

基于信息和知识集成的汽轮机智能诊断

(哈尔滨工业大学) 阮 跃 孙国滨 徐世昌

[摘要] 在分析了汽轮机故障智能诊断系统中征兆的类型之后,提出了诊断信息集成的策略和诊断知识集成的模型,论述了基于案例、规则和模型的混合推理方法。

关键词 信息集成 知识集成 智能诊断 汽轮机
中图分类号 TP277; TK26

1 引言

在大型汽轮机中安装有数百个测点,为现场人员提供了大量的信息。这些信息复杂多变,不能仅根据几个主要特征量就进行诊断,必须充分利用检测到的各种信息。同时,由于汽轮机故障的多样性和复杂性,不能仅依靠专家的经验 and 单一的推理方法,需要将多种诊断知识和多种推理方法集成到智能诊断系统中。本文对汽轮机故障征兆信息进行了适当的分类,提出了信息集成和知识集成的方法,深入论述了基于案例、规则和模型相结合的混合诊断推理等,为提高故障诊断结论的准确率,提高故障诊断的智能化和自动化水平提供了可靠保证。

2 诊断信息的类型

诊断信息是利用传感器和其他方式获得的数据和说明,即通常所说的初始征兆。狭义上讲征兆是机组出现的异常现象,广义上讲征兆是有助于判断故障的各种现象(包括某些正常现象)。在故障的智能化诊断方法中,总是从广义上理解,这时征兆也称为事实或证据。根据性质不同,我们将汽轮机故障征兆信息分为以下几大类:

2.1 振动通频幅值及其变化率以及各类慢变参数大小及其变化率

根据国内外有关标准和机组运行规范,对启停机过程和稳态运行时各轴承振动通频幅值及其变化率,大轴晃动度、上下缸温差、金属温度、轴向位移和胀差等的大小及其变化率进行了量化,设置了预警值和报警值。

2.2 频率区间

根据 200 MW 机组常见振动故障的特征频率,从既防止漏诊又避免误诊的角度,将频率区间分为小于 17 Hz, (17-21) Hz, (22-35) Hz 以及 1X, 2X, 3X 和大于 3X, 对它们的绝对大小和相对比值设置了预警值和报警值。这样,当机组的通频幅值没有超限而频率出现异常时也能及时发现和诊断。

2.3 启停机过程中振幅与转速的关系

随着转速变化,不平衡激振力改变,并可能使油膜失稳,例如转速升至某一值时振动突然增大,过临界转速时振动较以往增大等。

2.4 稳态运行时振幅与负荷的关系

随着负荷的变化,轴承座出现不同程度的膨胀,使机组的对中和动静间隙改变,并可能引起汽流激振和转子碰摩等,例如负荷升至某一值,振动突然增大,负荷改变,振动逐渐增大或逐渐减小等。

2.5 振幅与其他因素的关系

影响振幅大小的因素很多,除了转速和负荷外,还有真空度、顶轴油压、进油温度和回油温度等。

2.6 图形形状

目前对振动信号进行分析得到的各种图形一般难以自动识别,主要依靠对话获取,如波形图、频谱图、轴心轨迹图、波德图、奈奎斯特图、瀑布图等。

2.7 机组背景知识

背景知识是指机组的结构和功能参数,以及机组的运行、检修历史和曾发生的故障等,如轴系临界转速、轴承类型,是否是新机组,是否大修后启动等。

2.8 现场能听到的声音和看到的异常现象等

某些感性知识计算机无法自动识别,需要通过人机对话方式获取,如现场有时能听到金属摩擦声,管道内有水击声;有时能观测到油压剧烈摆动,轴封处冒火花等。

3 诊断信息的集成

诊断信息的集成是指协同使用不同信息源所提

供的信息,主要是指将多个同样性质的传感器信息集成为一个信息。目前信息集成的方法有:利用传感器模型和贝叶斯方法的假设检验,利用性能和成本标准的估计,利用贝叶斯方法的成本估计等。这些方法虽然能够有效地利用传感器,但系统性能过分依靠传感器性能,如果传感器失效,可能导致整个系统性能的破坏。为了适应汽轮机故障诊断的需要,我们提出并实现了如下的诊断信息集成策略:

