

研究与探讨

基于小波 - 支持向量机的旋转机械碰摩故障诊断*

吉尚伟¹ 金志浩² 金文² 闻邦椿³

(1.辽宁省安全生产应急救援中心 沈阳 110032; 2.沈阳化工学院机械工程学院 沈阳 110142;
3.东北大学机械工程与自动化学院 沈阳 110004)

摘要 根据旋转机械碰摩故障的特征频率,利用小波变换多分辨率特性,提取碰摩故障特征信号;利用支持向量机原理解决小样本、非线性、高维模式识别问题的优势,建立支持向量机故障诊断模型,进行旋转机械碰摩故障诊断。仿真结果表明,该算法有较好的精度和泛化性,并且运算量小,非常适合旋转机械故障诊断的在线识别。

关键词 声发射 碰摩 小波分解 故障诊断 支持向量机

The Recognition of the Rub - impact Fault Based on Wavelet - Support Vector Machine

Ji Shangwei¹ Jin Zhihao² Jin Wen² Wen Bangchun³

(1. Liaoning Workplace Emergency Management Center Shenyang 110032)

Abstract According to the characteristic frequency of rotating machinery rub - impact fault, the acquisition of fault characteristic signal can be obtained by multi - resolution characteristics of wavelet transformation. Further more, as the advantages of support vector machine in solving small samples, non - linearity and higher - dimension pattern recognition problem, fault diagnosis model with support vector machine is established. The simulation results prove that this method is accurate and can be spread, suitable for on - line identification.

Key Words AE rub - impact wavelet decomposition fault diagnosis support vector machine(SVM)

大型旋转机械如风机、压缩机和汽轮机等设备,是石油、化工、冶金和电力等现代企业中的关键生产工具,对这些设备开展状态监测与故障诊断工作,可以保障设备安全可靠地运行,取得巨大的经济效益和社会效益。近年来,随着非线性理论的发展,尤其是信号处理、知识工程和计算智能等理论与故障诊断的融合渗透,很多智能方法在旋转机械的故障征兆提取中得到了研究和应用。例如基于小波包和多分辨分析的小波分析方法^[1-4]、专家系统^[5,6]、神经网络^[7-9]、模糊理论^[10,11]等。

在故障发展的初期,故障特征信号幅度仍然非常微弱,容易完全淹没在噪声中难以察觉,传统的频谱分析方法往往难以将其提取出来。利用小波变换对信号的多分辨率,可以提取旋转机械故障频段下的信号,从而提高早期旋转机械故障诊断的精度。

支持向量机(Support Vector Machine, SVM)是一种解决非线性分类、函数估计和密度估计的有力工具,在很大程度上解决了模型选择与过学习问题、非线性与维数灾难问题、局部极小问题等。由于基于声发射技术的故障诊断采样系统数据量较大,并伴随着干扰噪声,给运算量带来了挑战。因此,提出基于小波和支持向量机的旋转机械故障诊断方法。

1 小波变换及支持向量机(SVM)基本原理

1.1 小波变换原理

小波分析的基本思想同傅里叶分析是一致的,都是用一

族函数来表示一信号或函数。小波变换使用的小波函数系是通过一母小波的伸缩和平移构成的^[12]。

通常,称满足如下允许条件:

$$C_{\Psi} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < +\infty \quad (1)$$

的平方可积函数 $\Psi(x)$ [$\Psi(x) \in L^2(R)$] 为一基本小波或小波母函数。

令 $\Psi(t)$ 为母小波函数,进行平移和伸缩而成函数:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

其中 a 为尺度因子, b 为平移因子。连续小波变换 CWT 即有限能量信号 $x(t)$ 与小波函数族的内积(即卷积):

$$WT_x(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int x(t) \Psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

式中, $*$ 表示卷积。由式(3)可以得知,小波变换 $WT_x(a,b)$ 是尺度因子 a 和空间位置 b 的函数。小波变换通过 $\Psi(x)$ 在尺度上的伸缩和空间域(时域)上的平移来分析信号。

1.2 支持向量机(SVM)的基本原理

SVM 是从线性可分情况下的最优分类面发展而来的,基本思想可用图 1 的 2 维情况说明^[13-16]。图中,实心点和空心点代表 2 类样本, H 为分类线, H_1, H_2 分别为过各类中离分类线最近的样本且平行于分类线的直线,它们之间的距离叫作分类间隔(margin)。所谓最优分类线就是要求分类线不但能

