

基于全信息模式的旋转机械信息融合方法研究

董辛旻^{1,2}, 韩捷¹, 石来德²DONG Xin-min^{1,2}, HAN Jie¹, SHI Lai-de²

1. 郑州大学 振动工程研究所, 郑州 450002

2. 同济大学 机械工程学院, 上海 200092

1. Vibration Engineering Research Institute, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China

2. Mechanical Engineering School, Tongji University, Shanghai 200092, China

E-mail: xinmindong@zzu.edu.cn

DONG Xin-min, HAN Jie, SHI Lai-de. Study on fusion method of rotary machinery based on full information mode. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(2): 208-210.

Abstract: The information about the movement state of the rotary machinery include the static information and the dynamic information, so the diagnostic result about the machinery will be wrong with only the static information or the dynamic information. The information fusion method of the rotary machinery based on the full information is proposed, and the static information and the dynamic information are fused fully, and the fused information can reflect the true movement state of the machinery. Engineering practice indicates that the fusion method is a new and usable method for rotary machinery fault diagnosis.

Key words: full information fusion; rotary machinery; fault diagnosis

摘要: 旋转机械转子运动状态的截面信息包括静态信息和动态信息, 仅从静态信息或动态信息分析对转子故障进行诊断可能发生误诊。提出的基于全信息模式的旋转机械信息融合方法, 融合了转子的动态信息和静态信息, 能真实全面地反映转子运动状态。工程应用实践表明, 基于全信息模式的旋转机械信息融合对于旋转机械故障诊断是一种新的、较为实用的信息融合方法。

关键词: 全信息融合; 旋转机械; 故障诊断

文章编号: 1002-8331(2008)02-0208-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TH17; TP306; TB53

1 前言

现代大型旋转机械如汽轮机、发电机、压缩机等, 是电力、冶金、石油、化工、机械、煤炭等国民经济支柱产业中的重要设备。随着生产技术发展的需要, 现代化大生产对设备运行监测提出了越来越高的要求, 而振动故障和轴瓦故障是影响设备安全运行的重要因素。本文提出了基于全信息模式的旋转机械融合监测方法, 表达了轴心偏心矢量、振动矢量、进动方向等重要运动状态信息, 可以准确地判断转子预负荷、轴瓦磨损、对中不良、不平衡等多种异常运行工况。

2 全信息融合的基本原理

以 Jeffcot 转子—滑动轴承(轴瓦)系统为考察对象。如图 1 所示。

为了保证信息的完整性, 一般在滑动轴承处安装一对非接触式电涡流传感器^[1]。如图 2 所示。

定义 以轴瓦几何中心 O 为圆心, 以轴瓦和转轴的间隙 R 为半径的圆为间隙圆。

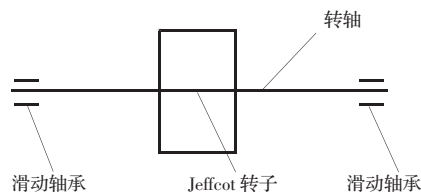


图1 Jeffcot 转子-滑动轴承系统

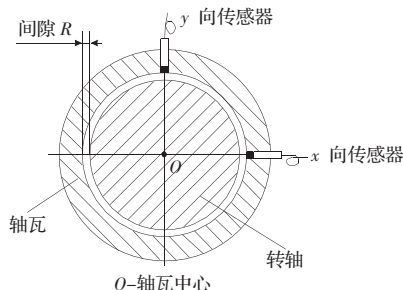


图2 非接触式电涡流传感器安装方式

在转子静止或转速低于某转速值时, 在重力作用下转轴轴

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.50675209); 河南省杰出人才创新基金(No. 0621000500)。

作者简介: 董辛旻(1968-), 博士生, 主要研究方向: 机械设备信息融合及故障诊断; 韩捷(1957-), 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 机械设备信息融合及故障诊断等; 石来德(1938-), 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 机械设备信息融合及故障诊断等。

