

实用 热工 手册

马建隆 宋之平等编

水利电力出版社

12.5-

445

实用热工手册

马建隆 宋之平等编

水利电力出版社

实 用 热 工 手 册

马建隆 宋之平 等编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 26印张 687千字

1988年8月第一版 1988年8月北京第一次印刷

印数00001—12420册 定 价9.00元

ISBN 7-120-00100-0/TK·50

内 容 提 要

本手册主要是根据从事热能动力专业工作的广大工程技术人员和院校师生的需要而编写的。全书着重介绍有关热能动力设备及火力发电厂运行与设计中的实用基础知识、基本技术资料与计算方法。在保证全书完整和系统的前提下，内容力求通用、简明、实用。

本书可作为热力工程技术人员的工具书，也可供院校师生参考。

27/6/11

前 言

热工是热能、动力领域内的一项基础技术，在电力、机械、冶金、轻纺和化工等众多工业部门中有着广泛的应用。随着我国四个现代化建设的迅速发展，对热工技术的需要更加迫切。

本手册正是为了满足从事热力工程专业的广大工程技术人员和院校师生在实际工作中的需要而编写的。全书着重介绍有关热能设备及热能动力厂运行与设计中的实用的基础知识、基本技术资料 and 计算方法。在编写过程中力图做到选材新颖、内容翔实、表述简明扼要、重在实用。

本书共分十三章，分别由宋之平（第一、二章）、吴民强（第三、五章）、刘志昌（第四章）、张鸿坚（第六章）、马建隆（第七、八、十、十一章）、徐振远（第九章）、何适生（第十二章）、沈自钧、徐书松（第十三章）编写，最后由马建隆、宋之平统稿。

本书经水利电力部科技司邱长清高级工程师进行了全面审阅，并提出了宝贵的意见。

限于编者的水平，手册中错误与不妥之处望读者指正。

编者

1987年3月

目 录

前 言

第一章 常用资料	1
1.1 字母符号	1
1.1.1 汉语拼音字母	1
1.1.2 希腊字母	1
1.2 单位及其换算	2
1.2.1 单位与量纲	2
1.2.2 单位制	2
1.2.3 我国的法定计量单位	3
1.2.4 单位换算式	6
1.3 常用的一些物理常数	11
第二章 物质的热物理性质	12
2.1 基本概念	12
2.1.1 常用的状态参数	12
2.1.2 常用的热物理性质	12
2.1.3 热力学的基本定律	14
2.2 理想气体的性质	15
2.2.1 理想气体及其状态方程	15
2.2.2 理想气体的内能、焓和熵	15
2.2.3 理想气体的比热	21
2.2.4 干空气在常压下的热物理性质	24
2.2.5 气体的热物理性质	25
2.3 液体和蒸汽的热物理性质	32
2.3.1 饱和水与饱和水蒸汽的比容、比内能、比焓和比熵	32
2.3.2 饱和水与饱和水蒸汽的其他热物理性质	44
2.3.3 过热水蒸汽的比容 v 、比内能 u 、比焓 h 、比熵 s	48
2.3.4 过冷水与过热水蒸汽的其它热物理性质	56

2.3.5	其他液体的热物理性质	61
2.3.6	几种制冷剂的饱和蒸汽表	64
2.3.7	一些制冷剂的其他热物理性质	67
2.4	固体材料的热物理性质	68
2.4.1	金属与合金的密度 ρ 、比热 c 、导热系数 λ 、导热系数 α	68
2.4.2	保温与建筑材料的密度 ρ 、比热 c 、导热系数 λ 、导热系数 α	74
2.4.3	常用材料的表面黑度	76
第三章 材料力学基础与常用材料		79
3.1	材料力学基础	79
3.1.1	各种平面截面的几何特性	79
3.1.2	平面弯曲时梁的应力与变形	80
3.1.3	圆形平板弯曲时应力及挠度的计算	94
3.1.4	长方形平板弯曲时应力及挠度的计算	98
3.1.5	轴的计算	98
3.1.6	圆筒、球、旋转薄圆盘的应力和变形的计算公式	100
3.1.7	螺旋弹簧的计算	106
3.1.8	压杆的临界载荷及临界应力的计算	108
3.2	常用材料	110
3.2.1	Fe-Fe ₃ C相图及硬度、强度的换算	110
3.2.2	黑色金属材料	118
3.2.3	黑色金属型材	152
3.2.4	有色金属材料	181
3.2.5	润滑材料	186
第四章 流体力学		197
4.1	流体的一些性质	197
4.1.1	流体的粘性	197
4.1.2	液体的表面性质	198
4.2	流体的平衡	201
4.2.1	作用于流体的力	201
4.2.2	流体平衡微分方程	201
4.2.3	静止流体内任一点的压力计算公式	201

