

解决电厂疑难问题的**金钥匙**

汽轮机设备故障 诊断与预防

QILUNJI SHEBEI GUZHANG
ZHENDUAN YU
YUFANG

徐贞禧 编著



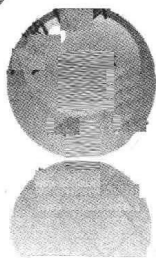
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

解决电厂疑难问题的**金钥匙**

汽轮机设备故障 诊断与预防

QILUNJI SHEBEI GUZHANG
ZHENDUAN YU
YUFANG

徐贞禧 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《解决电厂疑难问题的金钥匙》系列丛书之一,内容包括汽轮机设备的故障诊断方法,如何预防和应对汽轮机轴系断裂、汽轮机超速、汽轮机大轴弯曲、汽轮发电机组轴瓦烧损等故障,对汽轮机结构的评价及改进,防止发电设备故障的技术管理措施,以及汽轮机安全性计算机管理系统。本书对于保证发电厂的安全、经济运行具有重要意义。

本书可供发电企业设备管理人员、工程技术人员阅读,以及供电力院校研究生选择生产研究课题时参考,为汽轮机组的安全运行提供产品和技术服务的厂商,也可从本书中发现商机。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机设备故障诊断与预防/徐贞禧编著. —北京:中国电力出版社, 2011.5

(解决电厂疑难问题的金钥匙)

ISBN 978-7-5123-1641-6

I. ①汽… II. ①徐… III. ①火电厂-蒸汽透平-故障诊断 ②火电厂-蒸汽透平-故障检测 IV. ①TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 080007 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 7.825 印张 208 千字
印数 0001—3000 册 定价 28.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言



解决电厂疑难问题的金钥匙

汽轮机设备故障诊断与预防

本书是作者 40 多年来在发电厂和电力科学研究院从事电力生产技术和管理工作的，特别是近 10 余年来开展发电设备状态检修和安全性评价工作所认识到的为确保发电设备安全经济运行，及早发现故障征兆，防患于未然，所必须实行的技术和管理措施。对于本书中一些新提出的技术和管理内容，均作了必要的提示。至于一些防止和处理设备故障的传统技术和管理工作的，例如转子高、低速动平衡技术，松弛法直轴，长叶片更换工艺和静频测试，甩负荷试验等，以及“两票三制”、“九项技术监督”等，在本书中未作详细阐述。

20 世纪 60 年代初，时任石景山发电厂总工程师的李常熺先生，倡导由发电设备制造专业的应届大学毕业生到该厂从事发电设备检修工作，这使得本人这个当年毕业于西安交通大学汽轮机制造专业的工程技术人员，能在自己多年的工作经历中有机会从设计和制造角度客观地审视发电厂汽轮机的安全运行问题。因而使首先发现高中压分缸双死点汽轮机轴承座死点不死现象、汽轮机在工作转速下的严重摩擦振动特征，以及发电机转子热态不平衡等问题成为可能；并对发生于 20 世纪八九十年代的 3 台国产 200MW 汽轮发电机组超速和轴系断裂飞脱事故，从分析设备结构设计和制造工艺上的弱点阐明其起因，提出了独特见解；总结提出了 100、200、300MW 汽轮机的结构评价及改进建议，使在运设备的安全性得到提高；总结提出了汽轮机某些零部件结构改进及特殊检修工艺，例如在发电厂已投运的汽轮机上进行末级动叶片去湿结构改进、反螺旋油挡结构设计，以及绝对式轴振动监测装置研制等；特别是所提出的汽轮发电机组转子实用高低速动平衡方法，为提高设备安全性提供了有效手段。此外，作者还指

出氢冷发电机双环式密封瓦的空侧密封油必须进行除湿和脱气净化；对汽轮机组热工监测、分析、诊断设备的配置，也提出了完善化意见；倡导将北京大唐高井发电厂 100MW 纯凝汽式汽轮机组改造为热电联产机组，并提出具体实施方案，使发电厂向热电厂转变成为现实，取得了重大的安全、节能和环保效益；还阐明了“发电设备状态检修”的含义、内容及具体实施步骤，充实并完善了《火力发电厂安全性评价》的内容、方法，主持制订了《火力发电厂热经济性评价》标准等。

