

机械故障诊断学的理论及其应用

第六讲 计算机辅助监测与诊断

Topic 5 Computer Aided Monitoring and Diagnosis

(东南大学机械系 设备与系统故障诊断研究所, 210096)

摘要 本文以某汽轮压缩机组为例给出大型机械设备计算机辅助监视诊断系统的构造和功能, 利用所提出的系统结构框架及技术措施, 可以十分方便地设计其它工程系统。最后阐述了大型机器设备监视诊断系统尚待解决的问题。

关键词: 计算机, 实时监测, 远程诊断

本讲座前五讲阐明了工况监视与故障诊断的一般原理和通用诊断技术, 为了能更具体地了解一个监视诊断系统的结构全貌及发展方向, 本章首先以汽轮压缩机组为例, 说明大型机械设备监视诊断系统的构造和功能。由于汽轮发电机、压缩机组运行状况比较复杂, 它的监视诊断系统覆盖学科面广, 具有代表性, 使读者能全面地了解监视诊断系统的要求。利用这里提出的系统结构框架及技术措施, 可以很方便地设计其它工程系统, 如机械制造过程的监测诊断系统。最后阐述了机械故障诊断系统尚待解决的问题, 作为今后的研究方向。

1 汽轮机压缩机组工况监视与故障诊断系统实例

以某工厂的汽轮压缩机组为例, 它共有四级, 呈 *H* 型布置, 分别由一台汽轮机和一台膨胀机驱动, 见图 1 所示。共由 9 根转子, 18 个轴承, 其中 3 根转子由联轴器联接, 其余转子通过齿轮啮合。共有 6 个不同的转速。

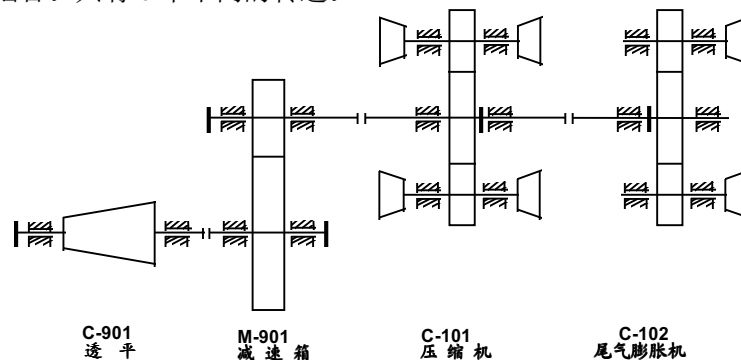


图 1 汽轮压缩机组系统简图

1) 监视诊断系统的构成

本系统结构设计既注意到当前信息特征值变化规律又注意到故障的发生、发展过程, 同时还考虑到各种应用场合。系统结构如图 2 所示分三个层次。

第一层次由多路振动信号并行采集卡、工艺信号 (温度、压力等信号) 采集卡、转速采集卡、连锁报警开关量信号采集存储卡以及相应的信号切换、调理电路所组成。利用振动、温度、压力等检测传感器在线获取机组运行状态信息, 且对于振动信号利用转速信号实现整周期同步采集。

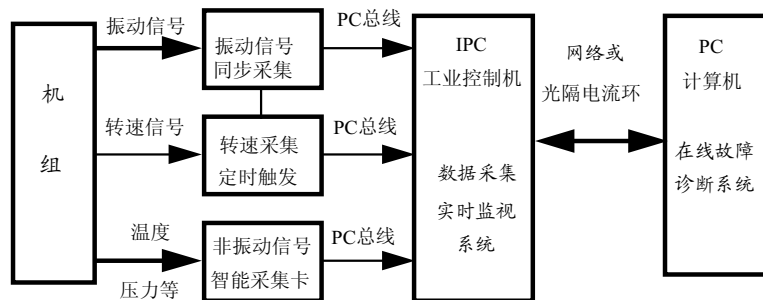


图 2 监视诊断系统的总体结构

第二层次由一台 *PC* 总线工业控制计算机实现（简称下位机）。实时监视各种快变信号（如振动）、缓变信号（如压力、温度）以及开关量信号的状态，运用通频振幅和分频振幅值等多种方法判别机组运行是否正常，实现异常工况自动报警，并有在不可预见事故发生时保存现场信息的“黑匣子”功能。该模块还具备故障初步诊断功能，以满足运行工程师的需要。机组信号采集系统的硬件结构及原理见第二讲相关内容。

