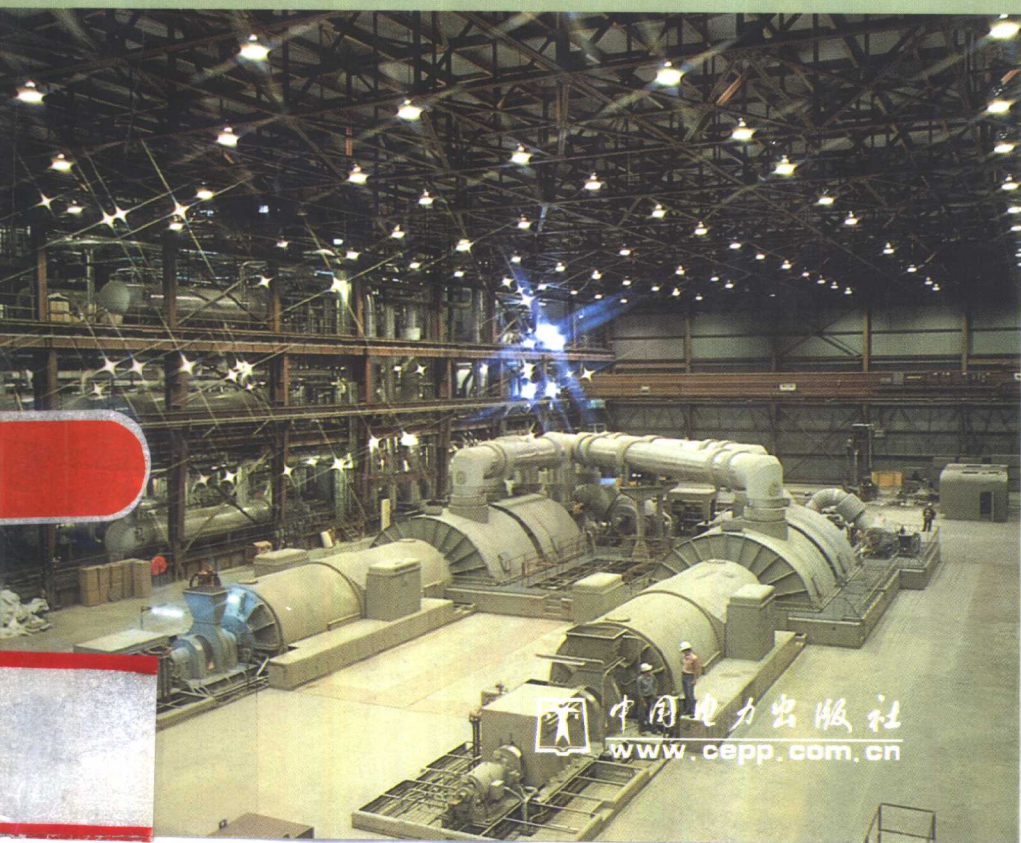


QILUNJIZU  
GUZHANG  
ZHENDUAN  
JISHU

# 汽轮机组故障诊断技术

李录平 编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

TK267  
L204

204804

# 汽轮机组故障诊断技术

李录平 编著

---

长沙电力学校出版基金资助项目

---



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书较为全面地论述了汽轮机组故障诊断的理论和技術。全书的主要内容包括:汽轮机组故障诊断的技术基础,汽轮机组的工作特性与故障现象分析,汽轮机组故障特征的提取,汽轮机组常见横向振动故障的诊断,汽轮发电机组轴系扭转振动故障分析,汽轮机组通流部分故障的诊断,汽轮机组辅助设备及系统的故障诊断,汽轮机组状态监测与故障诊断系统。

本书的特点是内容较为完整,原理和应用并重,反映了汽轮机组故障诊断技术的最新进展。

本书适用于电力、钢铁、化工等行业,以及研究机构和高等学校从事汽轮机组以及大型旋转机械故障诊断的专业人员阅读,也可作为高等学校有关专业研究生、高年级本科生的教材和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽轮机组故障诊断技术/李录平编著. -北京:中国电力出版社, 2001

ISBN 7-5083-0883-2

I. 汽… II. 李… III. 蒸汽透平—故障诊断 IV. TK267  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 086934 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2002 年 1 月第一版 2002 年 1 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 7.75 印张 349 千字

