

热工技术手册

汽 轮 机 组

能源部西安热工研究所 主编



水利电力出版社

TR12-62
1661
1.2

热工技术手册



汽 轮 机 组

能源部西安热工研究所 主编

水利电力出版社

热工技术手册编写委员会

主任委员	袁颖				
副主任委员	杜庆东	舒君展			
委 员	(按姓氏笔划为序)				
	马士林	杜庆东	赵庆炜	袁 颖	高汉襄
	夏宝鸾	秦金藻	钱锺彭	舒君展	
秘 书	高维芳				

本卷编写人员

主 编 夏宝鸾

副主编 张游祖 肖振德

参 编 (按姓氏笔划为序)

王仲博	王国才	王锦荣	王铭忠	史佑吉
刘东远	刘志江	许立敏	朱宝田	安敏善
肖兴和	李 康	危师让	张兆基	房德明
董卫国	郭丽华			

本卷审稿人员

主审单位 能源部电力司

主 审 郑企仁 蔡颐年

参 审 (按姓氏笔划为序)

马致远	王理珊	王璧玉	王鑫建	刘纫菴
孙 弼	陈思奇	吴厚钰	孟庆集	周树鑫
俞茂铮	徐贞禧	徐廷相	徐家仁	詹仲晦
蔡元基				

前 言

建国40年来,电力工业发展迅速,至1987年末,全国发电装机容量已逾1亿kW,其中火电装机容量占70.5%,发电量占总发电量的80%。在今后30年的发展目标中,火电机组容量的比重仍将保持在70%左右。从事火电行业工作的人员日益增多,迫切要求有一部符合我国现代火电生产技术水平的热能动力工程方面的专业工具书。在原水利电力部生产司和现能源部电力司的重视和支持下,我们组织编写了这部《热工技术手册》,希望在一定程度上能满足广大读者的需要。

《手册》全书共分6卷,即火力发电厂、锅炉机组、汽轮机组、电厂化学、热工仪表与自动化、电厂金属,总字数约600万字。《手册》扼要阐述热力系统、主辅设备的工作原理,有实用价值的计算、测量、分析、试验、调整、控制、监督的方法,以及有关法规、规程、标准、导则等的主要内容。《手册》力图反映多年来我国火电厂运行管理的实践经验及技术革新和科研成果,也适当介绍国外先进经验。

对《手册》的选材和编写原则有两点说明:(1)根据国内火电厂一般规模,选材重点针对100MW及以上容量的机组,对较小容量机组亦可参考使用;(2)内容要求可靠、先进、准确、简明、实用,不过分追求知识的系统性和全面性,对关键技术内容的说明要有一定的深度,以利于解决实际问题。

本《手册》主要供从事火电厂生产、科研、设计、基建、管理、教学等工作人员查阅之用。

本《手册》由能源部西安热工研究所主编,个别卷及章节邀请所外专家参加编写工作;提纲及初稿曾经同行专家、学者评审,并提出了宝贵意见;编写过程中并得到了水利电力出版社的指导和协助。谨对以上为编写本《手册》做出过贡献的同志及其所属单位致以诚挚的谢意。

本《手册》首次出版,在选材及文风体例等方面难免有不当之处,衷心希望广大读者批评指正,俾使再版时充实完善。

能源部西安热工研究所

《热工技术手册》编写委员会

1988年9月

本卷编写说明

随着我国国民经济和电力工业的迅速发展,火电厂汽轮发电机组的容量不断增大,60年代100MW、125MW机组投入发电,70年代出现200MW、300MW机组,近年来600MW机组也投入发电。在机组容量增大的同时,新蒸汽参数也不断提高。大容量和高参数对汽轮机及其辅助设备的运行、检修、设计、安装都提出了许多新的问题。本卷是针对这些问题,并按本手册总的编写宗旨进行选材、编写的。

