小波熵及其在状态趋势分析中的应用*

印欣运　何永勇　彭志科　褚福磊

（清华大学精密仪器及机械学系　北京，100084）

摘　要　研究了离散小波变换的若干特性，以及用信息熵来反映信号统计分布特征的方法，引进了多尺度下小波熵和相对小波熵的概念，并且以此为参量对系统状态进行趋势分析，从而突出系统信号中短暂的异常信号，达到及早发现可能故障的目的。最后通过数值实验和应用实例说明：分析这两个参数的变化情况，可以反映系统的状态趋势，提高维修的针对性，降低设备维修的代价，提高设备的安全性和可靠性。

关键词：机械振动；趋势分析；小波变换；熵

中图分类号：O329；TH113.1

趋势分析是设备状态监测和故障诊断中的一个重要环节，它对设备的特征参数进行连续监测，然后根据所得到的数据来确定设备目前的运行状态，并对设备将来的运行状态做出估计，进一步预报和确定设备的剩余寿命。技术人员可根据趋势分析的结果，合理地安排设备的维修。因此这对于设备维护和维修决策具有重要的意义。而振动信号的趋势分析作为设备状态预测的最主要方法一直受到人们的关注。

趋势分析的关键是要定义一个量，它能综合反映设备的运行状态，且对出现的异常有较高的敏感性。对大多数旋转机械而言，如水轮机、燃气轮机等，它们的运行过程具有周期性。所以，尽管系统异常状态的种类和形式多种多样，从信号的角度来看，出现异常状态就是在统计特性平稳有序的正常信号中混杂了不一致的异常信号。因而分析的重点在于如何选择一个能反映系统信号统计特征的参数，用该参数来对系统状态进行评估。小波变换具有多尺度和局部特性好的优点，结合信息论中熵的理论，人们定义了多尺度下的小波熵，并用来度量信号的统计特性。本文尝试着把这一方法应用到旋转机械的趋势分析中来。结果表明，本文提出的方法能准确、及时反应系统状态的变化，因而是一种有效而实用的趋势分析方法。

1　小波变换

小波变换是近 10 多年来发展起来的一种多分辨率信号分析方法，它通过伸缩和平移运算对函数或信号进行多尺度细化分析，因而能够有效地从信号中提取时频信息。已在信号分析、图像编码、滤波器设计等领域得到了广泛的应用。

设 $x(t)$ 是一有限能量函数，即 $x(t)\in L^2(R)$，则该函数的小波变换定义为以函数族 $\psi_{a,b}(t)$ 为积分核的积分变换[1]，如下式所示

$$W_x(a,b;\psi)=\langle x(t),\psi_{a,b}(t)\rangle=\int x(t)\psi_{a,b}(t)\mathrm{d}t\quad(a>0)\tag{1}$$

其中函数族 $\psi_{a,b}(t)$ 由基本小波函数 $\psi(t)$ 通过伸缩和平移产生，如下所示

$$\psi_{a,b}(t)=a^{-1/2}\psi(\frac{t-b}{a})\tag{2}$$

式中　a 为尺度参数，b 为定位参数，因子 $a^{-1/2}$ 用来保证变换的能量守恒。小波 $\psi(t)$ 的选择不是唯一的，但也不是任意的，它的选择应该满足以下条件：

(1)定义域是紧支撑的，它保证了函数的速降特性，以便获得时间局域化。

(2)小波容许条件，即

$$C_\psi=\int\frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|}\mathrm{d}\omega<\infty\tag{3}$$

式中　$\hat{\psi}(\omega)=\int\psi(t)\mathrm{e}^{-\mathrm{i}\omega t}\mathrm{d}t$，这个条件使函数 $\psi(t)$ 的波形必定具有振荡性。

从上面可看出，小波变换是一线性变换，它的物理图案就是用一族频率不同的振荡函数作为窗口函数 $\psi_{a,b}(t)$ 对信号 $x(t)$ 进行扫描和平移，其中 a 为改变振荡频率的尺度参数，b 为定位参数。

* 国家自然科学基金资助项目（编号：50105007）
收稿日期：2003-04-28；修改稿收到日期：2003-10-10

万方数据

如果对式(2)中的尺度参数 a 和定位参数 b 按幂级数作离散化，令：$a=2^{-j}$，$b=2^{-j}k$，小波函数变为

$$\psi_{j,k}(t)=2^{j/2}\psi(2^jt-k) \quad (j,k\text{ 为整数，且 }j<0) \tag{4}$$

相应的小波变换为

$$W_x(j,k)=\langle x(t),\psi_{j,k}(t)\rangle=\int x(t)\psi_{jk}\mathrm{d}t \tag{5}$$

