

大型烟气机组的全面在线诊断与预测技术研究

胡阳 吴国新 王吉芳

(北京信息科技大学, 机电系统测控北京市重点实验室)

摘要: 通过对大型烟气发电机组发生故障时振动信号特点的分析及现场测试, 利用无量纲振动信号分析技术, 进行故障的长期在线诊断及预测预报技术研究, 并提出了采用声发射技术结合振动分析的方法, 实现了对烟机机组运行状态的全面在线监测诊断与预测。运用表明, 这种混合型的分析方法诊断效果良好, 能满足实际需求, 为大型烟机故障的在线诊断与预测提供了一种可行的新方法。

关键词: 烟气轮机; 振动信号分析; 声发射; 故障诊断; 状态预测

Full-scale Online Diagnosis and Prediction Technology of Huge Stack Gas Turbine Set

Hu Yang Wu Guoxin Wang Jifang

(Beijing Key Laboratory on Measurement and Control of Mechanronic System, Beijing Information Science and Technology University)

Abstract: Based on the feature analysis of vibration signal and the spot test of the huge stack gas turbine set when faults happen, non-dimension parameters diagnosis technology is used for long-period online diagnosis and prediction technology research of the faults. The method which combines acoustic emission technology and vibration analysis is put forward in this paper, and the full-scale online inspection diagnosis and prediction for the running state of the huge stack gas turbine set. The application shows that this combined analysis method has a good diagnosis effect. It can meet practical demands and provide a new available method for the online fault diagnosis and predication of the huge stack gas turbine set.

Key words: stack gas turbine; vibration signal analysis; acoustic emission; fault diagnosis; state prediction

0 引言

在大型旋转机械的实际运行中, 转子的运行规律十分复杂, 往往发生径向或轴向动静碰磨故障, 由此导致机械弯轴、部件损坏等严重后果。因此机组状态在线监测及预测技术的研究, 对保证企业安全生产以及对设备状态维护都具有十分重要的意义。从早期的振动信号诊断技术到近年来的状态监测技术, 已经涌现出很多新的监测及预测方法, 诸如红外线监测、超声波监测, 以及声发射监测等, 为设备状态预测提供了十分重要的判断依据[1]。在线状态监测及预测技术方式取代定期检修方式以后, 做到了有目的的进行检修, 起到了很好的维护、增效作用。

作为电力、石化企业的关键设备, 大型烟气发电机组结构的复杂性、运行环境的复杂性, 其转子系统轴承的早期微弱故障就会导致灾难性的后果, 但是早期故障的振动信号很微弱, 又容易被周围相对幅度较大的低频环境噪声所淹没, 从而无法有效检测出故障的存在。本文主要针对烟气轮机组, 提出了声发射技术结合振动分析的混合型方法监测转子系统的运行状态, 实现了运行状态的全面监测与诊断。振动信号分析法为机组故障预测提供了重要依据; 而声发射技术不仅能够无损监测对象的早期状态, 而且能弥补振动信号分析技术在一些异常状态下(比如动静碰磨状态)的不足, 其相应的监测系统造价也很低廉。

振动信号分析是诊断及监测机械故障的常规方法, 目前已经比较成熟, 并且旋转机械轴系的80%左右的故障可以通过振动信号反映出来。滚动轴承在运行过程中出现的故障按其振动信号的特征不同可分为两大类: 一类称为磨损类故障; 另一类称为表面损伤类故障, 包括点蚀、剥落、擦伤等。轴承振动信号的传递过程如图1所示。

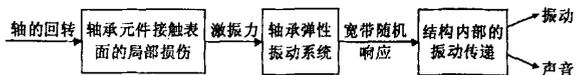


图1 轴承振动信号传递过程

振动信号分析方法很多, 常见的有: 幅值域无量纲处理、频域分析、时域分析、时频域分析等[2]。频域分析方法可以对轴承早期故障进行精密诊断, 直接对轴承信号进行频谱分析, 结合频谱图的频率结构和特征频率的和频及差频分析, 也可以判别出轴承的好坏。由于流体动力噪声及其旋转部件振动的干扰, 仅适宜于简单机械的简单诊断。共振解调法被认为是频域分析法中最有效的一种方法。该方法以轴承系统的共振频率区为监测频带, 振动信号经放大、滤波和解调, 获得脉动冲击的低频脉动信号, 以此作为分析的依据。

