



高等学校教材

汽轮机和燃气轮机

[苏]A.Γ. 卡斯丘克 B.B. 福罗洛夫
太原工业大学 夏同棠 西安交通大学 刘英哲 合译
浙江大学 唐致实 华中理工大学 黄镇安
夏同棠 统校



内 容 提 要

本书阐述汽轮机和燃气轮机热力过程的基本理论,分析结构选择和热力计算的方法,引用不同类型的汽轮机并论述其稳定工况和变工况的运行特性,描述调节系统、油系统以及凝汽设备,阐明汽轮机各种部件强度计算的基本原理。

本书供高等学校“火力发电厂”专业学生使用,也可供从事发电厂运行和检修的工作人员参考。

Паровые и газовые турбины

М. А. Трубилов, Г. В. Арсеньев, В. В. Фролов и др.

Издательство «Энергоатомиздат» 1985

高等学校教材

汽轮机和燃气轮机

〔苏〕А. Г. 卡斯丘克 В. В. 福罗洛夫

太原工业大学 夏同棠 西安交通大学 刘英哲 合译
浙江 大学 唐致实 华中理工大学 黄镇安

夏同棠 统校

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 28印张 638千字

1991年5月第一版 1991年5月北京第一次印刷

印数 0001—2000册

ISBN 7-120-01222-3/TK·197

定价7.20元

译者序

本书是根据1988年10月在张家界召开的高等学校热能动力类教学委员会汽轮机组第二次扩大会议决定引进一本汽轮机原理教材而翻译的。全书共有十六章，其中第一、二、三、六章由太原工业大学夏同棠，第四、五、七、八章由西安交通大学刘英哲，第九、十、十一、十二、十三章由浙江大学唐致实，第十四、十五、十六章由华中理工大学黄镇安翻译。译稿由夏同棠统校，由山东工业大学裘烈钧教授主审。

由于水平有限，译文中不妥和错误之处在所难免，欢迎读者批评、指正。

译者

1990年7月

前 言

高等学校0305（火力发电厂）专业采用《汽轮机和燃气轮机》为教材，引起广大读者的关注。本教材阐述汽轮机的理论、热力过程计算和变工况，导出汽轮机主要部件和组件的强度计算公式，论述汽轮机的结构、自动调节和供油系统以及汽轮机装置组成部分——凝汽器的结构和计算，讨论火力发电厂和核电站汽轮机的运行。此外，尚用了两章的篇幅专门叙述燃气轮机和燃气轮机装置的特点。

编写本教材时采用了下列著作的基本内容作为基础：А.В.Щегляев 的“Паровые Турбины”教材，А.Г.Костюк和А.Н.Шерстюк的“Газотурбинные установки”，А.В.Щегляев和С.Г.Смельницкий的“Регулирование паровых турбин”，Г.С.Жирицкий和В.А.Струнkin的“Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин”，И.Н.Кирсанов的“Конденсационные установки”和Б.Э.卡别洛维奇的《汽轮机设备的运行》等。它们均被推荐为0305（火力发电厂）专业学生学习“汽轮机和燃气轮机”这门课程的主要参考书。本教材以荣获列宁勋章和十月革命勋章的莫斯科动力学院和全苏函授工学院给0305（火力发电厂）专业学生讲课的内容为基础，力求采用传统方法阐明以上参考书中的主要问题，吸收涡轮机制造和火力发电厂及核电站汽轮机运行领域的新成就，以有限的篇幅和简便易懂的形式叙述必要的教学内容。

现代汽轮机和燃气轮机是火力发电厂和核电站的主要原动机，其重要性由国家电力日益增长的需要所决定。当前苏联利用火力发电厂和核电站发电的比重占全部发电量的83%~85%。汽轮发电机组容许同时产电、产热，因这可提高有机燃料和核燃料热量的有效利用程度。燃气轮机装置和蒸汽燃气轮机装置相比，可保证电厂在电网中覆盖用电日负荷曲线的尖峰部分时具有高度的机动性。

作者力图把汽轮机装置单元机组容量的增大、结构日益复杂以及安全经济运行对火力发电厂和核电站汽轮机提出的全部要求都纳入本教材。

参加本教材编写的莫斯科动力学院和全苏函授工学院的教师以及全苏热工研究所的工作人员如下：Г.В.阿尔塞涅夫（1-9；5-6，6-6，6-7，11-3，第七、八章），Г.Д.阿伏鲁茨基（16-1，16-5），В.Н.维列尔（第九、十章），В.В.库林奇希（11-1，11-2），В.С.索可洛夫（第十四章，15-1至15-3），М.А.特鲁宾洛夫（1-1至1-8，1-10，6-1至6-5，16-6），В.В.福罗洛夫（第二、三、四章，5-1至5-5，5-7），В.А.采涅夫（第十二、十三章，15-4）。