心处于间隙圆周上的 O_1 处, 如图 3 所示。

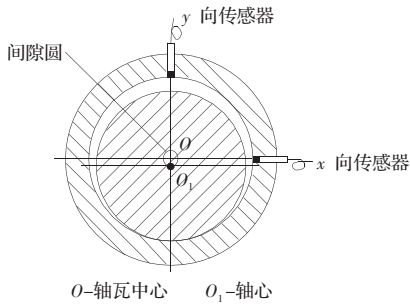


图 3 轴心位置和间隙圆

随着转子转速的不断升高, 在油膜力、偏心力等力的作用下, 转轴被逐渐抬起。在稳态下, 转子在某位置 P (轴心位置) 附近以某轨迹 L 运动, 如图 4 所示^[2]。

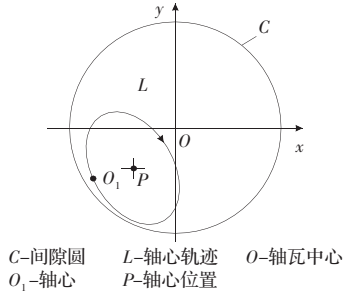


图 4 转子运动

由图 4 可知: 转子的运动状态信息不仅包括轨迹 L 的形状、形态、涡动方向等动态信息, 还包括轨迹 L 在间隙圆中的位置 P (轴心位置) 等静态信息。转子运动的动态信息或静态信息发生了变化, 都反映转子的运动状态发生了变化。因此, 在判断转子故障时应综合考虑转子运动的动态信息和静态信息, 才能得出更加全面、准确的结论。

在转子运动过程中, 转子和传感器的距离是不断变化的, 即传感器的输出为一交流电压信号。转子的振动量 (V_x 、 V_y) 与转子到传感器的距离 (D_x 、 D_y) 相比小得多, 即传感器输出电压的变化量与传感器的输出电压相比在量级上小得多。如图 5 所示。

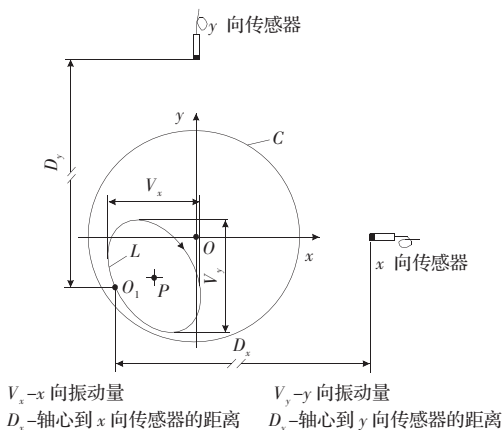


图 5 转子的振动量与转子到传感器的距离

为了保证转子振动量的测量精度, 在目前的实际测量中都是将传感器输出电压分成直流分量和交流分量两部分来处理。直流分量是对传感器输出电压采集多点后的均值, 表示转子在

传感器安装方向上振动的平均位置, 反映了转子运动的静态信息。由垂直安装的两传感器的直流分量可确定转子在正交坐标系中的位置, 即轴心位置, 如图 6 所示。轴心位置分析通过分析轴心位移负荷过大、油温过低、轴瓦磨损、油膜失稳等故障十分有效。但缺少振动矢量、运动轨迹、涡动方向、频谱等动态信息, 也无法判断与动态信息有关的故障^[2]。

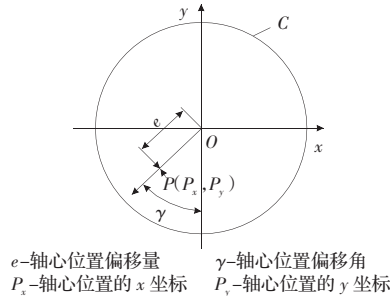


图 6 轴心位置

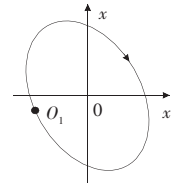


图 7 轴心轨迹

交流分量是对传感器输出电压隔直后采集所得, 是传感器输出电压的变化, 反映了转子运动的动态信息。基于动态信息的分析方法主要有基于单通道信息的时域波形、频谱, 以及基于双通道信息融合的轴心轨迹、全谱、全息谱和矢谱分析等。其中矢谱分析具有频率分辨率高、易于扩展等优点被应用于旋转机械故障诊断中, 取得了良好的效果^[3]。然而基于动态信息的分析方法注重表达转子振动矢量 (包括幅值和相位) 或能量、涡动、频谱等动态信息分析, 适合于分析诊断不平衡、对中不良、油膜涡动等故障^[4], 但无法判断转子在轴瓦内的方位及与之有关的故障。如轴心轨迹分析无法反映转子轴心位置, 如图 7 所示。