印数 0001—4000 册 定价 15.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

# 前 言

汽轮机组是以蒸汽为工质的原动机，在电力、冶金、钢铁、纺织、化工、船舶等领域里具有广泛的用途。特别是在电力工业中，汽轮机组是火力发电厂的三大主机之一，用于驱动发电机发出电能。汽轮机组是一个机、电、液耦合在一起的复杂系统，机组的进汽温度和进汽压力都很高（现代汽轮机组的进汽压力达到了亚临界甚至超临界压力）。在高转速、高应力状态下，部件承受的载荷大，且常常承受各种交变应力的作用。因此，汽轮机组是一种故障率高、故障危害性大的高速旋转机械。一旦发生故障，轻则停机，造成重大的直接经济损失；重则造成设备毁坏和人身伤亡，引起严重的社会后果。所以，汽轮机组的故障诊断问题历来受到有关的研究机构、企业和管理部门的高度重视，是现代故障诊断技术的主要应用对象之一。

发电用的汽轮机组由汽轮机本体、凝汽系统、回热系统、调节保安系统等子系统组成。在本书中，将上述子系统所组成的有机整体称为汽轮机组。本书讨论发电用汽轮机组的故障诊断问题。主要包括：汽轮机组故障诊断的技术基础、汽轮机组的工作特性与故障之间的关系、汽轮机组故障特征的获取技术、汽轮机组常见横向振动故障的诊断、汽轮发电机组轴系扭转振动的故障分析与诊断、汽轮机组辅助设备及系统的故障诊断和汽轮机组的状态监测与故障诊断系统。本书中的有关理论和技术不但可以用于汽轮机组的故障诊断，在其他类型旋转机械的故障诊断方面也有借鉴作用。

本书的编著者长期从事旋转机械（特别是汽轮机组）故障诊断的理论和应用技术研究，以及这方面的教学工作。作者在攻读硕士学位期间，研究方向为汽轮发电机组轴系扭振特性研究，在攻读博士学位期间，研究方向为旋转机械的故障机理与故障诊断系统研究，为继续深入研究汽轮机组的故障诊断问题打下了理论基础。在科学研究中，主持和参与了多项有关汽轮机组故障诊断方面的实际课题的研究，丰富了实际经验。在教学中，长期为学生讲授汽轮机原理、汽轮发电机组的振动与平衡、汽轮机组故障诊断技术等课程，学生为此书提出了一些很好的建议。现将编著者在研究和教学工作中取得的成果整理成书，奉献给读者，希望能起到抛砖引玉的作用。

由于编著者的学识水平有限，书中难免出现错误和疏漏以及某些论述不当之处，书的内容体系也可能不够系统和全面，敬请读者批评指正。

编著者

2001.9

# 目 录

## 前言

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| <b>第一章 概述 .....</b>               | <b>1</b>  |
| 第一节 汽轮机故障诊断技术的发展历史 .....          | 1         |
| 第二节 设备故障诊断技术产生的影响 .....           | 10        |
| 第三节 汽轮机组故障诊断技术的特点 .....           | 13        |
| 第四节 汽轮机组故障诊断的目的、任务和方法 .....       | 14        |
| <b>第二章 汽轮机组故障诊断的技术基础 .....</b>    | <b>19</b> |
| 第一节 设备故障的定义和分类 .....              | 19        |
| 第二节 设备故障诊断技术的内容和类型 .....          | 21        |
| 第三节 故障信息的获取方法与故障特征信号的选取 .....     | 23        |
| 第四节 传感器的选取 .....                  | 28        |
| 第五节 信号分析与处理 .....                 | 31        |
| 第六节 基于特征提取的故障分类模型 .....           | 41        |
| 第七节 汽轮机组常用故障诊断技术 .....            | 51        |
| <b>第三章 汽轮机组的工作特性与故障现象分析 .....</b> | <b>61</b> |
| 第一节 汽轮机组的结构特性 .....               | 61        |
| 第二节 汽轮机组的工作特性分析 .....             | 72        |
| 第三节 汽轮机组的故障与结构因素之间的关系 .....       | 75        |
| 第四节 汽轮机组的故障与运行因素之间的关系 .....       | 78        |

