



全国高等职业教育示范专业规划教材
热能动力类专业

汽轮机设备 及运行维护

QILUNJI SHEBEI JI YUNXING WEIHU

王 勇 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

配 电 子 课 件

全国高等职业教育示范专业规划教材
(热能动力类专业)

汽轮机设备及运行维护

主编 王 勇
参编 冯 飞 冯德群



机械工业出版社

本书包含汽轮机基本工作原理、汽轮机的变工况特性、汽轮机主要零部件的结构与强度、汽轮机的凝汽设备汽轮机的调节与保护系统以及汽轮机运行调整及事故处理等方面的内容。

本书的内容与发电厂的生产实际有着密切的联系,具有较强的实践性。通过本书的学习,可具备汽轮机设备起停、正常运行的基本操作能力,具备汽轮机设备安装、起动调试和性能测试及常见事故处理的基本能力。适合高职高专、中专等院校的电厂热动力装置、集控运行专业作为教材,也可作为技术培训用书及发电厂生产技术人员参考用书。

本书配有电子课件,可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载,或发送电子邮件至 cmpgaozhi@sina.com 索取。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机设备及运行维护/王勇主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 7

全国高等职业教育示范专业规划教材. 热动力类专业

ISBN 978-7-111-39108-1

I. ①汽… II. ①王… III. ①火电厂—汽轮机运行—高等职业教育—教材②火电厂—蒸汽透平—维护—高等职业教育—教育 IV. ①TM621.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第152828号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王海峰 责任编辑:王海峰 吕芳

版式设计:纪敬 责任校对:张媛

封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19.25印张·477千字

0 001—2 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-39108-1

定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书以培养在生产、服务、技术和管理第一线工作的具有创新能力和职业发展能力的高素质技术应用型人才为目标。本书的内容适应培养目标，体现就业市场需求，人才培养规格体现职业标准，人才培养方案体现职业持续发展要求，使学生通过学习具有综合职业能力、继续学习的能力和适应职业变化的能力。

本书的主要内容体系适合高职高专教学要求，突出了职业教育的实用性，精选了教学内容。原理部分以“必需、够用”为原则确定内容的深度和广度；设备部分结合当前火电机组汽轮机的类型特点，突出在实际中广泛使用的新技术和新设备；运行部分注重讲述汽轮机起停、运行调整的主要操作及其理论依据。全书共分六章，分别介绍了汽轮机基本工作原理、汽轮机的变工况特性、汽轮机主要零部件的结构与强度、汽轮机的凝汽设备、汽轮机的调节与保护系统、汽轮机运行调整及事故处理。

本书由西安电力高等专科学校王勇担任主编，并编写了绪论、第二章、第三章、第五章。南京化工职业技术学院冯飞编写了第一章、第四章，西安电力高等专科学校冯德群编写了第六章。王勇负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中，参考了众多同行和企业的文献、资料，并得到有关专家学者的热情帮助，在此一并表示衷心的感谢。

本书可作为高职高专、中专等院校的电厂热能动力装置、集控运行专业的教材，也可作为技术培训用书及发电厂生产技术人员参考用书。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论 1

- 一、汽轮机及其发展特点 1
- 二、汽轮机的分类及型号 2
- 三、现代汽轮机的结构简介 4

第一章 汽轮机基本工作原理 10

第一节 汽轮机级的能量转换

原理 10

- 一、汽轮机级的概述 10
- 二、蒸汽的冲动作用原理和反动作用原理 11
- 三、反动度和级的类型 12
- 四、汽轮机级的工作过程 15

第二节 汽轮机级的轮周效率及

速比 21

- 一、蒸汽作用在动叶上的力和轮周功率 21
- 二、级的轮周效率 23
- 三、速比及其与轮周效率的关系 24

第三节 汽轮机的级内损失及相

对内效率 32

- 一、级内损失 32
- 二、汽轮机级的相对内效率和内功率 40
- 三、级内损失对最佳速比的影响 41
- 四、影响级效率的结构因素 41

第四节 多级汽轮机的特点 44

- 一、多级汽轮机的热力过程 46
- 二、多级汽轮机各级段的工作特点 48
- 三、多级汽轮机的优缺点 49

第五节 多级汽轮机的损失及效率 49

- 一、多级汽轮机的损失 49
- 二、汽轮机及汽轮发电机组的效率 52
- 三、汽轮发电机组的经济指标 54

第六节 多级汽轮机的轴向推力及

平衡 55

- 一、多级冲动式汽轮机的轴向推力 55

- 二、多级反动式汽轮机的轴向推力 56

- 三、多级汽轮机轴向推力的平衡方法 57

- 复习思考题 58

第二章 汽轮机的变工况特性 59

第一节 喷嘴的变工况特性 59

- 一、喷嘴的流量特性 59
- 二、渐缩喷嘴的变工况特性 61
- 三、缩放喷嘴的变工况特性 67

第二节 级与级组的变工况特性 69

- 一、变工况下级前后参数与流量的关系 69
- 二、变工况下级组前后压力与流量的关系 71
- 三、变工况时各级焓降的变化 74
- 四、变工况时各级反动度的变化 76

