

中等水产学校交流讲义

工程热力学

集美水产专科学校編

輪机专业用

农业出版社

中等水产学校交流讲义

工 程 热 力 学

集美水产专科学校編

江苏工业学院图书馆

藏 书 章

輪机专业用

农 业 出 版 社

編 者 集美水产专科学校 郑朝栋
审查单位 水产部中等专业学校教材工作组

中等水产学校交流讲义
工程热力学
集美水产专科学校編

农 业 出 版 社 出 版

北京西总布胡同七号

(北京市书刊出版业营业许可證出字第106号)

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海新华印刷厂印刷装订

统一书号 15144.246

1961年7月上海制型

1961年7月初版

1961年7月上海第一次印刷

印数 1-1,400册

开本 787×1092毫米
三十二分之一

字数 197千字

印张 八又十六分之五

插页 一

定价 (7) 七角三分

目 录

概 論	1
一、工程热力学的对象和任务	1
二、工程热力学的发展情况	1
三、我国在工程热力学上的贡献与发展	3
四、本书的目的与任务	5
五、热能的本质和功	5
第一章 气体状态的参数	10
第一节 工质——气体及蒸汽	10
第二节 体积、比容与比重	11
第三节 压力及其度量单位	12
第四节 温度及其量度	15
第二章 气体的基本定律	17
第一节 波义耳-馬略特定律	17
第二节 盖·呂薩克定律	18
第三节 阿佛加德罗定律	20
第四节 气体的状态方程式	23
第五节 門捷列夫方程式	26
第三章 混合气体	30
第一节 道尔頓定律	30
第二节 表示混合气体的方法	31
第三节 已知混合气体重量成分时,求混合气体的比容、 平均分子量和气体参数	35

第四节	已知混合气体的容积成分时,求混合气体的比容、 平均分子量和气体常数	37
第五节	已知混合气体的莫尔数时,求混合气体的比容、 平均分子量和气体常数	38
第六节	重量成分与容积成分及莫尔成分之间的相互关系	40
第七节	分压力的求法	41
第四章	气体的比热	44
第一节	比热与热量的计算	44
第二节	重量比热、容积比热和莫尔比热之间的关系	46
第三节	定容比热和定压比热以及它们之间的关系	46
第四节	系数 $k = \frac{c_p}{c_v}$	49
第五节	比热与温度的关系, 真实比热和平均比热	50
第六节	混合气体的比热	57
第五章	热力学第一定律	60
第一节	热力过程	60
第二节	表示热力过程和功的线图($p-v$ 图)	62
第三节	理想气体的内能	65
第四节	热力学第一定律	67
第六章	气体的热力过程	70
第一节	完成过程的条件	70
第二节	定容过程	71
第三节	定压过程	74
第四节	定温过程	77
第五节	绝热过程	83
第六节	多变过程	90
第七章	热力学第二定律	109
第一节	周轉过程或循环的一般概念	109
第二节	卡諾循环	112
第三节	卡諾逆循环	117

第四节 热力学第二定律	118
第五节 理想气体的熵	119
第六节 孤立体系中熵的增加及其能的降低之间的关系	124
第七节 气体的温熵图($T-S$ 图)	125
第八章 内燃机的理想循环	132
第一节 一般概念	132
第二节 定容供热循环	132
第三节 定压供热循环	141
第四节 混合供热循环	149
第五节 内燃机循环的比较	153
第六节 循环的 η_t 在温熵图上的比较	158
第九章 理想压气机	163
第一节 单级活塞式理想压气机	163
第二节 双级压气机	167
第三节 离心式增压机	170
第十章 水蒸汽	173
第一节 蒸汽产生过程在 pv 坐标上的图示	173
第二节 蒸汽产生过程在 TS 坐标上的图示	179
第三节 蒸汽的总热、内能和含热量(熵)	184
第四节 饱和蒸汽表与 is 图	187
第十一章 蒸汽的热力过程	193
第一节 定容过程	194
第二节 定压过程	196
第三节 等温过程	198
第四节 绝热过程	200
第十二章 蒸汽动力装置的理想循环	205
第一节 郎肯循环	205
第二节 郎肯循环的效率	208
第三节 郎肯循环的单位蒸汽消耗量	209

