room temperature and hydrothermal state, the influence of hydrothermal ambient on the compressive properties of resin composites is observed. The hydro thermal compression property test plan of composites is developed; the typical test method of the composite laminate and honeycomb sandwich structures is defined; the test piece manufacturing process and cutting process are illustrated, and also the test data are summarized and analyzed. The test contrast shows that the hydrothermal conditions have a greater influence on laminate compressive strength and honeycomb sandwich edgewise compressive strength and the hydrothermal ambient is main factor to cause the decrease of structure capacity carrying. The hydrothermal ambient should be paid more attention to while determining the allowable value of composite structure design.

Key Words: composite; test; moisture; compressive; edgewise compressive

Received: 2019-12-04; Revised: 2020-01-14; Accepted: 2020-01-30

*Corresponding author. Tel. : 0451-86583422 E-mail: 12921308@qq.com