

# 飞机疲劳开裂声发射波形信号的人工神经网络模式识别方法研究

## 飞机疲劳开裂声发射波形信号的人工神经网络模式识别方法研究

胡振龙<sup>1,2</sup>, 沈功田<sup>2</sup>, 邬冠华<sup>1</sup>, 刘时风<sup>3</sup>, 吴占稳<sup>2</sup>

(1. 南昌航空大学 无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063;

2. 中国特种设备检测研究院, 北京 100013;

3. 北京声华兴业科技有限公司, 北京 100029)

**摘要:** 本文利用 SOM 神经网络, 对分类挑选的飞机疲劳过程采集的声发射波形信号进行模式识别分析, 得到一组 (300 个) 疑是裂纹的波形信号。其特点有: 频谱图上同时出现三个明显的峰值, 其能量相对较大, 且频率基本固定。其中, 第三峰值频率 (168.5 KHz) 与前人的实验数据 (175.8 KHz) 相接近, 已具备了较明显的裂纹特征。

**关键词:** 声发射; 波形分析; 疲劳裂纹; 小波包降噪; SOM 神经网络; 频谱分析

## The Study of Pattern Recognition of Aircraft Fatigue Cracking Based on Waveform Analysis Method and Artificial Neural Networks of Acoustic Emission Signals

Hu Zhen-Long<sup>1,2</sup>, SHEN Gong-Tian<sup>2</sup>, WU Guan-Hua<sup>1</sup>, LIU Shi-Feng<sup>3</sup>, WU Zhan-Wen<sup>2</sup>

(1. Key Lab of Nondestructive Testing, Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China;

2. China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100013, China;

3. Beijing Soundwel Technology Co Ltd. Beijing 100029 China)

**Abstract:** In this paper, SOM neural network was used to identify the AE waveform signals of aircraft fatigue test. A group of suspected crack signals were gotten. Their characteristics were obtained. Three peaks appear simultaneously in frequency spectrum. Their energy are relatively large

and locator at same frequency. The frequency of third peak (168.5 KHz) was consistent with previous result (175.8 KHz), and already shows obvious characteristics of crack signal.

**Keywords:** Acoustic Emission; waveform analysis; fatigue crack; WPD; SOM neural network; spectrum analysis

应用声发射技术实现飞机疲劳裂纹萌生和扩展的监测具有重要的现实意义,已有大量文献报道<sup>[1-4]</sup>。但是,由于目前市场上大多数声发射仪其波形的记录和存储能力较弱,因此,人们对裂纹产生与否的判断,往往更依赖于对声发射参数信号的分析<sup>[5-7]</sup>。然而,有文献指出,声发射的波形信号所包含的声发射源的信息要比参数信号丰富得多<sup>[8-9]</sup>。因此,本文选择北京声华提供的 SEAU2S 全波形声发射系统,通过对声发射波形信号的分析来识别飞机疲劳裂纹的萌生和扩展。

有参考文献指出,声发射信号的自动识别处理,可由人工神经网络模式识别的方法来实现<sup>[10-11]</sup>。然而,传统的神经网络方法需要确定的输入向量和输出向量(有导师神经网络),即需要事先得到有代表性的裂纹缺陷的声发射波形信号,但受噪声干扰的影响以及试验条件本身的制约,飞机疲劳试验是难以实现的。因此,本文选择自组织特征映射(Self-Organizing Feature Map, SOM)的神经网络算法(无导师神经网络)对波形信号进行分类识别,最终找出了一组疑是裂纹的波形信号,并分析了其特征。

由于在疲劳试验过程中,受飞机结构本身及周围环境的影响,噪声对波形信号的干扰很大,因此在使用 SOM 算法前,还应对采集到的波形信号进行降噪处理。

## 1 试验装置及声发射信号的采集

本实验采用 SEAU2S 全波形声发射系统全程监测飞机机翼的声发射信号,采样频率为 10M,传感器型号为 SR150,响应频率为 150KHz,其布置如图 1 所示。