211	第四节	提高蒸汽循环经济性的方法	210
211	第五节	高数值的初始参数的蒸汽	213
214	第六节	供热系统	214
215	第七节	制冷装置循环	215
	第十三章	气体和蒸汽的流动与节流	220
220	第一节	气体和蒸汽的流动	220
225	第二节	气体和蒸汽的节流	225
	第十四章	传热理论的基本概念和热交换器	230
230	第一节	传热的基本方式	230
230	第二节	导热	230
232	第三节	对流热交换	232
234	第四节	辐射热交换	234
235	第五节	多层壁的传热	235
238	第六节	热交换器	238
244	附 录		244

概 論

一、工程热力学的对象和任务

热力学包含的内容較多，它是研究热能与各种能量相互間轉变規律的一門科学。工程热力学是热力学的一部分，它是研究热能轉变为机械功的規律和相互間的关系。

如热机中的柴油机，就是将柴油在汽缸中和空气混合燃燒，产生高温高压带有很大热量的气体，使之膨脹推动活塞而轉变为机械功。在压气机(制冷机)中，則将机械功轉变为热能。

工程热力学的基本任务是：观察、推想和实验所得到的結果，来建立热和功相互轉变的規律。同时当我们知道了它的規律，就可以研究在工作着的热机里所产生的种种复杂的热現象和怎样应用这种热和功相互轉变的最有利的条件，譬如，如何确定热机工作的最經濟的設備和措施，使最多的热量轉变为机械功。

二、工程热力学的发展情况

过去旧式蒸汽机是非常不經濟的，如英国人塞維利在汽缸中实现了蒸汽的热力循环，并利用它从矿井中抽水，其热效率只为0.6%。因为它沒有将活塞的往复运动变为軸的旋轉运动，因而只能带动間歇工作的机器。直到1765年俄国的天才发明家波尔祖諾夫发明了蒸汽机，它可以連續动作，因而具备了带动各种机器的通用性能。1786年英国瓦特也制成了蒸汽机，并且把活塞的往复运动变成了軸的旋轉运动，因而可以带动任何机器。蒸汽机的出現促

进了生产的发展。1766年,第一台蒸汽机的容量仅为32馬力,每馬力一小时須消耗25公斤煤,为了降低消耗量,就要求大力研究有关工程热力学对象的問題。到二十世紀时,固定式蒸汽机容量已达6,500千瓦以上,效率也由十九世紀中叶的4—5%变为18—22%。现代普遍使用在生产上的蒸汽机所消耗的煤比过去减少30倍左右。

从事这方面研究工作的,首先是1824年法国工程师卡諾,在他的科学著作“火动力的研究”里提出了热能轉变为功的最佳条件。其后很多俄国学者,如奥加多大、門捷列也夫、斯托列托夫等都大力研究热力学問題。又如德国学者克劳修斯和梅耶,英国焦尔等在这方面研究工作中也获得显著的成績。

热力学的发展,对热机制造的进展有着重大的影响。例如,在热力学的研究中指出,提高蒸汽鍋炉中蒸汽的压力是有利的,这就要求制造新型的蒸汽鍋炉和蒸汽机。但是在工业集中情况下,要求有大容量和高轉速的原动机。在1840年和1891年分別出現了反动式和冲动式的汽輪机。在蒸汽机发展以后,內燃机也得到了发展。由于蒸汽机設備昂貴,中小企业无力置备,它們又要求有簡便的热机,当时,內燃机是最符合他們要求的。

大約在1860年內燃机制成,开始它以煤气为燃料,其热效率为4—5%。到1892年德国工程师狄賽尔发明了发动机,他最初是使用煤油作燃料,其功效良好。虽然如此,其热能变成有用功还不很大,假定燃烧1公斤的柴油能够产生热量为11,000仟卡,則机器的热量分配为:

1. 摩擦的損失……………10%(即1,100仟卡)
2. 廢汽带走的热量……………35%(即3,850仟卡)
3. 汽缸散热的損失……………30%(即3,300仟卡)
4. 有用功……………25%(即2,750仟卡)

共計总热量……………100%(即 11,000 仟卡)。

以上說明在 11,000 仟卡的热量中只有 25% 即 2,750 仟卡的热量轉变为有用的机械功。所以我們今后研究热力学的任务就是如何提高热机的效率和經濟性,减少热轉变为功时的其他損失。

