

高等学校教学用书

普通热工学

PUTONG REGONGXUE

上册

哈尔滨工业大学热工教研组编

人民教育出版社

2.54
11
12
高等学校教学用书



普通热工学

PUTONG REGONGXUE

上册

哈尔滨工业大学热工教研组编

人民教育出版社

本书系由前高等教育部委托哈尔滨工业大学热工教研室编写的,作为非动力类专业“普通热工学”的教学用书。

本书共八篇,分三册出版。

第一册包括第一、二两篇,为热工理论基础。

第一篇是工程热力学。在本篇中讲授热力学的基本概念和基本定律;气体过程和气体循环;水蒸汽和蒸汽动力循环。本篇着重从工程技术应用的角度阐明热物理现象的各主要规律,并且用它们来指导和解决热能动力工程中的原则问题。

第二篇是传热学。在这篇中讲授基本传热方式的物理过程以及它们的分析和计算,并介绍了传热学的基本研究方法之一——因次分析法。

本书也可供工程技术人员在学习热能动力设备时参考。

普通热工学

上册

哈尔滨工业大学热工教研组编

人民教育出版社出版 高等学校教材编辑部
北京宣武门内承恩寺7号
(北京市书刊出版业营业许可証出字第2号)

上海大东集成联合印刷厂印刷
新华书店上海发行所发行
各地新华书店经售

统一书号 15010·947 开本 350×1168 1/32 印张 7 7/16 插页 2
字数 193,000 印数 1—18,000 定价 (4) 1.50
1960年10月第1版 1960年10月上海第1次印刷

序

本书初稿系在 1959 年按照我校非动力类各专业的普通热工学教学大纲编写,于秋季在本校印刷出版,作为非动力类各专业的普通热工学教材。经过一学期的试用,取得了一定经验,同时也收集了各方面对该书的意见。1960 年初将此书在原来的基础上加以适当修改,公开出版。

本书比较广泛地讲授了各种热能动力设备的基础知识,可作为非动力类各专业学生及工程技术人员学习热能动力设备的参考书。此书在编写初稿及修改时原定作为本校普通热力学的教科书,但是在教学改革中感到此书无论在内容或是编排方面还都不能满足新教学方案的需要。为了培养出更高质量的社会主义建设干部,普通热工学还需作进一步提高。

根据原订教学大纲的精神,这门课的目的是讲授工程技术中应用“热”的基础知识和现代热能动力工程的基本理论和技术知识,使学生获得生产过程中有关用热和热能动力工程方面的必要的技术基础知识。

用热和热能动力工程的中心内容是热能的传递和如何使它有效地转换为机械能。因此,在本书中分别讨论了热能转换为机械能和热能传递过程中的基本规律和方法,以及工质和载热质的性质,并且根据现代工业水平和我国生产情况讲述了实现这些过程的各种设备的工作原理和构造。

本书共八篇,分为三册。

第一篇是工程热力学。在本篇中讲授热力学的基本概念和基

本定律;气体过程和气体循环;水蒸汽和蒸汽动力循环。本篇着重从工程技术应用的角度阐明热物理现象的各主要规律,并且用它们来指导和解决热能动力工程中的原则问题。

第二篇是传热学。在这篇中讲授基本传热方式的物理过程以及它们的分析和计算,并介绍了传热学的基本研究方法之一——因次分析法。

以上二篇为热工理论基础,组成第一册。

第三篇是蒸汽锅炉。在这篇中讲授锅炉的一般工作原理和发展方向。结合现代工业及我国生产实际情况,选择几种最通用的典型锅炉,分别围绕锅内过程和炉内过程分析锅炉的工作原理和结构特点,以便学生掌握锅炉的一般工作原理,同时了解这些工作原理如何在具体结构中体现。