能源部西安热工研究所汽轮机室承担了编写本卷的任务。

本卷以汽轮机组为它的主要内容,计有:汽轮机组热力循环及经济指标;汽轮机通流部分热力计算及零件强度计算;汽轮机调节、保安、油系统;汽轮机运行技术,诸如启停方式、振动的消除、热力试验;汽轮机辅助设备,包括凝汽设备、给水加热器、除氧器、冷却设备和水泵。核电厂和地热电厂用的汽轮机,其主蒸汽参数较低,且多系饱和蒸汽,有一定的特点,所以本卷专门一章介绍饱和蒸汽汽轮机。此外,由于燃气轮机在我国电力工业中有一定作用,在电厂中它和汽轮机一样由汽轮机专业管理,因此把燃气轮机也列为本卷的一章。

本卷共分十四章,编写人员为:第一章张兆基、夏宝鸾,第二章王国才、刘东远,第三章王仲博、朱宝田,第四章张游祖,第五章房德明,第六章李康,第七章许立敏,第八章危师让、王锦荣、史佑吉,第九章董卫国,第十章郭丽华,第十一章史佑吉,第十二章肖兴和,第十三章张兆基、刘志江,第十四章王铭忠、安敏善。

本卷由夏宝鸾、张游祖、肖振德统稿。由于我们水平有限和时间仓促,难免存在不少缺点和错误,希望广大读者批评指正。

在审查本卷编写提纲的过程中,得到了刘纫菝、刘英哲、林万超、周树鑫、钱锺彭等同志的帮助和支持。本卷书稿由郑企仁、蔡颐年主审,参审有:马致远、王理珊、王璧玉、王鑫建、刘纫菝、孙弼、陈思奇、吴厚钰、孟庆集、周树鑫、俞茂铮、徐贞禧、徐廷相、徐家仁、詹仲晦、蔡元基等。谨此致谢。

常用物理量的符号、量的名称、单位名称、单位符号

量的符号	量的名称	单位名称	单位符号	注
$A, (S)$	面 积	平 方 米	m^2	也可用度、[角]分、[角]秒代替弧度
α	角加速度	弧度每二次方秒	rad/s^2	
a	加 速 度	米每二次方秒	m/s^2	
b	宽 度	米	m	
B	动静叶片轴向宽度	米	m	
B	磁通[量]密度	特[斯拉]	T	
	磁感应强度			
B	水、汽中的含氧量	微克每升	$\mu g/L$	
b	叶型弦长	米	m	
b	燃料消耗量	千克每千瓦小时	$kg/(kW \cdot h)$	
C	热 容	焦[耳]每开[尔文]	J/K	也可以用转每分, r/min
C	电 容	法[拉]	F	
c, u, v, w	速 度	米每秒	m/s	
c	比 热 容	焦[耳]每千克开[尔文]	$J/(kg \cdot K)$	
c_p	定压比热容	焦[耳]每千克开[尔文]	$J/(kg \cdot K)$	
c_v	定容比热容	焦[耳]每千克开[尔文]	$J/(kg \cdot K)$	
c_{sat}	饱和比热容	焦[耳]每千克开[尔文]	$J/(kg \cdot K)$	
d, D	直 径	米	m	
d	相对密度			
d	汽 耗 率	千克每千瓦小时	$kg/(kW \cdot h)$	
$E, (W)$	能 量	焦[耳]	J	
E	弹性模数	牛[顿]每平方米	N/m^2	
$E_p, (V)$	势能, 位能	焦[耳]	J	
$E_k, (T)$	动 能	焦[耳]	J	
E	电 动 势	伏[特]	V	
$E, (K)$	电场强度	伏[特]每米	V/m	
e	部分进汽度			
F	力	牛[顿]	N	
f	面 积 比			
$f, (v)$	频 率	赫[兹], 每秒	Hz, s^{-1}	
G	引力常数	牛[顿]二次方米每二次方千克	$N \cdot m^2/kg^2$	
G	切变模量(剪变模量)	帕[斯卡]	Pa	

