

高等学校教学用书

热 工 学

冶 金 类

尤乙照 米弗巧 郎 達 編
张如一 高魁明 刘 荣



中国工业出版社

72.54
136

高等学校教学用书



热 工 学

冶 金 类

尤乙照 米弗巧 郎 遼 編
张如一 高魁明 刘 荣

中国工业出版社

本书是根据高等工业学校冶金类“热工学”教学大纲编写的，内容包括工程热力学，蒸气动力设备（锅炉、蒸汽机、汽轮机），燃气动力设备（内燃机、燃气轮机、喷气式发动机），压气机，冶金工厂二次能源的利用和热动力厂。

热 工 学

冶 金 类

尤乙照 米弗巧 郎 遼 編
张如一 高魁明 刘 荣

*

冶金工业部工业教育司編輯（北京猪市大街78号）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张15·插頁1·字数354,000

1963年2月北京第一版·1964年4月北京第四次印刷

印数3,047—5,049·定价（科五）1.70元

*

统一书号：K15165·1942（冶金-290）

序

本书由东北工学院热工教研室和北京钢铁学院水力学热工学教研室的部分教师根据高等学校冶金类“热工学”教学大纲編成。

編写时主要注意了下列各点:

1) 为了基础技术課不致被削弱, 对工程热力学(第一篇)与热动力设备(第二、三篇)保持了基本内容和系統;

2) 热动力部門应该和冶金生产过程紧密結合着, 并使前者为后者服务, 即强化冶金生产过程, 合理利用二次能源与节省优质燃料。为此本书編入一定内容(第四篇)来体现冶金类“热工学”課程的这种特点;

3) 冶金类各专业的“热工学”課程安排在三、四年級学习, 此时学生已学过“物理”、“物理化学”和“冶金炉”等課程, 即已学过工程热力学的部分内容和传热学的内容。为了避免重复, 并照顾到課程的特点, 本书未編入传热学内容, 而对工程热力学則保持了一定的系統。

此外, 在編写中还参考了苏联“热力学”(Теплоэнергетика)教学大纲以及国内外有关书籍与文献(鞍钢設計院动力科和鞍钢动力处热力科曾对本书第四篇初稿提出許多宝贵的意見), 并較多地吸取了两教研室的教學經驗。

本书适合于60左右学时“热工学”課程使用, 对学时較少或相近专业(例如有色冶炼, 有色加工, 选矿, 金相等)的“热工学”課程, 适当地縮減第四篇中的某些内容, 也可作为教材使用。

本书是集体編写的: 尤乙照(一, 二, 三各章), 米弗巧(十七章), 郎達(緒論, 七章), 张如一(十, 十一各章), 高魁明(四, 五, 六, 十三, 十四, 十五, 十六各章), 刘荣(八, 九, 十二各章)。在編写过程中曾經一再集体討論与分任修改, 最后并由郎達和高魁明統一整理。

編者編写此种教科书尚属初次, 缺点或錯誤之处在所难免, 希望使用本书的教师多加批評与指正。

編者

1962.3.

緒 論

社会主义国民經济是一个整体，在这个整体中，各个部門是密切地相互联系着的。动力工业供应生产部門以动力（即能量），它起着保証与推动生产的作用，并且是一个先行的部門。近代生产过程最常用的能量有电能、热能和机械能。此三种能量可以互相轉換，但他們都来自自然界的动力資源。迄今已被利用的自然界动力資源有：风力，水力，热力（化学反应热，地心热），原子核反应能与太阳輻射能。后两种能的利用，在目前是先轉变为热，而后再以热的形式加以利用，故有时也列入热力之內。

在自然界热力資源中，得到广泛应用的是燃料：各种煤，頁岩，油（重油，柴油，汽油）与煤气等。燃料燃烧后得到热能，热能通过热力原动机等设备变为机械能或电能，这种得到生产所需动力的方式統称为热能动力。热能动力的历史始于18世紀中叶。1765年在俄国首先用蒸汽机带动水泵，1784年英国把蒸汽机用于工业生产。蒸汽机是最先用于生产的热力原动机，它是在生产需要的推动下經過多年探索而創造出来的。由于符合了当时生产的需要，即便于靠近生产设备，不受地区与季节的限制^①，构造简单与工作可靠等，蒸汽机很快得到广泛的应用，从而大大地推进了产业革命。产业革命带来了生产力的迅速增长，这又要求动力的供应日益增多，对原动机的质量要求亦日益提高。到19世紀末又出现了两种热力原动机：內燃机和汽輪机。近二十年来，热能动力中又出现了許多新型原动机（燃气輪机，自由活塞式发动机，喷气发动机）和高温高压的大型动力机組等，使得利用燃烧热为基础的热能动力又得到进一步的发展。到现在，热能动力已成为現代动力工业中的骨干^②，并在火箭技术中开辟着新的領域。今后热能动力还要不断地向前发展，其发展情况仍决定于生产需要，但已能看出，寻求更有效与更經济的方法，利用一切可以利用的热力資源，是热能动力今后发展的总的趋势。

