



21 世纪精品规划教材系列

工程热力学

GONG CHENG RE LI XUE

主编 © 许东生

 吉林大学出版社

21 世纪精品规划教材系列

工程热力学

主 编 许东生
副主编 焦爱胜 刘振昌
主 审 严慧萍

 吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学 / 许东生主编. — 长春: 吉林大学出版社, 2015.9

ISBN 978-7-5677-4724-1

I. ①工… II. ①许… III. ①工程热力学—教材
IV. ①TK123

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 232152 号

书 名: 工程热力学
作 者: 许东生 主编

责任编辑:唐万新 责任校对:唐万新
吉林大学出版社出版、发行
开本:787×1092 毫米 1/16
印张:16.5 字数:370 千字
ISBN 978-7-5677-4724-1

封面设计:可可工作室
北京楠海印刷厂印刷
2015 年 9 月 第 1 版
2015 年 9 月 第 1 次印刷
定价:36.00 元

版权所有 翻印必究
社址:长春市明德路 501 号 邮编:130021
发行部电话:0431-89580028/29
网址:<http://www.jlup.com.cn>
E-mail:jlup@mail.jlu.edu.cn

前 言

工程热力学是研究热能和机械能相互转换的基本原理和规律,以提高热能利用为基础的一门学科,属于应用科学的范畴,是工程科学的重要领域之一,是工程类各专业本科生重要的专业基础课,是农业工程类、能源工程类、电气信息类等专业的专业基础课之一。工程热力学是关于热现象的宏观理论,它主要以热力学第一定律、热力学第二定律作为推理基础,通过物质的压力、温度、比容等宏观参数和受热、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,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。工程热力学属于应用科学的范畴,是工程科学的重要领域之一,是工程类各专业本科生重要的专业基础课,是研究热能和机械能相互转换的基本原理和规律,提高热能利用为基础的一门学科。

本教材由许东生任主编,焦爱胜、刘振昌任副主编,兰州工业学院严慧萍教授任主审。具体分工为:甘肃畜牧工程职业技术学院许东生编写第二、三、四、五、六、七、八章及全书的统稿工作;兰州工业学院焦爱胜编写绪论、第一章;甘肃畜牧工程职业技术学院刘振昌编写第九、十、十一章。

由于编者的水平和时间有限,书中难免存在疏漏和不当之处,敬请广大读者批评指正。

编者
2015 年 7 月



目 录

绪 论	(1)
第一章 基本概念	(7)
第一节 热力系统	(7)
第二节 工质的热力状态及其基本状态参数	(9)
第三节 平衡状态、状态公理及状态方程	(12)
第四节 准静态过程与可逆过程	(14)
第五节 热力循环	(18)
复习与思考	(19)
第二章 热力学第一定律	(22)
第一节 热力学第一定律的实质	(22)
第二节 系统的储存能	(22)
第三节 热力学能和总能	(24)
第四节 能量的传递与转化	(25)
第五节 功量与热量	(26)
第六节 焓	(28)
第七节 热力学第一定律及其解析式	(29)
第八节 稳流能量方程式应用举例	(38)
复习与思考	(41)
第三章 理想气体的热力性质及过程	(43)
第一节 理想气体及其状态方程式	(43)
第二节 理想气体的比热容	(45)
第三节 理想气体的热力学能、焓和熵	(49)
第四节 理想气体混合物	(52)
第五节 理想气体的热力过程	(57)
第六节 多变过程	(68)
第七节 气体的压缩	(74)
复习与思考	(77)
第四章 热力学第二定律	(80)
第一节 热力学第二定律的表述与实质	(80)
第二节 卡诺循环与卡诺定理	(82)



