

# 玻纤增强树脂基复合材料声发射研究

## Acoustic Emission Research on Glass Fiber Reinforced Composites

北京航天试验技术研究所 陶然  
北京特种设备检测中心 夏美玲  
水利部产品质量标准研究所 丁鹏  
南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室 卢超

**[摘要]** 纤维复合材料作为优异性能复合材料的代表在各行业得到越来越广泛的应用,其检测以及评价方法也随之得到广泛的关注与应用。通过对玻璃纤维环氧树脂复合材料拉伸加载,在加载过程中用声发射设备采集数据,利用声发射计数与载荷、时间间的相互关系对玻璃纤维复合材料进行评价,得到玻璃纤维/环氧树脂复合材料声发射的临界载荷以及强度等信息与声发射撞击计算之间的关系。

**关键词:** 声发射 玻璃纤维 复合材料 拉伸试验

**[ABSTRACT]** Fiber reinforced composites is being used more and more in every fields because of the combined property. And the methods on test and evaluating the property of fiber reinforced composites is also being concerned. In this paper, glass fiber composites specimen is loaded and the PCI-2 system is used to collect acoustic emission signals. The critical load is confirmed and the material is evaluated from the relation among load, time and the acoustic emission signal parameter.

**Keywords:** Acoustic emission Glass fiber Composites Tensile test

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.08.089

玻璃纤维增强树脂基复合材料是一种性能优异的无机非金属材料,由于其具有轻质、良好的绝缘性、抗腐蚀性、耐热性和高强度等综合性能以及具有工艺性好、加工成型方便、生产效率高等特点,成为国民经济、国防建设和科技发展中无法替代的重要材料,在防弹头盔、防弹服、直升飞机机翼、预警机、雷达罩以及各种高压压力容器、民用飞机直板、体育用品、各类耐高温制品中得到广泛应用<sup>[1]</sup>。因此,对于玻璃纤维增强树脂基复合材料的性能检测效率以及失效分析效率方面的要求也将更加严格。

声发射是一种基于材料中局域源快速能量释放产生瞬态弹性波的现象,与材料应力作用下的变形与裂纹扩展相关<sup>[2]</sup>。声发射检测不受材料及材料几何形状、尺

寸的限制,并且是一种动态检测方式,能够在役检测材料以及构件的损伤状况。

在纤维增强复合材料方面,国内外众多学者以及研究人员做了许多卓有成效的工作。Pasi等<sup>[3]</sup>对复合材料3点弯曲试验过程中的声发射进行了研究与分析;Olivier等<sup>[4]</sup>对碳纤维增强塑料的拉伸以及弯曲试验的声发射情况进行了分析研究;北京航空材料研究所与航空制造工程研究所率先在国内较为成熟地应用声发射检测技术对航空用材的声发射状况进行了分析研究<sup>[5-6]</sup>,其他高校的相关人员<sup>[7-9]</sup>也对复合材料的声发射检测做了较多的深入研究。玻璃纤维复合材料因其综合性能以及价格低廉等因素,被作为一种较为常用的民用以及工业用材。本文通过声发射检测对不同铺层角度玻璃纤维、不同层数以及不同基体的玻璃纤维增强树脂基复合材料进行分析,以期对实用过程有所帮助。

## 1 试验设计与参数设置

### 1.1 试样制备

玻璃纤维采用的是九江市江南玻璃纤维有限公司生产的0.2mm玻璃布,环氧树脂基体材料是SM6101环氧树脂与低分子650聚酰胺树脂按照质量分数1:1混合制成,不饱和树脂基体是GH-191A不饱和聚酯树脂与AR过氧化乙酰酮溶液以及AR萘酸钴苯乙烯溶液按照质量分数100:1.6~2:0.8~1混合制成。试样制作采用手糊铺层方式,常温固化成型后裁剪制成,试样两端两侧粘贴有7层玻璃纤维和基体同种树脂制成的加强片,以防试样在拉伸过程中被夹头夹断。试样的尺寸、形状按照中国国家标准GB/T1447-2005纤维增强塑料拉伸性能试验方法<sup>[10]</sup>制作。试样的形状与尺寸如图1所示。

