

有效能分析

有效能利用指南



上海科学技术文献出版社

M. J. Moran
Availability Analysis
A Guide to Efficient
Energy Use

有 效 能 分 析
• 有效能利用指南 •
[美] M. J. 莫兰
周继高 余国和 译
顾景贤 校
责任编辑 徐永康

上海科学技术文献出版社出版
(上海市武康路2号)
新华书店上海发行所发行
上海市印十二厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9.25 字数 223,000

1986年4月第1版 1986年4月第1次印刷

印数 1—2,100

书号: 15192·431 定价: 1.70 元

《科技新书目》110-237

前 言

本书运用热力学第一、第二定律对能量系统的性能分析和设计提出了一种有效的、系统的、称之为“有效能分析”的方法。在美国之外的地区,经常采用的另一个名称是“炯分析”。

今后燃料价格上涨和燃料供应减少的可能性明显地揭示了有效地利用能量的重要性。有效能分析法特别适应于更进一步地,有效地利用能量的目的,以确定能源浪费与损失的品位、类型和确实数量,同时采取相应步骤,以减少无谓的浪费。

本书广泛地介绍了有效能分析法。其特色有:作为重要统一概念的有效能方程的应用;第二定律效率的含义及应用的全面讨论;纯燃料和混合燃料的有效能的准确和近似的计算方法;评价燃烧和其他化学过程的方法,以及有效能分析在工程经济领域中的应用。

本书列举了四十余道例题和说明,其中有冷却塔、热泵、蒸汽动力装置、煤的气化系统、低温制冷装置、涡轮喷气发动机以及废物回收系统的应用。这是本书的一个重要部分,因为许多概念是在解题的过程中自然地引入的,其目的在于使读者通过详细的练习来学习它。除第一章以外,每章的末尾都提供了习题。这些习题都是经过仔细考虑,用以说明原理的发展,阐明时常使学生感到困惑的难点,或者考虑到在实际生活和实际技术中的有关应用而挑选出来的。

本书可供工程技术学科或物理学科的高年级学生或一年级研究生,以及在能源转换方面工作的工程师和技术管理人员使用。它已成功地被作为教科书。此外,它也适合于自学,并作为

工程师和技术管理人员的参考书。这意味着本书主要作为教学工具,而不是作为当前工艺水平的评论文献。本书陈述的水准是假设读者已学习过热力学的初步课程,并且具有一些流体力学、传热学和微积分的知识。对于那些只具有有限的热力学基础知识或者感到需要复习的读者,本书准备了一个基础知识的综合概述。某些课题的附加背景材料提供在本书的各章节中。

在本书准备期间,作者始终顾及着读者,目的在于使教材有趣味,容易读,容易理解。教学实践表明,这些目的是能达到的。为了提供学习的动力和保持读者的兴趣,反复强调了特有的与能量利用相联系的目的。本书按循序渐进的方式编写,从基础部分入手,着重于应用,并一直写到最佳的现代技术工作水平。它提供了一个坚实的基础,足以让读者运用这些原理发挥到现实的全球性问题中去,并且当需要更专门的信息时能写成文献。本书罗列了足够的参考文献,以便让读者能更全面地追求其独特的兴趣。

由于学生和工程师都应具有运用不同单位制来进行计算的能力,因此,在本书中混合使用着国际单位制(SI)和美国常用单位制(USCS)。但是 USCS 制更常出现,这是因为在美国,工程师们在业务中仍然经常运用这种单位制。附录 A-1 中有换算系数的图表。一些引自其他来源的图表按原来的形式和原有的单位制保留在本书中。

方程式用两种方法来加以区别。正文中涉及到几处的方程式,或是值得特别强调的方程式,按它们首次出现的章节顺序加以标明。例如方程(2-3a)是首次出现在第二章第三节里的方程。仅仅出现在本节里的方程式,则标以小写字母,以资区别,用(a)表示第一个方程,(b)表示第二个方程等等。

M. J. 莫兰, 俄亥俄州, 哥伦布斯

目 录

第一章 更好地利用能量	(1)
1-1 任务	(1)
1-2 有效能	(2)
1-3 阻挠与约束	(3)
1-4 节能工程	(5)
1-5 结束语	(8)
第二章 基本知识	(10)
2-1 基本概念和定义	(10)
2-2 热力学第一定律, 能量	(13)
2-3 热力学第二定律, 熵	(20)
2-4 简单可压缩性物质	(31)
2-5 结束语	(43)
第三章 热力有效能	(49)
3-1 引言	(49)
3-2 环境	(49)
3-3 限制性死态	(50)
3-4 基本原理	(51)
3-5 闭口系统的有效能方程	(63)
3-6 开口系统的有效能方程	(68)
3-7 开口系统的应用	(72)
3-8 结束语	(83)
第四章 第二定律效率	(96)
4-1 引言	(96)

