

汽轮机分册

浙江北仑发电厂 I 期 60 万千瓦锅炉汽轮发电机组
Zhejiang Beilun Thermal Power Plant Phase I
600MW Boiler and Turbo-generating Units

顾 晃 主编



浙江大学出版社

浙江北仑发电厂

I 期 60 万千瓦锅炉汽轮发电机组丛书

汽轮机分册

顾 晃 主编

浙江大学出版社

浙江北仑发电厂
I 期 60 万千瓦锅炉汽轮发电机组丛书
汽轮机分册

顾 晃 主编
责任编辑 贾吉柱

*

浙江大学出版社出版发行
(杭州玉古路 20 号 邮政编码 310027)
浙江省煤田地质局制图印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张:45.625 插页:84 页 字数:1168 千
1996 年 8 月第 1 版 1996 年 8 月第 1 次印刷
印数 0001—2060

ISBN 7-308-01877-6/TK·007 定价:150.00 元

编 写 委 员 会

顾 问	刘维烈	朱吉灿	蓝志达	徐 航
主 编	赵湖滨			
副 主 编	陈渭泉	张慰黎	倪明江	
编 委	顾 晃	张学宏	张荣光	刘训策 王志勤

发电厂分册

主 编	顾 晃			
编写人员	顾 晃	胡美丽	叶 衡	包亦毅 顾 群

锅炉分册

主 编	张学宏			
编写人员	张学宏	黄国权	周中也	徐馨生

汽轮机分册

主 编	顾 晃			
编写人员	顾 晃	任浩仁	唐致实	朱伊杰 史挺进
	陶 磊	叶 衡	蒋 骏	

电气分册

主 编	张荣光			
编写人员	张荣光	贺贤安	肖鸿杰	徐永生

仪控分册

主 编	刘训策	王志勤		
编写人员	翁思义	刘训策	王志祥	王志勤 陈世基
	钱 虹	郭 平	黄 伟	潘正珏 符岳全
	张政江	吴 斌	范巧燕	戴关明 朱明程
	胡志平	冯 霞		

审 校 委 员 会

主 审 张 谦
副 主 审 樊祥荣 刘宝铭 吴云飞
主 要
审校人员 桑如波 屠小宝 章慧娟 徐增华

发电厂分册

主 审 桑如波
审校人员 桑如波 陈明华 冯一中 俞明芳

锅炉分册

主 审 屠小宝
审校人员 尹正忠 童汇源 许伟峰 屠小宝 冯一中

汽轮机分册

主 审 桑如波
审校人员 冯一中 陈明华 桑如波

电气分册

主 审 章慧娟
审校人员 章慧娟 沈维君 吕一农 张企达 姚子麟 柯 荣

仪控分册

主 审 徐增华
审校人员 徐增华 李 广 蔡明芬 俞琪军 严 众 宣浙建

丛书前言

80年代后期,60万千瓦级汽轮发电机组相继在我国火力发电厂中投产。进入90年代,随着我国电力工业的突飞猛进,60万千瓦汽轮发电机组更成了大容量发电厂中的首选机组,至今在全国已建成和在建的该级别机组已达10余台。

浙江北仑发电厂是我国电力工业中首家利用世界银行贷款兴建的大型火力发电厂,I期工程安装两台60万千瓦机组已先后于1991年10月31日和1994年10月20日建成投产。全厂设备全部通过国际招标,来自10余个国家。1号汽轮发电机自日本东芝公司购进,锅炉系美国燃烧工程公司产品;2号汽轮发电机自法国阿尔斯通公司购得,锅炉系加拿大拔白考克公司产品。电气设备来自瑞士ABB公司和法国阿尔斯通等公司。

为了更好地消化吸收引进机组的先进技术,为了进一步加强我厂发电职工队伍的建设,提高他们的技术水平,同时也为了迎接我厂即将上马的II期(3×60 万千瓦)建设,自1992年下半年来,我们先后组织浙江大学能源系、上海电力学院自控系和上海普能中小电力工程设备成套公司的部分教授和高级工程师编写了本丛书。丛书分别由厂内各专业技术人员审改,其中汽机分册、仪控分册少量需由厂内人员编写的部分,则由厂内技术人员完成。