3.1 同一部位多传感器信息的集成 如相距很近的两个温度测点,如果读数相差较小,则用平均值代替该处温度;同一截面不同方向的两个测振传感器,根据矢量合成原理得到同频振动的幅值和相位。

3.2 单跨转子和联轴器两端传感器信息的集成 如转子存在一阶不平衡表现在单跨转子两侧同方向振动相位基本相同,联轴器不对中表现为联轴器两端振动较大等,在处理时采用模糊数学的方法进行比较计算。

3.3 轴系不同部位的传感器信息的集成 如因为高压转子比低压转子质量小,振动要求严格,靠近发电机侧转子受电磁干扰二倍频较大,汽流激振的低频分量要从高压转子向后传递等,在阈值设定和计算征兆可信度时从整个轴系统筹考虑。

3.4 与锅炉和发电机有关的诊断信息的集成 汽轮机发生故障的原因除了自身的因素外,还有电站各子系统之间的相互影响。如锅炉燃烧不稳对汽轮机膨胀的影响,电网低周波运行对叶片疲劳的影响等。这些影响因素在故障诊断时必须加以考虑。

4 诊断知识的集成

诊断信息需转化成诊断知识才能提供智能诊断系统使用。诊断知识有各种分类方法,例如,根据存在方式的不同可分为公有知识和专门知识;根据在问题求解过程中所起的作用不同可分为事实、规则及策略(元规则);根据对事物认识的层次不同可分为深知识和浅知识等。这里所说的诊断知识是指直接用于故障诊断的案例、领域专家的经验知识(规则)和深知识(模型)等。案例是经过精心组织的机组历史上曾经发生过的故障;规则是领域专家处理实际问题的经验总结,反映征兆与故障之间的因果关系;故障模型是根据机组的结构、原理等故障机理

研究设定的故障的可能模式。诊断知识的集成是指将这些知识组合在一起,放在统一的知识库中,如图 1 所示。

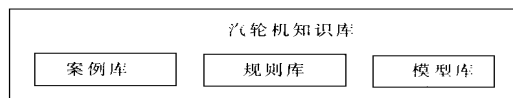


图 1 汽轮机故障诊断知识的集成

5 基于案例、规则和模型的混合诊断推理

诊断信息和诊断知识集成的目的是为智能诊断系统提供丰富可靠的知识。与诊断知识的集成相适应,可利用基于案例、规则和模型的方法进行诊断推

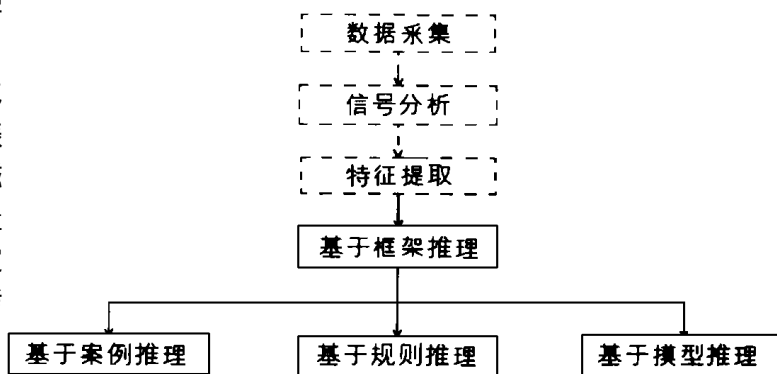


图 2 基于案例、规则和模型的混合推理框图

理,实现混合诊断推理策略,以达到最佳诊断结果。诊断推理流程如图 2 所示。

诊断系统先对采集的数据进行分析,如对振动数据进行时域和频域分析,对慢变信号进行趋势分析等,经过分析转换成征兆信息,再经过征兆获取程序,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。根据信号分析结果首先进行基于框架的推理,确定故障的类型,启动相应的故障诊断模块。然后先搜索案例库,如对诊断结果不满意或没有结果,再搜索规则库,若仍对诊断结果不满意或没有结果,再搜索模型库。从理论上讲,只有模型是完善的,总会得到诊断结论。一般来说,如果对某种诊断结果满意则可结束诊断,但只要时间允许,一般总是推理到最后的模型知识库,以便对诊断结果进行相互比较。如果不同推理方法得到相(下转第 284 页)

