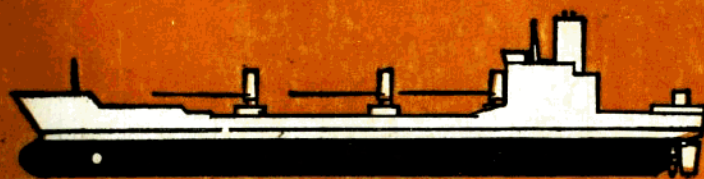


轮机船员考证培训教材

轮机基础理论

丁中一 编著



交通部全国海洋运输情报网

前 言

为了满足广大船员业务学习及培训的需要，我们编写了全国海船轮机长（员）考证培训教材。新近出版的《轮机基础理论》、《船舶电气》、《造船大意》三本书是教材的第二部分，同第一部分的《船舶柴油机》、《船舶辅机》、《轮机管理》、《轮机自动化》、《轮机英语》配套。根据出版计划以及配合一九八八年一月一日开始实施的我国海船船员考试、发证规则，这套书共有八个分册，现已如期全部出齐。

本书可作为轮机长（员）各类等级考证培训教材。全书以突出“1988年海船船员考试大纲”为原则，结合短期培训的特点组织编写，文字通俗，条理清楚，实例丰富，对船员自学复习、院校轮机专业学生的专业课学习等都有一定的指导和参考价值。

全书在编写过程中，承蒙上海海运学院副院长张永令副教授、轮机系主任王家绂副教授、上海海运局科技公办公室主任邵祖德高级工程师、上海港务监督王振禹副处长的多方关心和支持，交通部全国海洋运输情报网也为全书的出版做了大量工作，在此一并致谢。

由于编书时间仓促，教材内容涉及的范围广泛，加上编者的水平有限，本书中错误和不妥之处在所难免，恳望各位专家和同行批评指正。

编写组

一九八八年八月一日

编写人员

朱广源	上海海运局	高级工程师
张庆信	上海海运局	轮机长
李桂民	上海远洋运输公司	轮机长
杨百生	上海船舶运输研究所	研究员
周金根	上海海上安全监督局	轮机长
王家绂	上海海运学院	副教授
葛鸿翔	上海海运学院	副教授
卢士勋	上海海运学院	副教授
陈鸿璆	上海海运学院	副教授
张绍麟	上海海运学院	副教授
詹玉龙	上海海运学院	讲师
丁中一	上海远洋运输公司	工程师
蔡士鸣	上海海运学院	副教授
严家定	上海海运学院	副教授
章季亮	上海海运学院	副教授
朱文玮	上海海运学院	讲师

审阅人员

张永令	王家绂	张庆信	周金根	沈鼎新
陈鸿璆	蔡明罗	程永萱	严家定	蔡士鸣
姚水花				

目 录

第一篇 工程热力学

第一章 基本概念	2
第一节 热力系	2
第二节 工质的状态参数	2
第三节 热力系的平衡与不平衡	5
第四节 状态参数坐标图	5
第五节 过程和循环	5
第六节 功和热量	8
第二章 热力学第一定律	10
第三章 气体的热力性质	11
第一节 理想气体和实际气体	11
第二节 理想气体的状态方程	11
第三节 理想混合气体	12
第四节 气体的比热及热量计算	14
第五节 理想气体的内能和焓	15
第六节 理想气体的熵	16
第七节 气体的定容过程、定压过程、定温过程、绝热过程、多变过程	17
第四章 热力学第二定律	24
第一节 热力学第二定律的表达	24
第二节 卡诺循环与卡诺定理	24
第三节 熵在热力学第二定律表达中的作用	26
第五章 活塞式内燃机的理想循环	28
第一节 理想循环的特性	28
第二节 混合加热循环的效率	30
第三节 ε 、 λ 、 ρ 、对 η 的影响	31
第六章 水蒸汽	33
第一节 常用术语解释	33
第二节 定压汽化过程	33