第三节	熵方程与孤立系统熵增原理	(87)
第四节	热力学第二定律的统计意义	(95)
第五节	做功能力和做功能力损失	(100)
第六节	火用和火无	(106)
复习与思考		(110)
第五章	水蒸气	(113)
第一节	基本概念	(113)
第二节	饱和温度和饱和压力	(115)
第三节	水蒸气的定压发生过程	(116)
第四节	水的定压加热汽化过程	(119)
第五节	水和水蒸汽的状态参数	(120)
第六节	水蒸气热力性质图表	(122)
第七节	水蒸气的热力过程	(125)
复习与思考		(127)
第六章	湿空气	(129)
第一节	湿空气的性质	(129)
第二节	湿空气的状态参数	(132)
第三节	湿空气的焓湿图	(138)
第四节	湿空气的热力过程实例分析	(141)
复习与思考		(144)
第七章	实际气体的性质及热力学一般关系式	(146)
第一节	理想气体状态方程用于实际气体的偏差	(146)
第二节	范德瓦尔方程和 R-K 方程	(147)
第三节	对应态原理与通用压缩因子图	(149)
第四节	维里方程	(150)
第五节	麦克斯韦关系和热系数	(151)
第六节	热力学能、焓和熵的一般关系式	(153)
第七节	比热容的一般关系式	(154)
复习与思考		(155)
第八章	热力循环	(156)
第一节	蒸汽动力基本循环——朗肯循环	(156)
第二节	回热循环和再热循环	(159)
第三节	热电循环	(161)
第四节	压气机循环	(162)
第五节	活塞式内燃机循环	(168)
第六节	燃气轮机装置循环	(177)
复习与思考		(181)
第九章	气体与蒸汽的流动	(183)



第一节	稳定流动的基本方程	(183)
第二节	定熵流动的基本特性	(185)
第三节	气体在喷管和扩压管中的流动	(187)
第四节	喷管中气体流动的计算	(190)
第五节	水蒸汽在喷管中的定熵流动	(200)
第六节	背压变体时喷管内流动过程简析	(204)
第七节	有摩擦的绝热流动与绝热节流	(205)
	复习与思考	(210)
第十章	制冷循环	(212)
第一节	概述	(212)
第二节	制冷机与热泵	(213)
第三节	逆卡诺循环	(214)
第四节	空气制冷循环	(215)
第五节	蒸气压缩制冷循环	(219)
第六节	蒸汽喷射制冷循环	(225)
第七节	吸收式制冷装置循环	(226)
第八节	制冷剂的一般性质和要求	(228)
第九节	热泵供热循环	(229)
	复习与思考	(230)
第十一章	化学热力学基础	(233)
第一节	基本概念	(233)
第二节	热化学	(235)
第三节	化学反应的方向	(239)
第四节	热力学第三定律与规定熵	(246)
	复习与思考	(247)
附录 A	饱和水及饱和蒸汽表	(250)
附录 B	饱和蒸汽压力、温度对照表	(253)
附录 C	饱和蒸汽密度表	(254)
附录 D	液氨饱和蒸汽压力与温度对照表	(255)
	参考文献	(256)



绪 论

热力学是一门研究物质的能量、能量传递和转换以及物质与物质性质之间普遍关系的科学。工程热力学是热力学的工程分支,是在阐述热力学普遍原理的基础上,研究这些原理的技术应用的学科,它着重研究的是热能与其他形式能量(主要是机械能)之间的转换规律及其工程应用。掌握工程热力学的基本原理,必将为能源、动力、化工及环境工程等领域内的深入研究打下坚实的基础。

一、能源基础概述

能源是指可以提供各种能量和动力的物质资源。自然界提供的能源有:太阳能、风能、水力能、地热能、燃料的化学能、潮汐能,以及原子核能等。在上述能源中,风能、水力能、潮汐能属机械能,其余大多数都是直接或间接地以热能的形式提供能量。人类社会发展的历史与能源开发利用的历史是密不可分的,从钻木取火到现代文明,能源的开发利用水平代表了社会生产力和社会物质文明的发展水平。迄今为止,在我们的能源消费结构中,以热能形式提供的能量消费仍占据了相当大的比例,因此研究热能的有效利用是非常重要的。