审书者的任务不仅要按课程章节选择和分配内容、保证各章节内容之间的相互联系，还要尽可能保证所用术语和符号的统一，等等。

作者深切地感谢本书的评论者：哈尔科夫工学院教研室主任、乌克兰加盟共和国国家奖金获得者、科学技术博士В.М.卡皮诺斯教授；伊凡诺夫动力学院火力发电厂汽轮机和燃气轮机教研室集体，感谢他们提出的宝贵意见，并在教材中已予考虑。在学术审订过程中，科学技术副博士、莫斯科动力学院汽轮机和燃气轮机教研室副教授С.Н.维尔切林做了

大量细致的工作，作者在此表示深切的谢意。

使用本教材过程中，可能发现不足之处，请将批评和意见寄至下列地址：

113114, Москва, М-114, Шлюзовая Наб., 10, Энергоатомиздат

作 者

主要符号、下标和缩写

数 量 符 号

a ——音速, m/s; 轴向长度, m, mm;	R ——作用力, N; 气体常数, J/(kg·K);
b ——叶型弦长, m, mm;	Re ——雷诺数;
c ——绝对速度, m/s; 比热, J/(kg·K);	s ——熵, J/(kg·K), kJ/(kg·K); 距离, mm;
c_ϕ ——假想速度, 它取决于滞止参数并按照级的定熵焓降确定, m/s;	t ——温度, °C; 叶栅节距, mm;
d ——直径, m, mm; 质量汽耗率, kg/J, kg/kJ, kg/(kW·h);	T ——温度, K;
e ——部分进汽度;	u ——圆周速度, m/s;
E ——弹性模量, MPa, Pa;	v ——比容, m ³ /kg;
f ——振动频率, 1/s, Hz;	w ——相对速度, m/s;
F ——面积, m ² , cm ² ;	W ——水流量, m ³ /h; 阻力矩 (截面系数), m ³ , cm ³ ;
G ——质量流量, kg/s, t/h;	x ——蒸汽干度; 速度比;
H ——级、汽轮机、级组等的焓降, J/kg, kJ/kg;	y ——水分;
h ——焓, J/kg, kJ/kg;	α ——绝对速度方向角, °; 抽汽份额; 放热系数, W/(m ² ·K);
Δh ——级的能量损失, J/kg, kJ/kg;	β ——相对速度方向角, °;
ΔH ——汽轮机、级组等的能量损失, J/kg, kJ/kg;	γ ——子午面内的角, °;
k ——定熵指数, 系数;	δ ——气流偏转角, °; 间隙, mm; 差; 调节不均匀度 (速度变动率);
M ——马赫数;	ε ——压力比;
l ——叶片高度, m, mm;	ζ ——与叶栅有关的损失系数;
n ——旋转频率, 1/s;	η ——效率;
Nu ——努谢尔特准则;	θ ——环形叶栅平均直径与叶片高度之比;
O ——叶栅流道喉部尺寸, m ² , mm ² ;	λ ——无量纲相对速度; 导热系数, W/(m·K);
p ——压力, Pa, kPa, MPa;	μ ——流量系数;
N ——功率, W, kW, MW;	ξ ——与级有关的损失系数;
q ——热耗率, J/J, kJ/kJ; kJ/(kW·h); 相对质量流量;	ρ ——反动度; 介质、材料等的密度, kg/m ³ ;
Q ——热量, W, kW, MW, GW;	σ ——应力, Pa, MPa;
r ——半径, m, mm;	τ ——时间, s, min, h;

φ ——喷嘴叶栅速度系数;

ψ ——动叶栅速度系数;

ω ——角速度;

Ω ——级的环形面积, m^2 。

下 标

макс——最大;

мин——最小;

авт——自动模化;

бр——毛的;

вл——水分;

в.с——出口速度 (余速);

ву——去湿;

вых——出口的;

дин——动态的;

доп——附加的;

изг——弯曲的;

к——端部的, 凝结, 根部的, 最终的;

кр——边缘的、临界的;

ном——额定的;

о.в——回水;

ос——相对有效的;

о.к——压气机具有的;

о.л——相对轮周的;

о.т——汽轮机具有的;

ос——相对内部的;

отб——抽汽;

ох.в——冷却水;

о.э——相对电的;

п——工业的, 外围的;

п.в——给水;

пп——中间再热;

п.п——过热蒸汽;

пр——叶型的;

пр.в——供热送水;

пред——极限的;

р——动叶的, 回热的;

разд——分缸的;