4-2	闭口系统的应用	(99)
4-3	循环的应用	(104)
4-4	开口系统的应用	(109)
4-5	结束语	(112)
第五章	有效能参数关系式	(118)
5-1	引言	(118)
5-2	有效能参数图表	(120)
5-3	理想气体关系式	(124)
5-4	参数通用图表的应用	(129)
5-5	结束语	(135)
第六章	有效能和化学有效能	(137)
6-1	引言	(137)
6-2	多组分系统的基础知识	(138)
6-3	有效能	(144)
6-4	开口系统分析	(150)
6-5	湿空气过程	(156)
6-6	结束语	(160)
第七章	燃料的化学有效能	(164)
7-1	引言	(164)
7-2	燃烧的基础知识	(165)
7-3	基本原理	(170)
7-4	蒸汽动力装置的应用	(180)
7-5	煤气发生器的分析	(185)
7-6	化学过程的计算	(190)
7-7	结束语	(193)
第八章	应用和专题	(205)
8-1	低温制冷系统	(205)

8-2	涡轮喷气发动机	(209)
8-3	固体废物回收系统	(215)
8-4	太阳光的有效能	(223)
8-5	结束语	(226)
第九章	热经济学入门	(229)
9-1	引言	(229)
9-2	工程经济学的基础知识	(230)
9-3	费用方程	(237)
9-4	设计	(241)
9-5	结束语	(248)
附录 A	参考资料	(252)
A-1	单位制	(252)
	表 A-1 单位制	(252)
	表 A-2 换算关系	(253)
A-2	拉格朗日待定乘数法	(255)
附录 B	表和图	(257)
	表 B-1 临界参数	(258)
	表 B-2 水的性质	(259)
	表 B-3 R_{12} 的性质	(268)
	表 B-4 氮的性质	(273)
	表 B-5 理想气体比热 $\bar{c}_p(T)$	(275)
	表 B-6 各种气体的理想气体性质	(276)
	表 B-7 25°C 和 1 atm 下的生成焓, 生成吉布斯函数 和绝对熵	(283)
	图 B-1 压缩性系数通用图(略)	(283)
	图 B-2 焓偏差通用图(略)	(283)
	图 B-3 熵偏差通用图(略)	(283)

第一章 更好地利用能量

在美国,为了改善生活、运输和工业生产,每年需要消耗大量能源。由于多种多样无效而拙劣的操作运行,相当数量的能源因此而浪费。所以,更好地利用能量,在经济上是个有价值的问题。

改善能量的利用不只是单纯的技术问题,它还受经济、政治和其他许多因素的阻挠与约束。当然,技术是这个问题的一个重要方面,而“有效能”的概念常可用作发展和评价能量利用的有力工具。

1-1 任 务

直到 1970 年前后,能源在美国还是十分丰富而低廉的。过去每年能源消耗的增长并没有引起普遍的关注。到了七十年代中期,反复出现的燃料短缺,停止供电和降压供电,价格上涨等等现象,使这种认识开始有所改变。许多人士呼吁说,除非重新部署,否则未来的能源供求将会遇到困难。

有两种可供选择的方法来解决未来能源的供求问题,即更好地利用能源与扩大能源供应。这两种方法都必须同时采用。节约燃料,即更好地利用能源确实能一定程度地平衡供求矛盾,然而仅仅如此,还不能指望它能支持经济的增长。另一方面,如果唯一的途径是增加国内外的能源供应,那么,即使是雄厚的美国经济也将蒙受严重的损害,因为这时大量美元将向能源转移,

从而使经济普遍遭受损失。

第一种选择值得郑重考虑。通过改进能源利用的方法可极大地发掘潜力,以节省能源。其任务是在不阻碍增长的前提下,使更多的能源有效地得到利用。在这方面,许多国家在能源利用上已经采用了显著的更为有效的方法,并取得了成效,而在美国还只停留在一般的方法上。

