

QILUNJI SHEBEI
YUNXING JI SHIGU CHULI

汽轮机设备 运行及事故处理

第二版

汪玉林 主编



化学工业出版社



汽轮机设备 运行及事故处理

第二版

汪玉林 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本次修订版在全面论述汽轮机的基本概况、汽轮机电液自动调节、汽轮机运行及事故处理等内容的基础上,删除了第一版中企业人员相对熟悉的关于供热轮机的比较、汽轮机调节系统的比较、汽轮机的启动与停机等内容,新增了关于单机汽轮机、工业汽轮机运行及事故处理、工业汽轮机电调技术等内容。

本书可供热电厂、地方电厂广大汽轮机专业技术人员、技术工人以及热电技术设计和管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机设备运行及事故处理/汪玉林主编. —2版.

北京:化学工业出版社,2011.11

ISBN 978-7-122-12327-5

I. 汽… II. 汪… 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189611号

责任编辑:路金辉

责任校对:宋夏

文字编辑:项激

装帧设计:关飞

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张25½ 字数653千字 2012年2月北京第2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:78.00元

版权所有 违者必究

第二版前言

由中国电机工程学会热电专业委员会组织、化学工业出版社出版的《汽轮机设备运行及事故处理》一书，自 2006 年 1 月出版以来，深受热电行业科技人员及相关人员的欢迎，已经多次印刷，仍不能满足需求。几年来，随着科学技术的发展，企业的技术进步加快，热电企业节能技术改造增多，汽轮机电调技术应用普及，一些热电行业的科技人员和相关人员希望能增加相关内容，使内容更加丰富，因此对该书进行修订甚为必要。

这次修订版删除了原书中第三章第八节“几种供热汽轮机的比较”；第四章第九节“几种类型的汽轮机调节系统的比较”以及第八章“汽轮机的启动与停机”等内容，这些内容是电力企业比较熟悉的，可以由技术人员自行研究处理。

这次修订版增加了“单级汽轮机”、“工业汽轮机运行及事故处理”和“工业汽轮机电调技术”等内容。近年来，许多企业为了节约能源，将原来用大功率电机驱动的水泵、风机改用单级汽轮机驱动，这样既节省了用电，又可利用企业富裕蒸汽，节能效果显著，因此应加以论述和推广应用。随着经济技术的发展，用于驱动压缩机、水泵、风机的驱动式工业汽轮机应用日益广泛，在汽轮机行业占据了一定的份额，因此有必要对其结构、运行和事故处理进行介绍，以满足读者的需要。汽轮机电调技术的发展，是汽轮机 100 多年发展史的新的里程碑，完成了汽轮机调节技术由机械调节—全液压调节—模拟式电液调节—数字式电液调节的发展过程。目前，电调技术在汽轮机上的应用，逐步由 300MW 大型汽轮机向中小汽轮机上发展，一些 6~25MW 的汽轮机也应用了电调技术。第一版以引进型 300MW 中间再热汽轮机的数字式电液自动调节系统为例，详尽介绍了电液自动调节技术的原理、结构、运行及故障处理。这次修订版增加的“工业汽轮机电调技术”一节，向读者重点说明在工业汽轮机和小型热电汽轮机上应用较多的 WORDWARD 505 的结构和操作，这也是读者所要求的。

参加修订版编写的有汪玉林、闫永旭、陈海璞、张静、鲍军、寇磊、毛汉忠、王勤、周立明、陈少华、于杰、魏建民。由汪玉林统一校阅、统稿。

本书在修订过程中得到中国电机工程学会热电专业委员会、化学工业出版社、杭州汽轮机股份有限公司工业汽轮机研究所、青岛捷能汽轮机集团股份有限公司及有关热电企业等单位的大力支持，在此表示衷心感谢。

鉴于汽轮机工业发展迅速，新技术广泛应用，本书难免存在欠妥之处，恳请读者给予指正。

编者

2011 年 6 月

第一版前言

近年来,随着国民经济的迅速发展,热电联产产业发展日新月异,热电厂建设逐年增加,热电联产汽轮机的单机容量不断增大。目前已发展到单机 200MW,正在向 300MW 发展。随着科学技术的发展,一些新技术、新工艺、新材料也在汽轮机制造业应用,供热式汽轮机设计制造正向热电化、模块化、高速化、自动化发展。