续表

量的符号	量的名称	单位名称	单位符号	注
G	电 导	西[门子]	s	
g	重力加速度	米每二次方秒	m/s^2	
h	高 度	米	m	
h, α	传热系数	瓦[特]每平方米开 [尔文]	$W/(m^2 \cdot K)$	
h	比 焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_f	燃料热值	焦[耳]每千克	J/kg	
h_g	抽汽比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_0	初 比 焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_{0s}	初压为 p_0 时的 饱 和蒸汽比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_{1b}	动叶出口比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_d	疏水比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_{fw}	给水比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_h	再热前蒸汽比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_k	排汽比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h'_k	背压为 p_k 时的 饱 和水比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_{k1}	定熵膨胀排汽比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_r	再热蒸汽比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_{w1}	加热器进口水比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
h_{w2}	加热器出口水比焓	焦[耳]每千克	J/kg	
H	磁场强度	安[培]每米	A/m	
HR	全机比焓降 热 耗 率	焦[耳]每千克 千焦[耳]每千瓦 [小]时	J/kg $kJ/(kW \cdot h)$	
$I_x, (I)$	截面惯性矩	四次方米	m^4	
$I, (J)$	转动惯量	千克二次方米	$kg \cdot m^2$	
I_p	极惯性矩	四次方米	m^4	
I	电 流	安[培]	A	
K	转速倍率			
k, K	[总]传热系数	瓦每平方米开[尔文]	$W/(m^2 \cdot K)$	
K	体积模量	帕[斯卡]	Pa	
$L_p, (L)$	声 压 级	分 贝	dB	
$l, (L)$	长 度	米	m	
l_b, L_n	叶片高度、静叶高度	米	m	
L	动量矩, 角动量	千克二次方米每秒	$kg \cdot m^2/s$	
M	马 赫 数			
M	热绝缘系数	平方米开[尔文]每 瓦[特]	$m^2 \cdot K/W$	
M	力 矩	牛[顿]米	N·m	

量的符号	量的名称	单位名称	单位符号	注
m	质 量	千克,吨	kg,t	
m	组内叶片数			
n	转速,旋转频率	每秒	s^{-1}	
	安全系数			
n_s	汽轮机转速	每秒	s^{-1}	
P	功 率	瓦[特]	W	
p	压 力	帕[斯卡]	Pa	
p_s	计视压力,表压	帕[斯卡]	Pa	
p_c	临界压力	帕[斯卡]	Pa	
p_0	初 压	帕[斯卡]	Pa	
p_r	再热蒸汽压力	帕[斯卡]	Pa	
p	动 量	千克米每秒	kg·m/s	
Q	热, 热量	焦[耳]	J	
Q_t	低位热值	千焦[耳]每千克	kJ/kg	
q_s	抽 汽 量	千克每秒	kg/s	
q_m	质量流量	千克每秒	kg/s	
q_{sx}	排 汽 量	千克每秒	kg/s	
q_v	体积流量	立方米每秒	m^3/s	
q_{sp}	上级加热器疏水量	千克每秒	kg/s	
q, φ	热流[量]密度	瓦[特]每平方米	W/m^2	
q	淋水密度	千克每平方米秒	$kg/(m^2 \cdot s)$	
R	热 阻	开[尔文]每瓦[特]	K/W	
R	电 阻	欧[姆]	Ω	
r, R	半 径	米	m	
s	程长,距离	米	m	
S	熵	焦[耳]每开[尔文]	J/K	
s	比 熵	焦[耳]每千克开 [尔文]	$J/(kg \cdot K)$	
SR	汽 耗 率	千克每千瓦[小]时	kg/(kW·h)	
T	转矩,力偶矩	牛[顿]米	N·m	
T, Θ	热力学温度	开[尔文]	K	
T	周 期	秒	s	
t	时间,时间间隔, 持续时间	秒	s	
t, θ	摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}C$	
t_0	初 温	摄氏度	$^{\circ}C$	
t	节 距	米	m	
t_r	再热蒸汽温度	摄氏度	$^{\circ}C$	
$U, (E)$	内 能	焦[耳]	J	