3 计算结果及算例和经济性比较

3.1 计算结果图例

图 2 为混合整数优化模型模拟的优化控制模式
下蓄冰空调的运行状况。图 3 为常规制冷机优先运行模式。制冷机设定为三台,冷需求高峰时不足的冷量由蓄冷器放冷承担。这样在设计日负荷正好由三台制冷机和蓄冷器全部蓄冷量来共同承担。如 6 月份优化运行日费用为 529 元,而传统运行费用为 868.2 元

3.2 经济分析比较

一个月运行费用与原来传统比较,如表 2

表 2 各月运行经济性对比

月份	优化运行费(元)	传统运行费(元)	节约百分比(%)
5月	7 870	19 446	59.1
6月	15 870	26 046	39.1
7月	21 283	28 663	25.3
8月	21 661	27 868	23.2
9月	20 400	27 308	25.3
10月	13 570	21 607	48
总计	100 654	150 948	33.2

在上例中,考虑了有 5% 的余量,使优化的经济性更加明显。对于上述蓄冰空调工程,采用优化运行模式,其运行费用可以降低 30% 左右。由上可见,运行优化控制对蓄冷空调系统的经济性影响很大。

参考文献

- 1 Carey C. The control of ice storage system. ASHRAE J. May 1995
- 2 Musgrove D. ISTORE - A model to simulate and optimise the operation of Ice storage system. Int. J. Energy Research, 1990, 14: 199~ 208

- 3 Stethmann D. Optimal control of cool storage. ASHRAE Trans. 1989. 95(1)
- 4 孙德敏. 工程最优化原理与应用. 中国科学技术大学出版社, 1991
- 5 钱迪顺. 运筹学. 清华大学出版社, 1995
- 6 余光宝. 中央空调蓄冷系统工程最优化. 中国科技大学硕士论文, 1996 (复 编)

新型 B²P 核反应堆设计在建造中

据 “Modern Power Systems” 1997 年 2 月号报道,俄罗斯已在圣彼得堡附近的 Sosnoy Bor 开始了新型核反应堆的建造工作。该核电机组——B²P-640(水水动力反应堆)是基于新设计的水减速反应堆。

俄罗斯原子能部长说,新设计比以前的设计更安全,并强调俄罗斯核电站一直属于世界上最安全之列。

俄罗斯也继续努力改进 B²P-1000 型水水动力反应堆和 B²H-1000 型快中子增殖反应堆。

另一个项目是被称为 HTGR 的直接气体循环核反应堆(高温气冷石墨减速反应堆),也在进行工作,使 KTL-40 反应堆用于破冰船上,作为浮式电站。(思娟 供稿)

(上接第 281 页) 似的诊断结果,则诊断结果比较可信;如果不同推理方法得到的诊断结果相差较大,则需要对诊断结果进一步进行分析,这时可以选择基于模型的诊断结果或可信度较大的诊断结果进行更精密的诊断。

基于案例的诊断推理最接近人类的思维方式,诊断结果易于理解和接受,但容易将表面相似现象看做本质相似,导致误诊断。基于规则的诊断推理能对一类故障迅速作出判断,根据诊断规则能对诊断结果进行解释,对故障提出相应的处理措施,但对规则以外的情况无能为力。基于故障模型的诊断推理能够将深知识和浅知识结合起来使用,对于缺乏案例和诊断经验(规则)的故障能起到预见作用,能够诊断系统中从未发生过的故障,但模型的建立比较困难。采用混合诊断推理的优点是能充分发挥各种诊断方法的优势,克服各自存在的不足,最大限度地