第三节 汽轮机的调节方式及调节

级的变工况特性 78

- 一、节流调节 78
- 二、喷嘴调节及调节级的变工况特性 79

第四节 滑压运行的经济性与安全

性 83

- 一、滑压运行的概念及分类 83
- 二、滑压运行的经济性能分析 85
- 三、滑压运行机组的安全性与灵活性 87
- 四、滑压运行中存在的问题及注意事项 87

第五节 汽轮机轴向推力的变化

规律 88

- 一、蒸汽流量变化对轴向推力的影响 88
- 二、几种特殊工况的变化对轴向推力的影响 89

第六节 小容积流量工况 90

第七节 蒸汽参数变化对汽轮机工

作安全性的影响 93

- 一、蒸汽初压 p_0 和再热压力 p_r 变化过大对安全性的影响 93
- 二、蒸汽初温 t_0 和再热汽温 t_r 变化过大对安全性的影响 94

三、真空变化对机组安全性的影响	95	一、凝汽器的压力	164
复习思考题	96	二、凝汽器的变工况特性	170
第三章 汽轮机主要零部件的结构与强度	97	三、多压凝汽器	172
第一节 汽缸及滑销系统	97	第四节 抽气设备	175
一、汽缸的作用	97	一、射流式抽气器	176
二、汽缸的结构及进汽部分	97	二、容积式抽气器	177
三、汽轮机的支承	103	第五节 凝汽器的运行与维护	179
四、滑销系统	105	一、凝汽器的投运	180
第二节 喷嘴组与隔板	107	二、凝汽器运行中的监视	181
一、喷嘴组	107	三、凝汽器的停用	182
二、隔板与隔板套	109	四、凝汽器的清洗	182
三、静叶环与静叶持环	112	第六节 发电厂空冷系统	183
四、隔板及隔板套的支承和定位	112	一、直接空冷系统	183
五、静叶环及静叶持环的支承和定位	114	二、间接空冷系统	186
第三节 动叶	114	三、空冷汽轮机的运行特点与结构特点	188
一、动叶的结构	115	复习思考题	189
二、叶片的强度	119	第五章 汽轮机的调节与保护系统	190
三、叶片的振动	122	第一节 汽轮机调节系统的任务与类型	190
第四节 转子	129	一、汽轮机调节系统的任务	190
一、转子的类型与结构	129	二、汽轮机调节系统的类型	191
二、叶轮	132	三、各种调节系统的比较	192
三、联轴器	133	第二节 汽轮机液压调节系统	193
四、转子的临界转速	135	一、液压调节系统的工作原理	193
第五节 汽封	136	二、液压调节系统的静态特性	197
一、汽封的作用	136	三、液压调节系统的动态特性	203
二、汽封的结构	136	第三节 中间再热汽轮机的调节特点	206
三、轴封系统	139	一、采用单元制的问题	206
第六节 轴承	141	二、中间再热容积的影响	207
一、径向轴承	141	三、汽轮机、锅炉的协调控制	208
二、推力轴承	148	第四节 汽轮机功频电液调节系统	210
第七节 盘车装置	151	一、功频电液调节系统的采用	210
一、具有螺旋轴的盘车装置	151	二、功频电液调节系统的基本工作原理	211
二、具有摆动齿轮的盘车装置	152	三、功频电液调节系统反调现象的产生和消除	213
复习思考题	155	第五节 汽轮机数字电液调节系统	214
第四章 汽轮机的凝汽设备	156	一、数字电液调节系统的基本原理	214
第一节 凝汽设备的工作任务	156	二、数字电液调节系统的组成	216
第二节 凝汽器的类型与基本结构	157	三、数字电液调节系统的功能	217
一、凝汽器的类型	157	四、数字电液调节系统的运行方式	218
二、表面式水冷凝汽器	157		
三、机组运行时对凝汽器的要求	163		
第三节 凝汽器的工作特性	164		

五、数字电液调节系统的控制模式	218	一、汽轮机的受热特点	258
六、汽轮机的自动控制 (ATC)	219	二、汽轮机的热应力	260
七、数字电液调节系统的特性	220	三、热膨胀	262
第六节 汽轮机调节保护系统的		四、汽轮机的热变形	264
主要测量装置	222	第二节 汽轮机组的启动	266
一、主要调节信号测量装置	222	一、汽轮机的启动方式	266
二、主要保护信号测量装置	224	二、冷态滑参数启动	268
第七节 汽轮机的阀门	226	三、温态、热态、极热态滑参数启动	272
一、高压进汽阀门	226	四、中压缸启动	273
二、再热进汽阀门	229	第三节 汽轮机正常运行及维护	275
第八节 数字电液调节系统的液压		一、运行中的主要监视参数	275
伺服系统	234	二、汽轮机运行中的监视与调整	275
一、高压主汽阀和调节汽阀的组合机构	235	三、机组运行中的维护试验	280
二、再热主汽阀的组合机构	239	第四节 汽轮机组的停机	282
三、再热调节汽阀的组合机构	240	一、汽轮机的停机方式	283
四、东汽汽轮机高压主汽阀和高压调节		二、滑参数停机	283
汽阀的控制装置	241	第五节 汽轮机寿命管理及运行	
第九节 汽轮机数字电液调节系统		优化管理	285
的保护系统	242	一、影响机组使用寿命的主要因素	285
一、上汽汽轮机机组跳闸保护系统	242	二、汽轮机的寿命管理	287
二、东汽汽轮机机组跳闸保护系统	247	第六节 汽轮机常见事故及预防	
第十节 供油系统	251	处理	289
一、润滑油系统	251	一、通流部分动、静摩擦	289
二、高压抗燃油系统	254	二、汽轮机水冲击	290
复习思考题	257	三、汽轮机组异常振动及大轴弯曲	292
第六章 汽轮机运行调整及事故		四、汽轮机断叶片事故	294
处理	258	五、汽轮机严重超速事故	296
第一节 影响机组起、停速度的		六、汽轮机真空下降	297
主要因素	258	七、油、氢系统着火	299
		复习思考题	300
		参考文献	302