以后,俄国学者和工程师們根本地改变了这种发动机,使它能够采用比煤油更为便宜的石油。到現在,大型內燃机的容量已达到 7,000 馬力以上,效率也在 35% 以上,这就扩大了柴油机的应用范围。現在广泛用于飞机、汽車、內燃機車、海上漁輪以及机帆船等。

因此热力学和热机在其发展过程中彼此是有密切关系的,当然它們的发展并没有停止,而是以高速度繼續向前发展着。在近代的热力工业中已經开始采用更大馬力和效率更高的燃气輪机。今天人类創造了飞向宇宙空間的飞行器械,开辟了星际航行的新紀元,又把核子中的能量解放出来,用到动力工业中,这一切都說明了热力工程和动力工业的水平在整个生产力中所占的重要地位。

三、我国在工程热力学上的贡献与发展

在开始学习工程热力学之前,應該知道我們祖国劳动人民在这一門科学上的偉大贡献与成就。

第一、在热力学这一門科学上,还是在上古时代,人类对于热和冷的現象的本质就有了追求,并且已經知道机械功可以变为热能。借摩擦取火的发现,对人类进化起了重大的作用。

大約在公元前 300 年間(战国时代),騶衍創“五行学說”,认为天地之間有五种气:“水、火、木、金、土”名为五行。并且对“火”有一种看法,淮南子(公元前 164 年)天文訓有一段話“……积阳之热气久者生火,火气之精者为日……”等語,可見中国古时对“火”和“热”已經有了研究。

第二、在热力工程方面，远在公元 1150 年左右，在中国的古籍上就有一种雛形的燃气輪机的記載，这就是我們所熟識的“走馬灯”。后在公元 1676—1679 年間，北京人將原始形式的汽輪机試裝在交通工具上。

从以上历史記載証实，我国劳动人民对热力工程和动力工程方面早有巨大的貢獻。

可是，在封建社会的长期統治下，这些偉大的創造和发明都沒有得到应有的重視，而仅被当时的反动統治階級作为玩物，或被任意的弃廢了。

解放以后，在党的英明領導下，热力工程和动力工程的发展和祖国社会主义各項建設事业一样获得了巨大的成就。解放初期，全国鍋炉生产量极低，內燃机工业主要是修配性质，仅能生产小型的固定式和船用的內燃机，既沒有汽車工业，也沒有飞机工业。以后，随着国民經济的恢复和发展，我国的鍋炉厂在旧厂的基础上建立起来，随后并相继地兴建了現代化的鍋炉厂、汽輪机厂等。到 1958 年，我国就能自己制造高压鍋炉和高压汽輪机了。

特别是 1958 年大跃进以来，我国的工农业生产飞速的发展，就需要大量的电力，因此，对动力工业就提出新的任务。为了适应这个新任务，在社会主义建設总路綫的光輝照耀下，采取了洋法和土法生产并举的一整套两条腿走路的方針，大搞群众运动，在全国各地建立了許多大中小动力工厂。这样，我們不仅在产量上满足了国民經济建設的需要，而且在产品质量上也有很大的提高。

我国的內燃机制造工业在产量和品种方面的发展速度是很快的。在第一个五年計劃期間我国內燃机的产量以每年增长 88.5% 的速度上升，到 1957 年产量已达 50 万馬力。从大跃进的 1958 年以来，采取大中小相結合的办法，使发展速度更加提高，使全国許多中小企业生产內燃机产品从低速发展到高速，从单缸发展到多缸，

从仿制发展到自己设计,从低性能提高到高性能,在很多重要指数上达到了相当高的水平。

十多年来,我国的热力工程和动力工业的成绩是巨大的,这巨大成绩的取得,是我们伟大的党和毛主席英明领导,是总路线、大跃进、人民公社三面红旗的胜利。

四、本书的目的与任务

本书是中等水产学校轮机专业所开设的一门普通技术基础课。

因为轮机专业的主要课程之一“渔船内燃机”和其他辅助机械,除了要懂得其渔船内燃机的结构和原理以外,还要具备工程热力学、材料力学、应用力学和金属工艺学等知识。学习工程热力学就是要了解机器的机械能量是那里来的,以及热能如何转变为机械能及其互相转换的规律。

