

高等农林院校精品课程建设教材

GAO DENG NONG LIN

工程热力学与

GONG CHENG RE LI XUE YU CHUAN RE XUE

传热学

李长友 钱东平 主编



中国农业大学出版社

高等农林院校精品课程建设教材

工程热力学与传热学

李长友 钱东平 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学与传热学/李长友,钱东平主编. —北京:中国农业大学出版社,2004.9
高等农林院校精品课程建设教材
ISBN 7-81066-699-1/T·10

I. 工… II. ①李… ②钱… III. ①工程热力学—高等学校—教材 ②工程传热学—高等学校—教材 IV. TK12

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第077297号

书 名 工程热力学与传热学
作 者 李长友 钱东平 主编

策划编辑	张秀环	责任编辑	阚春
封面设计	郑川	责任校对	陈莹
出版发行	中国农业大学出版社		
社 址	北京市海淀区圆明园西路2号	邮政编码	100094
电 话	发行部 010-62731190,2620	读者服务部	010-62732336
	编辑部 010-62732617,2618	出版部	010-62733440
网 址	http://www.cau.edu.cn/caup	E-mail	caup@public.bta.net.cn
经 销	新华书店		
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		
版 次	2004年9月第1版	2004年9月第1次印刷	
规 格	787×1092 开本16	16.25印张	396千字 插图1
印 数	1~3050		
定 价	23.00元		

图书如有质量问题,本社发行部负责调换。

主 编 李长友(华南农业大学)
钱东平(河北农业大学)

副主编 杨中平(西北农林科技大学)
郑先哲(东北农业大学)

参 编 王 民(西北农林科技大学)
郝卫东(山西农业大学)
徐风英(华南农业大学)
曲保雪(河北农业大学)

主 审 刘道被(华南农业大学)

内 容 提 要

本书根据高等农业院校工科院系工程热力学与传热学课程教学需要编写而成。

全书共分 12 章,包括工程热力学和传热学两大部分内容,主要介绍工程热力学与传热学基本概念、基本定律和研究问题的基本方法,气体及蒸汽的热力性质、各种热力过程和循环、动力装置循环、制冷循环的分析和计算,导热、对流换热、辐射换热、传热过程和换热器等内容,紧密结合高等农业院校工科院系教学改革特点及复合型工程人才规格的培养要求,考虑到多学科交叉和利用多媒体辅助教学的手段,力求内容精练,适当加深、加宽,有些问题通过例题、习题启发学生独立思考解决,大幅度节约课堂学时。

本书可作为高等农业院校农业工程类、能源工程类、食品工程类、交通运输类、林业工程类、机械工程类、农业设施与环境工程类、电气信息类等专业的教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

前 言

任何自然过程都不可避免地会出现能量蜕化为热,各种工程都涉及利用热或者防止热的发生和传递,尤其在科学与技术高速发展的今天,能量的发生与利用,能量转换及节能技术,对于社会、经济发展和提高人民生活水平极为重要。工程热力学与传热学理论和研究问题的方法在各类工程、生态及人文等领域产生着日益广泛的影响,它作为高等院校的一门重要技术基础课程,不仅为学生学习有关的专业课程提供必要的基础理论知识,而且也为学生以后从事热能综合利用、热工设备与能量系统设计等方面提供科学的研究方法。

编写中特别考虑了高等农业院校工科院系学科调整、教学改革特点、综合型工程人才规格的培养要求以及多学科交叉利用和多媒体辅助教学的手段,选材力求精练,内容适当加深、加宽,有些问题通过例题、习题启发学生独立思考解决。课堂学时以50~60学时为宜,注有“*”的部分为选修内容,也可根据专业需要适当取舍部分章节的内容,以较大幅度地节约课堂学时。