绪 论

一、汽轮机及其发展特点

汽轮机又名“蒸汽透平”，是以水蒸气为工质，将热能转变为机械能的高速旋转式原动机。与其他原动机（如燃气轮机、柴油机等）相比，具有单机功率大、效率高、运转平稳、单位功率制造成本低和使用寿命长等优点，广泛用于常规火力发电厂和核电站，用来驱动发电机生产电能。为保证汽轮机安全经济地进行能量转换，需配置若干附属设备，比如凝汽设备、回热加热设备和调节与保护装置及供油系统等，汽轮机及其附属设备通过管道和阀门连成的整体，称为汽轮机设备。汽轮机与发电机的组合称为汽轮发电机组，全世界由汽轮发电机组发出的电量约占各种形式发电总量的 80% 左右。汽轮机可以设计成变速运行，用于驱动泵、风机、压气机和船舶螺旋桨等。此外，汽轮机的排汽或中间抽汽可用来满足生产和生活上供热的需要，这种用于热能和电能联合生产的热电式汽轮机，具有更高的经济性，对节约能源和保护环境具有重要意义。所以汽轮机是现代化国家中重要的动力机械设备。

自 1883 年瑞典工程师拉伐尔（Laval）创造出世界上第一台轴流式汽轮机以来，汽轮机经历了由单机到多级，由简单热力循环到回热、再热循环，并形成了汽轮机的两种基本类型，即多级冲动式和多级反动式。自汽轮机产生到现在的一百多年时间里，其发展速度很快，尤其是近几十年发展更加迅速，其发展的主要特点如下。

1. 单机功率增大

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 年世界上最大的 1200MW 单轴全速汽轮机（24MPa/540℃/540℃）在前苏联投入运行。

增大单机功率不仅能迅速地发展电力生产，而且还具有以下优点：

1) 使单位功率投资成本降低。大功率机组单位功率使用的材料、运行及检修人员、电站占地面积等成本少。

2) 可提高机组的热经济性。如国产引进型 300MW 机组的热耗率为 8091kJ/（kW·h），而国产 100MW 机组的热耗率 9252kJ/（kW·h），前者为后者的 87%。

3) 可加快电站建设速度，降低电站建设投资和运行费用。例如安装 5 台 25 万 kW 机组的工期约为 66 个月，安装 2 台 60 万 kW 机组的工期约为 45 个月，后者工期比前者约缩短 32%。

2. 蒸汽参数提高

增大单机功率后适宜采用较高的蒸汽参数。当今世界上 300MW 以上容量的机组均采用亚临界压力（16 ~ 18MPa）或超临界压力（23 ~ 26MPa）的机组，甚至采用压力可达 32MPa 的超超临界压力的机组。蒸汽初温多采用 535 ~ 565℃，即尽量控制在珠光体钢所允许的

565℃以下，力求不用或少用奥氏体钢。

3. 普遍采用中间再热

采用中间再热后可降低低压缸末几级排汽的湿度，减轻末几级叶片的水蚀程度，为提高初压创造了条件，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

采用燃气-蒸汽联合循环，使用余热锅炉利用燃气废热产生蒸汽，实现能量的梯级利用，大大提高发电装置的热效率，还可解决燃煤发电厂存在的严重环境污染问题，节省大量冷却水，另外投资相对降低，负荷适应性也较好。

5. 机组运行水平提高

现代大型机组增设和改善了保护、报警和状态监测系统，有的还配置了智能化故障诊断系统，提高了机组运行、维护和检修水平，增强了机组运行的可靠性，并保证了规定的设备使用寿命。