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| <b>第四章 汽轮机组故障特征的提取 .....</b>              | <b>84</b>  |
| 第一节 故障特征的不确定性描述 .....                     | 84         |
| 第二节 从机组输出参数中提取故障特征 .....                  | 85         |
| 第三节 从振动信号的时域波形中提取故障特征 .....               | 97         |
| 第四节 轨迹型征兆的自动获取 .....                      | 100        |
| 第五节 从振动信号的频谱中提取故障特征 .....                 | 112        |
| 第六节 故障信号的奇异特征提取 .....                     | 120        |
| 第七节 故障信号的分维特征提取 .....                     | 125        |
| <b>第五章 汽轮机组常见横向振动故障的诊断 .....</b>          | <b>130</b> |
| 第一节 转子不平衡故障的诊断 .....                      | 130        |
| 第二节 转子动静碰磨故障的诊断 .....                     | 134        |
| 第三节 转子不对中故障的诊断 .....                      | 142        |
| 第四节 转子裂纹故障的诊断 .....                       | 143        |
| 第五节 油膜涡动与油膜振荡故障的诊断 .....                  | 146        |
| 第六节 蒸汽振荡故障的诊断 .....                       | 152        |
| 第七节 非转动部件松动故障的诊断 .....                    | 155        |
| 第八节 转子中心孔异物吸附故障的诊断 .....                  | 157        |
| <b>第六章 汽轮发电机组轴系扭转振动故障分析 .....</b>         | <b>163</b> |
| 第一节 汽轮发电机组轴系扭振概述 .....                    | 163        |
| 第二节 单元机组轴系扭振特性分析与计算 .....                 | 171        |
| 第三节 并列运行机组的扭振特性分析与计算 .....                | 177        |
| 第四节 防止轴系扭振的对策 .....                       | 185        |
| <b>第七章 汽轮机组通流部分故障的诊断 .....</b>            | <b>188</b> |
| 第一节 根据监视段压力变化来诊断通流部分故障 .....              | 188        |
| 第二节 汽轮机组通流部分故障诊断的热力判据 .....               | 191        |
| <b>第八章 汽轮机组辅助设备及系统的故障<br/>分析与诊断 .....</b> | <b>196</b> |
| 第一节 回热系统的故障特性分析 .....                     | 196        |

|                   |                              |            |
|-------------------|------------------------------|------------|
| 第二节               | 高压加热器的故障原因分析 .....           | 202        |
| 第三节               | 高压加热器管系泄漏的故障机理分析 .....       | 203        |
| 第四节               | 汽轮机组凝汽系统的故障分析 .....          | 209        |
| 第五节               | 高压加热器与凝汽系统故障的模糊诊断 .....      | 212        |
| <b>第九章</b>        | <b>汽轮机组状态监测与故障诊断系统 .....</b> | <b>218</b> |
| 第一节               | 汽轮机组状态监测与故障诊断的任务特点 .....     | 218        |
| 第二节               | 系统的总体结构、功能及特点 .....          | 219        |
| 第三节               | 监测子系统的设计与实现 .....            | 224        |
| 第四节               | 故障诊断子系统的设计与实现 .....          | 226        |
| 第五节               | 汽轮机组远程在线监测与诊断系统 .....        | 228        |
| <b>参考文献</b> ..... |                              | <b>232</b> |

# 第一章

## 概 述

### 第一节 汽轮机故障诊断技术的发展历史

20 世纪以来,随着工业生产和科学技术的发展,机械设备的可靠性、可用性、可维修性和安全性的问题日益突出,促进了人们对机械设备故障机理及故障诊断技术的研究。

汽轮机组是大型旋转机械,它将高温、高压蒸汽所具有的内能转换成机组转子旋转的机械能,从而驱动其他机械或带动发电机发出电能。汽轮机组是工业领域的重要设备,特别是在电力工业中,汽轮机组是关键的设备。由于汽轮机组结构和系统的复杂性、运行环境的特殊性,汽轮机组的故障率较高,而且故障的危害性也很大。因此,汽轮机组的故障诊断一直是故障诊断技术应用的一个重要方面。