汽轮机是热电厂的主要动力设备,汽轮机设备的运行正常与否,直接影响到电厂的安全生产和经济效益,因此,向汽轮机从业人员及相关人员加强汽轮机设备运行及事故处理专业知识教育至为重要。为了适应这一形势,我们编写了《汽轮机设备运行及事故处理》一书,作为《热电厂实用技术丛书》之一推荐给读者。本书是在多年来举办《汽轮机技术培训班》的经验,将汽轮机设备运行、维护的实践和系统理论与最新技术相结合,为热电厂、地方电厂广大汽轮机专业技术人员、技术工人以及热电技术设计和管理人员而编写的。本书主要介绍各类汽轮机,尤其是热电联产汽轮机的结构及特点、并对汽轮机的发展、设备运行及事故处理进行了专门论述。电液自动调节是新发展的汽轮机调节自动化技术,已在大型汽轮机上广泛应用,并正向热电联产汽轮机推广。本书以引进型 300MW 中间再热汽轮机的数字式电液自动调节系统为例,详尽介绍了电液自动调节技术的原理、结构、运行及故障处理及其在热电联产汽轮机上的应用。

本书由汪玉林、闫永旭、陈海璞、张静、鲍军、寇磊编写,由汪玉林统一校阅、统稿。全书由南京汽轮电机厂高级工程师寇磊审阅。

本书在编写过程中得到中国电机工程学会热电专业委员会、化学工业出版社、青岛捷能汽轮机股份有限公司、南京汽轮电机厂、武汉汽轮发电机厂及有关热电企业等单位的大力支持,在此表示衷心感谢。

鉴于汽轮机工业发展迅速,新技术广泛应用,书中难免存在疏漏,恳请读者批评指正。

编者

2006 年 1 月

目 录

第一篇 综 述 / 1

第一章 概论	2
第一节 汽轮机的基本结构和分类	3
第二节 供热式汽轮机	7
第三节 工业汽轮机	11
第四节 船舶汽轮机	11
第五节 低品位热能汽轮机	12
第六节 汽轮机型号和蒸汽参数	14
第二章 汽轮机的工作原理	16
第一节 蒸汽在喷嘴中的流动	16
第二节 喷嘴截面变化与流速的关系	18
第三节 蒸汽在动叶片中的流动	20
第四节 蒸汽在汽轮机内的损失及热效率	21
第三章 汽轮机本体结构	27
第一节 汽轮机静子	27
第二节 主轴承和推力轴承	37
第三节 汽轮机转子	41
第四节 叶轮	44
第五节 叶片	46
第六节 联轴器	48
第七节 盘车装置	50
第四章 汽轮机调节与保护	52
第一节 调节系统基本工作原理	52
第二节 调速系统的基本结构	56
第三节 调节系统的静态特性	63
第四节 调节系统的动态特性	66
第五节 同步器	69
第六节 汽轮机的保护装置	71

第七节	汽轮机润滑油路系统	78
第八节	供热式汽轮机的调节	82
第九节	调节系统试验	87
第五章	汽轮机组的热力系统及辅助设备	92
第一节	汽轮机组的热力系统	92
第二节	凝汽设备	95
第三节	给水回热加热设备	105
第四节	给水除氧设备	111
第五节	热力系统管道及附件	115
第六章	单级汽轮机	124
第一节	单级汽轮机综述	124
第二节	单级汽轮机的功率和效率	128
第三节	单级汽轮机的应用	129
第七章	工业汽轮机	131
第一节	工业汽轮机概述	131
第二节	工业汽轮机结构	133
第三节	工业汽轮机运行及事故处理	158

第二篇 汽轮机电液自动调节 / 171

第八章	汽轮机自动调节系统	172
第一节	汽轮机自动调节系统的基本概念	172
第二节	功频电液调节系统	176
第九章	数字式电液调节	180
第一节	数字式电液调节系统 (DEH)	180
第二节	数字式电液调节系统的逻辑分析	199
第三节	电液调节 (EH) 油系统	221
第四节	电液伺服执行机构	232
第五节	危急遮断系统	243
第六节	润滑油系统	261
第七节	低压透平油数字式电液调节系统	274
第八节	工业汽轮机电调技术	290

第三篇 汽轮机运行及事故处理 / 303

第十章	汽轮机的运行	304
第一节	汽轮机的运行与维护	304
第二节	汽轮机的变工况运行	308
第三节	汽轮机的变压运行	309
第四节	汽轮机低真空运行	311