上述多项工作内容中所涉及的有关发电厂汽轮机组安全运行的主要技术和管理措施，在本书中均有所体现。本书对于汽轮机热力过程参数所反映出的通流部分安全性及监测手段，汽轮机零部件结构的安全性评价及改进，加强汽轮机启停过程和调节系统的管理等，均予以特别关注。作者认为良好的汽轮机等发电设备的设计制造质量，是发电厂安全运行的基础，而严格的设备选型能取得事半功倍之效。

本书可供发电企业的主管领导、设备管理人员、工程技术人员阅读和实践指导，也可供电力院校研究生选择生产研究课题时参考。书中的一些观点，为汽轮机制造厂和电力设计院了解汽轮机运行部门的需求提供了方便。为汽轮机组的安全运行提供产品和服务的厂商，也可从本书中发现商机。

本书在编写过程中，得到原华北电力集团公司总工程师、教授级高级工程师罗挺先生，中国华电集团公司副总经理、教授级高级工程师邓建玲先生的大力支持和帮助，使本书增色不少，谨致谢忱。

本书第六章中引用了于翔先生的部分汽封资料，王宏飞先生为本书的编写做了部分具体工作，一并致谢。

作者水平和精力所限，书中疏漏和不足之处在所难免，恳请广大读者不吝指正。

作者

2011 年 6 月



目 录



解决电厂疑难问题的金钥匙

汽轮机设备故障诊断与预防

前言

绪论	(1)
第一章 汽轮机设备故障诊断方法	(6)
第一节 汽轮机故障的静态诊断	(6)
第二节 汽轮机故障的动态诊断	(9)
第三节 汽轮机故障征兆及诊断实例	(12)
第二章 汽轮机超速	(52)
第一节 故障征兆	(53)
第二节 防止故障发生的技术措施	(55)
第三节 汽轮机超速故障实例	(63)
第三章 汽轮机轴系断裂	(69)
第一节 故障征兆	(71)
第二节 防止故障发生的技术措施	(72)
第三节 汽轮机轴系断裂故障实例	(79)
第四章 防止汽轮机大轴弯曲	(91)
第一节 故障征兆	(91)
第二节 防止故障发生的技术措施	(92)
第三节 汽轮机大轴弯曲故障实例	(108)
第五章 防止汽轮发电机组轴瓦烧损	(113)
第一节 故障征兆	(113)
第二节 防止故障发生的技术措施	(114)
第三节 防止轴瓦烧损故障实例	(123)

第六章 汽轮机结构评价及改进	(125)
第一节 防止汽轮机重大事故的结构改进.....	(125)
第二节 改进汽轮机汽封结构及材质.....	(137)
第三节 改进汽轮机轴承及轴承座结构.....	(143)
第四节 汽轮机通流部分改造实施要点.....	(150)
第五节 大型汽轮机末级动叶片除湿防水蚀结构 改进.....	(154)
第六节 凝汽式汽轮机供热改造中的安全技术 措施.....	(159)
第七章 汽轮机组安全性计算机管理系统	(161)
第八章 防止发电设备故障的技术管理措施	(167)
第一节 集控运行规程.....	(167)
第二节 检修工艺规程.....	(170)
第三节 设备管理.....	(173)
附录一 汽轮发电机组摩擦振动机理	(189)
附录二 挠性转子振动特点	(196)
附录三 汽轮机压力与流量关系式（弗留格尔公式） 及其应用	(203)
附录四 汽轮机通流部分径向间隙测量调整新工艺	(208)
附录五 《防止电力生产重大事故的二十五项重点要求》 之 1.2、9、10 及 12.3 的有关条文	(210)
附录六 《火力发电厂安全性评价》之汽轮机部分	(220)
参考文献	(244)
作者简介	(245)