丛书共约470万字,分为五册:发电厂分册、锅炉分册、汽轮机分册、电气分册、仪控分册

该丛书的出版是厂校合作的结晶。在整个编写过程中,得到了全厂各生产部门领导和工程公司有关技术人员的帮助,在此表示由衷的感谢。

由于相互切磋讨论及各方意见收集尚少,特别是北仑发电厂1号、2号机组运行时间不长,尚有待于进一步积累经验,故书中难免有不当之处,望读者阅后提出宝贵意见。

赵湖滨

1994年12月12日

前 言

浙江北仑发电厂 I 期 $2 \times 600\text{MW}$ 汽轮发电机组丛书的《汽轮机分册》是根据北仑发电厂和有关编写同志于 1992 年 11 月共同制订的编写大纲编写的。

本《汽轮机分册》内容共有四篇。第一篇为汽轮机原理及设备,它扼要地叙述了汽轮机的工作原理,详细地介绍了 1 号汽轮机的本体、凝汽设备以及供油系统;此外,尚简要地介绍了 2 号机的总体结构和系统。第二篇为汽轮机调节,它扼要地叙述了汽轮机调节系统的概念与功频电液调节系统的工作原理,详细地介绍了东芝电调系统的组成与主要部件结构;另外,尚对电液调节系统的调试与故障处理作了介绍。第三篇为汽轮机检修,它详细地介绍了汽轮机转子和汽缸、轴承座的检修,汽轮机调节系统、油系统以及其他辅助设备的检修。第四篇为汽轮机运行,它较为详细地叙述了汽轮机的启动、停机过程以及正常运行;另外在第四篇中尚对汽轮机的热力试验,汽轮发电机组的振动以及汽轮机的事故作了扼要的叙述。

参加本书编写的有:顾冕(主编)、任浩仁、唐致实、朱伊杰、史挺进、陶磊、叶衡、蒋骏等。

参加本书审校的有:桑如波(主审)、冯一中、陈明华等。

在编写本书过程中,本分册作者参阅了由东芝公司和 ALSTHOM 公司提供的大量原始资料,参阅了由北仑发电厂编写的 1 号机运行规程、2 号机组系统及设备说明,以及由北仑发电厂工程公司、浙江省电力中心试验研究所、浙江省电力建设安装公司等编写和提供的资料,在此本分册的作者谨向这些资料的作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中不妥及错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

1996 年 8 月

目 录

第一篇 汽轮机原理及设备

第一章 汽轮机的工作原理	3
第一节 汽轮机装置郎肯循环	3
第二节 汽轮机级的基本工作原理	4
第三节 汽轮机的分类与型号	7
第四节 蒸汽在喷嘴和动叶中的流动	11
第五节 级的轮周效率与最佳速度比	27
第六节 汽轮机级的计算与级内损失	37
第七节 扭叶片级(长叶片级)	52
第八节 凝汽式多级汽轮机及其发展	56
第二章 1号汽轮机的本体	71
第一节 1号汽轮机的总体概述	71
第二节 1号汽轮机的主要技术规范及保证条件	73
第三节 1号汽轮机的本体结构	74
第四节 1号汽轮机的给水泵汽轮机本体结构	105
第三章 1号汽轮机的凝汽设备	108
第一节 凝汽设备的任务与工作原理	108
第二节 凝汽器的型式以及水冷却表面式单压凝汽器的结构和工作原理	110
第三节 空气对蒸汽凝结过程的影响,凝结水的当地过冷度	115
第四节 表面式单压凝汽器按汽流流动方向的分类以及对凝汽器的热力经济指标要求	120
第五节 双压凝汽器的工作原理	122
第六节 1号汽轮机凝汽器的结构与热力经济性	124
第七节 双压凝汽器的热力计算及结构设计	128
第八节 双压凝汽器的变工况特性	136
第九节 凝汽器的抽真空系统	141
第十节 凝汽器的运行与维护	145
第四章 1号汽轮机的供油系统	155
第一节 1号主汽轮机的润滑油系统	155
第二节 1号主汽轮机的电子液压控制系统(EHC系统)的油系统	168
第三节 高压控制油(抗燃油)的发展与应用简介	172
第四节 给水泵汽轮机润滑油系统和EHC系统	175
第五节 1号汽轮机的油净化系统	176