раст——拉伸;

р.с——调节级;

с——喷嘴叶栅;

сеп——分离器;

с.н——厂用的;

с.н.п——干饱和蒸汽;

ср——平均的;

ст——级的;

т——供热、热力、屈服极限, 燃料, 汽轮机;

ф——假想的;

х.х——空载;

э——电的、等效的;

э.г——发电机;

d——轴向的;

e——有效的;

p——压力;

s——饱和;

i——内部的;

u——圆周的;

0——初始的, 计算的, 额定的;

缩 写

АЭС——核电站;

БРУ——快速减压装置;

ВТИ——全苏热工研究所;

ГТУ——燃气轮机装置;

КПД——效率;

КТЗ——“卡卢日斯克透平工厂”生产联合实体;

ЛПИ——列宁格勒工学院;

ЛМЗ——“列宁格勒金属工厂”透平制造
生产联合实体；

НЗЛ——涅夫工厂；

ПВД——高压加热器；

ПНД——低压加热器；

ПТУ——汽轮机装置；

СКД——超临界压力；

СПП——蒸汽分离再热器；

ТМЗ——“透平发动机厂”生产联合实
体；

ТЭС——火力发电厂；

ТЭЦ——热电站；

ХПИ——哈尔科夫工学院；

ХТЗ——“哈尔科夫透平工厂”核透平制
造生产联合实体；

ЦВД——高压缸；

ЦСД——中压缸；

ЧВД——高压部分；

ЧНД——低压部分；

ЧСД——中压部分。

目 录

前言

主要符号、下标和缩写

第一章 汽轮机装置热力循环	1
1-1 汽轮机制造发展简介	1
1-2 汽轮机主要组件和结构	3
1-3 汽轮机装置热力循环	5
1-4 蒸汽参数对理想循环效率的影响	9
1-5 热电联产	12
1-6 蒸汽中间再热	15
1-7 给水回热	17
1-8 现代汽轮机装置原则性热力系统	21
1-9 核电站汽轮机装置热力系统	26
1-10 汽轮机分类	29
第二章 涡轮机级内能量的转换	32
2-1 可压缩流体基本方程	32
2-2 流体在流道中流动的基本特性和参数	36
2-3 涡轮机级内能量的转换	42
2-4 级的相对轮周效率	48
2-5 双列级	53
2-6 径向级和径向-轴向级	58
2-7 涡轮机级叶栅的几何特性和气动特性	61
2-8 涡轮机叶栅的变工况、气流在叶栅斜切部分内的膨胀	71
第三章 涡轮机级尺寸的确定、级的相对内效率	79
3-1 单列级和双列级的喷嘴叶栅尺寸和动叶栅尺寸的确定	79
3-2 级的相对内效率、附加损失	86
3-3 单列级计算实例	102
3-4 双列级的计算实例	104
3-5 长叶片级	109
3-6 喷嘴叶栅和动叶栅的结构实例	115
第四章 多级汽轮机	123
4-1 多级汽轮机的热力过程	123
4-2 重热系数	125
4-3 轴封构造	127
4-4 汽轮机零件的冲蚀	131
4-5 汽轮机中的水分分离	132
4-6 作用在汽轮机转子上的轴向推力	136
第五章 多级汽轮机通流部分的计算	139
5-1 多级汽轮机通流部分结构选择的原则	139

5-2	单流程凝汽式汽轮机的极限功率	142
5-3	汽轮机通流部分中蒸汽流动过程的近似估算	145
5-4	汽轮机各级直径和级数的估计和焓降分配	149
5-5	汽轮机通流部分详细计算的特点	154
5-6	核电站湿蒸汽汽轮机的特点	155
5-7	凝汽式汽轮机热力计算的实例	157
第六章 汽轮机在变工况下的工作		175
6-1	级在非设计工况下的工作	175
6-2	通汽量变化时汽轮机各级间压力和焓降的分配	180
6-3	采用不同配汽方法的汽轮机在通汽量变化时的热力过程	184
6-4	配汽系统的选择	195
6-5	使用滑压方法调节汽轮机的功率	197
6-6	蒸汽初参数和再热温度波动对汽轮机功率的影响	199
6-7	蒸汽终压对汽轮机功率的影响	204
第七章 热电联产汽轮机		208
7-1	背压式汽轮机	208
7-2	一次调节抽汽式汽轮机	208
7-3	调节抽汽背压式汽轮机	210
7-4	两次调节抽汽式汽轮机	211
7-5	两级供暖抽汽式汽轮机	212
7-6	供热式汽轮机凝汽器中内置管束的应用	213
7-7	工况图	214
第八章 汽轮机的凝汽设备		221
8-1	凝汽设备的主要系统、凝汽器	221
8-2	凝汽器中的热力过程	222
8-3	凝汽器的热平衡	224
8-4	凝汽器的热力计算	225
8-5	凝汽器的构造	227
8-6	抽气设备	229
8-7	凝汽器的空气和水的严密性	230
8-8	凝汽设备的运行基础	232
第九章 汽轮机调节		234
9-1	转子角速度的调节	234
9-2	调速器	234
9-3	直接调节	236
9-4	调节系统的不灵敏度	237
9-5	操纵机构	239
9-6	汽轮发电机组的并列运行	240
9-7	调节系统的总不灵敏度	242
9-8	油动机调节	244
9-9	油动机调节的不灵敏度	248
9-10	汽轮机超速保安装置	250
第十章 供油系统		254
10-1	供油系统原理图	254

