

热工基础 与造纸节能

• 刘秉钺 • 杨汝男 • 编著 •

• 中国轻工业出版社 •

热工基础与造纸节能

刘秉钺 杨汝男 编著

中国轻工业出版社

(京) 新登字 034 号

内 容 提 要

本书介绍了热力学和传热学的基本知识, 锅炉设备、汽轮机, 还介绍了使用蒸汽为动力的一般节能措施及热泵, 对新能源的一些基本知识也简略地作以介绍。着重结合制浆造纸工艺过程介绍了各工序的节能措施。

本书可供大中专院校造纸专业的学生作为选修课教材使用, 也可供从事制浆造纸生产的工程技术人员、企业管理人员及能源工作者参考。

热工基础与造纸节能

刘秉钺·杨汝男 编著

责任编辑 林媛

•

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街6号)

北京朝阳广益印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

•

787×1092毫米 1/32 印张: 11.25 字数: 306千字

1994年5月 第1版第1次印刷

印数: 1—3 000 定价: 11.90元

ISBN 7-5019-1573-3/TS·1030

前 言

现代工业的任何生产过程都离不开动力，而提供大量的经济性很高的动力对于发展生产具有十分重要的意义。尤其在当前能源紧缺的情况下，提高能量的有效利用，节约燃料就更为迫切。

制浆造纸工业是消耗能量很大的行业之一，工艺生产过程不仅需要大量的动力，而且还需要参数不等的热能，所以作为工艺技术人员、管理干部、技术工人掌握一定的热工基础知识及其节能的方法和途径是十分必要的。一般的制浆造纸厂都有工业锅炉，合理用能、节约能源已成为影响造纸工业发展的一个重要因素。目前国内在造纸行业尚未有系统介绍热工知识和节能的专著。为此，我们根据多年的教学经验编著此书。

本书介绍了热力学和传热学的基本知识，较为详细地介绍了锅炉设备及有关的知识。对几种动力循环及汽轮机也作了简单介绍，同时对新能源也作了概括介绍，对以蒸汽为动力或热源的一般节能措施作了阐述，还介绍引荐了热泵的节能效果。特别是结合制浆造纸工艺过程，逐个工段地介绍了节能措施。

本书不仅可以供大中专院校制浆造纸专业的学生使用，还可作为管理干部、工程技术人员及技术工人的参考书。本书共分六章，除第六章的第一、第四、第五节为杨汝男同志编写外，其余部分均为刘秉铎同志编写。本书承蒙张运展教

授审阅，并提出了许多宝贵的意见，在此表示深切的谢意。

由于我们的水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请读者给予指正和帮助。

编著者

目 录

绪论	1
第一章 热工基础知识	3
第一节 基本概念	3
一、热力系统	3
二、热力平衡状态	4
三、工质的基本状态参数	6
四、理想气体的状态方程式	9
五、热力过程	10
六、热量和功	11
七、比热容	12
第二节 热力学第一、第二定律	14
一、能和热能	14
二、能量守恒及转换定律	16
三、热力学第一定律的数学表达式	17
四、稳定流动能量方程式应用举例	19
五、焓	21
六、热力学第二定律	22
七、熵增与能量的贬值	24
八、热力循环和热效率	26
九、卡诺循环	27
第三节 工质的性质	29
一、理想气体的热力过程	29
二、混合气体	36

三、水蒸汽	39
四、湿空气	46
第四节 传热的实用计算	52
一、热量传递的三种基本方式	52
二、传热的几个基本定律	53
三、传热的实用计算	56
第二章 锅炉设备	63
第一节 锅炉设备的基本知识	63
一、锅炉的发展概况	63
二、锅炉的用途和分类	65
三、锅炉设备的组成	66
四、锅炉设备的工作过程	69
五、锅炉设备的工作特性	71
六、锅炉的型号	72
第二节 锅炉的燃料及燃烧	74
一、燃料的组成成分	75
二、燃料成分的表示	75
三、煤的燃烧特性和类别	77
四、燃料燃烧过程	79
五、燃料燃烧的必要条件	80
第三节 水质处理	82
一、锅炉给水的水质要求	83
二、锅炉给水的水质处理	85
第四节 锅炉的传热和蒸汽的产生	90
一、锅炉传热	90
二、锅炉水循环	92
三、汽水分离	95
第五节 燃烧设备——炉子	96
一、层燃炉	96