热能的利用可分为直接利用和间接利用。直接利用是把热量直接作为加热的能量来源,热能的形式不变,如蒸煮、供暖、物料烘干、精馏、冶炼、化学分解与化合等。而间接利用则是把热能转变为其他形式的能量加以利用,例如,把热能转变为机械能或电能,即把热能作为获取动力的能量来源。直到 18 世纪中叶发明蒸汽机之前,人类对热能的利用仍局限于直接利用。蒸汽机的使用,最先在欧洲引发了第一次工业革命,推动了资本主义生产力的发展,使作坊式的小规模生产转向大规模工业生产,开创了热能间接利用的新纪元。随着蒸汽机使用范围的扩大,特别是当蒸汽机用于航海业之后,由于船上储煤空间的宝贵,促使人们对提高蒸汽机工作效率和节煤问题进行了系统研究,并在 19 世纪中叶开始形成了“工程热力学”这门学科。通过对热的本质、热能和机械能之间相互转换的规律以及各种工质的热力性质进行研究,使得人们对热机的工作原理有了更深刻的理解。这些理论在随后的热机实践中起到了一定的指导作用,使内燃机、



蒸汽轮机、燃气轮机和喷气推进器等相继问世,进一步促进了各行各业的现代化发展。19 世纪中叶,世界上第一台与热机工作过程正好相反的机械制冷装置问世。制冷技术的应用和发展,不但可以实现微环境的空气调节和食品冷藏保鲜,提高人们的生活质量,而且在精密仪器、半导体、合成纤维、航空、航天、超导、医学、精细化工等高、精、尖工业领域开辟了一片新天地。

在人类开发利用能源的过程中,特别是在蒸汽机出现以后,人们始终不懈地探求有效利用热能的手段,以追求最大的能量转换效率。当人们运用工程热力学知识,找出了蒸汽动力装置最理想的工作情况以后,发现实际的蒸汽机虽然经过了改进和完善,但其经济性和同条件下的理想情况仍相差很远,于是人们才开始进一步关注实际蒸汽机的各种损失,发现气缸内部由传热引起的热损失是最主要的。联系到许多工程技术领域普遍都存在的传热问题,从而促使人们开始研究热量传递的规律,正是在这种情形下,自 20 世纪初开始,“传热学”应运而生为一门独立的学科。

无论是热能的直接利用还是间接利用,都必须在可控制的热工设备中进行,而且人们都会自然而然地追求最佳经济性。因此,研究热能与机械能相互转换规律的工程热力学和研究热量传递规律的传热学共同组成为热工基础理论。该学科是研究热能在工程上有效利用的一门综合性技术科学,是工程科学最重要的领域之一。

随着全球能源危机和环境保护问题的日渐凸显,如何开发利用新能源和可再生能源,进一步提高能源利用率,节能减排,保护环境,是摆在我们面前的重要任务。为了开发新能源,如太阳能、地热能、风能、水力能、潮汐能、煤的气化、氢能源、作为生物质能源的速生植物的栽培以及核聚变等,需要完成一大批激动人心的新工程。对于所有这些工作,热工理论都将在工程分析和工作方案拟订中起到非常重要的作用。只有具备坚实的热工基础知识,并能在工程分析中正确运用这些知识,才能在这些重要的技术开发工作中有所作为。由于热工理论在传统工业、现代科技及日常生活各个领域中的应用越来越广泛,因此,从事能源、交通运输、航空、航天、化工、冶炼、机械制造、制冷空调、电子、地质、气象、超导传递、高能激光、消防、环境保护等专业的工程技术人员、现代管理人员,以及有关的领导干部,都应掌握或了解有关热能有效利用的必要的知识,才能针对目前我国生产企业部门普遍存在的能耗高、污染重的现状,不断挖潜、节能减排,为我国的能源和环境事业作出贡献。