全书共分12章,对工程热力学与传热学基本概念、基本定律和研究问题的基本方法,气体及蒸汽的热力性质、各种热力过程和循环、动力装置循环、制冷循环的分析和计算,导热、对流换热、辐射换热、传热过程和换热器等内容作了比较详细的论述,力求帮助读者充分理解热力学第一、第二定律,能量贬值原理以及基本热力过程和循环的计算和分析方法,获得比较广泛的热量传递规律的基础知识,具备分析工程传热问题的基本能力,掌握解决工程传热问题的基本方法并具备相应的计算能力。

本书第5,6章由杨中平编写;第7章由杨中平与钱东平编写;第8章由钱东平和曲保雪编写;第9,10章由郑先哲编写;第11章由郝卫东和李长友编写;第12章由王民编写;李长友编写了第1~4章及前言、绪论、附图、附表等内容并负责全书的修订和统稿工作,在校阅各章内容的基础上编写了符号说明和各章习题答案。北京农学院卢大新教授参与了大纲修订;华南农业大学徐风英讲师参加了部分内容的整理工作;新疆农科院洪英副研究员和华南农业大学胡万里、张韶回参加了部分章节的习题和图表的编写工作;刘道被教授在主审过程中向本书提出了许多宝贵的意见和建议;在此谨向他们表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2004年5月

主要符号说明

- A 面积, m^2
- Bi 毕渥数
- c 比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; 运动速度, m/s
- c_p 比定压热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- c_v 比定容热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- c' 容积热容, $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$
- c_m 摩尔热容, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
- c_{mp} 摩尔定压热容, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
- c_{mv} 摩尔定容热容, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
- $c_n = c_v - \frac{R}{n-1}$, 多变过程比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- c_ϕ 物理量的相似倍数
- c_f 流速, m/s
- $C_b = 5.67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$, 黑体辐射系数
- d 含湿量, kg/kg
- E 辐射力, W/m^2
- E_b 黑体辐射力, W/m^2
- E_λ 单色辐射力, W/m^2
- E_θ 定向辐射力, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
- e_x 比焓, J/kg
- F 力, N
- $Gr = \frac{\beta g \Delta t l^3}{\nu^2}$ 格拉晓夫数
- H 焓, J
- h 比焓, J/kg
- h_a 干空气的比焓, J/kg
- h_v 水蒸气的比焓, J/kg
- I 辐射强度, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
- I_θ 辐射方向上的辐射强度, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
- J 有效辐射
- L 流体润湿流道的周边长度, m
- l 定型尺寸, m
- l 管长, m
- m 质量, kg

- M 混合物的摩尔质量, kg/mol
 Ma 马赫数
 Nu 努塞尔特数
 P 压力, Pa
 $Pe=vl/a$ 贝克来数
 $Pr=Pe/Re=\nu/a$ 普朗特数
 p 绝对压力, Pa
 p_e 表压, Pa
 p_v 真空度, 水蒸气的分压力, Pa
 p_a 干空气的分压力, Pa
 p_b 大气压力, Pa
 Q 热量, J
 q 1 kg 工质与外界交换的热量, J/kg
 R 气体常数, J/(kg · K)
 R_v 水蒸气的气体常数
 R_m 通用气体常数, J/(kmol · K)
 $Re=\frac{vl}{\nu}$ 雷诺数
 S 熵, J/K
 s 比熵, J/(kg · K)
 T 热力学温度, K
 t 摄氏温度, °C
 t'_w 绝热湿球温度, °C
 t_d 露点, °C
 U 内能, J
 u 比内能, J/kg
 V 容积, m³
 V_m 摩尔体积, m³/mol
 v 比体积, m³/kg; 特征速度, m/s
 W 功, J
 w 比功, J/kg
 w_t 1 kg 工质的技术功, J/kg
 w_s 1 kg 工质的轴功, J/kg
 x 干度
 x_i 摩尔分数
 μ 气体的分子质量
 η_i 循环热效率
 η_c 卡诺循环的热效率
 ϵ 制冷系数; 黑度