二、室燃炉	102
三、沸腾炉	104
第六节 锅炉的辅助受热面及通风、消烟除尘	106
一、锅炉辅助受热面	106
二、锅炉的通风	108
三、锅炉的消烟除尘	109
第七节 锅炉设备的运行及经济性	110
一、锅炉设备的安全运行	110
二、锅炉运行的经济性	112
三、锅炉热效率	114
四、锅炉热损失及减少热损失的途径	116
第八节 锅炉的选择	122
一、锅炉容量的确定	123
二、锅炉工作压力的确定	125
三、锅炉类型与台数的选择	126
第三章 工业企业蒸汽动力装置	129
第一节 动力循环简介	129
一、朗肯循环	129
二、回热循环	132
三、再热循环	134
四、热电循环	136
五、工业企业蒸汽动力装置	138
第二节 汽轮机	141
一、汽轮机的工作原理	141
二、速度级汽轮机和多级汽轮机	144
三、汽轮机的主要部件	146
四、汽轮机中的损失和效率	147
五、汽轮机的运行与调节	149
第四章 能源	152

第一节 能源概述	152
第二节 新能源的开发利用	158
一、原子能发电	159
二、太阳能的利用	160
三、地热的利用	165
第五章 能源的节约	168
第一节 节能概述	168
一、表示能源利用水平的常用指标	169
二、企业能量平衡	172
第二节 锅炉改造	176
一、燃烧设备的改进	178
二、土法改炉	180
三、改善传热和余热利用	186
第三节 热泵	192
一、热泵的类型及其特点	192
二、热泵的工作原理	196
三、热泵蒸发装置	200
四、热泵的应用实例	209
第四节 加强热能管理, 节约用汽	214
一、蒸汽的使用特性	214
二、蒸汽的输送	215
三、蒸汽的选用	219
四、蓄热器	221
五、加强管理, 防止漏汽	225
六、加强保温, 减少散热损失	227
七、设备加盖, 减少表面散热	231
八、加强给水处理, 减少排污热损	231
第六章 造纸厂的节能	233
第一节 造纸厂节能概述	233

一、造纸工业能源的构成	234
二、造纸工业的能源消耗	234
三、造纸厂节能的综合分析	237
四、我国制浆造纸节能的主要方向	239
第二节 制浆部分的节能	240
一、原料的贮存和备料	241
二、蒸煮	244
三、浆料的洗涤、筛选和漂白	257
第三节 碱回收部分的节能	259
一、黑液的蒸发系统	260
二、碱回收炉系统	266
三、石灰回转窑的节能	271
四、直接苛化法	274
第四节 高得率制浆的节能	276
一、直接降低能耗的措施	276
二、低能耗制浆的新技术和新设备	279
三、热磨机械浆(TMP)废热的回收和利用	282
第五节 抄纸部分的节能	286
一、打浆系统的节能	286
二、网部的节能	293
三、纸机压榨部的节能	307
四、纸机干燥部的节能	316
五、纸机的计算机控制	324
六、中性或碱性抄纸的节能	324
附表一、饱和水蒸汽表(按温度排列)	329
附表二、饱和水蒸汽表(按压力排列)	332
附表三、过冷水和过热蒸汽表	340
参考文献	344

绪 论

在人类利用能源的长期历史进程中，直到目前为止，利用最多的仍是热能。燃料燃烧把化学能转变为热能，广泛应用于生产和生活。热能的利用不外乎两种方式：一种是直接利用，把热能用于直接加热物料；另一种是间接利用，把热能转换成为机械能，或再转换成为电能。热能利用的实质是能量的转换和热量的传递。其中就包含着热能利用的上述两种方式。

热工学可认为是热能工程学的简称。它所研究的是工程技术中如何合理而有效地利用热能，它是一门技术科学，它的建立和发展又与热工技术的发展紧密相关。

人类在长期的生产实践中逐步认识和掌握了热能利用的规律，使之有效地为自己服务。同时，正是由于热能利用，对人类文明和社会生产力的发展也起了非常重大的推动作用。

“摩擦生火第一次使人支配了一种自然力”(恩格斯《反杜林论》)，这是人类利用热能的开始。从此，人类可以利用火来煮熟食物、取暖和照明，可以用火来冶炼矿石，获得金属，用以制造劳动工具，使农业生产得到迅速发展。但是，当时人类只能把草木燃料中的化学能转变为热能，却不会把火所产生的能量转换成为动力以替代或减轻人们的体力劳动。直到18世纪中叶，热能的利用还仅局限于作为加热的能源。

