

文章编号: 1671-0711 (2007) 08-0051-02

# 转轴裂纹声发射监测研究

杨剑锋, 张 斌, 李 良

(北京化工大学安全科学与监控工程中心, 北京 100029)

**摘要:** 声发射技术作为一种无损检测方法, 可以找到声发射信号和裂纹扩展之间的关系, 分析材料变形与断裂机制。介绍了声发射技术用于转轴裂纹监测的研究, 分析了声发射信号与转轴裂纹扩展之间的关系。实验表明采用声发射技术可以对转轴裂纹进行监测, 证明了声发射技术在转轴监测上的可行性。

**关键词:** 声发射; 转轴; 裂纹扩展; 故障诊断

中图分类号: TG115.28 文献标识码: B

断裂是机械和工件失效的主要形式之一, 与其他失效形式 (弹塑性失稳、磨损、腐蚀等) 相比, 更具危险性。转轴作为旋转机械的主要承力部件, 发生断裂可能导致灾难性的事故, 造成生命和财产的巨大损失。因此, 对转轴的裂纹监测是非常重要的。声发射 (AE) 技术作为一种在线监测方法, 可以对转轴的完整性进行判断。

## 一、声发射监测原理

任何物体受到外力作用都会发生形变, 超过一定限度便产生裂纹以至断裂。在此过程中, 物体内部会发出不同的声音 (声发射)。声发射信号波形的幅度非常小, 频率非常高, 利用非常灵敏的传感器可把物体内部发出的微弱声信号接收下来, 然后转换成电信号, 进而由声发射系统分析处理, 发现物体内部裂纹的发展情况。

金属轴在屈服点附近出现声发射计数高峰, 标志着裂纹的形成。一旦裂纹形成, 转轴局部地区的应力集中得到卸载, 产生声发射。断裂过程大致可分为三个阶段: 裂纹成核、裂纹扩展和最终断裂, 三者都可以成为强烈的声发射源。转轴内部发出的声信号以弹性波的形式向四周传播, 到达转轴表面, 并经过传感器转变为电信号, 经过前置信号放大器放大, 再由声发射采集卡接收并进行 A/D 转换, 成为数字信号, 传入计算机, 经软件分析, 就能确定转轴上裂纹的全部发展过程, 实现在线监测。

## 二、实验设备

图 1 为转轴裂纹声发射监测实验系统图, 由五

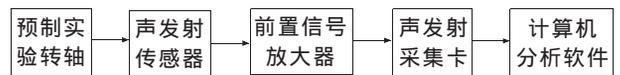


图 1 转轴裂纹声发射监测实验系统图

部分组成, 除预制实验转轴为自制外, 其他均为美国物理声学公司产品。

1. 预制实验转轴。图 2 为预制实验转轴示意图, 尺寸  $\phi 20\text{mm} \times 300\text{mm}$ , 所用材料为 86CrMoV7。在转轴上预制裂纹, 深度 2mm。

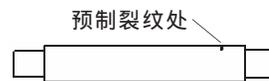


图 2 预制实验转轴示意图

2. 声发射传感器。传感器用于接收材料内部的声发射信号, 其性能对测试非常重要。本实验选用 R15 型声发射专用传感器, 外径 19mm, 重量 34g, 可以在  $-65^{\circ}\text{C} \sim 177^{\circ}\text{C}$  的范围内使用。其信号采集部分是压电陶瓷, 可采集信号频率范围是 50~200kHz。

3. 前置信号放大器。声发射传感器的电压输出信号非常弱, 因此, 需要放大器放大后再传输。实验选用的前置放大器是一种通用放大器, 可获得 20/40/60dB 的增益, 具有单端输入和差分输入两种输入方式。

4. 声发射采集卡。选用 PCI-2 声发射卡, 是

对声发射特征参数、波形进行实时处理的二通道声发射系统，具有 18 位 A/D 转换、3kHz~3MHz 频率范围。

5. 计算机分析软件。采用 AEwin TM 和 Wavelets 软件包，是 Windows 环境下的实时声发射分析软件包，包括前端数字滤波、图解滤波、AE 特征提取、报警输出、各种定位功能、2-D 和 3-D 图形、多参数分析、聚类分析、波形处理及相关分析、HIT 数据线形显示、统计及重放功能等。Wavelets 是小波分析软件。

