

第一章 发动机热力学基础

第一节 热功转换的基础知识

第二节 热力学第一定律

第三节 热力过程分析

第四节 热力学第二定律

学习目标：讲清楚工质热力状态及基本参数；准确阐述热力学第一定律和第二定律；会分析热力循环过程；能阐述卡诺循环和卡诺定理。



第一节 热功转换的基础知识

一、能量与能源

世界由物质构成。一切物质都处于运动状态，能量是物质运动的度量。一切物质都具有能量，如果没有能量，世界就会永远处于静止状态，也就不会有生命。能量也是人类社会进步的动力。人类在日常生活和生产过程中需要各种形式的能量。随着人类社会的发展，人们对能量的认识和利用水平不断提高。到目前为止，人类所认识的能量主要有机械能、热能、电能、化学能、核能、辐射能等几种形式。能源是指能够直接或间接提供能量的物质资源



二、工质的热力状态及其基本状态参数

基本概念

1. **工质**: 实现热能与机械能相互转换的工作物质（气体）。
2. **热力系统**和**外界**: 把作为研究对象的某一宏观尺寸范围内的工质总称为热力系统，如汽缸内的气体；把热力系统以外和热功转换过程有关的其他物体统称为外界，如汽缸体。
3. **热力状态**: 把工质在某一时刻所处的宏观状态称为工质的“热力状态”，简称“状态”。工质的热力状态用物理量来描述，这些物理量称为气体的状态参数，如温度、压力和比体积等。
4. **热力过程**: 将热力系统中的工质从某一初始状态变化到另一状态所经历的整个过程称为热力过程。



热力系统分类

- 开口系统：与外界不仅有能量交换，又有物质交换的系统。
- 封闭系统：与外界只有能量交换而无物质交换的系统。
- 绝热系统：与外界没有热量交换的系统。
- 孤立系统：与外界既无能量交换，也无物质交换的系统。

基本状态参数

- 气体常用的状态参数有6个，温度 (T)、压强 (p)、比体积 (v)、内能 (U)、熵 (S)、焓 (H)。
- 其中温度 (T)、压力 (p) 和比体积 (v) 这三个物理量，称基本状态参数。



温度

- ◆ 温度表示气体的冷热程度。按分子运动论，气体的温度是气体内部分子不规则运动剧烈程度的物理量。气体的温度越高，气体内部分子的平均动能就越大。
- ◆ 热力学温度：开氏温度，用符号 T 表示，单位为开尔文，单位符号为“K”（基本温标）。热力学温度以水的三相点温度为基本定点温度（即水的固、液、气三态共存时的温度），并规定其温度为 273.15K。于是 1K 就是水的三相点温度的 $1/273.15$ 。
- ◆ 工程上的温度：摄氏温度，用符号 t 表示，单位符号为“ $^{\circ}\text{C}$ ”。
- ◆ 摄氏温度与开氏温度的关系为：

$$t = T - 273.15$$

注意：只有开氏温度才是状态参数。



压力

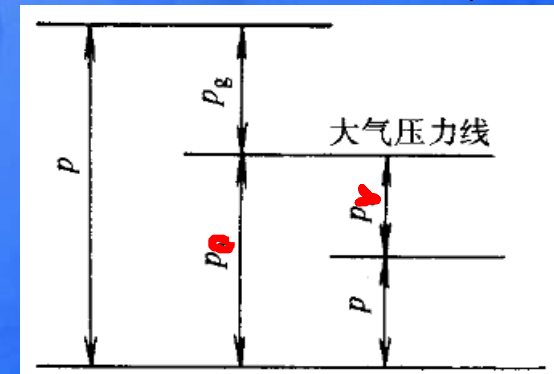
◆**定义：**气体在单位面积容器壁上的垂直作用力，用符号 p 表示，单位是帕斯卡，简称为帕（Pa）。由于帕很小，工程上常用千帕（kPa）或兆帕（MPa）为单位。

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} \quad 1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

◆**压力的表示方法：**

1. **绝对压力：**指气体作用在容器壁上的真实压力，用 p 表示。
2. **表压力：**当气体的绝对压力高于大气压力时，压力表指示的数值就是表压力。表压力等于气体的绝对压力与大气压力 p_0 的差值，用 p_g 表示。其关系式为 $p_g = p - p_0$ 。
3. **真空度：**当气体的绝对压力低于大气压力时，真空表测量的数值就是真空度。真空度等于大气压力与气体绝对压力的差值，用 p_v 表示。其关系式为 $p_v = p_0 - p$ 。