续表

量的符号	量的名称	单位名称	单位符号	注
U	电压, 电位差, (电势差)	伏[特]	V	$\gamma = c_p / c_v$
$u, (e)$	比内能	焦[耳]每千克	J/kg	
V, φ	电位, (电势)	伏[特]	V	
V	切力	牛[顿]	N	
V	体积, 容积	立方米	m ³	
v	比容	立方米每千克	m ³ /kg	
W, Z	截面系数	三次方米	m ³	
$W, (P, G)$	重力	牛[顿]	N	
$W, (A)$	功	焦[耳]	J	
W	电能量	焦[耳]	J	
		千瓦[特][小]时	kW·h	
x	速比			
y	挠度	米	m	
z	组内叶片数			
	凝汽器流程数			
Z_b, Z_n	本级动、静叶片数			
$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	[平面]角	弧度	(°), (′), (″)	
		度, [角]分, [角]秒		
α_l	线[膨]胀系数	每开[尔文]	K ⁻¹	
α_v, ν	体[膨]胀系数	每开[尔文]	K ⁻¹	
γ	比热[容]比			
Ω	立体角	球面度	sr	
$\Delta h_b \cdot \Delta h_n$	动、静叶比焓降	焦[耳]每千克	J/kg	
Δh_{c_0}	进口速度利用	焦[耳]每千克	J/kg	
Δh_i	级有效比焓降	焦[耳]每千克	J/kg	
Δh_t	级等熵比焓降	焦[耳]每千克	J/kg	
Δh_u	轮周焓降	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_b	动叶损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_{c_1}	余速损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_c	部分进汽损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_f	摩擦损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_e	叶高损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_d	隔板汽封漏汽损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_m	静叶损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_l	叶顶漏汽损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_w	湿汽损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_s	动叶进口冲角损失	焦[耳]每千克	J/kg	
δh_B	扇形损失	焦[耳]每千克	J/kg	
$\delta, (d, t)$	厚度	米	m	

量的符号	量的名称	单位名称	单位符号	注
δ	冲角	度	(°)	也可用分贝每秒、 奈培每秒, dB/s, Np/s
δ	壁厚	米	m	
δ	阻尼系数	每秒	s ⁻¹	
ε	压比			
ε, e	线应变			
ε	介电常数	法[拉]每米	F/m	
ε_0	真空介电常数	法[拉]每米	F/m	
η	效率			
θ	体积应变			
k	压缩率	每帕[斯卡]	Pa ⁻¹	
k	定熵指数			
λ, k	热导率, (导热系数)	瓦[特]每米开[尔文]	W/(m·K)	
Λ	对数衰减率	余贝	Np	
μ, ν	泊桑比			
$\mu, (f)$	摩擦系数			
ξ	总压损失系数			
μ	磁导率	亨[利]每米	H/m	
μ_0	真空磁导率	亨[利]每米	H/m	
η, μ	[动力]粘度	帕[斯卡]秒	Pa·s	
ν	运动粘度	二次方米每秒	m ² /s	
γ	切应变(剪应变)			
γ, σ	表面张力	牛[顿]每米	N/m	
π	增压比或膨胀比			
$\Sigma \Delta h_i$	全机有效比焓降	焦[耳]每千克	J/kg	
$\Sigma \Delta h_i$	全机等熵比焓降	焦[耳]每千克	J/kg	
ρ	密度	千克每立方米	kg/m ³	
ρ	反动度			
ρ	电阻率	欧[姆]米	Ω·m	
σ	正应力	帕[斯]卡	Pa	
$\tau, (T)$	时间常数	秒	s	
τ	环境湿球温度	摄氏 度	°C	
τ	切应力, (剪应力)	帕[斯卡]	Pa	
Φ	热流量	瓦[特]	W	
		千焦[耳]每[小]时	kJ/h	
φ	静叶速度系数			
φ	相[位]差, 相[位]移	弧 度	rad	也可用度、[角] 分、[角]秒, (°)、(′)、 (″)