在实际需要的推动下，理論研究工作得到相应的发展。起初，人們只对几个实践迫切需要的問題进行研究和整理前人的某些成果，以求得到一些重要成就。例如在創造蒸汽机（波尔松諾夫，瓦特），在建立热力学基础理論（罗蒙諾索夫，迈耶，卡諾，克劳修斯），在研究气体状态方程（波义耳，門捷列夫，凡得瓦耳）等方面都有显著成果^③。随着科学文化的发展，热能动力的理論研究逐渐深入，到20世紀初便形成了較完整的科学体系，即“研究有关热能在动力方面应用的学科”，称之为热工学。

工业企业的規模随着生产的增长日益扩大，它們所需原料，燃料与动力日益增多，而在滿足基本工艺生产过程后所排出的动力資源（二次能源）也逐渐增多。冶金工厂（尤其采用火法冶炼与热加工），除需要大量优质燃料与强大电力外，还需要不同压力的蒸汽

① 在蒸汽机出現以前使用着水力和风力。由于水力和风力受到地区与季节的限制，曾約束了生产力的发展。

② 1960年在全世界的电能总产量中，热能动力占有 $\frac{3}{4}$ 弱，在輕便工具与交通工具上占有絕大部分。

③ 我們祖国在与此有关方面也有过成就，例如火药是中国首创的，其次在公元1000年左右已有火弹（利用燃烧热能得到动能），其原理与現代喷气发动机相同。大約与此同时，民間有玩具叫“走馬灯”（利用燃气动能冲击叶片使軸迴轉）其原理又与燃气輪机相似。又如1678—1679年在北京有蒸汽汽車与汽船的試驗等等。

与空气以及煤气。同时火工工艺过程排出的二次能源种类很多，数量巨大^①。针对上述特点，冶金工厂的热能动力方面的工作者应完成三个主要任务：1）有效地供应工艺过程所需的能量（蒸汽，空气，煤气），并力求达到燃料的综合利用；2）合理地利用二次能源，并力求实现机组的工艺-动力联合化；3）适当地统一各类管网，力求节约优质燃料。根据上述任务，要求冶金工厂工程技术人员不仅应掌握热工学的基本知识，还应进一步了解热能动力在冶金工厂内具体应用的基本知识。即要求更好地把热工学的基本知识与冶金生产的特点相结合，并为强化冶金生产过程服务。这样便确定了冶金各专业的热工学的性质是基础技术课，而它的主要内容就有：1）热工学理论基础（工程热力学与传热学^②）；2）热力设备（锅炉，蒸汽机，汽轮机，燃气轮机，压气机等）；3）冶金工厂二次能源的利用与热动力厂。

旧中国是一个半封建半殖民地的国家，没有自己的动力工业，没有汽车，机车，飞机等制造业。我国在近代动力方面曾经处于极落后的境地。解放后，我国人民在党和政府的正确领导下，经过三年恢复与第一个和第二个五年计划的顺利完成，已建立了自己的动力工业基础——汽车，机车，锅炉，汽轮机，飞机等制造厂相继建成并投入生产；在全国各地新建许多发电厂与动力站；在动力机械制造方面，生产了各种中小型动力机械（蒸汽机，柴油机，汽油机，汽轮机，锅驼机等），拖拉机和中型以上的汽轮机（12000千瓦，25000千瓦，50000千瓦，100000千瓦），锅炉（75吨/时，120吨/时，230吨/时），大型机车，飞机与远洋货轮等；在发电方面，1959年发电量达415亿度，由1948年（旧中国最高发电年份，发电量为92亿度）的世界第26位跃进到第九位；在工业热工方面，我国建设的大型钢铁联合企业中，都设有热电鼓风站与统一的能量供应管网，并对二次能源已有初步的利用。综合上述，可以确信今后我国的热能动力与工业热工事业将有更大的发展。因此，热工学的基本内容将日益成为科学技术（包括冶金技术）工作者所必备的基础知识。

① 二次能源的种类与数量决定于工艺特性，详见第四篇。

② 根据课程分工，传热学在冶金炉等课程内叙述。

目 录

序	
緒論	5

第一篇 工程热力学基本知识

第一章 基本概念	7
§ 1-1 工程热力学的对象和任务	7
§ 1-2 气体的基本状态参数	8
§ 1-3 理想气体状态方程式	9
§ 1-4 混合气体	11
§ 1-5 气体的比热	13
§ 1-6 内能、焓和熵	17
§ 1-7 热力过程、可逆过程和不可逆过程	19
§ 1-8 过程的功和热量	20

第二章 热力学第一定律、热力过程的分析	23
---------------------	----

§ 2-1 能量守恒与转换定律	23
§ 2-2 热力学第一定律及其解析式	23
§ 2-3 气体稳定流动能量方程式	25
§ 2-4 热力过程的分析	27

第三章 热力学第二定律	37
-------------	----

§ 3-1 热力循环及其热效率	37
§ 3-2 卡诺循环及其在热力学上的意义	38
§ 3-3 热力学第二定律	40
§ 3-4 热力学第二定律的数学表达式及孤立系统熵的变化	41

第四章 水蒸汽	45
---------	----

§ 4-1 一般概念	45
§ 4-2 定压下水蒸汽的发生过程	46
§ 4-3 水蒸汽状态参数的确定	47
§ 4-4 水蒸汽的焓熵图 ($i-s$ 图) 及其应用	49

第五章 气体和蒸汽的流动	50
--------------	----

§ 5-1 稳定流动的基本方程式	50
§ 5-2 喷管和扩压管中气流的一般特性	51
§ 5-3 气流通过喷管时的流速与流量	53
§ 5-4 气体及蒸汽的节流	55

