

全国火力发电工人通用培训教材



汽轮机设备运行



山西省电力工业局 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书为全国火力发电工人通用培训教材之一。全书共分四篇十七章。第一篇主要介绍了汽轮机工作原理,调节系统,旁路系统,仪表控制与保护,汽轮机的启动、停止、运行维护及事故处理,发电机氢油水系统;第二篇汽轮机附属设备的运行介绍了给水回热系统,冷却系统组成、设备和运行维护;第三篇水泵及运行主要介绍离心及其运行,对液动变速给水泵及其运行做了专门介绍;第四篇热力网运行则重点介绍了热力网的投运、停用、运行调节和自动化有关问题。为便于自学,各章后附有习题。

本书可供从事汽轮机运行的中级工人培训使用,也可供技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机设备运行:中级工/山西省电力工业局编. -北京:
中国电力出版社,1997(重印)

全国火力发电工人通用培训教材

ISBN 7-80125-186-5

I. 汽… II. 山… III. 汽轮机运行-技术培训-教材
IV. TK267

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 10813 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)
北京市地矿局印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

1997 年 2 月第一版 1997 年 9 月北京第二次印刷
787 毫米×1092 毫米 32 开本 14.5 印张 314 千字
印数 5131 10220 册 定价 16.00 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

由原水利电力部组织、山西省电力工业局编写、原水利电力出版社出版的《火电生产类学徒工初级工培训教材》和《火电生产类中级工培训教材》，发行、使用已历时 10 余年。其间，《学徒工初级工》各分册分别重印 5 至 9 次，《中级工》各分册分别重印 4 至 7 次，发行量很大，深受全国电力系统广大读者的欢迎，基本上满足了电力行业火力发电工人培训、考核、提高技术水平的要求，取得了显著的社会效益。为此，这两套培训丛书在全国电力普及读物评优中，荣获了“普及电力科学技术知识特别奖”。

10 余年来，由于改革开放的不断深入发展，我国的电力工业有了很大的发展，现已普遍进入大机组、大电网、高参数、超高参数、高电压、超高电压和高度自动化的发展阶段，对电业生产人员的素质提出了更高的要求。继 1991 年 12 月原能源部颁发的《电力工人技术等级标准》之后，1995 年 9 月电力工业部、劳动部又颁发了《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》。因此有必要根据电力生产的新情况和电力工人技术等级标准的新要求，对上述两套培训教材进行修订并增补高级工培训教材。经山西省电力工业局和中国电力出版社通力合作，并在全国电力工人技术教育研究所的支持下，现编写、出版了这套《全国火力发电工人通用培训教材》。本套丛书的内容覆盖了火力发电 16 个专业对初、中、高级工的技术要求，每个专业分初级工、中级工、高级工三个分册出版，共计 48 个分册；每一分册中又以各专业的不同岗位工种设“篇”，共覆盖了 40 余个工种。

在编写本套丛书的过程中，首先根据工人技术等级标准中对每一工种的定义、工作内容、技术等级、适用范围等的规定，紧扣标准提出的知识要求和技能要求，从火电生产实际需要出发拟出初步的编写提纲；经数月重点调查研究、广泛征求意见、认真修订后形成正式的编写提纲；之后，又历时半年余，始成初稿。初稿形成后，在局系统内进行了专家审稿和主编者的修改、统稿工作。因此，定稿后的火力发电工人培训教材，深信是紧扣新的工人技术等级标准的实用性教材。