- ε_c 卡诺逆循环制冷系数
 ε' 供热系数
 ε'_c 卡诺逆循环供热系数
 ε_p 压力修正系数
 ε_l 管长修正系数
 ε_R 管道弯曲影响修正系数
 ε_n 管排修正系数
 σ_b 黑体辐射常数, $\sigma_b = 5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
 α 吸收率; 换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 α_λ 单色吸收率
 ρ 密度, m^3/kg
 ρ_v 绝对湿度, kg/m^3
 γ_i 体积分数
 φ 相对湿度, %
 ξ 能量利用系数
 λ 导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
 β 容积膨胀系数
 σ 回热度
 π 增压比
 τ 循环增温比
 ν 运动黏度, m^2/s

目 录

绪论	(1)
1 热力系统	(4)
1.1 热力系统的基本概念	(4)
1.2 状态方程式及状态参数坐标图	(8)
1.3 热力过程及热力循环	(10)
思考题 1	(16)
习题 1	(16)
2 理想混合气体及湿空气	(19)
2.1 理想混合气体	(19)
2.2 湿空气及其状态参数	(24)
2.3 湿空气的焓-含湿量图	(28)
思考题 2	(30)
习题 2	(31)
3 热力学第一定律	(35)
3.1 热力学第一定律	(35)
3.2 稳定流动能量方程式	(37)
3.3 稳定流动能量方程式的应用	(40)
3.4 理想气体的热力过程	(43)
思考题 3	(49)
习题 3	(50)
4 热力学第二定律	(54)
4.1 热力学第二定律的实质及表述	(54)
4.2 卡诺循环和卡诺定理	(55)
4.3 熵和克劳修斯积分式	(57)
4.4 熵增原理	(59)
* 4.5 可用能与焓	(62)
思考题 4	(65)
习题 4	(66)
5 水蒸气	(70)
5.1 水蒸气的定压汽化过程	(70)
5.2 水蒸气的状态参数	(72)
5.3 水蒸气的基本热力过程	(75)
思考题 5	(77)
习题 5	(77)

6 气体与蒸汽的流动	(79)
6.1 稳定流动基本方程式	(79)
6.2 气体在喷管中的流动特性	(81)
6.3 喷管的计算	(83)
6.4 有摩阻的绝热流动	(88)
6.5 绝热节流	(89)
思考题6	(90)
习题6	(90)
7 动力装置循环	(92)
7.1 蒸汽动力循环	(92)
7.2 活塞式内燃机循环	(98)
7.3 燃气轮机装置循环	(103)
思考题7	(108)
习题7	(108)
8 制冷循环	(109)
8.1 概述	(109)
8.2 压缩空气制冷循环	(110)
8.3 压缩蒸气制冷循环	(113)
8.4 制冷剂的性质	(114)
8.5 其他制冷循环	(118)
8.6 热泵循环	(120)
思考题8	(122)
习题8	(122)
9 导热	(124)
9.1 导热的基本定律	(124)
9.2 稳态导热	(127)
9.3 非稳态导热	(131)
9.4 导热问题的数值解法基础	(132)
思考题9	(140)
习题9	(141)
10 对流换热	(143)
10.1 放热过程及其影响因素	(143)
10.2 相似准则及准则函数	(147)
10.3 自由对流放热与受迫运动放热	(154)
10.4 外掠圆管和管束放热	(161)
思考题10	(167)
习题10	(167)
11 辐射换热	(169)
11.1 热辐射的基本概念	(169)