绪 论

火力发电厂的锅炉、汽轮机、发电机和主变压器等主设备，实现了由燃料的化学能到高压电能的转变。汽轮机组是发电厂的原动机，其作用是将锅炉产生的蒸汽热能转化成旋转机械能，带动发电机旋转发出电能。主变压器则是将发出电力的电压升高，以便于在较小的损耗下远距离输送。汽轮机技术要求严格、结构复杂、热效率高；处于高温、高压、高真空、高转速、小动静间隙、大力矩等恶劣条件下工作；且出现设备故障后一般均要停机处理，修复时间较长，修复费用较高，并影响到发电厂对电力用户的供电承诺，故汽轮机组的安全性历来是人们关注的重中之重。

到 2010 年底，我国发电设备装机容量已达 9.5 亿 kW 以上，居世界第二位，正逐步接近装机容量占世界第一位的美国。其中燃煤火力发电机组的比重虽在下降，但其主导地位仍难以改变。近代大型汽轮机的单机容量一般在 300~1000MW 之间，国内已投运的大型机组绝大部分为 300MW 级和 600MW 级，600MW 汽轮机组已成为国内各大电网的主力机组。引进和国产的 1000MW 级机组，近 10 多年来也已投运 40 余台。大型汽轮机组的进汽参数绝大部分为亚临界和一次中间再热，超临界和超超临界参数的机组也在相继投入运行。绝大部分汽轮机组为湿冷（汽轮机排汽用水冷凝），近几年来北方高寒缺水地区已有多台直接空冷（汽轮机排汽直接用空气冷凝）机组投运。按照世界各大汽轮机制造厂的设计传统，汽轮机有冲动式和反动式两种类型，



结构上各有特点，但其调节方式，现今却大多采用喷嘴调节。实际上，反动式汽轮机有了喷嘴调节的调节级，而冲动式汽轮机的压力级又均有一定反动度，末级反动度甚至高达 70% 以上，所以现代大型汽轮机已无纯冲动或纯反动可言。电厂在运的汽轮机组中，这两种类型的结构均有，其性能不相上下，可按使用习惯并综合其他因素进行选择。国内已投运的大型汽轮机组普遍采用成熟的数字式电液控制系统（DEH）。

汽轮机组包括主汽及再热蒸汽系统、调节保安系统、汽轮机本体、凝汽器及抽真空系统（或直接空冷系统）、凝结水系统、给水系统、回热系统、疏水系统、循环水系统、调节油（抗燃油）系统、调节和轴承润滑油（汽轮机油）系统、氢冷发电机密封油（汽轮机油）系统等。另外，汽轮发电机组（汽轮机和发电机等）的轴系稳定性、发电机和励磁机主轴承、氢冷发电机密封瓦等，在发电厂也属于汽轮机专业的设备管理范围。汽轮机本体由汽缸、转子、隔板、静叶片、动叶片、汽封、轴承（含推力轴承）和轴承座、油挡等部件组成。其中每一个部件故障均有可能造成重大事故。本书的第二章～第五章，将以前国家电力公司于 2000 年 9 月 28 日以国电发〔2000〕589 号文发布的《防止电力生产重大事故的二十五项重点要求》中，有关汽轮机的第 9、10 两部分为主线作详细阐述。

一台国产 300MW 汽轮机的纵剖面图见图 1，可从图中看到现代大型汽轮机本体的典型结构。良好的零部件结构和合理的组装工艺是汽轮机安全运行的基础，前者更是决定性的。从已投运大型机组的运行情况看，高中压缸合缸机组的安全性要优于高中压缸分缸机组。国产分缸机组均采用双死点，3 号轴承座死点不死是已投运分缸机组的通病，对设备安全运行的影响极大。汽缸膨胀受阻导致汽轮机动静部分间隙改变，是引起摩擦振动的根源。对于采用不同类型轴承座（如落地式轴承、位于低压汽缸上轴承、发电机端盖轴承等）的机组，因冷、热态时轴承座中心标高变化的差别很大，影响到转子中心在机组冷、热态时有较大变