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(50475169, 50535010)。

将2类正确分开(训练错误率为0),而且使分类间隔最大。分类线方程为 $x \cdot \omega + b = 0$, 可以对它进行归一化, 使得对线性可分的样本集 $(x_i, y_i), 1 \leq i \leq N, x_i \in R^d, y_i \in \{+1, -1\}$ 是类别符号, 满足

$$y_i[(\omega \cdot x_i) + b] - 1 \geq 0, i = 1, \dots, n \quad (4)$$

此时分类间隔等于 $2/\|\omega\|$, 使间隔最大等价于使 $\|\omega\|^2$ 最小。满足条件(4)且使 $\frac{1}{2}\|\omega\|^2$ 最小的分类面就叫做最优分类面, H_1, H_2 上的训练样本点就称作支持向量。

利用 Lagrange 优化方法可以把上述最优分类面问题转化为其对偶问题, 最终得到的分类函数为:

$$f(x) = \text{sgn} \left| \sum_{i=1} a_i y_i k(x_i \cdot x_j) + b \right|$$

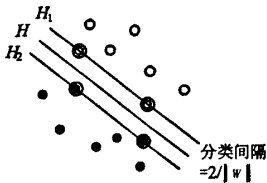


图1 最优分类面

2 实验分析

2.1 实验方案

本实验悬臂转子系统如图2所示, 由可调速电机驱动, 转速在0-1500 r/min之间无级变速。测得相同转速下无摩擦试块及安装摩擦试块2种情况下的声发射信号。转速较低时悬臂转子的挠度较小, 不易发生摩擦现象, 又考虑到实验台的临界转速值大约为800 r/min, 转子在临界转速附近发生共振, 容易发生危险。综合考虑, 对转子实验台转速为310 r/min时的信号进行采样分析。检测设备采用北京声华公司SDAEA声发射检测仪, 传感器型号为SR150A, 采样频率2500 kHz, 采样点数2048。每次采样时间约为0.8 ms。

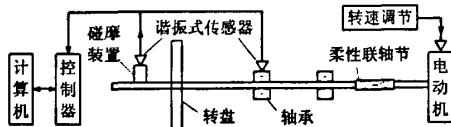


图2 实验模型示意

2.2 小波变换分析

利用声发射仪器自带的信号采集系统回放功能, 将记录的声发射信号导出, 保存成 excel 格式的数据。

选择分解尺度为5, 小波基 sym8 对信号进行5级分解。将原 V_0 空间(0 Hz-1200 kHz)分成 $V_j, W_j (j = 1, 2, 3, 4, 5)$, 共10个空间。图3显示了转速为310 r/min正常信号时域及频率分布, 图4显示了转速为310 r/min正常信号时域小波分辨率分解, 图5显示了转速为310 r/min摩擦信号时域及频率分布, 图6显示了转速为310 r/min摩擦信号小波分辨率分解。从图4、图6时频分别的对比可以看出, W_1, W_2 中包含的子信号 d_1, d_2 内容并没有发生特别明显改变; W_3, W_4, W_5 中包含的子信号 d_3, d_4, d_5 内容发生明显改变。因为摩擦信号能量集中, 频率较高, 因此本文认为 d_5 的内容包含了主要的摩擦信息。

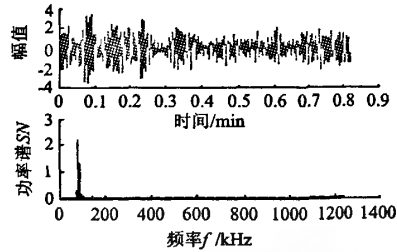
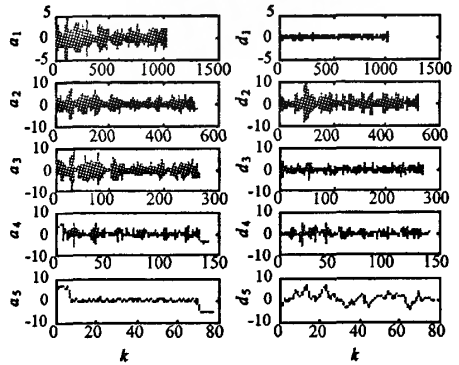
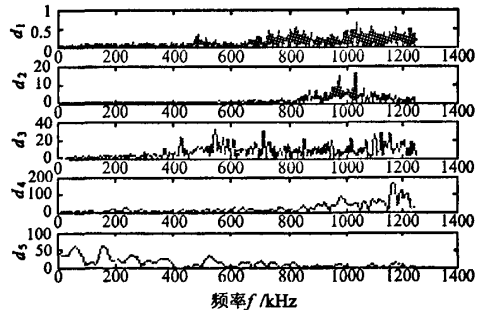


