

工程热力学和传热学

岳丹婷 主编
金以铨 主审



大连海事大学
出版社

Tk12
Y-263

工程热力学和传热学

岳丹婷 主编
金以铨 主审

大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学和传热学/岳丹婷主编. —大连:大连海事大学出版社,2002.3

ISBN 7-5632-1532-8

I. 工… II. 岳… III. ①工程热力学-高等学校-教材 ②传热学-高等学校-教材
IV. TK12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 088431 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4728394 传真 4727996)

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连理工印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:18.75

字数:471 千 印数:0 001~4 000 册

责任编辑:陈景杰 封面设计:王 艳

定价:29.00 元

内 容 提 要

本书共分两篇、十八章。第一篇为工程热力学,内容包括热力学基本概念、基本定律、工质的热力性质和热力过程以及热力学理论在工程中的应用等。热力学的基本定律主要介绍热力学第一定律和热力学第二定律,涉及的工质有理想气体、水蒸气和湿空气,并对喷管和扩压管、压缩机、动力循环、制冷循环进行了热力学分析。第二篇为传热学,内容包括导热、对流换热和辐射换热的基本原理及其计算公式,传热和热交换器的热计算等。书后有法定计量单位的附表 21 个和附图 4 幅。

本书为水运高等学校轮机管理专业(60~80 学时)的专业基础教材,也可供其他动力专业使用,还可供轮机管理人员和船厂设计人员参考。

前 言

本书是在大连海运学院热工教研室朱绍庐、潘延龄和舒宏纪所编的《工程热力学》(1962年)和朱绍庐、潘延龄所编的《传热学》(1963年)两本讲义以及《工程热力学和传热学》第一版(人民交通出版社,1978年版)、第二版(人民交通出版社,1982年版)、第三版(大连海运学院出版社,1989年版)和第四版(大连海事大学出版社,1995年版)的基础上,根据轮机管理专业的教学大纲并结合多年教学实践而编写的。

全书采用“中华人民共和国法定计量单位”,并在附表中列有各种单位换算表。

本书第一版承请清华大学王补宣,上海海运学院蔡士鸣、吴克平、吴孟余,我院金以铨、钱天祉分章审阅,由潘延龄、舒宏纪、詹宗勉、高万功、刘惠枝、闫永健和滕元良分章编写,由潘延龄、舒宏纪主编。

第二版仍由第一版编写人员和武汉工学院龚崇龄分章编写,由武汉海军工程学院杜先之、卢惠民和武汉水运工程学院林发森审阅,在编写过程中还得到西安交通大学苏长荪和清华大学任泽霈的热情指导,由潘延龄和舒宏纪主编。

第三版由詹宗勉、孟繁炯、潘延龄和舒宏纪分章编写,舒宏纪主编,潘延龄主审。第一、二、三版的插图由李恒国绘制。

第四版由袁金良、岳丹婷、任福安、潘延龄和詹宗勉分章编写,詹宗勉主编,舒宏纪主审。

本书在前四版的基础上,对内容作了进一步的精选和调整,加深了对基本概念和基本理论的论述,并注重运用热力学的基本理论解决工程实际问题,还注意引进国内外科学研究的新技术新成果更新和充实内容。各章均有例题,并附有思考题及习题,这些题具有典型性、代表性、启发性,是正文内容的复习与延伸,可以帮助培养学生独立思考和解决问题的能力。本书由任福安(第十三、十四、十五、十六章)、吴桂涛(第十、十二、十八章)、吕欣荣(第五、九、十一、十八章)、严春吉(第七、八章)和岳丹婷(第一、二、三、四、六、十七章)分章编写。全书由岳丹婷担任主编,并统编定稿,由金以铨主审。

由于编者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者

2001年9月

主要符号表

(括号内为应废弃的术语)

