

# 旋转机械故障诊断专家系统的设计和实现

(华北电力科学研究院英华达公司) 阮 跃

[摘要] 根据故障诊断反问题的研究成果,利用 Visual C++5.0 编程环境,设计了旋转机械故障诊断专家系统。论述了系统的设计思想以及系统实现的理论和技术,介绍了系统的功能、特点和应用情况。

关键词 故障诊断 专家系统 旋转机械

中图分类号 TP277

## 1 引言

目前,应用专家系统进行故障诊断已成为旋转机械故障诊断的重要发展方向。在现场应用的诊断系统中,除了从国外引进的以外,国内一些高等院校和单位,如华中理工大学、哈尔滨工业大学、西安热工研究所、辽阳石油化纤公司和北京英华达公司等也开展了这方面的工作,取得了一定的成效,但还不能满足用户的实际需要。因此,以 Windows 95 作为开发平台,利用 Visual C++5.0 编程环境研制了适合我国国情的旋转机械故障诊断专家系统,该系统能够自动诊断常见的故障并具有良好的使用性。

## 2 系统的设计思想

故障诊断专家系统的本质是模拟领域专家解决问题的方式对诊断对象存在的故障进行诊断。它需要以科学的诊断理论为指导,先进的计算机技术为手段,达到内容和形式的统一。因此,我们的设计思想是:

2.1 实用性 应当根据诊断对象的不同建立拥有大量经验知识的诊断知识库,并尽可能让计算机去处理复杂的数据,获取故障的特征,具有较强的自动诊断能力,提高故障诊断结果的准确率,减轻对用户操作水平的要求。

2.2 灵活性 系统应提供功能丰富的菜单,各功能模块之间切换方便,使系统的诊断推理过程能够真

正模拟领域专家进行故障诊断的思维过程。

2.3 通用性 由于旋转机械的类型比较多,故障的原因和特征有很大差别,在保证系统诊断结果正确性的前提下,应能适应不同诊断对象的需要。

## 3 系统实现的理论和技术基础

故障诊断学作为一门交叉性的边缘学科,还处在发展成熟中。它广泛利用了各学科的基本理论,根据不同诊断对象的需要进行改造,形成了不同的诊断理论,体现在故障的特征提取和诊断推理过程中。故障特征的提取通常是设计选择一个合理的隶属度函数。由于故障与征兆之间不存在简单的一一对应关系,因此,同样的征兆对诊断不同的故障可能起不同的作用。另外,由于故障的特征表现有时并不明显,并可能受到噪声信号的干扰,有时需要寻找到故障表现出来的微弱的特征信号,有时需要剔除不真实信号的干扰。

故障诊断是从征兆出发,去分析故障发生的原因,是从果到因的求解过程,是反问题,与从因到果的正问题求解过程不同,不能直接利用模糊关系矩阵求解。作者根据征兆对故障的肯定和否定程度,提出了模糊筛选矩阵,建立了正确的故障诊断数学模型,从诊断理论上保证了故障不会发生误诊和漏诊。

随着计算机技术的发展,诊断的自动化是故障诊断的发展方向。运行在 Windows 95 操作系统的 Visual C++5.0 编程环境有两大特点:一是可视化编程,另一个是面向对象。可视化使 WINDOWS 编程变得非常直观,而基类库又使面向对象的程序编程变得非常简单。它提供功能强大的向导工具来简化 32 位应用程序的开发,并且程序执行速度很快,能够满足故障诊断实时性的需要。因此,我们选择 Visual C++5.0 作为系统的开发工具。