为了紧密配合内燃机主要课程,本书以较大的篇幅来谈气体的热力过程和内燃机循环。在物理、数学的基础上,从一般原理、理论计算和数学方法的分析作叙述,使得同学知道热能通过气体膨胀过程产生一系列变化,以及温度、压力、体积变化的规律,从而进一步了解内燃机工作状况和工作原理。

另外,在渔船上或水产机械加工厂中都会接触到压气机、制冷装置等,因此对这一些机器的力循环原理也作了简要叙述,并且对蒸汽性质和热力变化过程的基本理论作一定的讲授。

五、热能的本质和功

研究工程热力学时,常常要谈到热能和功,因此首先应该把这两个概念弄清楚。

热能的本质:在十九世纪科学界中曾占优势的“热素理论”,

认为物体的变热和变冷是由于一种特殊的、没有重量的、既不能被创造也不能被消灭的热的流体从一个物体转移到另一个物体中的缘故。

但俄国学者罗蒙諾索夫实验结果，把热能看成是具有原子结构的物质的一种运动形态的学说，叫做“热的运动理论”。

运动理论的基础是伟大的俄国学者M. B. 罗蒙諾索夫在“论热和冷的原因”和“空气弹性力原理的实验”这两篇著作中谈到的。在这些著作中，第一次说明了热的本质就是分子的不规则运动。即：

“热是物质内部的运动”。

“这种运动愈剧烈，它的作用愈大；由此，当运动加强时，热就增加，而当热运动较为缓慢时热就减少”。

“热的物体在接触到冷的物体时应该变冷，因为后者使粒子的热运动变慢了；反之，冷的物体则在接触时应由于运动的加速而变热”。

所以说组成物体的分子和原子在不断紊乱运动中的速度不同，就产生冷热的区别。我们感触到的冷热程度就是温度。

虽然，这已经过去 200 年了，但罗蒙諾索夫的观点还是被公认为现代自然科学的基础。

罗蒙諾索夫的观点，虽然为当时彼得堡科学院院士欧拉赞助过，但大多数和他同时代的人们仍未采纳他的观点。经过 100 年以后，在克劳修斯，马克斯威尔，波茨曼，祁伯斯，爱因斯坦等的努力下，以及在著名的俄国学者比罗高夫、门捷列也夫和巴諾夫等人的努力下才获得了广泛的承认和进一步的发展。

恩格斯在“自然辩证法”一书中曾特别深刻地说明了热（物质运动的特殊形态）的本质的最初情况。

恩格斯在从辩证唯物主义立场上全面地批判机械论时，曾经

明白地指出：热和分子的机械运动間的关系的发现，創造了整个的科学时代，但这种关系沒有全部地解决热的本质問題。

虽然粒子的运动服从于机械运动的規律，但是由于粒子的数目非常多，就引起了从量到质的辯証轉变，同时，就要出現一种质量嶄新的运动形态。大量粒子的存在，正决定了热的运动形态与机械运动形态之間有特殊的区别。

我們在工程上对热能量的計算，其热量的单位是用公斤卡或仟卡，即規定加热一公斤的水从 19.5°C 升高到 20.5°C 所需的热量。

但是要注意一点。用测热仪器来加热一公斤水升高 1°C 所需的热量(仟卡)，要估計到在地球上不同的地点及地球的引力差异。实际上在某些工程技术书籍中，热量的单位用“国际仟卡”或“电仟卡”，即規定电能量 $1/860$ 瓩小时所产生的热量为 1 仟卡，这样用电的单位来度量，这和地球引力的影响无关，因此以 $1/860$ 瓩时为 1 仟卡是比較准确的方法，而前面所說的“仟卡”就有所不同。

功：就是当物体运动某一距离 S 并克服阻碍它运动的阻力 R 时，这物体就是在作功 L 。

从力学中我們知道，要計算物体所作的功，需把这运动的物体在运动方向克服阻力的力量和运动所走的距离相乘。写成公式如下：

$$L = R \times S (\text{公斤} \cdot \text{米})。$$

我們知道，这物体运动所作的机械功，表現的能量可以从各种能轉換来。如电动机电流經過綫圈产生的磁場作用，經過軸的轉动把电能轉变为机械能，也可以从热能中轉換来。

假定有一活塞封閉着的气缸里的气体(如图 1)，受一个不变的作用力 P ，如果将气体加热，則一方面气体状态发生变化，即膨胀，一方面推动活塞移动，就是在做功。这里 S 是活塞移动的距离，