第三节	水蒸汽的 p - v 图、 T - s 图、 h - s 图	34
第四节	水蒸汽的热力计算	36
第五节	朗肯循环	38
第七章	蒸汽压缩式制冷循环	40
第一节	逆向卡诺循环	40
第二节	蒸汽压缩式制冷的基本原理	41
第三节	制冷剂的 T - s 图和 lgp - h 图	41
第四节	具有膨胀机的理论循环	42
第五节	具有节流阀的理论循环	43
第八章	湿空气	45
第一节	干空气、湿空气、饱和空气	45
第二节	绝对湿度、相对湿度	46
第三节	相对湿度的测量	46
第四节	含湿量、焓湿图	47

第二篇 传 热 学

第一章	热传递的基本规律	51
第一节	热传递的三种基本方式	51
第二节	导热	52
第三节	对流换热	53
第四节	辐射换热	54
第五节	传热公式	55
第二章	传热学在轮机工程中的应用	57
第一节	提高传热能力	57
第二节	提高隔热能力	58

第三篇 流体力学机械基础

第一章	流体力学	60
第一节	流体的物理性质	60
第二节	流体静力学	62
第三节	流体动力学	64
第二章	金属材料与热处理	73
第一节	金属材料的机械性能	73
第二节	金属的物理化学性能	76
第三节	钢材的热处理	78
第四节	轮机金属材料	81

第三章 材料力学	90
第一节 杆件的轴向拉伸与压缩.....	90
第二节 剪切与挤压.....	93
第三节 扭转.....	93
第四节 弯曲.....	95
第五节 疲劳破坏.....	99
第六节 受压容器的强度计算.....	101
第四章 机械传动与振动	104
第一节 飞轮、凸轮、曲柄连杆机构.....	104
第二节 三角皮带传动.....	108
第三节 链传动.....	109
第四节 齿轮传动.....	110
第五节 蜗杆传动.....	114
第六节 摩擦传动.....	115
第七节 液力传动——液力偶合器.....	117
第八节 各种传动的比较.....	118
第九节 机械振动.....	119

第四篇 制图与度量仪表

第一章 图样的基本知识	123
第一节 图纸幅面、比例、字体.....	123
第二节 图线.....	124
第三节 尺寸注法.....	126
第二章 公差与配合	128
第一节 孔和轴的公差与配合.....	128
第二节 形状和位置公差.....	134
第三章 投影与视图	137
第一节 投影与三视图概念.....	137
第二节 点、线、面的投影.....	139
第三节 基本几何体的投影.....	145
第四节 截交线、相贯线、过渡线.....	154
第五节 组合体的画图方法.....	158
第六节 其它视图.....	160
第四章 零件图	167
第一节 零件图概述.....	167
第二节 零件视图的选择.....	168
第三节 零件图尺寸标注.....	168

第四节 零件图上的技术要求	170
第五节 零件的测绘	171
第六节 读零件图	172
第七节 常用零件的画法	172
第五章 装配图	180
第一节 装配图概述	180
第二节 装配图的规定画法和特殊表达方法	182
第三节 读装配图	182
第六章 船舶管系图	184
第一节 概述	184
第二节 系统图的内容和特点	184
第三节 管路系统图的图形符号	186
第七章 船用仪表、量具	188
第八章 计量单位	195
第一节 单位制概述	195
第二节 若干量的单位换算	196

第一篇 工程力学

工程热力学的研究对象和主要内容

将热能转化为机械能的机器称为热机，如柴油机、汽轮机等。在此转换过程中起媒介作用的物质，如燃气、水蒸汽等，被称为工质。

将热量从低温物体取出，转移到高温物体去的机器被称为制冷机，此中起媒介作用的物质被称为制冷剂，也是一种工质。

对于船舶轮机工程，工程热力学主要研究热机和制冷机中热能和机械能相互转换的规律，研究的直接对象是工质，研究工质的热力性质，研究工质与外界发生能量交换时自身状态的变化规律。因此，本篇的内容主要为下列三个方面：