11.2	热辐射的基本定律	(172)
11.3	实际物体的辐射	(175)
11.4	物体之间辐射换热的计算	(177)
	思考题 11	(184)
	习题 11	(185)
12	传热与换热器	(187)
12.1	传热与换热器	(187)
12.2	面式换热器的计算原理	(191)
12.3	传热单元数与换热器效能	(200)
12.4	传热过程的强化	(206)
	思考题 12	(208)
	习题 12	(208)
	附录	(210)
附表 1	某些常用气体在理想气体状态下的平均比定压热容 $c_{p,m} _0^t$	(210)
附表 2	某些常用气体在理想气体状态下的平均比定容热容 $c_{v,m} _0^t$	(211)
附表 3	饱和水与饱和蒸汽表(按温度排列)	(212)
附表 4	饱和水与饱和蒸汽表(按压力排列)	(214)
附表 5	未饱和水与过热蒸汽表	(216)
附表 6	大气压力($p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下空气的热物理性质	(227)
附表 7	未饱和水和饱和水的物理参数	(228)
附表 8	饱和水蒸气的物理参数	(229)
附表 9	0.1 MPa 时饱和空气的状态参数	(230)
附表 10	各种材料的黑度 ϵ	(231)
附表 11	常用换热器传热系数的大致范围	(231)
附表 12	大气压力($p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下烟气的热物理性质	(233)
附表 13	大气压力($p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下机油的热物理性质	(233)
附图 1	氨(NH ₃)的压-焓图	(234)
附图 2	R134a 的压-焓图	(235)
附图 3	R12 的压-焓图	(236)
	部分习题参考答案	(237)

绪 论

热力学是研究热现象中,物质系统在平衡时的性质、能量平衡关系以及状态发生变化时,系统与外界相互作用的学科。工程热力学是热力学的工程分支,它主要研究能量转换,特别是热能转化成机械能的规律和方法,以及提高转化效率的途径。传热学是研究热量传递规律的科学,它和工程热力学一起组成热工理论基础。

(1) 热力学发展简史

热现象是人类最早接触到的自然现象之一,温度和热量是研究热现象的重要概念,对它们的定量测量是热学的开始。温度表征物体冷热的程度,要对它定量测量,必须建立一套温标。日常用的摄氏温标是1742年瑞典天文学家摄尔修斯以水银为测温物质,以其热膨胀为测温属性,固定标准点选为在标准大气压下的纯水的冰点(0°C)和沸点(100°C)提出的。但温度和热量这两个概念在科学史上曾混淆不清,直到17世纪末,人们还不能正确区分这两个基本概念的本质。受当时流行的“热质说”理论的束缚,人们误认为物体的温度高是由于储存的“热质”数量多。明确区分温度和热量这两个概念的是英国化学家布莱克(1728—1799),他把温度叫做“热的强度”,热量叫做“热的数量”,并发现了潜热。

18世纪,英国开始了产业革命,产生了对热机的巨大需求,各种蒸汽机应运而生。在蒸汽机的众多发明者和改进者中,最有名的是英国人瓦特(James Watt, 1736—1819),他在1763—1784年间,主要凭借经验摸索对当时只能用于矿井抽水和灌溉的纽克曼蒸汽机作了重大改进,且研制成功了应用高于大气压的蒸汽和配有独立凝汽器的单缸蒸汽机,使蒸汽机能耗降低了75%;1782年,制造了联协式蒸汽机;1784年,发明了调速器并对蒸汽机进一步改进,使其能适用于各种机械运动的原动机。此后的纺织业、采矿业、冶金业、造纸业、陶瓷业等工业部门,都先后以蒸汽机作为原动机获得了迅速的发展。

蒸汽机的发明与应用,推动了热学理论研究,促成了热力学的建立与发展。最先从理论上说明热机运行过程的是法国工程师卡诺(Sadi Carnot, 1796—1832)。他在1824年,提出了卡诺定理和卡诺循环,指出热机必须工作于不同温度的热源之间,给出了热机最高效率的概念,实际上已在本质上阐明了热力学第二定律的基本内容,但他是在热质说的框架中进行论证的(他认为:热机在高温热源和低温热源之间做功,就像水从高处落到低处做功一样,两个热源的温差相当于热质的下落高度,认为热的量在由高温热源流向低温热源中保持不变)。虽然他得出的结论是正确的,但其证明过程是错误的。在卡诺所做工作的基础上,1850—1851年间克劳修斯(Rudolf Clausius, 1822—1888)和开尔文(Lord Kelvin, 1824—1907年,原名汤姆逊(William Thomson))先后独立地从热量传递和热转变成功的角度提出了热力学第二定律,指明了热过程的方向性。

