



汽轮机调试技术 与常见故障处理

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编

程贵兵 主编

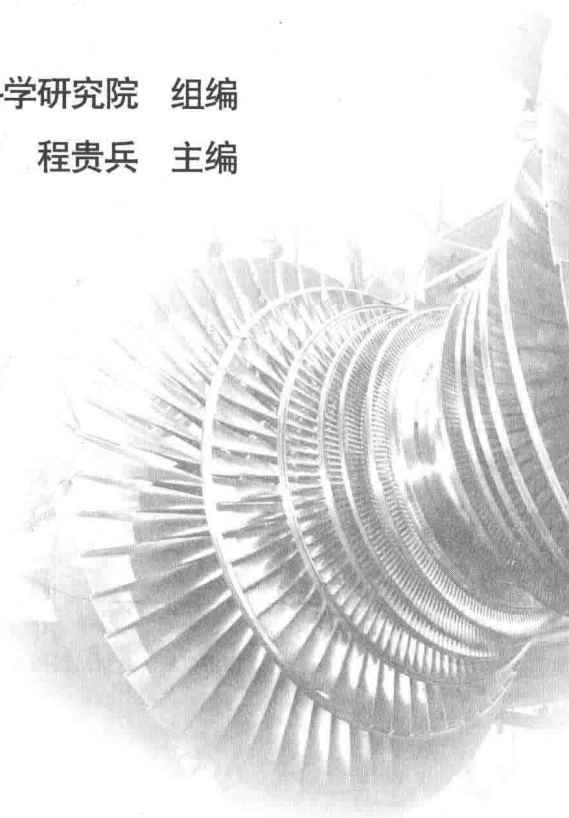


中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

汽轮机调试技术 与常见故障处理

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编

程贵兵 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要讲述了火电厂汽轮机调试内容及流程、汽轮机分部调试技术、汽轮机整套启动调试技术三个方面内容。重点介绍了汽轮机调试过程中的技术要求、常见典型问题原因分析及预防。

本书适合从事大型火电厂汽轮机设计、安装、调试、运行、检修及管理工作的工程技术人员阅读或作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机调试技术与常见故障处理/程贵兵主编；国网湖南省电力公司电力科学研究院组编. —北京：中国电力出版社，2016.1

ISBN 978-7-5123-8466-8

I. ①汽… II. ①程…②国… III. ①火电厂-蒸汽透平-调试方法②火电厂-蒸汽透平-故障修复 IV. ①TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 247007 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 1 月第一版 2016 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 308 千字

印数 0001—2000 册 定价 60.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

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

序

在新建火电机组建设过程中，调试作为其中的重要一环，在设备的安全和质量方面有着举足轻重的地位，汽轮机专业更是如此。汽轮机现场设备及系统繁杂，既有高温高压蒸汽、又有易燃易爆氢气，还有众多高速旋转的精密转动设备，与汽轮机安全事故相关联的有汽轮机超速、汽轮机轴系断裂、汽轮机轴瓦损坏、汽轮机大轴弯曲、汽轮机油系统着火、发电机氢气爆炸（很大一部分职责在汽机专业）六个方面，更不用说层出不穷的辅机问题。在调试过程中，稍有差错，就可能导致重大设备损坏及人身伤害事故发生，因此汽轮机调试怎么干不容易出事是一项值得不断深入总结的工作。

《汽轮机调试技术与常见故障处理》一书，以设备安全和质量为主线，内容突出在大容量高参数汽轮机调试技术要点和常见典型问题分析及预防措施，较好地回答了汽轮机调试要干些什么、怎么干的问题。参加该书编写的几位专家长期从事现场技术服务和调试工作，具有丰富的调试经验和解决现场技术难题的能力，书中引用的案例或常见故障是他们在调试过程中的亲身经历，所采取的预防措施也是来自于实践中的成果总结，该书对从事工程设计、施工、调试、运行和维护管理的火电机组汽轮机专业人员有较强指导性作用。



2015年11月

前言

调整试运是火电工程建设的最后一个阶段，是全面检查主机及配套系统的设备制造、设计、施工、调试和生产准备的重要环节，是保证机组达到设计值，并能安全、可靠、经济地形成生产能力，发挥投资效益的关键过程。加强调试管理可以规范火电建设机组调试工作程序，保证机组调试安全，提高机组的调整试运水平。

在长期的电力调试工作中，广大电力工程调试工作者善于学习归纳、勤于实践、探索、勇于开拓创新，积累了丰富的调试经验，为电力建设整体水平的不断提高奠定了坚实的基础。随着大容量、高参数火电机组的迅猛发展，新设备、新技术、新工艺、新材料广泛应用，对电力调试工作提出了更高的要求。