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）、日本的东芝公司和日立公司、意大利的安莎多公司，以及俄罗斯的圣彼得堡金属工厂、哈尔科夫透平发动机厂和乌拉尔透平发动机厂等。制造反动式汽轮机的企业有美国西屋电气公司（WH）、欧洲 ABB 公司、日本的三菱、英国帕森斯公司、法国电气机械公司（CMR）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 1955 年制造出第一台中压 6MW 汽轮机，以后陆续生产出 12MW、25MW、50MW、100MW、125MW、200MW 和 300MW 汽轮发电机组。20 世纪 80 年代初又从美国西屋电气公司引进了 300MW 和 600MW 机组整套制造技术，经过消化吸收、不断优化，机组的各项技术性能均基本达到国外同类机组的先进水平。我国已经经历了从中压机组到超临界 600MW 机组的发展过程，近十几年内汽轮机的较快发展还预示着我国将制造出更大功率等级的汽轮机，逐步达到世界先进水平。

我国生产汽轮机的主要工厂有上海汽轮机厂、哈尔滨汽轮机厂、东方汽轮机厂，此外有北京重型电机厂、青岛汽轮机厂和武汉汽轮发电机厂等，还有以生产工业汽轮机为主的杭州汽轮机厂和以生产燃气轮机为主的南京汽轮发电机厂等。

二、汽轮机的分类及型号

（一）汽轮机的分类

汽轮机的用途广泛，类型繁多，为便于使用，常按工作原理、热力过程特性、主蒸汽参数、蒸汽流动方向及用途等不同的方法对汽轮机进行分类。

1. 按工作原理分类

蒸汽在汽轮机中以不同方式进行能量转换，便形成不同工作原理的汽轮机，即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（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（或静叶栅）和动叶栅中都进行膨胀，且膨胀程度相同。对于现代喷嘴调节的反动式汽轮机，因其反动级不能做成部分进

汽，故第一级调节级常采用单列冲动级或双列速度级。

2. 按热力过程特性分类

(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 汽轮机的排汽压力高于大气压力，直接供热用户使用，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) 调整抽汽式汽轮机 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，其余排汽仍排入凝汽器。根据供热需要，有一次调整抽汽和二次调整抽汽之分。

(4) 中间再热汽轮机 蒸汽在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。

(5) 多压式汽轮机 汽轮机的进汽参数不止一个，在汽轮机的某中间级前又引入其他来源的蒸汽，与原来的蒸汽混合后共同膨胀做功。

背压式汽轮机和调整抽汽式汽轮机统称为供热式汽轮机，供热式汽轮机还有一种具有调整抽汽的背压式汽轮机，其调整抽汽和排汽分别供给不同的热用户。目前大容量凝汽式汽轮机均采用回热抽汽和中间再热。

3. 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以下几种。

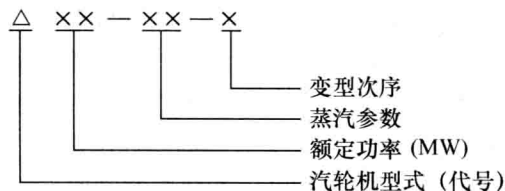
- (1) 低压汽轮机 主蒸汽压力小于 1.5MPa。
- (2) 中压汽轮机 主蒸汽压力为 2 ~ 4MPa。
- (3) 高压汽轮机 主蒸汽压力为 6 ~ 10MPa。
- (4) 超高压汽轮机 主蒸汽压力为 12 ~ 14MPa。
- (5) 亚临界压力汽轮机 主蒸汽压力为 16 ~ 18MPa。
- (6) 超临界压力汽轮机 主蒸汽压力大于 22.15MPa。
- (7) 超超临界压力汽轮机 主蒸汽压力大于 32MPa。

此外按蒸汽流动方向可分为轴流式汽轮机、辐流式汽轮机；按用途可分为电站汽轮机、工业汽轮机、船用汽轮机；按汽缸数目可分为单缸汽轮机、双缸汽轮机和多缸汽轮机；按机组转轴数目可分为单轴汽轮机和双轴汽轮机；按工作状况可分为固定式汽轮机和移动式汽轮机等。

(二) 国产汽轮机产品型号组成及蒸汽参数表示法

为了便于识别汽轮机的类别，常用一些符号来表示它的基本特性或用途，这些符号称为汽轮机的型号。我国生产的汽轮机所采用的系列标准及型号已经统一，主要由汉语拼音和数字所组成。

1. 产品型号组成



2. 汽轮机型号的汉语拼音代号（见表 0-1）

表 0-1 汽轮机型号的汉语拼音代号

代号	N	B	C	CC	CB	J	Y
型式	凝汽式	背压式	抽汽凝汽式	双抽汽凝汽式	抽汽背压式	舰船用	移动式

3. 汽轮机型号中蒸汽参数表示法（见表 0-2）

表 0-2 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	蒸汽初压/蒸汽初温	N100—8.83/535
中间再热式	蒸汽初压/蒸汽初温/再热温度	N300—16.7/535/538
抽汽凝汽式或双抽汽凝汽式	蒸汽初压/高压抽汽压力/低压抽汽压力	C50—8.83/0.98/0.118
背压式	蒸汽初压/背压	B50—8.83/0.98
抽汽背压式	蒸汽初压/抽汽压力/背压	CB25—8.82/0.98/0.118