这里主要探讨无量纲诊断(non-dimension parameters diagnosis), 它是一种将“无量纲参数”(dimensionless parameters)用于设备故障诊断的技术方法。采用幅值域处理所得到的概率密度函数和概率分布函数, 而无量纲幅域参数只取决于概率密度函数的形状。其无量纲参数诊断指标[3]主要有波形指标 S_f 、峰

1 基于无量纲参数的振动信号分析

值指标 C_f 、脉冲指标 I_f 、裕度指标 CL_f 、峭度指标 K_v 和均方根值 X_{rms} 这五个指标。通过大量的实验及国内众多学者的研究表明, 这些参数指标的敏感性与稳定性比较如表1所示。从表1可以看出, 裕度因子和峭度因子对故障和缺陷有较强的敏感性而对信号幅值和频率变化有较强的稳定性, 因而在前期的在线故障诊断系统中可以采用裕度因子和峭度因子两个指标进行故障信号的幅值域处理。

而无量纲指标由信号的幅值参数演化而来, 无量纲振幅诊断参数定义为如下的形式:

$$\varphi_x = \frac{\left[\int_{-\infty}^{\infty} |x|^l p(x) dx \right]^{1/l}}{\left[\int_{-\infty}^{\infty} |x|^m p(x) dx \right]^{1/m}}$$

其中, x 为幅值; $p(x)$ 为幅值的概率密度函数。则其裕度指标和峭度指标的定义为:

(1) 裕度指标: $1 \rightarrow \infty, m=1/2, CL_f = \frac{x_p}{x_r}$ (=峰值/方根幅值);

(2) 峭度指标的定义为:

$$K_v = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x^4 p(x) dx}{\left(\int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x) dx \right)^2}$$

其中, $p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < +\infty$ 。

表1 量纲为1的幅域参数指标比较

序号	幅域参数	敏感性	稳定性
1	波形指标 S_f	差	好
2	峰值指标 C_f	一般	一般
3	脉冲指标 I_f	较好	一般
4	裕度指标 CL_f	好	一般
5	峭度指标 K_v	好	好
6	均方根值 X_{rms}	较差	较好

把 $p(x)$ 代入 K_v 的表达式, 得

$$K_v = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x^4 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx}{\left[\int_{-\infty}^{\infty} x^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \right]^2}$$

而对于离散序列的轴承振动信号 $(x_i) (i=1, 2, \dots, N)$, 峭度 K_v 的计算式为

$$K_v = \frac{1/N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{\left[1/N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^2}$$

当滚动轴承处于正常技术状态时, 振动信号的概率密度函数接近正态分布, 得到峭度因子的理论值。而当轴承表面损伤时, 会出现冲击脉冲, 从而导致值的上升。根据值的大小就可以把正常轴承和损伤轴承区别开来。为减少不同测试系统的标定误差和不同单位的影响, 并淡化不同工况的影响, 本文将特征参数进行了归一化处理, 即将故障时的特征参数除以同工况下正常时的特征参数, 得到无量纲特征参数(本文为无量纲均方差和无量纲高频能量)。经过归一化处理后的无量纲特征参数, 只对

故障敏感, 这对于变工况下工作的滑动轴承故障诊断更为有利。

2 声发射技术

轴承因过载和碰磨产生声发射信号的机理和特性: 物质内部微粒发生相对运行时, 以、弹性波的形式释放出应变能的现象称为声发射, 也称应力发射。它是一种常见的物理现象, 大多数发射信号的强度很弱, 需要借助灵敏的电子仪器才能检测出来。用仪器检测, 分析声发射信号和利用声发射信号诊断故障的技术称为声发射技术。

