

复合材料缠绕壳体外载荷试验声发射信号分析

庞虎平 冯琰妮 崔万继

(西安航天复合材料研究所,西安 710025)

文 摘 通过分析复合材料缠绕壳体在外载荷试验过程中的声发射检测信号,得到损伤特征信号的描述方法,并根据声发射传感器的定位分布分析及损伤信号的集中程度判断出试验壳体损伤严重部位,分析认为大幅度、长持续时间声发射信号是影响壳体外载荷强度的主要因素,从而得出复合材料缠绕壳体外载荷声发射检测信号的一般分析方法。

关键词 复合材料缠绕壳体,外载荷,声发射检测,损伤特征信号

中图分类号:TB332

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2014.03.027

Analysis of AE in External Load Test of Composite Winding Shell

PANG Huping FENG Yanni CUI Wanji

(Xi'an Aerospace Composite Materials Institute, Xi'an 710025)

Abstract By analyzing the acoustic emission detection signal of composite winding shell in the process of external load test, this paper gives damage feature signal descriptions and identifies the severely damaged parts according to the location of the acoustic emission sensors and the concentration of damage feature signal. Experiments show that Amplitude>80 dB & Duration<3 ms single is a major cause of composite winding shell in the process of external load test. Finally, general acoustic emission detection approach of composite winding shell is presented.

Key words Composite winding shell, External load, Acoustic emission detection, Damage feature signal

0 引言

固体火箭发动机壳体常采用复合材料缠绕结构,其在飞行过程中由于飞行姿态需要调整和变化,就需要承担一定的轴向载荷及弯矩,因此要进行一定量的壳体外载荷试验,验证其是否满足最大外载荷的设计要求。由于复合材料的各项异性及缠绕特点,复合材料缠绕壳体外载荷试验时进行的应变测试数据较难反应壳体的变形情况。

声发射是材料或结构件在外应力作用下引起局部应变能的快速释放产生的弹性波,声发射技术具有动态缺陷实时监测的特点,能够实现大型构件的整体检测^[1]。

复合材料缠绕壳体在外载荷试验过程中进行声发射监测,根据信号特征判断属于哪种损伤形式,继而再根据声发射传感器的定位分布分析判断壳体损伤的严重部位,对后续进一步研究声发射特征信号出现时刻与复合材料缠绕壳体可承受最大外载荷之间的对应关系提供参考。本文通过对部分复合材料缠绕壳体的轴压载荷声发射检测数据分析,得到了损伤特征信号描述方法,并在后续的极限轴压载荷试验中

得到验证。

1 声发射检测试验过程

1.1 定位方式

复合材料的各向异性特性及缠绕方式使得声发射定位相对困难,顺纤维方向及垂直纤维方向的衰减测试结果相差较大,且纤维缠绕壳体多为环纵交错缠绕方式,难以实现精确的时差定位方式。一般情况下,在复合材料构件声发射检测过程中选取区域定位方式,通过各区域传感器接收到的声发射信号的次序来粗略确定声发射源所处的位置。对于大型纤维缠绕壳体来说,由于检测通道数所限,在试验过程中仅考虑各通道首次到达的信号,以确定波源的主区域,尽可能的提高声发射源的定位精度。

由于试验用壳体裙间距与直径尺寸相仿,在类似于球面的壳体表面均匀布置声发射传感器就可实现声发射源的区域定位。另外,壳体外载荷试验时,试验载荷集中在壳体上下裙上,受损伤部位一般分布在壳体筒身段,故仅将声发射传感器大体均匀布置在试验壳体筒身段的各个部位(图1)。

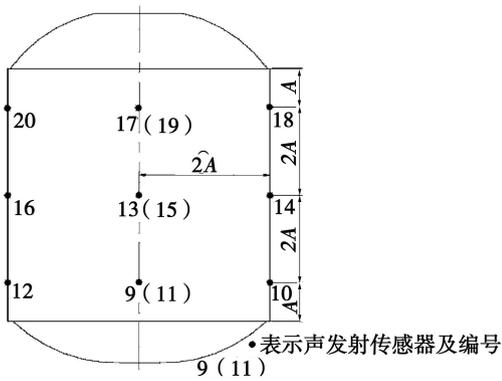


图1 声发射传感器布置示意图

Fig. 1 Location of the acoustic emission sensors

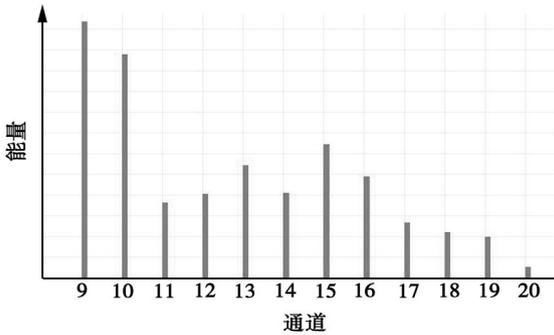
1.2 试验条件

试验仪器采用 PAC 公司的 DISP 声发射检测系统, 选用 R15 声发射传感器, 前放增益选取 40 dB, 门槛选取 55 dB, 通道数 12 个, 采用液压作动筒方式进行加载。