第五节	供热汽轮机的运行特点	313
第六节	数字式电液调节系统 (DEH) 的运行	316
第十一章	汽轮机重大事故的处理	323
第一节	汽轮机重大事故的处理原则	323
第二节	汽轮机动静部分摩擦及大轴弯曲	324
第三节	汽轮机的水冲击	325
第四节	汽轮机叶片损坏与脱落	327
第五节	汽轮机超速	329
第六节	汽轮机发电机组的轴承事故	330
第七节	油系统着火	332
第八节	汽轮发电机甩负荷	333
第十二章	汽轮机常见故障处理	336
第一节	汽轮机本体常见故障处理	336
第二节	调节系统常见故障处理	346
第三节	热力系统与辅助设备常见故障处理	350
第十三章	典型事故处理实例	358
第一节	汽轮机本体事故处理实例	358
第二节	调节系统事故处理实例	363
第三节	数字式电液调节系统的事故处理实例	367

附 录 / 370

附录 I	常用法定计量单位及换算	370
附录 II	水蒸气热力特性	371
附表 II-1	饱和水与干饱和蒸汽 (按温度编排)	371
附表 II-2	饱和水与干饱和蒸汽 (按压力编排)	372
附表 II-3	未饱和水与过热蒸汽	373
附录 III	几种汽轮机的纵剖面	379
附图 III-1	凝汽式汽轮机纵剖面 (单层布置)	379
附图 III-2	抽汽凝汽式汽轮机纵剖面	380
附图 III-3	背压式汽轮机纵剖面	381
附图 III-4	抽汽背压式汽轮机纵剖面	382
附录 IV	几种汽轮机的调节、保安、油路系统	383
附图 IV-1	凝汽式汽轮机调节、保安、油路系统	383
附图 IV-2	抽汽凝汽式汽轮机调节、保安、油路系统	384
附图 IV-3	背压式汽轮机调节、保安、油路系统	385
附图 IV-4	抽汽背压式汽轮机调节保安油路	386
附图 IV-5	双抽汽凝汽式汽轮机调节、保安、油路系统	387
附录 V	几种汽轮机的热力系统	388
附图 V-1	凝汽式汽轮机热力系统	388

附图 V-2 抽汽凝汽式汽轮机热力系统	389
附图 V-3 背压式汽轮机热力系统	390
附图 V-4 抽汽背压式汽轮机热力系统	391
附图 V-5 双抽汽凝汽式汽轮机热力系统	392
附录 VI 工业汽轮机布置图、纵剖面图、数字式电液调节系统图、疏水系统图、 润滑油系统图	393
附图 VI-1 工业汽轮机布置简图	393
附图 VI-2 工业汽轮机纵剖面图	394
附图 VI-3 工业汽轮机数字式电液调节系统图	395
附图 VI-4 凝汽式汽轮机蒸汽疏水图	396
附图 VI-5 背压式汽轮机蒸汽疏水图	397
附图 VI-6 汽轮机润滑油系统图	398
参考文献	399

第一篇

综 述

第一章 ○ 概论 / 2

第二章 ○ 汽轮机的工作原理 / 16

第三章 ○ 汽轮机本体结构 / 27

第四章 ○ 汽轮机调节与保护 / 52

第五章 ○ 汽轮机组的热力系统及辅助设备 / 92

第六章 ○ 单级汽轮机 / 124

第七章 ○ 工业汽轮机 / 131

第一章

概 论

汽轮机是一种以水蒸气作为工质的高速回转原动机。自从 1884 年瑞典工程师拉伐尔 (Laval) 设计制造出世界上第一台功率为 5hp ($1\text{hp}=745.700\text{W}$) 的汽轮机, 1884 年英国工程师柏生斯 (Parsons) 设计制造出第一台反动式汽轮机, 至今汽轮机制造业已经有一百多年的历史。在这一个多世纪中, 汽轮机制造业发展速度越来越快, 特别是 20 世纪 50 年代以后的 50 多年间, 随着科学技术的不断进步, 金属材料工业的迅速发展, 机械加工工艺设备越来越先进, 汽轮机理论研究的成果不断得到推广应用, 汽轮机的设计和制造水平有了很大的提高, 汽轮机向着高参数、大功率、高效率 and 高度自动化方向发展, 目前世界上已经出现了超临界参数 (初压 35MPa, 初温 649℃) 的汽轮机, 单机最大功率达到 1300MW。