### 1.2 试验参数

声发射系统采用的是美国物理声学公司PCI-2声发射信号采集系统,其中,前置放大增益为40dB,门槛设置为35dB,模拟滤波范围为20kHz~3MHz,采样频率2MHz,采样长度1k。试验采用的传感器为中心频率为

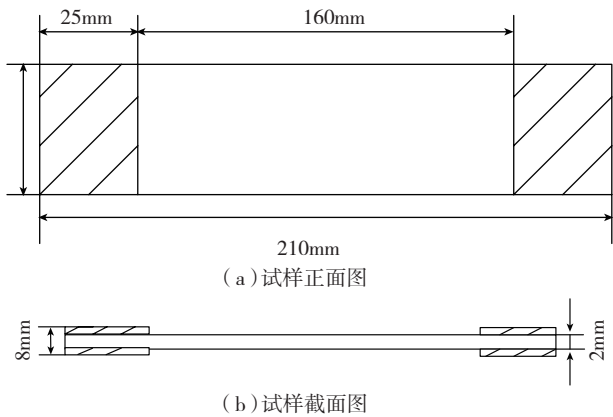


图1 试样形状与尺寸

Fig.1 Shape and size of specimen

15kHz, 带宽为 1MHz 的 R15 $\alpha$  型传感器。耦合剂采用凡士林。

### 1.3 试验过程

用 WDW-50C 型微机控制电子试验机以 5mm/min 的速度将试样拉断, 同时用声发射信号采集系统采集拉伸过程中产生的声发射信号, 试验装置如图 2 所示。

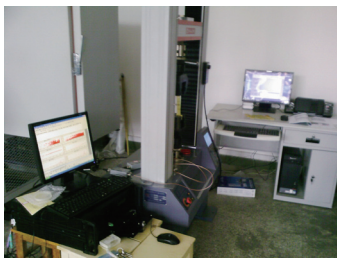


图2 拉伸试验装置

Fig.2 Device of tensile test

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 不同铺层层数试样声发射特征

不同铺层层数的玻璃纤维增强树脂基复合材料试样是通过对比同向铺层的 6 层 [0] 铺层的玻璃纤维 / 环氧树脂复合材料试样与 7 层 [0] 铺层的玻璃纤维 / 环氧树脂复合试样的声发射信号与拉伸曲线进行分析的。不同铺层层数试样分析如图 3 所示。

从图 3 可以看出, 7 层玻璃纤维 / 环氧树脂试样最大载荷在 5000N 左右, 而 6 层试样的最大载荷在 3400N 左右。两种类型试样起始拉伸阶段声发射信号产生都比较平缓。6 层试样在 18s 左右声发射信号撞击出现转折, 此后的声发射撞击增多, 此时对应的载荷 2300N 左右, 约为最大载荷的 68%。对于 7 层玻试样, 在 30s 左右声发射信号撞击产生速率增加, 此时对应载荷 3700N 左右, 对应于最大载荷的 74% 左右。因此, 从声发射信号可以较好地反映玻璃纤维 / 环氧树脂拉伸断裂情况。

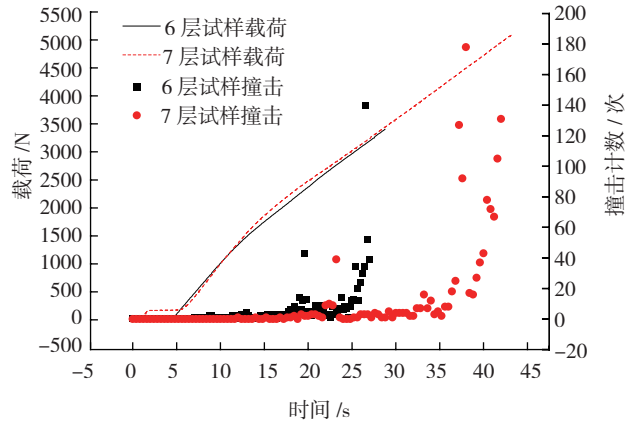


图3 不同层数试样分析

Fig.3 Analysis of specimens with different layers

最大载荷的 70% 也可以作为玻璃纤维 / 环氧树脂复合临界失效载荷。

### 2.2 不同铺层角度试样声发射特征

不同铺层角度的试样是用 6 层铺层的纤维方向与拉伸方向相同的 [0] 试样、与拉伸方向有 0°、45° 混合铺层的 [0/45] 试样, 以及正负 45 度铺层的 [-45/45] 试样。各试样载荷以及声发射撞击的时间相关如图 4 所示。