1-2 有 效 能

无须精心分析,通过一般良好的房务管理和堵漏措施,能源利用就可以取得很大的改善(见 1-4 节)。可是,作为节能工程,方法就更复杂些,需要进行深入的分析。它往往很可能远远超过能源问题的计算。

每个装置或整个过程中能量都是守恒的。它不能消灭。随着燃料、电力、物质流动等等而来的能量,可按其产品或副产品予以计算。这就是能量第一定律的观点(见 2-2 节)。某些事物能被消灭的概念是有用的。然而,无论如何它不能应用于能量,而只能用于某些其他事物。这个“某些事物”就称之为有效能。这就是重要的第二定律观点(见 2-3 节和 3-4 节)。下面举个简单的例子来说明能量与有效能间的差别。

图 1-1a 表示一个巨大的封闭空间中有一个很小的燃料容器,其周围充满空气。假定燃料在空气中燃烧,如图 1-1b 所示,最终得到的是稍微加热了的燃烧产物和空气的混合物,如图 1-1c 所示。虽然在封闭空间中能量的总量不变,可是原先的燃料、空气混合物的品位(质量)高于最终的加热了的混合物。就其本质而言,它更为有用。燃料在某些装置中能用以发电、产生过热蒸汽等等,而加热了的燃烧产物的用途则很有限。因为在

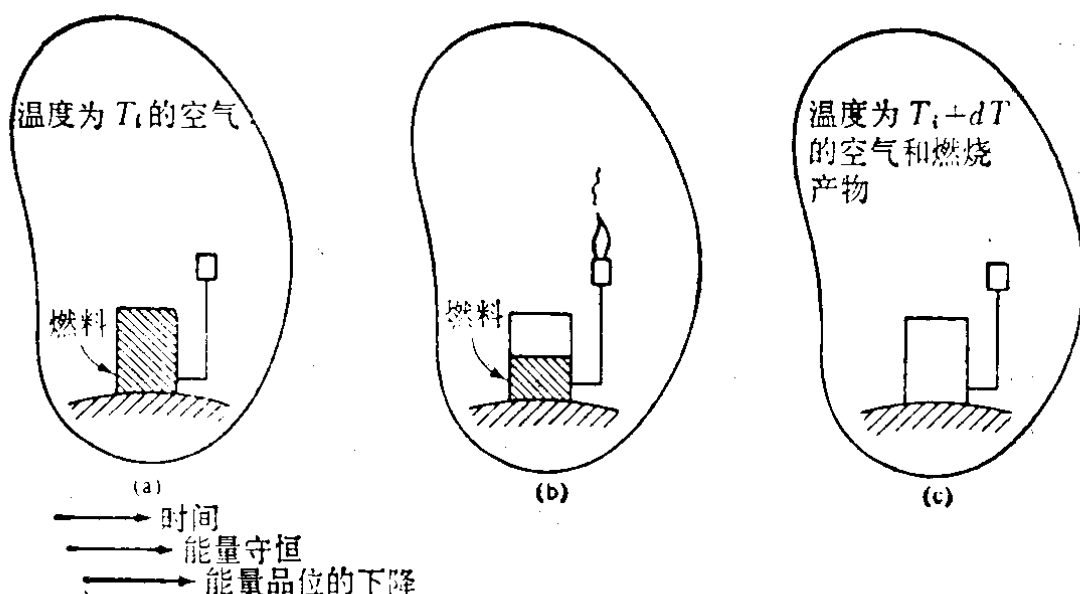


图 1-1 燃料在空气中的燃烧

这个过程中最终只得到加热的混合物,所以说,原先的品位大部分消失了。提前应用第三章至第七章的结果,则在本节中出现的名词“有效能”可理解为品位。

在评价许多能源利用的策略中,重要的内容是能量和有效能两者。更好地利用能源不仅要堵漏,而且要去识别和纠正不必要的损失有效能的所有事物。本书的目的是介绍有效能的概念,并说明它的应用。

1-3 阻挠与约束

提高能源利用的效率是有价值的,可是有许多因素约束或阻挠其实现。尽管这些因素以各种形态表现出来,而其主要的实质还是经济问题。

价格具有主要的作用。直到 1970 年左右,由于更大型更有效的发电厂的建立,以及采用了勘探、开发和供应天然气及石油的先进方法,工业用能源的实际费用下降了。它刺激了能源需

