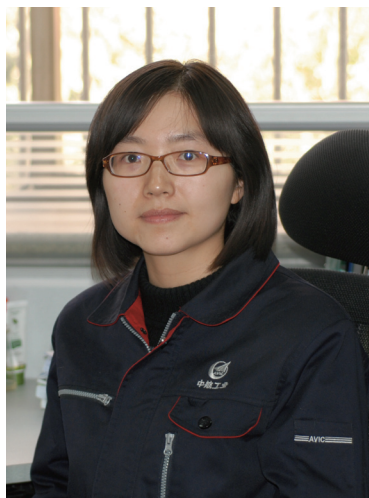


金属铆接结构疲劳损伤的声发射特性分析

Acoustic Emission Characteristic Analysis in Metal With Rivet Structure Fatigue Test

中航工业飞机强度研究所 王丹 宁宁 詹绍正 赵昱



王丹

助理工程师, 硕士, 主要从事飞机复合材料无损检测和声发射监测研究。

在飞机的结构设计中, 铆接接头常用来连接和组装飞机的各重要受力结构, 实现各部件之间的载荷传递和分配。接头紧固件孔边往往是结构应力集中最严重的地方, 应力集中而萌生裂纹, 裂纹扩展会导致结构强度及疲劳性能的降低^[1]。

声发射是指材料或结构在外力或内力作用下产生塑性变形或断裂

采用声发射信号特征参数的趋势分析法和关联分析法, 能够反映金属疲劳损伤过程, 可以鉴别疲劳损伤的萌生、稳定扩展、快速扩展等不同阶段, 并能实时提供疲劳损伤过程的时序特征。将声发射用于实时监测金属部件的疲劳损伤是可行的, 其参数的变化趋势可以作为金属疲劳损伤特征的判断方法。

(损伤), 以弹性波形式迅速释放应力和应变能的现象。声发射检测/监测技术是一种动态无损检测技术, 适用于飞机材料、零部件及整机疲劳实时监测和实时损伤评价^[2-6]。

本文对飞机金属铆接部件的疲劳断裂过程进行了声发射监测实验研究, 通过采用参数分析技术和参数滤波的信号处理方法, 在试验中成功监测到了疲劳裂纹的萌生, 确定了声发射参数分析技术监控疲劳裂纹萌生的关键参数。

试验简介

1 试验件及试验方案

试验件为 LY12CZ 铝合金板对接试样。试验件总长 540mm, 宽

120mm; 铆钉孔直径为 6mm。试验在标准的材料试验机上进行, 试验加载方案为 $P_{\max}=48.136\text{kN}$, $P_{\min}=-1.496\text{kN}$, $P_a=24.816\text{kN}$, $f=10\text{Hz}$ 。

2 声发射监测部位的选择和传感器布置

根据试验件的受力分析及以往的试验经验, 裂纹萌生位置最有可能

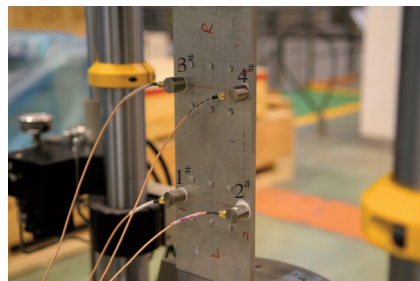


图1 传感器安装位置实物图

出现在中间 2 排钉间,所以中间 2 排铆钉所在的区域是重点监控区。本次试验采用 4 个传感器构建 2 个监控通道组的布置方案,其中 1[#]、2[#] 传感器构成通道组 [1,2],3[#]、4[#] 传感器构成通道组 [3,4],如图 1 所示。

3 声发射设备及其参数设置

试验中采用的声发射设备是 PAC 公司的 8 通道 DiSP 系统,并通过用断铅模拟声发射信号,在试验件空载下,实测试验件声速,以提高试验中事件数平面定位分析的准确性;分析断铅信号定义 AE 信号的峰值,从而获得上升时间、信号持续时间等参数的正确值,避免将一次声发射事件误判为二次或多次,有效地抑制试验件边界回波产生的干扰噪声。并在试验件加载下,采集了初始信号,这部分信号主要是由试验机工作、试件内部以及两者这间摩擦等产生,属于噪声信号,应设定合适频率和门限值进行剔除^[7-8]。

通过前期的调试试验,最终设定的声发射各项参数如下:幅值门

槛值设为 50dB,前放增益设为 40dB,峰值定义时间(PDT)设为 300 μ s,频率设为 100~400kHz,声发射事件定义时间(HDT)设为 600 μ s,撞击闭锁时间(HLT)设为 1000 μ s,材料声速设为 6280m/s。

试验中的声发射信号与分析

由于铆接接头和孔之间在载荷作用下,有摩擦产生,这部分信号严重影响试件声发射信号的监测。本文采用参数分析技术和参数滤波的信号处理方法,对 12 件试验件进行监测试验。经过验证,试验过程中所采用的监测方案及信号处理方法对其中 10 件试验件裂纹萌生与扩展过程的监测均取得了较好的试验效果,以下对试验过程中的典型声发射波形进行分析。