第三层次由一台普通 *PC* 总线计算机构成（简称上位机）。它是一个智能诊断决策系统，该系统接受第二层次实时监视和状态识别模块的初步分析结果，并利用逻辑推理和数值分析相结合的方式，结合领域专家知识和机组历史档案进行分析，作出诊断。

系统设计成上下位机形式的优点是可以在诊断的同时保持对机组的监视，不丢失有关数据，同时，也可满足不同层次工程技术人员的要求。下位机主要面向操作工及管理工程师，系统具有数据采集、存储等功能和保存突发性故障信息，综合判别功能。根据当前信息判别工况状态，为分析故障提供科学依据，辅助运行管理工程师分析，具有较强的数据管理及人机交互功能。上位机主要面向诊断工程师，结合专家知识和机组既往资料对机组运行中疑难问题进行分析和辅助决策。

2) 实时工况监视与状态识别系统

实时工况监视与状态识别系统是工况监测和故障诊断系统的一个子系统，是以工控机为中心的多路信号并行采集系统，系统直接面向操作人员进行现场监视，系统设计如下：

(1) 数据采集方式 该系统需要对来自机组各方面的信息进行采集，主要有振动、工艺参数（温度、压力等）及联锁开关量等信息。这些信息的要求都不同，根据这些信息的特点和要求分开设计，采用模块化的方式进行。根据信息种类，采取不同的方式：a) 振动及位移信号，对每根轴的振动信号进行同时刻采集，由其转速控制实现同时刻整周期采集，以获得所有轴的鉴相信号。b) 温度、压力等相关信号 温度、压力等相关信号属于缓变信号，采样速率要求不高，采用巡检的方式采集。c) 联锁开关量信号 联锁开关量信号的采集实时性要求很高，为了获取准确的联锁动作次序，单独设计一基于单片机的智能化开关量采集存储卡，由其实时采集并存储每个开关量的状态。

(2) 数据存储方式 机组正常运行时，系统根据所设定的时间间隔，如 1 小时自动把所有原始数据（振动信号、温度和压力等工艺信号以及联锁报警信号）存盘一次，作为机组的运行档案，并备报表打印所需；机组异常报警时，系统自动保留报警前后 10 分钟数据，其后数据在 10 分钟内实行滚动刷新；机组因事故紧急停机时，系统自动保留停机前 10 分钟原始数据，实现“黑匣子”功能，以便查找事故原因，给出解决问题的方法。

(3) 状态识别 下位机对机组的各振动测点通过振动峰-峰值或各分频幅值给出颜色，直接指明振动异常的测点，使现场使用人员一目了然；上位机利用领域专家的经验知识，根据下位机提供的机组现场数据和历史情况，给出诊断结果和解释，并为现场工作人员提供对策。

(4) 信号分析与处理 启停过程动态特性分析采用波得图、三维瀑布图、轴心轨迹图分析

等；时域分析有时域波形、轴心轨迹、振动棒图、自相关函数、互相关函数、趋势分析等；频域分析有频谱分析、互谱分析、倒谱分析等。

(5) 报警与门限值 通过颜色报警直接指明振动异常的测点，可以分别对峰-峰值、各主要分频和倍频分别设置报警、紧急报警值。

(6) 趋势分析与预报 分别有峰-峰值及各主要分频、倍频幅值的趋势分析与预报。

(7) 系统运行参数及监视方式的编辑 系统可以利用键盘或鼠标对系统运行参数（如采样转速间隔、采样时间间隔、传感器灵敏度系数、各通道峰-峰值报警门限、各通道通频报警门限值等）进行修改或重新设置，以适应不同的应用场合；