一个优秀工程师的重要特质就在于他能够正确、系统地分析问题,能从错综复杂的影响因素中找出主要和次要影响因素,并对实际问题进行适当的理想化假定,建立合理可行的研究模型,然后准确地、有条不紊地从事工作。如果缺乏这样一种系统的研究方法,常常会使容易的问题变得困难,或者把大量时间浪费于追求错误的答案上。本课程的主要目标是使学生通过对热工基础基本概念和原理的学习,了解热力学研究的简化手段和分析方法,培养



学生科学的逻辑思维方法和工程意识,提高科学素养,以及在工程实际中灵活运用理论知识解决实际问题的能力。

二、能量传递与转换的特点

1. 能量转换和传递的过程

人们利用能量的过程就是能量转换和传递的过程。在上述能源中,风能、水能、海洋能可以通过风车、水轮机直接转换成机械能或者再通过发电机由机械能转换成电能;太阳能可以通过光合作用转换成生物质能,也可以通过太阳能集热器转换成热能,还可以通过光电反应直接转换成电能;氢、酒精等一些二次能源中的化学能可通过燃料电池直接转换成电能;除此之外,其它能源的能量(如煤、石油、天然气中的化学能以及核燃料中的核能等)通常都是通过燃烧或核反应转换成热能直接或间接加以利用。据统计,目前通过热能形式被利用的能源在我国占总能源利用的90%以上,世界其它各国平均也超过85%。由此可见,在能量转换与利用过程中,热能不仅是最常见的形式,而且具有特殊重要的作用。把一次能源转化为使用最方便和最普遍的二次能源(电力)往往需要经过三个阶段:

从燃料到热能→从热能到机械能→从机械能到电能。

热能的利用环节最为重要,热能的利用方式主要有:

(1)间接利用:热能(热机)→机械能(发电机)→电能,通常是指通过各种热力发动机(热机)将热能转换成机械能或者再通过发电机转换成电能,为人类的日常生活、工农业生产及交通运输提供动力。

(2)直接利用:将热能直接用于加热物体,以满足烧饭、采暖、烘干、熔炼等需要,这种利用方式已具有几千年的历史。

自从18世纪中叶发明蒸汽机以来,至今虽然只有200多年的历史,但却开创了热能动力利用的新纪元,使人类社会的生产力和科学技术的发展突飞猛进。然而,热能通过各种热机转换为机械能的有效利用程度(热效率)较低,早期蒸汽机的热效率只有1%~2%,现代燃气轮机装置的热效率大约只有37%~42%,蒸汽电站的热效率也只有40%左右。如何更有效地实现热能和机械能之间的转换,提高热机的热效率,是十分重要的课题。

解决能源问题的关键在于:提高热能的有效利用率。

工程热力学研究及探索的中心问题:有效利用热能的基本途径。

2. 能量转换和传递的特点

例1 制冷系统。

工质:制冷剂;



状态变化:集态、温度、压力等的变化。

例2 汽车发动机。

工质:燃油及燃气;

状态变化:燃油及燃气的温度和体积变化。

从例子可以看出,能量传递与转换的特点是:

(1)必须借助于某些携带能量的媒介物质即工质。

要实现热能的传递和把热能转化为机械能,需要借助于能够携带热能的工作物质才能实现,这种工作物质在热力工程中被称为“工质”。

(2)必须借助于工质的状态变化来实现。

三、研究内容、目的和方法

1. 研究内容

①热能与其它形式能量相互转换的规律;

②工质的热力性质、热力过程和热力循环对能量传递与转换的影响;

③探讨能量有效利用的基本途径和方法。

热力学的基本理论就是热力学基本定律

核心内容:热力学第一定律和热力学第二定律,它们描述了能量的“量”和“质”的属性。

2. 研究目的

从工程角度出发探讨热能乃至能量有效利用的基本途径;提出从总体上充分利用能量的基本思路。

3. 热力学研究方法

(1)经典热力学的宏观方法

经典热力学把物质看作是连续体,它以宏观的物理量来描述大量粒子的群体行为,并用宏观的唯象方法进行研究。通过对大量的热力现象的观察和实验,从中总结归纳出热力学的基本定律,并用严密的逻辑推理及数学论证的方法,进一步演绎出热力学的一系列重要结论。再将得到的这些普遍规律结合不同的特殊条件推论出适应于这些条件的特殊规律。