10-2	水动调节系统的供水	256
10-3	轴承的备用润滑	257
10-4	油箱	257
10-5	透平油的维护	258
第十一章 现代汽轮机的结构		260
11-1	结构设计的基本原则	260
11-2	现代汽轮机的结构	279
11-3	核电站汽轮机的结构	305
第十二章 燃气轮机装置的系统和循环		311
12-1	概述	311
12-2	最简单的燃气轮机装置的系统和循环	312
12-3	表示燃气轮机装置特性的主要指标和提高其经济性的方法	314
12-4	采用回热的单轴燃气轮机	318
12-5	分段压缩和分段燃烧的燃气轮机装置	321
12-6	复杂和多轴燃气轮机装置	325
12-7	闭式循环燃气轮机装置	327
12-8	核电站用闭式循环燃气轮机装置	333
12-9	利用废气余热的蒸汽-燃气联合循环装置	334
第十三章 燃气轮机装置的部件和燃气轮机的结构		339
13-1	燃气轮机的类型及其结构上的特点	339
13-2	燃气轮机主要零件的结构	340
13-3	提高燃气轮机零件热稳定性的途径及各种冷却方法	347
13-4	燃烧室	349
13-5	换热器	355
13-6	压气机	359
13-7	燃气轮机的调节、启动和保安装置	363
13-8	动力用燃气轮机	365
第十四章 转子主要零件的强度计算		376
14-1	涡轮机零部件应力和应变的研究方法	376
14-2	转动叶轮中的应力与应变	377
14-3	等厚叶轮、薄圆环和转鼓中的应力	381
14-4	任意型线叶轮的应力计算	384
14-5	过盈量和松动转速的确定	385
14-6	动叶片的静强度	388
14-7	叶片振动	391
14-8	涡轮机转子的强度	400
第十五章 静子主要零件的强度计算		406
15-1	涡轮机壳体强度	406
15-2	汽缸水平接合面法兰连接的应力状态	406
15-3	隔板强度	407
15-4	汽轮机和燃气轮机主要零部件用的材料	409
第十六章 汽轮机装置的运行		413
16-1	运行的任务	413
16-2	汽轮机工作的可靠性准则	414

16-3 汽轮机的启动.....	417
16-4 汽轮机的停机.....	422
16-5 稳定工况运行.....	424
16-6 核电站汽轮机运行的特点.....	426
16-7 汽轮机通流部分轴向间隙和径向间隙的变化.....	428
参考文献.....	435

第一章 汽轮机装置热力循环

1-1 汽轮机制造发展简介

第一台配有膨胀喷嘴（图1-1）的轴向单级冲动式汽轮机原型是由瑞典工程师古斯塔夫·拉伐尔于1883年提出的。在此汽轮机内，蒸汽只在一级喷嘴叶栅中就完成了从初压到终压的膨胀，这就决定了蒸汽要以很高的速度流出喷嘴流道。既然为了最有效地利用汽流的动能，动叶的圆周速度就应为蒸汽流出喷嘴的绝对速度的1/2左右（正如第二章中将会证实的）。所以拉伐尔汽轮机必然具有很高的圆周速度，因而频率也高。于是一些小容量拉伐尔汽轮机（叶轮直径100mm，容量约为2.5kW）的转动频率为500Hz。拉伐尔所造汽轮机的最大容量不超过500kW，并且这些汽轮机的效率均很低。

1884年英国工程师查尔斯·柏森斯设计出多级反动式汽轮机，进入其中的蒸汽不是在一个级，而是在一系列依次连接的级内膨胀，并且不仅在喷嘴（静止）叶栅中，还要在动（转动）叶栅中膨胀（图1-2）。因此，这种汽轮机工作时，蒸汽流出喷嘴的速度能够比拉伐尔汽轮机中的小得多，该机动叶的圆周速度相应地也小得多。