要量的增长，同时却影响了对效率的关心。七十年代早期能源价格开始显著上涨，部分是由于易再生的、高质量的、无污染的燃料贮藏量不断减少以及新能源的开发愈来愈昂贵，更因为卡特规定的石油价格及全球性能源需要的增长，它促使这种能源价格有继续上涨的趋势。

由于价格的上涨，可以预料，能源使用增长速率与能源使用方式两者都将因此而改变。然而，即使工业用能源费用有很大的提高，在能源利用方面仍然可能不会有迅速而明显的改进，因为能源费用往往只是消费品价值或生产费用中很小的一部分。与材料、劳力等费用相比较，能源费用相对说来很低，因此可能会忽视提高能源利用的问题。

只有当能源价值成为生产费用中的重要部分，或是更好地利用能量能获得很可观的节约效果，或者燃料短缺的忧虑成为很强烈的推动因素时，才会在经营上出现认真研究这种情况的条件。但是，这也决不是说，一定要接受更好地利用能量的建议。

当一个工厂企业在决定使用其经常感到短缺的资金时，往往宁可采用扩大生产能力或改善市场交易的手段，而不采取提高生产上的经济性措施。为了更有效地利用能量，“慎重”考虑设备上的投资是恰当的。然而“慎重”考虑的投资通常是得不到优先权的，因为他们没有与所考虑的主流相联系。结果是除非其投资回收短至两年，否则，改善能量利用的建议是不会被采纳的。这就是工程上采用措施的一个明显的约束。

在任何时候，能量的需要取决于现存的结构与设备，其结果是：这种在能源富裕时代设计的主要建筑物和设备是对改进能源利用的一种重大阻碍。由于安装闲置的、有价值的生产装置是不可能的，因为它们无工作实效，将在经济上造成一定的损耗。这就是几年前，乃至几十年前作出决定的结果。工程上应用适

• 4 •

当的措施常常能使损耗减少(见 1-4 节), 然而要现款投资就可能不一定被采用。

用户的操作和习惯对更好地利用能量也是一种阻碍。用户倾向于按眼前的情况来选择其决定。更好地利用能量的一次费用看来比家用设备, 空调装置的运行费用, 甚至比住房本身更高。因为有助于更好利用能量的设计, 其特点可能是昂贵的, 所以, 为了降低原始费用常常不予考虑。另一个原因是, 用户不按正确的规则使用及保养所购物件而造成能量的损耗。

能源利用策略上的许多约束来自政治方面。控制天然气和石油价格的法律和协议就是一个例子。有些国家和地方能源的分配和使用较为复杂, 其制定的法令又是一个例子。其中一个效果就是这些法令能使能源价格比世界上其他地区的一般价格低廉, 它助长了能源廉价的想法, 从而使更好利用能量的措施在经济上看来是没有吸引力了。

还可列举不少例子, 用以说明阻挠和约束更好地利用能量的问题。可是, 必须十分清楚地指出, 这是一个很复杂的问题。

1-4 节 能 工 程

在着手处理改进能源利用问题时涉及到几个因素(见 1-3 节)。它不纯粹是一个技术问题。然而, 在开发能源利用策略的某些观点上, 为了更好地利用能量, 从技术上去考虑取舍是合适的。

能源管理方案 由于产品及其生产过程的差异很大, 因此能源利用的效率变化相当显著。用以节约燃料和管理能量的方法, 其细则对于不同的工业, 甚至不同的工厂都必须有所差别。

可是,在每一种情况下,都应该有一个很好的设想计划,包括制订优先考虑的事项,改进的目标,计算和报道的程序。

改进一个计划的关键是分析和评价能源利用的方式。为此,常用的手段是所谓能量核算。因为它类似于一般的财政上的会计核算。一个仔细拟订的核算应系统地考虑整个工厂,工厂各部门或各车间以及各个班组乃至各个过程中能量“收支”的数量和质量两方面。利用这种估计,可以鉴别用以改进能量利用而选择的方法,并可确定每一种方法可能节约的数量。然而这还涉及预计所需费用及一系列需优先考虑的事项。

良好的房务管理 借助于房务管理和堵漏的方法,用适当的费用常常可以提高能源的利用率。这包括诸如随手关灯、停机等措施。修复蒸汽管线和凝汽阀的漏泄等,它们也提供了更好利用能量的一种可能。仔细选择和维修设备也可能节约燃料。适当调节燃烧过程,控制通风等,也可能是有效的方法。在某些情况下,仅仅采用定期报道所需能量就可使人们加强注意,并导出改进的办法。