这就是离散小波变换(DWT)。它提供了一种无冗余的信号表达形式，它的输出结果便是小波序列的系数 $C_j(k)$。这些小波系数用一种简单的方法提供了信号全部的信息和不同尺度下局部能量的直观估计。采样信号 $x(t)$ 可以用小波基函数和小波系数表示如下

$$x(t)=\sum_{j=-N}^{-1}\sum_k C_j(k)\psi_{j,k}(t) \quad (t=1,2,\cdots\cdots,M;N=\log_2 M) \tag{6}$$

2 多尺度下的小波熵

在信息论中，熵表示每个符号所提供的平均信息量和信源的平均不确定性[2]，它能提供关于信号潜在的动态过程的有用信息。事实上，对于一个单一频率的周期信号，除了包含这个典型信号频率的小波尺度，所有的其它小波系数几乎都是零。对于这个特殊的尺度，小波系数将接近于1，而此时信号的熵值将接近于0或者是一个很小的值。相反，由一个完全无序的过程生成的信号(例如随机信号)，在所有的频段上都有小波系数，而且数值大小并无明显差别，此时信号的熵值将接近于1；同时，信号的概率分布越接近这种无序的分布，其熵值也就越大，信号熵值的大小反映了概率分布的均匀性。如果把小波变换的系数矩阵处理成一个概率分布序列，由它计算得到的熵值就反映了这个系数矩阵的稀疏程度，也就是信号概率分布的有序程度，这种熵就称作小波熵。

振动信号经过小波变换后，映射到时间-尺度平面上，在任一时间间隔里，可以在多个不同尺度(不同分辨率)下观察信号的变化。假设每一个尺度为一个信号源，那么，每个尺度上的小波系数相当于一个信号源发出的消息。这样，根据小波变换系数，可以计算信号的小波熵。

在传统的统计分析方法中，往往直接根据信号的概率分布计算熵[3]，可是假如异常信号的幅值小而且持续时间短，那么在信号的统计分布中所占的比例就小，从而容易被忽略。而小波变换可以放大某一局部的特性，因此在小波变换的基础上，计算熵值就能够发现信号中微小而短促的异常，这就是多尺度下的小波熵。

2.1 相对小波能量

根据小波变换的标架理论[4]，当小波基函数是一组正交基函数时，变换具有能量守恒的性质

$$\sum_{j=-1}^{-N}|\langle x(t),\psi_{j,k}(t)\rangle|^2=\|x\|^2 \tag{7}$$

从而可以定义单一尺度下的小波能量为该尺度下小波系数的平方和[5]

$$E_j=\|r_j\|^2=\sum_k|C_j(k)|^2 \quad (j=-1,\cdots,-N) \tag{8}$$

由此推论，总能量的表达式如下

$$E_{tot}=\|S\|^2=\sum_j\sum_k|C_j(k)|^2=\sum_j E_j \tag{9}$$

这样，相对小波能量可以定义为

$$p_j=E_j/E_{tot} \tag{10}$$

式(10)在不同的尺度下定义了能量的分布。显然，p_j 之和为1，并且 p_j 的分布可以认为是时间尺度上的密集程度。这就给出了一种检测和刻画时间、频率域上特殊现象的合适工具。

2.2 小波熵和相对小波熵

香农(Shannon，1948)关于熵的理论为分析和比较概率分布提供了有用的工具。它提供了对于任何分布信息的测量尺度，作者把小波熵(Wavelet Entropy)定义为[5]

$$S_{WT}=S_{WT}(p)=-\sum_j p_j\cdot\ln[p_j] \tag{11}$$

p 本来是信息论中信号的概率，这里用相对能量来表示某一段信号的能量强度比例。

假设有两组相对小波能量分布的数据 p_j 和 q_j，并且 p_j 和 q_j 的和都是1。这样它们就可以被看成是一组信号的两段或者两组不同信号在多尺度下的概率分布。作者定义相对小波熵(Relative Wavelet Entropy)[5]