由图 4 可以看出, [0] 铺层玻璃纤维 / 环氧树脂复合材料试样承载能力最强, [0/45] 度铺层的试样承载能力次之, [-45/45] 铺层的试样承载能力最差。同时声发射撞击信号出现与上述较为一致的趋势, [0] 铺层的试样声发射信号撞击最为强烈, [-45/45] 铺层的试样声发射信号撞击最弱, [0/45] 铺层的试样声发射信号撞击居中。无论是从载荷曲线上还是从声发射信号撞击出现的趋势来看, [0] 铺层的试样曲线斜率较大, 而 [-45/45] 铺层的试样曲线斜率最小, [0/45] 铺层试样曲线居中, 这说明 [-45/45] 铺层的试样, 在承载时, 由于玻璃纤维不是直接承受拉伸载荷, 试样在拉伸过程中表现出韧性拉伸趋向; 而 [0] 铺层的试样, 纤维在拉伸时即承受载荷, 因此

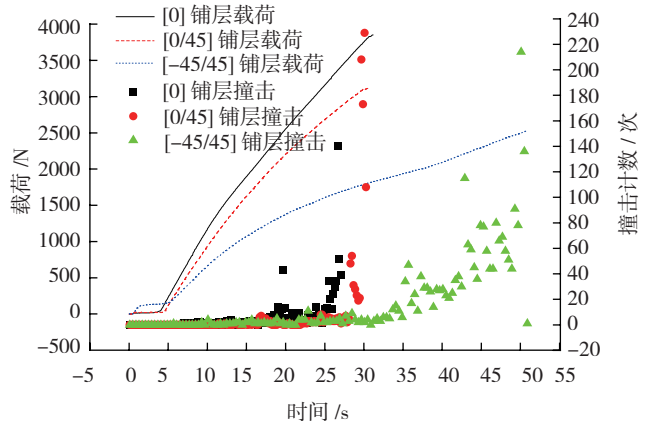


图4 不同角度试样分析

Fig.4 Analysis of specimens with different angles

表现出纤维的脆性拉伸趋向。

### 2.3 不同基体材料试样的声发射特性

不同基体材料试样是用6层[0]铺层的玻璃纤维/环氧树脂复合材料与6层[0]铺层的玻璃纤维/不饱和树脂复合材料制作。

由图5可以看出,玻璃纤维/环氧树脂复合材料的强度较玻璃纤维/不饱和树脂的强度大,并且从载荷曲线以及声发射撞击曲线图都可以看出,玻璃纤维/不饱和树脂试样曲线的斜率要比玻璃纤维/环氧树脂试样曲线的斜率小,从而可以得出玻璃纤维/环氧树脂复合材料表现的脆性断裂趋势,而玻璃纤维/环氧树脂复合材料跟[45]度铺层试样表现出相似的韧性断裂趋势。

从以上分析可以看出,在加载速度不变的情况下,6层[0]铺层试样与7层[0]铺层试样的载荷曲线基本重合,但7层试样承载能力强,抗拉时间长,声发射撞击产生较多。而在不同角度的铺层中,[-45/45]铺层试样表现出较强的韧性,斜率变小,承载时间较长,声发射撞击较[0]铺层试样产生得多。同时,声发射撞击产生的速率也较好地反映了载荷曲线斜率状况。