为适应火力发电厂汽轮机调试技术不断发展的需要，提高电力调试队伍的整体素质和技术水平，我们组织了汽轮机专业调试战线上的一批专家和工程技术人员，立足电力工程建设的实际，重视经验的总结和积累，努力跟踪国内外火力发电厂汽轮机调试新技术，从大量纷繁复杂的资料中综合提炼，融会贯通，几易其稿，终于完成了本书的编写工作。

《汽轮机调试技术与常见故障处理》一书分为三篇。第一篇为汽轮机调试内容及流程篇，主要介绍了汽轮机基础知识，汽轮机调试管理、调试工作原则及程序、机组指标控制与调试等。第二篇为汽轮机分部调试篇，主要介绍了单体及分部调试条件及重点事项，汽轮机侧分系统试运内容及注意事项，空冷系统试运内容及注意事项、配合其他专业试运内容及注意事项等。第三篇为汽轮机整套启动调试篇，主要介绍了汽轮机空负荷、带负荷、满负荷调试的基本内容。

本书由国网湖南省电力公司电力科学研究院汽机室程贵兵、李明、郭卫华、曾庆华、韩彦广、陈非编写，程贵兵负责组织协调，陈非负责统稿。参与本书编写的工作人员均是长期从事汽轮发电机组现场调试工作的专业技术人员，对汽轮机本体及辅助设备的结构、工作原理、调试方法及故障分析与处理等方面十分熟悉。限于作者的水平和经验，书中难免会有缺点和不足之处，敬请读者批评指正。

作者

2015年11月于长沙

目 录

序
前言

第一篇 汽轮机调试内容及流程

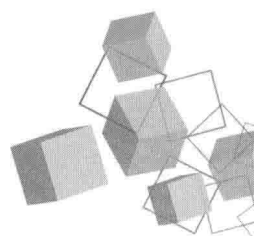
第一章 汽轮机基础知识	3
第一节 汽轮机分类及有关定义	3
第二节 汽轮机主要设备及系统介绍	7
第二章 汽轮机调试专业知识	14
第一节 调试管理	14
第二节 机组调试工作原则及程序	20
第三节 机组指标控制与调试	23

第二篇 汽轮机分部调试

第三章 单体及分部调试条件及重点事项	29
第四章 汽轮机冷却水系统调试	31
第一节 闭式冷却水系统试运	31
第二节 开式冷却水系统试运	34
第三节 循环水泵及循环水系统试运（含冷却塔）	37
第四节 胶球系统试运	41
第五章 凝结水及给水系统调试	44
第一节 凝结水泵及凝结水系统试运	44
第二节 电动给水泵组及除氧给水系统试运	48
第三节 汽动给水泵组试运	51
第六章 汽轮机油系统调试	56
第一节 主机润滑油、顶轴油系统及盘车装置试运	56
第二节 油净化装置试运	64
第三节 汽轮机调节保安系统及控制油系统试运	67

第四节 给水泵汽轮机润滑油系统及调节保安系统试运	71
第七章 发电机氢油水系统调试	76
第一节 发电机定子内冷水系统试运	76
第二节 发电机密封油系统试运	78
第三节 发电机氢冷系统试运	83
第八章 蒸汽系统调试	89
第一节 主再热蒸汽和旁路系统试运	89
第二节 辅助蒸汽系统试运	92
第三节 轴封和真空系统试运	94
第四节 抽汽回热系统试运	96
第五节 疏水系统试运	98
第九章 空冷系统调试	100
第一节 直接空冷系统调试	100
第二节 间接空冷系统调试	117
第十章 系统化学清洗	132
第一节 系统碱洗汽轮机侧配合工作	132
第二节 系统酸洗汽轮机侧配合工作	137
第十一章 锅炉吹管调试	142
第一节 炉前水系统冲洗	142
第二节 锅炉吹管	144
第三节 锅炉吹管一般故障及处理	150
 第三篇 汽轮机整套启动调试	
第十二章 汽轮机首次冲转及空负荷调试	161
第一节 汽轮机启动前分系统投运	161
第二节 汽轮机冲转及空负荷试验	164
第十三章 汽轮机带负荷调试	185
第一节 机组带负荷系统投运	185
第二节 带负荷试验	199
第十四章 汽轮机满负荷试运	209
附录 1 东汽 600MW (1000MW) 汽轮机冷态启动过程	215
附录 2 上汽西门子 660MW (1000MW) 超超临界汽轮机冷态启动过程	217
附录 3 哈汽 600MW 超临界汽轮机冷态启动过程	219
附录 4 哈汽 1000MW 超超临界汽轮机冷态启动过程	221
参考文献	223

