

火力发电机组过程控制工程师培训教材

# 300MW 机组汽轮机

## 热力系统及其设备

第二册

江苏省电力科学研究院有限公司 组编  
郭振宇 编



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

火力发电机组过程控制工程师培训教材

# 300MW机组汽轮机

## (第二册) 热力系统及其设备

---

江苏省电力科学研究院有限公司 组编  
郭振宇 编



中国电力出版社

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

## 内 容 提 要

本书是《火力发电机组过程控制工程师培训教材》丛书的第二分册。本书在概述了汽轮机组的发展和型式的基础上，重点介绍了国内常见的300MW等级汽轮机组，从绪论、汽轮机本体及驱动给水泵汽轮机、热力系统及其设备、汽轮机组运行四个部分，按章介绍了汽轮机概述、汽轮机本体、驱动给水泵汽轮机、汽轮机组热力系统（包括凝汽设备及其系统）、火电厂主要水泵、油系统及其设备、汽轮机的启动和停机、汽轮机的正常运行和监督等内容。

本书可以作为生产控制过程工程师的培训教材，同时对从事热工自动控制系统现场运行的技术人员能起到交流经验、提高分析能力的作用，也可供大中专热工自动控制专业的师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

300MW 机组汽轮机热力系统及其设备/郭振宇编.  
北京: 中国电力出版社, 2005  
火力发电机组过程控制工程师培训教材  
ISBN 7-5083-2555-9

I. 3... II. 郭... III. 火力发电-发电机-机组-热力系统-技术培训-教材 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 135949 号

中国电力出版社出版

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2006年5月第一版 2006年5月北京第一次印刷  
850毫米×1168毫米 32开本 10印张 261千字  
印数 0001—3000册 定价 19.00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

近年来,随着我国不断加快的经济发展步伐,电力工业也在发生翻天覆地的变化。300MW 汽轮机组已经成为中国各大电网中的主力机组。研究和掌握 300MW 汽轮机组的型式、结构、系统、运行等特性越来越成为广大电力工业工作者的急切需求。

2003 年 9 月,我院(江苏省电力科学研究院)受太仓环保发电有限公司的委托,为该公司热工人员进行培训,目的是使热工人员能够掌握热工专业研究对象——汽轮机组的各种特性,更好地掌握热工专业的知识和技能,为该公司将来的正常运转奠定基础。

考虑到培训对象是热工人员,因此在内容上作以下安排。

首先是绪论部分,概述了汽轮机组的发展、分类和型式,着重介绍了国内常见的 300MW 等级汽轮机组,最后简要的介绍了机组的经济性和可靠性。

一般来说,汽轮机组教材应当分为汽轮机组与设备的结构与 设计、制造与建设、试验与研究、运行与维护等四部分。本教材将主要介绍汽轮机热力系统及设备的结构与运行。本教材的主体部分从以 300MW 凝汽式汽轮机组为例分八章详细介绍了汽轮机本体、热力系统与主要设备、汽轮机组运行。考虑到驱动给水泵汽轮机也是汽轮机的一种,因此将这一章列入汽轮机本体一篇;同时将凝汽设备放在汽轮机热力系统一章进行介绍。

由于编写时间仓促,难免会有疏漏及不当之处,敬请专家和读者批评指正。本书在成稿过程中,得到不少专家的热情帮助及建议,在此表示衷心的感谢。

郭振宇

2004 年 10 月

## 前言

<b>第一章</b>	<b>绪论</b> .....	1
第一节	汽轮机概述 .....	1
第二节	汽轮机的分类和型号 .....	3
第三节	汽轮发电机组的容量、参数与型式 .....	8
第四节	300MW 等级汽轮机的主要典型技术规范 与保证值 .....	11
第五节	300MW 等级汽轮机概述 .....	12
第六节	汽轮机设备的经济性 .....	19
<b>第二章</b>	<b>汽轮机本体</b> .....	23
第一节	概述 .....	23
第二节	高中压部件 .....	27
第三节	低压部件 .....	33
第四节	通流部分 .....	38
第五节	汽封及汽封系统 .....	44
第六节	配汽机构和本体阀门 .....	56
第七节	蒸汽管道 .....	62
第八节	汽轮机轴承 .....	63
第九节	转子盘车装置 .....	76
第十节	汽轮机的支撑和滑销系统 .....	79
第十一节	汽轮机本体疏水系统 .....	82
第十二节	排汽缸喷水系统 .....	84