2.1 基于参数的声发射信号分析

声发射(AE)技术是20世纪60年代发展起来的一种评价材料力学性能和压力容器完整性的新方法, 其频响范围比振动信号更宽(最高响应频率可达1000Hz), 因此声发射信号的信息量更大, 可以在较宽的频率范围内选择合适的频率窗进行分析。此外测取声发射信号与振动信号一样, 具有方便、无损及在线等优点, 可以对机械设备进行在线监测和故障诊断, 近年来在机械设备的故障诊断领域应用较多[4]。

简化波形特征参数分析方法是广泛使用的经典声发射信号分析方法。与全波形信号分析方法相比, 参数分析法虽然损失了大量的信息, 但是由于它记录速度快, 检测分析的实时性强, 目前在声发射工程检测中得到广泛应用。参数分析的常用经典方法包括参数随时间的变化分析、参数的分布分析和参数的关联分析。常用的分析参数有声发射信号的幅度、能量、计数、事件、上升时间、持续时间和门槛值、RMS值、峭度等, 很多声发射源特性可以用这些声发射特征的统计参量描述, 为工程实际应用带来极大的方便。

对于测试参数的选择, 声发射测量参数就是对一个声发射信号用不同的方法处理, 从不同角度表征声发射信号而获得的一些参数。声发射法进行故障监测诊断有以下主要优点:

特征频率明显, 声发射信号频谱较宽, 而振动信号相对较低, 用声发射的高频信号特性(几万赫兹以上)可有效抑制干扰, 提高检测正确率。

预报故障时间早, 载荷和工作转速完全相同的条件下, 同时用声发射和振动信号监测轴承工作状态时, 由于轴承故障要经过一个慢扩展阶段, 这个阶段还不足以引起轴承明显振动, 而声发射信号已经比较明显, 因而声发射法能早期预报和诊断故障。

2.2 声发射方法在滚动轴承故障定位中的应用

滚动轴承的故障定位可以分为两种: 一是故障在滚动轴承各组成部件中的定位, 如故障产生于外圈、内圈、滚动体、保持架等, 这种定位主要通过故障特征频率来解决; 二是已知故障的发生部件, 通过研究确定故障的具体位置, 如确定磨损故障在外圈滚道上的具体位置。由于滚动轴承内、外圈, 滚动体及保持架发生故障时其故障特征频率不同, 将故障声发射波形信号通过包络分析容易得到故障特征频率, 因此第一种定位方法实现比较简单。

轴承过载和碰磨的声发射在线监测：过载和磨擦产生的声发射波经轴瓦可传到轴承座上，在轴承座上装上声发射转换器，把声发射波转换成电压信号，经导线传至声发射装置进行处理、分析、判断故障原因。如果发生过载或碰磨，则发出声光报警，提醒运行人员进行必要的处理或紧急停机检修。

声发射信号监测还是一种动态监测方法。图2所示为JSZ-1型声发射故障诊断仪用于监测旋转机械动静碰磨故障时的系统图。由于油田注水机组生产具有连续性的特点，对水泵机组的可靠性及可用性有更高的要求。同时，注水机组具有转速高、功率大、动静间隙小的特点，在大庆石油注水站机组上，一直采用了这种监测方法，实际运用下来，起到了明显的效果。用声发射技术监测轴承故障是非常有效的，不仅可由声发射值的大小区分故障的种类及程度，而且能提前发现故障，避免事态扩大。

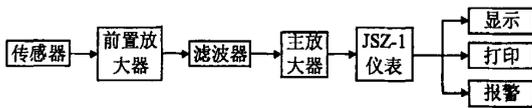


图2 JSZ-1型声发射故障诊断仪系统图

大量的声发射及振动诊断的比较分析工作已经进行[5]，针对承受轴向载荷滚动轴承的早期疲劳故障及其发展过程，认为声发射比振动方法能更早的检测到疲劳故障。声发射方法在监测润滑油清洁程度及其污染颗粒，以及轴承外圈故障等时更有效；同时，由于高频声发射信号传播过程的快速衰减特性，加上滚动轴承结构的复杂性；往往使声发射传感器不能拾取到有用的故障信号，导致测试结果不理想，也存在对测试条件、测试环境、测试参数的选择及测试信号的消噪预处理等环节要求很高的缺点。