4.3 管内定常流动的基本方程	202
4.3.1 定常流动的连续性方程	202
4.3.2 定常流动的伯努里方程	202
4.3.3 定常管流的动量方程	204
4.4 管内流动的阻力计算	204
4.4.1 能量损失及计算公式	204
4.4.2 流动光滑管和流动粗糙管	205
4.4.3 沿程阻力系数	209
4.4.4 局部阻力系数	209
4.4.5 管径的确定和允许流速	233
4.5 绕流物体的阻力	234
4.5.1 阻力系数	234
4.5.2 几种不同形状物体的阻力系数	235
4.5.3 球状粒子的沉降速度	236
第五章 泵与通风机	246
5.1 泵	246
5.1.1 泵的分类及工作原理简述	246
5.1.2 几种常用泵的使用范围	246
5.1.3 叶轮泵的基本性能参数	251
5.1.4 相似定律和比转数	251
5.1.5 汽蚀与允许吸上真空高度、允许汽蚀余量	255
5.1.6 叶轮式泵的性能曲线	261
5.1.7 泵的运行工况点(工作点)	263
5.1.8 叶轮式泵的工况调节	264
5.1.9 提高泵的运行效率和可靠性的主要措施	267
5.2 通风机	268
5.2.1 通风机的定义和分类	268
5.2.2 通风机的基本性能参数	268
5.2.3 通风机的比转数	268
5.2.4 同系列通风机在尺寸、转速和气体密度不同时,性能 参数的换算公式	269
5.2.5 通风机的无因次性能参数	272
5.2.6 离心式通风机的名称和型号	272

5.2.7	通风机的性能曲线	273
5.2.8	通风机的运行工况点(工作点)	276
5.2.9	通风机的合理工作区域	278
5.2.10	通风机运行工况的调节	279
5.2.11	提高通风机运行经济性的主要措施	279
第六章	传热学基础与换热器	289
6.1	热传递的基本定律	289
6.1.1	热传导和傅里叶定律	289
6.1.2	热辐射和斯蒂芬-玻尔兹曼定律	289
6.1.3	热对流和牛顿冷却定律	290
6.2	稳定导热的计算	290
6.2.1	导热微分方程式	290
6.2.2	导热的热流密度一般表达式	291
6.2.3	无内热源一维稳定导热过程的导热量计算公式	292
6.2.4	无内热源一维稳定导热过程中物体的温度分布	293
6.2.5	接触热阻	294
6.2.6	具有均匀、恒定内热源大平壁的稳态导热计算	294
6.3	辐射换热计算	295
6.3.1	物体表面之间的辐射换热计算	295
6.3.2	辐射角系数	297
6.4	传热过程的计算	299
6.4.1	传热过程和传热系数的计算	299
6.4.2	传热温压	300
6.4.3	各种流动情况下对流换热系数的计算	303
6.4.4	污垢热阻	316
6.5	热传递过程的增强或削弱	317
6.5.1	肋片的应用及肋片效率	317
6.5.2	热绝缘	319
6.6	换热器的热计算	320
6.6.1	换热器热计算的基本公式	320
6.6.2	换热器流程的选择	320
6.6.3	流速的选择	321
6.6.4	换热器传热系数的计算	322