<b>第三章</b>	<b>驱动给水泵汽轮机</b> .....	88
第一节	概述 .....	88
第二节	驱动给水泵汽轮机结构简述 .....	92
第三节	驱动给水泵汽轮机的热力系统 .....	103
第四节	驱动给水泵汽轮机的调节、保安及供油系统 .....	106
<b>第四章</b>	<b>汽轮机组热力系统</b> .....	116
第一节	给水回热系统及其设备 .....	116
第二节	给水除氧系统及其设备 .....	126
第三节	旁路系统及其设备 .....	132
第四节	国产优化引进型 300MW 汽轮机主蒸汽 管道系统 .....	143
第五节	国产优化引进型 300MW 汽轮机给水管 道系统 .....	146
第六节	凝汽设备及其系统 .....	148
<b>第五章</b>	<b>火电厂主要水泵</b> .....	161
第一节	概述 .....	161
第二节	给水泵组 .....	162
第三节	液力耦合器 .....	177
第四节	给水泵最小流量控制装置 .....	186
第五节	给水泵组水管路 .....	189
第六节	凝结水泵 .....	191
第七节	循环水泵 .....	197
<b>第六章</b>	<b>油系统及其设备</b> .....	204
第一节	概述 .....	204
第二节	润滑油系统 .....	206
第三节	润滑油系统的主要设备 .....	211

第四节	EH 抗燃油系统 .....	229
第五节	EH 抗燃油系统主要设备 .....	231
<b>第七章</b>	<b>汽轮机组启停 .....</b>	<b>241</b>
第一节	绪论 .....	241
第二节	汽轮机的启动和停机 .....	244
<b>第八章</b>	<b>汽轮机的正常运行和监督 .....</b>	<b>264</b>
第一节	汽轮机的正常运行 .....	264
第二节	汽轮机润滑油系统的维护 .....	282
第三节	汽轮机辅助设备的运行 .....	283
第四节	发电机氢水油系统的运行 .....	294
第五节	汽轮机的异常运行 .....	298
第六节	汽轮机的低负荷运行 .....	303

# 绪 论

## 第一节 汽轮机概述

### 一、汽轮机原理和特点

自然界中能够产生能量的资源称为能源。电力工业是能源转换的工业，它把一次能源转化为电能，使之成为用途更广泛的二次能源。一次能源包括煤炭、石油、天然气、水能、风能、核聚变能等。

生产电能的工厂称作发电厂（如火力发电厂、水电厂、风力发电站、核电站等）。火力发电厂利用煤、石油、天然气等化石燃料中蕴藏的化学能，在蒸汽锅炉内通过燃烧转变为蒸汽的热能，然后在汽轮机内将蒸汽的热能转变成机械能带动发电机发电。

汽轮机是以水蒸气为工质，将热能转变为机械能的一种旋转式原动机。汽轮机设备是火电厂的三大主要设备之一，汽轮机设备及系统包括汽轮机本体、辅助设备及热力系统等。汽轮机本体是由汽轮机的转动部分（转子）和固定部分（静体或静子）以及一些辅助部件组成；调节保安系统主要包括调节系统（包括调节阀等）、调节保安油系统、安全保护装置等；辅助设备主要包括凝汽器、抽气器（或水环真空泵）、高低压加热器、除氧器、给水泵、凝结水泵、循环水泵、旁路系统等；热力系统主要指主蒸汽系统、再热蒸汽系统、凝结水系统、给水回热系统、给水除氧系统、循环水系统等。

由于电能无法大量储存，发电设备的功率随外界负荷的变化



而相应地变化，即发电、供电、用电同时完成，所以电能的生产不同于其他生产，这是发电厂生产的一个重要特点。因此汽轮机必须要有自动调节系统，以便调节汽轮机功率，使之满足用户的需要，并保证供电质量（电压和频率），同时还要确保电能生产具有高度的可靠性和安全性。如果电能质量降低，就会影响用户产品的产量和质量。若发生事故，供电中断，将会造成国民经济各部门生产停顿、减产，甚至损坏用户设备，发生人身事故。

