

全国高等农业院校教学参考书



全国高等农业院校
教材指导委员会审定

工程热力学及传热学

陈荣耀 主编

农业出版社

全国高等农业院校教学参考书

工程热力学及传热学

陈荣耀 主编

农业出版社

TK123

79A

(京)新登字060号

全国高等农业院校教学参考书

工程热力学及传热学

陈荣耀 主编

* * *

责任编辑 何致莹

农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)

新华书店北京发行所发行 北京密云县印刷厂印刷

787×1092 mm 16开本 23.75 印张 545千字

1992年10月第1版 1992年10月北京第1次印刷

印数 1—2,000册 定价 9.50 元

ISBN 7-109-02148-3/TH·104

主 编 陈荣耀(东北农学院)

编 者 常桂兰(北京农业工程大学)

曹振民(河南农业大学)

主审人 朱明善(清华大学)

内 容 简 介

《工程热力学及传热学》是农业工程类各专业的技术基础学科。全书共分两篇十六章。第一篇为工程热力学,内容包括:基本概念,热力学第一定律,理想气体性质,理想气体热力过程,热力学第二定律,水蒸气,气体和蒸汽的流动与压缩,湿空气,活塞式内燃机的理想循环,制冷系统,燃气轮机装置和蒸气动力装置的动力循环。第二篇为传热学,内容包括:传热的基本方式和分析方法,导热,对流换热,辐射换热,传热和换热器。书后附有附表 28 个,附图 1 张。

本书的特点是在搞清基本概念,获得一定基本理论知识的基础上,着重于应用,着重于对问题的分析和计算。

本书可作为“农村能源开发和利用”“农业建筑与环境”和“农产品贮藏和加工”等专业的教材(80—110 学时),也适用于农业工程类其它专业,并可作为农业工程设计和管理人员的参考书籍。

序

作为物质运动的一种固有形态，热是内部分子之间的无序运动。热现象存在于自然界的各个领域之中，不但在现代工矿交通企业中，热工设备到处可见；而且在农业工程领域内，经常遇到物料干燥、环境控制、空气调节、蒸馏冷凝、食品冷藏、农村能源开发利用等方面的问题，同样需要有关热能转换和热量传递的基本知识。特别是能源的开发与利用，一方面反映了社会生产的水平，同时又是推动社会发展的物质基础，能源已成为影响经济发展战略的重要问题。我国目前的能源方针是“开发和节约并重，近期要把节能放在优先地位”，作为一名农业工程技术人员，即使不属于热工或动力专业，也必须具有一定的热工基础知识，才能适应时代使命，面对广大农村与农业工程的现实，采取技术上可行、经济上合算的有效节能措施，为实现四个现代化的宏伟事业作出自己的奉献。

有鉴于此，《工程热力学及传热学》课程，已成为农业工程学科中“农村能源开发和利用”、“农业建筑与环境”、“农产品贮藏与加工”、“农业机械化”和“内燃机”等专业的一门重要的专业基础课。编写“工程热力学及传热学”的教材与教学参考书，就成为十分迫切的任务。

以陈荣耀教授为主编的本书编者，长期在我国农业工程领域内从事热工与内燃机等的教学工作，积累了较丰富的教学经验，而且紧密结合农业工程的实际，围绕农村能源的开发利用，开展了相应的科研活动，具有较为广泛的实践经验。编者们在本次编写过程中，注意了加强理论基础与基本现象的阐述，强调了热工基础理论在生产实际中的应用，内容安排重点明确，繁简有序，叙述清楚。因此本书不仅可以作为有关农业工程专业的教材，还可提供相应的工程技术人员作为参考用书。值此付印之际，略书数语，以表祝愿。

朱明善

1990年5月于清华大学

前 言

本书依据1988年全国高等农业院校教材指导委员会,农业工程学科组审议意见,作为教学参考书,是根据农业工程学科中“农村能源开发和利用”、“农业建筑与环境”、“农产品贮藏与加工”、“农业机械化”、“农业机械设计和制造”和“内燃机”等专业的教学计划的要求,并参考全国热工课程教学指导委员会提出的热工、动力类的《工程热力学》和《传热学》课程的教学大纲及基本要求编写的。可以作为“农村能源开发和利用”、“农业建筑与环境工程”和“农产品贮藏和加工”等专业的《工程热力学及传热学》的教材。同时也适用于农业工程学科的其他有关专业。