第一篇



汽轮机调试内容及流程

第一章 汽轮机基础知识

第一节 汽轮机分类及有关定义

一、汽轮机分类

汽轮机在社会经济的各部门中都有广泛的应用。汽轮机种类很多，并有不同的分类方法。

1. 按工作原理分类

近代火力发电厂采用的都是由不同级顺序串联构成的多级汽轮机。来自锅炉的蒸汽逐次通过各级，将其热能转换成机械能。级是汽轮机中最基本的做功单元，在结构上，它是由喷嘴叶栅（静叶栅）和跟它配合的动叶栅组成的；在功能上，它完成将蒸汽热能转变为机械能的能量转换。蒸汽在汽轮机级中以不同方式进行能量转换，构成了不同工作原理的汽轮机——冲动式汽轮机和反动式汽轮机，以及蒸汽在喷嘴中膨胀后产生的动能在后几列动叶上加以利用的速度级汽轮机。

（1）冲动式汽轮机。主要由冲动级组成，蒸汽主要在喷嘴叶栅（或静叶栅）中膨胀，在动叶栅中没有或者只有少量膨胀。

（2）反动式汽轮机。主要由反动级组成，蒸汽在喷嘴叶栅（或静叶栅）和动叶栅中都进行膨胀，且膨胀程度相同。现代喷嘴调节的反动式汽轮机，因反动级不能做成部分进汽，故第一级调节级常采用单列冲动级或双列速度级。

冲动式汽轮机和反动式汽轮机在电厂中都获得了广泛应用。这两种类型汽轮机的差异不仅表现在工作原理上，而且还表现在结构上，前者为隔板型，后者为转鼓型（或筒型）。隔板型汽轮机动叶叶片嵌装在叶轮的轮缘上，喷嘴装在隔板上，隔板的外缘嵌入隔板套或汽缸内壁的相应槽道内。转鼓型汽轮机动叶片直接嵌装在转子的外缘上，隔板为单只静叶环结构，它装在汽缸内壁或静叶持环的相应槽道内。

目前世界上生产多级轴流冲动式汽轮机的主要制造企业有美国的通用电气公司（GE）、英国的通用电气公司（GEC）、日本的东芝和日立、意大利的安莎多，以及前苏联的列宁格勒金属工厂（JIM3）、哈尔科夫透平发动机厂（XTT3）和乌拉尔透平发动机厂（YTM3）等；制造反动式汽轮机的企业有美国西门子西屋公司（WH）、欧洲的ABB公司、德国的电站设备联合制造公司（KWU）、日本的三菱、英国帕森斯公司、法国电气机械公司（CMR）公司等。另外，法国的阿尔斯通—大西洋公司（AA），既生产冲动式汽轮机也生产反动式汽轮机。

2. 按热力特性分

（1）凝汽式汽轮机。蒸汽在汽轮机中膨胀做功后，进入高度真空状态下的凝汽器，

排汽压力低于大气压力，凝结成水，因此具有良好的热力性能，是最为常用的一种汽轮机。

(2) 背压供热式汽轮机。它既提供动力驱动发电机或其他机械，又提供生产或生活用热，具有较高的热能利用率。其排汽压力高于大气压力，直接用于供热，无凝汽器。当排汽作为其他中、低压汽轮机的工作蒸汽时，称为前置式汽轮机。

(3) 调整抽汽式汽轮机。从汽轮机中间某几级后抽出一定参数、一定流量的蒸汽（在规定的压力下）对外供热，其排汽仍排入凝汽器。根据供热需要，有一次调整抽汽和二次调整抽汽之分。

(4) 中间再热式汽轮机。新蒸汽在汽轮机高压缸内若干级膨胀做功后进入锅炉再热器，再次加热后返回汽轮机继续做功。

(5) 饱和蒸汽轮机。是以饱和状态的蒸汽作为新蒸汽的汽轮机。

背压式汽轮机和调整抽汽式汽轮机统称为供热式汽轮机。目前凝汽式汽轮机均采用回热抽汽和中间再热。汽轮机的蒸汽从进口膨胀到出口，单位质量蒸汽的容积增大几百倍，甚至上千倍，因此各级叶片高度必须逐级加长。大功率凝汽式汽轮机所需的排汽面积很大，末级叶片须做得很长。