A	面积;吸收率	q_v	体积流量
a	导温系数	R	气体常数
c	比热容,质量热容(比热);声速	R_λ	导热热阻
c_p	比定压热容(定压比热)	Re	雷诺数
c_v	比定容热容(定容比热)	r	比汽化潜热
D	穿透率	S	熵
d	含湿量(比湿度)	s	比熵
E	储存能;辐射力	S_g	熵产
E_λ	单色辐射力	S_f	熵流
e	比储存能	St	斯坦顿数
E_k	宏观动能	T	热力学温度(绝对温度)
E_p	宏观位能,重力势能	t	摄氏温度
F	力	t_d	露点温度
G	投射辐射	T_s, t_s	沸点温度;饱和温度
Gr	格拉晓夫数	T_w, t_w	湿球温度
H	焓	t_w	壁面温度
h	高度;比焓	U	热力学能(内能)
I_p	定向辐射强度	u	比热力学能(比内能)
k	传热系数	U_m	摩尔热力学能
L, l	长度	V	体积
M	摩尔质量	V_m	摩尔体积
Ma	马赫数	v	比体积;质量体积(比容)
m	质量	W	膨胀功
Nu	努塞尔数	w	比膨胀功
n	多变指数;千摩尔数	w_g	工质流速
P	功率	W_{net}	净功
p	绝对压力	w_{net}	比净功
Pr	普朗特数	W_t	技术功
Pe	贝克来数	w_t	比技术功
p_0, p_b	大气、环境压力	W_s	轴功
p_a	表压力	w_s	比轴功
p_i	分压力	W_f	流动功
p_s	饱和压力	w_f	比流动功,摩擦功
p_v	真空度;湿空气中水蒸气分压力	w_i	质量分数
Q	热量	x	干度(专指湿蒸气中干饱和蒸气的质量分数)
q	比热量	x_i	摩尔分数
q_m	质量流量		

希腊字母

α	换热系数
β	增压比; 体积膨胀系数; 肋化系数
β_{cr}	临界压力比
δ	厚度; 余隙比
δ_t	热边界层厚度
ϵ	制冷系数; 压缩比; 热湿比; 黑度; 传热有效度
ϵ_h	供热系数
η_c	卡诺循环热效率
$\eta_{c,r}$	压气机绝热效率
η_t	肋片效率
η_i	循环热效率
η_v	容积效率
θ	过剩温度
κ	等熵指数
λ	升压比; 导热系数; 波长
μ	动力粘度
ν	运动粘度
ρ	密度; 预胀比
σ	表面张力; 回热度
τ	时间; 粘滞力
φ	相对湿度
φ_i	体积分数

下角标符号

a	空气中干空气的参数
act	实际过程
B	锅炉
C	临界点参数; 压缩机
cr	临界流动状况的参数
f	流体的参数
fg	汽化
g	气体的参数
i	序号
in	进口参数
iso	孤立系统
j	序号
M	摩尔
m	物质的量; 平均值
n	标准状态, 多变过程
o	环境的参数
out	出口参数
p	定压过程物理量
re	可逆过程
s	等熵过程物理量
s	饱和状态参数; 轴的
T	等温过程物理量
tot	总的
V	定容过程物理量
v	湿空气中蒸汽的物理量
W	壁面的参数
w	水的参数
x	干度