#### 一、设备诊断技术的发展历史

设备诊断技术的历史,可追溯到 19 世纪产业革命时期,早期的诊断技术主要依赖于该领域个体专家单纯依靠感官获取设备的状态信息,凭个体专家的经验做出直接判断,这是最原始、最简单的诊断技术。20 世纪初,可靠性理论的产生和应用,使人们可以依靠事前对材料寿命的分析和评估及设备运行中对材料性能的部分检测来完成对设备的诊断。

真正意义上的诊断技术是产生于 20 世纪 60 年代初期的现代

设备诊断技术。1961年，美国开始执行阿波罗计划，出现了一系列严重设备故障，于是在1967年，在美国宇航局（NASA）的倡导下，由美国海军研究室（ONR）主持成立了美国机械故障预防小组（MFPG），主要从事设备诊断技术的研究与开发。1971年MFPG划归美国国家标准局（NSB）领导，成为一个官方领导的组织，下设故障机理研究、检测、诊断和预测技术、可靠性设计和材料耐久性评价四个小组。美国工程师学会（ASME）领导下的锅炉压力容器监测中心（NBBI）对锅炉压力容器和管道等设备的诊断技术作了大量的研究，制定了一系列有关静态设备设计、制造、试验和故障诊断及预防的标准。另外，美国还在航空航天器、军用机械等领域的故障诊断研究方面取得了一系列有特色的成果。在旋转机械（特别是汽轮发电机组）故障诊断方面，首推美国的西屋（Westhouse）公司，从1976年开始研制，到1990年已发展成网络化的汽轮发电机组智能化故障诊断专家系统，其3套人工智能诊断软件（汽轮机 TurbinAID、发电机 GenAID、化学水处理 ChemAID）共有诊断规则近10000条，对西屋公司所生产机组的安全运行发挥了巨大的作用，取得了很大的经济效益。此外，还有以Bentley Nevada公司的DDM系统和ADRE系统为代表的多种机组在线监测诊断系统等。

英国在20世纪60年代末和70年代初，以R.A.Collacott为首的英国机械保健中心（U.K. Mechanical Health Monitoring Center）就已开始了诊断技术的开发与研究。1982年，曼彻斯特大学成立了沃福森工业维修公司（WIMU）、Michel Neale and Associate公司等几家公司，担任政府的顾问、协调和教育工作，开展了咨询、制定规划、合同研究、业务诊断、研制诊断仪器、研制监测装置、开发信号处理技术、教育培训、故障分析、应力分析等业务活动。在核发电技术方面，英国原子能机构（UKAEA）下设了一个系统可靠性服务站（SRS），从事诊断技术的研究，包括利用噪声分析对设备进行监测，对锅炉、压力容器、管道的无损检测等，起到了英国数据库中心的作用；在钢铁和电力工业方

面，英国也有相应机构提供诊断技术服务。

日本在民用工业（如钢铁、化工、铁路等）中的故障诊断技术发展得很快，在世界上占有一定的优势。他们密切注视世界动向，积极引进、消化最新技术，努力发展自己的诊断技术，研制诊断仪器。从 1971 年开始，日本开始发展全员生产维修（TPM），经过 6 年的努力，诊断技术达到了实用阶段。日本一些全国性的学会相继设立了专门的研究机构，开展诊断技术的研究；一些国立研究机构和一些著名的大学也相继开展了故障诊断的基础理论和应用技术研究。其他民办企业，如三菱重工、川崎重工、日立制作所、东京芝蒲电气等也以企业内部工作为中心，开展了一些应用水平较高的实用项目。例如，三菱重工的白木万博在旋转机械故障诊断方面开展了系统的工作，他所研制的“机械保健系统”在汽轮发电机组故障监测和诊断方面起到了有效的作用。

我国设备诊断技术的研究和开发是从 20 世纪 70 年代末期开始的。当时，国家经委下属的中国设备管理协会积极推动和组织这项技术在国内各产业部门的应用和开发。20 世纪 80 年代初，国内一些重点大学如西安交通大学、东北工学院、清华大学、浙江大学、北京科技大学、南京航空学院、上海交通大学、哈尔滨工业大学和华中理工大学等相继开展了这项技术的基础研究和应用技术的开发研究，取得了一大批可喜的成果。