### 三、实验结果及分析

实验过程采集到的声发射信号在时域上主要有四种类型，如图 3 所示。带预制裂纹的转轴在扭矩作用下，开始采集到的声发射信号如图 3a，信号幅值很低，最大峰值在 0.5V 以下，此时裂纹并没有扩展，除了预制裂纹外，没有新的裂纹产生，处于稳定状态。

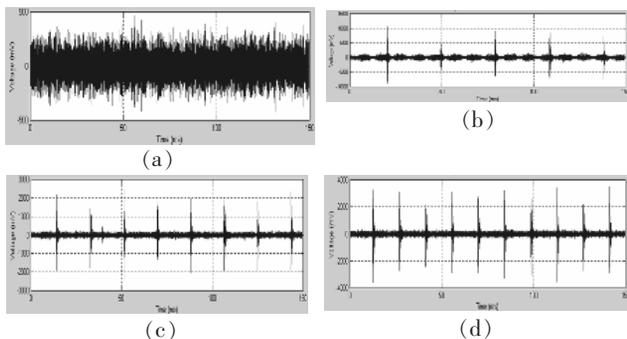


图 3 转轴裂纹不同扩展阶段典型波形

从图 3b 中可以看出已有较强的声发射信号，信号幅值 1V 左右，为新裂纹萌生的开始。此外还可在图 4a 中看出，裂纹萌生之后，发展速度缓慢，信号能量虽然增加，但幅度不高，总能量也不大。此时的能量多集中在 40~100kHz 之间，处于声发射信号的低频部分，可认为此时代表裂纹萌生及缓慢发展阶段。

从图 3c 和图 4b 可以看出，声发射信号幅值再次变大，超过 2V，而且在能量谱上显示的信号范围主要集中于 60~120kHz 之间，总能量大大增加。显而易见，裂纹正在迅速扩展。可认为此时代表裂纹快速扩展阶段。

从图 3d 可以看出，信号继续增强，接近 4V，为整个实验过程中最强信号，预制转轴随即断裂。

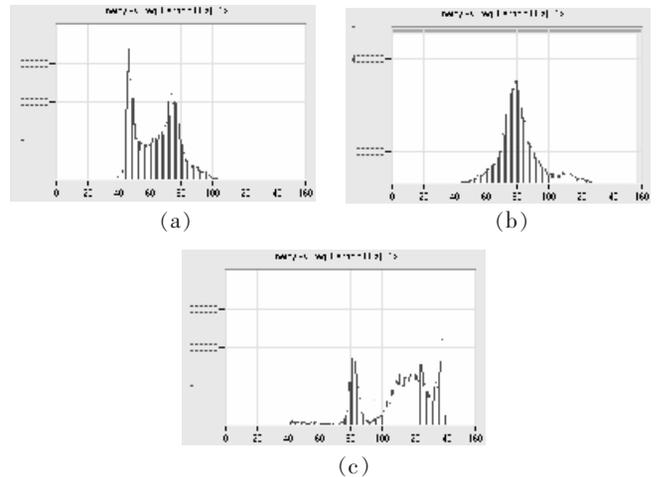


图 4 转轴裂纹不同扩展阶段能量—频率谱

除此之外，还可以在图 4c 中看出，在 140kHz 附近能量有一个高峰，但总能量却降低，即转轴断裂阶段释放了很大能量。

### 四、结论

采用声发射技术对转轴所进行的监测研究可以看出，随着时间的变化，裂纹由萌生到发展，再到断裂，在这三个阶段，处于不同状态的转轴所测取的信号特征有着明显的区别，并且和实际的裂纹扩展过程完全吻合。这对于进一步将声发射技术应用于转轴在线监测以及故障诊断有着重要的意义。

### 参考文献：

- [1]耿荣生.声发射技术发展现状[J],无损检测,1998,20(6):151~154.
- [2]沈功田,段庆儒,李帮宪.压力容器声发射技术综述[J].中国锅炉压力容器安全,2000,16(2):5~9.
- [3]耿荣生,沈功田,刘时风.基于波形分析的声发射信号处理技术[J],无损检测,2002,24(6):257~261.
- [4]李耀东,黄成祥,侯力.模态声发射技术在构件疲劳裂纹检测中的应用[J],振动与冲击,2005,24(2):122~125.