火力发电工人培训教材，体现了工人技术培训的特点以及理论联系实际的原则，尽量反映了新技术、新设备、新工艺、新材料、新经验和新方法；教材从 300MW 机组及其辅机为主，兼顾 600MW 和 200MW 机组及其辅机的内容，因而有相当的先进性和普遍适用性，适应于“九五”期间主要机型的技术要求。与每一专业对应的初、中、高级工三个分册，自成一个小的系列，呈阶梯式递进，内容上互不重复。每一分册的具体内容又分为核心内容和复习题两大部分。核心内容主要讲解必备知识以及与技能要求对应的一些专业知识。复习题的形式多种多样，解答习题的目的在于巩固和深化所学知识。有些习题，如操作题、读绘图题、设计试验题等，主要用以培养和巩固必备的技能。鉴于全国电力系统各基层单位、部门培训力量和师资水平并不平衡，学员水平也参差不齐，所以有必要为每一分册编写相应的《教材使用说明和习题解答》，这将在本套丛书出版后陆续推出。

《汽轮机设备运行》分初、中、高级工三册出版，全书由山西省电力试验研究所傅正祥统一制定编写提纲并进行统稿，山西省电力工业局李嘉琦主审。

本书是《汽轮机设备运行》中级工培训教材，由太原第一热电厂刘为众主编，参加编写的有刘为众（编写第一、二、三、五、六、七、八章），卫永波（编写第四章），王志刚（编写第九章），侯清河（编写第十、十一、十二章），高丕德（编写第十三、十四章），成刚（编写第十五、十六、十七章）。

在中电联教培部为本套培训教材组织的审定会议上，本书由上海闵行发电厂虞硕亮工程师、上海石洞口发电厂陈兴兴技师和吉林热电厂赵宪文高级工程师审定，并被推荐为全国火力发电工人通用培训教材。

在编写这套《全国火力发电工人通用培训教材》的过程中，得到了电力工业部领导的关怀以及中电联教培部和各有关司局的关心、支持，同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助，他们为本书进行了审定，提供了咨询、技术资料以及许多宝贵的建议，在此一并表示衷心的感谢。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中，如发现有不妥之处或需修改的意见，敬请随时函告，以便再版时修改。

山西省电力工业局 中国电力出版社

1996年11月

目 录

序 前 言

第一篇 汽 轮 机 运 行

第一章 汽轮机的工作原理	1
第一节 汽轮机的基本工作原理和类型	1
第二节 汽轮机级的工作原理	9
第三节 多级汽轮机	16
第四节 汽轮机的损失、效率和经济指标	24
第五节 汽轮机的变工况	31
第六节 供热式汽轮机	39
复习题	43
第二章 汽轮机的调节系统	48
第一节 汽轮机调节系统的基本概念	48
第二节 汽轮机液压调节系统	54
第三节 同步器和电网调频	67
第四节 汽轮机的保护系统	71
第五节 汽轮机的供油系统	80
第六节 再热式汽轮机的调节特点	86
第七节 电液调节系统	89
复习题	94
第三章 再热机组的旁路系统	99
第一节 旁路系统的作用和型式	99

第二节	旁路系统的容量选择	105
第三节	旁路系统的运行	108
	复习题	111
第四章	汽轮机的热工仪表、保护和自动控制	113
第一节	热工检测和仪表	113
第二节	热力过程自动调节	121
第三节	热工信号和保护	126
	复习题	132
第五章	汽轮机的启动和停止	134
第一节	汽轮机的合理启动方式	134
第二节	启动前的准备工作	138
第三节	冷态滑参数启动	144
第四节	热态启动	153
第五节	汽轮机程序控制启动	158
第六节	汽轮机停机	161
	复习题	170
第六章	汽轮机运行中的维护	175
第一节	运行中的日常维护	175
第二节	运行中对安全、经济指标的监控和调节	181
	复习题	186
第七章	变压运行	189
第一节	变压运行的概念及分类	189
第二节	变压运行的经济性能分析	193
	复习题	196
第八章	汽轮机的事故处理和预防	198
第一节	汽轮机的事故处理原则和基本要求	198
第二节	汽轮机大轴弯曲	201
第三节	汽轮机进水进冷汽	204
第四节	汽轮机超速	209