注意：只有绝对压力才是状态参数。



比体积

◆比体积：单位质量的气体所占的体积，称为气体的比体积。用符号 v 表示，单位为 m^3/kg 。

$$v = \frac{V}{m}$$

◆密度：单位体积的气体所具有的质量称为密度，以符号 ρ 表示，其单位为 kg/m^3 。

$$\rho = \frac{m}{V}$$



三、理想气体状态方程

- ◆ 理想气体：分子不占体积、分子之间没有吸力的气体。
- ◆ 理想气体状态方程式（克拉贝隆方程式）：温度、压力、比体积之间关系式。

1 k g 理想气体： $pv = RT$

m k g 理想气体： $pV = mRT$

式中： V —mkg理想气体的总容积， $V=mv$ 。

R —气体常数，其数值取决于气体的性质，单位为kJ/（kg·K）。

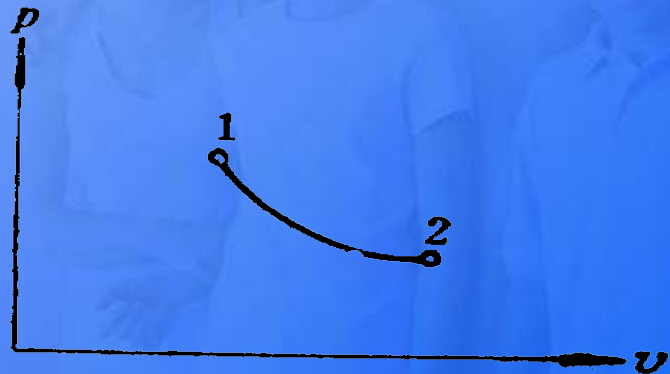


图1-2



四、工质的比热容

(一)比热容与物质单位的关系

因为工质的计量单位可用 kg 、 kmol 、 m^3 ，所以工质的比热容有如下三种：

比质量热容： $c_k \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$

比摩尔热容： $c_m \text{ kJ} / (\text{kmol} \cdot \text{K})$

比容积热容： $c' \text{ kJ} / (\text{m}^3 \cdot \text{K})$

(二)比定压热容和比定容热容

气体在压力不变或体积不变的情况下被加热时的比热容，分别叫比定压热容和比定容热容，通常用脚标 p 和 V 来标注。



(三)真实比热容和平均比热容

根据大量精确的试验数据和量子力学理论，理想气体的比热容与压力无关，而应是温度的函数。

(四)定比热容

表 1 - 1 理想气体的定值比摩尔热容和比热容比

	单原子气体	双原子气体	多原子气体
$c_{v, m}$	$3/2R_m$	$5/2R_m$	$7/2R_m$
$c_{p, m}$	$5/2R_m$	$7/2R_m$	$9/2R_m$
κ	1.66	1.40	1.29



第二节 热力学第一定律

一、功、热量和内能

◆1. 功

当气体的压力和容积发生变化时，气体与外界之间相互传递的机械能称之为功，用 W 表示。单位为焦耳，单位符号为“J”或“kJ”， $1\text{kJ}=10^3\text{J}$ 。