原冶金工业部设备研究所、机械工业部机械科学研究院等单位结合产业部门的生产实际状况，在国内较早地开展了这项技术的应用研究，发展了许多实用的诊断技术。冶金系统的宝钢、鞍钢、本钢、武钢等企业都相继成立了设备现代化管理和诊断技术开发的专门机构，在现代化管理中积极推广诊断技术。电力系统在各大发电厂大力推广的以汽轮机组安全监视为目的的旋转机械状态监测系统，在很大程度上提高了机组运行的可靠性，降低了事故发生率。石油、化工企业也采用了一系列的诊断技术，来监测和诊断高压容器、管道和各种旋转机械的运行状态。

1987年5月，中国振动工程学会故障诊断学会成立。1987年10月，由振动工程学会、故障诊断学会和转子动力学学会联合召开了全国第一届旋转机械故障诊断对策研讨会。北京、沈阳、天津、上海等省（市）先后成立了机械设备故障诊断技术委员会或研究开发中心。与此同时，中国机械工程学会成立了失效分析工作委员会，建立了全国性的专家库和失效分析网，用于协调全国的失效分析和故障预防研究工作。

现代设备诊断技术的发展经历了两个主要阶段。第一个阶段是以计算机技术、传感技术和动态测试技术为基础，以信号处理技术为手段的常规诊断技术发展阶段。这一阶段，设备诊断技术融合并吸收了大量的现代科技成果，各种先进理论、方法和技术在设备诊断领域中都找到了用武之地。如：振动诊断技术、振声诊断技术、声发射诊断技术、光谱诊断技术、铁谱诊断技术、红外和热成像诊断技术、核辐射诊断技术等，都是这一阶段取得的成果。计算机技术的迅速发展，使得各种信息处理方法应运而生，如逻辑诊断、统计诊断、故障树诊断、模糊诊断等。各种新技术的应用，使得对设备的在线监测与诊断成为可能。但是，在这一发展阶段，各种新技术和新方法的应用，仅仅只是延长了人的感官功能。

人工智能技术的应用，标志着现代设备诊断技术进入了第二个阶段——智能诊断阶段。智能诊断技术的应用，不但延长了人的感官功能，而且延长了人的大脑功能。诊断技术发展到这一阶段，其研究内容与实现方法已发生了且正在继续发生着重大的变化。原来以数值计算和信号处理为核心的诊断技术将被以知识处理和知识推理为核心的诊断技术代替，形成基于知识的设备诊断技术。对诊断技术的研究也不再是各种方法的“堆积”，而是从知识的角度出发，系统地研究诊断技术。

现在，故障诊断技术在机械、电子、能源、化工、交通运输、航空航天、军事等各个领域得到了广泛应用。应用的对象包括旋转机械、往复机械、流程工业、加工过程、仪器仪表等。由

于旋转机械是各行各业用得最多的一类机械设备,所以,旋转机械的故障诊断问题始终是设备诊断技术研究的热门课题。汽轮机组是大型旋转机械,而且用途非常广泛,其故障诊断问题引起了有关单位和人员的高度重视。

## 二、汽轮机组故障诊断技术的研究现状

### 1. 信号采集与信号分析

(1) 传感技术。由于汽轮机组工作环境的特殊性(高温、高压、高转速、高应力),所以在汽轮机组故障诊断系统中,对传感器的性能要求很高。目前,对传感器的研究,主要是提高传感器性能的可靠性、开发新型传感器,以及研究如何诊断传感器故障以减少误诊率和漏诊率等方面的问题。当前,许多学者正在研究利用多传感器信息融合技术来诊断故障,提高对故障的分辨率。

(2) 信号分析与处理。在信号分析与处理研究领域中,最具有吸引力的是振动信号的分析与处理。汽轮机组故障诊断系统中的振动信号处理大多采用快速傅立叶变换(FFT)。FFT的思想在于将一般时域信号表示为具有不同频率的谐波函数的线性叠加,它认为信号是平稳的,所以,分析出的频率具有统计不变性。FFT对很多平稳信号的情况具有适用性,因而得到了广泛的应用。但是,实际中的很多信号是非线性、非平稳的,所以为了提高分辨精度,新的信号分析与处理方法成为该领域的重要研究课题。目前,正在研究的信号分析与处理的方法有变时基FFT、短时基FFT、时-频分析、Winger变换、小波变换、全息谱分析、延时嵌入分析、信号的分维数计算等。