第五节	汽轮机真空下降	214
第六节	汽轮机叶片损伤	218
第七节	汽轮机轴瓦损坏	224
第八节	油系统故障	228
复习题		231
第九章	发电机氢、油、水系统	236
第一节	发电机氢气控制系统	236
第二节	氢冷发电机密封油控制系统	239
第三节	氢冷发电机冷却水系统运行	245
第四节	水、水、空冷却的汽轮发电机	248
复习题		253

第二篇 汽轮机附属设备的运行

第十章	凝汽器及真空系统	257
第一节	凝汽器真空的建立和维持	257
第二节	汽轮机工况变化对凝汽器和真空系统的影响	259
第三节	汽轮机的最佳真空及确定方法	268
第四节	多背压凝汽器	275
复习题		278
第十一章	给水回热系统	281
第一节	给水回热系统的原理和优化选择	281
第二节	给水回热加热器的运行	290
第三节	除氧器的运行和故障处理	293
第四节	除氧器的动态过程分析	298
第五节	无除氧器的回热系统及运行要求	303
复习题		306
第十二章	汽轮机的冷却设备和冷却系统	309
第一节	冷却塔的工作性能和气象条件的关系	309

第二节	冷却塔的防冻及经济运行调整方法	319
第三节	空气冷却系统	326
第四节	空冷系统的运行和防冻	330
复习题		336

第三篇 水泵及运行

第十三章	离心泵的运行	340
第一节	水泵的密封装置	340
第二节	水泵的轴向推力和轴向推力的平衡	344
第三节	离心泵的串联和并联	352
复习题		357
第十四章	液动变速给水泵	360
第一节	液动变速泵应用的必要性	360
第二节	液力联轴器	361
第三节	液动变速给水泵的运行维护	366
第四节	给水泵的自动调节和保护装置	374
复习题		377

第四篇 热力网运行

第十五章	新装供暖热力网的投运和季节性停用	380
第一节	汽水系统和热网加热器的清洗	380
第二节	投运前的检查和调整试验	387
第三节	热网整套设备的试运行	391
第四节	热网季节性停用及停用保护	394
复习题		398
第十六章	热力网及其经济性分析	402
第一节	集中供热与热负荷	402

第二节 热电厂的经济性分析	407
第三节 热网及供热调节	418
复习题	429
第十七章 热力网的自动、程控和保护装置	434
第一节 热力网的仪表和自动装置	434
第二节 热力网的程控系统	436
第三节 热力网的保护装置	439
复习题	440
后 记	442

第一篇 汽轮机运行

第一章 汽轮机的工作原理

第一节 汽轮机的基本工作原理和类型

汽轮机是一种以具有一定温度和压力的水蒸气为工质，将热能转变为机械能的回转式原动机。它在工作时先把蒸汽的热能转变成动能，然后再使蒸汽的动能转变成机械能。

一、冲动作用原理和反动作用原理

由力学可知，当一运动物体在碰到另一物体时，就会受到阻碍而改变其速度和方向，同时给阻碍它运动的物体一作用力，通常称这个作用力为冲动力。这个力的大小，主要取决于运动物体的质量和速度变化。图 1-1 中，高速流动的蒸汽从喷嘴中流出，冲击桌子上的木块，这时蒸汽速度发生改变，就会有一个冲击力作用于木块，使其向前运动，这种做功原理称为冲动作用原理。

反动力的产生与上述冲动力产生的原因不同，反动力是由原来静止或运动速度较小的物体，在离开或通过另一物体时，骤然获得一个较大的速度增加而产生的。图 1-2 中，火箭

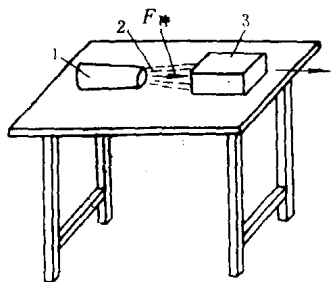
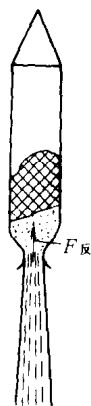