19世纪末，随着电机的发展和电能的广泛应用，汽轮机的制造得以快速发展。俄国于1907年在彼得堡金属工厂开始生产第一批汽轮机。

苏联汽轮机制造的发展与国家的电气化密切相关。1920年根据列宁的倡议，制订并通过了俄罗斯电气化的宏大国家计划。按此计划，电能生产的主要份额由火力发电厂承担，它们由汽轮机作为原动机带动发电机。

1924年列宁格勒金属工厂（ЛМЗ）造出了苏联第一台汽轮机，其设计蒸汽初参数为1.1MPa（11kgf/cm²）、300℃、容量为2000kW；1926年ЛМЗ生产出容量为10MW的汽轮机，其转动频率为50Hz；1930年生产出容量为24MW的汽轮机，其转动频率为50Hz，蒸

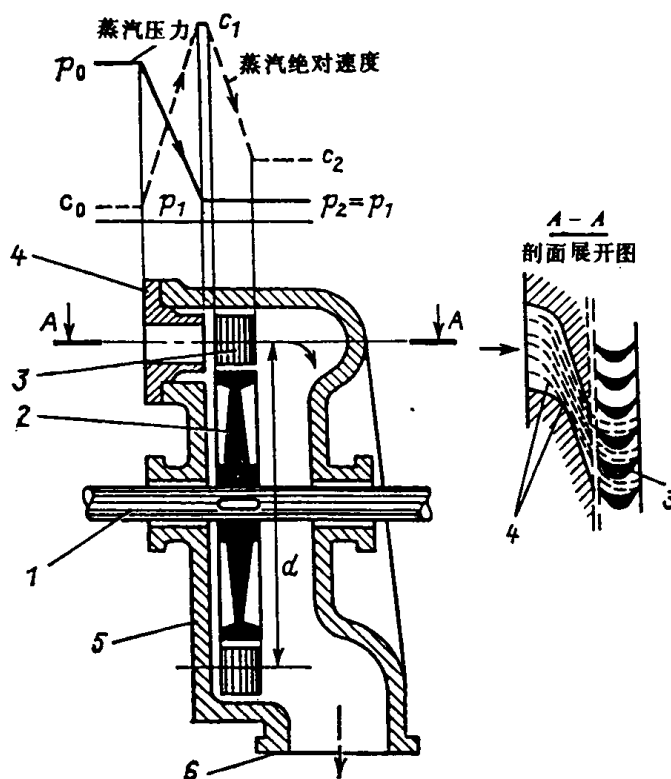


图 1-1 单级冲动式汽轮机示意剖面

1—轴；2—叶轮；3—动叶；4—喷嘴叶栅；
5—汽缸；6—排汽管

汽初参数为 2.55MPa (26kgf/cm^2)、 375°C ；1931年生产出容量为 50MW 的汽轮机，其转动频率为 25Hz ，蒸汽参数为 2.85MPa (29kgf/cm^2)、 400°C 。

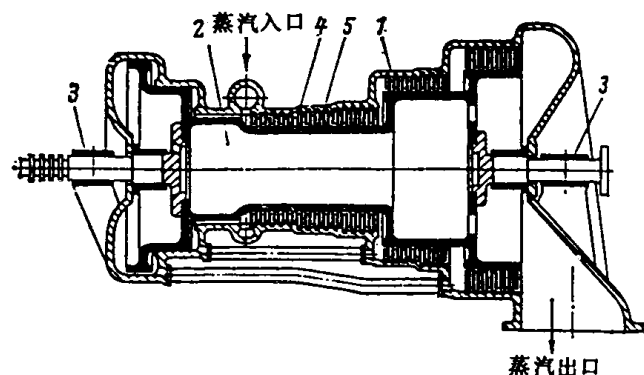


图 1-2 多级反动式汽轮机

1—汽缸；2—转鼓；3—轴承；4—一个级的喷嘴叶片；
5—一个级的动叶片

1934年XT3投入生产，并开始制造转动频率为 25Hz ，容量为 50MW 和 100MW 的汽轮机，其蒸汽参数为 2.85MPa (29kgf/cm^2) 400°C 。卫国战争之前，在斯维尔德洛夫斯克建起了透平发动机厂（现在以伏罗希洛夫命名的TM3），该厂生产抽气压力可调节的供热式汽轮机，其容量系列为： $12, 25, 50, 100, 250\text{MW}$ 。

1950年KT3投入生产，该厂生产中型汽轮机，其蒸汽参数为 3.43MPa (35kgf/cm^2)， 435°C 和 8.8MPa (90kgf/cm^2)， 535°C 。

