

振动故障诊断系统中的征兆获取

(华北电力科学研究院英华达公司) 阮 跃

摘 要:分析了振动故障诊断系统中征兆的类型,提出了征兆获取的原则,论述了征兆可信度计算的方法,提高了故障诊断的自动化水平。

关 键 词:征兆获取; 振动; 故障诊断

中图分类号: TH165.3; TP277

1 引言

目前,故障诊断专家系统在旋转机械振动故障诊断中得到了实际应用。故障诊断系统建立在监测系统的基础上,是监测系统发展的必然趋势。现在的监测系统一般具有较强的信号分析功能,但分析结果通常不能被诊断系统直接使用,大多数诊断系统主要使用对话方式获取故障征兆,甚至只能进行对话诊断,使故障诊断的实时性下降,并且需要用户具有丰富的经验和责任心,难以满足现场条件,限制了系统的进一步推广使用。

征兆获取是联系状态监测与故障诊断的桥梁。如果没有强有力的征兆自动获取能力,即使系统拥有大量宝贵的领域专家的经验知识,也不可能对故障进行自动诊断。因此,征兆获取能力是评价故障诊断系统性能的重要指标。本文从故障诊断的角度对振动故障的征兆进行了分类,提出了征兆获取的原则,论述了征兆可信度计算的方法,为得到准确可靠的故障征兆提供了有效途径。

2 振动故障征兆的类型

一般来说,征兆是机组出现的异常现象,如振动增大、轴向位移超过设定值等,从故障诊断的角度来说,征兆是有助于判断故障的各种现象,包括某些正常现象,如振动稳定、轴向位移正常等,因为利用正常现象可以排除某些故障。根据获取方式不同,征兆

可分为两大类:自动获取的征兆和对话获取的征兆。根据性质不同,可以将振动故障征兆分为以下几类。

2.1 瞬时值型征兆

瞬时值型征兆是指征兆是由某一时刻的数据确定的,如转速大于一阶临界转速的两倍以上,振动频谱中一倍频幅值较大,机组带负荷运行等。

2.2 变化率型征兆

变化率型征兆是指征兆是由不同时刻的数据确定的,如转速不变时振幅突然增大,转速不变时一倍频相位逐渐变化,随着负荷增大振动增加等。

2.3 图形征兆

图形征兆是指经过信号分析得到的图形所具有的特征,如波形为正弦波,频谱为枞树形,轴心轨迹为香蕉形等,但不包括趋势分析图形,它表现为变化率型征兆。

2.4 集成型征兆

集成型征兆是指根据同样性质的多个传感器获得的征兆,如转子两侧同方向振动相位基本相同,联轴器两端轴承振动较大等。

3 征兆获取的原则

3.1 故障诊断的需要

征兆获取作为故障诊断的手段,是为故障诊断服务的,不能成为孤立的行为。对于大型旋转机械的振动故障,一般并不表现出明显的特征。如果以实验室典型故障的征兆作为诊断依据,则在现场多数情况下会发生漏诊,而当诊断结果正确时,故障可能已相当严重,达不到故障预防和控制的作用。由于缺乏现场故障诊断经验,有些人想当然地定义了一些征兆获取的方法和阈值,这是不负责任的行为,只能导致系统失败。

3.2 诊断对象的差别

收稿日期: 1998-08-26

作者简介: 阮 跃 (1965-),男,博士,从事故障诊断反问题的研究和专家系统的软件设计。通讯处: 100045 北京复兴门外地藏庵南巷 1号,北京英华达公司

故障诊断是针对特定机组的特定部位而言的,不指定明确的诊断对象,故障诊断是没有意义的。在常见的旋转机械中,压缩机组的转速最高,汽轮发电机组的转速次之,水轮发电机组的转速最低。对于不同类型的旋转机械,振动标准有相当大的差别。即使对于特定的机组,在不同的轴承部位甚至检修前后,允许的振动也是不同的,在征兆获取时需要设定不同的量值。例如,国产 200 MW 汽轮发电机组 1 2 号轴承振动比其它轴承要求严格。因此,征兆获取方法不是一成不变的,需要根据实际情况不断进行调整。