## 二、汽轮机发展史简述

自 1883 年瑞典工程师拉伐尔和 1884 年英国工程师帕森斯分别创制了第一台实用的单级冲动式和多级反动式汽轮机以来，汽轮机已有一百余年的历史。近几十年汽轮机发展尤为迅速，其发展的主要特点是：

(1) 增大单机功率。世界工业发达国家的汽轮机生产在 20 世纪 60 年代已达到 500 ~ 600MW 机组等级水平。1972 年瑞士 BBC 公司制造的 1300MW 双轴全速汽轮机 (24MPa/538℃/538℃、 $n = 3600\text{r/min}$ ) 在美国投入运行；1976 年联邦德国 KWU 公司制造的单轴半速 ( $n = 1500\text{r/min}$ ) 1300MW 饱和蒸汽参数汽轮机投入运行；1982 年世界最大 1200MW 单轴全速汽轮机 (24MPa/540℃/540℃) 在前苏联投入运行。前苏联 ЦКТИ 正在全力推进 2000MW 的高参数汽轮机的开发工作。增大单机功率具有下列优点：

1) 单位功率投资成本低。如前苏联 800MW 机组的单位功率成本比 500MW 机组的低 17%，而 1200MW 机组的单位功率成本又比 800MW 机组的低 15% ~ 20%。

2) 单机功率越大，机组的热经济性越好。如法国的 600MW 机组的热耗率比 125MW 机组的热耗率降低了 276.3kJ/kWhL，即每年可节约标准煤数万吨。

3) 加快电站建设速度，降低电站建设投资和运行费用。

(2) 提高蒸汽参数。增大单机功率后适宜采用较高的蒸汽参数。当今世界上 300MW 及以上容量的机组均采用亚临界 (16 ~

18MPa) 或超临界压力 (23 ~ 26MPa) 的机组, 甚至采用超超临界压力的机组 ( $p_0 = 32\text{MPa}$ 、 $t_0 = 600^\circ\text{C}$ ), 预计到 2000 年最高的进汽参数将达  $p_0 = 35\text{MPa}$ 、 $t_0 = 650^\circ\text{C}$ 。

(3) 普遍采用一次中间再热。采用中间再热后可降低低压缸末级排汽湿度, 减轻末级叶片水蚀程度, 为提高蒸汽初压创造了条件, 从而可提高机组内效率、热效率和运行可靠性。

(4) 采用燃气—蒸汽联合循环, 以提高电厂效率。

(5) 提高机组的运行水平。经常保持主辅设备和系统的优化运行, 以提高机组运行的经济性, 并保证规定的设备使用寿命, 这是评价大容量机组技术水平的重要标尺。

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 ANSALDO 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 (XTF3) 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屋公司 (WH)、欧洲的 ABB 公司、联邦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。

我国自 1955 年开始制造出第一台中压 6MW 汽轮机, 从 20 世纪 60 年代到 70 年代初, 已生产出 12、25、50、100、125、200MW 和 300MW 汽轮发电机组。80 年代初, 引进了美国西屋公司 300MW 和 600MW 机组的整套制造技术, 并迅速生产出一批这种机组交付安装投运, 促使我国电力工业进一步发展。

## 第二节 汽轮机的分类和型号

### 一、汽轮机的分类

#### (一) 按工作原理分类

近代火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）和动叶栅组成的；在功能上，它完成将蒸汽的热能转变为机械能的能量转换过程。蒸汽在汽轮机级中以不同方式进行能量转换，便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。

(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，第一级调节级常采用单列冲动级或双列速度级。我国引进西屋公司（WH）技术生产的 300、600MW 汽轮机组就是这种类型。

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。

隔板型汽轮机如国产 300MW 汽轮机组（见图 1-1），动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。

转鼓型汽轮机如国产引进优化型 300MW 汽轮机组（见图 1-2），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。

## （二）按热力特性分类

(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，凝结成水。

(2) 背压式汽轮机（包括抽汽背压式汽轮机）。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) 抽汽凝汽式汽轮机。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