工程热力学即采用此种方法。

(2)统计热力学的微观方法

统计热力学则从物质的微观结构出发,根据有关物质内部微观结构的基本假设,利用量

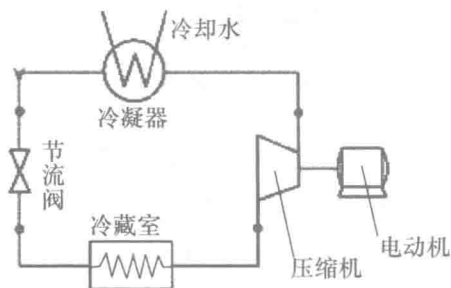


图 0-1 蒸汽压缩制冷循环

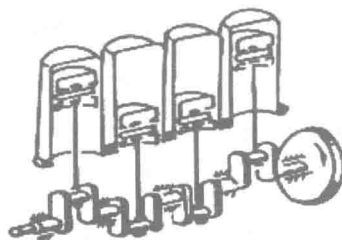


图 0-2 汽车发动机示意图



子力学关于微粒运动规律的有关结论以及统计力学的分析方法,来研究物质的热力性质及能量转换的客观规律。由于统计热力学深入到物质内部的微观结构,它可以说明宏观物理量的微观机理;也能够说明热力学基本定律及宏观热力现象的物理本质。但是,由于对微观结构的假设条件的近似性,使统计热力学的结果有时与实际不尽相符。

经典热力学与统计热力学是关系非常密切而又各自独立的两门学科,它们之间不能互相替代,都有独立存在的价值。在对热力现象的研究上,它们能起到相辅相成、殊途同归的作用。实际上,在一定宏观条件下大量粒子的群体行为(如压力、温度、能量及熵等宏观参数),就是物质内部粒子微观运动状态的统计平均值。因此,如果将这两种不同的研究方法,应用于同一个系统,应当得出相同的结论。经典热力学得出的普通而可靠的结果,可以用来检验微观理论的正确性;统计热力学的分析则可以深入热现象的本质,使宏观的理论获得更为深刻的物理意义。

四、热力学体系及其发展

1. 热力学学科的基本体系

从内容上:平衡热力学→线性非平衡热力学→非线性非平衡热力学。

从应用上:工程热力学、化学热力学、气动热力学、气象热力学、材料热力学、表面热力学、生物热力学、低温(超导)热力学、信息热力学。

2. 热力学的发展

热力学发展史,可分成四个阶段:

(1) 17 世纪末到 19 世纪中叶

积累了大量的实验与观察的结果,但仅仅是描述热力学现象。蒸汽机的制造;热的本质研究与争论;卡诺理论、热机理论的出现;功热转换原理的提出。

(2) 19 世纪中到 19 世纪 70 年代末

热力学第一定律和第二定律完全理论化。由功热转换原理建立了热力学第一定律;由热力学第一定律及卡诺理论的结合完善了热力学第二定律;以牛顿力学为基础的气体动力理论也开始发展。

(3) 19 世纪 70 年代末到 20 世纪初

统计热力学诞生。热力学与分子动力学的理论结合,从而诞生了统计热力学;提出了非平衡态的理论基础;提出了系统理论。

(4) 20 世纪 30 年代至今

量子统计力学与非平衡热力学的发展以及热物性的研究。有效利用能量的研究。



(5) 今后的发展趋势

工程热力学的发展,使许多科技工作者对近期的进一步研究提出了展望,从理论和应用两个方面提出了新的设想。

在循环研究方面,提出了继续研究新的热力循环(包括常规动力机械的新型联合循环,可再生能源和新能源新总能系统的循环,变循环,变几何航空发动机循环分析及其它新循环的分析),同时提出了应加强其变工况下热力循环的研究,因为热力装置实际上常处于变工况下工作。