在热质说流行的年代,英国科学家伦福德(B. T. Rumford)1798年观察到钻炮筒时剧烈地发热,戴维(H. Davy)于1799年用两块冰摩擦融化等实验事实驳斥了热质说,主张热动说,但由于没有找到热功转换的数量关系,他们的工作没有受到重视。1842年,迈耶提出了能量守恒

理论,认定热是能的一种形式,可与机械能互相转化,并从空气的定压比热容与定容比热容之差计算出热功当量。英国物理学家焦耳(James P. Joule)于1840年建立电热当量的概念,1842年以后用不同方式实测了热功当量。1850年,焦耳以各种精确的实验结果充分地证实了能量守恒与转换定律,使科学界彻底抛弃了“热质说”。公认能量守恒、能的形式可以互换的热力学第一定律为客观的自然规律。

热力学第一定律和第二定律的确认,对于两类“永动机(即不消耗能量的第一类永动机和只从一个热源吸热的第二类永动机)”的不可能实现作出了科学的最后结论,正式形成了热现象的宏观理论热力学,并在19世纪中叶形成了“工程热力学”这门技术科学,使内燃机、汽轮机、燃气轮机和喷气推进机等相继取得了迅速发展。在人们运用工程热力学知识,找到了蒸汽动力装置最理想的工作情况后,发现实际蒸汽机的经济性与同条件下最理想的工作情况相比,存在很大的提高空间,这无疑也引起了人们深一步研究运行中的实际蒸汽机的热损失的极大兴趣,促使人们去努力研究热量传递的规律。自20世纪初,“传热学”便作为一门独立的科学,不断地丰富和发展。在生产领域中得到了十分广泛的应用。

能源动力技术与科学的发展,对于社会、经济发展和提高人民生活水平,推动人类社会生产力的发展具有重要意义。蒸汽机的发明实现了热能大规模、经济地转换成机械能,使工业生产、科学技术和人们的生活发生了突飞猛进的变化。从18世纪开始的工业革命一直延续到20世纪50年代前的社会发展,可以说是走向工业化社会或技术社会的过程。在这一发展进程中热力学理论促进了热动力机的不断改进与发展。随着工业化进程的继续、人类生活质量的不断提高,生态环境备受重视,生存和发展问题引起了世界各国的普遍关注。20世纪80年代后期以来,人们将发展看做为人的基本需求逐步得到满足、人的能力发展和人性自我实现的过程,形成了可持续发展观念并在全球取得共识。人类当今的发展需求,向热力学提出了能量发生,能量利用及能量回收诸多领域的新课题。热力学理论将在不断解决诸如确保自然资源可持续利用、相变传热、物体对外部能量选择性吸收、洁净能源利用技术等新课题中不断充实、完善和发展。

(2) 工程热力学与传热学的主要内容及研究方法

工程热力学是热力学最先发展的一个分支,它主要研究热能与机械能和其他形式能量相互转换的规律及其应用。

工程热力学的基本任务是:通过对热力系统、热力平衡、热力状态、热力过程、热力循环和工质的分析研究,改进和完善热力发动机、制冷机和热泵的工作循环,提高热能利用率和热功转换效率。为此,必须以热力学基本定律为依据,探讨各种热力过程的特性;研究气体和液体的热物理性质以及蒸发和凝结等相变规律;研究溶液特性也是分析某些类型制冷机所必需的。

工程热力学是关于热现象的宏观理论,经典的研究方法是宏观的,它以归纳无数事实所得到的热力学第一定律、热力学第二定律和热力学第三定律作为推理的基础,通过物质的压力、温度、比体积等宏观参数和受热、冷却、膨胀、收缩等整体行为,对宏观现象和热力过程进行研究。