第四篇是汽轮机,主要讲授分析蒸汽在汽轮机内部的工作过程,阐明汽轮机的工作原理。本篇反映了国内汽轮机制造业的发展情况,并通过国产汽轮机的示例说明汽轮机的结构。

燃气轮机也在本篇之末加以简单叙述,因为它的基本工作原理和汽轮机是一致的。

第五篇是热力发电厂。在这篇中讲授热力发电厂中主要设备和辅助设备的热力系统、电厂技术经济指标、布置方案,以及我国电力工业技术政策和经济运行指标,反映了解放以来我国电力工业的成就和发展。

以上三篇是以火力发电为中心的各种热能动力设备,组成第二册。

第六篇是内燃机;第七篇是蒸汽机;第八篇是压气机及鼓风机。这三篇是以活塞式热机为主体的动力机械,组成第三册。书中着重论述它们的工作原理及一般结构,通过对典型形式的分析,讲述它们的性能和在工业中的适用范围。

以上是全书内容的概括介绍。它所包括的内容是相当广的。对于学时数较少的普通热工学课程可以结合专业适当地选取其中某些部分重点讲解,以解决时间不够的困难。

生产和科学技术的发展,必然会推动文化技术的不断革命。普通热工学作为技术基础课之一,也必须根据生产提出的要求不断改进,所以书中的内容在今后还需要继续修改提高,以满足于各大专学校培养出更高质量的社会主义建设干部的需要。

本书是由哈尔滨工业大学动力机械系热工教研室集体编写的。根据我们过去讲授普通热工学的一些经验,将内容作了如上的选择和安排。由于编者的水平有限,错误之处难免,还希望读者多多提出意见,以便进行修改。

哈尔滨工业大学动力机械系热工教研室

一九六〇年五月

目 录

序.....	vi
緒論.....	1

第一篇 工程热力学

第一章 基本概念.....	8
1-1. 工程热力学的任务和对象.....	8
1-2. 气体的状态、过程和循环.....	9
1-3. 理想气体.....	16
第二章 热力学第一定律.....	27
2-1. 热力学第一定律的实质.....	27
2-2. 功和热量.....	28
2-3. 气体的比热.....	31
2-4. 可逆过程和不可逆过程.....	38
2-5. 基本热力过程.....	41
2-6. 多变过程.....	55
第三章 热力学第二定律.....	63
3-1. 热力学第二定律的任务.....	63
3-2. 热力学第二定律的实质.....	64
3-3. 热机循环的一般分析.....	68
3-4. 卡诺循环.....	71
第四章 水蒸汽.....	76
4-1. 概說.....	76
4-2. 水蒸汽的饱和状态.....	77
4-3. 水蒸汽的发生过程.....	78
4-4. 水蒸汽的 p - v 、 T - s 、 i - p 和 i - s 图綫.....	85
4-5. 水蒸汽各基本热力过程的一般计算方法.....	89
第五章 气体和水蒸汽的流动.....	91
5-1. 稳定流动的基本方程式.....	92

5-2. 喷管中气流的一般特性和喷管剖面的变化情况	96
5-3. 气流通过喷管的流速和流量	100
5-4. 绝热节流	107
第六章 气体循环	109
第一部分 压气机的压气过程	110
6-1. 单级活塞式压气机的压气过程	110
6-2. 多级活塞式压气机的压气过程	113
6-3. 叶轮式压气机的压气过程	118
第二部分 活塞式内燃机的循环	119
6-4. 活塞式内燃机的循环	119
第三部分 燃气轮设备的循环	126
6-5. 燃气轮机功的计算	126
6-6. 燃气轮设备的等压加热循环	127
6-7. 燃气轮设备的等容加热循环	129
第七章 蒸汽动力循环	131
7-1. 朗肯循环	131
7-2. 再热循环	137
7-3. 回热循环	138
第二篇 传热学	
第八章 热传导	143
8-1. 傅立叶定律	143
8-2. 通过平壁的稳态热传导	146
8-3. 通过圆筒壁的稳态热传导	149
第九章 对流放热	151
9-1. 影响对流放热的因素	151
9-2. 因次分析和准则方程式	154
9-3. 自然对流放热	157
9-4. 流体在管内受迫流动时的放热	162
9-5. 流体受迫从管外流过时的放热	166
9-6. 液体沸腾时的放热	172
9-7. 蒸汽凝结时的放热	176
第十章 辐射换热	179
10-1. 基本定律	179
10-2. 特殊排列的两物体之间的辐射换热	181