3.3 故障的性质

同样,征兆是针对特定的故障而言的。对于特定的故障,在特定的阶段其征兆表现有强弱之分,判断征兆是正常还是异常的标准应该不同。例如,不平衡振动在转子临界转速附近表现得尤为突出。对于不同的故障,即使征兆的语言表达方式相同,其实质也是有区别的。例如,对于不平衡故障和转子碰摩故障,都存在征兆“振动频谱中一倍频振幅较大”,但它对两种故障的支持程度是不一样的。根据一倍频振幅较大可以判断存在不平衡故障,但只有通频振幅大于动静间隙时才会发生转子碰摩故障。所以,对于不同故障的相同征兆,其可信度要分别计算。因此,脱离特定故障的征兆获取也是没有意义的。

3.4 征兆的组合效应

从征兆出发诊断故障是根据征兆对故障的肯定和否定程度而不是根据征兆与故障的相关程度。有时单一征兆并不能起到肯定和否定的作用。例如,一般情况下油膜振荡表现为小于 1/2 倍频的低频分量,气隙激振表现为大于 1/2 倍频的低频分量,而旋转失速同时表现出小于 1/2 倍频和大于 1/2 倍频的低频分量。如果仅根据某个低频分量就判断为旋转失速故障,则容易将旋转失速故障与油膜振荡和气隙激振故障混淆。因此,当由多个征兆构成故障的必要条件时,不能根据单一征兆确定故障的可信度。

4 征兆获取的方法

征兆获取是完成从数据库中的基本数据到征兆库中的征兆的过程,如图 1 所示。它是先对数据采集和状态监测得到的基本数据进行必要的分析,如对振动数据进行时域、频域和趋势分析等,经过分析转换成特征数据,如通频及各种频率成分的幅值大小,振幅和相位的变化量等,再经过征兆获取程序,计算

征兆的可信度,成为具有可信度大小的征兆事实,提供给系统诊断推理时使用。

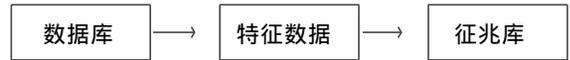


图 1 征兆获取的过程

用于征兆获取的方法很多,如频谱分析、相关分析、频率细化技术等。其中,根据振动故障的特征频率,利用频谱分析结果确定不同频率成分的大小,是目前常用的方法。同时,征兆获取是一门涉及到许多当代前沿科学的应用技术,必须借助现代数学方法,如模糊数学、小波变换和分形几何等,以便得到更多更可靠的可观测、可识别的征兆。

5 征兆可信度的计算

5.1 瞬时值型征兆可信度的计算

可信度既可以用离散的数值表示,也可以用连续函数形式表示。当征兆采用离散化量值时,其可信度非 0 即 1,瞬时值型征兆的可信度计算主要采用这种形式。例如征兆“机组转速大于 2000 r/min”、“机组带负荷运行”、“诊断部位为 1 瓦”、“6 号轴承振动 17~21 Hz 幅值大于一倍频幅值”等,判断它们是否成立只需要和特征数据直接进行比较。

当征兆采用连续化隶属函数表示时,其可信度则是 [0, 1] 之间的值。隶属函数是事物客观存在的模糊性的主观量化。在瞬时值型征兆中,计算各个频率成分大小的可信度主要采用这种形式。例如,在计算不平衡故障的征兆“振动频谱中一倍频幅值较大”的可信度时,在满足通频振幅达到报警值的 80% 以上和一倍频振幅达到通频振幅 60% 以上的条件下,采用了一倍频振幅与通频振幅相对比较的方法,如下式所示。

$$CF(IX) = \frac{A_{(IX)}}{a_i A_{(TX)}} \quad (1)$$

并且当 $CF(IX) > 1$ 时, $CF(IX) = 1$

其中 $CF(IX)$ 是征兆“振动频谱中一倍频幅值较大”的可信度, $A_{(IX)}$ 和 $A_{(TX)}$ 分别是一倍频和通频的振幅, a_i 为小于 1 的比例系数。由式 (1) 可知,在通频振幅不变时,一倍频振幅越大,征兆的可信度也越大,但在一倍频振幅不变时通频幅值的增大将使征兆的可信度降低,系数 a_i 的设置因机组和诊断部位不同而有所差异。