6.6.5	用平均传热温压法进行换热器热计算	323
6.6.6	用 ϵ -NTU法进行换热器热计算	323
6.7	火力发电厂常用的换热器	325
6.7.1	冷油器	325
6.7.2	高压加热器	326
6.7.3	中压加热器	330
6.7.4	低压加热器	332
6.7.5	其它换热器	336
第七章	燃料、燃烧与煤粉制备	341
7.1	动力燃料	341
7.1.1	燃料的分类	341
7.1.2	燃料的成分	342
7.1.3	燃料的发热量	344
7.1.4	煤的分类	345
7.2	燃烧产物的计算	348
7.2.1	燃烧所需空气量和过剩空气系数	348
7.2.2	燃烧产物的成分和数量	350
7.2.3	完全燃烧方程式	351
7.2.4	根据烟气分析以确定过剩空气系数	352
7.2.5	燃烧产物的焓	353
7.3	锅炉机组的热平衡	355
7.3.1	输入锅炉的总热量 Q_r	355
7.3.2	机械未完全燃烧热损失 q_4	356
7.3.3	化学未完全燃烧热损失 q_3	357
7.3.4	排烟热损失 q_2	357
7.3.5	锅炉散热损失 q_5	359
7.3.6	炉渣带走的物理热损失 q_6	359
7.3.7	锅炉机组的有效利用热量 Q_l	359
7.4	煤粉制备	360
7.4.1	磨煤方法和煤的可磨性系数	360
7.4.2	煤粉的性质	362
7.4.3	磨煤机	364
7.4.4	制粉系统	378

7.4.5 制粉系统的热力计算	381
第八章 锅炉设备	391
8.1 层燃炉	391
8.1.1 手烧炉	391
8.1.2 机械化及半机械化层燃炉	392
8.1.3 层燃炉的选择	396
8.1.4 链条炉强化着火燃烧的措施	396
8.2 煤粉炉	399
8.2.1 燃烧器	399
8.2.2 点火装置	406
8.2.3 固态和液态排渣煤粉炉炉膛的计算特性参数	407
8.2.4 采用液态排渣煤粉炉须注意的事项	416
8.3 旋风炉	410
8.3.1 旋风炉的型式	410
8.3.2 旋风筒的容积热负荷	412
8.3.3 旋风炉和双室炉炉膛的计算特性	414
8.4 锅炉整体布置	417
8.4.1 炉膛出口烟温的选择	417
8.4.2 对流受热面工质及烟气流速的选择	417
8.4.3 排烟温度与热风温度的选择	419
8.4.4 对流及屏式受热面的选择	420
8.4.5 锅炉尾部受热面的布置	421
8.4.6 我国锅炉容量和参数的系列	421
8.5 自然循环锅炉的水循环计算	422
8.5.1 运动压头 $S_{y,z}$ 与有效压头 $S_{y,z}$	422
8.5.2 循环流速 w_c	423
8.5.3 循环倍率 K	423
8.5.4 水循环的计算步骤	425
8.5.5 下降管流阻及其计算	426
8.5.6 汽包中锅水欠焓的计算	429
8.5.7 开始沸腾点高度的计算	431
8.5.8 循环回路及各区段蒸发量的计算	433
8.5.9 上升管压差的计算	433

8.5.10	复杂回路循环特性曲线的绘制	436
8.5.11	计算中所假设数据的校验	438
8.5.12	循环安全性的检查和分析	439
8.5.13	提高水循环可靠性的措施	444
8.6	强制循环锅炉和低循环倍率锅炉的水动力计算	446
8.6.1	两种锅炉水动力计算的特点	446
8.6.2	水动力计算的方法	447
8.6.3	水动力计算后的检验	449
8.7	直流锅炉的水动力计算	449
8.7.1	直流锅炉水动力计算的特点	449
8.7.2	水平管圈蒸发受热面的水动力特性	450
8.7.3	一次上升垂直管屏蒸发受热面的水动力特性	455
8.8	蒸汽净化	457
8.8.1	概论	457
8.8.2	蒸汽溶盐的规律和蒸汽流程中盐类的沉淀	457
8.8.3	汽水分离装置	460
8.8.4	蒸汽的清洗	460
8.8.5	排污及分段蒸发	466
8.9	锅炉的炉墙	470
8.9.1	锅炉炉墙的结构	470
8.9.2	炉墙材料及其性能	473
8.10	锅炉承压元件的强度计算	479
8.10.1	安全系数与许用应力	479
8.10.2	受热面管子的强度计算	483
8.10.3	汽包和圆筒形联箱的强度计算	486
8.10.4	汽包封头的强度计算	490
8.10.5	圆形平端盖和平堵头的强度计算	492
8.11	锅炉的维修与起重	493
8.11.1	绳索及起重工具	493
8.11.2	常用简单起重机具	502
8.11.3	零件的找正和转动机械的找中心	511
8.11.4	转子的平衡	515
第九章 汽轮机		521