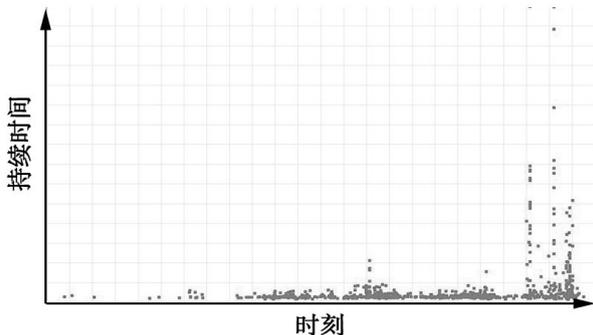
1.3 试验数据分析

1.3.1 大幅度声发射信号数据分析

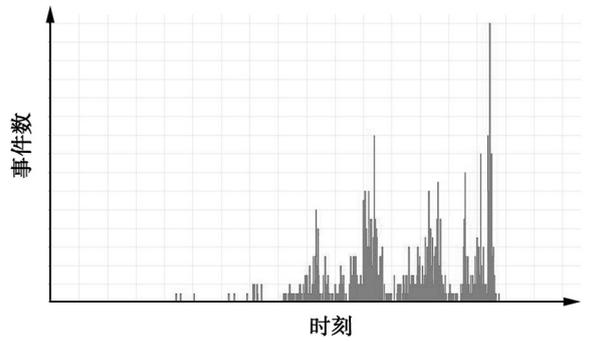
当复合材料纤维缠绕壳体受外载荷作用, 会出现大量的低幅度 (<80 dB) 信号, 根据壳体结构特点及复合材料声发射检测特性, 此类信号大都由树脂微观开裂产生, 是复合材料壳体受载荷起始阶段常见的现象, 而 80 dB 以上信号 (定义为大幅度声发射信号) 一般是由纤维断裂、纤维分层等大多带有损伤性质的声源产生^[2]。通过对试验数据进行幅度滤波处理, 得到 80dB 以上声发射信号, 并建立能量—通道、持续时间—时刻、事件—时刻、能量—时刻分布曲线, 具体见图 2。



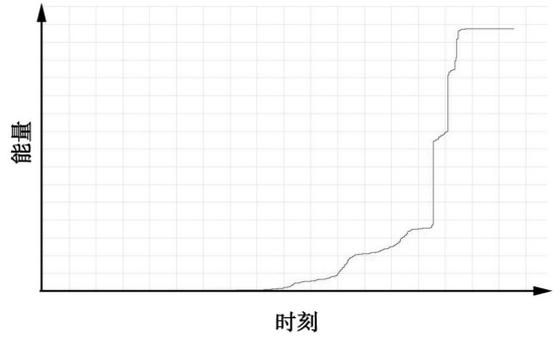
(a) 能量—通道分布



(b) 持续时间—时刻分布



(c) 事件数—时刻分布



(d) 能量—时间分布

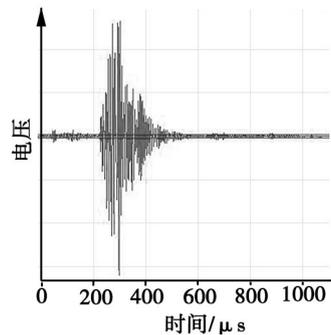
图2 80 dB 以上声发射信号相关分布曲线

Fig. 2 Distribution curve of amplitude > 80 dB

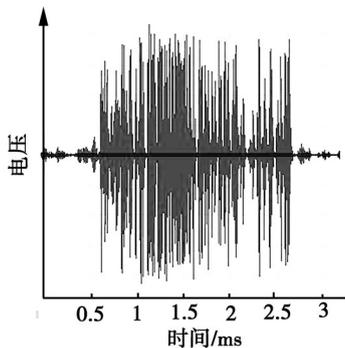
从图 2(a) 可见, 9#、10# 通道部位声发射传感器接收到的能量是其余通道的 2 倍以上, 表明试验过程这两个通道区域在加载过程中受到的损伤要明显大于其他的。从图 2(b) 可见, 加载到 300 s 时刻出现较多持续时间相当长的声发射信号, 从图 2(c) (d) 可见, 此时分别出现事件数集中及能量突增现象 (图中椭圆标识区域), 从声发射信号分析是壳体损伤加剧的表现^[3], 表明此时材料可能开始出现较大的损伤。

1.3.2 能量突增声发射信号波形分析

作者前期通过大量的层合板拉伸及弯曲过程的声发射监测, 对数据进行了分析统计, 发现纤维断裂信号与分层信号的持续时间特征相对比较明显, 大体可以按声发射持续时间 3 ms 进行界定。对图 2 中 300 s 时刻能量突增区中的数据进行了波形分析, 其中, 比较典型的声发射波形分别见图 3。