这种方法,把与物质内部结构有关的具体性质,当做宏观真实存在的物性数据予以肯定,不需要对物质的微观结构作任何假设,所以分析推理的结果具有高度的可靠性,而且条理清晰,这是它的独特优点。

传热学是研究热量传递规律的科学。工程中的传热问题可分为两类,一类是计算传递的热

流量,包括强化传热和弱化传热。强化传热如一切用于加热和冷却的换热设备;弱化传热如所有保温设施。另一类是确定物体各点的温度及其分布。如确定物体在温度升高或降低过程中内部温度变化,内燃机活塞的温度分布等。研究传热学的目的在于掌握传热的规律及其计算方法,寻求强化或弱化传热的途径,为解决工程实际问题奠定基础。

传热是一个非常复杂的过程,一般将其分为导热、热对流、热辐射3种形式。就物体温度与时间的依变关系而言,传热过程可区分为稳态过程与非稳态过程。凡是物体中各点温度不随时间改变的传热过程均称为稳态过程,反之则称为非稳态传热过程。各种热力设备在持续不变的工况下运行时的传热过程属于稳态过程,而在起动、停机、变工况时所经历的传热过程均为非稳态过程。

研究传热问题的方法有理论研究方法和实验研究方法两类。理论研究方法主要有数学解析法、有限元分析、数值解析法等。数学解析法在传热问题研究中占据越来越重要的地位,但是到目前为止,只能对一些简单的传热问题,且经过一系列简化假设以后,才能由数学解析法求出理论解;分析问题的根据是要通过实验研究找到过程规律,并以实验来验证理论。实验研究方法是目前研究传热问题的主要方法,但传热实验研究首先遇到的困难是影响因素太多,如果孤立地考虑这些单因素的影响,就会使实验次数多得难以安排,即使进行了大量的实验,在整理数据时也将因变量太多而无法得到一个具有普遍意义的经验公式。为了克服这一困难,一般是遵循相似理论的原理,把影响物理过程的若干因素,按照它们在过程中的内在联系,综合成一个无因次的数群,这样就可把众多的影响因素综合为有限的几个变量,而使实验布置和经验公式的整理大为简化;其分析问题的根据是要通过实验研究找到过程规律,并以实验来验证理论。

在近20多年,现代科学技术的进步,特别是高参数大容量发电机组的发展,原子能、太阳能、地热能等新能源的开发利用,航天技术的飞速发展,超导、大规模集成电路、微型机械和生物工程等一系列现代科学技术的巨大进步,推动了传热学科学的迅速发展,其理论体系日趋完善,已经成为现代科学技术中充满活力的主要基础学科之一。

1 热力系统

1.1 热力系统的基本概念

1.1.1 热力系统的定义及分类

分析研究任何现象时,首先应选择研究对象。在热力学中,人为地把分析的对象从周围的物体中分割出来,研究它与周围物体之间的能量传递和物质交换。这种被人为分割出来作为分析对象的有限物质系统称为**热力学系统**,简称**热力系**。周围物体统称**外界**。系统与外界之间的分界面称为**边界**。系统与外界之间,通过边界与外界进行热能和机械能或其他形式能量的传递与质量交换。边界可以是实际的、假想的、固定的、可移动或胀缩的封闭曲面。如图1-1(a)是蒸汽机、内燃机的气缸内壁面和活塞顶部组成的真实的边界,气缸的内壁面是固定的边界,活塞的顶部是可移动的边界,此系统为具有可移动边界的热力学系统。图1-1(b)是旋转式热机如汽轮机、燃气轮机等利用高速气流源源不断地流过设备时的动能对外做功,热泵的工质流过压缩机转移热能的热力系统,取壳体内表面和进、出口处 I-I、II-II 截面围成的空间区域为系统。这一系统的边界是真实壳体的内壁和假想的 I-I、II-II 截面所围成的具有固定边界的热力学系统。