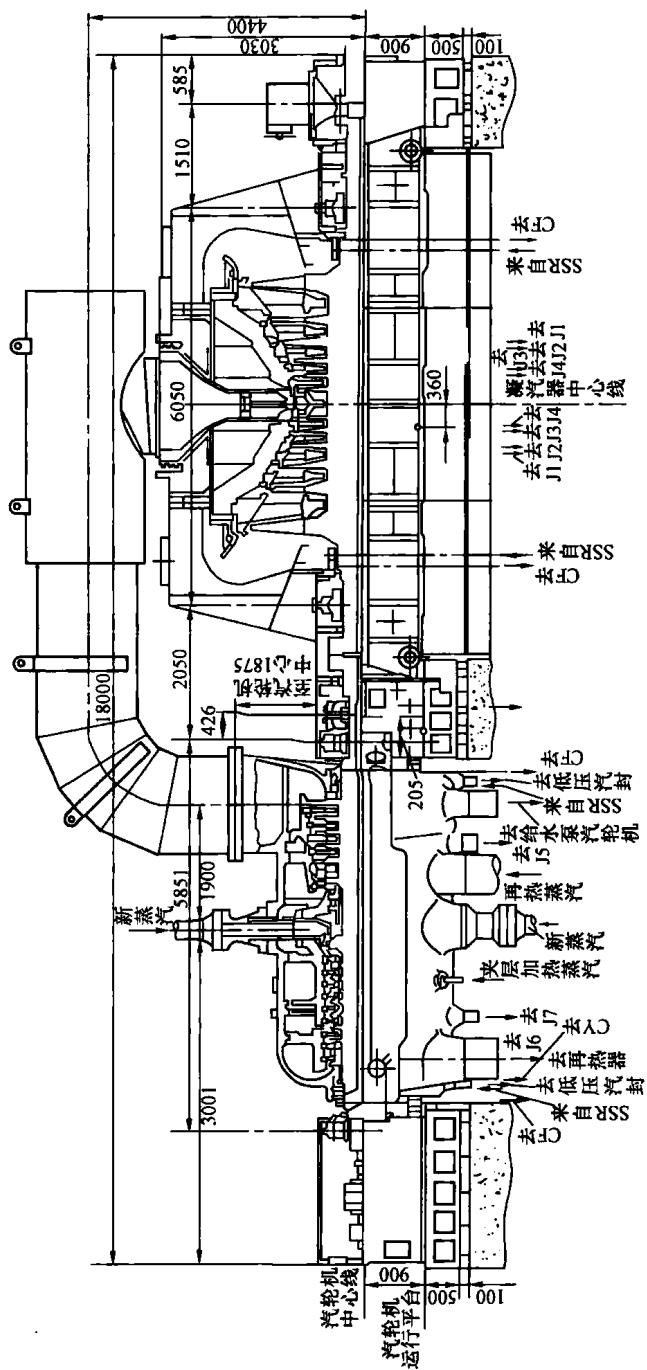


图1 国产300MW汽轮机纵剖面图



化,从而可能导致轴承负荷分配及轴系稳定性偏离设计值。冷态找转子中心时预留合理的转子冷热态中心差值,可避免轴承乌金面受损及机组发生异常振动。采用疏齿型结构的弧块汽封,当汽轮机发生摩擦振动时,极易引发异常振动和大轴弯曲事故。采用自带冠阻尼动叶片可避免因振动、强度等原因导致的动叶片断裂事故。采用焊接隔板和铣制静叶片,可提高隔板的强度和汽轮机通流部分的经济性。采用整锻无中心孔转子,可以防止转子断裂,并省去每次大修时检查转子中心孔的工作。对于采用三轴承的高中压分缸机组,合理的高中压转子下张口找中心标准,可避免联轴器螺栓承受过大的交变应力而断裂等。以上内容将在第六章中作详细阐述。