图 1-1 蒸汽的冲动力

1—喷嘴；2—蒸汽；3—木块



内燃料燃烧而产生的高压气体以很高的速度从火箭尾部喷出，这时从火箭尾部喷出的高速气流就给火箭一个与气流方向相反的作用力，在此力的推动下火箭就向上运动。这种反作用力称为反动力。在汽轮机中，当蒸汽在动叶片构成的汽道内膨胀加速时，气流必然对动叶片作用一个反动力，推动叶片运动，做机械功，这种做功原理称为反动作用原理。

在汽轮机级中蒸汽的动能到机械能的转变一般都是通过上述两种不同作用原理来实现的。
 图 1-2 气 体的反动力

二、汽轮机的基本工作原理

最简单的汽轮机（单级汽轮机）如图 1-3 所示，它由喷嘴、动叶片、叶轮和轴等基本部件组成。从图可见，具有一定压力和温度的蒸汽通入喷嘴膨胀加速，这时蒸汽的压力、温度降低，速度增加，使热能转变成动能。然后，具有较高速度的蒸汽由喷嘴流出，进入动叶片流道，在弯曲的动叶流道内，

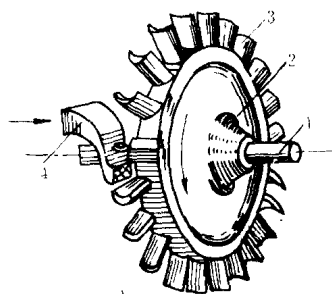


图 1-3 单级汽轮机结构示意图

1—轴；2—叶轮；3—动叶片；4—喷嘴

改变汽流方向，给动叶片以冲动力，如图 1-4 所示，产生了使叶轮旋转的力矩，带动主轴旋转，输出机械功，即在动叶片中蒸汽推动叶片旋转做功，完成动能到机械能的转换。

由上述可知，汽轮机在工作时，首先在喷嘴叶栅中蒸汽的热能转变成动能，然后在动叶栅中蒸汽的动能转变成机械能。喷嘴叶栅和与它相配合的动叶完成了

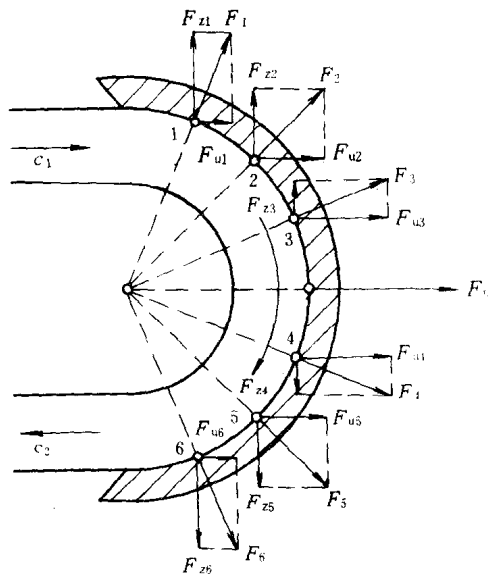


图 1-4 蒸汽对动叶片的作用力

能量转换的全过程,于是便构成了汽轮机做功的基本单元。通常称这个做功单元为汽轮机的级。

三、单级汽轮机

由一个级构成的汽轮机称为单级汽轮机。按工作原理不同,单级汽轮机有以下几种类型。

(1) 蒸汽只在喷嘴中膨胀,动叶片仅受蒸汽冲动力的作用,这种汽轮机叫纯冲动式汽轮机。