图 1 试验装置及传感器布置

在疲劳试验开始之前,飞机机翼经过无损检测,未发现裂纹。因此,认定试验初期采集到的声发射信号均为噪声信号(纯噪声)。在试验中后期,发现有裂纹产生且最终断裂。因此,认定此时传感器采集到的信号既包含裂纹信号又包含噪声信号。这两组信号的提取,对 SOM 算法分类结果的准确性有重要的影响。

## 2 小波包降噪处理方法

由于疲劳试验过程中始终存在着大幅度、宽频带的噪声干扰,使得微弱的疲劳裂纹萌生、扩展的声发射信号被湮灭。在飞机的疲劳试验过程中,噪声对裂纹信号的干扰,主要体现在如下两个方面:

- (1) 噪声信号较多,有用的裂纹信号占信号总数的比例较低;
- (2) 有用的裂纹信号中,噪声的能量占整个波形能量的比例较高。

因此，从噪声信号中筛选出有用的裂纹信号，面临着如下两大难题：

(1) 有用的裂纹信号比例过低，如果简单的认为发现裂纹的时间段内所有的信号都为裂纹信号，其做法是不严谨的；

(2) 有用的裂纹信号中，噪声的能量占整个波形能量的比例过大，导致原始的裂纹信号严重畸变，因此在主观上难以辨别出缺陷。

根据以往经验，噪声的频率虽然分布很广，但其能量主要集中在低频部分；裂纹信号的频率虽然较高，但受信号衰减以及传感器晶片频率响应的影响，频率过高的信号，往往衰减十分严重。因此，选择合适的滤波范围，可以降低噪声对裂纹信号的影响，同时提高 SOM 算法分类的准确性。

据文献报道，该型飞机裂纹的中心频率主要集中在 175KHz 左右<sup>[12]</sup>，因此滤波方案选择为小波包 7 层分解，并对其 4、5、6 层进行重构，最后实现了 117—234KHz 带通滤波的效果。如图 2 所示，小波包重构滤掉了原始信号中的低频信号（幅值往往较大），使得滤波后的信号更加“简洁”。经比较，使用滤波后的数据，SOM 算法的分类结果稳定性更高、结果更可靠。

### 3 SOM 神经网络模式识别方法

SOM 神经网络，是 1981 年芬兰学者 Kohonen 提出的一种竞争式神经网络，能在学习过程中无监督的进行自组织学习，其网络结构如图 3 所示<sup>[13-14]</sup>。

图 3 SOM 神经网络结构图

SOM 神经网络又称“无导师”神经网络，它与常用的“有导师”方法的最大区别在于，能根据其学习规则，对输入模式进行自动分类，即在无教师示教的情况下，通过对输入模式的反复学习，捕捉住各个输入模式中所含的模式特征，并对其进行自组织，在竞争层将分类结果表现出来。

基于 SOM 神经网络自动分类这一特点，如果提取飞机疲劳试验初期的信号（称之为纯噪声集合 A）与发现裂纹后某一段时间内的所有声发射信号（称之为裂纹集合 B），如图 4 所示，那么 A 和 B 有如下特点：

图 4 裂纹集合 A 与纯噪声集合 B

- 1) A 为噪声集合：
  - a) A 中只含有噪声信号；
  - b) 考虑到噪声的多样性与随机性，A 中可能含有与裂纹信号类似的噪声信号。
- 2) B 为裂纹集合：
  - a) B 中一定含有裂纹信号；
  - b) B 中同时含有噪声信号。

那么，将 A 与 B 随机和混合后，在理想的情况下，SOM 算法有能力将特征相似的信号自动归为一类，分类的次数可以通过程序实现，如图 5 所示（以分两类为例）。

图 5 SOM 理想的分类情况（分两类）

但是由于 SOM 算法只能对信号分类，并不能真正辨别裂纹信号，因此，要对分类的结果加以判断，还需要某些“判据”的支持：

判据一：某分类结果中，全部信号都来自于 B 集合，则认定其为潜在的裂纹样本 C；

判据二：某分类结果中，只要有信号来自于 A 集合，则认定其为噪声样本 D；

判据三：为了防止“误判”，认定含有 B 信号大于某一比例的（如 80%），同样作为潜在的裂纹样本 C。