与滚动轴承故障振动信号的低频分布相比，声发射信号为数十到数百千赫兹分布的宽带高频信号，而且容易快速衰减，因此要求传感器测试位置尽量接近故障声发射源。由于轴承在运转过程中滚动体与内外圈的滚动接触以及其他旋转部件的相互作用，也会产生声发射信号，相对故障信号，这些作为背景噪声处理，有时背景噪声很大甚至淹没了故障信号，因此声发射信号的降噪处理也是故障诊断的前提。

3 烟气轮机上的应用

烟气轮机是石油化工企业对于催化裂化过程中产生的高温废气能量回收系统的关键节能设施，也是生产中重要的核心设备，因此对它进行状态监测和故障诊断，具有重要的社会意义和经济价值。烟气机组的转子系统是由多跨转子组成的轴系，它由多个径向轴承支承，每个轴承承担一定的负荷。在运行过程中，由于种种原因使得各轴承的载荷发生变化而偏离设计载荷，从而在一定范围内改变了机组的运行稳定性，影响机组的振动特性。针对振动信号分析和声发射信号分析都存在各自的不足，本文提出声发射技术结合无量纲参数振动分析的混合型方法全面监测烟气轮机组的转子系统的运行状态，力图在故障早期进行及时发现和维护。

通过在催化装置两套机组上安装的S8000在线监测系统，捕捉烟气机组轴承部位的实时状态信号。安装S8000系统后的某石化厂三催1#站烟机机组结构和传感器测点位置简化图如图3所示，其中的16个最小矩形块代表传感器测点。同时，将声发射传感器实时信号经过分析处理，根据声发射波在轴承各部位中传播到达传感器的时间差、波速发推出故障发生点距离传感器的位置。考虑到烟气机组转子系统轴承的实际工况及轴承座等的安装要求，鉴于声发射方法的高误报率，无量纲参数振动检测仍然是轴承故障检测的主要手段，声发射方法只能作为振动检测的补充。

在实验室安装的S8000远程监测中心界面上，可以快速、准确地从振动图谱等可视化形式，了解机组的运行状况，对事故状态下的机组运行轨迹、波形记录进行查看，对原始数据进行下载、信号处理及振动特征提取，用于无量纲参数振动信号分析。为使诊断特征参数更加简洁、一目了然，本文又将无量纲特征参数进行数学组合，组成无量纲特征参数群。它包含有时域和频域的能量信息，从不同的侧面反映了轴承的工作状态；对运行工况不敏感，而对故障敏感，适用于变工况下工作的滑动轴承故障诊断；诊断参数简洁明了，数据处理过程简单，诊断成本较低；正常与故障的边界更清晰，更容易识别，可以方便快捷地对故障进行诊断。

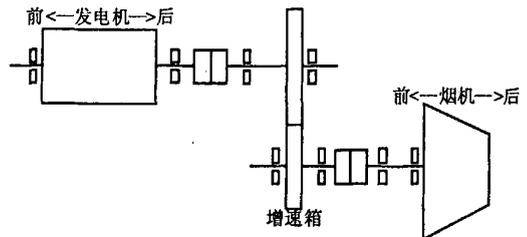


图3 催化站机组结构和传感器测点位置图

系统大部分信号通过振动分析法得出的故障概率是误差小，有效性高，可以直接作为最终结果进行维护操作。而部分混杂振动信号数据通过与同部位的声发射信号数据进行D-S数据融合[6]，然后在利用振动分析法得出更为精确的故障结论。在超低速与早期故障监测中，特别是转子系统中动静件之间发生碰磨时引起的碰磨处动静件弹性应变，声发射参数分析可以很好地克服不平衡、不对中等其他工况或故障因素，能够发挥出灵敏度高，预测能力强等特点。为了减小故障误报率，在同样的状态情况下进行复合诊断，结合两种方法的诊断结果再进行人工判断(在显示、打印、报警模块增加人工操作界面)，从而保证整个系统的全面正常运行。整个在线监测与预测系统方框图如图4所示。