能源的开发和利用是推动社会生产力发展的物质基础。从历史上看,生产力的重大变革都和能源利用的技术革命相关联。这说明了能源是决定一个地区经济增长和人类福利的关键问题。

解放以来,我国商品能源的开发速度是较快的,1986年的一次商品能源产量为1952年的17.8倍。我国能源消费总量的绝对值已居世界第三位。但我国人口众多,年人均消费能源量仅是0.7吨煤当量,仅为世界平均水平的1/4,和世界上发展中国家相比,尚属中下水平。

我国四个现代化建设的目标是本世纪末国民生产总值达到20000亿元人民币。1985年,我国每万元国民生产总值的能耗为9.82吨煤当量,为日本的4.44倍,美国的2.1倍,印度的1.65倍,这就说明了节约尚有很大的潜力。若按正常发展,到本世纪末,我国人口将超过12亿,全国总能耗将达19.6亿吨煤当量。按目前的能源产量为基数,则产量的年增长率必须大于5.6%,形势是相当严峻的。为此,我国目前的能源方针是“开发和节约并重,近期把节约能源放在优先地位……”。这是必需和必要的。

从节约观点看,热能的高效利用是根本的节能措施。因此,研制高效的热动力设备、制定合理使用的措施和加工工艺,都是减少浪费和损失的有效措施。热力学及传热学在这方面给予了基本理论和基本原则方面的分析和说明。

从农业工程学科中经常遇到的:物料干燥、环境控制、空气调节、蒸馏冷凝以及食品冷藏等方面的问题,它们的过程分析、计算、设备的设计也都以“工程热力学及传热学”作为基础。

新能源的开发和利用,多数都以热能作为中间转换或终端利用的能量形式。故本课程也是新能源有效开发和利用的理论基础。

综上所述,作为一名工程技术人员,即使不从事热工和动力专业,也必须具备一定的基础知识,以便针对实际,不断采取技术上可行,经济上合理的有效技术措施,以对工艺或产品进行更新和改造。

本教材在内容和组织上,考虑到《工程热力学》是热机和制冷装置的基础,而本教材对于热机和制冷装置等不作专门叙述,故专列“活塞式内燃机理想循环”和“制冷系统”等章节

以阐明它们的基本工作原理及影响经济性能和动力性能的主要因素。并把这些章节和热力学基本概念和基本定律合并成一篇，为《工程热力学》。第二篇主要说明传热和换热器的基本知识，为《传热学》。

在内容说明上有以下一些特点：在热力学第一定律中分别阐明闭口和开口系统的能量方程式，比较系统地叙述各种能量参数和各种特殊条件下的能量方程式。为了避免各种能量方程式的孤立出现，着重说明了热力系统中各种能量参数的基本概念。^⑤在第二定律中，在说明基本概念的基础上，介绍了(热量焓和焓焓)和焓效率的概念，以适应能量有效利用分析的需要。在农业工程学科中，水蒸气和湿空气应用较为广泛，故加强了这方面的实际应用性内容。在传热学一篇中，增加了“传热的分析方法”一节以概括传热学的分析方法。从内容上也着重于应用方面的说明，对于纯理论和机理性分析，仅作概念性介绍。为了适合工程实际应用，在图、表上有所加强。

全书分为二篇、十六章。书中第一至第五章由北京农业工程大学常桂兰编写；第六章至第十一章由东北农学院陈荣耀编写；第十二章至第十六章由河南农业大学曹振民编写，最后由陈荣耀统稿。