(2) 蒸汽的热能一半在喷嘴中转换成动能,另一半在动叶中转换成动能,使动叶片既受冲动力又受反动力作用,这种汽轮机叫反动式汽轮机。

(3) 蒸汽的热能除大部分在喷嘴中转换为动能外,还有少部分在动叶片中膨胀,使动叶片除了主要受冲动力作用外,

也受少许反动力的作用，这种汽轮机称为带有反动度的冲动式汽轮机，简称为冲动式汽轮机。

单级冲动式汽轮机，蒸汽动能在动叶中不能完全被转换，蒸汽离开动叶片后仍具有较大的余速，造成较大的余速损失，为充分利用排汽余速的动能，可采用复速级汽轮机。图 1-5 所示为具有双列速度级的单级汽轮机示意图。它在冲动式单级后，再加装一系列固定在汽缸上的导向叶片和一系列装在同一叶轮上的第二列动叶片。其工作过程是：蒸汽在喷嘴中膨胀加速后，进入第一列动叶做功，蒸汽速度降低。然后，蒸汽进入固定在汽缸上的导向叶片中，改变汽流方向后被导入第二列动叶，利用余速继续做功，增加了汽轮机的功率，降低了余速损失。这种汽轮机一般用于焓降较大的单级汽轮机。

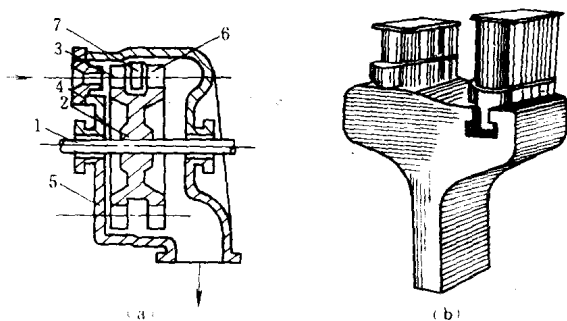


图 1-5 具有双列速度级的单级汽轮机

(a) 原理示意图；(b) 结构示意图

1—轴；2—叶轮；3—第一列动叶片；4—喷嘴；

5—汽缸；6—第二列动叶片；7—导向叶片

四、多级汽轮机

单级冲动式汽轮机的功率较小，即使采用速度级后所能增加的功率也很有限，且单级汽轮机损失较大。因此，为使

汽轮机能发出更大的功率，需要将许多单级串联起来，制作成多级汽轮机。

图 1-6 为一多级汽轮机结构示意图。它主要由汽缸、转子、隔板等组成，各级按序依次排列。工作时，蒸汽进入多级汽轮机，依次流过所有的级，膨胀做功，压力逐级降低，当蒸汽流出最末级动叶片时已变成流速较低的乏汽，排出汽缸。多级汽轮机的功率为各级功率的总和。因而，随着单机容量的不断增加，多级汽轮机级数也越来越多，如东方汽轮机厂生产的 N300-16.7-537/537 型汽轮机共有 30 级。