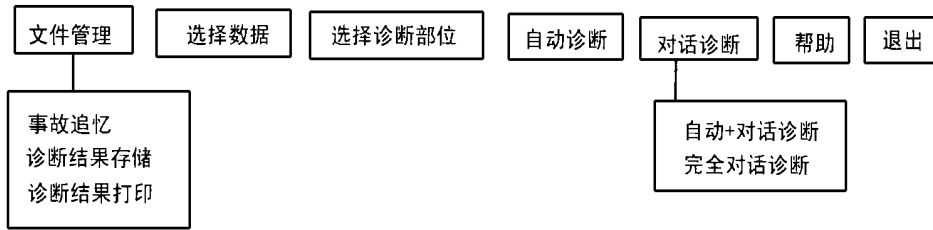


图 1 故障诊断专家系统主菜单

### 4 系统的功能

故障诊断专家系统的主菜单如图 1 所示, 系统的主要功能如下所述。

#### 4.1 自动诊断

由计算机自动对数据进行分析并完成整个诊断推理过程。系统能够对常见的不平衡、不对中、转子

碰摩、油膜振荡、汽流激振、部件脱落、轴承损坏、松动、旋转失速和喘振等故障进行诊断, 并给出诊断结果的可信度、诊断结果成立的依据和故障的处理意见等。图 2 是某电厂 200 MW 机组启动定速时 4 瓦垂直方向轴相对振动的波形和频谱图, 表 1 是自动诊断结果。在因励磁机轴承故障停机后, 在 3、4 号轴承处对转子进行了动平衡, 再次启机后振动明显下降。

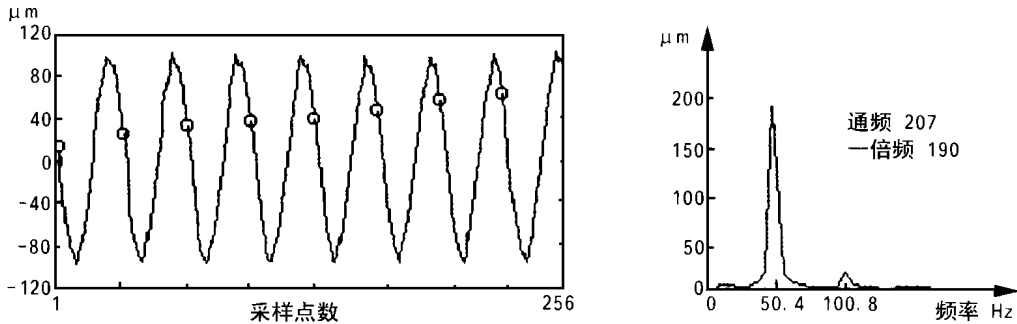


图 2 200MW 机组振动的波形和频谱图

表 1 不平衡故障自动诊断结果

诊断对象: 某电厂 200MW 机组		
诊断部位: 4 瓦垂直方向		
机组转速: 3025 r/min		
被分析数据的日期: 98 02 20-13: 53: 59		
1. 自动诊断结果		
序号	故障名称	可信度
1	不平衡	1. 0
2. 对诊断结果的解释		
不平衡故障是根据以下征兆得出的:		
振动频谱中一倍频振幅较大	可信度 1 00	
3. 故障处理意见		
对不平衡故障的处理意见:		
检查是否存在不对中和松动等故障并加以消除。		
根据不平衡的部位和性质进行动平衡。		

#### 4.2 对话诊断

对话诊断有两种形式。一种是自动诊断后再选择对话诊断, 根据实际情况既可以给定需要对话获

取的征兆的可信度, 也可以对自动获取的征兆可信度进行修改。另一种是启动系统后直接选择对话诊断, 要求所有的征兆均依靠对话获取, 这是完全对话诊断方式。利用这种方式, 既可以对已知故障特征的机组进行故障诊断, 也可以用已知的故障案例考核知识库和诊断推理过程的正确性, 还可以对缺乏诊断经验的现场人员进行故障诊断模拟培训。

#### 4.3 历史数据的诊断

如果不加选择, 诊断时默认为在线数据, 但仅根据在线数据能够得到的信息有限, 有时很难确定故障的性质。因为故障一般有一个发生和发展的过程, 征兆需要经过一段时间才能表现出来。利用历史数据, 系统既能够确定机组以前的状态并与当前状态进行对比分析, 也能够自动地判断振幅和相位的变化规律等, 从而极大地提高了诊断结果的准确