第二篇 蒸汽动力设备

第六章 蒸汽动力装置的热力循环	57
-----------------	----

§ 6-1 蒸汽动力装置的基本循环 (朗肯循环)	57
§ 6-2 热化	59
§ 6-3 回热循环	60
§ 6-4 再热循环	61

第七章 锅炉设备	62
----------	----

§ 7-1 引論	62
§ 7-2 燃料与炉	65
§ 7-3 汽鍋	71
§ 7-4 锅炉的其他受热面	78
§ 7-5 锅炉正体的热工特性	80
§ 7-6 锅炉设备的附属设备	83
§ 7-7 锅炉设备的运行与维护	87

第八章 蒸汽机	88
---------	----

§ 8-1 蒸汽机的发展及其应用范围	88
§ 8-2 蒸汽机的构造概要及其工作原理	89
§ 8-3 蒸汽机的理論示功图及实际示功图	90
§ 8-4 蒸汽机的功率, 效率和耗汽率	91
§ 8-5 蒸汽机的配汽及反轉原理	94
§ 8-6 蒸汽机的調节	96
§ 8-7 蒸汽机的构造举例	97
§ 8-8 蒸汽机运行的基本原则	98

第九章 汽輪机	99
---------	----

§ 9-1 汽輪机的工作原理	99
§ 9-2 蒸汽在冲击式級内的能量转变	101
§ 9-3 速度級汽輪机和多級汽輪机	104
§ 9-4 汽輪机中的损失	108
§ 9-5 汽輪机的功率、效率与耗汽率	109
§ 9-6 汽輪机的工况图	111
§ 9-7 汽輪机的調节与油系統	112
§ 9-8 汽輪机的主要类型与构造	116
§ 9-9 蒸汽原动机的凝汽设备	117
§ 9-10 凝汽式汽輪机裝置系統	120
§ 9-11 汽輪机的运行与维护	121

第三篇 燃气动力设备与活塞式压气机

第十章 活塞式內燃机	123
------------	-----

§ 10-1 活塞式內燃机的分类	123
§ 10-2 活塞式內燃机燃料的主要特性	123
§ 10-3 活塞式內燃机的实际工作循环	125
§ 10-4 內燃机的理想循环	128
§ 10-5 內燃机的功率, 效率和耗油率	131
§ 10-6 汽油机和煤气机的燃料供应和点火设备	133
§ 10-7 柴油机的燃料供应设备和燃	

烧室.....	135	第十四章 废气物理热的利用.....	181
§ 10—8 内燃机的润滑与冷却.....	138	§ 14—1 废气物理热利用的一般问题.....	181
§ 10—9 内燃机构造举例.....	139	§ 14—2 废热锅炉的携热质及其参数的选择.....	183
§ 10—10 内燃机的使用.....	139	§ 14—3 废热锅炉受热面布置的一般原则.....	185
第十一章 燃气轮机和喷气式发动机.....	141	§ 14—4 废热锅炉的主要类型.....	186
§ 11—1 燃气轮机和喷气式发动机的发展概况.....	141	§ 14—5 废热锅炉受热面的防渣与灰阻塞的防护.....	189
§ 11—2 燃气轮机的主要类型和其组成部分.....	143	§ 14—6 废热锅炉的经济效果.....	190
§ 11—3 简单的燃气轮机热力循环.....	144	§ 14—7 应用气体透平利用冶金炉的废气物理热.....	191
§ 11—4 回热和分级燃烧分级压缩的燃气轮机.....	147	第十五章 冶金炉的汽化冷却.....	193
§ 11—5 闭式循环的燃气轮机装置.....	150	§ 15—1 冶金炉汽化冷却的意义.....	193
§ 11—6 燃气轮机装置的构造.....	150	§ 15—2 平炉汽化冷却系统.....	194
§ 11—7 喷气式发动机的工作原理和主要类型.....	152	§ 15—3 加热炉和高炉的汽化冷却系统.....	195
第十二章 活塞式压气机.....	155	§ 15—4 汽化冷却的内部过程.....	197
§ 12—1 活塞式压气机的装置和作用原理.....	155	§ 15—5 平炉汽化冷却热强度和热负荷的确定.....	199
§ 12—2 单级活塞式压气机的理论工作过程.....	156	§ 15—6 汽化冷却蒸汽的利用.....	200
§ 12—3 单级活塞式压气机的实际工作过程.....	159	§ 15—7 汽化冷却在今后的发展.....	201
§ 12—4 活塞式压气机的排气量与供风系数.....	161	第十六章 其他形式二次能源的利用.....	203
§ 12—5 双级和多级压缩.....	162	§ 16—1 铁水和钢锭物理热的利用.....	203
§ 12—6 活塞式压气机的功率和效率.....	164	§ 16—2 赤热焦物理热的利用.....	204
§ 12—7 活塞式压气机的空气分配.....	167	§ 16—3 冶金渣物理热的利用.....	205
§ 12—8 活塞式压气机的调节.....	168	§ 16—4 高炉煤气剩余压力的利用.....	207
§ 12—9 活塞式压气机的构造.....	170	§ 16—5 高炉鼓风机加压与加热的联合系统.....	208
§ 12—10 压气站的一般装置.....	172	§ 16—6 动力和工艺的联合系统.....	209
§ 12—11 活塞式压气机的起动, 运转和停车.....	174	第十七章 黑色冶金工厂的热动力厂.....	210
第四篇 冶金工厂二次能源利用及热动力厂		§ 17—1 热动力厂的含义及类型.....	210
第十三章 黑色冶金工厂中的能量问题.....	175	§ 17—2 蒸汽动力厂厂内和厂外的热力系统.....	213
§ 13—1 黑色冶金工厂内部动力资源的分配.....	175	§ 17—3 蒸汽动力厂的组成部分及建厂原则.....	220
§ 13—2 黑色冶金工厂各主要车间的二次能源.....	176	§ 17—4 蒸汽动力厂的经济性.....	223
§ 13—3 利用二次能源的意义.....	178	附录.....	230
§ 13—4 二次能源的一般特性.....	180	附表1 饱和蒸汽表(按压力编排).....	230
		附表2 饱和蒸汽表(按温度编排).....	231
		附表3 水与过热蒸汽表.....	232
		参考书籍.....	239
		附图1 水蒸汽的焓熵图.....	插图