图3 转速为310 r/min正常信号及频率



4a 正常信号小波分解时域图



4b 正常信号小波分解频域图

图4 310 r/min正常信号小波多分辨率分解

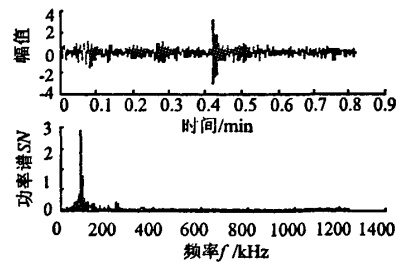
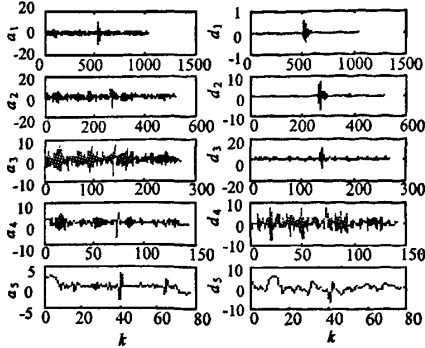


图5 转速为310 r/min摩擦信号及频率

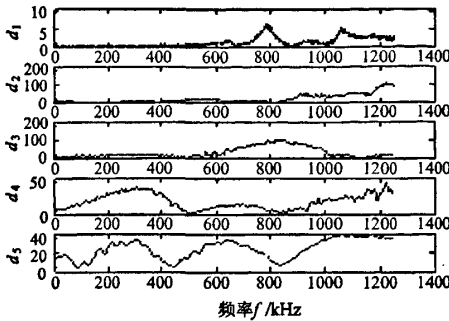
2.3 支持向量机故障诊断

对于摩擦故障建立1个二值分类器, 用二值分类器-1来识别故障, 输出结果为1表示是正常状态。由于高斯径向基函数具有的良好状态, 在实际问题中表现出了良好的学习功能, 所以在本文中采用核函数 $k(x \cdot y)$ 为高斯径向基函数的SVM进行故障诊断。

将60组正常信号和60组摩擦信号进行小波5级分解,



6a 碰撞信号小波分解时域图



6b 碰撞信号小波分解频域图

图6 310 r/min 碰撞信号小波多分辨率分解

包含故障信息的第3级尺度系数 d_3 的数据长度为269,作为支持向量机的输入。将小波分解后的数据样本第3级尺度系数 d_3 分别随机分成40组正常信号和40组碰撞信号作为训练样本,其余20组正常信号和20组碰撞信号第3级尺度系数 d_3 作为检验样本。降低了模型的复杂度和运算量;模型的输出为 $y \in \{+1, -1\}$,分别表示正常状态和碰撞状态。

随机选取包括40组正常信息的特征系数和40组碰撞故障信号的特征系数组成训练样本,用这些数据来训练支持向量机的参数,建立支持向量机分类器。其他的40组测试样本来检验支持向量机分类器的辨识精度。然后改变上次训练样本和检验样本的数据组成,进行学习和训练。表1显示了训练样本和测试样本的检验结果。从表中可以看到,由于第6组正常数据的分类器输出值为“-1”,因此,分类器将这组数据判为故障数据。第15组故障数据的分类器输出值为“1”,将这组数据判为正常数据。在40组测试样本(包括20组正常数据和20组故障数据)中,分类器错判2组。所以这次检验的精度为95%。

采用同样步骤,随机选取不同数据,经10次交叉检验,仿真结果表明,正确识别率达到92.6%。因此,基于小波分解和支持向量机的诊断方法是有效的,得到了满意的结果,且训练后的SVM在诊断中使用十分方便,为碰撞故障诊断提供了一种新方法。

3 结论

通过对相同转速下无碰撞试块及安装碰撞试块2种情

表1 辨识结果

正常数据	SVM 输出值	正常数据	SVM 输出值	故障数据	SVM 输出值	故障数据	SVM 输出值
第1组	1	第11组	1	第1组	-1	第11组	-1
第2组	1	第12组	1	第2组	-1	第12组	-1
第3组	1	第13组	1	第3组	-1	第13组	-1
第4组	1	第14组	1	第4组	-1	第14组	-1
第5组	1	第15组	1	第5组	-1	第15组	1
第6组	-1	第16组	1	第6组	-1	第16组	-1
第7组	1	第17组	1	第7组	-1	第17组	-1
第8组	1	第18组	1	第8组	-1	第18组	-1
第9组	1	第19组	1	第9组	-1	第19组	-1
第10组	1	第20组	1	第10组	-1	第20组	-1