10-3. 任意排列的两物体之间的辐射换热.....	187
10-4. 气体辐射.....	189
第十一章 传热和换热器.....	192
11-1. 复杂换热.....	192
11-2. 传热.....	198
11-3. 换热器的种类.....	195
11-4. 换热器的热力计算原理.....	196
11-5. 平均温差.....	198

附录

表 1. 饱和水蒸汽
表 2. 过热水蒸汽和水
表 3. 各种热传导材料的系数
表 4. 空气的物理参数
表 5. 饱和水蒸汽的物理参数
表 6. 饱和水的物理参数
表 7. 各种不同材料的全辐射黑度
图 I. 不同形状不同位置的二表面间的角系数
图 II. 水蒸汽的 T_s 图线
图 III. 水蒸汽的 i_s 图线

緒 論

在現代工業中，任何部門的生產過程都是由許多基本過程組織起來的，這個生產過程的生產水平也就決定於這些基本過程的生產水平。在這些基本過程中，動力工業占有極重要的地位，它供應生產所必需的原動力。因此，它是工業中任何生產過程所必備的基本過程之一。沒有動力，就不能進行任何生產；要提高生產力，就必須有大量的和經濟性很高的動力做保證。馬克思在分析現代工業的特點時說：“以機器建造機器的最必要的生產條件是：有一種發動機，可供給動力至任何程度，同時又完全受人控制”（馬克思“資本論”，人民出版社1953年版，卷一，463頁），他又說：“一切發展了的機器，都由三個在本質上不同的部分——發動機、配力機與工具機（即工作機）——構成。發動機，是全機構的動力。那或是象蒸汽機、熱力機、電磁機等等一樣，生出它自己的原動力；或是象水車（利用水流的力）風磨（利用風力）等等一樣，由現存的外部自然力受到衝動。”（同書，卷一，448—449頁）。馬克思精辟地指出了動力工業在推動生產力向前發展中所起的作用，說明動力工業的生產水平是各部門生產水平的決定因素之一。

從遠古以來，人力、畜力、水力、風力就是人類進行生產勞動的動力來源。十七至十八世紀，在歐洲，水車已成為主要的原動力，它是生產方式由手工業作坊走向資本主義大工業的一個物質基礎。由於工業各部門的發展，要求有新的原動力，它應當能滿足各部門的多種需要，在任何企業中都能使用，不受自然條件的限制，用熱力原動力（即熱機）使熱能轉換為機械能是當時唯一的方法。十七

世紀末,英國人塞維利在汽缸中實現了蒸汽的熱力循環,並利用它從礦井中抽水(熱效率為 0.6%)。但是當時出現的用蒸汽工作的機器由於不能連續動作,也沒有將活塞的往復運動變為軸的旋轉運動,因而只能帶動間歇工作的機器,如活塞式水泵等。直至十八世紀末葉,俄國的偉大發明家波爾祖諾夫在 1765 年發明了蒸汽機,它可以連續動作,因而具備了帶動各種機器的通用性能。在英國,到 1786 年,瓦特才制成了蒸汽機,並且把活塞的往復運動變成了軸的旋轉運動,因而可以帶動任何機器。它的出現促進了產業革命,並與以後資本主義的發展有密切的聯繫。當時它得到了迅速的發展,1766 年第一台蒸汽機的容量僅為 32 馬力,在二十世紀時,固定式蒸汽機容量已達 6,500 千瓦以上,效率也由十九世紀中葉的 4—5% 變為二十世紀的 18—22%。

