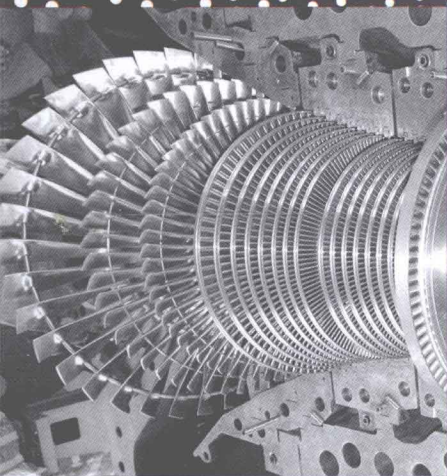
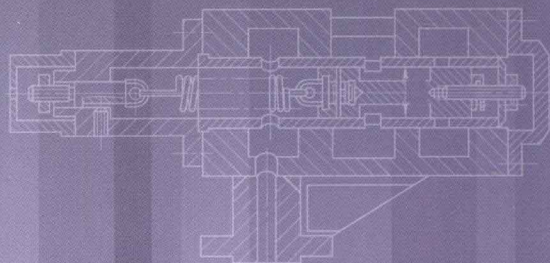




电厂实用技术
读·本·系·列



QILUNJI
YUNXING JI SHIGU CHULI



汽轮机 运行及事故处理

纪昌宏 丁立波 李文霞 ◎ 编



化学工业出版社

 电厂实用技术
读·本·系·列

汽轮机 运行及事故处理

纪昌宏 丁立波 李文霞 © 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

汽轮机运行及事故处理/纪昌宏, 丁立波, 李文霞编.
北京: 化学工业出版社, 2011. 12
(电厂实用技术读本系列)
ISBN 978-7-122-12313-8

I. 汽… II. ①纪…②丁…③李… III. ①火电厂-
汽轮机运行②火电厂-蒸汽透平-事故处理 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 188540 号

责任编辑: 高墨荣
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 徐卿华
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 462 千字 2012 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

《电厂实用技术读本系列》编委会

主 任 丁立波

副主任 谭兴强

委 员 丁立波 房金祥 高庆坤 纪昌宏

李文霞 谭兴强 谢献勇 印胜伟

杨余彪 张 进 周善龙

序

P R E F A C E

各类电厂作为我国能源产业重要的一环，肩负着向全社会工农业生产和人民生活提供电力等保障的重任，而火力发电厂目前仍是我国各电网中发电厂的最主要形式。随着我国经济发展对电力日益增长的需求，面临煤炭原料价格上涨的市场压力，加之安全生产、环保达标与节能降耗等标准的日趋严格，对电厂企业的各项管理提出了更为严苛的要求。企业管理的基础是构建先进的企业文化，打造一支科学严谨的管理队伍和一支高素质的员工队伍，就需引导全体员工认真学习，掌握电厂的科技知识与操作技能，成就一个学习型的企业，使电厂不仅“安、稳、长、满、优”地发电，还为提升经济效益做出贡献。

我们组织编写的这套《电厂实用技术读本系列》丛书主要面向火力发电厂生产一线员工，可以作为他们专业知识和现场运行技术学习的系列教材，同时也可以作为火力发电厂技术人员、管理人员以及在校大中专学生的学习教材。

丛书共分五册，分别为《锅炉运行及事故处理》、《汽轮机运行及事故处理》、《电气运行及事故处理》、《化学运行及事故处理》和《热工仪表及自动化控制系统》，各分册既自成本读本，又相互配套成为一个完整系列。本丛书各分册从介绍电厂专业基本知识入手，重点对电厂常见设备运行基本操作知识和事故处理等方面内容进行阐述，为运行人员提供分析解决问题的基本理论与操作方法；本着理论适度够用、强化实践技能的原则，还纳入了现代发电厂的一些新设备、新技术的应用和先进的企业管理理念，具有实践性强、适用性广的特点，同时也为生产管理人员提升知识以帮助，并为相关自学人员提供参考，并可作为发电企业的培训教材之一。

本丛书在编写过程中得到了中国石化仪征化纤股份公司热电中心有关领导和工程技术人员的大力支持，在此表示感谢。

丛书编委会

前言

F O R E W O R D

本书是为电厂汽轮机运行值班员学习汽轮机及辅机基础知识，特别是掌握汽轮机典型事故的原因和处理方法而编写的。考虑到电厂汽轮机运行现场工作人员对理论知识掌握程度的不同，本书阐述了与现场运行密切相关的设备与系统的基本原理；较为详尽地论述了汽轮机主机及辅助设备的运行及电厂事故处理方面的内容，目的在于为发电厂汽轮机运行值班员提供分析解决问题的基本理论与操作方法，同时也为生产管理人员提升知识以帮助，并为相关自学人员提供参考。