率。图 3 是某化肥厂 105J 机组检修后启动时高压涡轮入口水平方向轴相对振动趋势图,表 2 是自动诊断结果。揭缸检查发现进气口被两团棉花阻塞。抢修后重新启机,振动恢复正常。

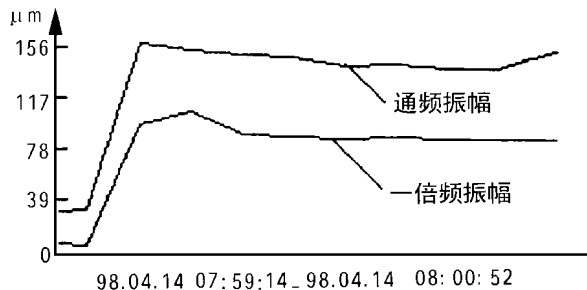


图 3 105J 机组启动过程中振动趋势图

表 2 转子失衡故障自动诊断结果

诊断对象: 某化肥厂 105J 机组	
诊断部位: 高压涡轮入口水平方向	
机组转速: 4 964 ~ 5 335 r/min	
被分析数据的日期: 98 04 14-07: 59: 14-98. 04 14-08: 00: 52	
1 自动诊断结果	
序号	故障名称 可信度
1	转子失衡 0.87
2 对诊断结果的解释	
转子失衡故障是根据以下征兆得出的:	
振动频谱中一倍频振幅较大	可信度 0.89
转速不变时振幅突然增大	可信度 1.00
3 故障处理意见	
对转子失衡故障的处理意见:	
清除附在转子上的粘着物。	
更换或补上脱落的部件,必要时进行动平衡。	

#### 4.4 选择诊断部位

如果不加选择,系统诊断时默认为振幅最大的部位。一般情况下振幅最大的部位就是故障部位,但由于机组机构的复杂性和故障传播的影响,有时振幅不是最大的部位却是故障发生的部位。

#### 4.5 诊断结果的存储和打印

系统能够自动存储自动诊断结果,同时可以根据需要存储对话诊断结果,并能够随时将故障诊断结果打印出来。

#### 4.6 事故追忆

系统能够对不同时刻机组出现的故障进行对比分析,以便了解故障发生和发展的演变过程。

#### 4.7 帮助

在系统运行的任何时候,只要按下 F1 键,均可激活帮助文档,得到相应操作方法的说明。并且向用户提供了极有参考价值的信息,如典型故障的信号分析图形、故障案例、常见故障处理方法、名词解释、论文选编和振动标准等。

### 5 系统的主要特点

- 5.1 诊断理论科学,保证了诊断结果的可靠性。诊断技术先进,并且界面信息全部汉化,对用户非常好。
- 5.2 建立了适用于汽轮发电机组、水轮发电机组和压缩机组的故障诊断知识库,诊断信息量大,实用性强。
- 5.3 可用于在线诊断或离线诊断,并可根据用户需要进行自动诊断或对话诊断,特别是其强大的征兆自动获取能力,提高了故障诊断的实时性,缺少诊断经验的人员也能够取得领域专家水平的诊断结果。
- 5.4 提供了强大的帮助功能。在系统运行过程中,用户可以随时得到相关操作的帮助信息,并且通过对内容的丰富帮助文档的学习,可以加深用户对故障机理和故障诊断技术的了解,适应知识不断更新的需要。

### 6 结语

旋转机械故障诊断专家系统的设计是一项复杂的系统工程,需要对故障机理、故障诊断技术、人工智能专家系统原理和计算机技术等有深刻的了解并能综合运用于实际。科学的诊断理论和先进的计算技术的完美结合,使我们研制的系统具有极强的诊断能力。通过现场数据测试表明,系统具有较强的智能行为,能够起到现场专家顾问的作用。它的生命力将在系统的推广应用中得到更加充分的体现并在实践中不断得到完善。