(1) 热力学的二个基本定律，即热力学第一定律、第二定律。第一定律指出能量只能转换而不能增加或消灭。第二定律则指出，能量在转换中是有方向性、条件性的。

(2) 工质的热力性质。

(3) 根据热力学基本定律，结合工质的热力性质，分析工质的各种热力过程和循环，揭示提高能量转换效率的正确途径。

第一章 基本概念

第一节 热力系

热力学所研究的工质总是处于某个实在的或假想的界面之内，此界面内的一切物质（工质、或还有其它）统称为热力系。与热力系有关的周围物质统称为外界。

根据热力系与外界联系的不同情况，热力系有以下几种：

闭口系——与外界无物质交换；

开口系——与外界有物质交换；

绝热系——与外界无热量交换；

孤立系——与外界无任何联系。

本教材涉及的是闭口系、绝热系。

第二节 工质的状态参数

状态是指热力系全部宏观性质的综合。从各个不同方面描写这种宏观状态的物理量便是各个状态参数。

可以直接测量的状态参数有三个，即压力、温度和比容，这是最基本的状态参数。还有一些状态参数是由基本状态参数组合成的，如内能、焓、熵等。下面，简单叙述一下这些状态参数。

1. 压力 (p)

压力是指单位面积上承受的垂直作用力，在国际单位制中就是1平方米面积上所承受的牛顿力，即

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{N/m}^2 \quad (1-1)$$

式中：F——垂直作用力，单位为牛顿(N)；

A——作用面积，单位为平方米(m²)；

所以压力的量纲为“N/m²”，1N/m²就称作“帕”(Pa)，当压力很大时，用“巴”作单位，当压力很小时，用“毫巴”(mbar)作单位，或者用毫米水柱(mmH₂O)或毫米汞柱(mmHg)作单位。

$$1\text{bar} = 10^5 \text{Pa}$$

$$1\text{mbar} = 10^{-3}\text{bar} = 10^2\text{Pa}$$

式(1-1)计算的压力是真正的压力，也叫绝对压力，是工质分子在紊乱的热运动中对容器壁频繁碰撞的结果。而一般压力表所测得的压力并不是绝对压力，而是相对于周围大气的压力，叫做相对压力或表压力，在数值上它等于绝对压力减去周围大气的压力，即

$$p_g = p - B \quad (1-2)$$

$$p = p_g + B$$

式中： p_g ——表压力；

B ——大气压力。

例如辅锅炉蒸汽压力表的读数为7.5bar，周围大气压力为1.01bar，蒸汽的绝对压力为：

$$p = 7.5 + 1.01 = 8.51 \text{ bar}$$

这是绝对压力比周围大气压力高的情况，反之，如在造水机蒸发空间，绝对压力比大气压力要低，就是说产生真空，见图1-1，U型管一端接造水机蒸发空间，另一端通大气，管内灌注水银，在A-A水平线上，压力是相等的，左边为蒸发空间的绝对压力 p 加高出一段的水银柱压力 p_v ，右边为大气压力 B ，即

$$p + p_v = B$$

$$p_v = B - p \quad (1-3)$$

式中 p_v 称做为真空度，就是绝对压力比周围大气压力少的那部分。因此，真空度越大，绝对压力越低，气体越稀薄。大气压力是经常变化的，将纬度45°海平面上的常年平均大气压力定为标准大气压，符号为atm，其值为：

$$\begin{aligned} 1\text{atm} &= 760\text{mmHg} = 1.01325\text{bar} \\ &= 1.0332\text{kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

对轮机管理工程，可近似地认为大气压为1bar。造水机压力真空表的真空度那一边的刻度用的是760mmHg柱，工作时的真空度约705mmHg，绝对压力只有55mmHg，此时海水的沸腾温度约为39℃

2. 比容(v)