本书初稿承清华大学热能工程系朱明善教授审阅，对此表示感谢。

限于编者的水平和经验，书中定会有不少不足之处，希望广大读者指正。

编 者

1990年10月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 工程热力学

第一章 基本概念	3
第一节 热力系统	3
第二节 状态和平衡状态	5
第三节 基本状态参数、状态方程式、状态参数坐标图	6
第四节 热力过程、准平衡过程和可逆过程	12
第五节 功和热量	15
第六节 熵和温熵图	18
思考题	19
习题	19
第二章 热力学第一定律	21
第一节 热力学第一定律的实质	21
第二节 内能	21
第三节 闭口系统能量方程式	23
第四节 开口系统能量方程一般表达式	25
第五节 开口系统稳定流动能量方程式	27
第六节 焓	31
第七节 稳定流动能量方程式的应用	31
思考题	35
习题	36
第三章 理想气体的性质	38
第一节 理想气体及其状态方程式	38
第二节 理想气体的比热	41
第三节 理想气体内能和焓	46
第四节 理想气体的熵	49
第五节 理想气体混合物	51
思考题	58
习题	59
第四章 理想气体的热力过程	61
第一节 研究热力过程的目的及一般方法	61
第二节 四种典型热力过程的分析	61
第三节 多变过程	67
第四节 多变过程图示的综合分析	70
思考题	75

习题	76
第五章 热力学第二定律	79
第一节 概述	79
第二节 热力循环、热机循环和制冷循环	80
第三节 热力学第二定律的表述	82
第四节 卡诺循环	84
第五节 卡诺定理	85
第六节 熵	88
第七节 孤立系统熵增原理	94
第八节 孤立系统的熵增与作功能力的损失	96
第九节 评价能量价值的物理量——焓	101
思考题	113
习题	114
第六章 水蒸气	117
第一节 实际气体的概念	117
第二节 水蒸气性质的基本概念	117
第三节 定压下水蒸气的发生过程	119
第四节 水和水蒸气的热力性质表	121
第五节 水蒸气的焓熵图	123
第六节 水蒸气的热力过程	125
第七节 克劳修斯—克拉贝隆(Clausius-Claperon)方程	127
思考题	128
习题	129
第七章 气体和蒸气的流动与压缩	130
第一节 喷管和扩压管的截面变化规律	130
第二节 气(汽)体在喷管中的等熵流动	134
第三节 非设计工况下缩放管的工作特性	139
第四节 喷管效率和扩压管效率	141
第五节 绝热滞止	142
第六节 绝热节流	144
第七节 焦耳-汤姆逊(Joule-Thomson)系数	145
第八节 压气机中的空气压缩	147
思考题	155
习题	156
第八章 湿空气	157
第一节 湿空气的性质	157
第二节 湿空气的焓-湿图	162
第三节 湿空气各种典型过程的计算	164
思考题	170
习题	170
第九章 活塞式内燃机的理想循环	172
第一节 活塞式内燃机循环的种类及其组成	172

第二节 内燃机理想循环的计算	175
第三节 内燃机理想循环的比较	180
思考题	183
习题	183
第十章 制冷系统	185
第一节 制冷的基本概念	185
第二节 蒸气压缩式制冷循环	188
第三节 吸收式制冷系统	191
第四节 热泵装置	194
思考题	196
习题	196
第十一章 燃气轮机装置和蒸气动力装置的动力循环	198
第一节 燃气轮机装置动力循环	198
第二节 蒸气动力装置循环	203

第二篇 传 热 学

第十二章 传热的基本方式和分析方法	209
第一节 传热的基本方式	209
第二节 传热的分析方法	211
思考题	213
习题	213
第十三章 导热	214
第一节 导热的基本定律	214
第二节 一维稳定导热	219
第三节 复杂情况的导热	230
第四节 不稳定导热	240
思考题	247
习题	247
第十四章 对流换热	250
第一节 对流换热过程概述	250
第二节 边界层概念	250
第三节 影响对流换热的因素	253
第四节 相似原理基本概念	256
第五节 常见条件下对流换热系数计算	261
第六节 凝结和沸腾换热的特点	275
思考题	281
习题	281
第十五章 辐射换热	283
第一节 热辐射的基本概念	283
第二节 热辐射的基本定律	285
第三节 实际物体的辐射与吸收和基尔霍夫定律	290
第四节 物体间的辐射换热	295