$$S_{WT}(p|q)=\sum_j p_j\cdot\ln[\frac{p_j}{q_j}] \tag{12}$$

这就给出了分布 p_j 和 q_j 的两个概率分布相似程度的测度。

3 数值仿真

上文从理论上定义了多尺度下的小波熵和相对

万方数据

小波熵，为了验证这两个参数是否能够反映信号的统计特征，并突出信号中的异常情况，使用以下数据进行数值实验

$$x = e^{-\frac{(t-15)^2}{222}}\cos\frac{\pi f(t-400)}{20} + e^{-\frac{(t-25)^2}{333}}\cos\frac{\pi f(t-130)}{50} + e^{-\frac{(t-40)^2}{444}}\cos\frac{\pi f(t-250)}{15} \quad (0 \leqslant t \leqslant 45)$$

式中　$f=10$

在 Matlab 中根据上述公式生成了一组数据[6]，用来模拟系统正常运行时的状态参数。由于水轮机等实际的旋转机械在稳态下正常运行的过程中，它们振动信号的统计特性一般是不变的。所以在生成数据的时候使用了典型的平稳过程——高斯过程的概率密度函数：$e^{-t^2/u}$，并乘以余弦函数使波形具有上下振动的特性。同时为了避免波形过于有规则而失去实验意义，用三组函数叠加的形式使模拟数据更接近真实的系统采样数据。数据波形以及计算结果如图 1 所示。

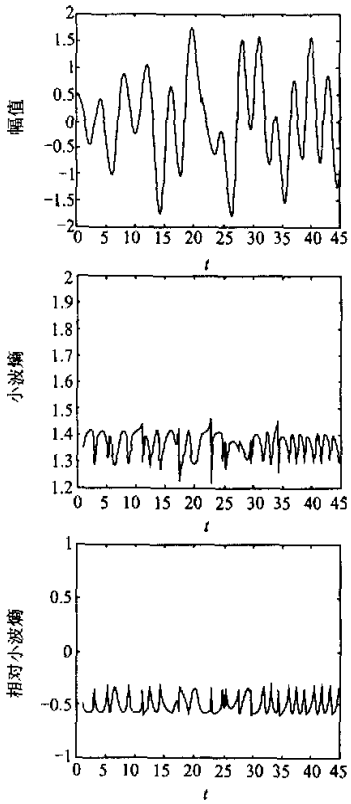
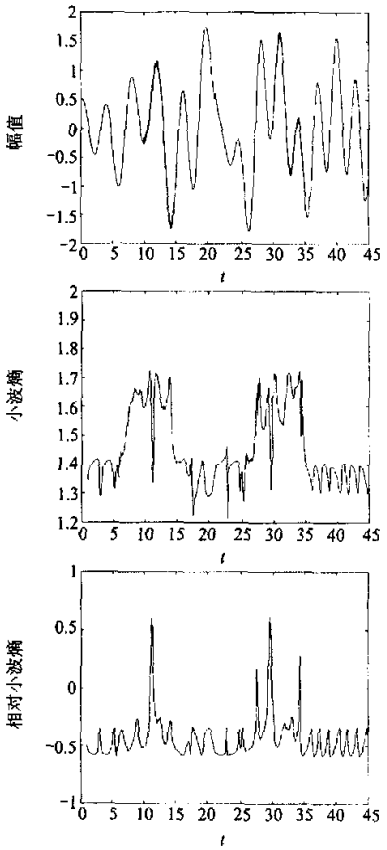


图 1　正常系统的实验数据及处理结果

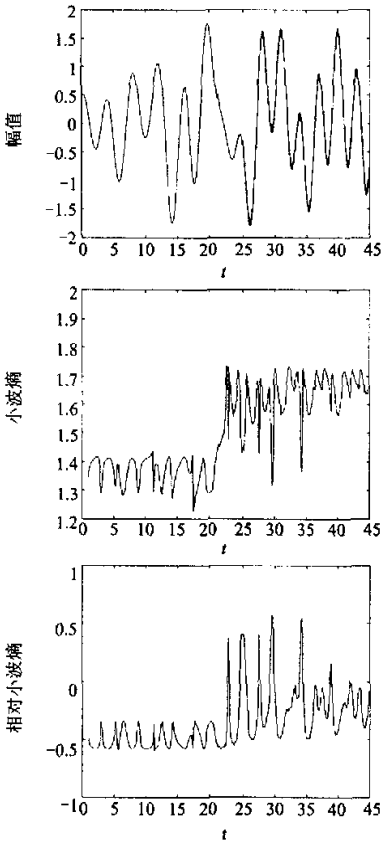
可以看出实验数据的小波熵和相对小波熵波形平稳有规则，幅值在一个很小的范围内波动。根据式(11)～式(12)，小波熵是多个尺度下能量强度的叠加，是信号统计特性的绝对度量；而相对小波熵是相邻尺度下能量强度比值的叠加，是信号统计特性的相对度量，同时分析这两个量就可以判断系统状态信号稳定与否。图 1 所表示的小波熵说明了各尺度能量之和很小，相对小波熵说明相邻尺度的能量之间没有突变，两者相结合显示了系统正常运行状态的有序性。