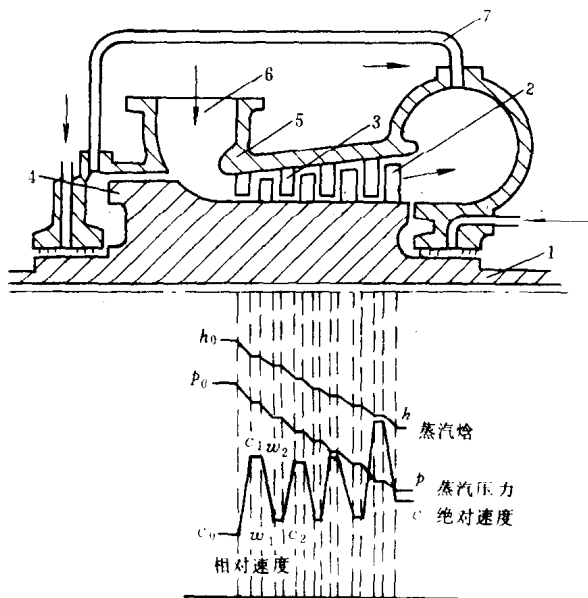


图 1-6 多级汽轮机示意图

1—鼓形转子；2—动叶片；3—喷嘴；4—平衡活塞；

5—汽缸；6—蒸汽室；7—连接管

五、汽轮机的分类

汽轮机不仅用于火电厂，也被广泛应用于其他行业，因而汽轮机的类型繁多。实际应用中，常按下列方法来对汽轮机进行分类。

1. 按工作原理分类

(1) 冲动式汽轮机：按冲动作功原理工作的汽轮机称为冲动式汽轮机。它工作时，蒸汽的膨胀主要在喷嘴中进行，少部分在动叶片中膨胀。

(2) 反动式汽轮机：按反动作功原理工作的汽轮机称为反动式汽轮机。它工作时，蒸汽的膨胀在喷嘴、动叶片中各进行大约一半。

(3) 冲动反动联合式汽轮机：由冲动级和反动级组合而成的汽轮机称为冲动反动联合式汽轮机。

2. 按热力过程分类

(1) 凝汽式汽轮机：进入汽轮机做功的蒸汽，除少量漏汽外，全部或大部分排入凝汽器的汽轮机。蒸汽全部排入凝汽器的汽轮机又称纯凝汽式汽轮机；采用回热加热系统，除部分抽气外，大部分蒸汽排入凝汽器的汽轮机，称为凝汽式汽轮机。

(2) 背压式汽轮机：蒸汽在汽轮机中做功后，以高于大气压的压力排出，供工业或采暖使用，这种汽轮机称为背压式汽轮机。若排汽供给中、低压汽轮机使用时，又称为前置式汽轮机。

(3) 调整抽汽式汽轮机：将部分做过功的蒸汽在一种或两种压力（此压力可在一定范围内调整）下抽出，供工业或采暖用汽，其余蒸汽仍排入凝汽器，这类汽轮机叫调整抽汽式汽轮机。调整抽汽式汽轮机和背压式汽轮机统称为供热式

汽轮机。

(4) 中间再热式汽轮机：将在汽轮机高压缸部分做过功的蒸汽，引至锅炉再热器再次加热到某一温度，然后再重新返回汽轮机的中、低压缸部分继续做功，这类汽轮机叫中间再热式汽轮机。其再热次数可以是一次、两次或多次，但一般多采用一次中间再热。

3. 按蒸汽初参数分类

- (1) 低压汽轮机：新蒸汽压力为 $1.176 \sim 1.47 \text{MPa}$ 。
- (2) 中压汽轮机：新蒸汽压力为 $1.96 \sim 3.92 \text{MPa}$ 。
- (3) 高压汽轮机：新蒸汽压力为 $5.88 \sim 9.8 \text{MPa}$ 。
- (4) 超高压汽轮机：新蒸汽压力为 $11.76 \sim 13.72 \text{MPa}$ 。
- (5) 亚临界压力汽轮机：新蒸汽压力为 $15.68 \sim 17.64 \text{MPa}$ 。
- (6) 超临界压力汽轮机：新蒸汽压力在 22.06MPa 以上。

4. 按蒸汽流动方向分类

- (1) 轴流式汽轮机：蒸汽流动总体方向大致与轴平行。
- (2) 辐流式汽轮机：蒸汽流动总体方向大致与轴垂直。
- (3) 周流式汽轮机：蒸汽大致沿叶轮轮周方向流动。

此外，还有一些分类方法，例如按汽缸的数目分为单缸、双缸、多缸汽轮机，按汽轮机转轴数目分为单轴、双轴汽轮机等。

六、汽轮机的型号

表示汽轮机基本特性的符号叫汽轮机的型号。我国目前采用汉语拼音和数字来表示汽轮机的型号，其表示方法由三段组成：

× × × - × × × / × × × / × × × - ×

第一段

第二段

第三段

第一段表示汽轮机型式（见表 1-1）及额定功率（MW），