收稿日期：2007-04-18

作者简介：杨剑锋(1967- )，男，吉林，1992年毕业于天津大学机械系，获工学硕士学位。现为北京化工大学副研究员，在职博士，北京化工大学安全科学与监控工程中心常务副主任；中国设备协会诊断工程委员会秘书长；中国质检总局特种设备安全技术委员会管道分会秘书长。曾先后负责过“中石化压力管道缺陷及安全评定项目”和“中石化压力容器智能管理信息系统”等多项重点项目。

# 转轴裂纹声发射监测研究

作者: [杨剑锋](#), [张斌](#), [李良](#)  
作者单位: [北京化工大学安全科学与监控工程中心, 北京, 100029](#)  
刊名: [中国设备工程](#)  
英文刊名: [CHINA PLANT ENGINEERING](#)  
年, 卷(期): 2007, "" (8)  
引用次数: 1次

## 参考文献(4条)

1. [耿荣生](#) [声发射技术发展现状](#) 1998(06)
2. [沈功田](#), [段庆儒](#), [李帮宪](#) [压力容器声发射技术综述](#)[期刊论文]-[中国锅炉压力容器安全](#) 2000(02)
3. [耿荣生](#), [沈功田](#), [刘时风](#) [基于波形分析的声发射信号处理技术](#)[期刊论文]-[无损检测](#) 2002(06)
4. [李耀东](#), [黄成祥](#), [侯力](#) [模态声发射技术在构件疲劳裂纹检测中的应用](#)[期刊论文]-[振动与冲击](#) 2005(02)

## 相似文献(5条)

1. 学位论文 [张爱萍](#) [转轴裂纹和裂纹扩展的声发射监测](#) 1994
2. 会议论文 [张艾萍](#), [邵永波](#) [转轴裂纹声发射监测仪的研制](#) 1994
3. 学位论文 [罗银兵](#) [复合材料汽车飞轮动态特性分析](#) 2005

本文对复合材料飞轮转子进行数值和解析研究、模态分析、裂纹扩展分析。论文解析解部分研究了飞轮系统的转子动力学特性,在考虑陀螺力矩的情况下,推导出系统中典型部件转轴和碳纤维复合飞轮转子的动力学模型,并形成依据有限元法求解的振动方程表达式。

在模态分析部分,本文针对不同材料的复合材料飞轮转子,进行三维有限元分析,计算出飞轮系统的固有频率及振型,为飞轮结构的进一步设计提供一些动态参数。

在损伤与断裂研究中,论文分别采用理论方法和实验方法对飞轮转子用复合材料进行分析研究。通过理论分析,获得复合材料界面开裂和纤维断裂情况下,材料刚度下降的估算公式和纤维的纵向应力和应变表达式。利用无损声发射检测技术,本文对芳纶纤维/环氧树脂复合材料的破坏过程进行实验验证,发现了不同损伤类型与所表现出的声发射特征之间的关系。并且从声发射信号的关联图中,可较好地判断损伤发生的类型,为今后的复合材料损伤与断裂研究提供重要的实验数据。同时,论文利用声发射无损检测技术,对飞轮转子进行实验验证,并获得大量有用的数据,为飞轮的设计提供参考依据。

4. 期刊论文 [李凤英](#), [沈玉娣](#), [熊军](#) [基于声发射技术的转轴故障检测](#) -[设备管理与维修](#)2004, "" (7)

介绍了声发射技术的原理和声发射信号的特征参数分析方法,运用广义线性定位法初步确定故障的位置,并采用声发射特征参数对现场的试验结果进行了分析.通过与正常信号对比,研究故障信号的特征信息,说明运用这一技术可以对机械部件进行故障检测。

5. 学位论文 [吴优](#) [旋转轴声发射诊断的接收技术](#) 1989

## 引证文献(1条)

1. [王晓伟](#), [刘占生](#), [张广辉](#), [窦唯](#) [基于声发射的可倾瓦径向滑动轴承碰摩故障诊断](#)[期刊论文]-[中国电机工程学报](#) 2009(8)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zgsbgc200708024.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zgsbgc200708024.aspx)

下载时间: 2010年5月31日