3) 在线分析与智能诊断系统

诊断系统是一个基于知识的故障诊断专家系统，主要由知识库管理、数据库管理、知识库、数据库、推理机、动态数据库、工况分析、帮助与服务、任务管理等模块组成。

(1) 知识库模块 知识库是故障诊断子系统的核心，它用于存储领域专家对机组各类故障的诊断经验和相关知识。知识库包含背景知识、诊断知识、机组病例与运行档案、决策知识等。

(2) 数据库模块 包括振动信号的原始数据、频谱及谱阵、轴心轨迹及变化趋势、表征机组运行特征的特征数据的变化趋势（如振动信号中各分频和倍频幅值、缓变信号中蒸汽温度与压力、轴承瓦温与润滑油压、转子差胀与位移等）。这些数据反映了机组过去、现在的状态，也预示着未来的发展趋势，是故障诊断的重要信息来源。

(3) 推理机模块 推理机是整个诊断子系统的灵魂，它根据机组当前的运行信息和过去的历史情况，激活知识库中的有关规则，对故障树完成证据与假设之间的映射关系，刷新动态数据库并保存推理轨迹以期对诊断结果进行解释。

(4) 知识库管理模块 该模块主要是为系统向领域专家获取知识和管理知识而设计的，它提供了一种用户也能开发和管理知识库的手段。该模块包括浏览知识库、建立知识库、扩展知识库、添加、修改、删除规则等功能子模块。在系统运行过程中，可以对知识库的诊断性能进行测试，根据测试结果，用户对知识库可以进行扩充、修改和完善，使诊断系统的诊断能力不断提高。

(5) 数据库管理模块 将下位机采集与分析得到的振动、压力、温度、位移等当前数据、日常数据、启停数据、事故数据传送到上位机。通过数据预处理对振动信号进行分析与处理以提取特征量，并进行压缩与重新组织，以便在诊断过程中方便地调用。

(6) 帮助与服务模块 通过该模块，打印出机组运行报表和诊断报告，对诊断结果进行解释，并对故障给出其对策，供用户参考。该模块主要由诊断结果解释、故障对策、诊断报告、打印报表、打印屏幕等功能子模块组成。

2 大型机械设备工况监视与诊断系统的发展趋势

上述实例是从单台机组考虑的，随着监视诊断技术、人工智能、计算机网络的迅速发展，下列研究是监测故障诊断今后的发展趋势：

1) 远程分布式工况监视与故障诊断系统

分布式在线工况监视与故障诊断方式综合了单机在线工况监视与故障诊断和集中在线工况监视与故障诊断方式的优点。该方式对于每台设备分别配置一套数采监视系统，多台数采监视系统共享一套诊断系统。数采监视系统通过 RS485 或计算机网络与诊断系统通讯联络。这样，既可以保证监测的实时性（即使在诊断时也能保证不中断监视），又可以实现信息的共享，同时还节约了监测诊断系统的成本。采用计算机局域网技术实现相互之间的通讯，可以实现快速双向通讯，诊断结论、对策可以及时传至数采监视系统。由于充分利用计算机通讯技术的进展，通讯距离几乎可以无限延伸。