我国在 20 世纪 50 年代发展起来一批汽轮机制造厂。1956 年由上海汽轮机厂制造出第一台容量为 6MW 的凝汽式汽轮机, 安装在淮南发电厂。随后 12MW、25MW、50MW、100MW、125MW、200MW 汽轮机相继投产发电, 1974 年上海汽轮机厂制造出第一台 300MW 汽轮机, 1990 年哈尔滨汽轮机厂设计制造了首台 600MW 汽轮机。目前, 300MW、600MW 汽轮机已形成生产规模, 并采用了数字式电液自动调节系统, 正在向提高蒸汽初参数方向发展。在大功率汽轮机发展的同时, 小功率汽轮机尤其是热电联产汽轮机 (又称供热式汽轮机) 也得到较快发展, 已形成凝汽式、抽汽凝汽式、背压式、抽汽背压式汽轮机、低品位热能汽轮机、地热汽轮机以及工业汽轮机、船舶汽轮机等系列, 各类汽轮机都已批量生产, 能满足各行业对汽轮机的需求。

近年来, 随着国民经济的迅速发展, 热电联产产业发展日新月异, 热电厂建设逐年增加, 供热式汽轮机的单机容量不断增大。目前已发展到单机 200MW, 正在向 300MW 发展。随着科学技术的发展, 一些新技术、新工艺、新材料也在汽轮机制造业应用, 供热式汽轮机设计制造正向热电化、模块化、高速化、自动化发展。

第一节 汽轮机的基本结构和分类

汽轮机按照其基本工作原理可以分为冲动式汽轮机和反动式汽轮机两种类型。

一、冲动式汽轮机

冲动式汽轮机是利用冲动作用原理设计出来的汽轮机，即蒸汽只在喷嘴中膨胀，将蒸汽热能转换成动能，而在动叶片中蒸汽不发生膨胀，没有压力降，只改变了气流流动的方向，将蒸汽的动能转变成机械能。图 1-1 是单级冲动式汽轮机的基本构造图。图中表示出蒸汽在汽轮机内的做功过程，蒸汽在喷嘴中膨胀，其压力不断降低，而速度不断提高，离开喷嘴时压力为 p_1 ，速度为 c_1 。在喷嘴和动叶片之间的间隙处，其压力和速度不变。但是当蒸汽进入动叶片以后，压力不发生变化，改变流动方向的同时，给动叶片一个冲动力，而汽流速度由 c_1 降到 c_2 ，蒸汽的一部分动能转化为机械能。做功以后的蒸汽，仍具有一定的速度 c_2 ，通常称为蒸汽的余速。显然这一部分余速所具有的动能没有被利用做功就排出汽轮机，故把这部分没有利用的动能叫做余速损失。

由于单机冲动式汽轮机只有一列动叶片，汽流离开动叶片的速度很高，余速损失较大，汽轮机的热效率低。为了降低余速损失，提高热效率，在同一个叶轮上再加一列喷嘴和一列动叶片，使蒸汽的动能被进一步利用。这样的汽轮机称为速度级汽轮机，也称为复速级汽轮机。

图 1-2 所示为速度级汽轮机的基本结构。图中表示出了蒸汽压力和速度在汽轮机中的变化过程，压力为 p_0 的新蒸汽进入喷嘴 4，其压力降低到 p_1 ，速度由 c_0 增加到 c_1 ，热能转变成动能，然后进入第一列动叶片 3 中，改变流动方向，动能转换成机械功。蒸汽做功后离开第一列动叶片时虽然速度降低一些，但仍有较大的速度 c_2 可以利用，蒸汽经过导向叶片 7

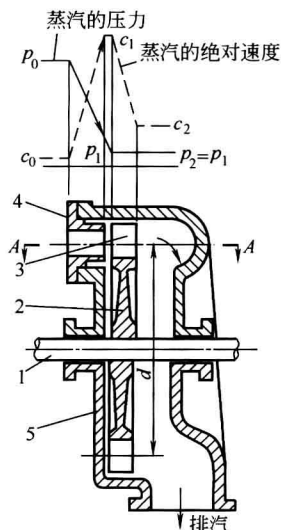


图 1-1 单级冲动式汽轮机结构图

1—主轴；2—叶轮；3—叶片；
4—喷嘴；5—汽缸

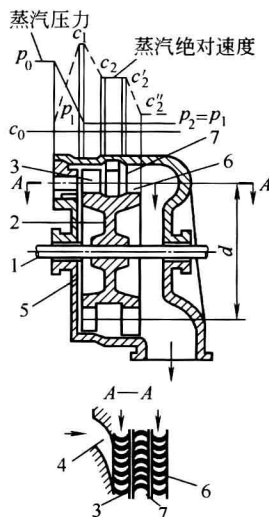


图 1-2 速度级汽轮机结构图

1—主轴；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

改变流动方向后再进入第二列动叶片 6 中继续做功，蒸汽在导向叶片中不再膨胀，压力基本不变，但是由于汽流的流动损失，速度由 c_2 略有降低，变成 c'_2 ，在第二列动叶片中，蒸汽也不再膨胀，只是蒸汽的动能进一步被利用，使排汽的速度降低到 c''_2 。