72.54
136

高等学校教学用书



热 工 学

冶 金 类

尤乙照 米弗巧 郎 遼 編
张如一 高魁明 刘 荣

中国工业出版社

序

本书由东北工学院热工教研室和北京钢铁学院水力学热工学教研室的部分教师根据高等学校冶金类“热工学”教学大纲编成。

编写时主要注意了下列各点：

1) 为了基础技术课不致被削弱，对工程热力学（第一篇）与热动力设备（第二、三篇）保持了基本内容和系统；

2) 热动力部门应该和冶金生产过程紧密结合着，并使前者为后者服务，即强化冶金生产过程，合理利用二次能源与节省优质燃料。为此本书编入一定内容（第四篇）来体现冶金类“热工学”课程的这种特点；

3) 冶金类各专业的“热工学”课程安排在三、四年级学习，此时学生已学过“物理”、“物理化学”和“冶金炉”等课程，即已学过工程热力学的部分内容和传热学的内容。为了避免重复，并照顾到课程的特点，本书未编入传热学内容，而对工程热力学则保持了一定的系统。

此外，在编写中还参考了苏联“热动力学”（Теплоэнергетика）教学大纲以及国内外有关书籍与文献（鞍钢设计院动力科和鞍钢动力处热力科曾对本书第四篇初稿提出许多宝贵的意见），并较多地吸取了两教研室的教学经验。

本书适合于60左右学时“热工学”课程使用，对学时较少或相近专业（例如有色冶炼，有色加工，选矿，金相等）的“热工学”课程，适当地缩减第四篇中的某些内容，也可作为教材使用。

本书是集体编写的：尤乙照（一，二，三各章），米弗巧（十七章），郎遼（绪论，七章），张如一（十，十一各章），高魁明（四，五，六，十三，十四，十五，十六各章），刘荣（八，九，十二各章）。在编写过程中曾经一再集体讨论与分任修改，最后并由郎遼和高魁明统一整理。

编者编写此种教科书尚属初次，缺点或错误之处在所难免，希望使用本书的教师多加批评与指正。

编者

1962.3.

目 录

序	
緒論	5

第一篇 工程热力学基本知识

第一章 基本概念	7
§ 1-1 工程热力学的对象和任务	7
§ 1-2 气体的基本状态参数	8
§ 1-3 理想气体状态方程式	9
§ 1-4 混合气体	11
§ 1-5 气体的比热	13
§ 1-6 内能、焓和熵	17
§ 1-7 热力过程、可逆过程和不 可逆过程	19
§ 1-8 过程的功和热量	20

第二章 热力学第一定律、热力过 程的分析	23
-------------------------	----

§ 2-1 能量守恒与转换定律	23
§ 2-2 热力学第一定律及其解析式	23
§ 2-3 气体稳定流动能量方程式	25
§ 2-4 热力过程的分析	27

第三章 热力学第二定律	37
-------------	----

§ 3-1 热力循环及其热效率	37
§ 3-2 卡诺循环及其在热力学上 的意义	38
§ 3-3 热力学第二定律	40
§ 3-4 热力学第二定律的数学表达式 及孤立系统熵的变化	41

第四章 水蒸汽	45
---------	----

§ 4-1 一般概念	45
§ 4-2 定压下水蒸汽的发生过程	46
§ 4-3 水蒸汽状态参数的确定	47
§ 4-4 水蒸汽的焓熵图 ($i-s$ 图) 及其应用	49

第五章 气体和蒸汽的流动	50
--------------	----

§ 5-1 稳定流动的基本方程式	50
§ 5-2 喷管和扩压管中气流的一般 特性	51
§ 5-3 气流通过喷管时的流速与流量	53
§ 5-4 气体及蒸汽的节流	55

第二篇 蒸汽动力设备

第六章 蒸汽动力装置的热力循环	57
-----------------	----

§ 6-1 蒸汽动力装置的基本循环 (朗肯循环)	57
§ 6-2 热化	59
§ 6-3 回热循环	60
§ 6-4 再热循环	61

第七章 锅炉设备	62
----------	----

§ 7-1 引論	62
§ 7-2 燃料与炉	65
§ 7-3 汽鍋	71
§ 7-4 鍋炉的其他受热面	78
§ 7-5 鍋炉正体的热工特性	80
§ 7-6 鍋炉设备的附属设备	83
§ 7-7 鍋炉设备的运行与维护	87