在火用分析和热经济学的理论相应用研究方面,理论上提出了在火用分析与热经济学中引进系统论与系统工程、优化技术、决策、对策论和信息理论。信息理论本来与热力学有着良好的亲缘关系,计算机处理信息流是方便的,把热力学所有参量都参照信息流来处理为计算带来很多方便条件。在应用上,提出综合国际上各学派之精华建立适合我国的火用分析体系,组织制定各种火用分析所使用的图表、曲线和建立数据库,并制定必要的标准。同时,研究更适用的化学火用计算方法。研究并建立能量系统的热经济学结构模式,决策模型与专家决策支持系统。

在有限时间热力学方面,通过研究,把平衡态热力学中已有的概念,如热力势、可用性等等进一步加以推广,使之更广泛地适用于有限时间范围,寻找各种典型的有限时间过程的最优路径,探求各类循环或热力过程中有限时间热力学界限。

除了普通的动力生产之外,当前还有一个日益增温的热点,这就是能量直接转换。小型的转换装置已经用于遥控电源和操作宇宙飞船用的辅助电源。小型半导体制冷,半导体热泵也已出现。随着新型材料的不断开发,和减少投资的进一步研究,生产大量电能或大型半导体制冷,半导体热泵是有可能的,所以加强这方面的研究也是必要的。

余热利用与节能技术一直是我国经济发展中的重要课题,也是工程热力学近期需研究的重点问题之一。热泵是一种既节约能源,又减少环境污染的有效节能技术,加强各类新型热泵及其工质的研究也是当前人们关注的问题。

目前非平衡热力学理论应用于实际工程的热过程分析还不尽如人意,如何架设与实际相互联系的桥梁是一个十分迫切的问题。我国已有人提出“工程非平衡态热动力学”的概念,它的目的是研究工程中出现的非平衡态热动力学过程中一些共性问题和处理方法,总结出工程问题的分析方法和理论。以固体系统作为研究对象的不可逆过程热力学近年来已成为一个格外引起关注的研究课题。至于非平衡态热力学在生物工程方面的应用以及与中医相结合的可能性近期也在人们的探讨之中。



第一章 基本概念

第一节 热力系统

一、系统、边界、外界

1. 定义

将研究对象与周围环境人为分隔开来,则研究的对象就是系统(热力系统 system);周围为外界(Surroundings or Environment);两者的交界面为边界(Boundary)。

例:电加热器对水罐中水的加热。

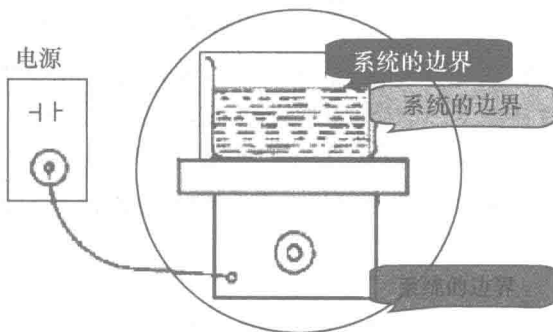


图 1-1 水加热不同系统的选取

说明:研究任务不同,所选取的热力系统也不同。

注意:(1)边界是系统与外界发生相互作用的所在地,它可以是固定的,也可以是运动的;可以是真实的,也可以是假想的。

(2)一旦选定系统,研究的重点在于系统内部工质的变化过程、系统通过边界与外界发生的相互作用以及两者间的关系。

(3)对于外界只是笼统地考察它们通过边界与热力系统发生的相互作用,即物质交换和能量交换(包括热量交换和功量交换)的情况。

基于这一原因,外界通常是指与系统内工质或物体发生相互作用的物体。

2. 热力学模型——热力系统的关键

系统内部的变化过程:工质的性质及热力过程。

相互作用:能量传递与转换过程。

两者的内在联系:热力学基本定律。



二、系统的分类

系统分类的依据:①系统与外界的相互作用情况;②系统的内部状况(自学)。

1. 系统的种类(按相互作用情况分类)