然而,蒸汽機還不能滿足工業的全部要求。十九世紀末葉以後,蒸汽機在容量和轉數方面已經不能滿足大工業集中的要求了,一些工業部門,尤其是電力工業,要求有大容量和高轉速的原動機。1844 年和 1890 年分別出現了反動式和沖動式汽輪機,它們的容量僅為 5—6 馬力,而且轉速極高(沖動式的達 30,000 轉/分),很難應用。以後,製造技術不斷改進,而且由於熱力學和空氣動力學的發展,對汽輪機的設計起了很大的指導作用,它的效率日益提高,終於在固定式動力機械方面幾乎完全代替了蒸汽機。在 1913 年出產的一台汽輪機的容量已經可以達 208,000 千瓦。現在蘇聯設計容量達 60 萬千瓦的汽輪機,蒸汽初壓力也已由最初的 7 氣壓提高到現在的最高紀錄 315 氣壓。

在蒸汽機發展了以後,內燃機也得到發展的條件。由於蒸汽機設備昂貴,中小企業無力置備,它們要求有簡便的熱機,當時,內燃機是最符合這種要求的。由於已經積累了豐富的設計和製造蒸汽機的經驗,1860 年用煤氣作燃料的內燃機已經可以在工業中實

实际应用,但是效率仅为4—5%。只是在出现了等容燃烧和等压燃烧的四冲程内燃机以后,问题才基本解决(1877年至1892年)。现在,大型内燃机的容量已达7,000馬力以上,效率也在35%以上。

在近代的动力工业中已经开始采用燃气轮机。1897年已经有第一台用煤油的等压燃烧的燃气轮机,但只是在有了耐高温的合金钢和高效率的压气机后,特别是由于航空燃气轮机的迅速发展,在动力工业中才开始采用燃气轮机。

从上述可知,热机的发展不断地满足了提高生产力的要求,并因而推进了生产力的发展。今天,在这些热机的基础上,人类创造了飞向宇宙空间的飞行器械,开辟了星际航行的新纪元,又把核子中的能量解放出来,用到动力工业中,这一切都说明了动力工业的水平在整个生产力中所占的重要地位。

我国动力工业的高速发展,是和我国生产力在社会主义制度下的飞跃增长分不开的。解放前,我国的大工业几乎全为帝国主义壟断,这些大工业都带有浓厚的半殖民地色彩,动力工业也不可能例外。我国在1949年,全国生产的锅炉只不过200台左右,总蒸量不过250吨/小时,全部技工人数只有一两个人。当时我国还没有汽轮机制造工业,甚至汽轮机的重要机件也无法修配。内燃机工业也主要是修配性质的,仅能生产小型的固定式和船用内燃机。也没有我国自己的汽车工业和飞机工业。

中华人民共和国建立以来,我国经历了伟大的社会主义革命和社会主义建设,生产力飞跃发展。建国以来,党和国家一直非常重视电力工业和动力机械制造工业(包括发电设备制造工业)的发展。1958年,党中央更明确地提出了“电力工业是先行”的方针,以进一步加速电力工业的发展,使它能满足工农业大跃进的要求。

建国以来,在国民经济的三年恢复阶段中,恢复了老旧设备的名牌性能,发挥了它们的潜力,在当时经济困难,尚不能大力增添

发电设备的条件下，满足了工农业对电力的要求。同时由于发电设备制造工业是建立我国强大的、独立的电力工业的必要条件，因此1952年国家就在旧厂的基础上建立了上海锅炉厂，开始制造18吨/小时以下的锅炉。1953年又在上海建立起了我国第一个汽轮机厂——上海汽轮机厂。与此同时又积极准备兴建近代化的锅炉制造厂和汽轮机制造厂——哈尔滨锅炉厂和哈尔滨汽轮机厂。这两个厂在筹建和兴建中得到了苏联的无私的、全面的援助。

在第一个五年计划建设时期，电力工业开始了大规模的基本建设。1958年底，我国已有发电设备639万千瓦，年发电量为275亿度。总计在建国十年以来，我国年发电量的增长将近十倍；而资本主义国家的平均增长率为十年一倍。在这时期中，我国发电设备制造工业也有了极大的进展；1955年4月，上海锅炉厂生产出了我国第一台40吨/小时的中压链条炉。在同一个月内，上海汽轮机厂在捷克专家的帮助下，制成了6,000千瓦的中压汽轮机。1956年，在苏联的无私的援助下建立起的哈尔滨锅炉厂制成了35吨/小时的中压煤粉炉。此后产品的种类不断的增加，单位容量也不断提高。在1958年中，我国已试制成功230吨/小时的高压锅炉，而1956年才开始兴建的哈尔滨汽轮机厂，在1958年9月就制造出25,000千瓦的高压汽轮机。