第八章 蒸汽机	88
---------	----

§ 8-1 蒸汽机的发展及其应用范围	88
§ 8-2 蒸汽机的构造概要及其工作 原理	89
§ 8-3 蒸汽机的理論示功图及实际 示功图	90
§ 8-4 蒸汽机的功率, 效率和耗汽 率	91
§ 8-5 蒸汽机的配汽及反轉原理	94
§ 8-6 蒸汽机的調节	96
§ 8-7 蒸汽机的构造举例	97
§ 8-8 蒸汽机运行的基本原则	98

第九章 汽輪机	99
---------	----

§ 9-1 汽輪机的工作原理	99
§ 9-2 蒸汽在冲击式級内的能量轉 变	101
§ 9-3 速度級汽輪机和多級汽輪机	104
§ 9-4 汽輪机中的损失	108
§ 9-5 汽輪机的功率、效率与耗汽 率	109
§ 9-6 汽輪机的工况图	111
§ 9-7 汽輪机的調节与油系統	112
§ 9-8 汽輪机的主要类型与构造	116
§ 9-9 蒸汽原动机的凝汽设备	117
§ 9-10 凝汽式汽輪机裝置系統	120
§ 9-11 汽輪机的运行与维护	121

第三篇 燃气动力设备与活塞式压气机

第十章 活塞式內燃机	123
------------	-----

§ 10-1 活塞式內燃机的分类	123
§ 10-2 活塞式內燃机燃料的主要 特性	123
§ 10-3 活塞式內燃机的实际工作循 环	125
§ 10-4 內燃机的理想循环	128
§ 10-5 內燃机的功率, 效率和耗油 率	131
§ 10-6 汽油机和煤气机的燃料供应 和点火设备	133
§ 10-7 柴油机的燃料供应设备和燃	

07126

	烧室.....	135
§ 10—8	内燃机的潤滑与冷却.....	138
§ 10—9	内燃机构造举例.....	139
§ 10—10	内燃机的使用.....	139
第十一章	燃气輪机和噴气式发动	
	机.....	141
§ 11—1	燃气輪机和噴气式发动机的	
	发展概况.....	141
§ 11—2	燃气輪机的主要类型和其組	
	成部分.....	143
§ 11—3	简单的燃气輪机热力循环...	144
§ 11—4	回热和分級燃烧分級压縮的	
	燃气輪机.....	147
§ 11—5	閉式循环的燃气輪机装置...	150
§ 11—6	燃气輪机装置的构造.....	150
§ 11—7	噴气式发动机的工作原理和	
	主要类型.....	152
第十二章	活塞式压气机.....	155
§ 12—1	活塞式压气机的装置和作用	
	原理.....	155
§ 12—2	单級活塞式压气机的理論工	
	作过程.....	156
§ 12—3	单級活塞式压气机的实际工	
	作过程.....	159
§ 12—4	活塞式压气机的排气量与供	
	风系数.....	161
§ 12—5	双級和多級压縮.....	162
§ 12—6	活塞式压气机的功率和效率	
		164
§ 12—7	活塞式压气机的空气分配...	167
§ 12—8	活塞式压气机的調节.....	168
§ 12—9	活塞式压气机的构造.....	170
§ 12—10	压气站的一般装置.....	172
§ 12—11	活塞式压气机的起动, 运轉	
	和停車.....	174

第四篇 冶金工厂二次能源利用及 热动力厂

第十三章	黑色冶金工厂中的能量	
	問題.....	175
§ 13—1	黑色冶金工厂内部动力资源	
	的分配.....	175
§ 13—2	黑色冶金工厂各主要車間的	
	二次能源.....	176
§ 13—3	利用二次能源的意义.....	178
§ 13—4	二次能源的一般特性.....	180

第十四章	廢气物理热的利用.....	181
§ 14—1	廢气物理热利用的一般問題	
		181
§ 14—2	廢热鍋爐的携热质及其参数	
	的选择.....	183
§ 14—3	廢热鍋爐受热面布置的一般	
	原則.....	185
§ 14—4	廢热鍋爐的主要类型.....	186
§ 14—5	廢热鍋爐受热面的防渣与飞	
	灰阻塞的防护.....	189
§ 14—6	廢热鍋爐的經濟效果.....	190
§ 14—7	应用气体透平利用冶金炉的	
	廢气物理热.....	191
第十五章	冶金炉的汽化冷却.....	193
§ 15—1	冶金炉汽化冷却的意义.....	193
§ 15—2	平炉汽化冷却系統.....	194
§ 15—3	加热炉和高炉的汽化冷却系	
	統.....	195
§ 15—4	汽化冷却的内部过程.....	197
§ 15—5	平炉汽化冷却热强度和热負	
	荷的确定.....	199
§ 15—6	汽化冷却蒸汽的利用.....	200
§ 15—7	汽化冷却在今后的发展.....	201
第十六章	其他形式二次能源的利	
	用.....	203
§ 16—1	鉄水和鋇錠物理热的利用...	203
§ 16—2	赤热焦物理热的利用.....	204
§ 16—3	冶金渣物理热的利用.....	205
§ 16—4	高炉煤气剩余压力的利用...	207
§ 16—5	高炉鼓风加压与加热的联合	
	系統.....	208
§ 16—6	动力和工艺的联合系統.....	209
第十七章	黑色冶金工厂的热动力	
	厂.....	210
§ 17—1	热动力厂的含义及类型.....	210
§ 17—2	蒸汽动力厂厂內和厂外的热	
	力系統.....	213
§ 17—3	蒸汽动力厂的組成部分及建	
	厂原則.....	220
§ 17—4	蒸汽动力厂的經濟性.....	223