找到问题的解。如果在案例推理或规则推理时不成功,则并不象传统诊断系统那样导致推理失败,可立即启动其它诊断模块继续进行推理。

参考文献

- 1 阮跃,徐世昌,黄文虎. 汽轮机故障诊断专家系统的知识获取. 中国电力, 1997, 30(2): 11~ 13
- 2 屈梁生,孟建. 机械故障诊断技术与当代前沿科学. 全国设备诊断技术学术会议论文集,武汉, 1995 9~ 13
- 3 袁楚明,周祖德,胡文彬,余彬海. FM S 智能诊断的信息集成和知识集成. 华中理工大学学报, 1996, 24(4): 36~ 38

作者简介 阮跃,男,1965年生,1994年毕业于哈尔滨工业大学,获硕士学位,现为哈尔滨工业大学一般力学专业博士研究生,从事大型旋转机械状态监测和故障诊断专家系统的研制工作,已发表论文十余篇,参编论著一部,获部级科技进步二等奖一项。联系地址: 150001 哈尔滨工业大学 137信箱 (复 编)

基于信息和知识集成的汽轮机智能诊断 = Intelligent Diagnosis of Steam Turbines Based on Information and Knowledge Integration [刊,中] / Ruan Yue, Sun Guobin, Xu Shichang (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). 280~ 281, 284

After an analysis of the types of symptoms in a steam turbine failure intelligent diagnostic system this paper presents the strategies of diagnostic information integration and a model for diagnostic knowledge integration. Expounded is a mixed reasoning method based on case examples, rules and models. Key words information integration, knowledge integration, intelligent diagnosis, steam turbine

中央空调蓄冷系统运行优化控制模式 = Optimized Control Mode of a Central Air-conditioning Cold Storage System Operation [刊,中] / Yu Guangbao, Liu Zhenyan, et al (China National University of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 282~ 284

The authors present a brief description of the current technical operation level in cold-storage air-conditioning cold discharge process along with an analysis of its deficiencies. With the aid of systemized knowledge proposed is a new mathematical model for an optimized operation. A method for problem solving and also optimized results are given and the economics of an optimized operation control mode is analyzed. On this basis a more detailed analytical study is conducted of the possible approaches for the further improvement and development of the operation optimized model. Key words cold storage air conditioning, cold discharge operation, optimized control, mode

燃气轮机发电机组注蒸汽后温控系统的适应性研究 = A Study of the Adaptability of the Temperature Control system after Gas Turbine Generator Steam Injection [刊,中] / Li Weishun, Lin Feng, Hou Yuhui (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 285~ 287

In connection with a practical machinery unit and through theoretical analysis and off-design condition calculation an analytical study is performed of the adaptability of the gas turbine temperature control system after steam injection. The study results show that following the steam injection the original temperature control system can not only ensure the reliable operation of the gas turbine, but can also contribute to the lengthening of the gas turbine life. Key words steam injection, temperature control system, overtemperature

锅炉单相受热面动态静态特性通用计算方法 = A General Calculation Method for Dynamic and Static Characteristics of Boiler Single-phase Heating Surfaces [刊,中] / Wang Guangjun, Wang Weiran, et al (North-east China Institute of Electrical Power Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 288~ 290

Based on a fluid microelement tracking calculation method the authors have come up with a general method for calculating the dynamic and static characteristics of a boiler single-phase heating surface thermodynamic process. With the help of this calculation model it is possible to not only analyze the dynamic process of the boiler single-phase heating surfaces but also perform the static verification computation of the said heating surface thermodynamic characteristics. In addition, it can also very conveniently determine the dynamic and static distribution status of the boiler single-phase heating surface thermodynamic parameters. Key words boiler, dynamic characteristics, static characteristics, calculation method

采暖锅炉计算机监控、管理系统 = A Computer-based Monitoring and Management System for Heating Boilers [刊,中] / Lu Zehua, Xu Xiangdong, Cao Renfeng, et al (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 291~ 294

The present monitoring system features a convenient quick-action operating platform and a fair man-ma-