况下的声发射信号进行小波变换和支持向量机(SVM),实现旋转机械故障诊断,取得了很好的效果。经过小波变换后故障频率信号得到了放大,而无关的信号被滤去,缩小了故障信息的范围。用包含故障信息的第3级尺度系数作为 SVM 模型的输入,极大地降低了模型的复杂度和运算量。仿真结果表明,利用小波分解技术,实现信噪分离,并将信号中的故障信息提取出来,作为支持向量机的输入,提高了诊断效率。

参考文献

[1]黄采伦,樊晓平,张剑.机车走行部故障在线诊断的特征分析方法研究.仪器仪表学报,2007,28(26):1 007-1 011.
 [2]左官芳,王林,郑光辉.小波分析在电机转子断条故障诊断中的应用.仪器与仪表,2007,10:32-34.

[3]蒋刚,肖建,郑永康,等.一种改进的快速傅里叶变换算法及其在故障诊断中的应用.计算机应用,2006,26(2):448-450.
 [4]吕武,申萍,王小方.FFT在机车故障检测记录系统中的应用.电力机车与城轨车辆,2006,29(1):38-40.
 [5]胡学发,赵珍,王福利,等.基于灰度聚类的钢管水压试验机故障诊断.东北大学学报(自然科学版),2007,28(11):1 529-1 531.
 [6]黄薇婕,范跃华.故障诊断专家系统中知识一致性检查算法的研究.计算机与信息技术,2007,27:62-63.
 [7]王奉涛,马孝江,张勇.基于局域波-粗糙集-神经网络的故障诊断方法研究.内燃机工程,2007,28(2):480-484.
 [8]俞晓冬,马凤英,臧宏志.粗糙集理论与神经网络在变压器故障诊断中的应用.继电器,2006,43(1):10-14.

(下转第14页)

层、粘土层和灰岩基岩层,根据室内土工试验和现场鉴别,并参照相近土层的地区经验,各土层的地基承载力特征值建议如表 2。

表 2 土层的地基承载力特征值

岩层编号	岩土名称	标贯修正击数/击	Fak/kPa
①	耕土层	-	-
②	粘土层	5.2	140
③	灰岩层	5.0	140

轴线剖面、横切剖面工程条件一般。

3.3 不良地质现象

库区内经调查发现有溶洞、裂隙和土岩结合部断层带区域等不良物理地质现象。

4 尾矿库的防渗防漏处理

库区东南侧边坡主要为岩石边坡,坡度在 50°左右,岩体主要为灰岩及白云质灰岩,裂隙较发育;另外库区在岩石边坡下土石岩层交接处有一条断层通过,该断层的断距约 10 m 左右,断层宽度约 10 m 左右,故在尾矿库投入使用后,产生的主要工程地质问题是尾矿库渗漏问题,因此该区域范围内库底必须进行防渗防漏处理。

4.1 断层及落水洞处理

断层位于岩石边坡下土石岩层交接处,另外断层东南侧岩石边坡为岩溶、裂隙发育集中分布区,且渗漏点主要分布在从库底到库底以上 5 m 的范围内,因此考虑采用粘土+防渗膜贴坡防渗。

(1)落水洞^[1]。库内落水洞主要分布在东南侧岩石边坡坡脚处,在粘土贴坡覆盖处理断层前需要将该区域内的落水洞先行填塞,处理方法:将落水洞口上的杂草等根植物及泥砂清理干净并让洞口尽可能外露出来;插入 1 根 $\varnothing 100$ mm、 $\delta = 10$ mm 的钢管,伸入落水洞长度以能插入的最大深度为宜,管上部伸出的长度应始终高出尾矿淹没面不小于 200 mm,以确保管口与大气相通;往洞口内抛填毛石,再用 C10 混凝土将空隙充填满;在洞口顶部铺设 200 mm 厚的混凝土盖板,盖板内配 $\varnothing 14 @ 200$ 钢筋网(双向);用粘土分层碾压回填到原始地面。

(上接第 3 页)

[9]Timo Sorsa, Heikki N Koivo. Application of artificial neural networks in process fault diagnosis. *Automatica*, 1993, 29(4): 843 - 849.

[10]周曲珠, 芮延年. 模糊理论在液压系统故障诊断中的应用. *床与液压*, 2006, 11: 224 - 233.