3. 按主蒸汽参数分

进入汽轮机的蒸汽参数是指进汽的压力和温度，按不同的压力等级可分为：

- (1) 低压汽轮机：主蒸汽压力在 $0.1176 \sim 1.47 \text{MPa}$ ；
- (2) 中压汽轮机：主蒸汽压力为 $2.058 \sim 3.92 \text{MPa}$ ；
- (3) 高压汽轮机：主蒸汽压力为 $5.978 \sim 9.8 \text{MPa}$ ；
- (4) 超高压汽轮机：主蒸汽压力为 $11.76 \sim 13.72 \text{MPa}$ ；
- (5) 亚临界压力汽轮机：主蒸汽压力为 $16.17 \sim 17.64 \text{MPa}$ ；
- (6) 超临界压力汽轮机：主蒸汽压力大于 22.148MPa ；
- (7) 超超临界压力汽轮机：主蒸汽压力大于 32MPa 。

补充说明：超超临界参数实际上是在超临界参数的基础上向更高压力和温度提高的过程。通常认为超超临界是指压力达到 $30 \sim 35 \text{MPa}$ ，温度达到 $593 \sim 600^\circ\text{C}$ 或者更高的参数，并具有二次再热的热力循环。还有一种观点认为，温度 566°C 事实上一直是超临界参数的准则，任何超临界新汽温度或再热汽温度超过这一数值时也被划为超超临界参数范畴，或者称为提高参数的超临界机组。

4. 按汽轮机结构特点分

(1) 按机组转轴数目分类可分为单轴和双轴汽轮机、多轴汽轮机。对于前者，所有汽缸都连在一起并在一条直线上，只带动一个发电机，后者是由若干个（通常是两个）平行排列的单轴汽轮机所组成的机组，这些单轴机具有统一的热力过程，轴数与发电机数相同。

(2) 按用途分类可分为电站汽轮机、工业汽轮机、船用汽轮机。

(3) 按汽缸数目分类可分为单缸、双缸和多缸汽轮机。

- (4) 按汽流方向分类可分为轴流式、辐流式、周流式汽轮机。
- (5) 按工作状况分类可分为固定式和移动式汽轮机等。
- (6) 按级数分，有单级汽轮机和多级汽轮机。

二、发电厂汽轮机有关定义

(一) 国产汽轮机产品型号组成及蒸汽参数表示法

国产汽轮机的型号表示方法：



我国目前制造的汽轮机类型采用汉语拼音来表示，如表 1-1 所示。蒸汽参数用数字来表示，如表 1-2 所示。

表 1-1 国产汽轮机型号的代号表示法

代号	N	B	C	CC	CB	H	Y
型号	凝汽式	背压式	一次调整 抽汽式	二次调整 抽汽式	抽汽背压式	船用	移动式

表 1-2 汽轮机型号中蒸汽参数表示法

型式	参数表示方法	示例
凝汽式	主蒸汽压力/主蒸汽温度	N100-8.83/535
中间再热式	主蒸所压力/主蒸汽温度/中间再热温度	CLN600-24.2/566/566
抽汽式	主蒸汽压力/高压抽汽压力/低压抽汽压力	C50-8.83/0.98/0.118
背压式	主蒸汽压力/背压	B50-8.83/0.98
抽汽背压式	主蒸汽压力/抽汽压力/背压	CB25-8.83/0.98/0.118

注 功率单位为 MW，压力单位为 MPa，温度单位为℃。

(二) 汽轮发电机组的容量定义

1. 国际电工委员会（IEC）1985 年版对汽轮发电机组功率（或出力）等术语的一般定义

(1) 发电机功率。发电机接线端（输出端）处的功率，若采用非同轴励磁时，还需扣掉外部励磁的功率。

(2) 净电功率。发电机功率减去厂用电功率。

(3) 经济功率（ECR）。机组在此功率下，汽轮机热耗率或汽耗率为最小值。

(4) 保证最大连续功率（TMCR）。在规定的端部条件（合同中规定的各端部条件，典型包括有主蒸汽和热再热蒸汽参数、冷再热蒸汽压力、最终给水温度、排汽压力转速、抽汽要求等）及运行寿命期内，机组在发电机输出端连续输出的功率。通常在该功率下考核机组所保证的热耗率。在此功率下，调节汽阀不一定要全开。

(5) 调节汽阀全开工况的功率 (VWO 工况的功率)。在规定的主蒸汽参数条件下, 汽轮机调节汽阀全开, 机组所能输出的功率。

(6) 最大过负荷能力。在规定的过负荷条件下, 如末级给水加热器停运或提高主蒸汽的压力, 汽轮机调节汽阀全开下, 机组所能输出的最大功率。

2. 国际上对大容量汽轮发电机组功率等术语的一般定义

(1) 额定功率 (铭牌功率, 铭牌出力)。通常是指汽轮机在额定主蒸汽和再热蒸汽参数工况下, 排汽压力为 11.8kPa (a)、补水率为 3%, 能在发电机接线端输出供方所保证的功率。汽轮机的进汽量属供方的保证值, 它与所保证的额定工况相对应。