目 录

第一篇 工程热力学

第一章 概论	(1)
第一节 工程热力学的研究对象、任务和方法	(1)
第二节 热力学的发展概况和趋势	(2)
第二章 基本概念	(5)
第一节 热力系统	(5)
第二节 热力状态及状态参数	(7)
第三节 热力过程	(12)
第四节 热力循环	(15)
第三章 热力学第一定律	(19)
第一节 热力学第一定律的实质	(19)
第二节 系统的储存能量	(19)
第三节 系统与外界传递的能量	(20)
第四节 封闭系统热力学第一定律的表达式	(23)
第五节 开口系统热力学第一定律的表达式	(24)
第六节 稳定流动能量方程的应用	(28)
第四章 热力学第二定律	(35)
第一节 热力学第二定律的几种表述	(35)
第二节 卡诺循环和卡诺定理	(36)
第三节 热力学温标和提高循环热效率的基本途径	(38)
第四节 克劳修斯不等式	(40)
第五节 状态参数——熵	(43)
第六节 熵增原理	(47)
第五章 理想气体的热力性质与过程	(53)
第一节 理想气体的定义	(53)
第二节 理想气体的比热容	(55)
第三节 理想气体的热力学能、焓和熵	(58)
第四节 理想气体的热力过程	(61)
第五节 理想气体热力过程的图示综合分析	(64)
第六章 水蒸气的热力性质和热力过程	(71)
第一节 概述	(71)
第二节 水的定压汽化过程和水蒸气的 $p-v$ 图及 $T-s$ 图	(72)
第三节 水蒸气表	(76)
第四节 水蒸气的 $h-s$ 图	(77)

第五节	水蒸气的基本热力过程	(79)
第七章	理想混合气体和湿空气	(84)
第一节	理想混合气体	(84)
第二节	湿空气	(87)
第三节	湿空气的 $h-d$ 图	(91)
第四节	湿空气的典型过程	(93)
第八章	气体和蒸气的流动	(98)
第一节	喷管和扩压管的截面变化规律	(98)
第二节	气体和蒸气在喷管中的流速和质量流量	(101)
第三节	气体和蒸气的绝热节流	(105)
第九章	压缩机的热力过程	(108)
第一节	单级活塞式压缩机的工作原理	(108)
第二节	单级活塞式压缩机所消耗的机械功和容积效率	(109)
第三节	双级活塞式压缩机的工作过程	(111)
第四节	叶轮式压气机	(114)
第十章	气体动力循环	(118)
第一节	分析动力循环的一般方法	(118)
第二节	往复式内燃机的动力循环	(118)
第三节	内燃机三种理想循环的比较及循环的平均压力	(124)
第四节	其他气体动力循环简介	(127)
第十一章	蒸汽动力循环	(133)
第一节	水蒸气作为工质的卡诺循环	(133)
第二节	基本蒸汽动力装置的理想循环——朗肯循环	(134)
第三节	其他蒸汽动力循环简介	(137)
第十二章	制冷循环	(142)
第一节	蒸气压缩制冷循环	(142)
第二节	吸收制冷循环	(147)
第三节	吸附式制冷循环	(148)
第四节	热泵	(149)

第二篇 传热学

第十三章	绪论	(151)
第一节	传热学的研究对象	(151)
第二节	热传递的三种基本方式	(152)
第三节	导热过程、对流换热过程、辐射换热过程和传热过程	(152)
第十四章	导热	(158)
第一节	傅里叶定律和导热系数	(158)
第二节	导热微分方程	(159)
第三节	平壁导热	(162)

第四节	圆筒壁导热	(164)
第五节	肋片导热	(165)
第六节	固体接触热阻	(168)
第十五章	对流换热原理	(171)
第一节	对流换热系数	(171)
第二节	对流换热过程的数学描述	(175)
第三节	对流换热过程的边界层分析求解	(176)
第四节	对流换热过程的实验求解	(185)
第十六章	各种对流换热过程的特征及其计算公式	(197)
第一节	受迫对流换热	(197)
第二节	自然对流换热	(204)
第三节	蒸气凝结换热	(206)
第四节	液体沸腾换热	(208)
第十七章	辐射换热	(213)
第一节	热辐射的基本概念	(213)
第二节	热辐射的基本定律	(215)
第三节	物体间的辐射换热	(219)
第四节	太阳辐射	(225)
第十八章	传热过程与热交换器	(229)
第一节	传热过程的分析与计算	(229)
第二节	热交换器的类型和平均温差	(232)
第三节	换热器的热计算	(241)
第四节	增强传热的方法和热绝缘的应用	(244)
第五节	热管	(247)
附表		(252)
附表 1		(252)
附表 2		(253)
附表 3		(255)
附表 4		(257)
附表 5		(261)
附表 6		(263)
附表 7		(267)
附表 8		(268)
附表 9		(269)
附表 10		(273)
附表 11		(275)
附表 12		(277)
附表 13		(278)
附表 14		(279)