比容就是单位质量的物质所占有的容积，即

$$v = \frac{V}{m} \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

式中： v ——气体的容积， m^3 ；

m ——气体的质量， kg 。

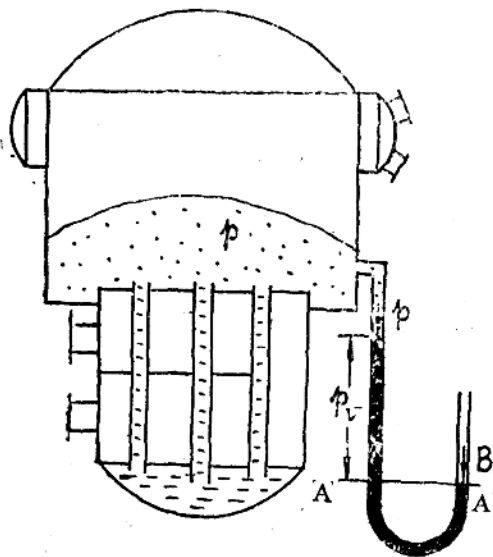


图1-1

$$(1-4)$$

比容的倒数就是密度 ρ 、密度就是单位容积的质量。

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{m}{v} \quad \text{kg/m}^3$$

3. 温度

温度表示物体的冷热程度，而非表示热量。气体的温度是气体分子平均移动动能大小的量度。

国际单位制采用热力学温标，即开尔文（简称开）温标或绝对温标，用“K”表示，温度值用“T”表示。开氏温标与日常用的摄氏温标（℃）、摄氏温度值（t）有下述换算关系：

$$T = t + 273.15 \quad \text{K} \quad (1-5)$$

即绝对温度等于摄氏温度加273.15。美英等国还常用华氏温标（°F），华氏温度与摄氏温度的换算关系为：

$$1^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32)$$

4. 内能（U）

内能表示了物质分子的动能（ U_k ）和由分子间相互作用力形成的位能（ U_p ），其组成系统为：

$$\text{内能} \begin{cases} \text{位能 } U_p \\ \text{动能 } U_k \end{cases} \begin{cases} \text{分子移动动能} \\ \text{分子转动动能} \\ \text{分子内部振动能} \end{cases}$$

一千克物质所具有的内能称做比内能（ u ），习惯就称做内能。工质在不同状态有不同的内能，所以内能是状态参数。

$$u = \frac{U}{m} \quad \text{kJ/kg} \quad (1-6)$$

5. 焓（H）

焓是一个组合的状态参数，

$$H = U + p \cdot V \quad \text{kJ} \quad (1-7)$$

一千克质量的物质所具有的焓称做比焓（ h ），即

$$h = \frac{H}{m} = u + pv \quad \text{kJ/kg} \quad (1-8)$$

在工程单位制中，上式变为：

$$h = u + A p v \quad (1-9)$$

式中A称做功热当量，即1kgf·m的功相当于1/427 kcal的热量，所以

$$A = 1/427 \text{ kcal}/(\text{kgf} \cdot \text{m})。$$

6. 熵（S）

熵是一个导出的状态参数，符号为S，单位为kJ/K，比熵是指一千克质量工质的熵，符号为s，单位为kJ/(kg·K)。熵这个参数的含义和用途，在后面的有关章节中叙述。

上述六个状态参数都是工质状态的单值函数，即对于一个确定的状态，每种状态参数只

能有一个确定的值。对于内能、焓、熵，在哪个状态时定为零值（即计值起点），是可以有不同选择的，因为在热工计算中，重要的是它们的变化量，而非绝对值。

第三节 热力系的平衡与不平衡

如果工质的状态不变，其内部各处的压力、温度都相同，就说工质处于平衡状态。

如图1—2所示，在一个与外界绝缘的封闭容器内，有一块隔板把它分成左、右两部分，左边有气体，处于平衡状态，参数为 p_1 、 v_1 、 T_1 ，右边是真空的。若将隔板开一点，左边的气体就往右边跑，压力降低，温度降低，比容增加，此过程是一个不平衡状态，过一段时间后，整个容器中各处的压力、温度都相同，不再发生变化了，气体就处于一个新的平衡状态，参数为 p_2 、 v_2 、 T_2 。