基于上述分析, 本文提出了基于全信息模式的旋转机械融合监测方法。该方法将被割裂开的转子静态信息和动态信息重新融合。

由转子动力学理论知: 转子运动的动态信息可表示为由若干简谐运动 ω_i ($i=1, 2, \dots$) 组合而成的稳态涡动^[5], 即:

$$\begin{cases} x = \sum_{i=1}^{\infty} \bar{X}_i e^{j\omega_i t} = \sum_{i=1}^{\infty} (X_{Ci} + jX_{Si}) e^{j\omega_i t} \\ y = \sum_{i=1}^{\infty} \bar{Y}_i e^{j\omega_i t} = \sum_{i=1}^{\infty} (Y_{Ci} + jY_{Si}) e^{j\omega_i t} \end{cases} \quad (1)$$

转子运动的静态信息可表示为点 $P(P_x, P_y)$, 即:

$$\begin{cases} x = P_x \\ y = P_y \end{cases} \quad (2)$$

基于全信息模式的旋转机械融合方法将动态信息和静态信息融合得到转子的实际运动状态方程, 即:

$$V = \begin{cases} x \\ y \end{cases} = \begin{cases} P_x + \sum_{i=1}^{\infty} (X_{Ci} + jX_{Si}) e^{j\omega_i t} \\ P_y + \sum_{i=1}^{\infty} (Y_{Ci} + jY_{Si}) e^{j\omega_i t} \end{cases} = \begin{cases} P_x \\ P_y \end{cases} + \begin{cases} \sum_{i=1}^{\infty} (X_{Ci} + jX_{Si}) e^{j\omega_i t} \\ \sum_{i=1}^{\infty} (Y_{Ci} + jY_{Si}) e^{j\omega_i t} \end{cases} \quad (3)$$

针对动态信息采用了矢谱技术融合可得转子连续频率下的椭圆长轴 R_a (主振矢)、短轴 R_{bi} 、进动谱等^[5-7]。

3 全信息融合的图谱表达

全信息融合图谱更加直观地表达了截面全信息融合结果,包括:轴心偏心矢量、主振矢谱(幅值谱、相位谱)、进动谱、谐波轨迹图等信息,对于旋转机械故障诊断有较高的工程应用价值,如图8为所示。

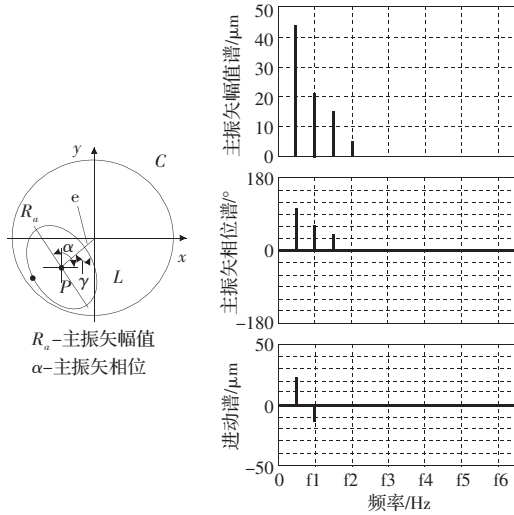


图8 全信息融合图谱

4 工程应用及实例

基于全信息模式的旋转机械融合方法真实地反映了转子运动状态,已应用于多个工程项目中。以某 300 000 kW 汽轮发电机组为例。

由图9、图10可知:转子振动量在允许范围($100 \mu\text{m}$)内,轨迹基本为一规则椭圆,频谱结构主要为1倍频,可诊断为转子存在一定的不平衡,但并不严重。由图11并结合历史数据知转子轴心处于正常位置范围。综合以上分析可得如下结论:转子存在轻微不平衡,可不处理,继续运转。