附录..... 230

附表1 飽和蒸汽表(按压力編排) ... 230

附表2 飽和蒸汽表(按溫度編排) ... 231

附表3 水与过热蒸汽表..... 232

参考书籍..... 239

附图1 水蒸汽的焓熵图..... 插图

緒 論

社会主义国民經济是一个整体，在这个整体中，各个部門是密切地相互联系着的。动力工业供应生产部門以动力（即能量），它起着保証与推动生产的作用，并且是一个先行的部門。近代生产过程最常用的能量有电能、热能和机械能。此三种能量可以互相轉換，但他們都来自自然界的动力資源。迄今已被利用的自然界动力資源有：风力，水力，热力（化学反应热，地心热），原子核反应能与太阳輻射能。后两种能的利用，在目前是先轉变为热，而后再以热的形式加以利用，故有时也列入热力之內。

在自然界热力資源中，得到广泛应用的是燃料：各种煤，頁岩，油（重油，柴油，汽油）与煤气等。燃料燃烧后得到热能，热能通过热力原动机等設備变为机械能或电能，这种得到生产所需动力的方式統称为热能动力。热能动力的历史始于18世紀中叶。1765年在俄国首先用蒸汽机带动水泵，1784年英国把蒸汽机用于工业生产。蒸汽机是最先用于生产的热力原动机，它是在生产需要的推动下經過多年探索而創造出来的。由于符合了当时生产的需要，即便于靠近生产設備，不受地区与季节的限制^①，构造简单与工作可靠等，蒸汽机很快得到广泛的应用，从而大大地推进了产业革命。产业革命带来了生产力的迅速增长，这又要求动力的供应日益增多，对原动机的质量要求亦日益提高。到19世紀末又出现了两种热力原动机：內燃机和汽輪机。近二十年来，热能动力中又出现了許多新型原动机（燃气輪机，自由活塞式发动机，喷气发动机）和高温高压的大型动力机組等，使得利用燃烧热为基础的热能动力又得到进一步的发展。到现在，热能动力已成为現代动力工业中的骨干^②，并在火箭技术中开辟着新的領域。今后热能动力还要不断地向前发展，其发展情况仍决定于生产需要，但已能看出，寻求更有效与更經济的方法，利用一切可以利用的热力資源，是热能动力今后发展的总的趋势。

在实际需要的推动下，理論研究工作得到相应的发展。起初，人們只对几个实践迫切需要的問題进行研究和整理前人的某些成果，以求得到一些重要成就。例如在創造蒸汽机（波尔松諾夫，瓦特），在建立热力学基础理論（罗蒙諾索夫，迈耶，卡諾，克劳修斯），在研究气体状态方程（波义耳，門捷列夫，凡得瓦耳）等方面都有显著成果^③。随着科学文化的发展，热能动力的理論研究逐渐深入，到20世紀初便形成了較完整的科学体系，即“研究有关热能在动力方面应用的学科”，称之为热工学。

工业企业的規模随着生产的增长日益扩大，它們所需原料，燃料与动力日益增多，而在滿足基本工艺生产过程后所排出的动力資源（二次能源）也逐渐增多。冶金工厂（尤其采用火法治炼与热加工），除需要大量优质燃料与强大电力外，还需要不同压力的蒸汽

① 在蒸汽机出現以前使用着水力和风力。由于水力和风力受到地区与季节的限制，曾約束了生产力的发展。

② 1960年在全世界的电能总产量中，热能动力占有 $\frac{3}{4}$ 弱，在輕便工具与交通工具上占有絕大部分。

③ 我們祖国在与此有关方面也有过成就，例如火药是中国首创的，其次在公元1000年左右已有火弹（利用燃烧热能得到动能），其原理与現代喷气发动机相同。大約与此同时，民間有玩具叫“走馬灯”（利用燃气动能冲击叶片使軸迴轉）其原理又与燃气輪机相似。又如1678—1679年在北京有蒸汽汽車与汽船的試驗等等。

与空气以及煤气。同时火工工艺过程排出的二次能源种类很多，数量巨大^①。针对上述特点，冶金工厂的热能动力方面的工作者应完成三个主要任务：1）有效地供应工艺过程所需的能量（蒸汽，空气，煤气），并力求达到燃料的综合利用；2）合理地利用二次能源，并力求实现机组的工艺-动力联合化；3）适当地统一各类管网，力求节约优质燃料。根据上述任务，要求冶金工厂工程技术人员不仅应掌握热工学的基本知识，还应进一步了解热能动力在冶金工厂内具体应用的基本知识。即要求更好地把热工学的基本知识与冶金生产的特点相结合，并为强化冶金生产过程服务。这样便确定了冶金各专业的热工学的性质是基础技术课，而它的主要内容就有：1）热工学理论基础（工程热力学与传热学^②）；2）热力设备（锅炉，蒸汽机，汽轮机，燃气轮机，压气机等）；3）冶金工厂二次能源的利用与热动力厂。