思考题	307
习题	308
第十六章 传热和换热器	310
第一节 复合换热和传热	310
第二节 换热器	314
思考题	323
习题	324
附录	325
表 1 各种单位的换算关系	325
表 2 常用气体的基本热力性质	326
表 3 理想气体状态下的定压摩尔比热与温度的关系式	326
表 4 气体的平均比热	327
表 5 气体的平均比热(直线关系式)	332
表 6 空气的热力性质表	333
表 7 氧的热力性质表	335
表 8 氮的热力性质表	336
表 9 氢的热力性质表	337
表 10 二氧化碳的热力性质表	338
表 11 一氧化碳的热力性质表	339
表 12 水蒸气的热力性质表(理想气体状态)	340
表 13 饱和水和饱和水蒸气表(按温度排列)	341
表 14 饱和水和饱和水蒸气表(按压力排列)	342
表 15 过热水蒸气表	344
表 16 未饱和水表	348
表 17 饱和氨表	349
表 18 过热氨蒸气表	350
表 19 饱和 $F-12$ 表	352
表 20 过热 $F-12$ 蒸气表	353
表 21 1 atm 下干空气的热物理性质	355
表 22 1 atm 下气体的热物理性质	356
表 23 饱和水的热物理性质	359
表 24 饱和线上蒸气的热物理性质	360
表 25 液体的热物理性质	361
表 26 固体材料的热物理性质	363
表 27 常用材料表面的法向黑度 ε_0°	365
表 28 双曲函数表	366
附图 $F-12 \lg p-h$ 图	367
主要参考书	368

绪 论

《工程热力学及传热学》是研究热能转换与热量传递规律，并以提高能量有效利用为目的的科学。

能源是推动国民经济发展的动力，是发展生产和提高人民生活水平的重要物质基础。近代能源的开发和利用，已成为衡量社会物质文明的重要标志。自然界被人们利用的能源各种各样，如太阳能、风能、水能、地热能、燃料的化学能和核能等。其中除风能和水能是以机械能的形式被人们利用外，其余各种能源则主要都是以热能的形式，或者转换为热能的形式供人们利用。在我国大量实际用能过程中，90%的能量是经过热能这个重要环节而被利用的，世界各国情况也大致如此。所以热能的研究和利用，对人类的生产和生活有着重要的意义。

热能的利用有两种基本方式：一是热能的直接利用，即把热能直接用来加热物体，如烘干、蒸煮、采暖、熔化、冶炼等；另一种是间接利用，这是指将热能转化为机械能或电能，再加以利用，也即热能的动力利用。例如目前现代工农业生产的各个部门和日常生活中所需的电力大部分都是由火力（热力）发电厂，将燃料的化学能通过燃烧转变为热能，再将热能转变为机械能，进一步转变为电能提供的。而现代的陆、海、空交通，农用拖拉机、建筑机械等所需的动力，几乎全部是由内燃机、燃气轮机等热机供给。热能的动力利用可说是现代工业、现代农业和科学文化发展的基础。

要想提高能源的利用率，达到节能，有效利用能量的目的，就必须掌握热能转换的规律这正是工程热力学的研究内容，同时还要掌握热量传递的规律，这也正是传热学研究的内容。

工程热力学是热力学的一个分支，主要研究热能与机械能相互转换的规律。早期的工程热力学只是作为热机的理论基础，涉及的范围主要是动力工程。但随着科学技术的发展，近代工程热力学的应用范围已扩展到许多工程领域，诸如制冷、热泵、空气调节、空气分离、化学精炼、高能激光、超导传输、生物工程、太阳能的利用等。可以说工程热力学是热力学普遍理论在工程上的具体应用。显然，工程热力学更是动力机械、热能工程、能源开发利用、制冷空调专业的极为重要的理论基础。

能量转换都是在各种能量转换装置中进行的，例如蒸汽动力装置、内燃机、燃气轮机动力装置、压缩制冷装置等等。但工程热力学不研究这些装置的具体结构和个别工作特性，而是着重分析各装置的基本原理，运用能量的普遍规律，分析归纳出它们带有共性的内涵。所以工程热力学的内容之一，就是研究能量转换遵守的客观规律——热力学第一定律和热力学第二定律。其次，因为能量与物质是不可分的，一切能量转换装置都离不开工作介质，简称“工质”，依靠它在其中膨胀作功。工质不同，能量转换效果就不同，所以还要研究工质的热力性质。能量转换是工质在热力装置中，经历吸热、膨胀作功、放热、压缩等变化过程来实现的。因此对热力过程和循环的分析计算是工程热力学的第三个主要内容。