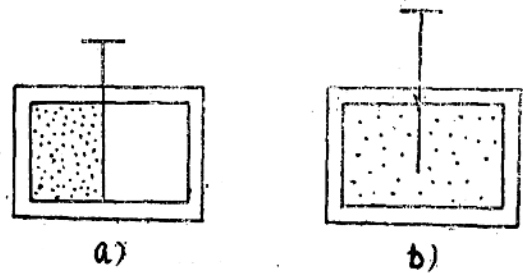


图1—2

原来处于平衡状态的热力系，如没有外界的作用，将继续保持此种平衡状态。热力学主要研究平衡状态。

第四节 状态参数坐标图

只要知道了工质的二个相互独立（即其中任意一个不取决于另一个）的状态参数，明确地说，只要知道了 p 、 T 、 v 、 u 、 h 、 s 等中任意二个独立参数，那末工质的状态也就确定了，所有的其它状态参数也定了。

在一个平面直角坐标系中，每一点都有自己对应的横坐标、纵坐标，如果二个坐标表示的是工质的二个相互独立的状态参数，那末坐标平面上的每一点就代表了工质的一种状态。如图1—3所示，横坐标表示比容，纵坐标表示压力，点“1”是一种状态，压力为 p_1 ，比容为 v_1 。点“2”表示的是另一种状态，压力为 p_2 ，比容为 v_2 。

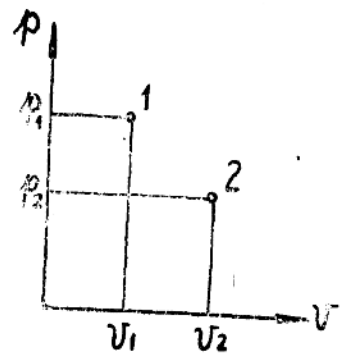


图1—3

除上述的 p - v 图外，还有 T - s 图、 h - s 图、 p - h 图等，统称状态图。

第五节 过程和循环

热力系与外界相互作用（热量交换、做功等），从个平衡状态变化到另一个平衡状态，

这中间的变化就称为过程。所谓循环，就是封闭的过程，即工质从初始平衡状态变化，最终又回到初始平衡状态。过程是怎么进行的？过程中每一瞬间是不是平衡的？这是本节讨论的重点。

一、内部平衡过程

看图1—4a，气缸活塞及其里边的工质组成一个闭口热力系（与外界无物质交换），外界是一个无限大的恒温的大气环境，热力系的温度与大气温度相同，活塞上压着一个法码，工质处于平衡状态，忽略活塞的自重，则气缸内工质的压力与作用在活塞上面的大气压力和法码的重力相平衡。现将一叠法码一下子移走，工质迅速膨胀，活塞迅速上移，下面的工质密度大、压力高，上面（靠近活塞）的密度小、压力低，由于膨胀，工质温度降低，外界经缸壁向工质传热，在尚未达到热平衡前，靠近气缸壁的工质的温度较中间的为高，工质处于不平衡状况，必须经过一般时间，气缸内各处的工质状态才能相同。这个过程是非内部平衡过程，也称为非准静态过程。

如果活塞上放的不是一叠法码，而是一堆砂子（见图1—4b），现在一粒一粒的慢慢移去砂子，每移走一粒，工质作非常微小的膨胀，活塞作微小的上移，工质压力有极微小的下降，但各处很快一致，温度应有极微小的下降，但由于外界通过缸壁传进热量，几乎不发生下降，始终与环境温度相同，于是实现了“无温差的传热”，因此，移走一粒砂子，热力系立即处于一个新的平衡状态。无数粒砂子却是慢慢的一粒一粒的移走，这整个卸砂子的过程就成为有无数个中间平衡状态连接起来的过程。于是，可以得出这样的结论：作为理想的极限情况，当过程进行得无限缓慢时，热力系在变化过程中的每一步都处于平衡状态，这样的过程被称为内部平衡过程或准静态过程。在状态图上表示为一条连续的曲线，如图1—5所示，从状态“1”变到状态“2”是内部平衡过程。虽然从状态“1”变到了状态“2”，但如