5.2 变化率型征兆可信度的计算

在故障诊断过程中,振动幅值和相位的变化幅

度和变化速率通常是区分相似故障的主要依据。变化率型征兆可信度的计算需要对不同时刻的数据进行处理,因此需要选择若干组数据。选择哪些数据与数据存储方式和待诊断故障的性质有关,一般要求所选的数据应包含故障可能发生的时间和故障可能出现的征兆。征兆可信度的计算通常采用隶属函数形式。例如,在计算部件脱落故障的征兆“转速不变时振幅突然增大”的可信度时,用C语言编制的程序如下:

```
CF(Ai)= 0;
for(i= 1; i < j; i+ )
if(fabs(speed[i+ 1]- speed[i]) < n)
CF(Ai+ 1)= max(CF(Ai), (Ai+ 1- Ai)/Ab);
if(CF(Aj) > 1) CF(Aj)= 1;
```

其中 $CF(A_i)$ 是征兆“转速不变时振幅突然增大”的可信度, j 是所选数据的组数, A_i 是第 i 组数据的通频振幅, n 是对相邻两组数据时刻转速变化量的阈值, A_b 是振幅增加的阈值, n 和 A_b 的设置与设备类型和振动性质有关。程序说明,对于选择的 j 组数据,如果相邻两组数据的转速变化量小于阈值,则计算相邻两组数据振幅增大的可信度,并取其中最大值作为征兆的可信度。

5.3 图形征兆可信度的计算

目前,图形征兆的可信度计算还比较困难,原因是缺少同类设备现场故障的标准图形和有效的图形分析方法。虽然根据分形几何和小波变换方法来获得图形征兆的可信度取得了一定的进展,但精度不够高,不能在实际中应用。一种变通的方法是将图形识别转换为参数识别,利用上述的征兆可信度计算方法。例如,在计算不平衡故障的征兆“波形为正弦波”的可信度时,实质上仍然是计算不平衡故障的征兆“振动频谱中一倍频幅值较大”的可信度。所不同的是即使一倍频幅值很小,但如果占通频的比例较大,波形仍表现为正弦波,反过来即使一倍频幅值很大,但如果占通频的比例较小,波形将出现畸变。在现场诊断不平衡故障时,如果通频振幅较小,判断波形是否为正弦波已没有意义,并且理论意义上的正弦波也是不可能出现的。因此,根据故障诊断的需要,可以要求一倍频振幅在大于某个阈值时,利用类似式(1)计算征兆“波形为正弦波”的可信度。

5.4 集成型征兆可信度的计算

集成型征兆可信度的计算涉及到多个同样性质传感器的数据,并且通常是不同的诊断部位,因此,

它所需考虑的因素一般更复杂。例如,在计算转子一阶不平衡故障的征兆“转子两侧同方向振动相位基本相同”的可信度时,必须考虑轴系中其它转子振型通过联轴器对它产生的影响,以及转子自身二阶、三阶等振型的影响,甚至不同轴承刚度和油膜阻尼等的影响,这样就需要一个非常复杂的表达式。所以这种类型征兆的可信度计算用得较少,只对一些结构较简单和故障特征较明显的征兆可信度进行计算。

6 征兆可信度的考核和实际应用

征兆的可信度是诊断推理的主要依据,因此,它的正确与否直接影响诊断结论的可靠性。为了考核征兆可信度计算方法的正确性,在诊断系统建立后,我们利用收集到的数百个现场发生的故障案例进行了模拟测试,通过调整某些算法得出征兆的可信度,然后利用规则的可信度并根据一定的算法得到故障的可信度,使诊断结果与实际一致。在安装使用过程中,再根据机组的实际情况对某些参数进行调整,使系统真正成为智能型自动诊断系统,成功地诊断出了不平衡、不对中、转子碰摩、汽流激振、部件脱落和旋转失速等故障,取得了较好的经济效益和社会效益。