续表

量的符号	量的名称	单位名称	单位符号	注
ψ	动叶速度系数			
ω	角速度	弧度每秒	rad/s	也可用度、[角] 分、[角]秒代替弧 度

注 本表是根据我国法定计量单位编制的。各章使用的单位原则上应不与本表矛盾，但由于目前各行业对自己所用的物理量符号及单位仍未有详细的统一规定，为尊重各行业习惯并便于读者阅读，各章物理量的符号与单位仍需重新标注，自成体系。

常用计量单位换算表

质 量 与 力

$$1\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}=9.80665\text{kg}$$

$$1\text{kgf}=9.80665\text{N}$$

$$1\text{kg}=0.101972\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}$$

$$1\text{N}=0.101972\text{kgf}$$

压 力

$$1\text{kgf}/\text{cm}^2=98066.5\text{Pa}$$

$$1\text{kgf}/\text{m}^2=9.80665\text{Pa}$$

$$1\text{bar}(\text{巴})=10^5\text{Pa}$$

$$=1.01972\text{kgf}/\text{cm}^2$$

$$=750.06\text{mm Hg}$$

$$=10.1972\times 10^{-3}\text{mmH}_2\text{O}$$

$$1\text{mmHg}=133.322\text{Pa}$$

$$=0.0013596\text{kgf}/\text{cm}^2$$

$$1\text{mmH}_2\text{O}=9.80665\text{Pa}$$

$$=0.0001\text{kgf}/\text{cm}^2$$

$$1\text{at}(\text{工程大气压})=1\text{kgf}/\text{cm}^2$$

$$1\text{at}=98066.5\text{Pa}$$

$$1\text{atm}(\text{标准大气压})=760\text{mmHg}$$

$$=101325\text{Pa}$$

$$1\text{Pa}=10.1972\times 10^{-5}\text{kgf}/\text{cm}^2$$

$$=0.101972\text{kgf}/\text{m}^2$$

$$=10^{-5}\text{bar}$$

$$=7.5\times 10^{-3}\text{mmHg}$$

$$=0.101972\text{mmH}_2\text{O}$$

$$=10.1972\times 10^{-5}\text{at}$$

$$=9.8692\times 10^{-5}\text{atm}$$

动 力 粘 度

$$1\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{m}^2=9.80665\text{Pa}\cdot\text{s}$$

$$1\text{Pa}\cdot\text{s}=0.101972\text{kgf}/\text{m}^2$$

功、能

$$1\text{kgf}\cdot\text{m}=9.80665\text{J}$$

$$1\text{kW}\cdot\text{h}=3.6\times 10^6\text{J}$$

$$1\text{J}=0.101972\text{kgf}\cdot\text{m}$$

$$=0.27778\times 10^{-6}\text{kW}\cdot\text{h}$$

功 率

$$1\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s}=9.80665\text{W}$$

$$1\text{hp}(\text{电工马力})=946\text{W}$$

$$1\text{W}=0.101972\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s}$$

$$=0.001057\text{hp}$$

热 工

热量、焓 $1\text{cal}=4.1868\text{J}$

热流量 $1\text{cal}/\text{s}=4.1868\text{W}$

$$1\text{kcal}/\text{h}=1.163\text{W}$$

比焓 $1\text{kcal}/\text{kg}=4186.8\text{J}/\text{kg}$

热容、熵 $1\text{kcal}/\text{K}=4186.8\text{J}/\text{K}$

比热容、比熵 $1\text{kcal}/(\text{kg}\cdot\text{K})=4186.8\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