1kg气体容积（即比体积）的微小变化量为：

$$dv = A dx$$

1kg气体对外界所作的微元功为：

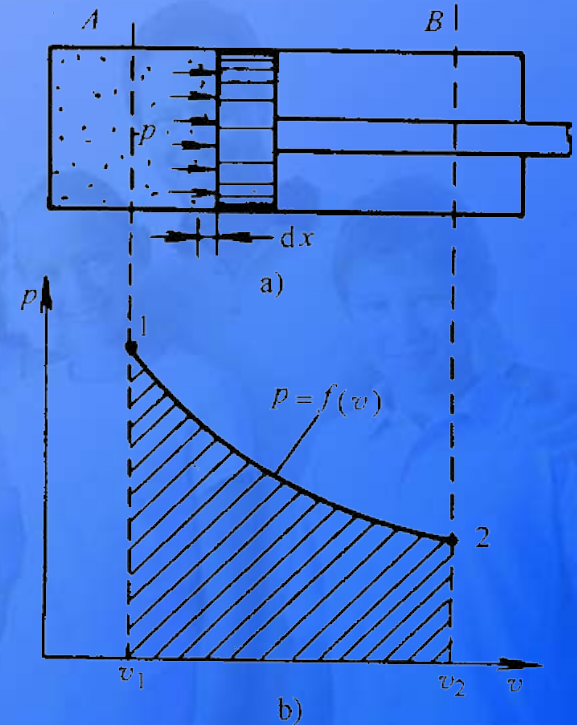
$$dw = p A dx = p dv$$

1kg气体对外界所作的功为： $w = \int_{v_1}^{v_2} p dv$

若汽缸内的气体为 $m\text{kg}$ ，其总容积 $V=mv$ ，

则 $m\text{kg}$ 气体从状态1变化到状态2对外所作的

功为： $W = mw = \int_{v_1}^{v_2} p m dv = \int_{V_1}^{V_2} p dV$



一、功、热量和内能

◆2. 热量

热量是由于温度的不同，系统和外界之间穿越边界而传递的能量。

热量的国际单位与功一样为焦耳，单位符号为“J”或“kJ”。热量通常用比热来计算。比热是指单位量的物质温度每变化1K时吸收或放出的热量，用符号 c 表示，即

$$c = \frac{dq}{dT}$$

式中： dq ——单位量的物质在温度变化 dT 时吸收或放出的热量。

1kg气体的温度变化 dT 时，吸收或放出的微元热量 dq 为： $dq = cdT$

1kg气体的温度从 $T_1 \rightarrow T_2$ 时，吸收或放出的热量 q 为：

m kg气体的温度从 $T_1 \rightarrow T_2$ 时，吸收或放出的热量 Q 为： $q = \int_{T_1}^{T_2} cdT$

规定：气体从外界吸收热量为正，向外界放出热量为负。 $Q = mq = \int_{T_1}^{T_2} mcdT$

注意：功和热量都不是状态参数。



一、功、热量和内能

◆3. 内能

气体的内能是指气体内部所具有的各种能量的总和，由气体分子运动的动能和分子间位能组成。

◆内能是气体的状态参数。

◆对于理想气体，因假设其分子间没有引力，其位能为零，所以其内能仅指其内部动能，它是温度 T 的单值函数。

1kg 气体的内能用符号 u 表示，单位为 J/kg 或 kJ/kg，则

$$u = f(T)$$

1kg 气体的温度从 T_1 变化到 T_2 时，其内能的变化量 Δu 为：

$$\Delta u = u_2 - u_1 = f(T_2) - f(T_1)$$

m kg 气体的内能用符号 U 表示，单位为 J 或 kJ，温度从 T_1 变化到 T_2 时，其内能的变化量 ΔU 为：

$$\Delta U = U_2 - U_1 = m[f(T_2) - f(T_1)]$$



二、热力学第一定律

◆热力学第一定律：热和功可以相互转换，为了要获得一定量的功，必须消耗一定量的热；反之，消耗一定量的功，必会产生一定量的热。

◆第一类永动机是不可能被成功地制造的。在热能与其他能量的相互转换过程中，能的总量保持不变——**遵循能量守恒原则**。

◆1kg气体由状态1变化到状态2所经历的过程中，如果气体与外界交换的热量为 q_{1-2} ，机械功为 w_{1-2} ，内能的变化量为 $u_2 - u_1$ ，三者之间的平衡关系可用能量平衡方程表示为：