第六节 润滑油系统的运行管理	178
第五章 北仑发电厂 2 号汽轮机及其系统介绍	182
第一节 2 号汽轮机的总体概述	182
第二节 2 号汽轮机的主要技术规范及保证条件	184
第三节 2 号汽轮机的启动运行方式	186
第四节 2 号汽轮机的本体结构	191
第五节 2 号汽轮机的润滑油和顶油系统	199
第六节 液压调节油(EHC)供油系统	201
第七节 监测仪表系统	203
第八节 汽轮机热力系统及辅助设备	205
第九节 给水泵汽轮机	211

第二篇 汽轮机调节

第一章 汽轮机调节系统的基本原理	217
第一节 调节系统的任务	217
第二节 典型调节系统及其静态特性	219
第三节 中间再热式汽轮机的调节特点	222
第二章 功频电液调节系统的工作原理	229
第一节 功频电液调节系统的概念	229
第二节 功频电液调节系统的运行特性	232
第三节 TOSHIBA 电液调节系统发展概述	234
第三章 TOSHIBA 电调系统主要部件的结构与工作原理	238
第一节 信号发讯装置	238
第二节 控制器	241
第三节 控制盘、试验盘、监控盘	244
第四节 电液转换装置	256
第五节 高压主汽阀、调节汽阀与中压联合汽阀	258
第六节 电源装置	272
第七节 自诊断逻辑装置与汽轮机保护逻辑装置	273
第四章 TOSHIBA 电调系统的组成与控制功能	277
第一节 电调系统的组成与特点	277
第二节 D-EHC 系统的控制功能	280
第五章 汽轮机的保安系统	287
第一节 TOSHIBA 保安系统的特点	287
第二节 主要保护装置的结构与工作原理	287
第三节 安全油系统的组成与工作分析	299
第四节 D-EHC 系统的保护功能	303
第六章 电液调节系统的调试与故障处理	308
第一节 中间再热机组对调节系统的要求	308

第二节	电液调节系统的调试	308
第三节	系统的故障处理与维护	319

第三篇 汽轮机的检修

第一章	汽轮机检修的准备	325
第一节	概述	325
第二节	汽轮机组的保温工作	327
第二章	汽轮机汽缸的检修	332
第一节	高温合金钢螺栓的检修	332
第二节	汽缸检修	338
第三节	汽缸揭缸、翻缸及扣缸	343
第四节	滑销系统检修	346
第五节	喷嘴、隔板、隔板套的检修	349
第六节	汽封的检修和调整	355
第七节	通流部分间隙检查和调整	358
第三章	汽轮机转子的检修	370
第一节	转子的起吊与就位	370
第二节	转子的清扫和测量	371
第三节	轴颈和推力盘的检修	374
第四节	转子弯曲检查及直轴方法	376
第五节	叶片	378
第四章	汽轮机轴承的检修	381
第一节	支承轴承的检修	381
第二节	推力轴承的检修	385
第五章	汽轮机找中心	390
第一节	找中心的目的及步骤	390
第二节	汽缸轴承座水平轴颈扬度及转子找正时需要考虑的因素	391
第三节	转子按联轴器找中心	392
第四节	盘车装置检修	398
第六章	汽轮机调节系统及保安系统检修	400
第一节	调速系统的检修	400
第二节	汽轮机的保护装置	403
第三节	D-EHC 的调试	406
第七章	汽轮机油系统的检修	409
第一节	油管路系统检修	409
第二节	油箱、冷油器检修	411
第三节	油泵检修	412
第八章	汽轮机辅助设备的检修	416
第一节	凝汽器检修	416

第二节	除氧器及加热器检修	421
第三节	离心泵检修	423
第四节	汽水管道及阀门检修	432
 第四篇 汽轮机运行		
第一章	汽轮机的启动与停机	441
第一节	高压汽轮机的热应力、热变形及热膨胀	441
第二节	汽轮机启动方式、冲转参数及北仑发电厂1号机推荐的启动曲线	454
第三节	汽轮机在冷状态下的滑参数启动	461
第四节	汽轮机的热状态启动	482
第五节	汽轮机的停机	489
第二章	汽轮机正常运行	496
第一节	北仑发电厂1号600MW机的正常运行	496
第二节	北仑发电厂1号600MW机的运行方式及其负荷调节	500
第三节	北仑发电厂1号600MW机的特殊运行方式	505
第四节	滑压运行方式	510
第三章	汽轮机热力特性试验	522
第一节	概述	522
第二节	试验前的准备工作	522
第三节	测量方法和测量仪表	526
第四节	热力特性试验	545
第五节	试验结果的整理和计算	549
第六节	试验结果的误差分析	566
第四章	汽轮发电机组振动	577
第一节	振动基本理论的概述	577
第二节	机组振动过大在发电厂中的危害性与机组振动标准	589
第三节	汽轮发电机组的振源分析	593
第四节	转子动平衡方法简介	614
第五章	汽轮机的事故	620
第一节	事故处理的一般规定	621
第二节	汽轮机异常运行及常规事故处理	623
主要参考文献		635