在上述信号中加入平均幅值为 0.1 的随机序列来表示出现了异常信号的情况：(1)分别在时间 10～15 和 30～35 段加入随机噪声信号，用来表示间歇性的异常；(2)在时间 25～45 段加入随机噪声信号，用来表示持续性的异常。从图 2 可以看出，由于随机信号的幅值非常小，几乎没有改变原信号的波形，所以信号的统计特征几乎没有变化。在这种情况下，使用传统的统计分析方法，得出的结果必然跟没有加入噪声信号的情况类似，也就是说传统的分析方法很难发现信号中的异常。对这两组数据分别处理的结果如图 2(a)和图 2(b)所示：



(a) 间歇性异常信号

万方数据



(b) 持续性异常信号

图 2 有异常信号的数据及处理结果

从图 2 可以看出，在这两种情况下，当异常信号出现时，信号的小波熵和相对小波熵波形中都明显地出现了尖峰。而且尖峰出现的时间和异常信号发生的时间准确对应，尖峰的幅度也足以被从原先平稳的波形中检测出来。同时，异常信号相当微弱，基本没有改变原信号的波形，但是在小波熵和相对小波熵波形中却能够被准确地检测出来，从而说明这种方法在趋势分析中不但有效而且有比较高的灵敏度。

4 碰摩实验分析

使用如图 3 所示的转子实验台进行碰摩实验，碰摩发生在转子 1 的外边缘，而传感器采集的是转子 2 的水平振动信号。

调节电机转速，测量转速为 1 120 r/min，1 430 r/min，1 700 r/min，1 960 r/min，2 125 r/min，2 220 r/min 时的振动信号。每个转速下取 24 000 个点，采

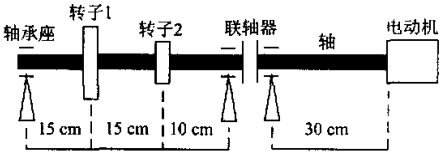


图 3 转子实验台结构

样频率 5 kHz，每 8 000 个点计算一次小波熵和相对小波熵，得到 18 组数据，如图 4 所示：

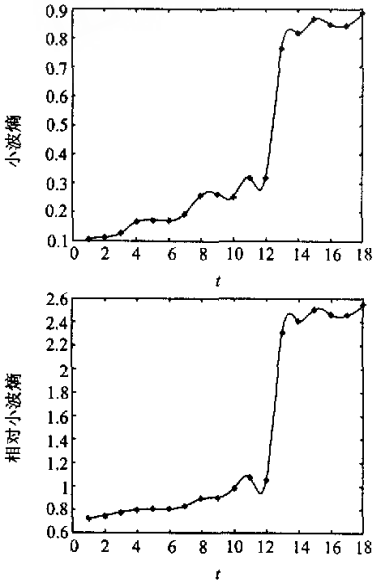


图 4 实验信号的小波熵和相对小波熵

在实验中，转速为1 120 r/min，1 430 r/min 时，有轻微的摩擦声，对应图 4 中的左边 6 个点；转速为 1 700 r/min，1 960 r/min 时，有碰撞声，对应图 4 中的中间 6 个点；转速为 2 125 r/min，2 220 r/min 时，发生剧烈碰撞，对应图 4 右边 6 个点。这些点的值逐渐增大，表明随着转速变大，振动信号的小波熵和相对小波熵在变大，振动越来越混乱。