#### 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 木林森, 高峰霞, 奚红宇. Visual C++ 5.0 使用与开发. 清华大学出版社, 1997

作者简介: 阮跃, 男, 1965 年生, 1997 年毕业于哈尔滨工业大学, 获博士学位, 同年进入哈尔滨建筑大学力学博士后流动站。目前主要从事故障诊断反问题的研究和专家系统的软件设计, 已发表论文 20 余篇。通讯地址: 100045 北京复兴门外地藏庵南巷 1 号北京英华达公司, 电话: (010)68026253

(静 编)

Electric Power Testing Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

Through the experimental research of main operating parameters of a dual air-register burner boiler, which have an effect on combustion, the authors have identified the variation relationship between boiler economic performance and such factors as oxygen content, primary air flow rate, various damper openness of the burners, and coal pulverizer feed rate, etc. The optimized selection of the above-cited parameters results in a significant enhancement of the boiler operating efficiency. The test results can serve as practical reference data for analogous boilers. **Key words:** dual air-register burner, combustion parameters, optimization, economic performance

四角燃烧煤粉锅炉稳燃技术的分析与应用 = **Analysis and Application of Stable Combustion Technology of a Tangentially Fired Pulverized-Coal Boiler** [刊, 中] / Qiu Jihua, Chen Gang, et al (National Key Laboratory of Coal Combustion under the Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

With respect to the combustion stability features of pulverized coal-fired boilers a variety of measures are proposed to achieve the stable combustion of pulverized coal. Categorized into four aspects, such measures are based on a pulverized coal burner of stable combustion type, dense-sparse pulverized coal combustion, proper consideration of the effect of secondary air on the primary air ignition, and a tangential circle formed in the boiler. The results of application of these measures on 670 t/h, 420 t/h and 220 t/h boilers are also presented in the paper. **Key words:** boiler, combustion, stability, pulverized coal

旋转机械故障诊断专家系统的设计和实现 = **The Design and Implementation of a Rotating Machine Failure Diagnosis Expert System** [刊, 中] / Yuan Yue (Yinhuada Co. under the North China Electric Power Scientific Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

On the basis of the research results of a failure diagnosis inverse problem a rotating machine failure diagnosis expert system has been designed by utilizing Visual C++ 5.0 programming environment. Expounded are the system design philosophy as well as the theory and technology for its implementation. Also presented are the system functions, specific features and some results of application. **Key words:** failure diagnosis, expert system, rotating machine

锅炉过热汽温的预测智能控制 = **The Prediction and Intelligent Control of a Boiler Superheated Steam Temperature** [刊, 中] / Liu He, Xu Yuxin, et al (North China Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

In the light of a great hysteresis and inertia specific to boilers presented in this paper is a new type of control method. Under this method a future process output is first predicted. Then, on the basis of existing deviations and predicted output change trends a corresponding control intensity can be selected by simulating the human control thought. When used on a superheated steam temperature control system the simulation results show that the control quality achieved is superior to that of a conventional control method. Furthermore, it also features a relatively high robustness. **Key words:** superheated steam temperature, forecast, intelligent control

循环流化床烟气脱硫的实验研究及其数学模型 = **Experimental Study of Circulating Fluidized Bed Flue Gas Desulfurization and its Mathematical Model** [刊, 中] / Wu Yinghai, Huang Zhen, Li Daji (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

The authors have set up a flue gas desulfurization test rig for a circulating fluidized bed. On the basis of increased moisture reaction mechanism established is a mathematical model for the circulating fluidized bed flue gas desulfurization. The calculated results of the model were compared with test ones. It is shown that the model can relatively well reflect the variation relationship between the desulfurization efficiency, water spray quantity and Ca/S ratio. **Key words:** circulating fluidized bed, flue gas desulfurization, mathematical model