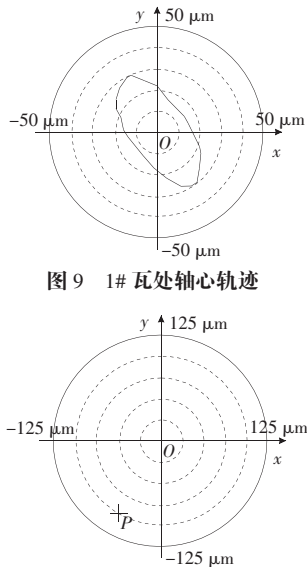


图9 1#瓦处轴心轨迹

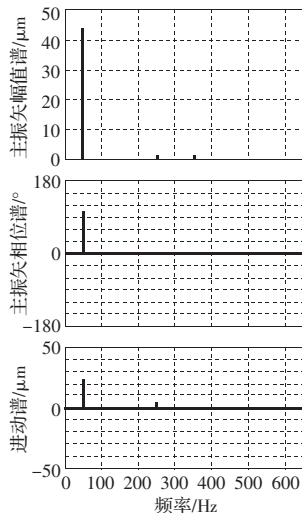


图10 1#瓦处矢谱

由图12可以看出转子轴心轨迹和间隙圆在点S处的间隙过小,存在转轴与轴瓦相互磨擦的隐患。由于即时提前采取了增大润滑油压等措施,避免了一次转子严重损坏事故。

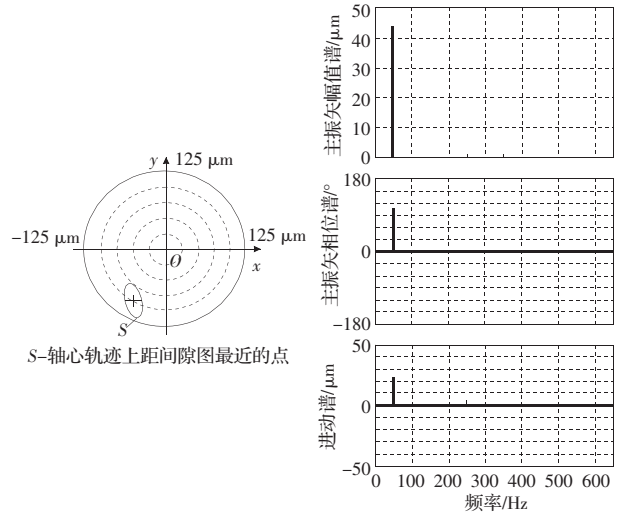


图12 1#瓦处全信息融合

5 结束语

根据上述分析可得出如下结论:

- (1) 旋转机械转子运动信息被人为地割裂开为:静态信息和动态信息,而静态信息或动态信息都不能全面反映转子运动状态,仅以静态信息或动态信息对机组进行故障诊断会造成一定的误诊或漏诊。
- (2) 本文提出的基于全信息模式的旋转机械信息融合方法重新把静态信息和动态信息融合,真实反映了旋转机械的运动状态
- (3) 工程应用实践表明,基于全信息模式的旋转机械信息融合对于旋转机械故障诊断是一种新的、较为实用的信息融合方法。(收稿日期:2007年7月)

参考文献:

- [1] 韩捷,张瑞林.旋转机械故障机理及诊断技术[M].北京:机械工业出版社,1991.
- [2] 王顶辉.汽轮发电机组轴心位置监测及其应用[J].华北电力技术,1995,20(4):29-33.
- [3] 韩捷,石来德.旋转机械的全信息能量谱分析方法研究[J].机械强度,2003,25(4):364-368.
- [4] 钟一谔,何衍宗,王正,等.转子动力学[M].北京:清华大学出版社,1987.
- [5] Muszynska A, Bentley D, Pechiney A. Vibration response of rotor supported in one rigid and one poorly lubricated fluid film bearing[C]//ORBIT, 1996, 17(3):7-9.
- [6] Goldman P, Muszynska A. Application of full spectrum to rotating machinery diagnostics[C]//ORBIT, 1999, 1:17-21.
- [7] 韩捷,关惠玲.矢谱:一种实用的旋转机械故障诊断分析方法[J].机械强度,1998,20(3):212-215.