有这么多相对廉价的房务管理和堵漏方法,当它们全部用尽而要进一步提高时,只能采用比较昂贵的改动或更换装置和设备的办法。

其他的方法 对于个别的工业、工厂或过程,一些无效的或低劣的操作是个别的。由于美国工业的复杂性,难以归纳出工业管理中所采用的各式各样的方法。每一种情况都应该分别进行分析。在某些情况下,依靠工厂或工序的重新布局可以实现节能。在另一些情况下可借助于较好的测量和控制系统来实现,而在其他一些情况下,则可以引用更多的节能装置和节能方法。

不应过分强调各种工业、工厂和工艺在能量利用方式上的差别,因为它们也存在许多相似之处。不考虑工业的类型或产品的形式,所应用的一次能源有三种:工艺用蒸汽,直接燃烧加热和用于电机、照明、加热和电解过程的电力。这些项目的每一种都存在如何提高能量利用可能性的问题。

几乎在每一项工业部门里,都可以有效地应用多级利用的方法。动力回收和废热回收是两种途径。动力回收是将一动力回收汽轮机接入一压力流体流程中去获取一部分势能,否则,这部分能量将在节流过程中损失。废热回收有助于提高总效率,它是通过降低高品位热能排入环境的损失来实现的。其方法有:在废热锅炉里产生工艺用蒸汽,增添产品热交换器以及在工业炉上应用燃烧空气预热器等。

直接燃烧加热和工艺用蒸汽的生产占工业耗能的三分之二至四分之三,但是,由于通常只需要较低温度的热量和蒸汽,因此,最好的利用不是从燃料燃烧去得到高温的燃烧产品。多级利用的方针称为热电联产,它可以减少造成能源利用低效的因素。在热电联产中,消耗燃料用来产生电和需要的热量(或蒸汽),但是燃料的消耗低于在分别产生电和热量(蒸汽)的过程中所需的量。几种可能的热电联产系统中的两项数据示于图 1-2 中。其一称为底部循环,因为电力是在工艺用热量或蒸汽产生之后得到的。另一种称为顶部循环,其电力在其他产品之前产生。

为了降低建筑物和工厂电力的消耗,比较有效的照明系统的设置是一项熟知的技术。另一种可能是引用高效的电机。由于电机的耗电量约为生产用电的三分之二,因此,提高能量利用率的潜力是很大的。对于个别的生产工艺,采用特殊的方法也可以节约更多的电力。

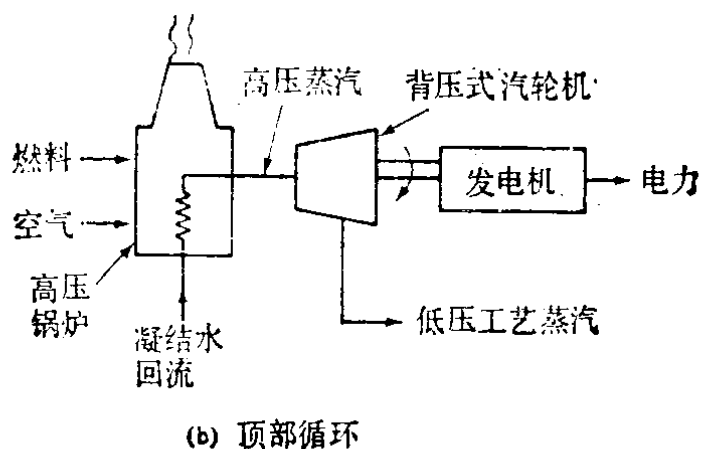
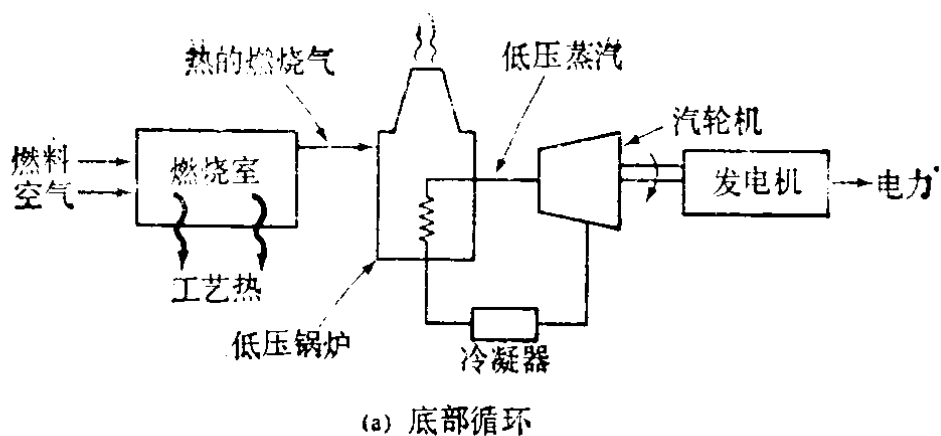