(1)闭口系统与开口系统

与外界只有能量交换而无物质交换的热力系统,称为闭口系统(或封闭系统),所以闭口系统是定质量系统,又称控制质量。

与外界不仅有能量交换又有物质交换的热力系统,称为开口系统(简称开口系)。开口系实际上只是空间的一个控制体积,而并不是一些确定的物质。

(2)简单系统、绝热系统与孤立系统

由可压缩流体构成的热力系称为可压缩系统。若可压缩系统与外界只有准静容积变化功(膨胀功或压缩功)的交换,则此系统称为简单可压缩系统。工程热力学中讨论的大部分系统都是简单可压缩系统;若系统与外界无热量交换,则此系统称为绝热系;当系统与外界既无任何物质交换又无任何形式的能量交换,则该系统称为孤立系统。

另外,在热力学中还会遇到一些特殊的系统,例如某种具有无限大热容量的系统,它对外放出或吸入有限的热量时其自身的温度维持不变,这种系统称为热源(或冷源)。

(3)分析

自然界中没有严格意义上的孤立系统,孤立系统是热力学的抽象概念,把系统和与之发生质、能交换的外界取作新的系统,则此大系统就是孤立系统(见图 1-2)。例如,把原系统和环境作为新的系。

注意:孤立系统一般是指常规系统和与之发生相互作用的外界组成的。可见一个系统可以由多个系统组成。

问:什么是简单可压缩系统?

答:对于由可压缩物质构成、与外界仅有容积变化功交换、无化学反应的系统,称为简单可压缩系统(是工程热力学主要研究的对象)。

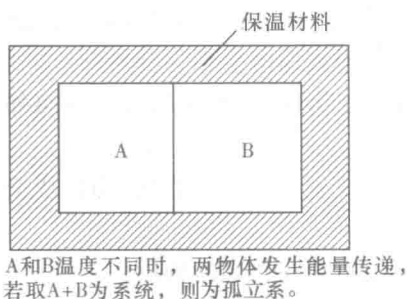


图 1-2 系统与孤立系统

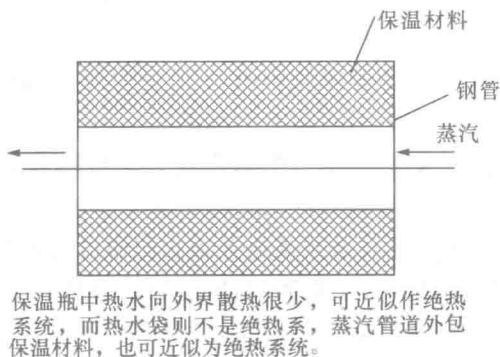


图 1-3 系统的简化

2. 系统的种类(按内部状况分)

热力系也可按其内部状况的不同而分类为:单元系(只包含一种化学成分的物质)、多元系(包含两种以上的物质)、均匀系(各部分具有相同的性质,如单相系)、非均匀系(各部分具



有不同的性质,如复相系);等等。

三、系统的选取原则

正确地选择热力系是进行正确的热力学分析的前提。没有明确选定热力系之前,对力、质量、热、功等任何问题的讨论都是不可能进行的。

(1)主要依据是研究对象的特点;

(2)同时应考虑分析问题的需要和方便,必要的时候需要有适当的假设。

应该指出:绝热系统、闭口系统在某些情况下是经过了简化处理,如图 1-3 所示。类似这样抓住主要矛盾,忽略次要因素的处理方法在工程热力学中是经常遇到的。

第二节 工质的热力状态及其基本状态参数

一、状态及状态参数

1. 状态(State)