热流密度 $1\text{cal}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})=4186\text{W}/\text{m}^2$

$$1\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h})=1.1630\text{W}/\text{m}^2$$

传热系数 $1\text{cal}/(\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{K})=4186\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

$$1\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{K})=1.1630\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

导热率 $1\text{kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{K})=1.1630\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

热耗率 $1\text{kcal}/(\text{kW}\cdot\text{h})=4.1868\text{kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$

$$1\text{J}=0.23885\text{cal}$$

$$1\text{W}=0.23885\text{cal}/\text{s}$$

$$=0.859845\text{kcal}/\text{h}$$

$$1\text{J}/\text{kg}=0.23885\times 10^{-3}\text{kcal}/\text{kg}$$

$$1\text{J}/\text{K}=0.23885\times 10^{-3}\text{kcal}/\text{K}$$

$$1\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})=0.23885\times 10^{-3}\text{kcal}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$1\text{W}/\text{m}^2=0.23885\times 10^{-4}\text{cal}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$$

$$=0.859845\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$$

$$1\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})=0.23885\times 10^{-4}\text{cal}/(\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{K})$$

$$=0.859845\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{K})$$

$$1\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})=0.859845\text{kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{K})$$

$$1\text{kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})=0.23885\text{kcal}/(\text{kW}\cdot\text{h})$$

目 录

前 言

本卷编写说明

常用物理量的符号、量的名称、单位名称、单位符号

常用计量单位换算表

第1章 汽轮机组总论

第1节 汽轮机组的热力循环与效率	1
1.1.1 理想蒸汽热力循环	1
1.1.2 效率	5
1.1.3 热经济指标	6
第2节 汽轮机型式、参数与系列	8
1.2.1 分类及型号编制法	8
1.2.2 汽轮机参数与系列	9
第3节 汽轮机组热力系统	11
1.3.1 原则性热力系统	11
1.3.2 热平衡算法	13

第2章 汽轮机通流部分热力计算

第1节 汽轮机通流部分设计计算	20
2.1.1 平面叶栅	20
2.1.2 级的热力计算	22
2.1.3 多级汽轮机的热力计算	31
2.1.4 轴向推力计算及其平衡	35
第2节 汽轮机通流部分变工况计算	36
2.2.1 喷嘴变工况特性	36
2.2.2 级组变工况计算	37
2.2.3 通流部分变工况特性	38
2.2.4 通流部分变工况计算	39
2.2.5 通流部分变工况对轴向推力的影响	42

第3章 汽轮机零件强度与叶片振动

第1节 动叶片强度	44
3.1.1 动叶片的组成	44
3.1.2 强度计算的基本原则	45
3.1.3 均匀蒸汽力产生的弯应力	45
3.1.4 离心力引起的应力	48

3.1.5 叶根和轮缘的应力	50
3.1.6 材料与强度校核	52
第2节 叶片振动与调试	53
3.2.1 基本概念	53
3.2.2 叶片振动计算	54
3.2.3 叶片振动测量	59
3.2.4 叶片的调频	60
3.2.5 叶片振动强度安全准则	61
3.2.6 叶片常见事故及处理	67
第3节 隔板强度	69
3.3.1 结构	69
3.3.2 计算的一般原则	70
3.3.3 强度和挠度的计算	71
3.3.4 隔板加压试验	73
3.3.5 材料与强度考核	75
第4节 汽缸、法兰、螺栓强度	76
3.4.1 汽缸壁	76
3.4.2 法兰	77
3.4.3 螺栓	77
3.4.4 材料与许用应力	79
第5节 叶轮强度与振动	80
3.5.1 结构	80
3.5.2 受力分析	80
3.5.3 强度计算	81
3.5.4 叶轮的振动	84
3.5.5 材料与许用应力	86