这种汽轮机和单级冲动式汽轮机一样，蒸汽的全部膨胀是在一级喷嘴中进行的，其不同之处是，第一列动叶片的排汽动能可进一步得到利用。因此，这种汽轮机的单级功率比单级冲动式汽轮机大。

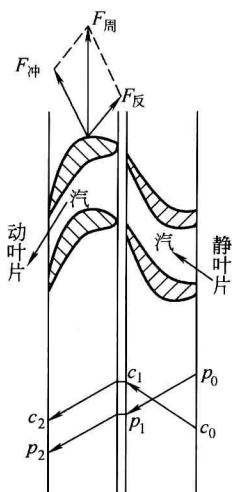


图 1-3 蒸汽在反动式汽轮机内的膨胀过程

二、反动式汽轮机

蒸汽不仅在喷嘴中发生膨胀，而且在动叶片中也发生膨胀，即蒸汽的热能转变成动能的过程在喷嘴和动叶片同时进行，这种汽轮机叫做反动式汽轮机。如图 1-3 所示，蒸汽在喷嘴（静叶片）中膨胀，使其压力从 p_0 降低到 p_1 ，气流速度从 c_0 提高到 c_1 ，然后进入动叶片继续膨胀，压力从 p_1 降低到 p_2 ，而其气流速度由 c_1 降到 c_2 ，将一部分动能转变为机械能。蒸汽在动、静叶片中经过两次膨胀，动叶片出口的速度似乎应该比动叶片入口的速度高，但是实际上由于流经动叶片的蒸汽对动叶片产生了一个冲动力 $F_{冲}$ ，离开动叶片时又对动叶片产生一个反动力 $F_{反}$ ，两个力的合力构成推动叶轮转动的周向力 $F_{周}$ ，对叶片做了功，将一部分动能转变成机械能，速度降低下来，因此动叶片出口的气流速度 c_2 永远低于入口速度 c_1 。

冲动式汽轮机与反动式汽轮机在结构上的最大不同之处在于：冲动式汽轮机的动叶片出、入口侧比较薄，中间比较厚，从入口到出口，流道横截面积基本不变，叶片断面形状如图 1-4 所示。反动式汽轮机动叶片入口侧比较厚，出口侧比较薄，流道从入口到出口横截面积逐渐缩小，其断面形状如图 1-5 所示。



图 1-4 冲动式汽轮机叶片断面

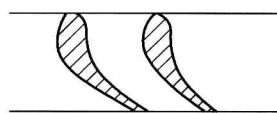


图 1-5 反动式汽轮机叶片断面

另外，冲动式汽轮机的叶片装在叶轮上，如图 1-6 所示。反动式汽轮机的叶片装在转鼓上，因此反动式汽轮机的转子看上去比较粗，如图 1-7 所示。

不管是冲动式汽轮机还是反动式汽轮机，都存在轴向推力。冲动式汽轮机动叶片前后几乎没有压力差，因此其转子的轴向推力较小。而反动式汽轮机动叶片前后存在压力差，故在动叶片上作用着一个指向低压侧的轴向力，因此反动式汽轮机的轴向推力比较大，为了减少其轴向力，将转子制成转鼓式的，又在转子上装有平衡活塞，平衡活塞的右侧作用着高压蒸汽，而其左侧与排汽室相连，平衡活塞在压力差的作用下，产生一个反向推力，抵消蒸汽对叶片的轴向推力。

冲动式汽轮机可以制成单级的，也可以制成多级的，而反动式汽轮机一般都制成多级的，在蒸汽参数和功率相同的条件下，反动式汽轮机的级数要比冲动式汽轮机的级数多，同样热效率也相应提高，但是反动式汽轮机制造难度相对较大，因此冲动式汽轮机的应用比较广泛。