$$q_{1-2} = u_2 - u_1 + w_{1-2}$$

m kg气体由状态1变化到状态2所经历的过程中，则有

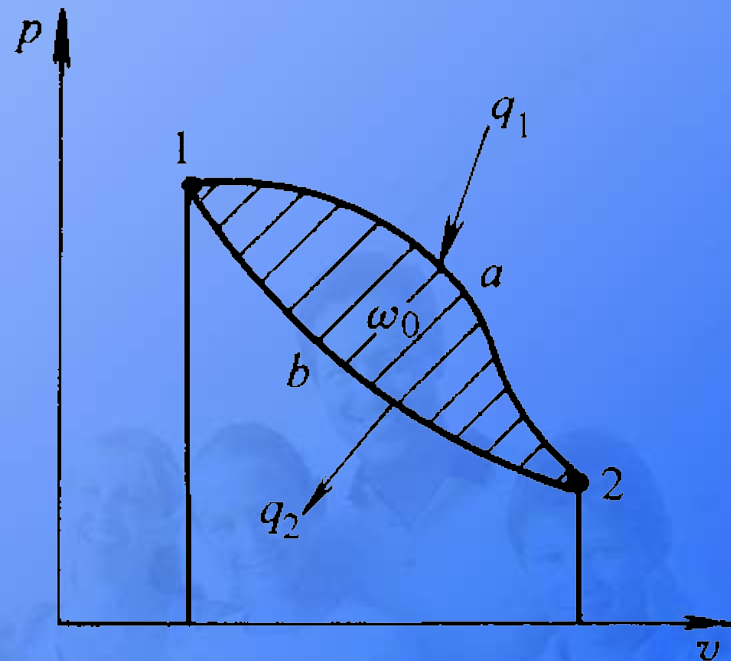
$$Q_{1-2} = U_2 - U_1 + W_{1-2}$$

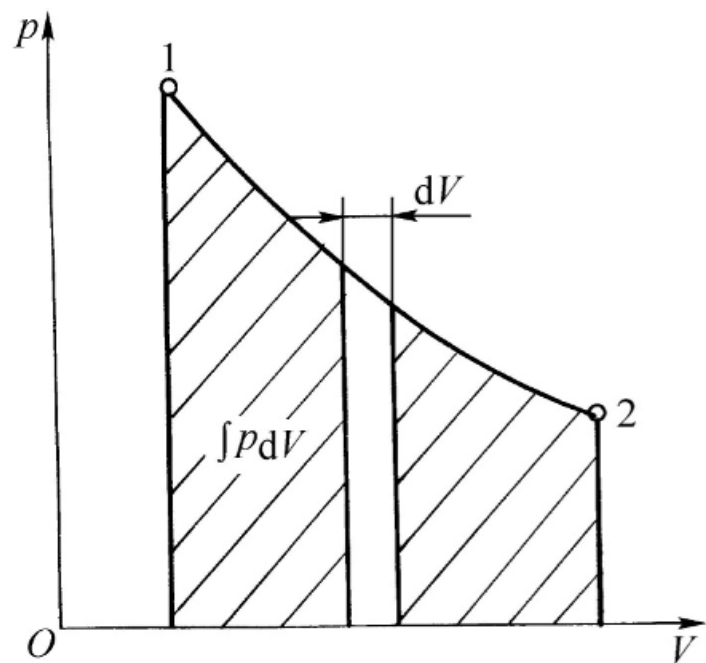
◆气体状态发生变化时，从外界吸收的热量等至于其内能的增加量与对外所作的机械功之和。



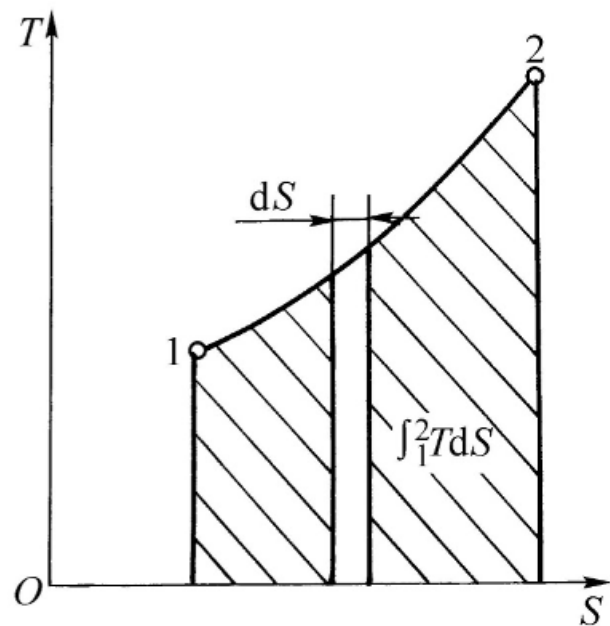
$p-v$ 图

- ◆ 循环中工质所作的净功为： w_0
- ◆ 循环中工质从外界吸收的净热量为： $q_1 - q_2$
- ◆ 由于 $\Delta u = 0$ 。根据热力学第一定律则可得出： $q_1 - q_2 = w_0$
- ◆ 结论：循环中工质从高温热源吸收热量 q_1 ，只将其中的一部分转换成机械功 w_0 ，而另一部分热量 q_2 传递给低温热源。
- ◆ mkg: $Q_1 - Q_2 = W_0$





a)



b)

图 1-5 可逆过程的 $p-V$ 图和 $T-S$ 图
a) $p-V$ 图 b) $T-S$ 图



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/588142000040006051>