第4章 汽轮发电机组的振动

第1节 机械振动及测量	87
4.1.1 机械振动的表示方法	87
4.1.2 振动谐波分析	90
4.1.3 转轴振动与轴承座振动	91
4.1.4 振动标准	91
第2节 转子的临界转速与轴系扭振	94
4.2.1 转子临界转速计算方法简介	94
4.2.2 临界转速测定方法	95
4.2.3 影响临界转速的因素	96
4.2.4 轴系扭转振动	96
第3节 振动诊断	98
4.3.1 强迫振动的起因及机理	98
4.3.2 自激振动的起因及机理	99
4.3.3 轴承座轴向振动的起因及机理	103

4.3.4 诊断方法	103
第4节 转子找动平衡	103
4.4.1 转子动平衡方法	104
4.4.2 轴系平衡特点	108

第5章 调节、保安、油系统

第1节 调节系统	111
5.1.1 静态特性	111
5.1.2 动态特性	113
5.1.3 主要部件	117
5.1.4 调节系统常见故障及处理	132
第2节 保安系统	133
5.2.1 系统结构	133
5.2.2 超速限制保安装置	134
5.2.3 其他保护装置	138
5.2.4 保安系统常见故障及处理	139
第3节 油系统	140
5.3.1 油系统类型	140
5.3.2 主要设备	141
5.3.3 油系统常见故障及处理	144
第4节 调节、保安系统的试验	145
5.4.1 试验条件和仪表要求	145
5.4.2 转子处于静止状态下的试验	146
5.4.3 空负荷试验	146
5.4.4 带负荷试验	147
5.4.5 甩负荷试验	147
5.4.6 面积积分法测量系统动态飞升转速	148
第5节 典型系统	148

第6章 汽轮机的运行

第1节 汽轮机的启动与停机	157
6.1.1 启动方式及其特点	157
6.1.2 冷态启动各主要阶段的主要操作	158
6.1.3 汽轮机的日常维护与变压运行	162
6.1.4 汽轮机的停机	163
第2节 启停过程中热应力、热膨胀、热变形及寿命管理	165
6.2.1 汽轮机热应力	165
6.2.2 汽轮机热膨胀	166
6.2.3 汽轮机热变形	169
6.2.4 汽轮机寿命管理	170
第3节 几种典型事故及其预防	172

第4节 国产汽轮机性能与热力系统	178
6.4.1 国产300MW汽轮机	178
6.4.2 国产200MW汽轮机	192
6.4.3 国产125MW、100MW汽轮机	204
6.4.4 国产50MW汽轮机	212

第7章 汽轮机的热力试验

第1节 试验目的	228
第2节 试验用热力系统及测点布置	228
7.2.1 试验用热力系统	228
7.2.2 测点选择和布置原则	230
7.2.3 试验规程和精确度等级	231
第3节 测量方法和仪表	232
7.3.1 常用仪表	232
7.3.2 电功率的测量	233
7.3.3 流量的测量	236
7.3.4 压力的测量	240
7.3.5 温度的测量	243
7.3.6 巡回检测及数据处理装置的使用	244
第4节 试验的进行	245
7.4.1 试验用热力系统的隔离	245
7.4.2 试验条件的稳定	245
7.4.3 试验持续时间	246
第5节 试验结果	247
7.5.1 试验结果的表述形式	247
7.5.2 原始记录的处理	248
7.5.3 测量值的合理性分析	248
7.5.4 热耗率的计算	249
7.5.5 汽轮机组的实际性能水平(修正热耗率)	251
第6节 试验结果的误差	254
7.6.1 要点简介	254
7.6.2 直接测量值的误差	255
7.6.3 间接测量值的误差	255
7.6.4 热耗率误差算法示范	257
7.6.5 中间再热式汽轮机热耗率误差的影响系数和计算实例	259

第8章 凝汽设备

第1节 凝汽设备的功用、原理及凝汽器技术数据	261
8.1.1 凝汽设备的功用及其组成	261
8.1.2 工作原理	261
8.1.3 凝汽器的型号和技术数据	261