第一篇

汽轮机原理及设备

第一章 汽轮机的工作原理

第一节 汽轮机装置郎肯循环

汽轮机是火力发电厂郎肯循环装置的许多主设备之一,图 1.1-1 所示为这种热力循环的简略原理图。当蒸汽经过理想郎肯循环中的每一设备时,其热力状态都可以用 $T-S$ 图来表示,如图 1.1-2 所示。

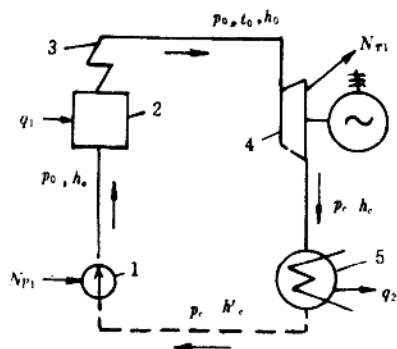


图 1.1-1 热力装置的简略原理图

1. 给水泵; 2. 锅炉; 3. 蒸汽过热器;
4. 汽轮机; 5. 凝汽器

给水泵 1(图 1.1-1) 将水的压力由 p_c 升高到 p_0 , 并送入锅炉 2, 水泵中消耗于每公斤给水的功为 N_{p1} , 在 $T-S$ 图上水泵中水的绝热压缩过程用 $a'a$ 线来表示。

锅炉中, 水在等压下加热至沸腾温度($T-S$ 图上 ab 线), 而水的蒸发过程在 $T-S$ 图上用 bc 线来表示, 此后饱和蒸汽进入过热器 3, 蒸汽的温度提高到温度 t_0 , 过热器中的受热过程在 $T-S$ 图上用 cd 线来表示。

由于在锅炉及过热器中, 热量的加入均是在等压下进行的, 根据热力学第一定律, 在等压过程中的对于 1 公斤工质, 加入的热量 q_1 为

$$q_1 = \int dq_1 = \int_{h_a}^{h_0} dh - \int \frac{1}{\rho} dp = \int_{h_a}^{h_0} dh = h_0 - h_a \quad \text{J/kg}$$

式中 h_0 为过热器出口的 1 公斤蒸汽焓, h_a 为 1 公斤给水进入锅炉时的焓。

由此可知, 在锅炉及过热器中加给水和蒸汽的热量将全部用于提高蒸汽的焓。对于单位质量而言, 其 q_1 可以用 $T-S$ 图上的面积 $1abcd21$ 来表示。

过热蒸汽自过热器流出时具有焓 h_0 。进入汽轮机在其中膨胀作功 N_{T1} , 如果假定在汽轮机中作功时没有损失并与外界不发生热交换, 则其膨胀过程沿绝热线进行, 在 $T-S$ 图上用 de 线来表示。汽轮机的排汽流入凝汽器 5, 在等压 p_c 下把热量传给冷却水, 与此同时排汽凝结成

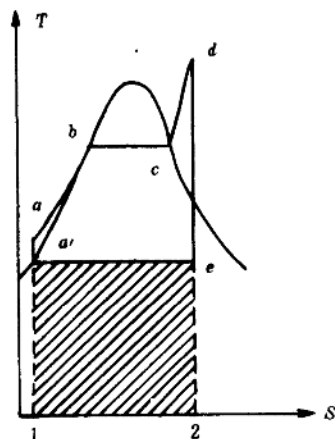


图 1.1-2 郎肯循环的 $T-S$ 图

凝结水,其焓为 h'_c , 然后被水泵再次送入锅炉, 这样水蒸汽在热力装置中就完成一个循环。这种以水为工质的由锅炉、汽轮机、凝汽器以及给水泵等组成的热力循环俗称为郎肯循环。