1958年，党提出了社会主义建设总路线和一整套两条腿走路的方针，我国的社会主义建设事业进入了一个持续大跃进的新时期，高速度大跃进成了我们时代的特征。工农业的大跃进需要大量的电力，因此，对动力工业提出艰巨的任务。由于坚决贯彻了党的总路线和大中小型企业并举、土法和洋法生产并举等一整套方针政策：由于充分发动了全体职工群众，大搞群众运动，我国的动力工业以世界最高的速度飞跃前进。在1958年，一方面我国的哈尔滨和上海两地发电设备制造工业基地都在进行紧张的扩建工

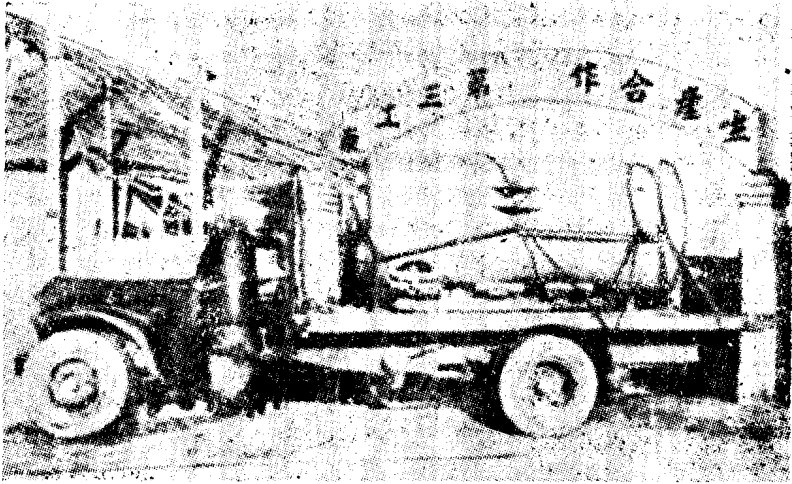


图 1. 解放前后的上海锅炉厂。

作,以使产量成倍地增加;同时,也加速了新的制造基地的建設工作。从1958年到1959年先后又有几个新的汽輪机厂和鍋炉厂分別投入生产或进行施工。这些厂都以极快的速度施工,并边施工边試制产品。另方面我国的一些机械制造工厂也开始生产中小型发电設備,以武装自己和支援地方工业,如重庆机器厂,大連造船厂等。而且一些工厂也生产了許多小型动力設備,以支援地方工业和公社工业,这些动力設備包括鍋駝机、內燃机及小型鍋炉汽輪机等。由于破除了迷信、解放了思想,我国在小型动力設備方面有不少創造。

这样,我国的动力工业就既有生产大型近代化动力机械的基地作为骨干,又有生产中小型动力机械的工厂企业作为配合。我們不仅在产量上滿足了国民經济的需要,而且在产品质量上迅速地赶上世界先进水平。我国在1960年上半年就制出了第一台410吨/小时的高压鍋炉和与之配套的100,000千瓦高压汽輪机,并且准备制造容量更大参数更高的設備。現在我国已經开始制造燃气