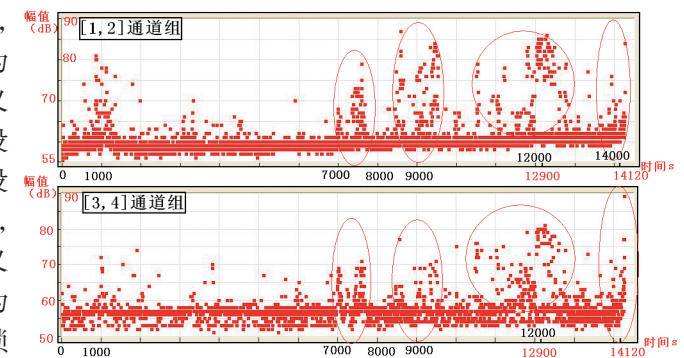


图4 通道组幅值随时间变化图

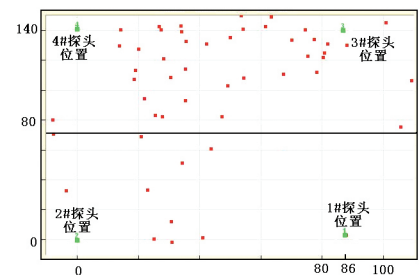


图5 事件位置分布图

线比较平缓,而在 45000 次循环至 75000 次循环内,通道组 [3,4] 的信号强度率、能量率、计数率和绝对能量率的实时变化发生突变(图 2、图 3),幅值变化也呈现增长趋势,最高幅度接近 75dB (图 4),而且探头 3 和探头 4 之间的事件数明显增多(图 5),由此可以推断出在探头 3 和探头 4 之间可能已有裂纹萌生。同时结合各通道的参数变化曲线(图 6、图 7),可进一