附表 15	(279)
附表 16	(280)
附表 17	(281)
附表 18	(282)
附表 19	(282)
附表 20	(283)
附表 21	(284)
附图	(286)
附图 1	(286)
附图 2	(287)
附图 3	(288)
附图 4	(289)
参考文献	(290)

第一篇 工程热力学

热力学是由物理学中的热学发展而形成的学科,是研究热能和其他形式的能量(如机械能、化学能、电能等)相互转换规律以及有关物质结构热性质规律的。工程热力学是热力学的一个分支,它从工程应用的角度研究热能和机械能相互转换的规律。热力学是一门具有普遍意义的学科,它建立在对客观世界的观察和正确概括上,因此它的逻辑结构使我们有可能预测客观世界的变化。热力学的重要性更在于它的实用性和使用的广泛性。工程热力学就是结合人类生产实践活动而发展起来的。

第一章 概 论

本章介绍工程热力学的研究内容、特点以及研究方法;扼要介绍热力学的发展概况、现状和趋势。

第一节 工程热力学的研究对象、任务和方法

工程热力学是从工程应用的角度研究热能与机械能相互转换规律的科学。

能量转换必须遵循的基本规律有两条:热力学第一定律和热力学第二定律。

热力学第一定律是普遍适用的能量转换和守恒定律在热力学系统中的应用,它说明各种形式的能量可以相互转换,并在转换时数量是守恒的。但是,热力学第一定律所允许的能量转换过程并不是全都可以实现的。例如,一辆疾驶的汽车刹车时,汽车的动能通过摩擦变成热能而散失到环境中去,汽车随之停止前进。反之,对汽车车轮加热,补偿其散失的热能,汽车却不能恢复到原来飞速行驶的状态。由此可见,自发的能量转换是有方向性的。这是因为热能是分子热运动所具有的能量,它是不规则运动的能量,而机械能则是物体整体运动所具有的能量,因而是规则运动的能量。所以,将热能转换为机械能,即把不规则运动的能量转换为规则运动的能量,只能通过工质的受热膨胀来实现。因此,热能转换为机械能是有条件的,有限度的。热力学第二定律就是研究热能和其他形式能量相互转换时的方向、条件和限度。

热力学第一、第二定律是能量转换必须遵守的普遍规律,人们只能认识它,运用它,而不能违反或改变它。但应看到,能量转换不能孤立地进行,总是在一定的内、外条件下发生和发展的。在不违反客观规律的前提下,人们却可以使内、外条件变化,甚至可以创造,使能量转化朝着有利的方向发展。因此,实现能量转换的内、外条件应是热力学的主要研究内容。那么,什么是能量转换的内、外条件呢?

能量是物质运动的度量。能量和物质不可分割,能量的转换必须以物质为媒介。在工程热力学中把热能转变为机械能的媒介物称为工质。工质不同,能量转换的效果也不一样。工质的性质是实现能量转换的内部条件,工质的性质影响能量转换的效果。前已指出,热能转换