[11]任腊春, 张礼达. 基于模糊理论的风力机故障诊断专家系统构建. *机械科学与技术*, 2007, 26(5): 581 - 584.

[12]CHEN S, SAMINGAN A K, HANZO L. Support vector machine multiuser receiver for DS - CDMA signals in multipathchannels. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2001, 12(3): 604 - 611.

[13]SEBALD D J, BUCKLEW J A. Support vector machine techniques for nonlinear equalization. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2000, 48(11): 3 217 - 3 226.

[14]HSU C W, LIN C J. A comparison of methods for multiclass support vector support vector machines. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2002, 13(2): 415 - 425.

(2)溶蚀裂隙。在陡崖处从库底至其上不小于 6 m 之间的区域,根据裂隙的大小情况分别充填毛石混凝土或者细石混凝土。

在陡崖处库底 6 m 以上的区域,经过现场调查,该区段陡壁岩体较完整,裂隙少量发育,未发现溶洞存在,因此该区段采用细石混凝土对裂隙进行封堵。

(3)断裂带及陡坡底部(尾矿库底到库底以上 5 m 的范围内岩石破碎及裂隙较大地段)。将断裂带和陡坡处进行表面清理,清除松散表层土、杂草和树根等根植物;按上述方法将该区域内的落水洞和岩体上的溶蚀裂隙填塞好;采用粘土按 1:2.0 的坡比填筑防渗体以覆盖整个断裂带及溶岩、裂隙发育的陡坡脚,在直立岩体处的铺设高度不小于 6 m;铺设一层 SS20 土工格网;铺设防渗复合土工布,采用 1.5 mm 的土工膜,抗拉强度 $T \geq 12$ kN/m、纵横强度比为 2/3 - 3/2,采用胶粘接。土工膜上铺 400 g/m² 土工布 1 层,其下铺 300 g/m² 土工布 1 层。防渗膜上继续铺设 400 mm 厚粘土保护层。

4.2 库底粘土区域

库底西北侧底部的粘土层分布较厚,上部粘土层的渗透系数在 2.42×10^{-6} cm/s 左右,应将该区域的表层松散土就地碾压压实,碾压压实度不小于 90%。

5 结语

尾矿库的防渗治理是一项复杂工程,对于存在不良地质现象的尾矿库,在建设初期做好防渗治理尤为重要,而采用粘土+防渗膜贴坡防渗是一种较为经济实用的方法。但不良地质尾矿库渗漏是一个复杂的环保问题,需要多学科、多专业的配合和生产实践与理论的支持,才能提出科学、切实可行的尾矿库防渗治理措施。

参考文献

[1]樊怀华,张舟,孙熙宁,等. 岩溶地区某尾矿库的防渗漏综合治理. *昆明冶金高等专科学校学报*, 2006, 22(5): 6 - 10.

作者简介 梁彤彤,女,1984 年生,昆明理工大学国土资源工程学院安全工程及技术专业在读硕士研究生,主要研究方向为安全技术及理论。

(收稿日期:2009 - 08 - 19)

[15]Poyhonens, Negrea M Arkkioa. Fault diagnostics of an electrical machine with multiple support vector classifiers. *Proceedings of 2002 IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Vancouver, 2002.

[16]Hsu Chihwei, Lin Chihjen. A comparison of methods for multi - class support vector machines. *IEEE Trans on Neural Networks*, 2002, 13(2): 415 - 425.

作者简介 吉尚伟,男,1980 年生,硕士研究生。


金志浩,男,1964 年生,浙江省东阳人,教授,博士,主要从事压力容器声发射检测及机械故障诊断等方面的研究。

金文,女,1966 年生,博士研究生,主要从事智能故障诊断方法及机械设计等方面的研究。

周邦梅,男,1930 年生,教授,中国科学院院士,博士生导师,主要从事振动及其控制工程研究。

(收稿日期:2009 - 08 - 20)

基于小波-支持向量机的旋转机械碰摩故障诊断

作者: 吉尚伟, 金志浩, 金文, 闻邦椿
作者单位: 吉尚伟(辽宁省安全生产应急救援中心, 沈阳, 110032), 金志浩, 金文(沈阳化工学院机械工程学院, 沈阳, 110142), 闻邦椿(东北大学机械工程与自动化学院, 沈阳, 110004)
刊名: 工业安全与环保 
英文刊名: INDUSTRIAL SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION
年, 卷(期): 2010, 36(3)
引用次数: 0次

参考文献(16条)