(2) 机组的保证最大连续功率 (TMCR)。是指汽轮机在通过铭牌功率所保证的进汽量、额定主蒸汽和再热蒸汽参数工况下, 排汽压力为 4.9kPa (a)、补水率为 0%, 机组能保证达到的功率, 它一般比额定功率大 3%~6%。

(3) 汽轮机的设计流量 (计算最大进汽量)。在所保证的进汽量基础上增加一定的裕量, 即 $(1.03 \sim 1.05) \times$ 保证进汽量, 且调节汽阀全开。由于制造水平的提高, 裕量取前者, 即 3%。

(4) 调节汽阀全开 (VWO) 时计算功率。机组在调节汽阀全开时, 通过计算最大进汽量和额定主蒸汽、再热蒸汽参数工况下, 并在额定排汽压力为 4.9kPa、补水率为 0% 条件下计算所能达到的功率。

3. 美国设计的大容量汽轮发电机组各项功率的术语和定义

(1) 汽轮发电机组额定功率。即在额定主蒸汽和再热蒸汽参数工况下、排汽压力为 11.8kPa、补水率为 3% 时汽轮发电机组的保证功率 (出力)。

(2) 进汽量。在额定工况下汽轮发电机组发出保证功率所需的主蒸汽流量。

(3) 保证最大功率。即汽轮机在额定主蒸汽和再热蒸汽参数工况以及额定的排汽压力与补水条件下, 通过对应于额定功率时的进汽量的机组功率。

(4) 最大计算功率 (或 VWO 功率)。即汽轮发电机组在额定的进汽参数和额定背压与补水率条件下, 调节汽阀全开时, 通过最大计算进汽量时的计算功率 (非保证值)。一般比最大保证功率高出 4.5%, 即 $1.045 \times$ 最大保证功率。

(5) 超压 5% 的连续运行功率。除核发电机组外, 汽轮发电机组能安全地在调节汽阀全开和所有回热加热器投运下, 超压 5% 连续运行的功率。这种运行方式下汽轮机通流能力比额定主蒸汽压力下的通流能力增加 5%。

美国设计的机组以 VWO 工况为运行基础推荐可超压 5% 连续运行, 采用 VWO+5% 运行工况的计算功率或最末级高压加热器停运时以适应日间峰值负荷之需要。

日本或其他欧洲国家所设计的大容量机组以 VWO 工况下的功率为汽轮机最大功率, 而以超压 5% 为最大负荷能力, 即每天可超压 5% 运行的时间需加以限定, 也就是超压 5% 仅作为机组短时间过负荷的能力。

4. 机、炉、电容量匹配

(1) 发电机容量。一般发电机的功率应与 VWO 工况的功率相匹配, 即等于 VWO

工况功率/功率因数 (MVA)。若采用美国机组, 则发电机的功率应与汽轮机 VWO+5% 运行工况的功率相配。在我国, 考虑汽轮机和发电机功率配合时, 除了功率因数外, 还应合理确定发电机的效率。

(2) 锅炉最大连续蒸发量 (BMCR)。应与汽轮机的设计流量 (即计算最大进汽量) 相匹配, 不必再加裕量。若汽轮机按 VWO 工况计算最大功率, BMCR 蒸发量等于汽轮机 VWO 工况的最大进汽量, 若采用美国设计的机组, 则 BMCR 蒸发量可等于汽轮机 VWO+5% 运行工况的最大进汽量。日本生产机组通常在铭牌功率或 TMCR 工况下运行, 其锅炉最大连续蒸发量比汽轮机 VWO 工况时的进汽量约大 0%~3.3%。

第二节 汽轮机主要设备及系统介绍

一、汽轮机主要设备

火力发电厂汽轮机设备一般分为主设备和配套辅助设备。

(一) 汽轮机本体及配套

汽轮机本体由转动部分和静子部分组成。转子部分包括动叶片、叶轮 (反动式汽轮机为转鼓)、主轴和联轴器及紧固件等旋转部件; 静子部分包括汽缸、蒸汽室、喷嘴室、隔板、隔板套 (反动式汽轮机为静叶持环)、汽封、轴承、轴承座、机座、滑销系统, 以及有关的紧固零件等。