伟大的卫国战争之后，苏联工厂立即开始生产高压汽轮机，其蒸汽参数为 8.8MPa (90kgf/cm^2)、 500°C ，容量系列为 $25, 50, 100\text{MW}$ ，频率为 50Hz 。1952年ЛМЗ造出了 150MW 汽轮机，其蒸汽参数为 16.6MPa (170kgf/cm^2)、 550°C ，中间再热温度达 520°C ，这是当时欧洲容量最大的单轴机组。

1958年ЛМЗ生产出K-200-130型、XT3生产出K-150-130型汽轮机的样机，其容量分别为 200 和 150MW ，蒸汽参数为 12.8MPa (130kgf/cm^2)、 565°C ，而1960年ЛМЗ和XT3生产出K-300-240型汽轮机样机，蒸汽的初参数为超临界参数： 23.5MPa (240kgf/cm^2)、 560°C ，中间再热温度达 565°C 。

1965年ЛМЗ造出了容量为 800MW 的双轴汽轮机，XT3造出了容量为 500MW 的单轴汽轮机，其蒸汽参数均为 23.5MPa (240kgf/cm^2)、 540°C ，中间再热温度达 540°C 。从1969年开始，ЛМЗ生产容量为 800MW 的K-800-240型单轴汽轮机，蒸汽参数同前。

从1970年开始，透平发动机厂（TM3）生产容量为 250MW 的T-250-240型供热式汽轮机，蒸汽参数为超临界的： 23.5MPa (240kgf/cm^2)、 540°C ，中间再热温度达 540°C ，在世界透平制造方面没有与之相比的供热机组。

1978年ЛМЗ造出了容量为 1200MW 、频率为 50Hz 的K-1200-240型独一无二的单轴汽轮机，蒸汽初参数为 23.5MPa (240kgf/cm^2)、 540°C ，中间再热温度达 540°C 。预计该机组在切除高压加热器的情况下，能够发出高达 1400MW 的功率，它是世界上最大的单轴汽轮机。

70~80年代中，XT3为核电站生产出了容量为 70MW 的K-70-29型、容量为 225MW 的K-220-44型、容量为 500MW 的K-500-65/3000型的汽轮机，频率均为 50Hz ；容量为 500MW ，频率为 25Hz 的K-500-60/1500型和容量为 1030MW 、频率为 25Hz 的K-1000-60/1500型汽轮机。

在苏联除了生产大容量汽轮机的ЛМЗ，XT3和TM3之外，还有制造中、小容量汽轮机

的工厂。它们是列宁涅夫斯基工厂，提供带动鼓风机和压缩机用的汽轮机；卡隆日斯基汽轮机厂提供带动给水泵用的汽轮机，容量范围从1500kW至12MW，蒸汽参数为3.4MPa、435℃，以及容量为12和25MW的一次调节抽汽或两次调节抽汽式汽轮机，蒸汽初参数为8.8MPa、535℃。

1-2 汽轮机主要组件和结构

汽轮机是一种将蒸汽势能转换成转动转子机械功的原动机。

任何一台汽轮机都是由不动部件和转动部件构成的。所有不动部件总称为汽轮机静子，所有转动部件总称为汽轮机转子。让我们仔细观察一台容量为50MW、蒸汽初参数为8.8MPa、535℃的单缸凝汽式汽轮机的典型结构（图1-3）。这台汽轮机中采用了组合转子，在高温区工作的前19级叶轮与汽轮机的轴整锻成一体，最后3级叶轮是套装的。通常在高温区不允许采用套装叶轮，以免由于蠕变引起轴上叶轮紧力的松弛。若最后3级叶轮要以整锻方式制造，那就要求加大转子锻件的直径。

把固定在喷嘴箱或隔板中不动的喷嘴叶栅与其旋转的动叶栅总称为汽轮机的级，动叶栅固定在按蒸汽流程紧跟于喷嘴叶栅后的叶轮中。图1-3中单缸汽轮机的通流部分由22级组成，其中，第一级称为调节级，第二级称为第一非调节级，除了末级之外，所有其它的级均称为中间级。

每一列喷嘴叶栅中的汽流，在专门设计的喷嘴流道中被加速并获得必要的流动方向，以使汽流无冲击地进入动叶片之间的流道。蒸汽在动叶片上产生的作用力转动了叶轮和与其相连的轴。

蒸汽在从第一级流到末级的过程中，随着压力降低其比容急剧增大，这就要求逐级增大喷嘴叶栅和动叶栅的出口面积，级的平均直径和叶片高度也要相应地增加。

在转子前端面上再接一段轴，在其上装有危急遮断器的撞击子（自动危急保安器）。当转子频率升高到比设计值大10%~12%时，撞击子就对主汽门和调节汽门发出动作，停止向汽轮机送汽。