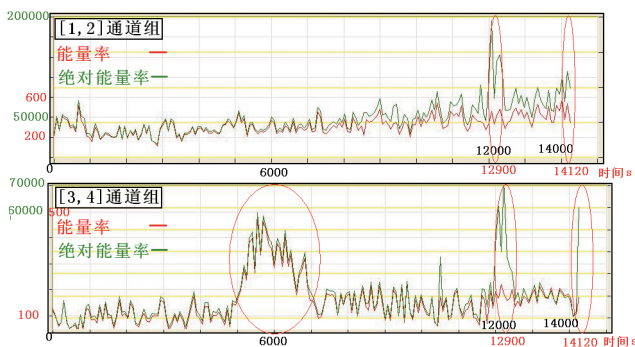


图2 通道组能量率、绝对能量率随时间变化图

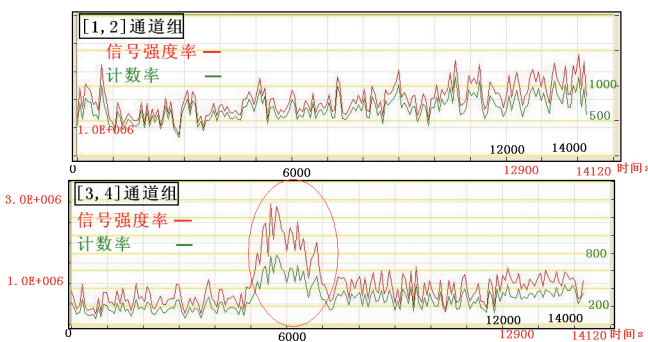


图3 通道组信号强度率、计数率随时间变化图

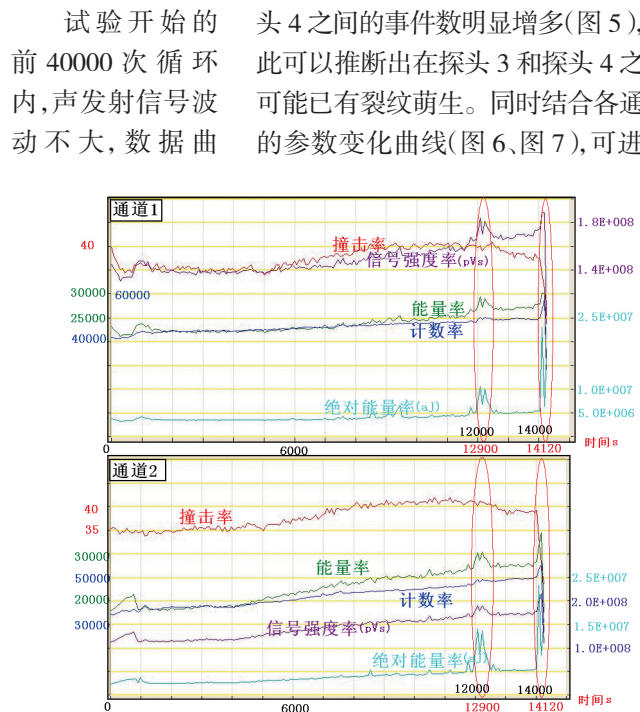


图6 通道组[1, 2]撞击率、能量率、计数率、绝对能量率、信号强度率随时间变化图

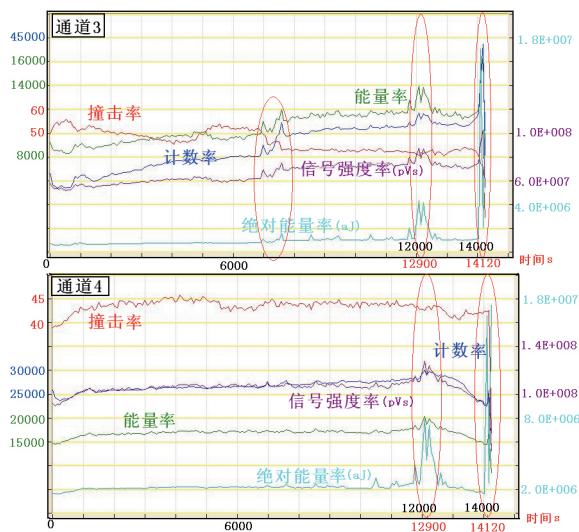


图7 通道组[3, 4]撞击率、能量率、计数率、绝对能量率、信号强度率随时间变化图

步推断出所产生的裂纹位于探头3附近。而此时现场目视检查,探头3附近的铆钉头外未见可见裂纹。

在试验进行到86000次循环至100000次循环时,2个通道组的幅值信号再次出现异常,最高幅度达到80dB,而且这一阶段的高幅值信号的事件数较裂纹萌生阶段明显增多,意味着萌生的裂纹进入了扩展阶段;而且此时各通道的能量率、绝对能量率、信号强度率、计数率、撞击率随时间关系图在这一阶段整体有增长趋势,但未出现阶跃性上升(图6、图7)。

当试验继续进行到112000次循环时,现场目视检查发现靠近3号传感器的一铆钉头边出现一条长度为3mm的裂纹。可见裂纹的出现充分证明了前述对裂纹萌生和裂纹定位判断的正确性。初步分析在45000次循环至75000次循环时声发射报警已有裂纹产生,但目视检查不可见的原因是由于铆钉孔边初始萌生的裂纹尺寸太小,未穿越铆钉头覆盖区域所致。

当试验进行到100000次循环至130000次循环时,图4所示的各通道组的幅值信号进一步增强,最高信号幅度超过了85dB,且高幅度信号的事件数呈大量聚集态势分

布,同时各通道声发射信号的能量、计数、信号强度上升幅度继续增强,预示着萌生的裂纹进入了快速扩张阶段。当循环次数进行到129000次时,各通道的能量率、绝对能量率、信号强度率、计数率、撞击率随时间变化关系曲线均出现阶跃的峰值,目视检查发现此时裂纹已扩展至24mm。

当试验接近140000次循环时,各通道组的幅值信号事件数较前几个阶段明显减少,而单个信号的幅值达到了90dB,根据声发射事件的产生机理分析,此现象意味着裂纹已达到了一定的尺寸,预示着试验件在不久将发生断裂。在试验进行到141200次循环时各通道声发射信号均再次出现峰值,目视测量裂纹长度已达到43mm,形貌如图8所示。试验件最终在142850次循环



图8 141200次循环时出现的裂纹形貌图

时发生断裂。

结论

试验发现,在疲劳损伤萌生阶段,声发射信号特征参数中幅值、能量、计数、信号强度出现阶段性上升,随后恢复正常;损伤进入稳定扩展阶段时,能量、幅值、计数、信号强度较起始阶段上升幅度变小,但整体有增长趋势;损伤进入快速扩展阶段后,声发射信号的特征参数幅值、能量、计数、信号强度上升幅度继续增强,较起始阶段变化进一步明显。

因此,证明采用声发射信号特征参数的趋势分析法和关联分析法,能够反映金属疲劳损伤过程,可以鉴别疲劳损伤的萌生、稳定扩展、快速扩展等不同阶段,并能实时提供疲劳损伤过程的时序特征。将声发射用于实时监测金属部件的疲劳损伤是可行的,其参数的变化趋势可以作为金属疲劳损伤特征的判断方法。

参考文献

- [1] 高扬,孙秦.多排钉金属连接接头有限元分析方法研究.航空工程进展,2012(3):60-63.
- [2] Heiple C R, Carpenter S H. Acoustic emission. New York, 1981.
- [3] Miller R K, McIntire P, eds. Nondestructive testing handbook (Vol. 5) acoustic emission testing. Second edition, Columbus; American Society for Nondestructive Testing, 1987.
- [4] 沈功田,耿荣生,刘时凤.声发射信号的参数分析方法.无损检测,2002,24(2):72-77.
- [5] Roberts T M, Talebzadeh M. Acoustic emission monitoring of fatigue crack propagation. Journal of Constructional Steel Research, 2003, 59(6): 695-712.
- [6] 李光海,刘正义.基于声发射技术的金属高频疲劳检测.中国机械工程,2004,15(13):1205-1209.
- [7] 周洁,毛汉领,黄振峰.金属疲劳裂纹的声发射检测技术.中国测试技术,2007,33(3):7-9.
- [8] 刘哲军.声发射检测.北京:机械工业出版社,2012. (责编 夏宛)