旧中国是一个半封建半殖民地的国家，没有自己的动力工业，没有汽车，机车，飞机等制造业。我国在近代动力方面曾经处于极落后的境地。解放后，我国人民在党和政府的正确领导下，经过三年恢复与第一个和第二个五年计划的顺利完成，已建立了自己的动力工业基础——汽车，机车，锅炉，汽轮机，飞机等制造厂相继建成并投入生产；在全国各地新建许多发电厂与动力站；在动力机械制造方面，生产了各种中小型动力机械（蒸汽机，柴油机，汽油机，汽轮机，锅驼机等），拖拉机和中型以上的汽轮机（12000千瓦，25000千瓦，50000千瓦，100000千瓦），锅炉（75吨/时，120吨/时，230吨/时），大型机车，飞机与远洋货轮等；在发电方面，1959年发电量达415亿度，由1948年（旧中国最高发电年份，发电量为92亿度）的世界第26位跃进到第九位；在工业热工方面，我国建设的大型钢铁联合企业中，都设有热电鼓风站与统一的能量供应管网，并对二次能源已有初步的利用。综合上述，可以确信今后我国的热能动力与工业热工事业将有更大的发展。因此，热工学的基本内容将日益成为科学技术（包括冶金技术）工作者所必备的基础知识。

① 二次能源的种类与数量决定于工艺特性，详见第四篇。

② 根据课程分工，传热学在冶金炉等课程内叙述。

第一篇 工程热力学基本知識

第一章 基本概念

§ 1—1 工程热力学的对象和任务

热力学是研究伴有热效应发生的物理、化学和其他过程中能量转换的规律的科学。它是人们在有关热现象方面的实践中积累和总结出来而且系统化了理性知识。同时,也应该指出,热力学是热力学的宏观理论,它与作为热学微观理论的统计物理学^①是互相补充的。因此,热力学的研究,基本上采用整体分析的方法,并不深入到物体的微观范围。

热力学所根据的基本定律是热力学第一定律和热力学第二定律。热力学第一定律是能量守恒与转换定律在热现象上的应用,而且在应用时并不需要任何假设来补充,它是普遍的自然规律。热力学第二定律说明在我们周围自然界中所进行的宏观过程的方向及其规律性,它反映这些过程的特点,把它应用于所说明的范围内时也是可靠的自然规律,不过与第一定律相比,它有局限性。

依照研究问题的范围和研究的目的是,近代热力学一般分作三个部分:普通热力学^②、化学热力学^③和工程热力学。

工程热力学的研究对象,和其他热力学一样,是热力学系统(以后简称系统)。所谓系统是指我们所研究的物体,系统以外周围的物体则称为外界。这些物体可以是多个或者是一个,甚至可以是某一物体的一个部分。系统内物体之间或系统与外界之间相互作用所发生的热能与机械能的相互转换,就是工程热力学的研究对象的范围。正由于这样,工程热力学便成为研究热力工程的理论基础之一。

对于热能与机械能的相互转换,机械能可以连续地、全部地转换为热能,而热能则不可能连续地、全部地转换为机械能,所以使热能得以更大的百分率转换成机械能(热效率)的研究便成为工程热力学的主要任务。

要使热能转换为机械能必须借助于一套设备和某种工作物质。这种设备就是通常所称的热机,而这种工作物质则通常简称它为工质。因此,对工质在平衡状态下的热性质以及因外界能量作用于工质所发生的过程进行研究,也都是工程热力学的任务。

热机工作时,以活塞式热机为例,工质要从燃料的燃烧热中吸取热能,并进入热机,推动活塞,使热能转换为机械能,而且工质在热机中工作过后又要从热机中排出,以便让新的工质再次地进入热机。工质在这样的过程中,它本身的状态要不断地发生变

① 统计物理学应用几率理论和统计平均的方法来研究大量微观粒子的运动规律。它揭示了热现象的微观机理和物理实质。

② 普通热力学或称物理热力学研究热力学的一般理论基础,以及研究各种各样物理现象和物理过程中能量转换的规律性。

③ 化学热力学研究热力学基本定律在化学和物理化学过程中的应用,即研究各种化学反应的热效应、化学平衡的计算和溶液的特性等。

化。为此，对工质的要求，它不但要具有良好的膨胀性，而且要具有良好的流动性。同时具有这两种良好性质的物体只能是气体。工程热力学所要研究的作为工质的物体也只是气体——空气、燃气、水蒸汽等。

§ 1—2 气体的基本状态参数

热机的工作是与工质状态的改变分不开的，而工质又都是气体。因此，要想研究热机的工作情况，就应该先明确气体的状态。

气体是由极大数量的分子所组成的，每个分子都处于所谓混乱的热运动中。分子的数量既多，分子的运动速度又各不相同。一个系统内气体的状态不能以单个分子或几个分子的运动速度等微观量来表明，而要以所有分子运动所产生的效应的平均值，如温度、压力等宏观量来表明。这些可从某一角度来说明气体状态特征的宏观物理量都称为气体的状态参数。

在热力学中常要用到平衡状态的概念。所谓平衡状态，是指系统在沒有外界能量作用的情况下所能长久保持的状态。气体在平衡状态下，各部分的温度和压力都均匀一致（即同时保持温度平衡和机械平衡），因而各部分的状态参数都是同一数值。也惟有有这样的气体的状态才能用参数来表示。