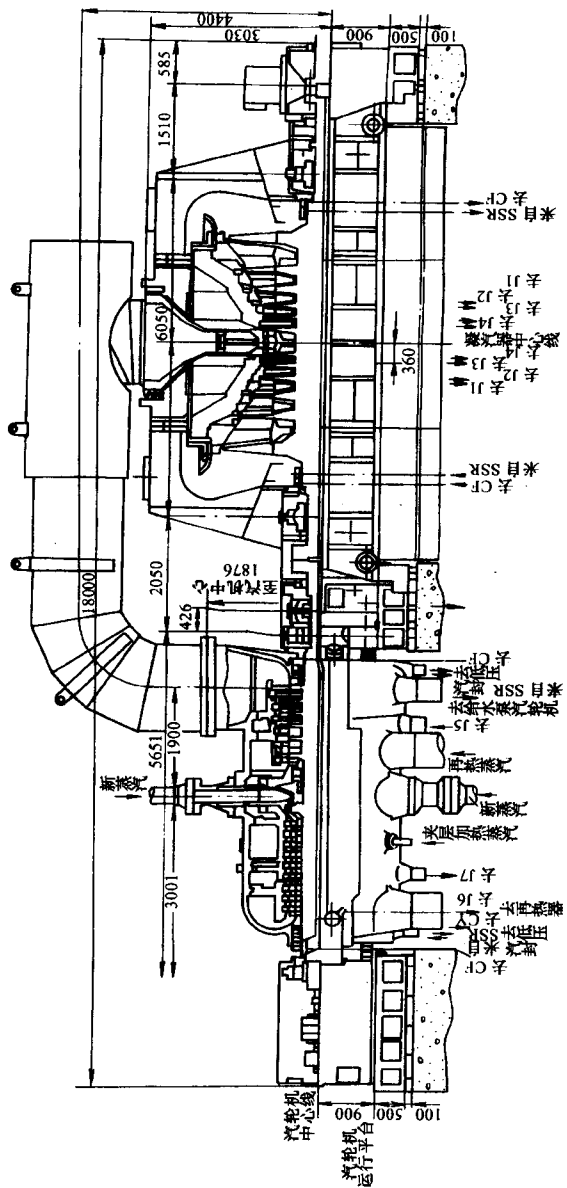


图 1-1 国产 300MW 汽轮机纵剖面图

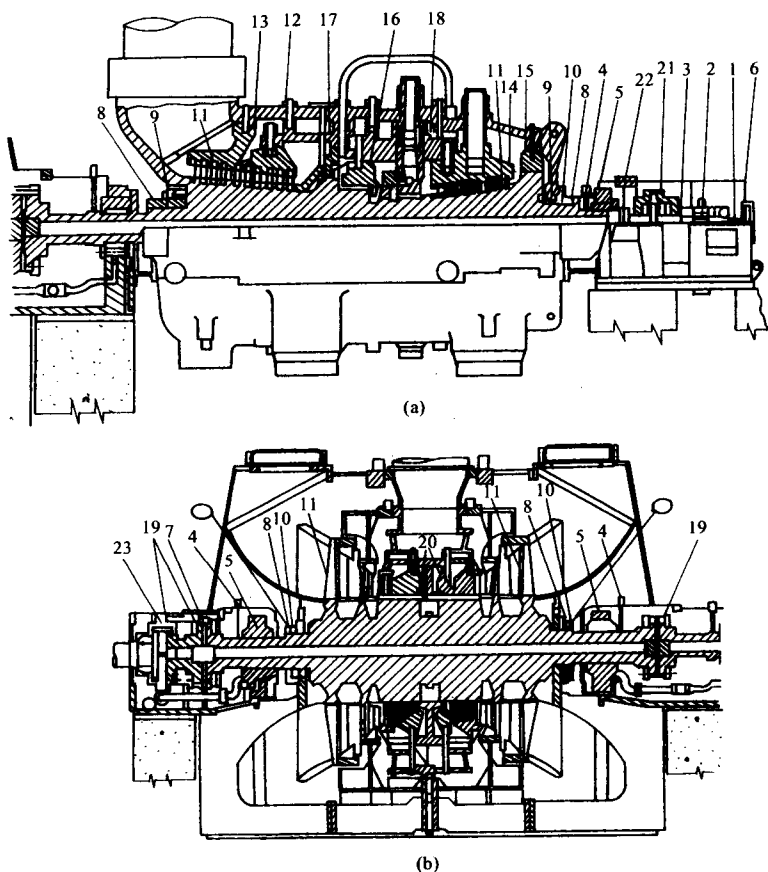


图 1-2 上海汽轮机厂制造的 300MW 汽轮机纵剖面图

(a) 高中压部分; (b) 低压部分

1—超速脱扣装置; 2—主轴泵; 3—转速传感器+零转速检测器; 4—振动检测器;  
 5—轴承; 6—偏心+鉴相器; 7—差胀检测器; 8—外轴封; 9—内轴封; 10—汽  
 封; 11—叶片; 12—中压1号持环; 13—中压2号持环; 14—高压1号持环; 15—  
 低压平衡持环; 16—高压平衡持环; 17—中压平衡持环; 18—内上缸; 19—联轴  
 器; 20—低压持环; 21—推力轴承; 22—轴向位置+推力轴承脱扣检测器; 23—  
 测速装置(危急脱扣系统)

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。蒸汽在汽轮机内膨胀做功过程中被引出，再次加热后返回汽轮机继续膨胀做功。

背压式汽轮机和抽汽式凝汽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。

### (三) 按主蒸汽参数分类

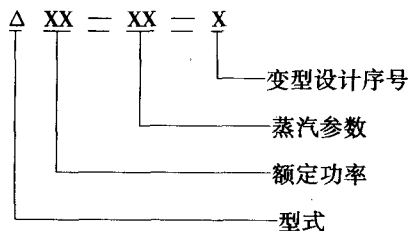
进入汽轮机的蒸汽参数是指进汽的压力和温度，按不同的压力等级可分为：

- (1) 低压汽轮机。主蒸汽压力小于 1.47MPa。
- (2) 中压汽轮机。主蒸汽压力为 1.96 ~ 3.92MPa。
- (3) 高压汽轮机。主蒸汽压力为 5.88 ~ 9.8MPa。
- (4) 超高压汽轮机。主蒸汽压力为 11.77 ~ 13.93MPa。
- (5) 亚临界压力汽轮机。主蒸汽压力为 15.69 ~ 17.65MPa。
- (6) 超临界压力汽轮机。主蒸汽压力大于 22.15MPa。
- (7) 超超临界压力汽轮机。主蒸汽压力大于 32MPa。

此外，按汽流方向分类可分为轴流式和辐流式汽轮机；按用途分类可分为电站汽轮机、工业汽轮机、船用汽轮机等；按汽缸数目分类可分为单缸、双缸和多缸汽轮机；按机组转轴数目分类可分为单轴和双轴汽轮机；按工作状况分类可分为固定式和移动式汽轮机等。

## 二、国产汽轮机产品型号组成及蒸汽参数表示法

产品型号组成为



我国汽轮机型号的汉语拼音代号见表 1-1。

表 1-1 我国汽轮机型号的汉语拼音代号

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

汽轮机型号中蒸汽参数表示法见表 1-2。

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	N300-16.7/538/538
抽汽式	主蒸汽压力/高压抽汽压力/低压抽汽压力	CC100-8.83/4.12/1.47
背压式	主蒸汽压力/背压	B12-4.9/0.98
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 °C。

### 第三节 汽轮发电机组的容量、 参数与型式

(一) 国际电工委员会 (IEC) 1985 年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)。在规定的边界条件 (合同

中规定的各边界条件，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。

(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。

## (二) 大容量汽轮发电机组功率等常用术语的一般定义

(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%，能在发电机输出端所保证的功率。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)、补水率为零，机组能保证达到的功率。它一般比额定功率大 3% ~ 6%。

(3) 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的主蒸汽、再热蒸汽参数工况下，并在额定排汽压力为 4.9kPa、补水率为零条件下计算所能达到的功率。

## (三) 美国设计大容量汽轮发电机组各项功率等常用术语的定义

(1) 汽轮发电机组额定功率。即在额定的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% 时汽轮发电机组的保证功率 (出力)。

(2) 保证最大功率。即汽轮机在额定的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。



(3) 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%, 等于  $1.045 \times$  最大保证功率。

(4) 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% OP 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。

#### (四) 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% OP 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 (B - MCR)。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, B - MCR 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 B - MCR 蒸发量可等于汽轮机 VWO + 5% OP 工况的最大进汽量。日本生产机组通常在铭牌功率或 T - MCR 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%。