图 1-2 热电联产的两种系统

1-5 结 束 语

当研究更好地利用能量问题时，能量的量与质两个方面的考虑是重要的。这必须应用热力学第一和第二定律。两者都需要，两者相互补充。为了制订和评价能量利用的策略，本书根据热力学参数有效能提出一种有效的和系统的方法。应用第一和第二定律的这种研究法称为有效能分析，在美国以外的其他国家称为烟分析。

鉴于在家庭和工业的许多普通的过程和实践中都存在废热，因此就有可能改进能量的利用。在一个装置或过程中减少

有效能耗散或损失都可以改进能量的利用。通过有效能分析,可以识别能量损失的环节,并且按其重要性区分等。这种知识对于直接从事于工艺设计的工程师、科研人员、技术管理人员都是有用的,因为在改进他们的工作方面提供了众多的方法^①。

应用熟知的工程方法改进目前的工艺和操作,常常能够改善能量的利用(见1-4节)。同样重要的是,应注意其他一些工艺或操作,它甚至可能取得更大的节能。必须鼓励新技术,并且务必要看到,不能将所有的注意力和手段都用来改进或调整常规的方法。有效能分析在这两方面都可能具有指导意义。

参 考 文 献

- [1] Gatts, R. R., R. G. Massey, and J. C. Robertson, *Energy Conservation Program Guide for Industry and Commerce (EPIC)*, NBS Handbook 115, U. S. Department of Commerce/National Bureau of Standards, Washington, DC, 1974.
- [2] Gyftopoulos, E. P., L. J. Lazaridis, and T. F. Widmer, *Potential Fuel Effectiveness*, Ballinger, Cambridge, MA, 1974.
- [3] Hall, E. H., et. al., *Evaluation of the Theoretical Potential for Energy Conservation in Seven Basic Industries*, NTIS Report PB- 244772, U. S. Department of Commerce, Washington, DC, 1975.
- [4] Hatsopoulos, G. N., E. P. Gyftopoulos, R. W. Sant, and T. F. Widmer, "Capital Investment to Save Energy," *Harvard Business Review*, **56**, 2(March-April 1978), 111~122.
- [5] Shinskey, F. G. *Energy Conservation Through Control*, Academic, New York, 1978.
- [6] Smith, C. B. (ed.), *Efficient Electricity Use*, 2nd ed., Pergamon, Elmsford, NY, 1978.

① 应该认识到,目前显著地降低某些形式的耗散和损失在经济上或技术上是不可能的。第七章中讨论的伴随着燃烧所引起的有效能耗散就是一个明显的例子。

第二章 基本知识

为了理解和应用有效能概念,本章叙述了热力学的基本原理。它的前提是设想读者已经有工程热力学的初步知识,故大部分的概念仅仅简洁地提出,借以唤起读者的注意。如果某些方面需要进一步钻研的话,可以参考本章末尾参考文献中列出的一些教科书。

2-1 基本概念和定义

热力学这个名词起源于希腊词 *thermē*(热)和 *dynamis*(力)。热力学的研究在十九世纪初期考察热的动力,即热物体的作功本领时就已开始。现今涉及的范围更大了,它涉及能量、能量的转换和物质参数之间的关系。

经典热力学主要研究物质的宏观结构。它反映了大量分子聚集体总的特性,而不是个别分子的特性。而动力学理论和统计力学(包括量子统计学)研究的是物质的微观结构。至于本书中采用的则是经典的研究方法。

系统 在热力分析中,一个能够用确定的表面使它与任何其他事物相分离的指定区域称为系统。这一确定的表面称为控制表面或系统的边界。控制表面可以是移动的或是固定的。系统以外的其他事物称为外界。质量固定的系统称为质量控制系统或闭口系统。当通过控制表面存在质量流动时,这一系统称为体积控制系统或开口系统。