工质吸热就必须有一个供给工质热量的热源，称高温热源。工质要放热就必须一个接受热量的低温热源，也称冷源。在工程热力学中的高温热源和低温热源均指具有无限大热容量的物体(或系统)，不因其吸热或放热改变自身的温度。因此在各种动力装置中，热能与机械能的转换关系可归纳为：热机中的工质，从高温热源吸取热能，将其中一部分转换为机械能，其余部分放给低温热源。此关系可用图 0-1 a 表示。制冷装置中的能量转换关系，可用图 0-1 b 表示。

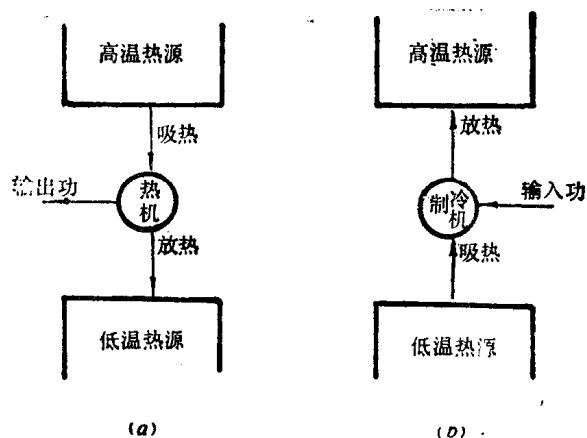


图 0-1 能量转换装置，原则性示意图
(a) 动力装置原则性示意图 (b) 制冷装置原则性示意图

工程热力学采用宏观的研究方法，不考虑物质的分子和原子的微观结构，而是以被大量事实所证实，并具有极大普遍性的热力学第一定律和热力学第二定律，作为分析推理的基础。用系统外在表现出来的，诸如压力、温度、容积等参数的情况，来进行宏观现象和宏观过程的研究，这具有简单可靠，普遍性与实用性等优点。此外，如其它科学一样，在本学科中也普遍采用抽象、概括、理想化和简化的方法。

传热学是在热力学基础上，用分析的方法研究在不可逆情况下热量的传递过程，并预示热量的传递速率及温度的分布情况。对此，单纯用热力学方法是不能作到的。热力学只能预示为使系统从一个平衡状态转变到另一个平衡状态，与外界的能量交换及平衡状态时的温度。

热力学第二定律指出，热量总是自发地从高温处传向低温处。温差在自然界是普遍存在的，所以传热是非常普遍的现象，在工、农业生产和文化生活的各个领域，如能源动力、建筑、冶金、机电、制冷、空调、农副产品生产加工和储藏等方面，都广泛地利用传热的理论和技术。所有传热问题归纳起来，不外两种类型：一类是增强传热，以缩小设备尺寸减少占用空间和材料消耗。如为了快速加热、急冷、高热流密度或小温差传热等特殊要求都需要增强传热；另一类是削弱传热，以避免散热损失或保持适宜的工作温度。研究传热学的目的，就是控制温度分布和控制传热速率。学习传热学就在于掌握传热的基本规律，了解影响传热的各种因素，以便对工程实际问题作出正确的分析和计算。

第一篇 工程热力学

第一章 基本概念

在热力学中引用了许多与能量及转换有关的概念、术语，我们必须确切地理解它们的含义，才能有效地运用热力学的研究方法分析解决工程实际问题。

第一节 热力系统

进行任何理论和工程分析时，都必须明确研究的对象。如在力学中要研究一个物体的运动，就要把所研究的对象取为“隔离体”，并确定出有关物体作用在这个物体上的各项力。也就是要分析其它物体与我们所要研究的物体的相互作用。同样，在热力学中也要将研究的对象——一些物质群或空间的一个区域，从周围物体中分割出来。这种人为分离出来，作为热力学分析的对象，就叫做热力系统或系统。系统以外，周围有关的其它物体统称外界。热力系统与外界的分界面叫做边界。边界可以是真实的，也可以是虚构的，可以是固定的，也可以是运动的。