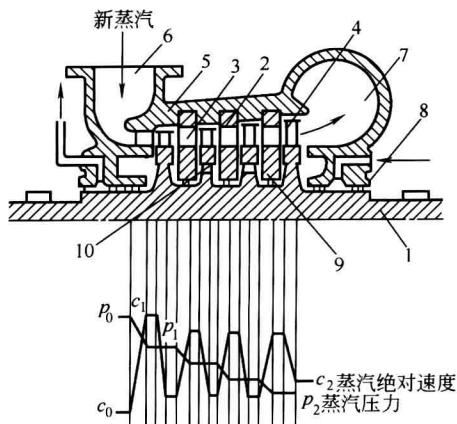


图 1-6 多级冲动式汽轮机结构示意图

1—转子；2—隔板；3—喷嘴；4—动叶片；
5—汽缸；6—进汽室；7—排汽室；
8—轴封；9—隔板汽封；10—平衡孔

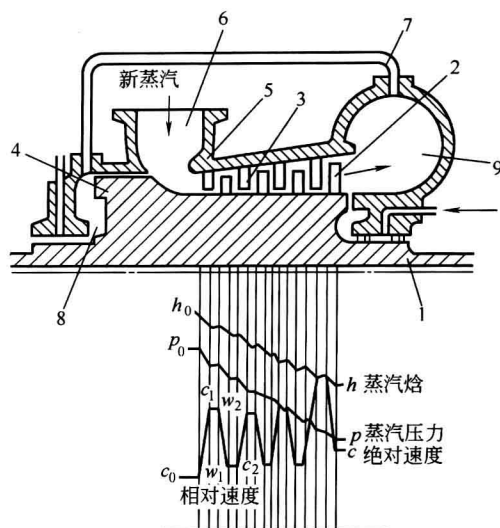


图 1-7 反动式汽轮机结构示意图

1—转子；2—动叶片；3—喷嘴；4—平衡
活塞；5—汽缸；6—进汽室；7—平
衡管；8—平衡室；9—排汽室

实际上纯粹冲动式汽轮机是不存在的，蒸汽在动叶片中或多或少会产生膨胀，压力有所降低，为了提高冲动式汽轮机的热效率，通常将动叶片设计成一定的反动度，即让蒸汽在动叶片中稍微膨胀，产生一定的压力降，减少在动叶片中的流动损失。为了减少汽轮机的级数，提高汽轮机的热效率，也有采用冲动、反动联合式的，即前面几级为冲动式的，而后面几级为反动式的。

多级冲动式汽轮机的第一级称为调节级，国产小型汽轮机的调节级一般制成双列速度级。采用双列速度级有以下三个方面的优点：

(1) 在蒸汽参数、汽轮机功率相同的条件下，可使汽轮机的级数减少，轴向尺寸减少，结构更加紧凑，降低汽轮机的造价。

(2) 双列速度级的焓降大，新蒸汽经过这一级后，压力和温度都要下降很多，所以使调节级后的高压、高温段缩短，节省了优质材料。

(3) 由于蒸汽经过双列速度级后，压力降低很多，所以高压轴封结构可以大大简化，而且可以大大减少漏汽损失。

但是由于双列速度级的焓降大，汽流速度高，从第二列动叶片排出的蒸汽具有很高的速度，仍有很大的动能没有被利用，所以其热效率较低。

三、汽轮机的分类

汽轮机的分类方法很多，可以按热力特性分类，也可以按用途、蒸汽参数、工作原理、级数分类，还可以按转子个数分类，通常的分类方法有以下三种。

1. 按汽轮机的热力特性分类

(1) 凝汽式汽轮机

蒸汽在汽轮机内膨胀做功以后，除了小部分轴封漏气外，全部进入凝汽器凝结成水的汽

轮机，称为凝汽式汽轮机。实际上人们为了提高汽轮机的热效率，减少汽轮机排汽缸的直径尺寸，将做过部分功的蒸汽，从汽轮机内抽出来，送回加热器，用以加热锅炉给水，这种不调整抽汽式汽轮机也称为凝汽式汽轮机。

(2) 抽汽凝汽式汽轮机

蒸汽进入汽轮机内做过部分功以后，从中间某一级抽出来一部分，用于工业生产或居民采暖，其余排入凝汽器凝结成水的汽轮机称为抽汽凝汽式汽轮机（一次抽汽式或单抽）。从不同的级间抽出两种不同压力的蒸汽，分别供给不同的用户或生产过程的汽轮机称为双抽式（二次抽汽式）汽轮机。

(3) 背压式汽轮机

蒸汽进入汽轮机做功以后，以高于大气压力排出汽轮机，用于工业生产或居民采暖的汽轮机，称为背压式汽轮机。

(4) 抽汽背压式汽轮机

为了满足不同用户的需要，从背压式汽轮机内抽出部分压力较高的蒸汽，用于工业生产，其余的蒸汽在汽轮机内继续做功后以较低的压力排出，供给工业生产或居民采暖的背压式汽轮机，称为抽汽背压式汽轮机。