为机械能是通过工质的受热膨胀来实现的,因此,作为工质的物质必须具有良好的膨胀性和良好的流动性。所以,热动力装置所用工质一般为气态物质,如空气、燃气和蒸汽。

仅有内部条件尚不足以实现能量的转换,还必须有适当的外部条件,外部条件有时甚至是关键的。例如,在热功转换时,如把气缸的活塞卡住,不许它移动,或把工质置于一体积不变的刚性容器中,此时即使有了气相工质,但因工质的体积不能改变,热变功的转换过程仍然无法实现。欲使之实现,必须要有允许工质体积变化的外部条件。可是热力学并不管外界的具体条件,也不描写外界的状态变化。那么热力学是如何研究能量转换的外部条件的呢?众所周知,外因是通过内因起作用的,在不同的外部条件下,工质的状态变化过程不同,能量转换的结果也随而异,工质状态的变化过程是外部作用的结果。如上述活塞卡住或刚性容器的外部条件,系统内部反映是体积不变,可用定容过程反映其外部条件,因此,热力学是通过研究工质状态变化的热力过程来分析外部条件的影响的。

工程热力学是将经典热力学的基本原理与工程的实际应用密切结合起来,而发展成的一门基础性的应用学科。工程热力学的基本内容,按照其性质可分为三个部分:(1)基本概念和定律;(2)工质的性质和过程;(3)工程应用。这些内容都是有机地结合在一起的。前两部分都是从大量的工程应用实践中总结出来的基础理论;第三部分是这些基础理论在解决实际工程问题时的综合应用。应当联系工程实际来理解基础理论,又应当在解决工程实际问题时体现基础理论的指导作用。加强工程观念,理论联系实际,这是学习工程热力学的基本方法。

工程热力学所研究的是我们能直接观察到的宏观现象。它的研究方法是宏观方法,即从能量的观点出发,依据由经验所建立的热力学第一和第二定律,以及有关工质性质的实验数据,得出一系列有关热功转换的计算公式,供分析和计算使用。因为这种研究方法只是依据经验定律和数学推导,没有作任何人为的假设,所以由此而得到的结论和计算公式十分可靠。它的缺点是没有研究物质的微观结构,因而只能从实验得出结论而无法说明这一结论的物理本质。因此,热力学的研究方法限制了热力学理论只是从宏观方面研究现象,它只回答“是什么”,而不能回答“为什么”。从微观方面来研究热现象的理论是统计物理学,它是从物质的微观结构的假设出发,应用微观粒子运动的力学定律和统计方法来研究物质的热性质。由于统计物理学更深入到微观现象的本质,所以从其基本原理出发也可导出热力学第一、第二定律和工质的性质,这就可以透过宏观现象阐明其物理本质。不过统计物理学的缺点是,在推导过程中要对物质结构模型作一些简化或假设,因此从理论上得出的结果就与实际情况有相当大的差别。本书以宏观方法为主,对宏观的结果只作适当的定性的微观解释。

总之,工程热力学的研究对象、任务和方法可作如下概括:“工程热力学是从工程应用的角度研究热能和机械能的转换规律和工质的性质,找出提高能量利用经济性的最有效途径,它使用的是宏观方法。”

第二节 热力学的发展概况和趋势

一、热力学的发展简史

热力学的建立起源于对热机效率的理论探索。19世纪初,已开始普及瓦特蒸汽机,但其效率仍然很低,为了提高蒸汽机的效率,许多工程师和科学家认为,仅凭经验或改革加工工艺是不能实现的,只有从理论上突破才能达到。于是科学家开始了从理论上研究热机工作的热

力学原理。

1843年,英国的焦耳和德国的迈尔几乎同时独立地测出了热功当量。焦耳、迈尔及法国数学家迪卡尔、德国物理学家赫尔姆霍茨、英国物理学家格罗沃等十几位从事不同职业的科学家经过十几年的共同论证,建立了能量守恒和转换定律,即热力学第一定律。它是自然科学中关于物质运动的最重要、最普遍的定律之一。

1824年,法国物理学家、工程师卡诺发表了他一生中惟一的论文《关于火的动力及产生这种动力机器的研究》。在这篇文章中,提出了卡诺循环和卡诺定理,奠定了建立热力学第二定律的基础。德国物理学家克劳修斯于1850年提出了热力学第二定律,并建立了与测温物质无关的热力学温标。1851年,英国物理学家威廉·汤姆孙(开尔文男爵)从热功转换关系上表述了热力学第二定律。1865年,克劳修斯又引进了一个新的概念:熵,用以定量地表示系统转化为有用功的能力。所以,热力学第二定律又称为熵增原理。1872年奥地利物理学家波尔兹曼从分子运动论出发,对热力学第二定律做出了统计几率的解释。