1. 转子及动叶

汽轮机转子可分为轮式转子和鼓式转子两种基本类型。轮式转子装有安装动叶片的叶轮, 鼓式转子没有叶轮, 动叶片直接装在转鼓上。通常冲动式汽轮机采用轮式转子, 反动式汽轮机为了减小转子上的轴向推力, 采用鼓式转子。汽轮机是高速旋转的机械, 转子在高温高压的环境下工作, 转子的任何缺陷都会影响机组的安全经济运行。转子除了在动叶通道完成能量转换、主轴传递扭矩外, 还要承受很大的离心力、各部件的温差引起的热应力, 以及由于振动产生的动应力。因此, 转子必须用性能优良、高强度、高韧性的金属制造。为了提高通流部分的能量转换效率, 转子、静子部件间保持较小的间隙, 要求转子部件加工精密, 调整、安装精细准确。

动叶片安装在转子叶轮 (冲动式汽轮机) 或转鼓 (反动式汽轮机) 上, 接受喷嘴叶栅射出的高速汽流, 把蒸汽的动能转换为机械能, 使转子旋转。动叶片是汽轮机中最重要的零件之一, 主要表现在: ①它作为蒸汽热能转换为机械能的主要做功部件, 其结构型线、工作状态将直接对能量转换效率产生影响; ②数量最多, 加工工作量相当大; ③它是汽轮机中承受应力最高的零件, 又必须在相当恶劣的工作条件下工作, 事故率很高。因此, 叶片的结构、性能不仅涉及设计制造, 而且和汽轮机的经济性及运转的安全性关系密切。

汽轮机的动叶片一般由三部分组成: 一是通过横销紧固在转子的叶根, 二是将蒸汽动能转化成机械能的叶高部分, 三是引导蒸汽流动、并在叶轮外径设置的护罩, 即围带

部分。图 1-1 为动叶片在汽轮机的安装位置及动叶片的结构示意图。

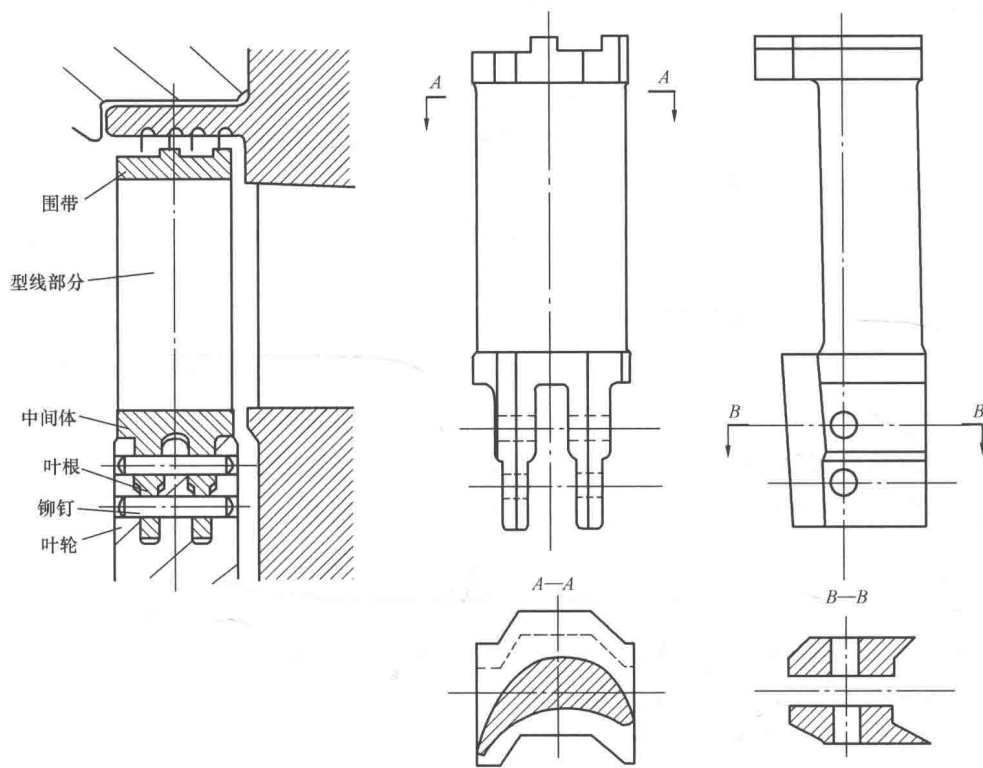


图 1-1 动叶片在汽轮机的安装位置及动叶片结构示意图

汽轮机叶片由于运行条件和作用不同，分为不同的类型。叶片按其截面是否沿叶高变化，可分为等截面叶片、变截面叶片和扭曲叶片。一般情况下，高中压转子的叶片采用等截面叶片，而低压转子后几级毫无例外的采用变截面扭曲叶片。