(5) 中间再热式汽轮机

对于高参数、大功率汽轮机来说，主蒸汽的初温、初压都比较高，蒸汽在汽轮机内膨胀到末几级，其湿度不断加大，对汽轮机的安全运行很不利，为了减少排汽湿度，将做过部分功的蒸汽从高压缸排出，再返回锅炉重新进行加热，使温度接近初始状态，然后再进入汽轮机中、低压缸继续做功，这样的汽轮机称为中间再热式汽轮机。蒸汽采用中间再热，不仅减小了汽轮机的排汽湿度，改善了末几级叶片的工作条件，同时提高了汽轮机的相对效率。

2. 按用途分类

(1) 电站汽轮机

仅仅用来带动发电机发电的汽轮机通常称为电站汽轮机。

(2) 供热式汽轮机

既带动发电机发电又对外供热的汽轮机称为供热式汽轮机，又称热电联产汽轮机。

(3) 工业汽轮机

用来驱动风机、水泵、压缩机等机械设备的汽轮机称为工业汽轮机。

(4) 船用汽轮机

专门用于船舶推进动力装置的汽轮机称为船用汽轮机。

3. 按汽轮机的进汽压力分类

① 低压汽轮机：进汽压力为 1.2~1.5MPa；

② 中压汽轮机：进汽压力为 2.0~4.0MPa；

③ 次高压汽轮机：进汽压力为 5.0~6.0MPa；

④ 高压汽轮机：进汽压力为 6.0~10.0MPa；

⑤ 超高压汽轮机：进汽压力为 12.0~14.0MPa；

⑥ 亚临界汽轮机：进汽压力为 16.0~18.0MPa；

⑦ 超临界汽轮机：进汽压力大于 22.17MPa。

第二节 供热式汽轮机

供热式汽轮机又称热电联产汽轮机，具有节约能源、保护环境等突出优点，是国家重点支持推广的节能产品，在国民经济发展中占据重要的地位，因此被广泛应用在石油、化工、印染、纺织、水泥、造纸、制糖等行业和城市集中供热工程中。热电联产汽轮机的具体形式有背压式、抽汽凝汽式、抽汽背压式等。

1. 背压式汽轮机

排汽压力大于大气压力的汽轮机称为背压式汽轮机。汽轮机的排汽压力可根据热用户的要求来设计，一般都在 0.12~1.5MPa 之间。背压式汽轮机具有以下特点：

① 背压式汽轮机没有冷源损失，做过功的蒸汽送到热用户，热能几乎全部被利用了，从而大大提高了机组的运行经济性，其发电煤耗率可大大降低，一般背压式汽轮机的发电煤耗率相当于凝汽式汽轮机的 1/2。

② 背压式汽轮机排汽压力较高，蒸汽的容积流量小，通流部分截面变化小，因而机组结构比较紧凑。

③ 背压式汽轮机排汽全部用于供热，不需要冷凝器和冷却水循环系统，因而系统简单，便于安装，节省投资。

④ 背压式汽轮机的压力降小，级数少，热能转换电能的比例小，汽轮机的热效率较低，但是由于背压式汽轮机不设凝汽器，蒸汽的热能几乎全部被利用了，因此背压式汽轮机的热能利用系数 K 值比较高。

$$K = (\text{转化为电能的热量} + \text{供给热用户的热量}) / \text{工质从热源吸收的热量}$$

⑤ 背压式汽轮机虽然能同时对外供电和供热，但是汽轮机的调节系统不能同时满足电负荷和热负荷变化的需要，而只能以热定电，由热负荷来决定电负荷，或者以电定热。因为电负荷是随着热负荷的变化而变化的，当热负荷增加时，发电量也随着增加，当热负荷减少时，发电量也随之减少。所以通常背压式汽轮机要与凝汽式汽轮机或抽汽式汽轮机配对运行，而不单独运行。但是对于热负荷比较稳定的情况，选择背压式汽轮机更为经济。

近几年来，随着城市居民生活水平的不断提高，城市集中供热技术的迅速发展，热电厂的数量和规模不断扩大，背压式汽轮机的应用也越来越广泛。表 1-1 列出几种背压式汽轮机的主要技术数据。