(a) 持续时间 < 3 ms 波形



(b) 持续时间>3 ms 波形

图3 典型声发射信号波形

Fig.3 AE single wave

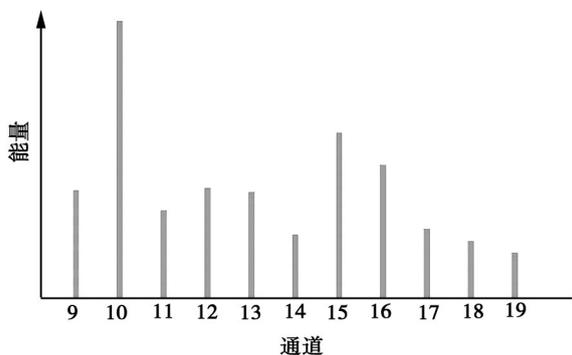
从图3(a)可以看出:持续时间小于3 ms的信号是一个经典的声发射波,且与拉伸试样纤维断裂瞬间的信号特征相符,认为幅度大于80 dB且持续时间小于3 ms的声发射信号为纤维断裂特征信号,在复合材料缠绕壳体外载荷试验过程中大量出现。从图3(b)可以看出:持续时间大于3 ms的信号是一个连续的声发射信号,波的频率范围较广,有明显的频散效应^[4],从声发射特征信号分析为分层扩展损伤信号,这两类损伤可能会对壳体外载荷试验强度带来一定的影响。

1.3.3 大幅度、长持续时间声发射信号数据分析

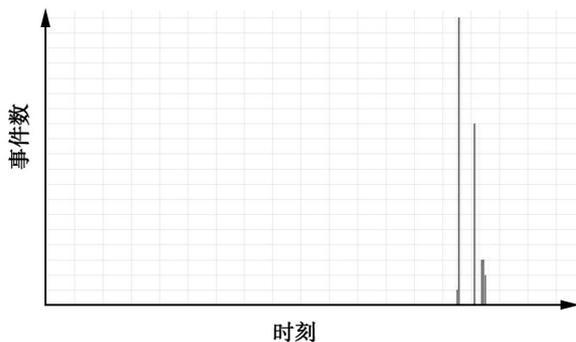
试验过程在300 s时刻出现巨大声响后停止了加载,通过对试验后壳体(编号为01)筒身部位的超声波探伤,发现在10#传感器附近相对其他部位有比较明显的分贝降,认为壳体此部位在外载荷试验过程中出现了较大的分层损伤。

又对80 dB以上声发射信号进行了持续时间 ≥ 3 ms的滤波处理,得出相关曲线(图4)(将幅度大于80 dB且持续时间3 ms以上的声发射信号定义为大幅度、长持续时间信号)。

从图4(a)可以看出:大幅度、长持续时间声发射在10#通道部位能量分布相对其他通道明显要多一些,从图4(b)可以看出,这些事件数集中出现在300 s时刻附近,与实际试验过程中壳体此时出现的巨大声响以及超声探伤结果相对应。



(a) 能量—通道分布



(b) 事件—时间分布

图4 大幅度、长持续时间信号分布曲线

Fig.4 High-amplitude & long-duration single distribution curve

1.4 试验验证

后续用另一台次同工艺状态壳体(编号为02)进行了相同加载程序的验证试验,外载荷声发射监测过程两台壳体产生的大幅度、短持续时间事件计数(将幅度大于80 dB且持续时间小于3 ms的声发射信号定义为大幅度、短持续时间信号)相当,而02台壳体声发射监测过程未发现大幅度、长持续时间事件计数,加载后的壳体筒段超声探伤也未发现异常,表明02台壳体在同加载程序的外载荷试验过程中产生的纤维断裂损伤程度与01台壳体相当,但未产生明显的分层扩展损伤。

最后又分别对这两台壳体进行了极限轴压外载荷试验,01台壳体的极限载荷远小于未产生大幅度、长持续时间声发射信号的02台壳体。试验结果表明:壳体外载荷过程出现大幅度、长持续时间声发射信号是影响壳体外载荷强度的主要因素。

2 结论

(1)复合材料缠绕壳体外载荷试验过程中进行声发射监测,出现大幅度、长持续时间声发射信号是影响壳体外载荷强度的主要因素。

(2)根据声发射事件集中程度、能量趋势特征及大幅度、长持续时间事件计数的多少可以得出该壳体在外载荷过程中出现损伤的程度。

(3)根据大幅度、长持续时间事件集中部位可以得出试验过程分层扩展损伤信号产生的主区域,继而可以定性给出壳体外载荷试验后的损伤严重部位,可以分析出同工艺状态试验壳体同试验条件外载荷后产品质量的优劣。

参考文献

- [1] 杨明纬. 声发射检测[M]. 北京:机械工业出版社, 2005:5-7
- [2] 张国华. 基于声发射技术的自增强复合材料损伤检测研究[D]. 东华大学, 2008:42-45
- [3] 杨盛良,刘军,杨德明,等. 复合材料损伤过程的声发射研究方法[J]. 无损检测, 2000(7):303-305
- [4] 耿荣生. 波形分析技术在复合材料故障评价中的应用[C]. 中国第七届声发射学术研讨会论文集, 1997:35-37

(编辑 任涛)