1. 黄采伦, 樊晓平, 张剑. 机车走行部故障在线诊断的特征分析方法研究. 仪器仪表学报, 2007, 28(26):1 007-1 011.
2. 左官芳, 王林, 郑光辉. 小波分析在电机转子断条故障诊断中的应用. 仪器与仪表, 2007, 10:32-34.
3. 蒋刚, 肖建, 郑永康, 等. 一种改进的快速傅里叶变换算法及其在故障诊断中的应用. 计算机应用, 2006, 26(2):448-450.
4. 吕武, 申萍, 王小方. FFT在机车故障检测记录系统中的应用. 电力机车与城轨车辆, 2006, 29(1):38-40.
5. 胡学发, 赵珍, 王福利, 等. 基于灰度聚类的钢管水压试验机故障诊断. 东北大学学报(自然科学版), 2007, 28(11):1 529-1 531.
6. 黄薇婕, 范跃华. 故障诊断专家系统中知识一致性检查算法的研究. 计算机与信息技术, 2007, 27:62-63.
7. 王奉涛, 马孝江, 张勇. 基于局域波粗糙集神经网络的故障诊断方法研究. 内燃机工程, 2007, 28(2):480-484.
8. 俞晓冬, 马凤英, 臧宏志. 粗糙集理论与神经网络在变压器故障诊断中的应用. 继电器, 2006, 43(1):10-14.
9. Timo Sorsa, Heikki N Koivo. Application of artificial neural networks in process fault diagnosis. Automatica, 1993, 29(4):843-849.
10. 周曲珠, 芮延年. 模糊理论在液压系统故障诊断中的应用. 床与液压, 2006, 11:224-233.
11. 任腊春, 张礼达. 基于模糊理论的风力机故障诊断专家系统构建. 机械科学与技术, 2007, 26(5):581-584.
12. CHEN S, SAMINGAN A K, HANZO L. Support vector machine multiuser receiver for DS-CDMA signals in multipath channels. IEEE Transactions on Neural Networks, 2001, 12(3):604-611.
13. SEBALD D J, BUCKLEW J A. Support vector machine techniques for nonlinear equalization. IEEE Transactions on Signal Processing, 2000, 48(11):3 217-3 226.
14. HSU C W, LIN C J. A comparison of methods for multiclass support vector support vector machines. IEEE Transactions on Neural Networks, 2002, 13(2):415-425.
15. Poyhonens, Negrea M Arkkio. Fault diagnostics of an electrical machine with multiple support vector classifiers. Proceedings of 2002 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Vancouver, 2002.
16. Hsu Chihwei, Lin Chihjen. A comparison of methods for multi-class support vector machines. IEEE Trans on Neural Networks, 2002, 13(2):415-425.

相似文献(10条)

1. 期刊论文 金志浩, 刘俊焯, 金文, 闻邦椿, JIN Zhi-hao, LIU Jun-xuan, JIN Wen, WEN Bang-chun 旋转机械碰摩故障声发射信号的特征识别研究 -沈阳化工学院学报2008, 22(2)
利用碰摩试块通过悬臂转子试验台模拟310r/min下旋转机械的间歇碰摩故障, 并用声发射仪分别在有碰摩试块和无碰摩试块两种情况下对相应的声发射信号进行采样, 对其波形和时频特征进行分析. 结合声发射突发型信号的特点, 利用小波变换方法对声发射信号的时频特征进行定量分析. 通过db10小波函数对有碰摩试块和无碰摩试块两种情况下的信号进行尺度为5的小波分析, 结果表明: 转子发生碰摩时, d2尺度上的特征频率在335~365kHz之间, d3尺度上的特征频率在240~280kHz之间.

2. 学位论文 [邓艾东 基于声发射的旋转机械碰摩故障诊断基础问题研究](#) 2008

旋转机械动静部件之间的碰摩是运行中的常见故障,也是亟待解决的重大研究课题。声发射以其灵敏度高、频响范围宽、信息量大、动态检测等特点为碰摩检测提供了一条新的途径。但由于声发射源多样性、噪声干扰复杂性,特征信号难以提取与识别,使其在实际应用中受到很大限制。

本文就降噪、识别和定位这三个AE技术中的基础问题,进行了较为系统而深入的研究。通过引入现代信号处理技术,提出了几种分析处理AE信号的新方法,在降噪、识别和定位三个方面都有所创新。

1. 对分数变换理论在AE信号降噪处理中的应用进行了探索性研究,建立了一个基于态函数的三周期离散分数余弦变换算法用于降噪模型运算。实验结果表明:该算法具有比标准离散余弦变换更大的灵活性,通过选择适当的分数阶,能够获得比离散余弦变换更好的降噪效果,是对声发射信号进行降噪处理的有效途径。