### 2. 故障机理

故障机理研究是故障诊断领域中的一个非常基础而又必不可少的工作。目前,对汽轮机组故障机理的研究主要从故障规律、故障征兆和故障模型等方面进行。

汽轮机组是大型旋转机械,振动信号是其主要也是非常重要

的特征信号。因此，汽轮机组的故障研究总是从振动信号入手，并从振动信号中提取故障征兆，从而建立起故障征兆集合和故障集合之间的映射关系。

目前，研究汽轮机组故障机理方法有现场试验法、实验室模拟研究法和计算机仿真法。

现场试验方法是在实际机组上模拟具体的故障，对故障信号进行在线检测，提取故障的征兆。这种研究方法具有征兆—故障关系明确、故障状态的逼真度高等优点。但是，这种研究方法也有其不足之处，如信号的背景噪声大、危险性大和费用高等。

实验室模拟研究方法是先建立机组的物理模型，即模拟实验台。然后在模拟实验台上人为地模拟出机组的故障，在模拟故障状态下检测故障信号，提取故障特征，从而建立起故障征兆与故障之间的映射关系。该方法克服了现场实验法的缺点，是目前广泛采用的故障研究方法。但是，该方法也有其缺点，主要表现在故障状态的逼真度有所降低、模拟的故障范围受到限制、实验台的造价高等方面。

计算机仿真法目前是研究旋转机械故障机理和故障行为的常用方法。该方法是先建立描述设备状态和行为的数学模型，再开发出相应的仿真软件，然后对一些典型故障进行数值仿真。其优点为：不受现场和实验室的条件限制；能定量地建立故障状态和故障特征之间的关系；能反复模拟不同的边界条件（环境条件）和初始条件下的故障形态和故障特征。该方法的困难之处是数学模型的建立以及如何验证数学模型的准确性。

### 3. 诊断策略

汽轮机组是一个复杂的机电系统，其故障特征集合与故障集合之间的映射关系非常复杂。机组在运行过程中，可能出现多个故障。所以，如何根据检测到的故障特征来诊断出机组的故障是研究人员非常关心的问题，这个问题也就是诊断策略。

在汽轮机组故障诊断领域中，常用的诊断策略有对比诊断、逻辑诊断、统计诊断、模式识别、基于灰色理论的诊断、模糊诊

断、专家系统和基于人工神经网络的诊断。目前研究比较多的是后几种诊断策略。其中，人工神经网络和专家系统的应用研究是这一领域的研究热点。

#### 4. 诊断方法

诊断方法的研究一直是故障诊断领域的重点。目前，在汽轮机组故障诊断领域中，主要的诊断方法有振动诊断法、噪声诊断法、热力学诊断法、红外诊断法、声发射诊断法和无损检测诊断法等。

汽轮机组是大型旋转机械，振动是其重要的（也是主要的）特征信号。因此，振动诊断法是汽轮机组的常用诊断方法。机械振动势必会产生噪声，噪声信号中包含了机组的丰富的状态信息，因此，噪声诊断法也可用于诊断汽轮机组的故障。汽轮机组热力性能方面的故障，用热力学诊断方法来诊断。机组动静碰磨、转子裂纹等故障可用声发射诊断法进行诊断。

在诊断机组剩余寿命和部件缺陷时，主要用无损检测诊断法。目前用到的无损检测技术主要包括硬度测定法、电气阻抗法、超声波法、组织对比法、结晶粒变形法、显微镜观察测定法和X射线分析法等。

#### 5. 在线诊断系统的研制与开发

在线诊断系统的研制与开发，实际上是对上述各研究领域的成果进行集成，这种集成，既包括硬件方面的集成，又包括软件方面的集成。在线诊断系统在现场投入使用后，可对汽轮机组的状态和故障进行在线诊断与分析。