加接的端轴利用挠性联轴器与主油泵的轴连接。主油泵壳体通过本身的吸入连管固定到前轴承管内的凸起部位上。

主油泵是给汽轮机和发电机的轴承润滑系统（油压为0.15MPa）和调节系统（油压为2MPa）供油用的，调节系统保证汽轮机转子自动地维持给定频率。频率发送器是安装在油泵轴端的高速弹性调速器。汽轮机转子从排汽侧用半挠性联轴器与发电机转子相连。

汽轮机的定子由汽缸构成，其中有与阀门汽室焊连在一起的喷嘴箱，装有轴端汽封套、隔板套、隔板本体及其轴封。这台汽轮机汽缸除了通常的水平结合面之外，还有两处垂直结合面，它们把汽缸分隔成前部、中部和排汽部分，汽缸前部是铸造的，中部和排汽部分是焊接的。

轴承箱也属于汽轮机的不动部件。前轴承箱中布置有推力支撑联合轴承，后轴承箱中置放着汽轮机和发电机转子的支撑轴承。

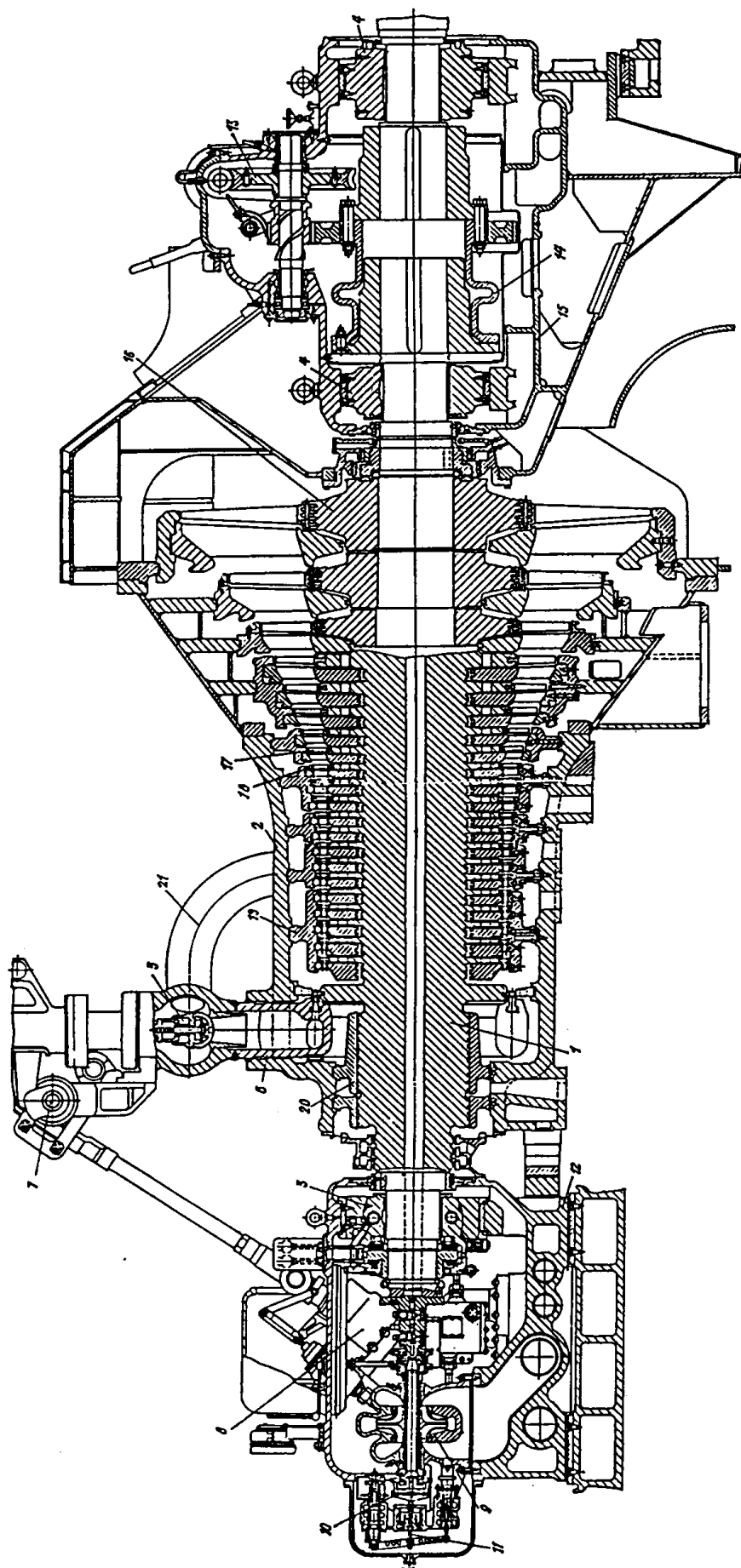


图 1-3 K-50-90 型汽轮机纵剖面图

- 1—汽轮机转子；2—汽轮机汽缸；3—推力支撑联合轴承；4—支撑轴承；5—调节汽门；6—喷嘴箱；7—凸轮轴；
8—油动机；9—主油泵；10—调速器；11—随动错油门；12—前轴承箱；13—盘车装置；14—联轴器；15—汽轮机
排汽管；16—套装叶轮；17—动叶片；18—隔板；19—隔板套；20—前轴端汽封套；21—导汽管道（从主汽门到调节汽门）

前轴承箱安装在基础台板上,当汽轮机汽缸受热膨胀时,它能自由地沿此台板滑动。后轴承箱倒是和汽轮机排汽管制作成一个整体,由于它处在纵销和横销的交点处而被固定,所以在热膨胀过程中这个交点保持不动,并称之为固定点或死点。

汽缸前部利用其上特制的猫爪和安装在轴承箱两侧凸出部分上的横销与前轴承箱相连。由于采用这种连接,汽轮机汽缸受热时的膨胀和冷却时的缩短全部传递给前轴承箱,在前轴承箱沿基础台板滑动的同时,通过止推轴承以与汽缸膨胀或缩短相同的数值移动转子,从而保证汽轮机通流部分转动部件与不动部件之间的轴向间隙变化不超出允许范围。