热力学第一、第二定律是热力学的核心,它们的建立,标志着热力学研究逐渐成熟。后来(1906年)又产生了热力学第三定律和更晚一些时间的热力学第零定律,才完成了以第零定律、第一定律、第二定律和第三定律为支柱的完整的经典热力学理论体系。

二、热力学的发展现状与趋势

经典热力学在实践中起着重要的作用,它随着人们对自然界探索的不断深入,而飞速发展,已形成一個庞大的热力学家族。

1. 热力学理论

热力学的几个基本定律奠定了经典热力学的基础,并在工程实践中起着重要的作用。随着人类对自然界探索的不断深入,仅用经典热力学的研究方法是不够的。因为经典热力学的着眼点是过程的结果而不是过程随时间进展的细节。而一切热过程是以其不可逆性作为共同特征的。因此不可逆过程热力学作为一个重要分支蓬勃地发展起来。早期有由 Onsager 的线性唯象定律而发展的“线性非平衡热力学”和 Muller 的“扩展不可逆过程热力学”。后来 Prigogine 所领导的布鲁塞尔学派发展了著名的“耗散结构理论”,从而把不可逆热力学研究推向了又一个高峰。

有限时间热力学同样研究非平衡系统不可逆过程的性质,涉及到过程进行的时间或速率等问题,从而考察过程变化的最佳净效果。

研究热力学性质和能量间关系的另一种方法是建立在大量粒子群的统计性质的基础上。这种建立在微观观点之上的研究称为统计热力学。这种理论促进了近代像热离子现象、热电现象等一类能量直接转换的新方式的发展,也促进了对工质热物理本质的深刻认识。

以上谈到的热力学理论研究工作对揭示自然现象本质有重要的作用。它使经典热力学从原理到方法都得到了很大的扩充,在分析一些复杂过程和交叉现象时显示了它的威力,并必将在进一步完善其本身的过程中发挥更大的作用。

2. 热力循环

在工程热力学与动力机械的发展史上,早期是具体机械的发明与实践带动热力循环和动力机械理论的发展,如蒸汽机在历史上的作用。而在科学发展到一定阶段后,则更多的是新循环、新工质、新设想的提出带动了动力机械实践的飞跃,如把喷气发动机早年的纯喷气循环改为内外涵循环。各种形式的联合循环是当前和今后一段时间内提高热力效率的重要发展方

向。在常规能源中,人们已经预见到当地球上石油资源枯竭时,煤尚有丰富的储量,因此发展以煤为燃料的净化燃料的热力循环和热力过程已为发达国家高度重视,整体式煤气联合循环有重大应用前景。总之,热力循环的研究既推动了社会的发展,又对与之有关的科学技术提出了新课题,促进了科学技术的发展。

3. 焓分析

20世纪70年代初的能源危机,使人们认识到应从“质”和“量”的结合来评价能量“价值”。焓分析立即成为一些国家的热门研究课题。焓分析的出发点是克劳修斯当年提出的“能量转换中不可弥补的损失”,反映了人类对能的本性的更深刻的认识。近年来焓分析的发展又初步由系统分析向着系统综合过渡。

4. 热经济学

提高能源利用率并不是一个单纯的技术问题,还受到经济决策等众多因素的约束,实施的方案必须是热力学的思想与经济学的现实相结合的产物,因而促成了热经济学的产生与发展。热经济学的中心问题是探讨焓损的热力学代价与经济代价之间相互联系的本质,提出热力学完善性与经济学完善性俱佳的可行性方案。根据所研究的具体内容及对象,原则上可分为“热经济学分析”、“热经济学优化”和“热经济学综合”三方面。