从图 4 中可以看出，把小波熵和相对小波熵结合起来，可以区分每个转速下信号的特征，一般碰撞和剧烈碰摩之间的差别尤其明显。

5 小 结

趋势分析在自然科学和社会科学中有着广泛的应用，是进行事故预防、无损检测的重要手段，同时也是充分发挥设备的工作潜力，合理安排生产的主要依据之一。本文利用小波变换多尺度和局部特性

万方数据

好的优点，结合信息熵理论提出了多尺度下小波熵和相对小波熵的概念，并应用到系统的趋势分析中。然后通过数值实验和实际采样数据的计算，验证了小波熵和相对小波熵所反映出的系统统计特征的准确性，证明了该方法在旋转机械的趋势分析方面的科学价值。

参 考 文 献

1 彭志科等. 小波多重分形及其在振动信号分析中应用的研究. 机械工程学报，2002：122—126

2 傅祖芸. 信息论——基础理论与应用. 北京：电子工业出版社，2001：24—25

3 张贤达. 现代信号处理方法. 北京：清华大学出版社，2002：102—103

4 杨福生. 小波变换的工程分析与应用. 北京：科学出版社，1999：33—35

5 Svaldo A Rosso，Susana Blanco，et al. Wavelet entropy：a new tool for analysis of short duration brain electrical signals. Journal of Neuroscience Methods，2001：105：65—75

6 伯晓晨等编著. Matlab 工具箱应用指南. 北京：电子工业出版社，2000：307—397

Study on Wavelet Entropy and Its Applications in Trend Analysis

Yin Xinyun　He Yongyong　Peng Zhike　Chu Fulei

(Department of Precision Instruments and Mechanology，Tsinghua University　Beijing，100084)

Abstract　In this article some characteristics of discrete wavelet transform are analyzed，and the entropy-based method is developed to reflect the statistic distribution of signals. Furthermore，the concept of wavelet entropy and relative wavelet entropy at different scales are introduced，which are used to analyze the trends of mechanical systems. Using this method，the ephemeral abnormal information in system signals can be detected in incipient faults. At last，a numeric and case study demonstrates that the proposed method can reflect the trends of mechanical systems，help diagnosis the fault in repair，cut down the maintanace cost of equipment and improve the safety and reliability of the equipment.

Key words：mechanical vibration；trend analysis；wavelet transform；entropy

第一作者　印欣运　男，硕士研究生，1980 年 3 月生。电话：(010)62772095；E-mail：yinxinyun98@mails.tsinghua.edu.cn

万方数据

小波熵及其在状态趋势分析中的应用

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 印欣运， 何永勇， 彭志科， 褚福磊
作者单位： 清华大学精密仪器及机械学系,北京,100084
刊名： 振动工程学报 ISTIC EI SCI PKU
英文刊名： JOURNAL OF VIBRATION ENGINEERING
年，卷(期)： 2004，17(2)
引用次数： 15次

参考文献(6条)

1. 彭志科. 何永勇. 卢青. 褚福磊 小波多重分形及其在振动信号分析中应用的研究[期刊论文]-机械工程学报 2002(8)

2. 傅祖芸 信息论--基础理论与运用 2001

3. 张贤达 现代信号处理方法 2002

4. 杨福生 小波变换的工程分析与应用 1999

5. Svaldo A Rosso. Susana Blanco Wavelet entropy: a new tool for analysis of short duration brain electrical signals 2001

6. 伯晓晨 Matlab工具箱应用指南 2000

相似文献(9条)

1. 学位论文 蔡伟 旋转机械振动数据记录仪及数据分析系统的研究 2008
本文通过分析目前旋转机械状态监测方法及状态监测技术应用的实际情况，开发了一套旋转机械振动数据记录与分析系统，包括记录仪和数据分析软件，可实现正常运行振动数据采集、存储、分析及报警等功能。论文主要完成了记录仪的设计，基于VC++6.0开发了数据分析软件。以三菱M16C/61微控制器为核心开发的记录仪，可实时记录旋转机械的正常运行振动数据，并在振动超限时记录故障前后的振动数据；记录的振动数据存储于记录仪配置的CF卡中，PC机通过USB接口与记录仪通信，可访问管理CF卡中的振动数据。通过数据分析软件，可实现振动数据的查询、正常运行数据趋势分析、报警数据波形显示及常用振动信号频谱分析。本系统兼顾在线监测、设备巡检、信号分析等功能，具有实时性强、可靠性高、成本低、精度高等特点。