注：功率单位为 MW，压力单位为 MPa，温度单位为℃。

三、现代汽轮机的结构简介

多级冲动式汽轮机和反动式汽轮机在现代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。

图 0-1 所示为东方汽轮机厂生产的双缸双排汽 300MW 冲动式多级汽轮机的纵剖视图。虽然汽轮机由很多部件组成，但概括地看，可分为两大部分，即转动部分和静止部分。转动部分即转子，转子主要由主轴、叶轮、动叶及联轴器组成。静止部分主要由汽缸、隔板、静叶以及轴承组成。转动部分和静止部分之间的密封是用汽封实现的，其作用是减小转动表面和静止表面之间的间隙中漏过工质的流量，以保证汽轮机有较高的效率。在汽轮机内部，凡是有压差而又不希望有大量工质流过的地方都装有汽封，如隔板汽封、叶顶汽封等，在汽缸两端转轴穿出汽缸的地方均装有轴封。汽缸的作用是形成一个空间，容纳蒸汽在其中流动和转子在其中旋转，并支撑装在汽缸内的其他部分。隔板装在汽缸上，而喷嘴（静叶栅）装在隔板上。轴承分径向轴承和推力轴承，径向轴承是用来承受转子重量及确定转子在汽缸中的径向位置的，推力轴承是用来承受转子的轴向推力及确定转子在汽缸中的轴向位置的。该汽轮机采用双缸双排汽型式，从锅炉来的新蒸汽从高中压缸之间进入高压缸，然后逐级流动做功，高压缸末端的排汽回到锅炉的再热器再热后进入中压缸，从前向后流动做功，中压缸的排汽经导汽管进入低压缸中部。低压缸为完全对称结构，蒸汽向两侧流动做功后，乏汽从两侧的排汽口排入凝汽器。

图 0-2 所示为哈尔滨汽轮机厂生产的 300MW 汽轮机纵剖视图。该汽轮机为亚临界、一次中间再热、单轴、双缸双排汽反动式汽轮机，采用积木块式的设计并能与 600MW 机组通用组合。其特点是动叶直接嵌装在鼓形转子的外缘上，喷嘴装在汽缸内部圆周的表面上或持环上，没有轮盘和隔板。叶片的一端可以是自由的，叶片与汽缸或喷嘴与转子之间形成很小的间隙，也可以在叶片端部附加一条围带，以形成汽封。该汽轮机为四缸四排汽式，即有一个独立的高压缸、一个独立的中压缸和两个完全相同的低压缸。