9.1	总论	521
9.1.1	汽轮机的分类	521
9.1.2	汽轮机型号及编制方法	521
9.1.3	蒸汽参数	522
9.1.4	汽轮发电机效率	523
9.1.5	热经济性指标	525
9.2	汽轮机通流部分热力特性	526
9.2.1	叶栅	526
9.2.2	级的损失与效率	528
9.2.3	国产典型汽轮机一般热力特性和技术资料	533
9.2.4	变工况下汽轮机的热力核算	533
9.3	汽轮机结构与强度	540
9.3.1	本体结构与系统	540
9.3.2	动叶片强度	544
9.3.3	叶片振动	557
9.4	调节保安系统	573
9.4.1	国产典型调节系统	573
9.4.2	调节系统的静态特性	573
9.4.3	调节系统的动态特性	576
9.4.4	保安系统	579
9.4.5	调节保安系统计算举例	580
9.5	凝汽设备	585
9.5.1	国产凝汽器技术特性	585
9.5.2	表面式凝汽器的热力计算与阻力计算	585
9.5.3	凝汽器管子振动计算	592
9.5.4	射水抽气器计算	593
第十章	火力发电厂	599
10.1	火力发电厂的厂址选择	599
10.1.1	火力发电厂的类型	599
10.1.2	火电厂厂址选择的基本原则	599
10.1.3	场地	601
10.1.4	燃料供应	601
10.1.5	所需水量	604

10.1.6	冷却设备和循环水沟	613
10.1.7	交通运输	614
10.1.8	电厂除灰	615
10.1.9	厂区地质、气象、占地面积、人员及电厂投资参考 指标	624
10.2	电厂总平面布置	626
10.2.1	总平面布置的基本原则	626
10.2.2	主厂房布置	626
10.2.3	燃料设施	637
10.3	厂区管线布置	639
10.4	厂区的绿化和美化	642
第十一章	环境保护	643
11.1	大气污染的发生源和大气质量标准	643
11.1.1	大气污染发生源	643
11.1.2	大气污染物质及其对人体的危害	644
11.1.3	环境质量标准	647
11.2	燃料燃烧技术和环境保护	649
11.2.1	燃料燃烧后所产生的污染物质	649
11.2.2	锅炉燃烧技术和环境保护	650
11.3	燃烧烟气的净化和利用	660
11.3.1	废气的大气扩散	660
11.3.2	粉尘最大地面浓度和最大浓度距离	661
11.3.3	除尘装置	665
11.3.4	二氧化硫的净化和利用	667
11.3.5	氧化氮(NO_x)的净化和利用	670
11.4	防止水质污染	672
11.5	防止噪声污染	674
11.6	绿化与环境保护	675
第十二章	热工参数测量技术	678
12.1	测量技术基础知识	678
12.1.1	测量技术在生产中的作用	678
12.1.2	仪器及其质量指标	678