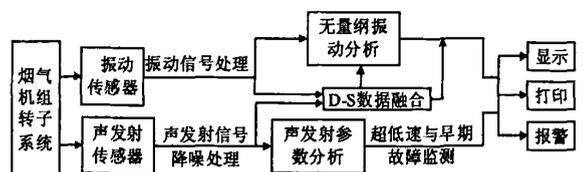


图4 在线监测与预测系统方框图

在利用无量纲诊断准则进行故障诊断时,可设置不同等级的警戒阈值,当被检测状态的无量纲诊断准则数值达到或超过设定的阈值时,系统便自动报警。预警值需要经过大量现场数据的校验得出,可分为低度警值和高度警值。准则略大于预警值时,系统提示性报警,提醒人们注意轴承润滑不良;准则大于高度警值则紧急报警,提醒马上停机,否则将酿成严重事故。当然从第一次报警后应不断地重复报警,提醒人们及早采取措施,最好是通过自动控制系统起作用。具体的警戒限值需根据具体情况确定。

综合了声发射信号分析与无量纲参数振动分析系统,在烟气轮机组的全面在线监测与预测诊断有很高的效率和精确性,应用前景可观。

4 结论

通过理论分析及实际测试结果的分析,本研究采用的无量纲参数振动信号分析法是诊断及监测旋转机械故障的常规方法,能很好的实现在线机组振动的80%的故障特性;而声发射信号监测是超低速与早期发现动静碰磨等常见故障的最有效方法,具有灵敏、快速的优点。本文提出的基于振动信号和声发射信号分析技术对烟气轮机组运行状态进行监测的方法,综合运用以后,为实现烟气轮机组由目前的定期维修逐步过渡到状态维修提供了一种可行的方法,具有很高的应用前景。

参考文献:

- [1] 刘占生等. 转子部分碰磨故障特性分析. 中国振动工程学会故障诊断分会, 北戴河, 1988
- [2] 王肇琪, 付勤毅. 滚动轴承故障的振动监测方法. 有色矿山, 1999
- [3] 杨黎明. 声发射技术用于段修货车轴承故障诊断研究. 西南交通大学硕士学位论文, 2003:4-12
- [4] 秦萍, 闫兵, 华春蓉等. 静载荷滑动轴承接触摩擦故障振动监测与诊断的实验研究. 摩擦学学报, 2004. 24 (4): 364-368
- [5] 郝如江, 卢文秀, 褚福磊. 声发射检测技术用于滚动轴承故障诊断的研究综述. 振动与冲击, 2008. 27 (3)
- [6] 刘永安, 白文宝, 徐保国. 证据理论在旋转机械故障诊断中应用. 计算机测量与控制, 2007. 15 (2)

基金项目: 北京市自然科学基金(3062008)、机电系统检测北京市重点实验室开发项目(KF20071123203)资助

动目标显示雷达模拟器地物回波单元的设计和实现

张鹏^{1,2} 刘忠¹

(1. 海军工程大学电子工程学院 2. 武汉军械士官学校雷达系)

摘要: 在分析了地物杂波回波特性的基础上, 首先设计了动目标显示雷达模拟器的地物回波形成单元的组成方框图。结合方框图, 得出了形成地物回波的基本要素: 同步计数电路、计数比较电路、多普勒调制电路。最后结合雷达自身的特点, 设计了动目标显示雷达模拟训练器地物回波形成单元的基本组成电路, 并将其与雷达联机, 取得良好的效果。

关键词: 动目标显示雷达; 模拟器; 地物回波; 电路

The design and realization of ground echo unit of moving-target indication radar simulator

Zhang Peng^{1,2} Liu Zhong¹

(1. College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering 2. Dept. of Radar, Wuhan Ordnance Non-commissioned officer Academy of PLA)

Abstract: This paper has analyzed the echo characteristics of ground clutters. We designed the block diagram of ground echo unit for moving-target indication radar simulator. Combined the block diagram, we get the conclusion that in order to generate ground echoes we should get three factors: such as the circuit of synchronizer, the circuit of compared counter and the circuit of Doppler modulation. With the characteristics of radar-self, we designed the circuit of ground echo signals. At last, we put the ground echo circuit to work with the moving-target indication radar and get satisfied effects.