图 0-3 所示为东方汽轮机厂引进日立技术生产制造的典型高中压合缸汽轮机高中压部分

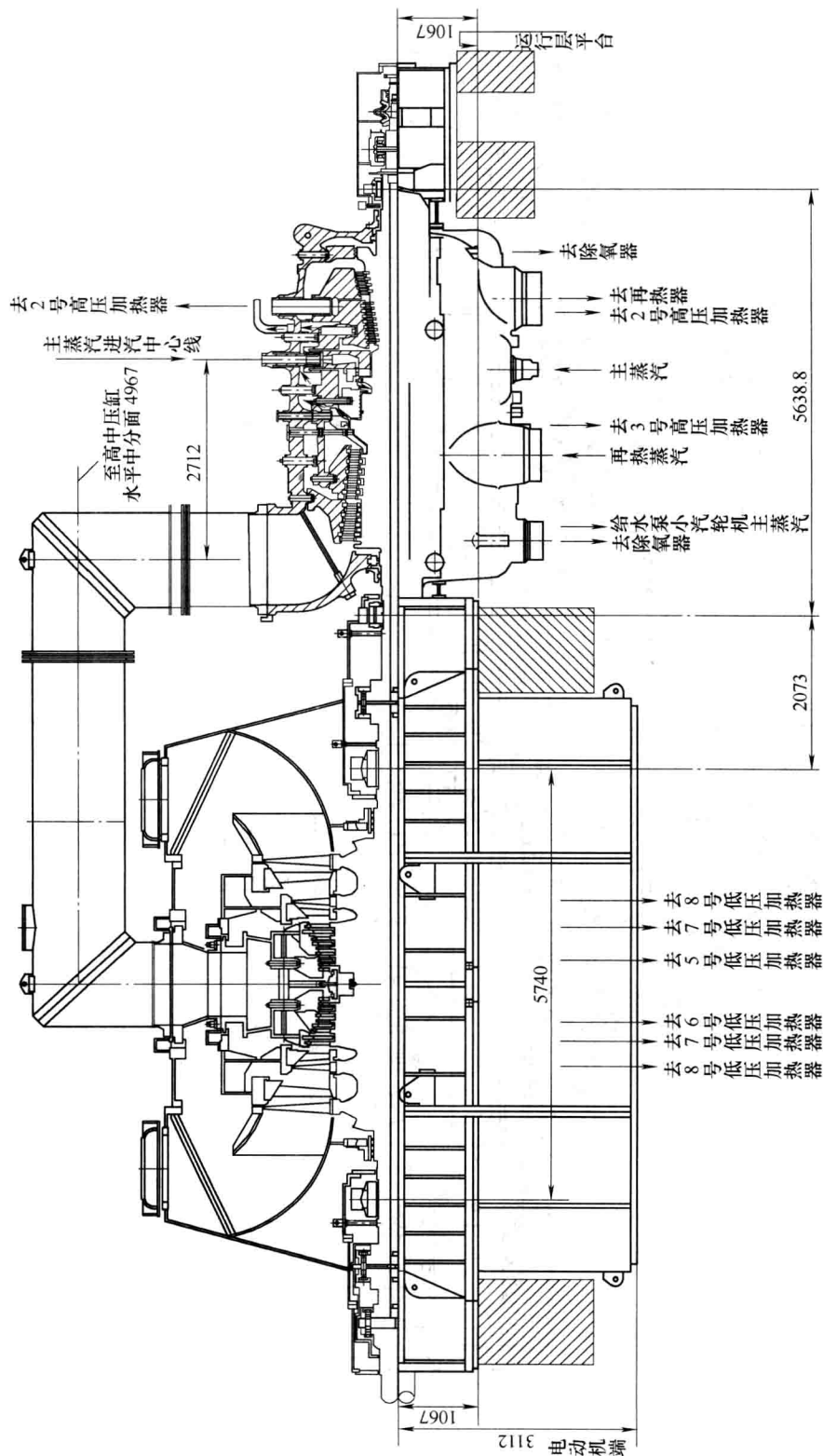


图 0-2 哈尔滨汽轮机厂产生的 300MW 汽轮机纵剖视图

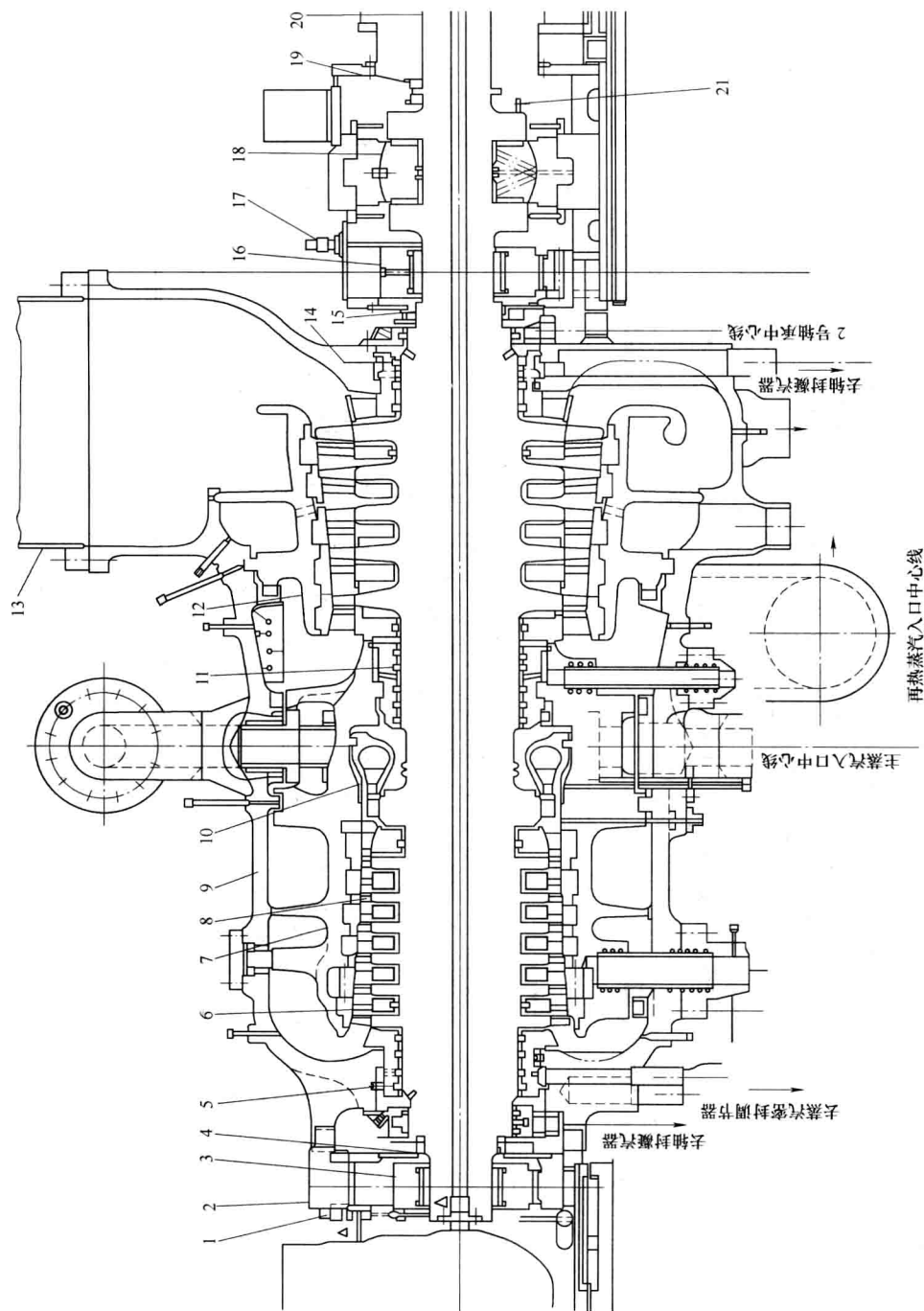


图 0-3 典型高中压合缸汽轮机高中压部分结构示意图

1—轴振动监测仪 2—汽轮机机架 3—1号径向轴承 4—挡油环 5—轴封 6—喷嘴隔板 7—高压内缸 8—叶片 9—高压外缸 