全书分为3章。第1章为电厂汽轮机的运行，具体内容包括汽轮机的工作原理、汽轮机调节系统、汽轮机运行的热力性能、汽轮机的启动、停机和正常运行维护；第2章为电厂汽轮机辅助设备的运行，具体内容包括给水回热系统的运行，凝汽器、真空系统的运行，循环水泵、给水泵和凝结水泵，汽轮机冷却设备及系统的运行；第3章为电厂汽轮机设备事故处理，具体内容包括汽轮机事故处理原则及分析，汽轮机真空下降的处理，汽轮机超速的处理，汽轮机水冲击的处理，轴承损坏的处理，通流部分动静磨损的处理，汽轮机叶片断裂的处理，汽轮机大轴弯曲的处理，汽轮机负荷变化的处理，火灾爆炸事故的处理，厂用电中断事故的处理，辅助设备的事故处理。

为帮助读者理解，书后附有部分参考文献及部分水泵型号的介绍。

本书第1章1.1~1.3节、第3章3.1~3.8节由纪昌宏编写，第1章1.4~1.6节、第2章2.1节和2.2节由李文霞编写，第2章2.3节和2.4节、第3章3.9~3.12节由丁立波编写。

限于时间仓促及编者水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

化学工业出版社电气类图书推荐

书号	书 名	开本	装订	定价/元
00772	继电器及继电保护装置实用技术手册	16	精装	85
00333	电缆及其附件手册	16	精装	72
04861	电机轴承使用手册	16	假精	58
04615	供用电技术手册	16	精装	88
03630	柴油发电机技术手册	16	精装	98
06669	电气图形符号文字符号便查手册	大 32	平装	45
06935	变配电线路安装技术手册	大 32	平装	35
10561	常用电机绕组检修手册	16	平装	98
10565	实用电工电子查算手册	大 32	平转	59
07881	低压电气控制电路图册	大 32	平装	29
03742	三相交流电动机绕组布线接线图册	大 32	平装	35
05678	电机绕组接线图册	横 16	平装	59
05718	电机绕组布线接线彩色图册	大 32	平装	49
08597	中小型电机绕组修理技术数据	大 32	平装	26
07126	电动机维修	大 32	平装	15
07436	电动机保护器及控制线路	大 32	平装	18
01079	三相异步电动机检修技术问答	大 32	平装	18
01362	直流电动机检修技术问答	大 32	平装	18
02363	防腐防爆电机检修技术问答	大 32	平装	21
01535	高压交流电动机检修技术问答	大 32	平装	18
02363	防爆防腐电机检修技术问答	大 32	平装	23
03224	潜水电泵检修技术问答	大 32	平装	27
03968	牵引电动机检修技术问答	大 32	平装	28
03779	变电运行技术问答	大 32	平装	19
02014	工厂实用电气技术问答	大 32	平装	20
02217	电机节能技术问答	大 32	平装	23
03967	变电站综合自动化技术问答	大 32	平装	30
05081	工厂供配电技术问答	大 32	平装	25
07733	实用电工技术问答	大 32	平装	39

续表

书号	书 名	开本	装订	定价/元
00911	图解变压器检修操作技能	16	平装	35
9333	化工设备电气控制电路详解	16	平装	25
9334	工厂电气控制电路实例详解	16	平装	25
04212	低压电动机控制电路解析	16	平装	38
04759	工厂常见高压控制电路解析	16	平装	42
08271	低压电动机控制电路与实际接线详解	16	平装	38
01696	图解电工操作技能	大 32	平装	21
09669	简明电工操作技能手册	大 32	平装	48
08051	零起点看图学——电机使用与维护	大 32	平装	26
08644	零起点看图学——三相异步电动机维修	大 32	平装	30
08981	零起点看图学——电气安全	大 32	平装	18
09551	零起点看图学——变压器的使用与维修	大 32	平装	25
08060	零起点看图学——低压电器的选用与维修	大 32	平装	25
02017	电力电缆头制作与故障测寻	大 32	平装	22
02383	电力电缆选型与敷设	大 32	平装	20
02926	变压器故障诊断与维修	大 32	平装	19
03479	电气线路安装及运行维护	大 32	平装	30
06528	继电保护装置故障诊断与维修	大 32	平装	15
04836	低压电器故障诊断与维修	大 32	平装	20
02946	变压器故障诊断与维修	大 32	平装	19
09150	电力系统继电保护整定计算原理与算例	B5	平装	29
09682	发电厂及变电站的二次回路与故障分析	B5	平装	29
05400	电力系统运动原理及应用	B5	平装	29
04516	电气作业安全操作指导	大 32	平装	24
06194	电气设备的选择与计算	16	平装	29
06573	交流电机控制基础	16	平装	38
08596	实用小型发电设备的使用与维修	大 32	平装	29
10785	怎样查找和处理电气故障	大 32	平装	28
11454	蓄电池的使用与维护(第二版)	大 32	平装	28