严格按设备运行规程规范汽轮机组运行过程中的操作、控制和保护,认真监测和分析设备运行参数,及早发现设备故障征兆,可有效防止汽轮机组运行过程中发生事故。为此,现代大型汽轮机组配备有完善的热工设备,用以监测、自动控制和保护机组安全经济运行。整台汽轮发电机组采用集散控制系统(DCS)进行集中控制,其中和汽轮机组有关的包括数据采集系统(DAS)、模拟量控制系统(MCS)、顺序控制系统(SCS)、汽轮机控制和保护(含汽轮机紧急跳闸系统ETS)、数字式电液控制系统(DEH)等。此外,为了监测、分析、诊断汽轮发电机组的轴系稳定性和轴承工作状况,还为大型机组配备了汽轮机安全监视系统(TSI)、汽轮机数据分析系统(TDM)、专家辅助诊断系统(MCM)等系统。为了弥补机组现有在装系统(DEH、TSI、TDM等)的不足,帮助运行值班人员及时监测、分析、处理汽轮机组设备状态参数和过程参数,判断设备是否具备投运条件,及早发现设备故障征兆,预防事故发生,更必须为机组配备运行帮助计算机管理系统。实践表明,汽轮机组重大事故较易在机组启停等过渡过程中发生,更应在该系统中给以特别关注。以上内容将在第七章中作详细阐述。

从电能产、供、销一次完成,连续生产、不可存储、远程输

送、大电网等特点可知，发电厂是由众多设备组成的完整系统，连续运行不间断地供应电力。在设备可用寿命期间，一般情况下是不会大量更新设备的，这就决定了发电厂的安全生产主要有赖于发电厂规范的生产技术管理工作，更应该运行并维修好设备和系统，使之经常处于完好状态，并能及早发现设备故障征兆，以做到防患于未然，将设备故障消除于萌芽之中。鉴于设备管理工作对于发电厂安全生产和事故预防的重要性，本书将在第八章中予以论述。



第一章

汽轮机设备故障诊断方法

故障诊断可分为静态诊断和动态诊断两种，静态诊断主要在设备检修时进行，而动态诊断则在设备运行时根据在线参数的异常变化来判断。



第一节 汽轮机故障的静态诊断

设备检修顾名思义就是设备的检查和修理，而设备检查又是设备修理的前提。静态诊断就是通过多种技术手段，在设备解体的状态下，对设备零部件进行检查、测量和探伤，以确定设备是否存在缺陷或故障；或是通过对设备定期检查结果的比较，以掌握设备的损伤规律，用以推断其剩余使用寿命。

静态诊断的技术手段主要为无损探伤和数据测量。无损探伤主要有磁粉探伤和渗透（着色）探伤以探测金属零部件表面裂纹；超声波探伤和 X 射线探伤以探测金属零部件内部缺陷等。数据测量主要借助精密测量器具，如百分表、塞尺、内径千分尺、外径千分尺、游标卡尺、块规等，以及相配套的测量工具，如压铅丝（铅块）、通白胶布、斜楔尺、卡钳、磁性表架、平板、平尺等，测取汽轮机检修规程所列的各部分间隙、门杆和转子等的弯曲度、平面瓢偏和变形等。将测得的数据和标准及历史记录相比较，用以判断相关数据是否超标，并掌握相关零部件的损伤规律及剩余使用寿命。用专用仪器测量长叶片的静频率，可用以判断早期生产的中小型汽轮机长叶片（动叶片叶型部分长度一般

在 665mm 以内)在设计、结构及安装等方面的不足,是否存在潜在故障隐患。另外如金属表面硬度检测、金相显微镜观察金属组织、煤油渗透、有经验人员的肉眼检查,以及专用潜望设备等,也是用以发现汽轮机零部件缺陷的常用方法。近年来,随着数字技术的发展,不少电厂已将数码照相机、数码摄像机等用于记录汽轮机零部件的表面状况,作为历史记录(采用移动硬盘、光碟等)保存。通过对不同时期的记录比较,有助于发现设备故障征兆。