当汽轮机中膨胀过程为无损失时, 每公斤蒸汽在凝汽器中按等压过程所放出的热量 q_2 可由下式表示:

$$q_2 = h_{c1} - h'_c$$

式中 h_{c1} 是汽轮机过程为等熵膨胀时的排汽焓, h'_c 为凝结水焓。

图 1.1-2 的 $T-S$ 图中阴影部分的面积即为热量 q_2 。

在所研究的封闭循环中, 从每公斤蒸汽所能得到的功可以用热量差数来表示:

$$N_1 = q_1 - q_2 = (h_0 - h_a) - (h_{c1} - h'_c) = (h_0 - h_{c1}) - (h_a - h'_c) = N_{T1} - N_{P1}$$

每公斤蒸汽在汽轮机中所产生的功为 $N_{T1} = (h_0 - h_{c1})$, 而在水泵中所消耗的功为 $N_{P1} = (h_a - h'_c)$ 。

整个装置的绝对效率可由下面的公式来决定:

$$\eta_t = \frac{N_1}{q_1} = \frac{(h_0 - h_{c1}) - (h_a - h'_c)}{h_0 - h_a} = \frac{(h_0 - h_{c1}) - (h_a - h'_c)}{(h_0 - h'_c) - (h_a - h'_c)}$$

在一般情况下, 可以认为 $N_{P1} \ll N_{T1}$, 水泵功可以不计, 则绝对效率可写成:

$$\eta_t \approx \frac{h_0 - h_{c1}}{h_0 - h'_c} \quad (1.1-1)$$

上述理想循环的绝对效率也称作循环热效率。

当蒸汽在汽轮机内作等熵膨胀时, 该过程的初终态焓差 $\Delta H_t = h_0 - h_{c1}$ 也可从 $h-s$ 图(图 1.1-3)中直接求得。

式中 ΔH_t 称为理想焓降。

从能量转换观点看: 循环热效率表示了每 1 公斤工质从热源(锅炉)所吸收的热量 q_1 在没有损失的汽轮机中能转变为功的份额, 循环热效率一般约为 40% 左右, 也就是说新蒸汽在锅炉中所吸收的热量中只有 40% 左右可变为功, 而其余热量则将由冷源(凝汽器)排掉而构成损失。

在有损失情况下, 汽轮机的蒸汽实际过程线如图中 ab 线所示。

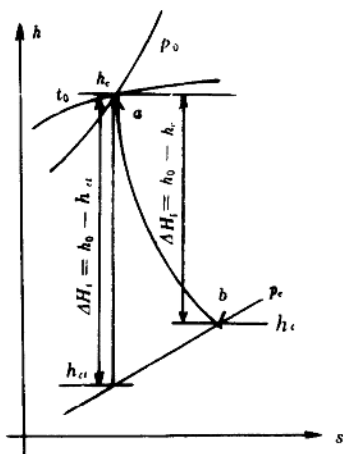


图 1.1-3 $h-s$ 图上的蒸汽膨胀过程

第二节 汽轮机级的基本工作原理

一般发电用汽轮机都是多级汽轮机, 它是由在汽轮机转子上众多的依次排列的汽轮机级串联组合而成。每一个汽轮机级是由一系列喷嘴叶栅和与之相配的一系列动叶栅所组成。级是汽轮机的作功基本单元。当具有一定温度、压力的蒸汽进入喷嘴后, 压力由 p_0 降到 p_1 , 流速从 c_0 增加到 c_1 , 即在喷嘴中蒸汽得到加速, 将蒸汽的热能转换成动能, 此后蒸汽进入动叶片通道, 藉汽流进出动叶片通道动量的改变, 汽流对动叶片作用有一力使汽轮机转子转动和作功。设动叶平均直径处的圆周速度为 u , 则 $u = \frac{\pi d_m n}{60}$ (m/s), 式中: d_m 为平均直径, n 为转子转速(r/min)。

当汽流出喷嘴的出口角为 α_1 时, 动叶进口的速度三角形将如图 1.1-4 所示。 c_1 为汽流出

喷嘴时的绝对速度, w_1 为汽流进动叶的相对速度, $\vec{c}_1 = \vec{u} + \vec{w}_1$, 汽流相对速度 w_1 与 u 方向成 β_1 角。如果汽流在动叶通道中不继续膨胀, 而只随汽道形状改变其流动方向, 则汽流对叶片的作用力称作冲动力, 这种级称作冲动级。