2. 学位论文 陈印梅 基于LabVIEW的大型旋转机械趋势分析与状态监测系统的研究与应用 2006
针对武钢四烧高温风机的结构型式及不间断运行的生产特点，在故障诊断技术的基础上，研制了一套基于虚拟仪器的高温风机在线监测与故障诊断系统。本文分析了状态监测与故障诊断系统的国内外研究现状，阐述了普通旋转机械的振动机理及振动故障的分析方法。该系统在充分掌握旋转机械状态监测的共性基础上，完善了原有的故障诊断系统，进一步扩展了系统的在线状态监测、预测分析及故障诊断功能。利用LabVIEW软件独立开发出动态的、交互的、高效率的、统一的用户界面。 本论文主要分三部分：旋转机械振动机理及振动故障分析、烧结厂高温风机在线监测系统的总体设计方案和网络通讯模块及上位机系统的实现。根据高温风机监测系统数据流量状况、机组运行特点及现场监测要求，结合网络通讯技术和数据库知识，以图形化设计语言LabVIEW为开发平台，以美国罗克韦尔自动化公司的硬件模块为基础，构建了在线监测系统的总体设计方案。同时还完整地介绍了基于虚拟技术的高温风机在线监测系统的研制过程，讲述了各种功能模块的设计及参数配置。 研制的系统已投入应用，已稳定运行近一年，证明系统设计正确，硬件可靠性高，软件功能性强，为保证企业设备的安全、可靠运行起到了重要作用。所研发的高温风机在线状态监测与故障系统可应用于其它的旋转机组和装置，具有广泛的推广价值。

3. 会议论文 刘永宏 灰色预测模型在机械设备运行状态趋势分析中的应用 1993

4. 学位论文 李远友 大型旋转机械振动信号测试与分析系统的研制 2002
该文介绍了发展设备状态监测技术的目的和意义以及该技术在国内外企业中的应用情况和发展前景.讨论了计算机辅助信号测试与分析系统的一般构成以及大型旋转机械的振动信号的常用分析方法,并在此基础上研制出一套大型旋转机械振动信号测试与分析系统.文章提出了大型旋转机械振动信号测试与分析系统的总体方案,该系统的可以兼容多种不同型号的A/D转换设备,既可以用作现场实时信号监测与记录仪器,也是一种很好的离线分析系统.系统的软件具有如下六大功能:现场数据的采集、历史数据管理、数据分析、远程数据传输、传感器标定、现场动平衡等.数据采集包括组态设置、稳态数据采集和瞬态数据采集;时域分析包括时域波形回放、数字滤波、轴心轨迹分析、解调分析、趋势分析、相关分析.频域分析包括频谱分析、全息谱分析、频谱细化分析.瞬态分析包括瀑布图分析、波德图分析和奈魁斯特图分析等功能.

5. 学位论文 魏立东 大型旋转机械状态监测、故障诊断及网络系统设计 2002
研制的计算机状态监测与故障诊断系统适用于各类大型汽轮发电机组、离心压缩机组等回转机械.设备状态监测与故障诊断是通过掌握设备过去和现在运行中或基本不拆卸的情况下的状态量,判断有关异常或故障的原因及预测对将来的影响,从而找出必要对策的技术.该系统是WINDOWS界面下的状态监测与故障诊断系统,它在数据采集卡PCL_1800的支持下,可以完成振动信号的数据采集以及FFT、功率谱、倒谱、谱阵和相干函数分析等时频分析、趋势分析、轴心轨迹监测、故障诊断等功能.能将数据转化成各种对应的图形.该文详细介绍了该系统的组成模块及其功能实现.它可以广泛应用于电力、石化、冶金、汽车和造船等国民经济重要部门,进行机组状态参数的监测分析和故障诊断.可以代替专用信号处理机的工作.该文讨论了网络通信技术在大型旋转机械在线监测及故障诊断系统中的应用.该系统在Windows界面下,运用Visual C++中的WinSock技术,采用多线程并发TCP服务器结构模式(客户机/服务器模式),实现了局域网内旋转机械振动信号的共享,达到了分布式诊断模式(DMDS)的设计要求.应用软件开发工具选择Visual C++作为开发工具,在WINDOWS系统下运行.软件界面的设计以满足大多数用户为主,力求直观通俗,一目了然.该系统已经成功地应用于中国石油天然气股份有限公司锦西石化分公司.