静态诊断可用以发现众多的汽轮机设备重大故障,主要有汽缸和汽门的螺栓裂纹或硬度超标,动叶片(包括叶根)和静叶片裂纹或损伤,长叶片频率不合格,套装叶轮裂纹,转子汽封弹性槽裂纹和转子中心孔缺陷,转子和门杆弯曲度超标,隔板变形和裂纹,主轴承和推力轴承乌金内部铸造缺陷,以及乌金面磨损、裂纹、脱胎,汽缸、自动主汽门门体铸件缺陷和裂纹,汽封不正常磨损,滑销系统卡涩等。汽轮机发生重大事故后的停机修复过程中,也要通过上述静态诊断手段,检查因事故所造成的设备损伤情况,以防止留下安全隐患,避免二次事故发生。

静态诊断技术还可用来分析设备故障的原因。例如通过观察汽轮机动叶片的断口疲劳纹走向,能判断出叶片疲劳应力的的大小。据苏联某研究单位的试验结果,若疲劳前沿线走向凸出于疲劳策源点,则说明疲劳应力较小;若疲劳前沿线平直或凹向疲劳策源点,则说明疲劳应力偏大。从叶片断口疲劳面积所占比例,能判断出叶片断裂原因;从动叶片上裂纹的分布情况,能判断出何种因素导致裂纹产生。例如若因蒸汽弯应力过大导致长叶片裂纹,则多条裂纹分布在叶型距离叶根较近的不同高度上,从叶片出口边处横向向内延伸。叶片频率不合格,可直接找到叶片断裂原因,例如在下文中所叙述的“313”叶片故障原因,就是通过叶片弯扭频率测量才被发现的。

现代大型汽轮机的末级动叶片长度一般在 851~1016mm 之间,而且大部分为松装和自带冠阻尼结构,几乎没有可能在发电

厂运行现场测量长叶片的静频率；而且即使能测出长叶片在安装条件下的静频率，也没有适用的经验公式能将静频率换算成动频率。至于允许的长叶片动频合格范围更无标准可循，即无法判断测得的叶片频率是否合格。现代大型汽轮机的末几级长叶片均为弯扭叶片，叶片上动应力分布复杂，并非都是叶片根部的动应力最大。即使叶片的低阶固有频率合格，也不能说明叶片就是安全的。例如 20 世纪 60 年代初期，苏联产 K-100-90-6 型汽轮机“313”（叶型部分长度为 313mm）叶片的 A_0 型频率是合格的，但叶片的焊接拉筋却频繁断裂。经过多次试验分析，确定系叶片某阶弯扭频率的迹线通过该处所致，后按原制造厂方案改为半剖松拉筋整圈连接结构，使这一叶栅缺陷得以彻底消除。基于以上原因，对于现代大型汽轮机来说，已无法落实早年《电力工业技术管理法规》中关于在汽轮机大修中测量末几级长叶片静频率的要求，在发电厂现场测量现代大型汽轮机末几级长叶片的静频率已毫无意义。为了确保现代大型汽轮机长叶片的安全运行，用户应在汽轮机订货技术条件谈判时，要求制造厂提供长叶片的设计动应力数据和允许的工作条件，特别是对叶片动应力有较大影响的运行参数，如汽轮机背压、蒸汽通流量、蒸汽湿度等，以便于机组运行时控制。还应要求制造厂对长叶片的设计、制造、安装等质量作出保证，用户有权审阅相关技术文件。在机组大修中，要对长叶片进行宏观检查，特别是遭水蚀部位；可由有经验的人员锤击听声；对有怀疑的叶型表面和叶根进行无损探伤，检查是否有裂纹等；必要时还须监测叶型表面的残余应力。

鉴于长叶片恶劣的工作条件，对叶片材料（包括锻造时的材料纤维走向）及热处理，加工工艺（以毛坯模锻或精锻为好，机加工时不可切断材料纤维）及检验等方面的要求均非常严格。因此电厂采取堆焊叶片铆钉头、焊补叶片水蚀部分等修复叶片故障的工艺措施都是不合适的，在强度上不可取，还可能由于焊接高温，影响到叶片母材金属组织的改变，因而会使叶片受到更大的损伤。唯一可行的是更换合格的新叶片。