表 1-1 背压式汽轮机主要技术数据

项 目	汽 轮 机 型 号						
	B0.75-2.35 /0.294	B0.75-2.35 /0.49	B1.0-2.35 /0.294	B1.5-2.35 /0.294	B1.5-2.35 /0.49	B1.5-2.35 /0.981	B1.5-3.43 /0.49
额定功率/MW	0.75	0.75	1	1.5	1.5	1.5	1.5
额定转速/ $r \cdot \min^{-1}$	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
蒸汽初压/MPa	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	3.43
蒸汽初温/ $^{\circ}\text{C}$	390	390	390	390	390	390	435
额定工况进汽量/ $t \cdot h^{-1}$	11.97	12.89	12.95	18.08	22.28	39.39	17.80
排汽压力/MPa	0.294	0.49	0.294	0.294	0.49	0.981	0.49

续表

项 目	汽 轮 机 型 号						
	B0.75-2.35 /0.294	B0.75-2.35 /0.49	B1.0-2.35 /0.294	B1.5-2.35 /0.294	B1.5-2.35 /0.49	B1.5-2.35 /0.981	B1.5-3.43 /0.49
通流部分结构形式	1C+2P	1C+2P	1C+2P	1C+2P	1C+2P	1C	1C+2P
非调整抽汽口位置	C 后	C 后	C 后	C 后	C 后		C 后
汽轮机效率	0.6309	0.6412	0.6618	0.6881	0.6913	0.6455	0.6591
额定工况汽耗率/kg·kW ⁻¹ ·h ⁻¹	15.96	17.18	12.95	12.05	14.84	26.39	12.2
汽轮机总长/m	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.28	3.10
汽轮机总重/t	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	12.9	15.2
单位功率长度/m·MW ⁻¹	4.13	4.13	3.10	2.01	2.07	2.19	2.07
单位功率质量/t·MW ⁻¹	20.27	20.27	15.2	10.13	10.13	8.60	10.03

项 目	汽 轮 机 型 号						
	B1.5-3.43 /0.981	B3-2.35 /0.49	B3-3.43 /0.49	B3-3.43 /0.981	B6-3.43 /0.49	B6-3.43 /0.981	B6-5.88 /0.981
额定功率/MW	1.5	3	3	3	6	6	6
额定转速/r·min ⁻¹	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
蒸汽初压/MPa	3.43	2.35	3.43	3.43	3.43	3.43	5.88
蒸汽初温/℃	435	390	435	435	435	435	435
额定工况进汽量/t·h ⁻¹	27.65	42.39	32.10	47.8	57.96	86.9	68.3
排汽压力/MPa	0.981	0.49	0.49	0.981	0.49	0.981	0.981
通流部分结构形式	1C+2P	1C+2P	1C+4P	1C+2P	1C+4P	1C+2P	1C+5P
非调整抽汽口位置	C 后	C 后					
汽轮机效率	0.6392	0.7118	0.7575	0.7446	0.8146	0.7952	0.7467
额定工况汽耗率/kg·kW ⁻¹ ·h ⁻¹	18.43	14.13	10.70	15.93	9.66	14.48	10.75
汽轮机总长/m	3.10	3.75	3.92	3.92	3.92	3.92	4.38
汽轮机总重/t	14.6	16.0	7.8	15.9	17.8	15.9	12.5
单位功率长度/m·MW ⁻¹	2.07	1.25	1.31	1.31	0.65	0.65	0.73
单位功率质量/t·MW ⁻¹	9.73	5.33	5.93	5.30	2.97	2.65	2.08

2. 抽汽凝汽式汽轮机（或抽汽式汽轮机）

在汽轮机中，将部分做过功的蒸汽从汽轮机中抽出用于供热，剩余蒸汽排入凝汽器凝结成水，这种汽轮机称为抽汽凝汽式汽轮机（或抽汽式汽轮机）。抽汽式汽轮机可以分为一次抽汽式（单抽）和二次抽汽式（双抽）两种。一次抽汽式只能满足一种热负荷要求，二次抽汽式则可以满足两种负荷要求。抽汽式汽轮机相当于背压式汽轮机与凝汽式汽轮机的组合，是一种结构紧凑、运行操作方便的供热汽轮机，目前应用比较广泛。

同背压式汽轮机相比，抽汽式汽轮机具有以下特点：

① 抽汽式汽轮机能同时满足电负荷和热负荷的需求，而背压式汽轮机则以供热为主，以热发电。

② 抽汽式汽轮机以发电为主，要求尽量提高机组效率，降低热耗率，因而同凝汽式汽轮机一样，采用较低的背压（0.005~0.007MPa）和回热给水循环，提高了机组经济性，但系统较背压式汽轮机复杂，成本增加。

③ 抽汽式汽轮机供热量可以在最大抽汽量以下范围内调节，即使在抽汽量为零时（无