以上图书由**化学工业出版社 电气出版分社**出版。如要以上图书的内容简介和详细目录,或者更多的专业图书信息,请登录 www.cip.com.cn。

地址:北京市东城区青年湖南街13号(100011)

购书咨询:010-64518888

如要出版新著,请与编辑联系。电话:010-64519265 E-mail: gmr9825@163.com

目 录

C O N T E N T S

第1章 电厂汽轮机的运行

1.1 汽轮机的工作原理	2
1.1.1 汽轮机的类型及基本工作原理	2
1.1.2 汽轮机级的工作原理	6
1.1.3 汽轮机的损失、效率和经济指标	10
1.1.4 多级汽轮机	14
1.1.5 供热式汽轮机	20
1.2 汽轮机调节系统	23
1.2.1 汽轮机调节系统的基本概念	23
1.2.2 调节系统感应机构	32
1.2.3 汽轮机的保护系统	38
1.2.4 汽轮机供油系统	42
1.2.5 电调系统	45
1.2.6 调速系统及阀门试验	49
1.3 汽轮机运行的热力性能	65
1.3.1 汽轮机的热耗率和热效率	65
1.3.2 影响汽轮机热效率的因素	67
1.4 汽轮机的启动	70
1.4.1 汽轮机的合理启动方式	70
1.4.2 启动前的准备工作	72
1.4.3 冷态启动	75
1.4.4 热态启动	79
1.5 汽轮机的停机	81
1.5.1 汽轮机停机方式的确定	81
1.5.2 停机操作程序	82
1.5.3 解列发电机、转子惰走	84
1.5.4 盘车与辅机停运	86
1.6 汽轮机正常运行维护	86
1.6.1 运行中的日常维护	86
1.6.2 运行中对安全、经济指标的监控和调节	90

第2章 电厂汽轮机辅助设备的运行

2.1 给水回热系统的运行	98
---------------------	----

2.1.1	给水回热系统的原理和优化选择	98
2.1.2	给水回热加热器的运行	102
2.1.3	除氧器的运行和故障处理	104
2.1.4	除氧器的动态过程分析	118
2.1.5	无除氧器的回热系统及运行要求	121
2.2	凝汽器、真空系统的运行	122
2.2.1	凝汽器的运行	122
2.2.2	凝汽器真空的建立和维持	124
2.2.3	汽轮机工况变化对凝汽器和真空系统的影响	125
2.2.4	汽轮机的最佳真空及确定方法	129
2.3	循环水泵、给水泵和凝结水泵	132
2.3.1	循环水泵	132
2.3.2	给水泵	146
2.3.3	凝结水泵	151
2.3.4	水泵的联合工作	167
2.3.5	水泵的调节	169
2.3.6	离心式水泵的运行和维护	172
2.4	汽轮机冷却设备及系统的运行	173
2.4.1	发电厂冷油器	173
2.4.2	汽轮发电机的冷却	175
2.4.3	火力发电厂供水系统	181
2.4.4	冷却塔的分类及组成	182
2.4.5	冷却塔的工作性能和气象条件的关系	187
2.4.6	冷却塔的防冻及经济运行调整方法	192

>>>>>>>> 第3章 电厂汽轮机设备事故处理

3.1	汽轮机事故处理原则与分析方法	198
3.1.1	汽轮机事故处理原则	198
3.1.2	汽轮机常见事故分析方法	200
3.2	汽轮机真空下降	201
3.2.1	汽轮机真空下降的原因	202
3.2.2	汽轮机真空下降的现象	203
3.2.3	处理方法	203
3.3	汽轮机超速	210
3.3.1	汽轮机超速的原因及现象	210
3.3.2	处理方法	211
3.3.3	调节系统常见事故	213
3.4	汽轮机水冲击	217