静态诊断和动态诊断相比，具有方便、直观、准确等诸多优点，故能通过静态诊断发现的设备故障，就不要勉为其难地去采用动态诊断手段，人为地将问题复杂化，轴裂纹的监测就是一个明显的例子。另外能通过设备管理手段解决的，如汽轮机油质监督问题，就不需要再去依赖动态诊断手段。

和在运设备安全运行有关的设备管理项目有运行参数及状态管理、工质管理、定期工作及重要试验等。由此可见，提高汽轮机设备的检修质量和设备管理水平，可以免除许多不必要的设备动态诊断的项目和监测难度。

第二节 汽轮机故障的动态诊断

动态诊断通过对设备在线运行参数的分析，及时发现设备故障征兆，防患于未然，具有不可替代的重要作用，应是今后建设智能化电厂的重要工作内容。能反映设备故障征兆的汽轮机在线运行参数主要有：汽轮发电机组振动（轴振动、轴承振动等）、汽缸金属温度（上下缸温差等）、调节级汽压和高压缸排汽压力（其他监视段汽压）、汽轮机排汽压力（凝汽器真空）、轴封供汽温度（含蒸汽过热度）、主蒸汽和再热蒸汽过热度、轴承乌金温度、轴承回油温度、轴承油膜压力、凝汽器端差等。为有效进行汽轮机故障的动态诊断，下列工作内容应予以特别关注。

（1）补充完善汽轮机故障诊断所必需的设备运行监测参数。绝大部分电厂大型机组的 DAS、TSI、DEH 等系统监测的过程参数和状态参数，已能基本满足汽轮机故障诊断的需要，但有些重要故障诊断参数，如轴承油膜压力的监测，尚未能得到足够的重视，更未能进入到 DAS 系统作实时监测。

（2）建立参数的后续管理和分析系统。数据采集系统（DAS）测得的原始数据若不作处理，则既不便于观察设备状况，也不便于对设备状况进行分析。

1) 对汽轮机组在线数据进行处理，计算并显示出温差、端

差、蒸汽过热度、压力比值等数据，具有超差报警功能。

2) 定期记录所设定的运行参数，计算出相应的差值，标注出超限（含波动值超限）报警的参数名称、超限数值及持续时间等。

3) 自动形成汽轮机组定期（例如每周或每月等）和机组启停的参数分析报告。

4) 开发汽轮机组故障分析系统。针对机组运行过程中出现的参数异常，自动进行相关因素的趋势分析，找出引起参数异常的确切原因，提示运行人员及时、正确操作，防患于未然。

5) 开发其他诸如汽轮发电机组轴系稳定性监测系统、汽轮机通流部分安全性监测系统等专项监测系统。

6) 判断汽轮机组是否具备启动和正常停机条件。在机组启动和停机（包括紧急故障停机）过程中，及时将汽轮机在线参数和标准值、历史值相比较，提供超差报警功能。汇集整理启动或停机过程的有关参数，分析启动或停机过程的不足或失误，提供正确合理启停汽轮机组的参考建议等。

(3) 汽轮机故障动态诊断方法。通过对设备在线运行参数异常的分析，找出引起设备故障的确切原因。

1) 参数趋势分析。对每一个能反映设备故障征兆的汽轮机在线运行“参数—时间关系曲线”进行分析，观察其随时间的变化趋势，包括在某一时间段内的变化差值，以及变化速率和波动值大小，若有异常或超标，即表明设备已存在故障征兆。例如规程规定主蒸汽温度在 10min 内直线下降 50℃，即应事故停机。参数趋势分析工作在正常情况下应每天进行一次，并提出分析报告。若发现参数有异常变化，则应即时进行分析。

2) 相关因素分析。将可能引起同一设备故障的诸多参数的“参数—时间关系曲线（趋势图）”置于计算机显示器（CRT）的同一画面上进行比较（同一时间坐标），若一个或数个参数的变化趋势和异常参数一致（同向或反向），则表明该参数和该设备故障有关。例如某轴承振动异常变化的规律和该轴承的油膜压