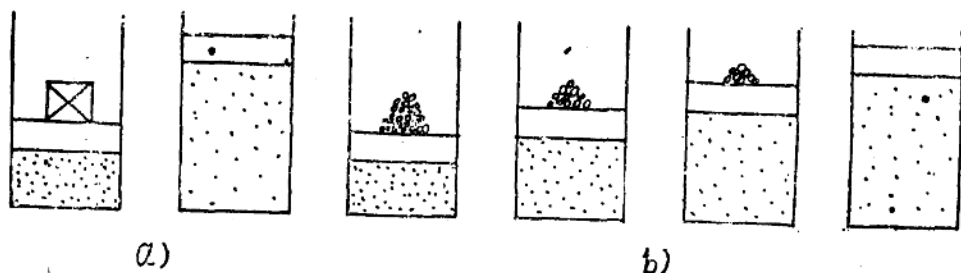


图1—4

果过程是非内部平衡的话，过程曲线是无法画出来的，因为在过程中，甚一瞬间，缸内各处的参数不一样，用哪一处作全部工质的代表都是不行的，所以严格说来，无法画过程曲线，习惯上用虚线表示这样的过程，如图1—6所示。

柴油机活塞运动并不像图1—4b所示的活塞那么缓慢，但由于压力趋向于均匀的速度极

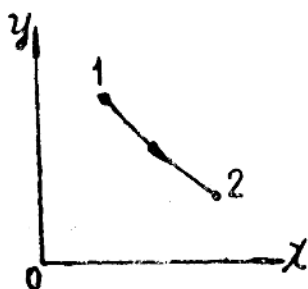


图1—5

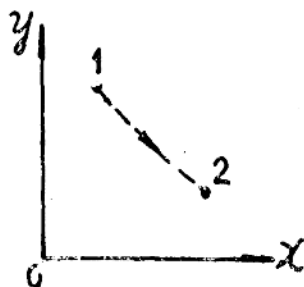


图1—6

快，因此可以把柴油机气缸内的过程近似地看作内部平衡过程。

二、无摩擦的内部平衡过程

如果在内部平衡过程中没有机械摩擦，如图1—4b中，活塞和缸壁没有摩擦，这过程叫做无摩擦内部平衡过程或无摩擦准静态过程。

三、可逆过程与不可逆过程

在图1—4b的例子中，如无摩擦，当砂子全部移去后再来个相反的过程，即缓慢地将砂子逐粒放回活塞上，也经历了无数多个中间平衡状态，在砂子加满后，不但工质完全恢复原来的状态，就是在膨胀过程中由外界传给工质的热量也完全返回外界，总之，外界也恢复原状。这种变化过程，即：一个热力系由初始平衡状态出发，经变化达到终态——新的平衡状态，如果使过程沿相反方向进行，热力系又回到初态，而且外界也同时恢复原状，则这种过程就称为可逆过程。上述的无摩擦内部平衡过程（即无摩擦准静态过程）是可逆过程。

如果热力系虽回到了初态，但外界没有恢复原状，那末这个过程就不是可逆过程，称为不可逆过程。

可逆过程与不可逆过程仅仅是针对过程的性质而言，所谓不可逆过程，并不是说不能将工质（热力系）恢复到原状，问题在于外界不能同时恢复原状。

要实现可逆过程，必须同时满足下列三个条件：

- (1) 初态为平衡状态；
- (2) 没有机械摩擦（力平衡）；
- (3) 传热时无温差（热平衡）。

实际的热力过程不可能同时具备这三个条件，也就是说，工程上的实际过程都是不可逆过程，因为有运动就必定伴随摩擦，要传热必须有温差。然而，工程热力学却主要研究可逆过程，以便简明地揭示过程的特性。在专业课程中，对于实际的不可逆过程的分析计算，是