5. 节能技术——总能系统

当前“节能”几乎成为经济管理部的口头禅,甚至把“节能”称为“第五能源”。基于热力学第一定律的热平衡计算和技术经济的联合分析已不能全面、正确地做出中、长期决策,这就促使人们更加科学、更加综合地建立起总能系统的概念。总能系统大体上讲就是按照能量品位的高低进行梯阶利用,总的安排好功、热与物体热力学能等各种能量之间的配合关系与转换使用,在系统的高度上总体综合利用好各种能源,已取得有力的总效果,而不仅是着眼于提高单一的生产设备或工艺的能源利用率或其他性能指标。按照这个概念,联合循环、热电联产、余热利用、能源工厂等都可以列入这个范畴。

6. 低温工程

低温工程是现代工业的重要组成部分,也是工程热力学研究与应用的领域。低温技术的进步又推动了工程热力学学科的发展。

7. 边缘学科

由于各自然科学领域及各工程技术领域中都普遍存在热现象和能量转换与传输过程,加之热力学理论的概括性和普遍性,热力学与其他学科的结合形成了各种跨学科的知识领域,显示了热力学的强大生命力,并预示着广阔的发展和应用前景。例如,除了上面提到的热经济学外,还有化学热力学、溶液热力学、气体热力学、生物热力学、低温(超导)热力学等。

复习思考题

1. 热力学的研究对象、任务和方法是什么?
2. 什么叫工质,工质应具有的基本特性是什么?
3. 热能与机械能在本质上的不同点是什么?
4. 机械能转换为热能是否必须通过工质的膨胀才能实现?

第二章 基本概念

每门学科都有表征本学科特点并在学科内容中广泛应用的基本概念,掌握这些基本概念是学习该学科理论的重要前提。工程热力学中的基本概念是在大量实践的基础上,经高度概括、抽象而形成的。本章介绍热力系统、热力状态、热力状态参数、状态公理、热力过程和热力循环等最基本的概念。对于这些基本概念,只有在学习过程中反复体会才能深入理解。

第一节 热力系统

一、系统、边界与外界

分析任何问题时,首先应该明确研究的对象,分析热力现象也不例外。在热力学中,为了便于研究和分析问题,人为地将研究对象与周围环境分隔开来。这种被划分出来的研究对象称为热力系统,简称系统。系统之外的一切物体统称为外界。系统与外界的分界面称为边界。边界在图上通常用虚线标出,它可以是真实的,也可以是假想的;可以是固定的,也可以是移动的。

二、系统的类型

1. 按系统与外界交换的形式分类

热力学中系统与外界有三种相互作用:物质交换、功的交换和热的交换。按照系统与外界相互作用的特点,可把系统分为下述几类。

(1) 开口系统

系统与外界有物质的交换。开口系统与外界可以有热和功的交换,也可以没有。通常,开口系统总是一种相对固定的空间,故又称为控制体积系统,大多数热力设备都是开口系统。如果开口系统内工质的质量与参数随时间变化,则称为不稳定流动开口系统,设备的启动、停车过程都属于这种情况。如果开口系统内工质的质量与参数均不随时间变化,则称为稳定流动开口系统。

(2) 闭口系统

系统与外界没有物质的交换。闭口系统由于与外界没有物质交换,系统内包含的物质质量为一不变的常量,所以又叫做控制质量系统。但应注意:闭口系统具有恒定的质量,但具有恒定质量的系统不一定是闭口系统。例如,在一个稳定流动的系统,进入与离开系统的质量是恒定的,因而系统内的质量也将不变,但这样的系统显然不是闭口系统,而是开口系统。