12.1.3 测量结果·····	683
12.2 压力测量·····	687
12.2.1 压力和压力差·····	687
12.2.2 液柱式压力计·····	687
12.2.3 活塞式静重压力计·····	690
12.2.4 弹性压力表·····	694
12.2.5 测压仪表的安装·····	702
12.3 流量测量·····	705
12.3.1 概述·····	705
12.3.2 节流式流量计·····	705
12.3.3 动压测量管(皮托管)·····	732
12.4 温度测量·····	743
12.4.1 国际实用温标·····	743
12.4.2 常用温度计·····	743
12.4.3 热电偶·····	748
第十三章 热工自动调节仪表与系统·····	773
13.1 DDZ-II型电动单元组合仪表·····	773
13.1.1 DDZ-II型仪表的基本组成·····	773
13.1.2 DDZ-II型仪表的统一性能指标·····	773
13.1.3 DDZ-II型仪表的类型及主要产品的型号、规格·····	775
13.2 组装式电子综合控制装置·····	781
13.2.1 TF型组装仪表·····	781
13.2.2 MZ型组装仪表·····	787
13.2.3 SPEC型组装仪表·····	787
13.3 常见的电厂热工自动调节系统·····	805
13.3.1 汽包锅炉的自动调节系统·····	806
13.3.2 直流锅炉的自动调节系统·····	809
13.3.3 单元机组的负荷自动调节系统·····	812
13.4 计算机在电厂的应用与展望·····	812

第一章 常用资料

1.1 字母符号

1.1.1 汉语拼音字母

表 1-1

字母	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
读音	阿	玻	雌	得	鹅	佛	哥	喝	衣	基
字母	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
读音	科	勒	摸	讷	喔	坡	欺	日	思	特
字母	u	v	w	x	y	z	ü	zh	ch	sh
读音	乌			希		资	迂	知	吃	诗
字母	ai	ei	ao	ou	an	en	ang	eng	ong	
读音	哀	杯的 韵母	熬	欧	安	恩	昂	亨的 韵母	轰的 韵母	

注 1.er读为儿,作韵尾时,写成r。

2.v只用于拼写外来语。

1.1.2 希腊字母

表 1-2

字母	A α	B β	Γ γ	Δ δ	E ε	Z ζ	H η	Θ θ
名称	alpha	beta	gamma	delta	epsilon	zeta	eta	theta
字母	I ι	K κ	Λ λ	M μ	N ν	Ξ ξ	O ο	Π π
名称	iota	kappa	lambda	mu	nu	xi	omicron	pi
字母	P ρ	Σ σ	T τ	Υ υ	Φ φ	X χ	Ψ ψ	Ω ω
名称	rho	sigma	tau	upsilon	phi	chi	psi	omega

1.2 单位及其换算

1.2.1 单位与量纲

当对事物作定量描述时,在量度中所规定的作为1的标准量,称为单位。对于每一个物理量,其数值就是该量与其标准量的比值。比如常用米作为计量长度的单位,秒作为计量时间的单位等等。单位与其被量度的量应是相同种类的。量在种类上是多种多样的,因而单位也有不同的种类,每一种类中又可有不同大小的单位。

所谓量纲,本指量的种类的名称。由于各类量之间存在着一系列的关系,因而在实用上只需要对少数几个基本种类的量命名,其他种类的量则可从上述关系中导出。比如取长度 L 、质量 M 和时间 T 作为基本量,则体积可用 L^3 表示,速度可用 LT^{-1} 表示,能量可用 ML^2T^{-2} 表示。这些用基本量的量纲符号表达的代数式,称为量纲式,在习惯上分别简称为体积、速度、能量的“量纲”。基本量的选择具有一定的任意性,基本量不同时,其量纲也相应地改变。对于选定的基本量,量纲表示着某量在本质上的类别。

1.2.2 单位制

选择适当的与足够的基本量,对每个基本量都相应地规定一个单位,称为基本单位。这样,任何种类量的单位均可通过诸量间的一定关系导出,称为导出单位。基本单位与其相应的导出单位的总合,组成一个单位系统,称为单位制。比如选长度、力、时间为基本量,选米、公斤(力)、秒为基本单位组成的单位制,称为工程单位制。选长度、质量、时间为基本量,选米(或厘米)、公斤、秒为基本单位,称为绝对单位制,为科学上所常用。

应当指出的是,“公斤(力)”和“公斤”,是两个不同种类的基本量,分别属于两个不同的单位制。但在习惯上常把“公斤(力)”简称为“公斤”,从而导致概念上的混乱,常会引起计算上的错误。