汽轮机后轴承箱中布置有盘车装置,其作用是在汽轮机启动和停机时缓慢转动转子。盘车装置由电动机驱动,蜗杆与电动机转子相连并与蜗轮啮合,蜗轮装在中间轴上,此轴的螺旋键上装有主动圆柱齿轮。接通盘车装置时,该齿轮与从动圆柱齿轮啮合,从动齿轮装在汽轮机轴上。向汽轮机送汽之后,转子转动频率升高,主动齿轮由于沿螺旋键转动而自动退出啮合。

盘车装置的主要用途是在汽轮机冷却和启动时,防止转子产生热弯曲和轴承浇铸乌金过热。

汽轮机自动调节装置及其供油,将在第九、十章中详细论述。这里仅列出所论汽轮机调节系统的主要部件:四个调节汽轮机进汽的汽门,分配凸轮小轴,活塞油动机转动齿条,油动机从调速器和正在开启或正在关闭的汽门取得脉冲信号。凸轮的型线应该这样制作,使得各调节汽门逐个依次开启。这样便可在汽轮机降负荷运行时,使流过全开汽门的蒸汽免受节流,即只有流经部分开启汽门的那部分蒸汽受到节流。

这种配汽系统称为喷嘴配汽系统,它与节流配汽系统不同。在后一系统中,无论满负荷或低负荷运行时,全部蒸汽要流过一个或几个同时开启的汽门,使之受到节流,以降低的压力进入第一级喷嘴。压力的降低无疑导致了汽轮机理想焓降的减小以及经济性的相应降低。

汽轮机装置的主要热损失发生在凝汽器中。为了减小这一损失,汽轮机缸体上依次预设了几根管接头,通过它们把一部分蒸汽从各中间级抽出来,用以加热送往锅炉的给水。

1-3 汽轮机装置热力循环

最简单的动力汽轮机装置(图1-4)由给水泵1,锅炉2,过热器3,汽轮机4,凝汽器5和发电机6构成。其工质是水蒸气。

如果此装置不带蒸汽过热器,则进入汽轮机的将是饱和蒸汽。在此情况下,技术上可以实现卡诺循环。实际上对于湿蒸汽来说,锅炉内吸热和凝汽器内部分排汽通过凝结而放热的定压过程也都是定温过程。

湿蒸汽的卡诺循环示于 $T-s$ 图中(图1-5)。图上3-4线表示绝热压缩,在专用压缩机中把很湿的蒸汽压

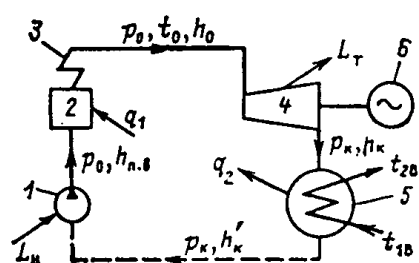


图 1-4 动力装置原则性系统图

1—给水泵; 2—锅炉; 3—过热器; 4—汽轮机; 5—凝汽器; 6—发电机