10—第1级喷嘴蒸汽室 11—轴封 12—中压内缸 13—联接管 14—轴封 15—挡油环 16—径向轴承 17—轴承振动监测仪 18—推力轴承 19—推力轴承磨损监测器 20—转子 21—轴向位移监测仪

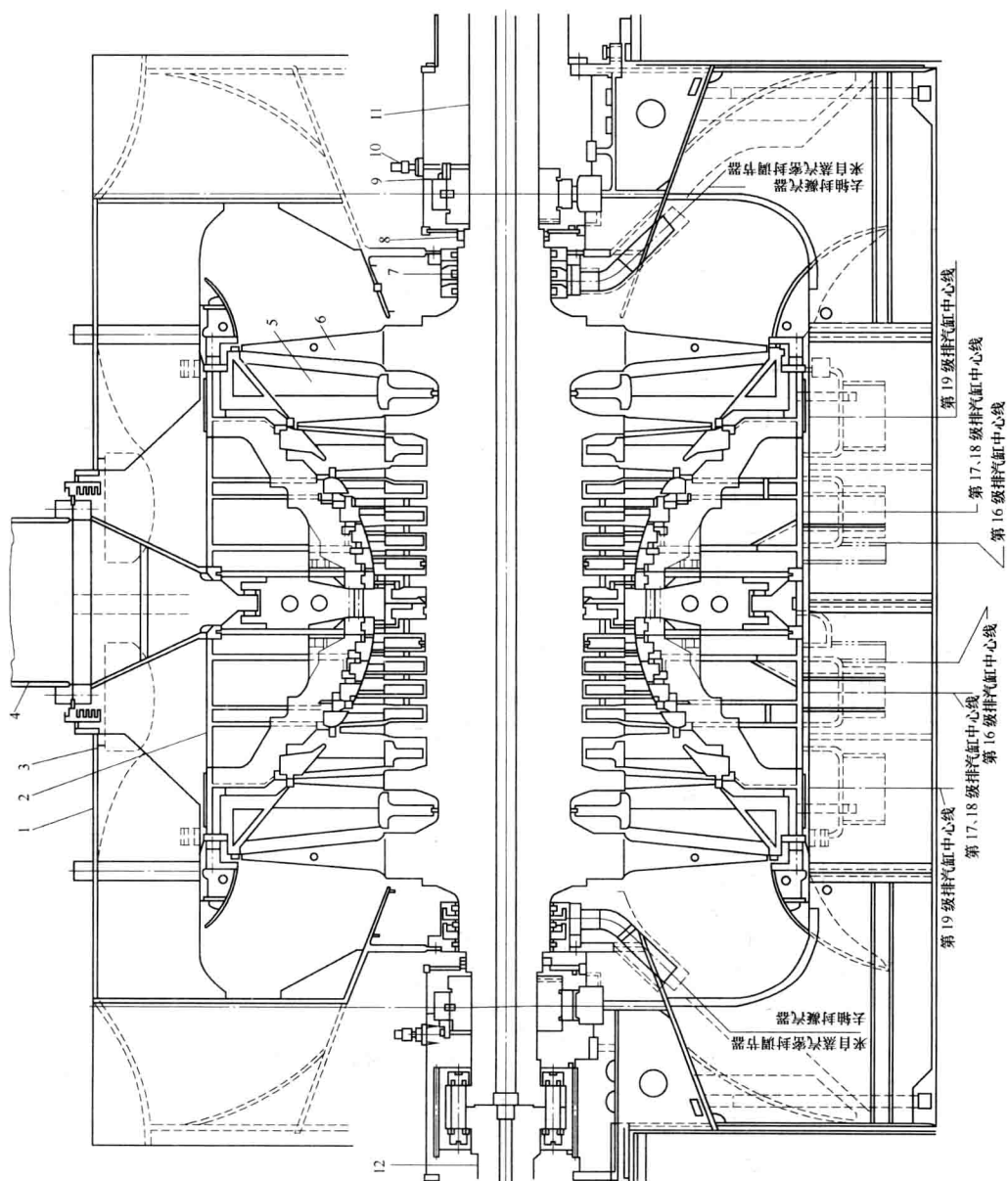


图 0-4 典型汽轮机低压缸通流部分示意图
1—低压外缸 2—低压内缸 3—大气泄放阀 4—联接管 5—喷嘴隔板 6—叶片 7—汽封
8—挡油环 9—轴承座 10—轴振动监测仪 11—低压转子 12—高中压转子