这种分布式在线工况监视与故障诊断方式已在某发电厂 125MW 汽轮发电机组和某公司

离心压缩机组上实现并已投入实际使用,实践证明该方式是切实可行、符合实际需要的,取得了良好的经济效益。但是上述这些监视与诊断方式是现场在线监视与诊断方式,具有地域局限性。随着现代通讯技术和计算机技术的迅速发展,如何利用计算机通讯技术进一步提高诊断的精度、发挥多专家协同诊断的优点、避免重复开发是进一步研究的方向。另一方面,由于旋转机械的故障十分复杂,有些疑难故障需要多专家、多诊断系统协同诊断才能解决问题。利用计算机诊断网络还有利于数据积累、资源共享。对此,我们提出了远程分布式汽轮发电机组工况监视与故障诊断方式^[1, 2],它是在图 2 单机或多机工况监视与故障诊断方式的基础上,通过计算机网络或电话电缆实现信息的远距离传输,使得地域网络诊断中心可以在远离设备的地方随时监视设备的运行情况,必要时进行诊断,给出结论和对策;可以实现对生产设备的异地协同诊断,使得多个诊断系统服务于同一台设备,多台设备共享同一诊断系统,以弥补单个诊断系统在领域知识上的不足,以提高设备故障诊断的可靠性和智能化水平。

通过计算机网络,如国际互联网等,建立机器监控与诊断中心,包括企业监控中心和地域(全国)监控中心,实现机器设备及其生产过程的远程监控与诊断是今后的必然趋势。

2) 基于知识和基于行为的智能诊断方法的研究

基于知识的人工智能诊断系统通常称为专家系统。它的实质是对动态系统的状态辨识,是应用大量人类专家的知识和推理方法求解复杂实际问题的一种人工智能计算机程序。专家系统能够模拟、再现、保存和复制有时还能超过人类专家的脑力劳动。它适用于复杂的、但比较规范化的动态系统,即知识来源可从类似机器或人们根据对象的品质目标作出某种范围的规定来获取。

基于知识的思路是把来自许多不同的机器对某种故障获得的知识构成的知识空间,按一定的推理机制对工况状态进行判别,但同类型的系统故障模式存在差异,各专家所提供的知识往往是从其本厂具体的机组出发,和另一工厂的机器比较,故障模式样本之间的可比性差,聚类域的范围必然很大,容易导致聚类间交叠,造成误判率大。而基于行为的思路是从某一系统的实际运行状态出发,从其工况状态的变化判断其状态属性。在机器监控与诊断过程中,有些边界是不知道的,即无法获取所必须的知识,研究基于行为的判别方法是势在必行,它与基于知识的方法相辅相成,使整个监控与诊断系统具有较大的柔性可实现性。

3) 面向机器监测的实时数据库技术

机器监控与诊断过程数据量大,数据类型复杂多样,目前在机器监控及诊断中,关于数据的保存及标准化问题还没有得到应有的重视,开发的系统大多存在“孤岛”效应,缺乏与外部世界的信息交换能力。因此,有必要研究面向机器监控与诊断的实时数据库构造及维护技术,为实现实时智能监控及诊断提供技术基础。

4) 机器的智能监控及诊断技术

机器的结构复杂,存在众多的不确定性因素,而且控制任务往往比较复杂,除了要求各被测物理量实现定值调节外,还要求能实现整个系统的自动启停、故障的自动诊断以及紧急情况自动处理等功能。传统的基于模型的监控方法,难以实现上述功能。为此,应该利用人工神经网络、专家系统、模糊系统、学习系统等智能技术,研究智能建模、监控及诊断的理论和方法,提高流程工业的自动化及智能化水平。

参考文献

- 1 钟秉林,黄仁、贾民平等,机械故障诊断学,北京:机械工业出版社,1997年12月
- 2 贾民平,许飞云,钟秉林,黄仁. 远程分布式汽轮机组故障诊断网络系统研究,中国电机工程学报,1998,18(1):60-63

- 3 贾民平, 钟秉林, 黄仁. 虚拟现实在旋转机械故障诊断中的应用, 中国机械工程, 1997, 8(2):90-92
- 4 陈克兴, 李川奇, 设备状态监测与故障诊断技术, 北京: 科学技术文献出版社, 1991年8月
- 5 Harris, C. M. (ed.), *Shock and Vibration Handbook, Fourth Edition*, McGraw-Hill, New York, 1996