在可逆过程的基础上, 根据经验加以修正, 使之接近实际情况。本教材中, 除非另加说明, 否则均指可逆过程。

四、循 环

循环就是一个封闭的过程, 在直角坐标系中表示为封闭曲线, 如图1-7所示, a) 为内部平衡过程, b) 为内部不平衡过程, 用虚线连接起来

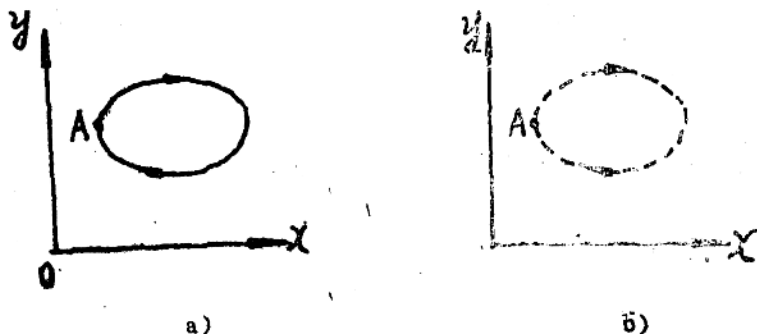


图1-7

第六节 功和热量

功和热量都是能量, 是工质与外界交换能量的二种能量形式。

工质膨胀时对外作功, 定为正值, 受压缩时由外界对工质作功, 定为负值。功的符号为 W 和 w , w 是指1千克工质的功。

工质自外界吸热, 热量为正值, 工质向外界放热, 热量为负值, 热量的符号为 Q 和 q , q 是指1千克工质的。

功和热量的单位为焦耳 (J) 或千焦耳 (KJ)、1千焦的能量相当将1千牛顿重的物体 (合102公斤力) 举高1米所做的功。在工程制单位中, 热量的单位为千卡, 也叫大卡, 相当于1千克水从19.5℃升至20.5℃时所吸收的热量。1千卡相当于4.1868千焦。

对于一个内部平衡过程, 工质所做的功可以在 $p-v$ 图上用面积来表示, 见图1-8, 设气缸内有1千克气体, 从上死点1膨胀到下死点2。对于其中任一微小过程, 所做的微功 dw 为:

$$dw = F \cdot dL \quad (1-10)$$

式中: F ——气体作用在活塞顶上的力, $F = p \cdot A$, A 为活塞面积,

dL ——活塞的微动距离。

将式1-10演化:

$$\begin{aligned} dw &= pAdL \\ &= pd(AL) \\ &= pdv \end{aligned} \quad (1-11)$$

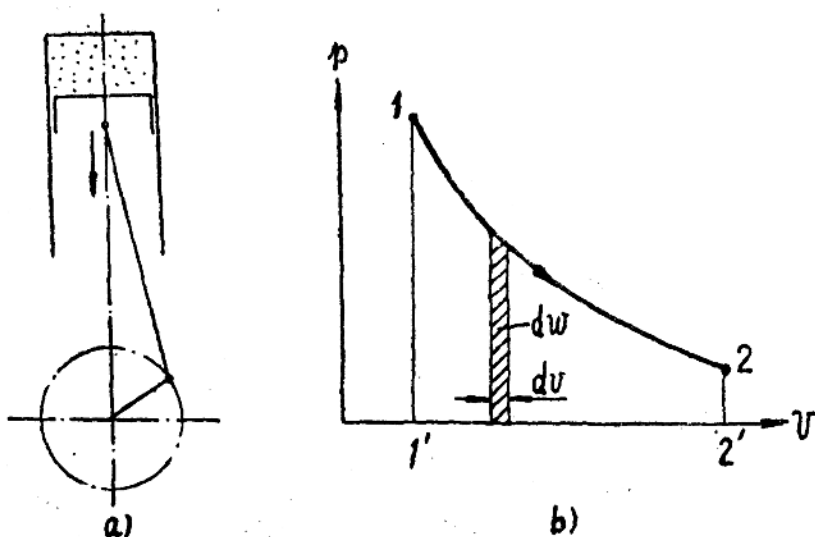


图1-8

dw 在图1-8b中表示为打斜线的一狭条的面积。整个膨胀过程所做的功 w 就等于这一个个相连接的微过程所做的微功加起来，也就是对 dw 积分，即：

$$\begin{aligned} w &= \int_1^2 dw \\ &= \int_1^2 p dv \end{aligned} \quad (1-12)$$