热力系统在与外界的相互作用中，常通过边界进行能量(如热量和各种形式的功)及物质的交换。

按热力系统与外界进行物质交换的情况，将热力系统分为：

闭口系统——热力系统与外界无物质的交换，即没有物质穿过边界。此时热力系统内部物质的数量是不变的，故其介质质量是恒定的，所以也称为**控制质量**($c.m.$)。这里要注意的是，具有恒定质量的系统不一定是封闭系统。例如，在一个稳定流动的系统，进入和离开系统的质量是恒定的，因而系统的质量也将不变，但根据闭口系统的定义，它显然不是闭口系统。**控制质量**这一术语表示由特定物质组成的系统。

闭口系统的边界，可以是移动的，但此时仍无物质穿过边界。例如，气缸内气体组成的闭口系统如图 1-1 所示。当紧贴着气缸壁的活塞移动时，系统的边界以及与之相应的气体体积发生改变，可是气体的数量却保持不变。

开口系统——热力系统与外界间有物质交换，即有物质穿过边界。在工程中遇到的开口系统，常有确定的空间边界，在此边界上有一股或几股物质流穿过。这时，我们可以把研究的对象限制在一定的空间范围内，这种空间范围叫做**控制容积**($c.v.$)，或称**控制体**。对工程上的一些流动过程，常采用控制容积，如图 1-2 所示的换热器。

按热力系统与外界进行能量交换的情况，将热力系统分为：

绝热系——热力系统与外界无热量的交换；

孤立系——热力系统与外界即无能量交换，又无物质交换。即孤立系与其外界之间完全没有任何相互作用。

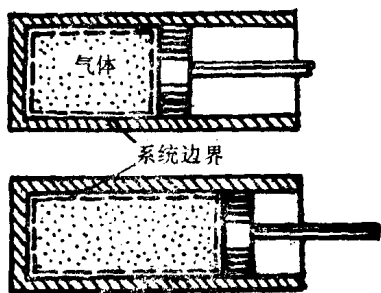


图 1-1 系统边界

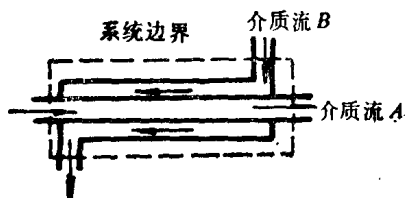


图 1-2 控制容积

热力系统的划分和选取，取决于研究对象的特点及研究的目的和任务。例如，分析内燃机内工质在进气阀关闭以后，排气阀开启之前，气缸内工质在膨胀和压缩过程中热能和机械能的转换关系时，因定量工质封闭在气缸—活塞空间内，故为闭口系统，并以气缸和活塞为边界。此时的边界是真实的，可移动的，如图 1-3 a。又如把内燃机进、排气及膨胀压缩过程一起研究时，可在工质流经的进、出管道上各取一假想的横截面，和气缸（与活塞）共同组成边界，将此空间区域（控制容积）作为热力系统如图 1-3 b 所示，就成为开口系统。此时边界既有真实的，又有虚构的。