2. 在碰摩AE信号的识别研究中,应用了分形理论和分形维数来识别碰摩AE的发生。通过对碰摩声发射信号的分形维分析表明:无碰摩时,采样的信号是随机噪声,此时分形维最大;开始轻微碰摩时,AE信号表现出突变型特征,波形相对光滑和简单,分形维变得最小,且从噪声到轻微碰摩时,分形维数值有较大的变化;碰摩趋于加重时,AE波形变得密集复杂,分形维又开始增大;分形维与信号的强弱无关,而与波形的复杂程度相关。因此,根据碰摩AE信号的分形维变化规律,不仅可以作为识别碰摩的一个依据,还可以作为表征碰摩发展趋势的一种指标。

3. 针对常用分形算法计算量大和参数选择困难的缺点,推导了一种基于波形长度的分形维算法,理论分析与实验结果表明,该算法的区分噪声能力、计算量、精确度和稳定性都优于和该算法类似定义的盒维与Katz维。

4. 基于模态声发射理论,分析了在转子系统结构中,静态时垂直碰撞和切向摩擦激励的声发射信号的模态特征及声发射波在不同路径中的传播特征。结合模态声发射和窄带信号理论,给出了描述多模态声发射信号的数学表达式,提出了将对数倒谱系数结合分形维一起作为声发射信号识别特征参数的方法。建立了一个基于高斯混合模型的碰摩声发射识别模型。实验结果表明:这种基于模态声发射理论的识别系统模型有较高的识别率。

5. 在碰摩声发射源定位研究中,引入了时延估计理论计算时间差。结合窄带信号理论、模态声发射理论和随机过程理论,提出了基于相同分数阶因子和不同分数阶因子的最佳线性分数滤波的广义互相关时延估计,针对AE信号中不同模态波速度不同而引起的传播过程中波形失真,导致可能无法获取最大相关点情况,提出了对信号进行分段相关乘积处理和分段相关指数变换处理的方法。实验结果表明:该算法优于普通的时延相关估计法,有较高的定位精度。

3. 会议论文 [卢文秀,褚福磊,李学军 基于振动、声和声发射信号的碰摩故障诊断研究](#) 2006

转子碰摩是旋转机械中常见的有破坏性的故障之一,传统的诊断方法是基于单一信号如振动信号或者声信号或者声发射信号,在一定程度上能进行碰摩的诊断,但在诊断精度等方面还有不足。本文提出基于振动、声和声发射信号的联合诊断方法,并在碰摩实验台上进行应用。实验结果表明,基于振动、声和声发射信号的碰摩故障联合诊断方法,不但能识别出早期碰摩,还能确定每周碰摩的次数,碰摩的相位等信息。

4. 学位论文 [张怡然 基于声发射的旋转机械碰摩故障诊断基础问题研究](#) 2009

对于旋转系统的故障诊断近年来称为研究热点。由于故障信号通常是非平稳的,而且是暂态的,因此,以往常规和经典的信号处理方法通常难以有效,准确,实时的检测系统的状态,对故障做出判断。

随着研究的深入,人们发现声发射信号随着旋转系统的状态而发生变化,因此对声发射信号的研究以及状态的判断可以为检测旋转系统的运行状态提供很好的技术支持。从上个世纪声发射被提出以来,越来越多的研究开始针对声发射信号,并且声发射信号广泛存在于机械系统之中,对他的研究有很强的适用性。

本文首先对转子系统发出的信号进行采集,对采集的信号进行信号检测。与以往的常规方法不同,本文考虑到声发射信号是非平稳的,运用了高阶谱(双谱)的分析方法和小波检测的方法。高阶谱通常因为运算量大而实现困难,但是旋转系统中,实验发现运用三阶谱(双谱)能够直观并且有效地对信号进行检测。

在信号增强方面,本文主要考虑的是用语音信号处理的方法对声发射信号进行降噪和增强。本文使用的是减谱法。除了使用经典的减谱法对信号进行降噪,本文还提出了基于全局加权值的减谱法,并且通过实验,确定了加权值的范围,能够有效地增强信号同时抑制噪声。