显然，这个积分值就是整个膨胀过程所做的功，在 p - v 图上就表示为面积 $122'1'$ 。

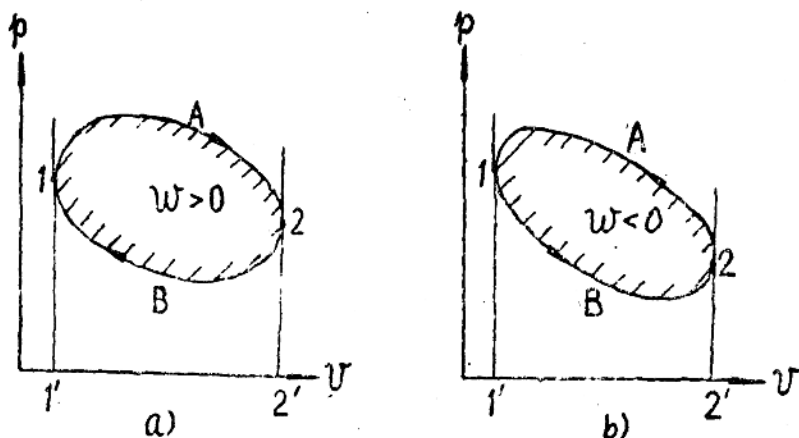


图1-9

对于一个封闭的循环，工质所做的功在 p - v 图上表示为封闭曲线的面积，如图1-9所示，在图a)中，膨胀功 $1A22'1'1$ 大于外界对它的压缩功 $2B11'2'2$ ，所以在一个循环中作的功是正功，而在图b)中，膨胀功小于压缩功，所以一个循环中作的功是负功。

第二章 热力学第一定律

各种能量，如热能、机械能、电能、化学能等，可以转移或相互转化，但在转移或转化时的总能量总是保持不变，这就是能量守恒与转换定律，是自然界最基本的规律。

热力学第一定律是能量守恒与转换定律在热力学中的具体应用。当热力系与外界发生能量交换时，热力学第一定律可表述如下：

（进入热力系的能量）-（离开热力系的能量）= 热力系储存能量的增加 （2-1）。

简单地说，外界给予工质的能量减去工质返回外界的能量，必然等于工质内能的增量。

如图2-1所示，气缸内有1kg气体工质，活塞与重物的重力有F牛顿，初始平衡状态的工质参数为 p_1 、 v_1 、 T_1 、 u_1 。当外界向工质传热 q 后，气体膨胀，将活塞上移L米，气体的状态参数为 p_2 、 v_2 、 T_2 、 u_2 。分析此过程中的能量转换关系：

进入工质的能量为热量 q ；

工质返回外界的能量为功 W ， $W = FL$ ；

工质内能的增量为 Δu ， $\Delta u = u_2 - u_1$ 。

按式2-1，可得

$$q - w = \Delta u \quad (2-2)$$

式2-2就是闭口系热力学第一定律的数学表达式。

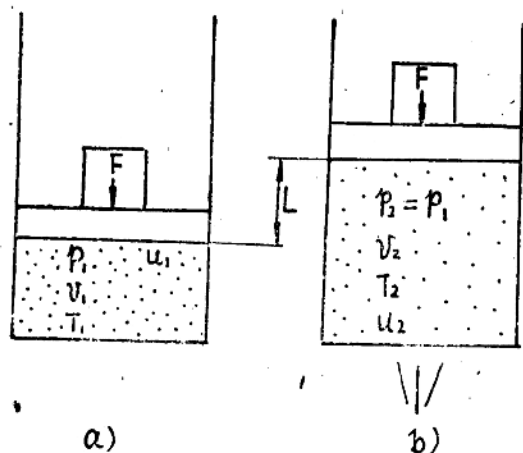


图2-1

对于一个微小的变化过程，上式变为

$$dq = du + dw \quad (2-3)$$

因为 $dw = pdv$ (1-11)

所以式2-3也可表达为

$$dq = du + pdv \quad (2-4)$$

式2-1~2-4都是热力学第一定律的表达式。对图2-1所示的加热做功过程，加入气体的热量，一部份对外做功，另一部份增加了气体的内能。