热力学中将系统中的工质在某一瞬间呈现的各种宏观物理状况的总和称为工质(或系统)的热力状态或简称为状态。

2. 状态参数(Property)

描述各种宏观物理状况即工质状态的物理量,称为状态参数。

二、基本状态参数

1. 温度(Temperature)

1) 温度的引出

热力学第零定律(热平衡定律):

与第三个系统处于热平衡的两个系统,彼此也处于热平衡,见图 1-4。

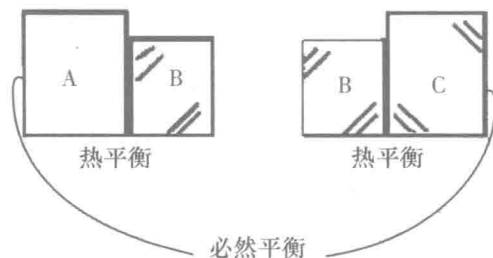


图 1-4 热力学第零定律示意图

处于热平衡的两个系统必然具有一个数值上相等的热力学参数来描述这一平衡特性,此即温度。温度是决定一系统是否可与其它系统处于热平衡的物理量。它的特征是,一切处于热平衡的系统都具有相同的温度。



2) 实质

宏观上温度表示物体的冷热程度,微观(分子运动)上,则是物质内部大量分子热运动的强烈程度。

3) 温标

热力学第零定律除了为建立温度概念提供实验基础外,它也是进行温度测量和建立经验温度标尺的理论基础。物体的温度用温度计测量。在温度测量中,温度计作为第零定律中所说的第三个系统。如果将它加以刻度,并与任意热力系接触而达到热平衡,则该系统的温度即可测出。

当温度计与任何被测系统接触时,如果二者不处于热平衡,则将引起温度计中测温物质的状态变化,直至二者达到热平衡时为止。这样,我们可利用测温物质在两系统相互作用中所引起的某种特性的变化,将被测系统的温度显示出来。

温度测量常利用物质的下述特性:

- (1) 温度变化时固体、液体、气体的容积变化;
- (2) 定体积下气体压力随温度的变化;
- (3) 固体温度变化时的电阻变化;
- (4) 两种不同材料的导线在接触点温度不等时产生的热电势;
- (5) 辐射强度随温度的变化(用于高温测量);
- (6) 磁效应(用于极低温度测量);等等。

温度的数值表示法称为温标。温标的三要素:选定一种测温物质的性质;选基准点;分度法。一般温标的基准点和分度方法的选择是人为的。

国际单位制采用热力学温标作为基本温标,用这种温标确定的温度称为热力学温度,以符号 T 表示,单位为 K (开)。热力学温标不依赖于测温物质的性质,取水的固、液、汽三相平衡共存的状态点)为基准点,并定义其温度为 273.16 K 。因此, 1 K 等于水的三相点热力学温度的 $1/273.16$ 。

常用温标的种类、基准点、分度方法见图 1-5,各种温标间的关系如下。

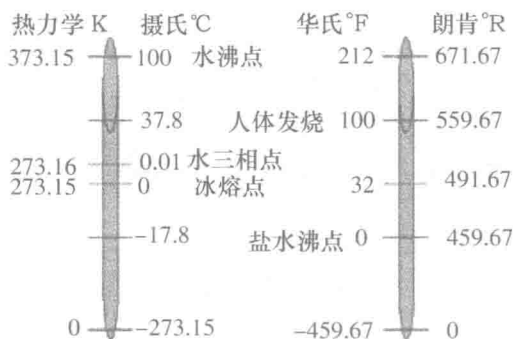


图 1-5 常用温标的种类、基准点及分度方法

(1) 摄氏温度与绝对温度: $t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15$

(2) 摄氏温度与华氏温度: $t/^{\circ}\text{C} = 5/9(t/^{\circ}\text{F} - 32)$

(3) 朗肯温度与华氏温度: $T/^{\circ}\text{R} = t/^{\circ}\text{F} + 459.67$