7 总结

故障诊断专家系统的应用既能给用户带来巨大的效益,也会给用户带来一定的风险。除了要求诊断系统具有大量的领域知识外,征兆获取能力较弱是目前限制振动故障诊断系统应用的主要障碍。本文根据故障诊断的需要,对征兆进行了分类,并且确定了征兆可信度的计算方法,使系统具有较强的自动诊断故障的能力,提高了故障诊断的实时性和诊断结果的可靠性,同时不要求操作人员具有很多经验,减少了人为差错,提高了系统的可接受性。

参考文献

- [1] 阮跃. 振动故障诊断的反问题研究. 华北电力技术, 1998(7): 9-14.
- [2] 黄文虎, 夏松波, 刘瑞岩. 设备故障诊断原理、技术及应用. 科技出版社, 1996.

(何静芳 编辑)

series boilers with standard elliptical heads. Discussed is the difference of perature stress variation among the above-cited boilers, KZL and arch-shaped tube plate boilers. Also presented are the basic structural parameters of DZL series boilers, in the belief that they can be helpful for the further study and development of such boilers. **Key words** boiler, structure, elliptical head, design

回转式空气预热器非接触式漏风控制系统 = **Non-contact Air-Leakage Control System for Rotary Air Heaters** [刊, 中] / Dong Yong, Lu Zhaoda, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1999, 14(5). - 371~ 373

This paper describes a non-contact automatic control system of seal clearance containing fan-shaped plates. It employs Chinese-made high-temperature resistant eddy-current displacement sensors, suitable for use in power stations. Programmable logic controllers are installed to carry out all control functions. In conclusion, given are some results of the system's practical use on work-site. **Key words** air heater, fan-shaped plate, high-temperature displacement sensor, PLC

CAD在工业锅炉房工艺设计中的开发应用 = **The Application and Development of CAD Technology in the Technological Design of Industrial Boiler Houses** [刊, 中] / Wang Yongzheng, et al (Shandong Polytechnic University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1999, 14(5). - 374~ 375, 378

A detailed description is given in this paper of the composition and application of a computer-aided technological design system for industrial boiler houses. **Key words** computer-aided design, application, engineering design

电厂大型风机的故障诊断和整机平衡 = **Failure Diagnosis and Full-Scale Machine Balancing of Power Station Large-sized Air Blowers** [刊, 中] / He Shizheng (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1999, 14(5). - 376~ 378

This paper covers the common types of centrifugal fan mechanical failures, frequency spectrum characteristics and the methods used for their diagnosis and correction. A full-scale machine balancing technology is presented with specific examples cited to illustrate its practical engineering applications. **Key words** fan, mechanical failure, diagnosis, dynamic balancing

DEB的新认识——增益调度控制 = **A New Understanding of DEB- Gain Scheduling Control** [刊, 中] / Yu Daren (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1999, 14(5). - 379~ 381

DEB (Direct Energy Balance) coordinated control system was first initiated by Leeds & Northrup Co. of U. S. A. It represents a kind of coordinated control strategy widely used in China for boiler-turbine monoblock units. After an analysis of the design philosophy and control mechanism of the DEB coordinated control system the authors explained that the DEB system by incorporating the idea of gain scheduling effectively eliminates the variation of dynamic characteristics of a monoblock unit during operating load changes. Hence, it can enhance the monoblock performance under various operating loads. This constitutes a new understanding of the DEB system. Meanwhile, such an understanding is deemed to have great significance for the setting of parameters in the course of DEB system commissioning test. The design philosophy proposed in the present paper may as a useful experience benefit the design of control systems for some relatively complicated nonlinear units. **Key words** monoblock unit, nonlinearity, DEB coordinated control system, gain scheduling control

振动故障诊断系统中的征兆获取 = **Symptom Acquisition in a Vibration Fault Diagnostic System** [刊, 中] / Ruan Yue (Envada Co. under the North China Electric Power Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1999, 14(5). - 382~ 384

An analysis is conducted of the types of symptoms in a vibration fault diagnostic system and the principles of symptom acquisition are proposed. Discussed also are the methods for calculating the symptom cred-