当汽流在动叶通道中随汽流方向改变的同时仍继续膨胀加速, 则加速汽流通过动叶通道时, 对动叶将施加一个与汽流方向相反的反作用力, 这个作用力称作反动力, 这种级称作反动级。

在一般情况下, 蒸汽在动叶通道中不仅将在喷嘴内所获得的速度能转换为动叶上的机械功, 对动叶施加冲动力, 而且由于汽流在通道中继续膨胀对动叶还施加一个反动力, 所以动叶是在这二个力的同时作用下产生旋转而作功的。

为了说明蒸汽在动叶内膨胀程度的大小, 兹引入级的反动度 Ω 的概念, 见图 1.1-5。它等于蒸汽在动叶内的理想焓降 Δh_b 与喷嘴动叶内的理想焓降和 $(\Delta h_n + \Delta h_b)$ 之比:

$$\Omega_m = \frac{\Delta h_b}{\Delta h_n + \Delta h_b}$$

式中 Ω_m 是指在平均直径截面上的反动度, 或称平均反动度。因为 $\Delta h_b \approx \Delta h'_b$, 以及级的理想焓降 $\Delta h_t = \Delta h_n + \Delta h'_b$, 所以

$$\Omega_m = \frac{\Delta h_b}{\Delta h_t} \quad (1.1-2)$$

以及

$$\Delta h_b = \Omega_m \cdot \Delta h_t, \Delta h_n = (1 - \Omega_m) \Delta h_t$$

在国内很多教材中还常用滞止参数来表达反动度 Ω'_m 的定义。所谓滞止参数是指汽流状态被等熵地滞止到初速等于零的状态

参数。当蒸汽以这个滞止参数为初参数在级内等熵膨胀所具有的焓降称为级的滞止理想焓降 Δh_t^* 。由此以滞止参数来表达的级平均直径处的反动度 Ω'_m 为:

$$\Omega'_m = \frac{\Delta h_b}{\Delta h_n^* + \Delta h_b} \approx \frac{\Delta h_b}{\Delta h_t^*} \quad (1.1-3)$$

很多教材在应用上述公式(1.1-3) Ω'_m 反动度定义的时候, 碰到了二个困难:

1) 虽然书中引用了 Ω'_m 的概念, 但书中援引的制造厂实际例子却都是按照式(1.1-2)来定义反动度的, 因此书中前后不能统一, 也没有给予说明。

2) 应用 Ω'_m 的概念不能解释通常称反动度 Ω'_m 为 0.5 的级为反动级的定义。因为在所有制造出的反动式汽轮机中, 其中间反动级中喷嘴和动叶的叶型都是相同的, 蒸汽在喷嘴和动叶中的理想焓降是相等的, 因此说反动级的反动度是 0.5 是按照 Ω_m 来定义的, 而 Ω'_m 并不等于 0.5。从历史上来看, 反动式汽轮机的问世较早, 当时反动度的定义是按照 Ω_m 的, 只是近年来, 有些人想用滞止参数的概念来表达, 但却解决不了上述习惯做法所引起的矛盾。

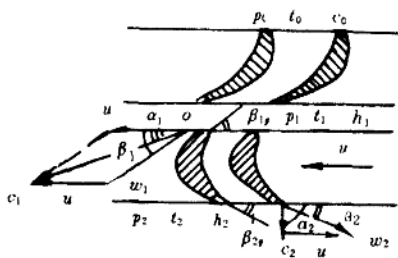


图 1.1-4 动叶片进出口速度三角形

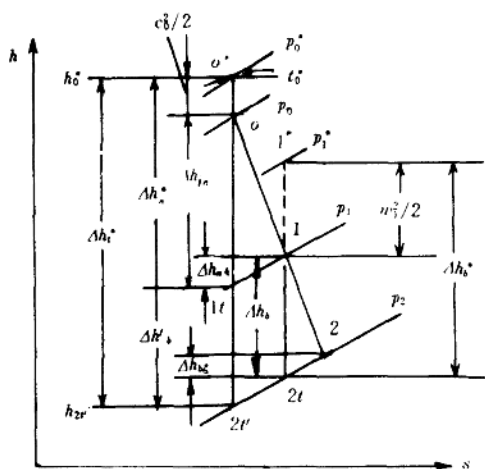


图 1.1-5 级的热力过程

在本书中将应用 Ω_m 的反动度定义。

蒸汽在动叶通道内藉动能和位能的减少对动叶进行做功,蒸汽出动叶汽道时具有相对速度 w_2 ,其与 $(-u)$ 方向成 β_2 角度,根据 $\vec{c}_2 = \vec{w}_2 + \vec{u}$ 可绘出蒸汽出动叶时的速度三角形, $\vec{c}_2$ 为蒸汽出动叶时的绝对速度。由于它未被该级所利用做功,所以常称它为余速损失。