在工程热力学中，常用的气体状态参数有六个：压力、比容、温度、内能、焓和熵。其中前列三个称为基本参数，都可以直接测量，后列三个则都须利用测得数值来计算。现在先把三个基本参数介绍如下：

一、压力：气体的压力是气体分子在混乱运动中对容器壁频繁撞击的结果，常用垂直作用在单位面积上的力来衡量。

在工程中，压力的单位采用工程大气压，简称大气压（有时也简称气压）。这一单位和其他压力单位的换算关系如下：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 大气压} &= 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10^4 \text{ 公斤/米}^2 \\ &= 10^4 \text{ 毫米水柱} = 735.6 \text{ 毫米汞柱。} \end{aligned} \quad (1-1)$$

上述的大气压不同于物理学上的大气压，后者可称为物理大气压。按规定，1物理大气压等于760毫米汞柱或1.0333大气压。

这几种压力单位在工程上各有其适用场合，例如锅炉中的蒸汽压力有几个、几十个大气压或更高，就不会表为几千、几万毫米汞柱。又如通风机所保持的压差（即压力升高）一般不大，只有几十或几百毫米水柱，就不会用大气压来表示。

在工程热力学的计算中，压力常用公斤/米²来表示，这一单位只等于一万分之一（10⁻⁴）的大气压，只相当于1毫米水柱。

说明容器内气体的压力，有二种不同的方法。一种是直接指明气体作用于容器壁上的压力的实际数值，这一数值称为绝对压力。另一种是指用压力表（图1—1）或真空表（图1—2）测量时那些表上的读数，这一数值分别称为表压力和真空度。表压力或真空度是绝对压力与当时当地大气压力之差，即：

$$p_{\text{表}} = p_{\text{绝对}} - B \text{ 或 } p_{\text{绝对}} = B + p_{\text{表}}; \quad (1-2)$$

$$p_{\text{真空}} = B - p_{\text{绝对}} \text{ 或 } p_{\text{绝对}} = B - p_{\text{真空}}; \quad (1-3)$$

式中 B ——大气压力； $p_{\text{绝对}}$ ——绝对压力； $p_{\text{表}}$ ——表压力； $p_{\text{真空}}$ ——真空度。

显然, 如果大气压力发生变化, 即使气体的绝对压力保持不变, 压力表或真空表的读数也是要发生变化的。因此, 只有绝对压力才能真正说明气体的状态, 而绝对压力则必须通过表压力或真空度来取得。在工程实用上, 常用 $p_{\text{表}}$ 表示绝对压力, 用 $p_{\text{真}}$ 表示表压力。

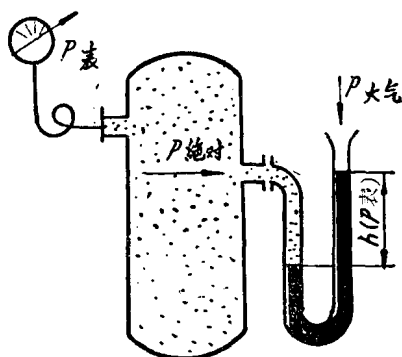


图 1—1 储气罐中气体表压力的测量

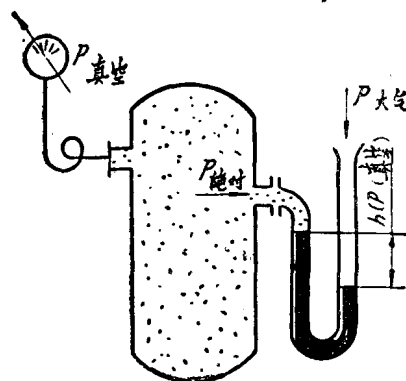


图 1—2 储气罐中气体真空度的测量

二、比容: 在热力工程中, 重量的单位一般为公斤, 容积的单位一般为米³, 比容就是单位重量的物体所占有的容积, 以 v 来表示。设 G 公斤气体占有容积 V 米³, 则比容为:

$$v = \frac{V}{G}, \text{ 米}^3/\text{公斤}。$$

比容的倒数称为重度, 以 γ 来表示。重度就是单位容积的气体所具有的重量, 即:

$$\gamma = \frac{G}{V}, \text{ 公斤/米}^3。$$

由此,

$$v\gamma = 1。 \quad (1-4)$$

三、温度: 温度表示物体的冷热程度, 也就是分子热运动的强弱程度。

在热力工程中, 一般都用摄氏温度, 以 “°C” 来表示。在工程热力学中, 常常要用绝对温度, 以 “°K” 来表示。摄氏温度和绝对温度每一度的间隔是相同的, 只是摄氏温度的零度比绝对温度的零度高出 273 度, 因而它们之间的关系如下:

$$T = t + 273, \quad (1-5)$$

式中 T ——绝对温度; t ——摄氏温度。

§ 1—3 理想气体状态方程式

实验和理论都证明, 气体基本状态参数 p , v , T 之间存在着一定的关系。在平衡状态下的这种关系可以用下列关系式来表示:

$$\varphi(p, v, T) = 0,$$

这一关系式称为状态方程式, 它的具体形式要取决于气体的性质和气体的类别。

在工程热力学的研究中, 把气体归纳为两大类: 1. 理想气体, 它是被人为地假定