在信号的特征提取方面,本文同样提出了运用分形维的方法。分形维是最近几十年来新兴的方法,而通常使用的关联维和盒维都有着运算量比较大,而且拟合程度不尽人意的缺陷。基于以上,本文提出了基于对数波长的算法,意在降低运算复杂度,以及有效地对信号进行特征提取。在信号识别方面,本文提出了基于主元素的特征提取算法。通过实验,证明该方法能够比较好的对信号进行识别。初次之外,实验也证明了运用语音信号处理的方法能够比较有效地对声发射信号进行处理,获得比经典方法更加有效的结果。

5. 期刊论文 [邓艾东,包永强,高鑫,赵力, Deng Aidong, Bao Yongqiang, Gao Wei, Zhao Li 旋转机械碰摩声发射信号的分形特征分析算法研究 - 仪器仪表学报](#) 2008, 29(6)

本文针对盒维和关联维运算复杂度高、Katz维的精度不高的特点,提出了一种基于波形的分形维计算方法,介绍了分形维算法的推导过程。实验数据是在转子实验台上采集的碰摩声发射信号,通过在该信号上叠加高斯白噪声和非平稳噪声来获得模拟的强噪声污染的声发射信号,然后将分形维算法对该信号进行有效声发射信号识别。理论分析和实验结果表明:该算法具有更强区分噪声和声发射信号的能力,无论在复杂度、精确度还是在抗噪声性能方面均优于现有的分维算法,能够在强噪声环境下反映碰摩声发射的发生,为碰摩声发射的特征识别与分析提供了一条新的途径。

6. 期刊论文 [邓艾东,赵力,包永强 基于模糊熵的转子碰摩声发射信号的识别 - 机械工程学报](#) 2010, 46(3)

利用模糊熵理论来度量转子碰摩声发射信号的特征参数相对于不同碰摩状态识别模式的不确定性。根据碰摩声发射信号的特点,选用平均信号电平、幅度、幅度动态范围以及小波分解信号前四个节点重构信号的能量值作为声发射信号识别的特征参数,由训练样本确定各特征参数针对不同碰摩类别的基于高斯形式的隶属度函数,并由隶属函数得到特征参数与类别之间的模糊关系矩阵。由于各特征参数对于声发射信号识别的有效性不同,因此在计算模糊关系矩阵时引入有效度系数,提出一种利用模糊熵定义有效度系数的方法。结合该系数得到修正的模糊关系矩阵并计算综合评价模糊集合,选择隶属度最大的类别作为识别结果。在转子实验台上采集的不同碰摩状态的声发射信号进行验证,试验结果表明,模糊综合评价方法是一种有效的声发射识别手段,并可以利用参数有效性的差异来提高识别效率。

7. 期刊论文 [赵美云,李力,高虹亮, ZHAO Mei-yun, LI Li, GAO Hong-liang 基于声发射信号的转子碰摩故障诊断方法 - 无损检测](#) 2007, 29(6)

利用声发射信号的高频特性采集转子碰摩故障信息,采用小波分析技术把所得声发射信号分解在不同频段,对信号进行重构,从而消除背景噪声,并用小波包络谱分析方法识别故障信息。分析结果证明,基于声发射信号的小波包络分析可以检测出微弱的转子碰摩故障,是一种有效的早期故障诊断方法。

8. 期刊论文 [何永勇,印欣运,褚福磊, HE Yongyong, YIN Xinyun, CHU Fulei 基于小波尺度谱的转子系统碰摩声发射特性 - 机械工程学报](#) 2007, 43(6)

针对转子系统动静件间发生碰摩时会引起弹性应变而产生声发射,进而可利用声发射来辨识和诊断碰摩故障的特点,首先对碰摩声发射和碰摩振动信号进行了试验对照研究,讨论基于声发射的碰摩识别方法的独特优越性,然后,着重对碰摩声发射的特性进行了试验研究,并借助于小波尺度谱优越的时频分析性能,利用小波尺度谱对碰摩声发射的时频特性、传播特性和频散特性等进行了详细分析。分析结果显示小波尺度谱非常适合碰摩声发射这种频率丰富、非平稳和非线性的多模态波,是模态声发射分析的有力方法。

9. 期刊论文 [赵雷,蔡琦,姚祺峰,陈玲 声发射技术用于诊断船舶汽轮发电机组碰摩故障的研究 - 中国修船](#) 2007, 20(2)

碰摩振动是汽轮发电机组常见故障,针对汽轮发电机组碰摩振动现象及机理,基于振动监测与声发射监测的特点对比,提出了汽轮发电机组碰摩故障的声发射监测方法,并通过监测实例验证了其适用性。

10. 学位论文 吴建 碰摩声发射检测系统的研制 1994

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gyaqyfc201003001.aspx

下载时间: 2010年5月28日