动片进出口蒸汽速度三角形通常绘在一起,如图 1.1 - 6 所示。

如上所述,根据蒸汽在级的动叶内不同的膨胀程度,可将汽轮机级分为冲动级和反动级二种,其工作特点如下。

一、冲动级

冲动级有三种不同的形式。

(一) 纯冲动级(图 1.1 - 7a)

反动度 $\Omega_m = 0$ 的级称为纯冲动级。它的特点是蒸汽只在喷嘴叶栅中膨胀,在动叶栅中蒸汽并不膨胀而只改变其流动方向,因此动叶栅进出口压力相等,即 $p_1 = p_2, \Delta h_b = 0, \Delta h_n^* = \Delta h_i^*$ 。纯冲动级的做功能力较大,效率较低,一般蒸汽离开动叶栅时,仍具有一定速度 $c_2, \frac{c_2^2}{2}$ 称为余速损失。

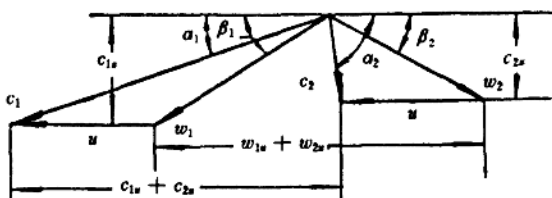


图 1.1 - 6 动叶片进出口速度三角形

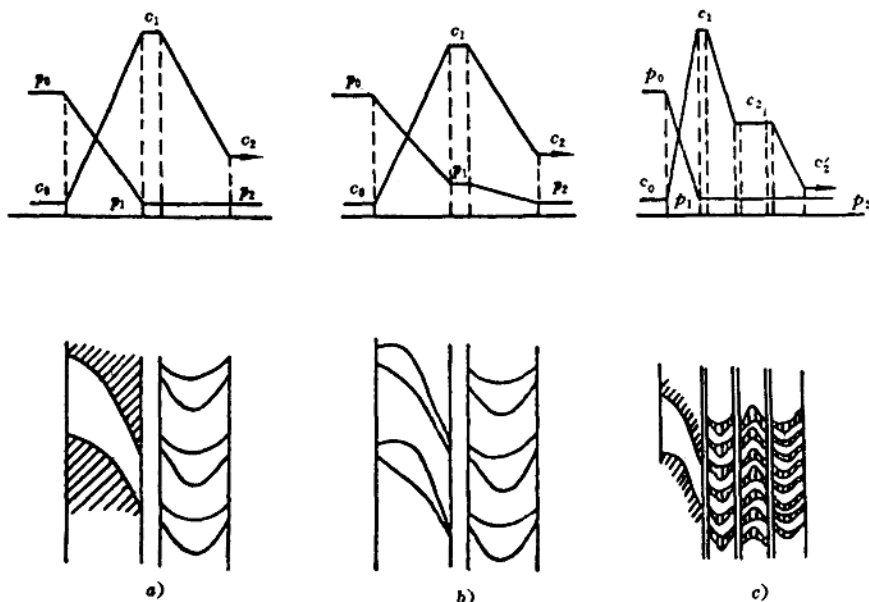


图 1.1 - 7 冲动级中蒸汽压力和速度变化示意图

(二) 带反动度的冲动级(图 1.1 - 7b)

由于反动度能使汽流加速,减少汽流附面层的厚度和脱流损失,因此在冲动级中具有一定的反动度,也能提高汽轮机级的效率。目前对于一般的冲动级,通常亦具有 $\Omega_m = 0.05 \sim 0.20$ 的反动度,此时蒸汽的膨胀大部分是在喷嘴叶栅中进行,但尚有 $0.05 \sim 0.20$ 的焓降是在