### 三、汽轮机组故障诊断技术的发展趋势

在汽轮机组故障诊断领域里，已取得了一些重要的理论和应用成果。但是，当前汽轮机组故障诊断技术的研究还存在以下几个方面的不足：

(1) 在诊断方法和诊断系统的开发研究方面投入的精力较多，而对故障机理的研究投入的精力相对来说少了一些，专家系

统知识库中存放的知识不丰富。所以，所开发出来的诊断系统难以对被诊断对象做出准确有效的诊断。

(2) 国内在诊断系统软件开发方面“百花齐放”，没有统一、规范的软件标准，没有标准的开发环境；诊断系统的硬件没有标准化、系列化。因此，开发一套诊断系统要花费巨大的人力、物力和财力。

(3) 开发出来的诊断系统的功能比较单一。目前已有的诊断系统大多数只能诊断出故障的名称，对故障机理的分析不够透彻，缺少对设备状态的综合评价、故障趋势的预测、设备运行指导和维修决策等方面的综合功能。诊断系统的自学习功能没有达到实用化。

(4) 现有诊断系统的诊断过程是非“自主”的。目前已开发出来的诊断系统，大多数是在人工参与下的辅助诊断系统，其诊断过程需要人员的参与和照料，因此，这样的诊断系统是非“自主”系统。正因为诊断过程的非自主性，大大降低了诊断系统的实用性。

大型汽轮机组的结构特点和运行条件特点，决定了汽轮机组的故障诊断要快速、准确、高效和实时。为了满足上述要求，汽轮机组诊断技术的研究应在如下几个方面取得突破。

### 1. 分布式结构的故障诊断系统的研究与开发

汽轮机组各子系统的结构和功能是分布式和多层次的。这种结构上的层次关系，要求其诊断系统也是分布式和多层次的，由全局诊断系统和子诊断系统组成。全局诊断系统负责诊断任务的管理，包括将总体任务分解成子任务和向各子诊断系统分配任务两方面内容，这些子任务往往是相互耦合的。诊断子任务完成以后，通过对各子诊断系统结论的综合，最终得出结论。分布式故障诊断专家系统具有推理效率高、诊断速度快、系统可靠、实时性好的特点。

### 2. 集成式故障诊断系统的研究与开发

由于当前的诊断系统在推理方法上的单一性，在求解复杂系

统的诊断问题时受到很大的限制。未来的汽轮机组故障诊断系统,将根据不同子系统的特点采用不同的推理模型,甚至采用几种不同推理模型进行混合推理。例如,在同一个诊断系统中,同时集成了基于规则的推理模型、基于人工神经网络的推理模型、基本事例的推理模型等等。在一个集成式诊断系统中,各种推理模型的优势将得到充分发挥,从而达到提高推理速度和解的准确性的目的。有关专家认为,人工智能研究的下一阶段将是综合集成的时代,所以,集成式故障诊断专家系统的研究与开发将成为一个研究热点。

### 3. 构造大型监测诊断中心

在同一个电厂或在一个区域内,有许多同类型(或不同类型)的汽轮发电机组在同时运转,可构造一个大型监测诊断中心,对这些汽轮发电机组进行集中监测和管理。构造大型监测诊断中心所带来的好处主要有:①便于集中保存设备的运行数据和健康状况资料;②便于多个机组之间、多个电厂之间共享已有的知识,便于知识库的完善化;③便于根据各机组的状况对机组进行负荷调度。

### 4. 自主闭环诊断系统的研究与开发

全自主闭环故障诊断系统能够在人员不参与和不照料的情况下完成持续的故障诊断,形成决策,再由诊断系统发出相应的控制指令,对机组施加适当的控制。

要实现自主闭环诊断,必须要有成熟和先进的诊断技术。自主闭环诊断系统应满足如下几个基本条件:①诊断系统的知识库必须完备;②诊断系统能够有自学机制,能诊断不可预知的故障;③诊断系统要能自动、快速、完整和准确地提取故障特征;④诊断系统需有规划系统的协同合作;⑤)诊断系统的硬件和软件具有非常高的可靠性,具有很强的抗干扰能力。

### 5. 故障诊断的相关技术研究

故障诊断技术是以现代传感技术、信息技术、计算机技术、可靠性技术、软件工程及人工智能为基础的高新技术。为了发展