图 1-2 为某型冲动式汽轮机高中压合缸转子示意图，高压转子装配 8 级动叶，中压

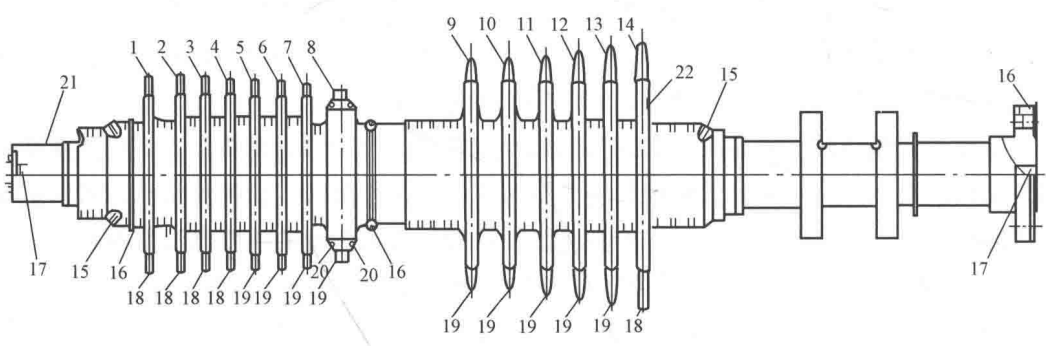


图 1-2 某型冲动式汽轮机高中压合缸转子示意图

- 1—第 8 级动叶片；2—第 7 级动叶；3—第 6 级动叶；4—第 5 级动叶；5—第 4 级动叶；6—第 3 级动叶；
7—第 2 级动叶；8—第 1 级动叶；9—第 9 级动叶；10—第 10 级动叶；11—第 11 级动叶；
12—第 12 级动叶；13—第 13 级动叶；14—第 14 级动叶；15—平衡螺栓；16、22—平衡重块；
17—塞销；18、19—围带；20—镶件；21—转子

转子装配 6 级动叶。

2. 联轴器

联轴器是将汽轮机各个转子及发电机转子联成一体,用以传递扭矩及轴向推力的重要部件。主要有刚性、半挠性、挠性联轴器三类。大型汽轮发电机组一般采用刚性联轴器,这种联轴器结构简单,连接刚度大,传递力矩大。另外,刚性联轴器连接的轴系只需要一个推力轴承平衡推力,简化了轴系的支承定位,缩短了轴系长度。但此种联轴器连接的轴系需要高精度的轴系对中,否则,各个转子相互影响较大,容易引起轴系振动。

3. 盘车装置

汽轮机启动前和停机后,为避免转子弯曲变形,须设置连续盘车装置。在汽轮机启动冲转前,转子两端由于轴封供汽,蒸汽便从轴封两端漏入汽轮机,并集中在汽缸上部,使转子和汽缸产生温差,若转子不动则会使转子产生热弯曲;同样,汽轮机停机后,转子仍具有较高的温度,蒸汽聚集在汽缸的上部,由于汽缸结构不同,汽轮机上下缸温降速度不一样,也会使转子产生热弯曲;另外,在汽轮机启动前,通过盘车可使汽轮机上下缸以及转子温度均匀,自由膨胀,不发生动静部分摩擦,有助于消除温度较高的轴颈对轴瓦的损伤,还能消除转子由于重力产生的自然弯曲。

盘车一般分为低速盘车和高速盘车两类,高速盘车的转速一般为 $40\sim 80\text{r/min}$,而低速盘车一般为 $2\sim 10\text{r/min}$ 。高速盘车对油膜的建立较为有利,对转子的加热或冷却较为均匀,但盘车装置的功率较大,高速旋转如果温降速度控制不好,容易磨坏汽封齿,另外,高速盘车需要一套可靠的顶轴油系统,系统复杂。盘车驱动机构有电动盘车和液动盘车两种结构。

4. 汽缸

汽缸是汽轮机的静止部分,它的作用是将蒸汽与大气隔绝,形成蒸汽完成能量转换的封闭空间。此外,它还要支撑汽轮机的其他静止部件,如:隔板、隔板套、喷嘴汽室等。按蒸汽在汽轮机内流动的特点,汽缸的高中压部分承受蒸汽的内压力,低压部分有一部分缸体承受外部的大气压。由于汽缸的重量大,结构复杂,在运行过程中,由于蒸汽的温度和比容变化较大,汽缸各部分承受的应力沿汽缸的分布有较大的差别。因此,汽缸在设计和制造过程中,仍需考虑较多的问题,其中主要有:汽缸及其结合面的严密性,汽轮机启动过程中的汽缸热膨胀、热变形和热应力以及汽缸的刚度、强度和蒸汽流动特性等。