结构示意图。高中压缸为对头布置，采用单流程、双层缸、水平中分结构，外缸为上猫爪支撑形式，上下缸之间采用螺栓联接。在高压缸第 6 级后、高压缸排汽、中压缸第 11 级后和中压缸排汽布置四级抽汽口，分别供 1 号、2 号、3 号高压加热器及除氧器用汽。高中压内缸之间设置有分缸隔板，在高中压外缸两端及高中压内缸之间设置有轴端密封装置，在高中压外缸和轴承座之间设置有挡油环。

图 0-4 为东方汽轮机厂引进日立技术生产制造的典型汽轮机低压缸通流部分的示意图，两个低压缸完全相同，对称双分流布置，都是由隔板上组装静子和转子上组装动叶组成的，蒸汽沿中心线方向引入低压缸，沿环形流入汽室，均匀进入两侧的通流部分做功。内缸组件采用分段组合结构，有利于金属材料的有效利用及回热抽汽管道的引出。为了防止水蚀，在低压缸动叶顶部设置了去湿装置。为保证蒸汽在每一级中均能自由膨胀，避免动静部分的摩擦，动静部分之间设置了一定的间隙，为了减少漏汽，在转子围带和隔板之间、叶片围带和隔板之间均设置了汽封装置。

第一章 汽轮机基本工作原理

第一节 汽轮机级的能量转换原理

近代大功率汽轮机都是由若干个级构成的多级汽轮机。由于级的工作过程在一定程度上反映了整个汽轮机的工作过程，所以对汽轮机工作原理的讨论一般总是从汽轮机“级”开始的，这将有助于理解和掌握整个汽轮机的内在规律。

一、汽轮机级的概述

“级”是汽轮机中最基本的工作单元。在结构上它是由静叶栅（喷嘴）和对应的动叶栅所组成的。从能量的观点来看，其工作过程是将工质（蒸汽）的能量转变为汽轮机机械能的一个能量转换过程。工质的热能在喷嘴中（也可以有部分在动叶栅中）首先转变为工质的动能，然后在动叶栅中再使这部分动能转变为机械能。在汽轮机内流动的过程中蒸汽做功，蒸汽流动做功的通道称为汽轮机的通流部分，它主要由一系列转动、静止交替的叶栅组成。

汽轮机从结构上可分为单级汽轮机和多级汽轮机。只有一个级的汽轮机称为单级汽轮机，有多个级的汽轮机称为多级汽轮机。

图 1-1 所示为单级汽轮机主要部分结构图。动叶按一定的距离和一定的角度安装在叶轮上形成动叶栅，并构成许多相同的蒸汽通道。动叶栅装在叶轮上，与叶轮以及转轴组成汽轮机的转动部分，称为转子。静叶按一定的距离和一定的角度排列形成静叶栅，静叶栅固定不动，构成的蒸汽通道称为喷嘴或静叶栅。

所谓叶栅是指结构相同的叶片按一定的距离和一定的角度安装而构成的汽流通道的组合体，如图 1-2 所示。

单个叶片在某一叶高处的横截面形状称为叶型，其周线称为型线。叶型沿叶高不变，称为等截面叶片（或称直叶片）；叶型沿叶高改变，则称为变截面叶片（或称扭曲叶片）。

反映叶栅几何特性的主要参数（见图 1-2、图 1-3）有：叶栅的平均直径 d_m 、叶高 l 、叶栅节距 t 、叶宽 B 、叶型弦长 b 、出口边厚度 Δ 、

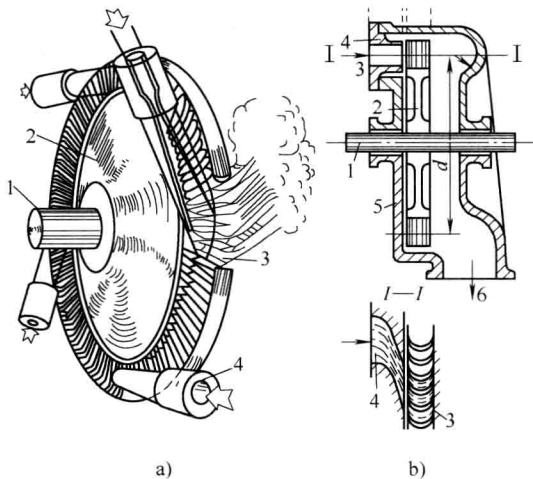


图 1-1 单级汽轮机主要部分结构图

a) 立体图 b) 剖视图

1—主轴 2—叶轮 3—动叶 4—喷嘴 5—汽缸 6—排汽口

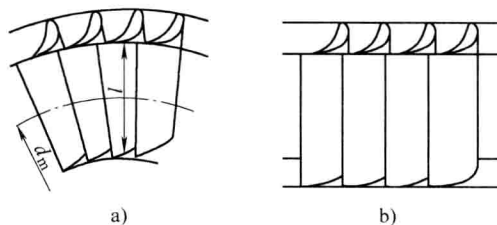


图 1-2 叶栅示意图

a) 环形叶栅 b) 直列叶栅