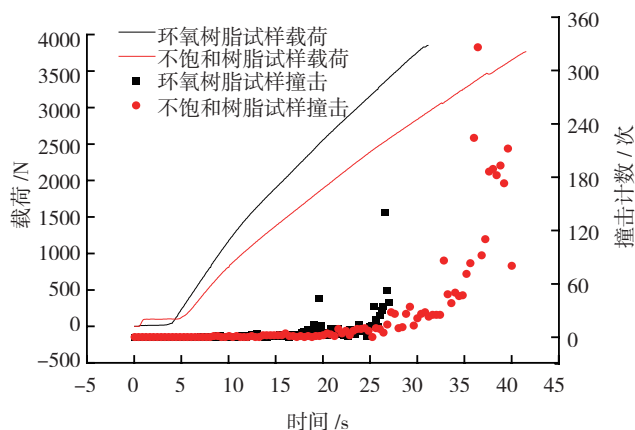


图5 不同基体材料试样分析

Fig.5 Analysis of specimens with different matrices

## 3 结论

(1) 纤维复合材料拉伸过程中,在最大载荷的70%左右范围会出现一个声发射撞击的次峰,因此,可以将最大载荷70%范围作为材料失效的临界载荷,保证材料的使用寿命。

(2) 从不同铺层角度的拉伸试样可以发现,[0]铺层玻璃纤维/环氧树脂复合材料试样承载能力最强,[0/45]铺层的试样承载能力次之,[-45/45]铺层的试样承载能力最差。虽然可承受的最大载荷较小,但是[-45/45]铺层的试样支撑的时间更长。

(3) 玻璃纤维环氧树脂基复合材料比不饱和树脂基复合材料具有更好的抗拉性能,完全损坏前不饱和树脂

基复合材料则比环氧树脂基复合材料承压时间更长。

### 参考文献

- [1] 益小苏. 先进复合材料技术研究与发展. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [2] Christian U, G, Masayasu O. Acoustic emission testing. Berlin: Springer, 2008.
- [3] Pasi A, Lippo V J, Lassila, et al. Acoustic emission analysis of fiber-reinforced composite in flexural testing. Dental Materials, 2004(20):305-312.
- [4] Olivier S, Hiroshi T. Acoustic emission in carbon fiber-reinforced plastic materials. Ann Chim Sci Mat, 2000(25):533-537.
- [5] 袁振明, 任荣振. 用声发射研究单向碳纤维复合材料的断裂特性. 无损检测, 1990, 12(10):279-280.
- [6] 许凤旌, 陈积懋. 声发射技术在复合材料发展中的应用. 机械工程材料, 1997, 21(4):30-34.
- [7] 李思辉, 张慧萍, 晏雄. 声发射技术在防弹用复合材料检测上的应用. 纺织科技进展, 2007(2):11-12.
- [8] 龙宪海, 阳能军, 王汉功. 炭/环氧复合材料拉伸损伤声发射特性以及细观力学分析. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(2):50-54.
- [9] 杨碧玲, 张慧萍, 晏雄. 模式识别在复合材料声发射信号分析中的应用. 玻璃钢/复合材料, 2007(2):51-53.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T1447-2005 纤维增强塑料拉伸性能试验方法. 北京: 中国标准出版社, 2005.

(责编 叶枫)

(上接第88页)

时,应建立有机构管理层和业务部门代表参加的可用性管理委员会,组织专家、评审机构对可用性指标进行测量,对高可用性建设的规划、设计、实施、运行过程中产生的可用性设计标准、可用性计划、可用性测试方案、可用性管理报告等文档进行审核,并重新评估系统风险和可用性。

信息系统的高可用建设是一个长期、全面、持续完善的工作,企业应结合组织的整体规划目标,依靠可靠的技术手段和完善的管理体系,制定、实施和不断改进信息系统高可用性建设计划,提升IT服务质量,确保业务的持续运行。

### 参考文献

- [1] 王锋. 基于混合模式的高可用高考信息平台研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [2] 张洪武. 服务器集群与均衡技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [3] 梁苏彬. 基于集群的高可用HTTP服务器[D]. 成都: 四川大学, 2004.
- [4] 平静, 王蕾. 基于ROSE HA系统的双机容错方案. 安阳师范学院学报, 2006(2):10-11.
- [5] 何涛, 李战怀, 刘文洁. 均衡负载实时反馈算法的实现. 微处理机, 2009(2):19-20.

(责编 亿霖)