为了便于加工、装配和检修,汽缸一般做成水平中分形式,其主要特点是:通常把汽缸分为上下两个部分,转子从其径向中心穿过,为了使汽缸承受较大的蒸汽压力而不泄漏,汽缸上下两个部分用紧固件连接,最常用的是用螺栓、螺帽,它们沿上下缸中分面外径的法兰将上下缸紧密联在一起。为了保证法兰结合面的严密性,汽缸中分面在制造过程中必须光洁、平整。法兰螺栓的连接一般采用热紧方式,也就是在安装螺栓时给螺栓一定的预紧力,在经过一段时间的应力松弛后仍能保证法兰的严密性。另外,汽缸

的进汽部分尽可能分散布置,以免造成局部热应力过大,引起汽缸变形。

随着机组容量的增大,蒸汽参数的提高,设计密封性能好而且可靠的法兰非常困难。为了解决这个问题,大型的汽轮机往往做成双层缸体结构,内外缸之间充满着一定压力和温度的蒸汽,从而使内外缸承受的压差和温差较小,另外,双层缸结构缸体和法兰都可以做的较薄,减小热应力,有利于改善机组的启动和负荷适应能力。一般情况下,双层缸的定位方法为:外缸用猫爪支撑在轴承座上,内缸与外缸采用螺栓连接,并用定位销和导向销进行定位和导向。

汽缸在运行中要承受内压力和内外壁温差引起的热应力,为了保证动静部分在正常运行时的正确位置,缸体材料必须具有足够的强度性能、良好的组织稳定性和抗疲劳性,并具有一定的抗氧化能力。对于汽缸的中分面法兰紧固件,因为其在应力松施的条件下工作且承受拉伸应力,因而这些部件材料要具有较高的抗松施性能、足够的强度、较低的缺口敏感性以及较小的蠕变脆化倾向和抗氧化性。通常螺母的强度比螺栓低一级,这样两者硬度不同可减小螺栓的磨损,并能防止长期工作后不咬死。

为了保证汽缸受热时自由膨胀又不影响机组中心线的一致,在汽缸和机座之间设置了一系列的导向滑键,这些滑键构成了汽轮机的滑销系统,对汽缸进行支撑、导向和定位,保证汽轮机良好对中,各汽缸、转子、轴承的膨胀不受阻碍。高中压缸一般都采用支撑面和中分面重叠的上猫爪支撑结构。汽缸本身的热膨胀和转子的热膨胀也是汽轮机设计过程中要考虑的问题,要合理的选定汽缸的死点、转子与汽缸相对死点的位置,留有足够的相对膨胀间隙,保证动静部分的间隙在合理的范围内,提高汽轮机的整体工作效率。

汽轮机在运行中,在汽缸内不允许有任何积水,因此,汽缸在设计时有足够的去湿装置,疏水留有足够的通流面积,尽可能的避免无法疏水的洼窝结构。

5. 汽缸支撑及滑销系统

汽缸支撑在基础台板上,基础台板又用底角螺栓固定在基础上。汽缸的支撑方法一般有两种:一种是汽缸通过猫爪支撑在轴承座上,通过轴承座放置在台板上;另一种是用外伸的撑角螺栓直接放置在台板上。

滑销系统通常由横销、纵销、立销、角销等组成。在汽缸与基础台板间和汽缸与轴承座之间应装上相应滑销系统,既保证汽缸自由膨胀,又保证机组中心不变。

(1) 汽缸膨胀。汽轮发电机组从启动过程到正常运行状态,汽缸要膨胀,转子也要膨胀,对于双层缸结构的汽轮机,内外缸之间也会产生相对膨胀。由于汽缸和转子在使用材料不同,几何尺寸不一样,汽缸和转子,内外缸之间膨胀量不完全相同,必然产生膨胀差。为了保证汽轮机在启动、停机过程中,汽缸、转子能按照设计要求定位和对中,保证其膨胀不受阻碍,汽轮机配置了一套完善的滑销系统。其主要有横销、纵销、立销、角销等部件组成,通过在不同部位的安装,控制汽轮机的膨胀方向。一般情况下大型汽轮机由于轴系长,缸体绝对膨胀值大,均采用多死点滑销系统,保证汽轮机的沿不同方向上的自由膨胀。