Key words: moving-target indication radar; simulator; ground echo; circuit

随着科学技术的飞速发展, 装备制造工艺水平的不断提高, 以前不太重视的地面活动目标显示雷达正逐渐在国防军事和现代化建设中发挥出重要作用。在军事上主要用于地面战场阵地侦察和活动目标显示, 作用的主要对象是武装单兵、坦克、装甲车等。民用上则主要用于边防要所侦察警戒, 打击各种越境走私犯罪活动。由于动目标显示雷达的工作环境复杂, 在该雷达模拟训练器的研制过程中地物回波形成单元的设计显得至关重要。逼真有效的地物模拟, 能训练操作手准确、快速捕捉到活动目标, 达到熟练训练雷达操作员的目。根据雷达的工作原理, 设计并实现了地物回波单元的主要工作电路。

1 地物回波特点分析

地物杂波, 除由人造建筑物所产生的点杂波外, 是一种分布散射现象。这种分布杂波用散射系数 σ_0 来描述。

大型烟气机组的全面在线诊断与预测技术研究

作者: [胡阳](#), [吴国新](#), [王吉芳](#), [Hu Yang](#), [WU Guoxin](#), [Wang Jifang](#)
作者单位: [北京信息科技大学, 机电系统测控北京市重点实验室](#)
刊名: [电子技术](#)
英文刊名: [ELECTRONIC TECHNOLOGY](#)
年, 卷(期): 2008, 45(12)
引用次数: 0次

参考文献(6条)

1. [刘占生](#) [转子部分碰磨故障特性分析](#) 1988
2. [王肇琪](#), [付勤毅](#) [滚动轴承故障的振动监测方法](#) 1999
3. [杨黎明](#) [声发射技术用于段修货车轴承故障诊断研究](#)[学位论文] 2003
4. [秦萍](#), [闫兵](#), [华春蓉](#) [静载荷滑动轴承接触摩擦故障振动监测与诊断的实验研究](#)[期刊论文]-[摩擦学学报](#) 2004(04)
5. [郝如江](#), [卢文秀](#), [褚福磊](#) [声发射检测技术用于滚动轴承故障诊断的研究综述](#)[期刊论文]-[振动与冲击](#) 2008(03)
6. [刘永安](#), [白文宝](#), [徐保国](#) [证据理论在旋转机械故障诊断中应用](#)[期刊论文]-[计算机测量与控制](#) 2007(02)

相似文献(1条)

1. 期刊论文 [王浩](#), [张来斌](#), [王朝晖](#), [段礼祥](#), [梁伟](#), [WANG Hao](#), [ZHANG Lai-bin](#), [WANG Zhao-hui](#), [DUAN Li-xiang](#), [LIANG](#)

[Wei](#) [小波阈值去噪在烟气轮机信号分析中的应用](#) -[西南石油大学学报\(自然科学版\)](#) 2009, 31(2)

由于烟气轮机振动信号中含有大量的噪声成分,常使其非线性特征量的提取不准确,因此将基于阈值的小波去噪应用于烟气轮机振动信号分析中.首先介绍了小波阈值去噪的基本原理、阈值和阈值函数的选择方法,并对阈值函数进行了改进;然后分别对含噪Lorenz信号和实测振动信号进行小波阈值去噪实验,计算了其去噪前、后的关联维数.结果表明,小波分解后,不同尺度上信号和噪声的小波系数的分布规律明显不同,通过对其分析可以合理选择小波分解的尺度;在此基础上对小波系数进行阈值处理并重构,能有效地去除信号中含有的噪声,很好地保存信号的局部特征;去噪后信号的伪相图更加规则,关联维数估计值更加合理.该方法能提高信号分析的准确率.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzjs200812022.aspx

下载时间: 2010年6月22日