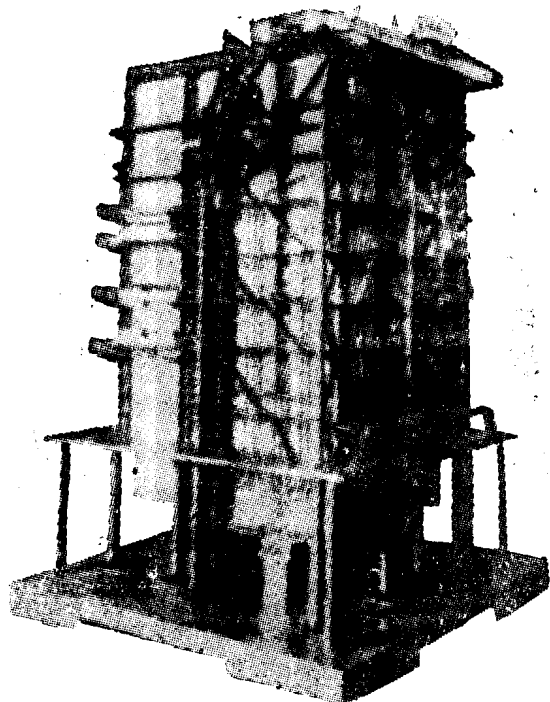


图2. 哈尔滨锅炉厂制造的410吨/小时锅炉外形。

輪裝置(包括自由活塞式燃气輪裝置)。旋風爐、直流鍋爐也已經在我國出現。我國已有了由各研究所和各高等工業學校有關專業的師生組成的動力機械科學研究隊伍，在提高動力工業的科學技術水平上起了巨大作用。

我國的內燃機製造工業在產量和品種方面也得到了空前的發展，1949年全國的內燃機生產量僅為4,000馬力，而在第一個五年計劃期間我國內燃機的產量以每年增長88.5%的高速度上升，到1957年產量已達50萬馬力。從大躍進的1958年開始，發展速度更高；為了滿足運輸業、排灌機械工業，以及農業機械化的要求，內燃機製造工業也採取大中小相結合，遍地開花，全民動手的方

針。全國許多中小企業都在生產內燃機、汽車和拖拉機。一些小工廠甚至公社工廠（如哈爾濱香坊人民公社工廠）也生產小汽車或拖拉機。我國在解放前沒有汽車廠和拖拉機廠，在蘇聯的無私援助下我們建立起來了長春第一汽車製造廠和洛陽拖拉機廠。而由於大躍進，又誕生了南京汽車廠、北京汽車廠和一些拖拉機廠。產品種類也從低速的發展到高速的、從單缸的發展到多缸的、從仿制發展到自行設計、從低性能提高到高性能。在很多重要指標上達到了世界先進水平。1958年我國制成了單位容量為2,000馬力的柴油機，可用於內燃機車及發電廠，它標誌著我國內燃機工業已經有了較高的水平。

十年以來，我國的動力工業經歷了從無到有、從仿造到自行設計、從試制小型產品到生產高大精尖新的世界先進水平產品的過程，這是偉大的躍進，這一切說明了黨的偉大勝利，毛澤東思想的偉大勝利，說明了規模宏大的社會主義建設是推動一切科學技術前進的偉大動力。

第一篇 工程热力学

第一章 基本概念

1-1. 工程热力学的任务和对象

热力学是研究伴有热效应的物理及化学现象的规律的科学。它的基本根据是热力学第一定律和热力学第二定律。这两条定律是概括了无数经验而得出的。热力学是热学的宏观理论，热学的微观理论是统计物理学^①。这两种理论是相互补充的。

工程热力学特别着重热力学在热力工程中的应用，它所涉及的，主要是热物理现象，但是近年来它的研究范围已经扩大到热化学现象（例如燃烧及溶解等）。

作为热机学的理论基础，工程热力学所讨论的中心是热能和机械能的转换；从理论上阐明使热能以更大的百分率转变为机械能的途径正是工程热力学的主要任务。

热能转变为机械能，必须借助一套设备和某种媒介物质。这设备就是通常所谓的热机，而媒介物质便是工质。因此，对工质的热性质进行分析也是工程热力学的任务之一。

热机对外做功时，要求工质有良好的膨胀性，这样才能有效地做功；而要热机不断地做功，则必须不断地将新鲜工质引入气缸，并将工作完了的工质排出，这就要求工质有良好的流动性。同

^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（分子、原子等）的运动规律。它揭示了热现象的微观机理和物理实质。