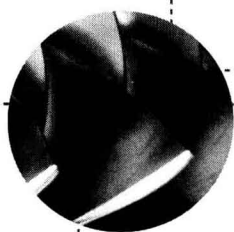
3.4.1	水冲击发生原因	217
3.4.2	水冲击象征	219
3.4.3	处理方法	221
3.5	轴承损坏	223
3.5.1	事故发生的原因及事故象征	223
3.5.2	事故处理方法	224
3.5.3	轴瓦乌金熔化或损坏	225
3.6	通流部分动静磨损	227
3.6.1	汽轮机通流部分动静磨损的原因及现象	227
3.6.2	处理方法	228
3.7	汽轮机叶片断裂	229
3.7.1	事故原因	229
3.7.2	事故现象	231
3.7.3	事故处理方法	231
3.8	汽轮机大轴弯曲	233
3.8.1	发生大轴弯曲的原因及现象	234
3.8.2	事故处理方法	235
3.9	汽轮机负荷的变化	240
3.9.1	汽轮发电机甩负荷	240
3.9.2	机组热负荷变化	242
3.10	火灾爆炸事故	243
3.10.1	火灾与爆炸发生的原因	243
3.10.2	发生火灾与爆炸处理方法	245
3.10.3	预防火灾与爆炸发生的措施	246
3.10.4	油系统故障及着火处理	248
3.11	厂用电中断	254
3.11.1	厂用电全部中断的象征及处理方法	254
3.11.2	厂用电部分中断的处理方法	256
3.12	辅助设备事故处理	259
3.12.1	给水泵事故处理	259
3.12.2	除氧器事故处理	263
3.12.3	加热器事故处理	266
3.12.4	零米设备事故处理	274
3.12.5	汽水管道事故处理	278
3.12.6	热网事故处理	279

»»»»»»»»»»

附录

水泵型号介绍

参考文献	288
------------	-----



第 1 章

电厂汽轮机的运行





1.1 汽轮机的工作原理

1.1.1 汽轮机的类型及基本工作原理

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。

1.1.1.1 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 按冲动做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 按反动做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，除部分抽汽外，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，供工业和采暖使用，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 22.06 MPa 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。

(5) 按汽轮机所具有的级数分类

① 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。

a. 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。

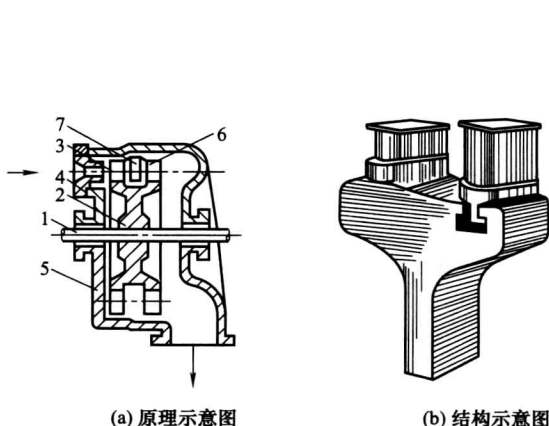
b. 蒸汽的热能一半在喷嘴中转换成动能，另一半在动叶中转换成动能，使动叶片既受冲动力又受反动力作用，这种汽轮机叫作反动式汽轮机。

c. 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 1-1 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。

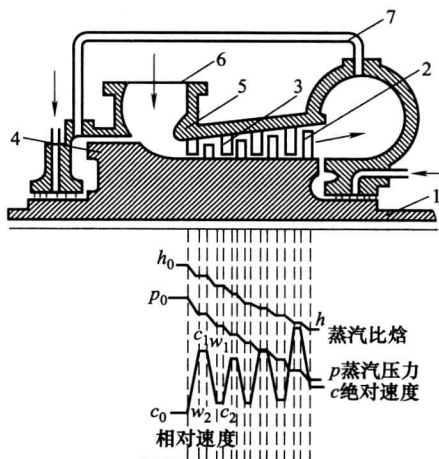
② 多级汽轮机 单级冲动式汽轮机的功率较小，即使采用速度级后所能增加的功率也很有限，且单级汽轮机损失较大。因此，为使汽轮机能发出更大的功率，需要将许多单级串联起来，制作成多级汽轮机。