6. 会议论文 丁勇山. 蒋东翔. 李凯. 熊凯 基于LabVIEW的振动数据采集与分析系统 2006
本文介绍了一套基于LabVIEW语言开发的软、硬件相结合的振动信号采集与分析系统.首先,阐述了研究背景:其次,介绍了硬件部分的组成和软件配置:第三,详细介绍了软件程序的开发和主要功能,主要包括在线数据采集与分析、离线分析和趋势分析,并可绘制出振动时间波形图、频谱图、振动棒图和参数趋势图等功能;第四,模拟仿真了该系统在航空发动机振动信号采集上的应用;最后,给出了该系统在旋转机械振动数据采集、数据分析与故障诊断的应用前景,该系统可用于汽轮机、燃气轮机、水轮机、风力发电机、航空发动机等动力设备的振动数据采集、分析与故障诊断.

7.学位论文 王之华 基于LabVIEW的大型风力发电机组旋转机械的状态监测系统设计 2009

风力发电作为一种清洁能源，近年来得到了世界各国大力研究和开发。大型风力发电机组因地处宽阔边远地域，如近海和戈壁滩、草原等三北地区，其分布面积广，且数量多，远离监控中心。受其恶劣的自然环境，以及复杂的发电机组和电力电子装置等因素影响，风力发电机设备很容易遭破坏，影响生产。要使风电场与其它发电厂相比更加具有竞争力，必须提高其可靠性、高效率及发电机组的寿命。因此，对于风力发电场要求有可靠的远程监测和无人值守运行控制系统。状态监测作为风电机组设备正常运行，优化机组设备使用，以及机组设备的故障诊断的必要手段，研究开发完善优化的状态监测系统有着十分重要的意义。 状态监测技术的目的就要是寻找一些应用于大型风力发电机组的故障分析和预测方法，通过自动在线监测技术实现机组实时状态监测和故障诊断分析，以及利用在线监测技术预测机组状态的发展并及时提供维护信息，减少安全隐患。在线监测及趋势分析技术可以随时反映机组的运行状态和故障程度，而且可以预示今后可能发生的故障，进而优化风力发电机组的运行和使用。 本论文作者在对风电场监控系统进行实际调研后，以美国GE公司的1.5MW变速变桨距双馈异步风力发电机组为例做为被监测对象，应用美国国家仪器公司NI（National Instruments Corporation）虚拟仪器技术和LabVIEW8.5作为软件平台，尝试开发大型风力发电机组旋转机械状态监测系统，并根据风力发电机组和风电场远程监控的特征，对监测系统的通信方式进行分析比较后，选择通信方案。监测系统的目的是对采集的振动信号通过曲线拟合、统计分析、频率响应等步骤进行定量分析，将数据以图和表的形式显示出来，并储存所有数据。经过对模拟输入振动信号的分析处理进行仿真，验证了该风力发电机组旋转机械振动监测软件平台的可操作性，具有进一步开发和完善其现场应用的价值。

8.会议论文 翁维熊.翁炫华 旋转机械状态监测与振动故障专家诊断系统的优化设计 2003

论文介绍了一个受已在多领域60％以上现场应用中预报或避免过恶性故障的海军型号产品、电站汽轮发电机组和电站锅炉风机多个振动监测、故障诊断与保护系统精华之支持,并采用计算机虚拟技术所组成的旋转机械振动监测与故障诊断系统的优化设计方案.系统始于采用ICP技术制造的机电一体化压电型多功能振动变换器和高性能涡流传感器,经具有系统自检功能和振动幅值信号输出接口的现场接口箱后直接馈入计算机,继而又充分利用计算机平台特点并借助于虚拟技术,实现对系统的功能自检以及对被监测机械的瓦振、轴振和扭振的振动监测/报警/保护、振动趋势分析、振动故障的分析诊断、专家型精确诊断、实时远程诊断、现场动平衡和数据库管理等功能.所设计的系统具有我国独立的知识产权.与当前我国大规模重复引进的仪具振动监测/报警/保护功能的BN3300相比较,本文所介绍的优化设计方案明显具有较高的质价比.