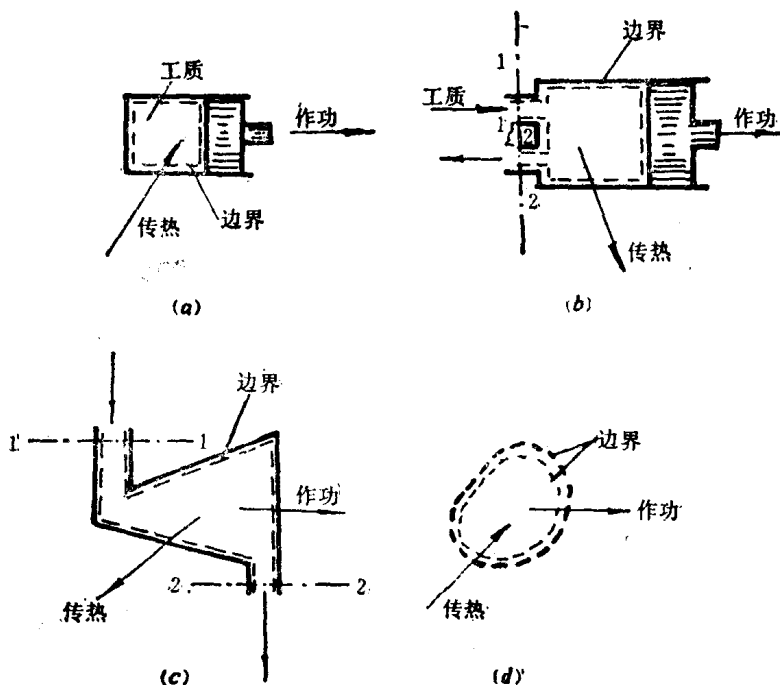


图 1-3 热力系统的划分

又如对连续工作的汽轮机作能量分析时，工质不断从进、出口流进流出，并在其中膨胀推动叶轮对外界做功。这时取涡轮机外壳包围的空间为一个热力系统。则因系统与外界间不断交换物质，故为一个开口系统，如图 1-3 c 所示。如果要研究汽流中某一团工质时，就可用一假想的边界将其工质包围起来，因它和外界间只有热量和功的传递，而无工质

的进出, 就成为一个闭口系统了, 如图 1-3 d 所示。

需要注意的是, 绝热系与孤立系都是抽象的概念, 是完全理想化了的情况。因为实现绝热系, 其边界必须是由绝对隔热材料构成的围壁, 但实际上是没有这种材料的, 所以是系统与外界的传热量小到可以忽略不计, 对能量转换起的作用很小时的一种简化系统。同样, 孤立系统也是如此, 因为自然界中的各种事物都是互相联系的, 不可能有完全孤立的系统。在概念上把系统, 从它与外界的所有相互作用中孤立出来, 抽象为一个孤立系统, 是为了便于对问题的研究。

在作热力学分析时, 不仅要考虑热力系统内部的变化, 同时还要考虑热力系统通过边界与外界发生的能量与物质的交换, 至于外界的变化则不必研究。因此, 边界的划定, 热力系统的选择, 对分析能量转换致为重要。

第二节 状态和平衡状态

选取热力系统, 确定系统与外界间的边界, 只是描述系统的一部分工作, 从绪论的介绍中我们知道, 能量的转换有赖于系统内工质本身状况的不断变化, 为了描述工质本身的变化, 就需要说明在变化过程中工质所经历的每一个宏观状况。热力学中将热力系某一瞬间所呈现的宏观物理状况称为热力系的状态。

热力系统可能以各种不同的状态存在, 但其中具有特别重要意义的是所谓平衡状态。平衡状态是指: 在没有外界影响的条件下 (重力场影响除外), 系统的宏观性质不随时间而变化的状态。

孤立系统是不受外界影响的, 只要它的状态不随时间变化, 则系统就处于平衡态。这时在孤立系内部, 各部分之间必须无温差和压差, 即各部分间处于热平衡和力平衡 (如有化学反应, 还包括化学平衡)。也就是说, 系统内部没有驱使状态变化的不平衡势差——温差和压力差时才是平衡状态。若系统内部, 各部分间存在温差和压差时, 各部分间就将发生传热和位移, 状态将随时间改变, 是不平衡状态。但改变的结果会使传热和位移逐渐减弱最后停止。故孤立系统内不平衡总会自发地趋于平衡状态。

对于受外界影响的非孤立系而言, 要使其达到平衡状态, 不但系统内部, 各部分有均匀一致的温度、压力等参数, 并且温度和压力也必须与外界的温度、压力相一致, 即系统与外界处于热平衡和力平衡之中 (如有化学反应也包括化学平衡)。如果系统和外界温度、压力不同而具有外部不平衡势差, 系统状态就要发生变化。但这种变化总是朝着削弱外界作用的方向进行, 如外界温度、压力保持不变, 系统与外部势差将会逐渐减少, 以至最终完全消失, 外界的影响也就没有了, 此时系统与孤立系统无异, 达到平衡状态。

综上所述, 平衡热力系统应是无内部势差也无外部势差, 亦即不存在任何驱使状态变化的不平衡势差。此时系统的总能量保持不变, 系统也不会发生能量的转换或转移。

这里需要强调的是, 就平衡而言, 没有势差是其本质, 而状态不变仅是现象。系统是否处于平衡态, 应从本质而不能从现象来判别。例如稳态导热中 (在传热学中将会讲到), 系统的状态也不随时间改变, 但此时在外界作用下系统有内、外势差存在, 因此系统的状态只能称稳态, 而不是平衡态。

另外要注意的是, 平衡和均匀是两种不同的概念。平衡热力系统是状态不随时间改变,