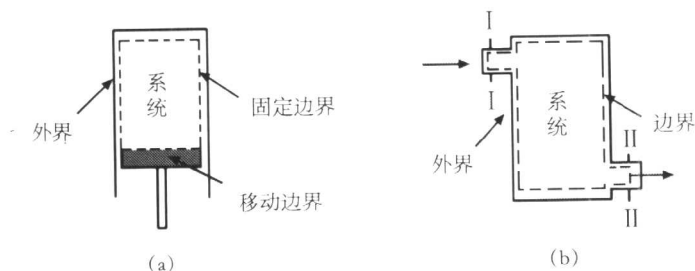


图 1-1 热力系统

按热力系统与外界的物质交换情况,热力系统可分为:

闭口系统——热力系统与外界只有能量交换而无物质交换,或者说没有物质穿过边界。系统内的质量保持恒定,所以闭口系统又叫做控制质量。

开口系统——热力系统与外界不仅有能量交换而且有物质交换。这种系统把研究对象规划在一定的空间范围内,这种空间范围被称为控制容积或者控制体。

闭口系统和开口系统不是客观存在的,而是根据研究的方便人为选取的,系统与外界的分

界面也可称为控制面。

按热力系统与外界的能量交换情况,热力系统可分为:

绝热系统——系统与外界无热交换。

绝热系统与外界只是无热交换,但可有其他形式的能量交换,系统内的温度可有变化。

孤立系统——系统与外界既无任何物质交换又无任何形式的能量交换。

孤立系统的一切作用都发生在系统内部,它是把系统与其发生物质和能量交换外界取作了新的系统,所以,任何一个非孤立系统与其相关外界综合为一个系统考虑时都可构成孤立系统。

绝热系统与孤立系统都是热力学抽象的概念,自然界不存在真正的绝热系统,也不存在绝对的孤立系统,因为自然界没有完全隔热的物质,也不存在绝对孤立的物体。工程热力学研究的许多热力系统、绝热系统或孤立系统存在显著的近似性,这种科学的假定和抽象,为热力系统研究带来很大的方便。

1.1.2 热力学平衡状态

把工质在热力变化过程中的某一瞬间所呈现的宏观物理状况称为工质的热力学状态,简称**状态**。工程热力学是研究由大量分子组成的热力学系统。实验表明,一个不受外界影响的系统,无论它的初始状态如何,经过充分长的时间后,必将达到系统的宏观性质不随时间变化的这样一种状态。这种状态就是热力学平衡状态。因此,热力学平衡状态可定义如下:

在没有外界影响(忽略重力场)的条件下,系统的宏观性质不随时间变化的状态,称为**平衡状态**,简称**平衡态**。

工质的状态用其宏观物理量来描述,这种物理量称为**状态参数**。处于平衡状态的热力学系统的一切宏观变化均停止,系统内部各处的性质均匀一致,各处的压力、温度、比体积等所有状态参数都保持一定。对应工质的每一个状态,状态参数都有一定的数值,只要其中的一个状态参数值变了,就意味工质的状态发生了变化。

1.1.3 工质的基本状态参数

简单可压缩平衡系的状态常用温度、压力、比体积等状态参数来描述,称为工质的基本状态参数。

1.1.3.1 温度

温度是标志物体冷热程度的参数。分子运动学说把温度与气体大量分子平均动能联系起来。在一个系统中,大量分子的热运动状况,可以用一个平均速度表示,分子热运动愈强烈,分子热运动的平均速度越大,表现为系统的温度就愈高。如果忽略分子之间的相互作用,由分子运动论可导出运动平均动能与温度的关系式如下:

$$\frac{m\bar{c}^2}{2} = BT \quad (1-1)$$

式中: $\frac{m\bar{c}^2}{2}$ —分子平移运动的平均动能,其中 m 是一个分子的质量, \bar{c} 是分子平移运动均方根速度; B —比例常数; T —气体的热力学温度。

式(1-1)说明气体分子的平均动能仅与温度有关,并与热力学温度成正比。可见温度反映