(3) 绝热系统

系统与外界没有热量交换。事实上,自然界不存在完全隔热的材料,因此,绝热系统只是当系统与外界传递的热量小到可以忽略不计的一种简化模式。

(4) 孤立系统

系统与外界既没有物质交换,也没有热和功的交换。如果把所有发生相互作用的各种设备作为一个整体,并把这个整体选定为所研究的系统,虽然这个系统内部的各部分可以有物质交换,热和功的交换,但这个系统作为一个整体与外界没有任何相互作用,那么这个系统就是

孤立系统。实际上,与外界绝对不发生任何相互作用的孤立系统是不存在的。当实际存在的系统与外界的能量交换和物质交换减弱到可以略而不计时,可近似地当做孤立系统来处理,所以孤立系统只是一种理想的极限情况。但是,孤立系统的概念对于分析问题是很有用的。例如在图 2-1 中,物体 A 和 B 的温度分别为 T_1 和 T_2 ,若要计算两物体进行热传递最后达到的平衡方程便可求出平衡温度。平衡温是多少,可取 A 和 B 为孤立系统,则 A 放出的热量应等于 B 吸收的热量,由此列出热平衡方程便可求出平衡温度。

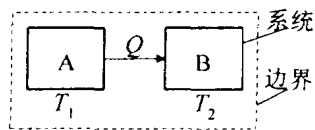


图 2-1 孤立系统内两物体间的热传递

如图 2-2 所示,以蒸汽轮机动力装置为例,其中的锅炉、汽轮机、冷凝器和水泵等,从热力学的观点来看,都是相互作用的、实现能量转换或传递的热力设备。为了进行热力学分析,首

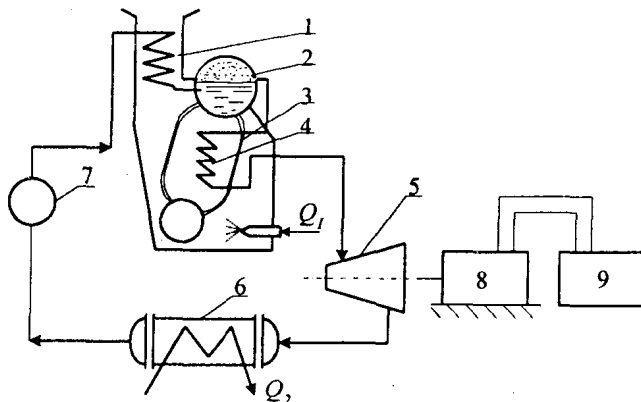


图 2-2 蒸汽动力装置

- 1-预热器;2-汽包;3-沸水管;4-过热器;5-蒸汽轮机;6-冷凝器;
7-水泵;8-发电机;9-蓄电池

先要在相互作用的各种热力设备中划分一个(或几个)热力设备作为研究对象。如把汽轮机的汽缸选作系统,它有工质的流入和流出,这就是开口系统,如图 2-3 所示。图 2-3 所示的汽轮机如包以绝热材料,当工质流经汽轮机时,其散热量比传输给外界的功量小到可略而不计时,则此开口系统可认为是绝热系统。

又如取流动中一定质量工质作为系统,虽然它在流动,但想像人们一直跟随它运动,由于它的质量始终不变,与外界没有物质交换,也是封闭系统,如图 2-4 所示。该系统的边界即是假想的、运动的、变形的。

2. 按系统内部状况分类

系统按其内部状况的不同可分为以下几种:

(1)单相系和复相系 系统中工质的物理、化学性质都均匀一致的部分称为一个相,相与相之间有明显的界限。由单一物相组成的系统称为单相系。由两个相以上组成的系统称为复相系,如固、液、气组成的系统称为三相系统。

(2)单元系与多元系 由一种化学成分组成的系统称为单元系,纯物质就属单元系,如纯水、纯氧、纯氮等,无论它们是单相还是复相都是单元系。由两种以上不同化学成分组成的系统称为多元系,如化学反应系统、溶液等都属多元系。但是,对于化学上稳定的混合物,如空气在不发生相变时,其化学组成不变,常可当作纯物质对待。