1784年英国人詹姆斯·瓦特 (James Watt) 在前人研

制的基础上制成较为良好的热机——蒸汽机。蒸汽机的广泛使用，是热能利用技术的一个飞跃。摩擦生火完成了从机械能到热能的转换，而蒸汽机则成功地使热能转换成机械能。从此，提供热能的燃料也能提供动力，大大地推进社会生产力的发展，导致第一次工业革命的到来，同时也推动了能量转换等热工理论的研究。

在现代工业中，任何部门的生产过程都是由许多基本过程组织起来的，这个生产过程的生产水平也就决定于这些基本过程的生产水平。在这些基本过程中，动力工业占有极重要的地位，它供应生产所必须的原动力。因此，它是工业中任何生产过程所必备的基本过程之一。没有动力，就不可能进行任何生产，要提高生产力，就必须有大量的和经济性很高的动力作保证。

造纸工业属于能耗较高的行业，从备料直至成纸需要消耗大量的热能和电能。因此如何提高热能的直接有效利用或热能转换的有效利用，对节约燃料消耗，发展生产具有十分重大的意义。当前世界各国造纸行业面临的问题是原料紧缺，污染严重，能源涨价和能源危机。如何解决好能源问题将影响到造纸行业的存在和发展。

本书介绍了以工程热力学和传热学为主的热工基础知识，以锅炉设备和汽轮机为主的热工设备，以及节能的一般措施和结合制浆造纸工艺过程的节能措施。

第一章 热工基础知识

热工基础知识主要包括两大方面：热力学和传热学。

热力学是研究有关能量、特别是热能的性质和规律（主要是转换规律）的科学。

传热学是研究热量在传递过程中的有关规律的科学。

热能在转换和传递过程中，必须遵守热力学第一、第二定律和传热的三个基本定律。

能量的转换和传递是通过必要的设备和一定的媒介物质来实现的。设备就是各种热机、换热器、冷凝器、蒸发塔、干燥箱、烘缸等，统称为热工设备；媒介物质就是载能体，如水蒸汽、烟气、空气和水等，统称为工质。本章即研究上述内容。

第一节 基本概念

一、热力系统

在研究和分析热力学问题时，首先要根据研究任务的具体要求，选取某一定范围内的物体作为研究对象，这种研究对象叫做热力系统，简称系统，也叫做体系。系统以外与系统发生作用的物体，叫做外界或环境。热力系统与外界之间的分界面称为边界或界面。显然，所谓热力系统是指边界内所要研究的物体的总和。热力系统与外界之间的边界可以是真实的，也可以是假想的，可以是固定不变的，也可以是变动

的。例如在考察蒸汽管道的散热情况时，就是把管道内的蒸汽看作系统，管道内壁面和进出管道的截面就是真实的边界。

在一般情况下，热力系统与外界总是处于相互作用之中，彼此可以交换能量和质量，也可以没有能量和质量的交换。按热力系统与外界进行质量交换的情况可将热力系统分为：

封闭系统——与外界没有物质交换的系统，也就是说系统内的质量保持恒定不变，但可有能量交换。例如活塞式发动机（内燃机、蒸汽机等）在进汽（气）后、排汽（气）前，对气缸内的汽（气）体可视为封闭系统；蒸煮锅在装料后、喷放前可视为封闭系统。

开口系统——与外界有物质交换而且也有能量交换的系统，也就是说系统内的物质总量可以保持恒定或发生变化。几乎所有的化工设备、动力设备、热工设备，为了保持连续生产都有工质不断地流进流出，均属开口系统。

按热力系统与外界进行能量和质量交换的情况，又可将热力系统分为：

绝热系统——系统与外界无热量交换，但可以有功量及质量的交换。如蒸汽在汽轮机中高速运动，由于时间短促来不及发生热交换，可当作绝热系统。

孤立系统——与外界既无能量（包括功量和热量）又无质量交换的系统。这是一种科学的抽象，在分析问题时有重要的理论意义。

二、热力平衡状态

为了对热力系统中能量转换的情况进行分析，首先必须能够正确地描述系统的热力状态。所谓热力状态是指在某一

瞬时，系统所呈现的某种宏观物理状态。通常将标志系统所处状态的宏观物理量称为系统的热力状态参数，简称为状态参数，如压力、容积、温度等等。状态参数的值仅取决于系统的状态，而与达到这一状态所经历的途径无关。故对应于给定的状态，其状态参数都各有确定的数值。若状态参数的全部或一部分发生变化，即表明系统所处的状态发生了变化。因此，系统的状态变化，可由状态参数的变化来标志。