图 1-2 为多级汽轮机结构示意图。它主要由汽缸、转子、隔板等组成，各级按次序依次排列。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



■ 图 1-1 具有双列速度级的单级汽轮机

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



■ 图 1-2 多级汽轮机结构示意图

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



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。

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。

1.1.1.2 汽轮机的型号

表示汽轮机基本特性的符号。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：

$$\frac{\times \times \times - \times \times \times / \times \times \times / \times \times \times - \times}{\text{第一段} \qquad \qquad \qquad \text{第二段} \qquad \qquad \qquad \text{第三段}}$$

第一段表示汽轮机型式（见表 1-1）及额定功率（MW），第二段表示蒸汽参数（见表 1-2），第三段表示改型序号。

■ 表 1-1 汽轮机型号表示其型式的代号

汽轮机型式	我国汽轮机新型号中型式代号
	第一个拼音字母
凝汽式	N
一次调整抽汽式	C
二次调整抽汽式	CC
背压式	B
调整抽汽背压式	CB

■ 表 1-2 我国汽轮机新型号中蒸汽参数的表示方法

汽轮机型式	蒸汽参数表示方法
凝汽式	进汽压力/进汽温度
中间再热式	进汽压力/进汽温度/中间再热温度
一次调整抽汽式	进汽压力/调整抽汽压力
二次调整抽汽式	进汽压力/高压调整抽汽压力/低压调整抽汽压力
背压式	进汽压力/排汽压力

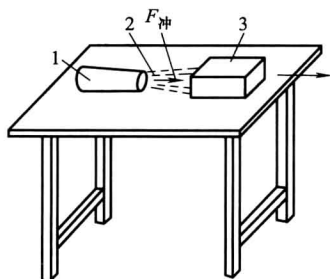
下面举例说明国产机型号。N300-16.7/537/537-3 型表示凝汽式，额定功率为 300MW，主蒸汽压力为 16.7MPa，主、再热蒸汽温度为 537℃，第三次改型设计。N/C300/220-16.7-537/537 型表示一次调整抽汽凝汽式，额定功率 300MW，最大供热工况电负荷 220MW，主蒸汽压力 16.7MPa，主、再热蒸汽温度为 537℃。“CC25-8.82/0.98/0.118 型”表示二次调整抽汽式，额定功率为 25MW，主蒸汽压力为 8.82MPa，高压调整抽汽压力为 0.98MPa，低压调整抽汽压力为 0.118MPa。

1.1.1.3 汽轮机的基本工作原理

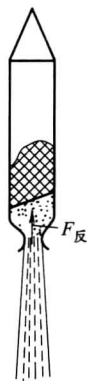
由力学可知，当一运动物体在碰到另一物体时，就会受到阻碍而改变其速度和方向，同时给阻碍它运动的物体一作用力，通常称这个作用力为冲动力。这个力的大小，主要取决于运动物体的质量和速度变化。图 1-3 中，高速流动的蒸汽从喷嘴中流出，冲击桌子上的木块，这时蒸汽速度发生改变，就会有一个冲击力作用于木块，使其向前运动，这种做功原理称为冲动作用原理。

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，在离开或通过另一个物体时，骤然获得一个较大的速度增加而产生的。图 1-4 中，火箭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。



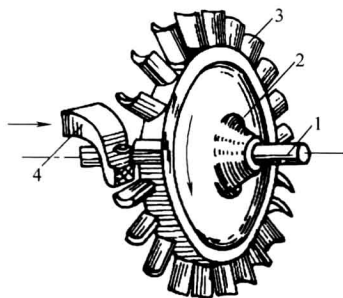
■ 图 1-3 蒸汽的冲动力
1—喷嘴； 2—蒸汽； 3—木块



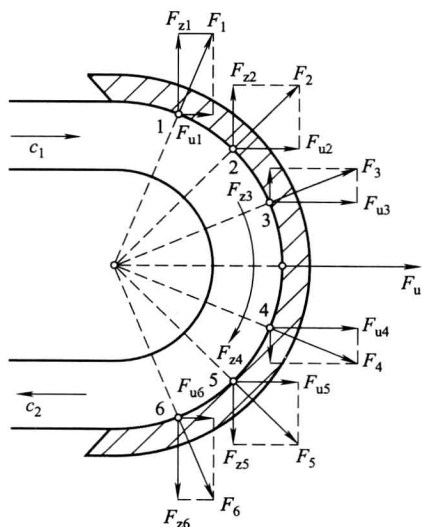
■ 图 1-4 气体的反动力

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。

最简单的汽轮机（单级汽轮机）如图 1-5 所示，它由喷嘴、动叶片、叶轮和轴等基本部件组成。由图可见，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，改变气流方向，给动叶片以冲动力，如图 1-6 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动叶旋转做功，完成动能到机械能的转换。