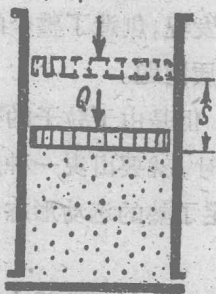


图1 气体膨胀时所作的功

则功 L 的计算方法应是

$$L = P \times S.$$

反过来, 物体运动也能够使机械功能转换为热量。假定这从有一打气唧筒, 封闭有气体(如图2), 当手柄上加一个不变的作用力 P , 则一方面使活塞移动了 S 距离而作功, 另一方面, 气体受压缩而发热, 由此产生的热量散发出来, 当然是 P 力作用在手柄上移动了距离所作功的一部分转换来的。

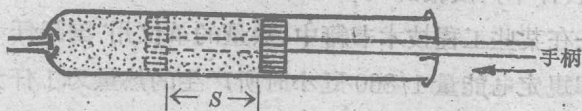


图2 打气唧筒使气体受压发热

以上关于功转换为热, 热转换为功, 是有一定的关系, 由试验中得知, 1 仟卡的热, 完全变为功的量是 427 公斤-米,

即

$$1 \text{ 仟卡} = 427 \text{ 公斤-米}$$

如 Q 仟卡的热完成变为功的量是 L 公斤-米的话, 那么写成 L 与 Q 的关系式是

$$Q = \frac{1}{427} L.$$

其中 $\frac{1}{427}$ 是个常数称为功的热当量, 用 A 代表。

其倒数 $\frac{1}{A} = 427 \text{ 公斤-米/仟卡}$, 称为热的功当量。

若用“马力-小时”或用“瓦-小时”表示热能量, 则有下列二个关系式

〔一〕因 1 馬力 = 75 公斤米 / 秒, 故“馬力-小时”的热量即:

$$1 \text{ 馬力-小时} = \frac{75 \times 3600}{427} = 623 \text{ 仟卡。}$$

〔二〕因 1 瓩 = 102 公斤米 / 秒, 故“瓩-小时”的热当量即:

$$1 \text{ 瓩-小时} = \frac{102 \times 3600}{427} = 860 \text{ 仟卡。}$$

从上面这些公式証明了热功当量的原理和能量永恒及轉換定律的說法, 即能量既不能消灭也不能創生, 它只能由一种形态轉变成另一种形态。找出了热和功单位間的一定关系, 証明热和功的衡量可用同一单位, 如“仟卡”。

但是在实际热机中, 1 仟卡的热量不能完全变为 427 公斤米的机械能, 我們常常說这一部热机效率低, “失去”很多的热能, 意思是說: 当能量变化时, 含有不可避免的从属过程, 即一部分变为有用的机械功, 其他部分变为不能被我們所利用的其他形式的能而“散失”。

第一章 气体状态的参数

第一节 工质——气体及蒸气

前面已经讲过,在热机中要把热转变为功,这要通过作功的物质来进行工作。这个工作物质,我们简称为“工质”。在内燃机中,一般指的是气体,在蒸气机、汽轮机中指的是水蒸气。由它们膨胀而作功。

为了研究方便起见,往往将气体的分子所占的体积略去不计,其数值为零,因为它的分子聚合起来的总容积与气体所占的全部容积比较起来,是很微小的。研究上也将气体分子间的凝聚力略去不计。因为它的分子间相互作用力太小了,同时分子的大小与分子间的距离比较起来也非常小。这样的气体(在实际中是不存在的,)其分子完全不占有容积,又没有相互作用的力,我们称它为理想气体。

在实际的热力工程上用的真实气体;最常用的如氧、氮、氢、一氧化碳、二氧化碳、甲烷,还有水蒸气。但在燃烧产物中,所含的水蒸气,因为是高温低压,气体分子状态很稳定,不容易液化,可以当作理想气体来计算,不会有什么大的误差。在蒸汽机械的热交换器中,作工质的水蒸汽,虽然是高温的,但也是高压,因此在条件稍为改变时,很容易液化成液体。所以,须用其他方法计算。

目前我们在热力学中首先研究的工质——气体与蒸汽的性质,以及以后讨论到有关气体的定律,仅仅是适用于理想气体,但