一个系统在不外界影响下（与外界隔绝一切联系）或处在不变的外界条件下（外界的压力、温度保持不变），经过一定的时间之后，系统的宏观状态参数达到均匀一致，不随时间而变化，这样的系统就处于热力平衡状态，或简称平衡状态。

若组成热力系统的各部分之间的温度均匀一致，则系统就处于热平衡；若热力系统的各部分之间的压力均匀一致，则系统就处于力平衡。处于热力平衡状态的系统只要不受到外界的影响，它的状态就不会随时间而变化，平衡就不会自发地破坏，这是热力平衡状态的特点。处于不平衡状态的系统由于各部分之间存在压差和温差，其状态必将随时间而改变，直至压差、温差消失。故不平衡状态，在没有外界条件的影响下，总会自发地趋于平衡状态。

一切实际的热力系统都不是处于严格的平衡状态。对于由气体组成的热力系统，在外界条件发生变化的情况下，系统能很快地自动由不平衡状态过渡到平衡状态，即系统与外界重新取得平衡，因此这种系统往往是非常接近或者可以看作是平衡状态。平衡状态下的系统，不考虑微观状态随时间变化的因素，进行分析计算时，就简便得多。工程热力学通常只研究处于平衡状态的热力系统。

三、工质的基本状态参数

在研究热力过程时，需要用压力、温度、比容、内能、焓、熵等状态参数来描述。其中温度、压力、比容可以直接或间接用仪器测量出来，且物理意义易于理解，称为基本状态参数。

1. 温度

温度是物体冷热程度的标志。按分子热运动学说，温度是大量分子平均移动动能的量度。分子平均移动动能大，温度就高；反之则低。

衡量温度的标尺叫做温标。在国际单位制(SI)中，温度测量采用热力学温标，符号为 T ，单位为开尔文 (K)。热力学温标是取水的三相点为基本定点，并定义其温度为 273.16 K。

与热力学温度并用的还有摄氏温标，符号为 t ，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。摄氏温标每 1°C 与热力学温标 1 K 的大小是相等的，但两种温标的起始点不同，摄氏温标的 0°C 是在一个物理大气压下，纯水的冰点。

摄氏温度与热力学温度数值之间的关系为：

$$T = 273.15 + t$$

2. 压力

单位面积上所受的垂直作用力称为压强，工程上叫做压力，以符号 p 表示。气体的压力是气体的大量分子在紊乱运动中对容器壁频繁撞击的结果，因而是一种平均作用力。显然它与气体分子浓度和分子平均动能有关。液体的压力除传递外压力以外，还有液体的重量本身所产生的静压力。

压力的单位很多，在国际单位制中采用帕 (Pa) 或巴

(bar)，工程单位制中采用工程大气压 (kgf/cm^2) 或以液柱 (常用的有汞柱和水柱) 的高度来表示，我国规定以帕 (Pa) 作为法定计量单位，其他压力单位均废除。压力单位的换算关系见表 1-1。

通常的压力表或真空计所指示的压力，不是气体的真正压力 (称作绝对压力)，而是绝对压力和当地大气压力的差值。当气体的绝对压力 p 高于大气压力 B 时，压力表的读数 p_k 叫做表压力，即 $p_k = p - B$ 。

当气体的绝对压力 p 低于大气压力 B 时，真空计所示读数 H 叫做真空度，即 $H = B - p$ 。

因此要确定气体的真正压力 (绝对压力)，仅知道压力表或真空计的读数是不够的，还必须知道当地大气压力 (气压计的读数)，然后通过下式计算出来：

$$p = B + p_k$$

$$p = B - H$$

大气压力是随地点、高度、气候等变化的，其值可用气压计测出。通常地面的大气压力数值往往偏离 1 气压不多，故一般工程计算中可把大气压力视为约 0.1 MPa (1 kgf/cm^2)。

3. 比容

单位质量的物质所具有的容积称为比容，以符号 v 表示，单位为 $\text{米}^3/\text{千克}$ (m^3/kg)。它表示分子运动的空间大小。即

$$v = \frac{V}{m} \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

式中 V ——体积， m^3 ，

m ——质量， kg 。