■ 图 1-5 单级汽轮机机构示意
1—轴； 2—叶轮； 3—动叶片； 4—喷嘴



■ 图 1-6 蒸汽对动叶片的作用力



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的动叶完成了能量转换的全过程, 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。

1.1.2 汽轮机级的工作原理

1.1.2.1 级的反动度与级的类型

在汽轮机级中, 蒸汽在动叶汽道内膨胀份额的大小, 常用级的反动度 ρ_m 来表示。图 1-7 中, Δh_n^* 为喷嘴的理想滞止焓降, Δh_b 为动叶中的理想焓降。级的反动度等于蒸汽在动叶中的理想焓降 Δh_b 与整个级的滞止理想焓降 Δh_t^* (约等于 $\Delta h_n^* + \Delta h_b$) 之比, 即

$$\rho_m = \frac{\Delta h_b}{\Delta h_t^*} \approx \frac{\Delta h_b}{\Delta h_n^* + \Delta h_b} \quad (1-1)$$

显然, 当已知级的理想焓降 Δh_t^* 后, 只要选定一个合适的反动度 ρ_m 便可根据式 (1-1) 来确定蒸汽在喷嘴的理想滞止焓降和动叶中的理想焓降, 即

$$\Delta h_n^* = (1 - \rho_m) \Delta h_t^*$$

和

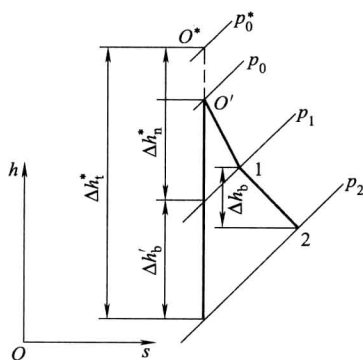
$$\Delta h_b = \rho_m \Delta h_t^*$$

一般情况下, 上述的 Δh_n^* 和 Δh_b 是指叶道平均直径截面上的理想焓降。所以, 所确定的反动度也是级的平均反动度。根据级的反动度 ρ_m 的大小, 可把级分为以下三种类型。

① 纯冲动级: 反动度 $\rho_m = 0$ 的级称为纯冲动级。它的特点是: 蒸汽只在喷嘴叶栅中膨胀, 在动叶栅中不进行膨胀而只改变流动方向, 故动叶栅进出口压力相等, 即 $p_1 = p_2$, $\Delta h_b = 0$, $\Delta h_n^* = \Delta h_t^*$ 。

② 反动级: 通常把反动度 $\rho_m \approx 0.5$ 的级叫作反动级。它的工作特点是蒸汽的膨胀约有一半在喷嘴

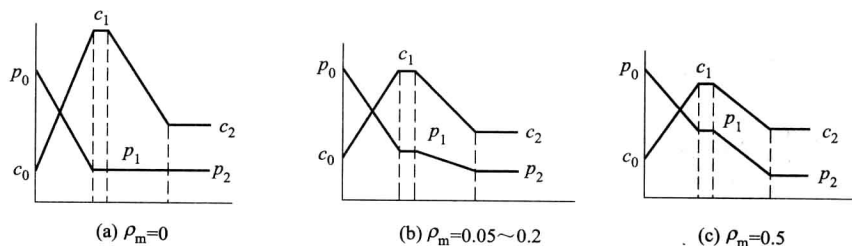
■ 图 1-7 确定级反动度用的热力过程示意图



$$\Delta h_b = \Delta h_n^* = 0.5 \Delta h_t^*, p_1 > p_2$$

③ 带反动度的冲动级: 这种级介于纯冲动级和反动级之间, 其反动度为 $0 < \rho_m < 0.5$, 一般取 $\rho_m = 0.05 \sim 0.2$ 。也就是说, 在这种级中, 蒸汽的膨胀大部分发生在喷嘴叶栅中, 只有少部分膨胀在动叶栅中发生, 所以, $\Delta h_n^* > \Delta h_b$, $p_1 > p_2$ 。

不同类型级的压力、速度变化如图 1-8 所示。



■ 图 1-8 不同类型级的压力、速度变化