9.学位论文 王之华 基于LabVIEW的大型风力发电机组旋转机械的状态监测系统 2009

风力发电作为一种清洁能源，近年来得到了世界各国大力研究和开发。大型风力发电机组因地处宽阔边远地域，如近海和戈壁滩、草原等三北地区，其分布面积广，且数量多，远离监控中心。受其恶劣的自然环境，以及复杂的发电机组和电力电子装置等因素影响，风力发电机设备很容易遭破坏，影响生产。要使风电场与其它发电厂相比更加具有竞争力，必须提高其可靠性、高效率及发电机组的寿命。因此，对于风力发电场要求有可靠的远程监测和无人值守运行控制系统。状态监测作为风电机组设备正常运行，优化机组设备使用，以及机组设备的故障诊断的必要手段，研究开发完善优化的状态监测系统有着十分重要的意义。 状态监测技术的目的就要是寻找一些应用于大型风力发电机组的故障分析和预测方法，通过自动在线监测技术实现机组实时状态监测和故障诊断分析，以及利用在线监测技术预测机组状态的发展并及时提供维护信息，减少安全隐患。在线监测及趋势分析技术可以随时反映机组的运行状态和故障程度，而且可以预示今后可能发生的故障，进而优化风力发电机组的运行和使用。 本论文作者在对风电场监控系统进行实际调研后，以美国GE公司的1.5MW变速变桨距双馈异步风力发电机组为例做为被监测对象，应用美国国家仪器公司NI（National Instruments Corporation）虚拟仪器技术和LabVIEW8.5作为软件平台，尝试开发大型风力发电机组旋转机械状态监测系统，并根据风力发电机组和风电场远程监控的特征，对监测系统的通信方式进行分析比较后，选择通信方案。监测系统的目的是对采集的振动信号通过曲线拟合、统计分析、频率响应等步骤进行定量分析，将数据以图和表的形式显示出来，并储存所有数据。经过对模拟输入振动信号的分析处理进行仿真，验证了该风力发电机组旋转机械振动监测软件平台的可操作性，具有进一步开发和完善其现场应用的价值。

引证文献(16条)

1.贾勇.何正友.赵静 基于小波熵和概率神经网络的配电网电压暂降源识别方法[期刊论文]-电网技术 2009(16)

2.刘源.何永勇.陈大融 基于小波熵的空化状态检测与识别[期刊论文]-机械强度 2009(1)

3.申建红.李春祥.李锦华 基于小波变换和EMD提取非平稳风速中的时变均值[期刊论文]-振动与冲击 2008(12)

4.曾庆虎.邱静.刘冠军 小波相关特征尺度熵和隐半马尔可夫模型在设备退化状态识别中的应用[期刊论文]-机械工程学报 2008(11)

5.郭磊.陈进 小波包熵在设备性能退化评估中的应用[期刊论文]-机械科学与技术 2008(9)

6.李冬辉.王波.马跃贤 基于小波熵神经网络的直流系统环网接地故障检测[期刊论文]-电力自动化设备 2008(03)

7.曾庆虎.邱静.刘冠军.谭晓栋 基于小波特征尺度熵-隐半马尔可夫模型的设备退化状态识别方法及应用[期刊论文]-兵工学报 2008(02)

8.曾庆虎.邱静.刘冠军.谭晓栋 小波相关特征尺度熵在滚动轴承故障诊断中的应用[期刊论文]-国防科技大学学报 2007(06)

9.张荣标.胡海燕.冯友兵 基于小波熵的微弱信号检测方法研究[期刊论文]-仪器仪表学报 2007(11)

10.何正友.陈小勤 基于多尺度能量统计和小波能量熵测度的电力暂态信号识别方法[期刊论文]-中国电机工程学报 2006(10)

11.唐贵基.范德功.胡爱军.王誉容 基于小波包能量特征向量神经网络的旋转机械故障诊断[期刊论文]-汽轮机技术 2006(03)

12.唐贵基.范德功.胡爱军.王誉容 基于相对小波包能量特征向量的故障诊断[期刊论文]-煤矿机械 2006(04)

13.李冬辉.王波 基于小波熵的直流系统环网接地故障诊断[期刊论文]-继电器 2006(15)

14.陈小勤.何正友 基于小波熵和小波熵权的电能质量扰动识别[期刊论文]-电力科学与工程 2006(01)

15.冯国涛.刘沃野.高铁路.杨成 机械装备性能衰退趋势预测模型[期刊论文]-兵工自动化 2006(10)

16.陈小勤 基于小波熵测度的电力暂态信号检测与分类方法研究[学位论文]硕士 2006

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zdgcxb200402008.aspx

下载时间：2010年1月24日