

● 准静态过程

在过程进行的每一瞬间，体系都接近于平衡状态，状态参量在整个系统的各部分都有确定的值，整个过程可以看成是由一系列极接近平衡的状态所构成，这种过程称为准静态过程。

● 可逆过程

系统经过某一过程从状态（1）变到状态（2）之后，如果能使系统和环境都恢复到原来的状态而未留下任何永久性的变化，则该过程称为热力学可逆过程。否则为不可逆过程。

可逆过程一定是准静态过程，准静态过程不一定是可逆过程。

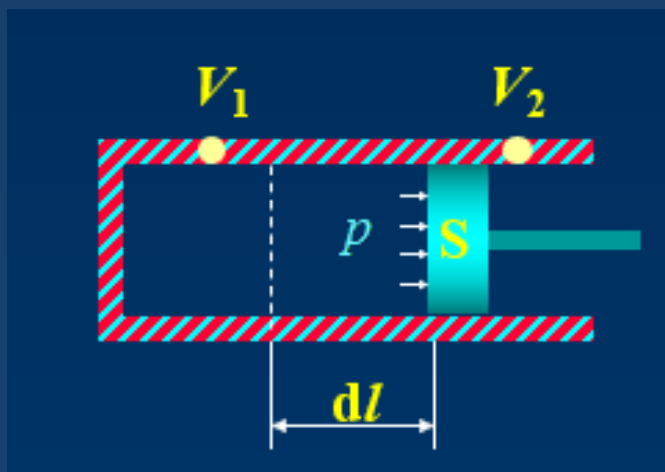
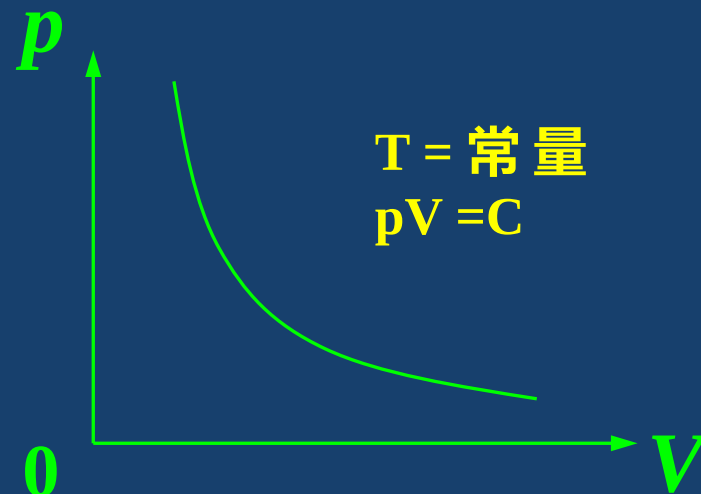
§5 气体热现象与理想气体状态方程

一定质量的气体，它的温度、体积和压强三个量之间变化是相互对应的。我们如何确定三个量之间的关系呢？

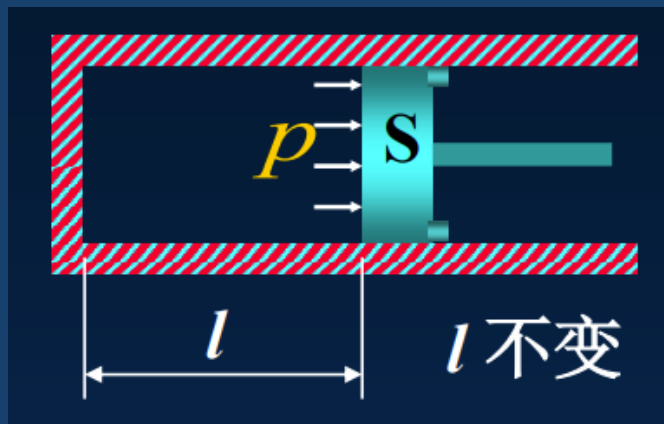
控制变量法 保持一个量不变，研究其它量之间的关系，然后综合起来得出所要研究的几个量之间的关系。

一、等温、等容和等压变化 波意耳-马略特定律 (1676)

1、等温变化 一定量的理想气体，在温度不变时，其体积与压强成反比。



2、等容变化



查理定律 (1787)

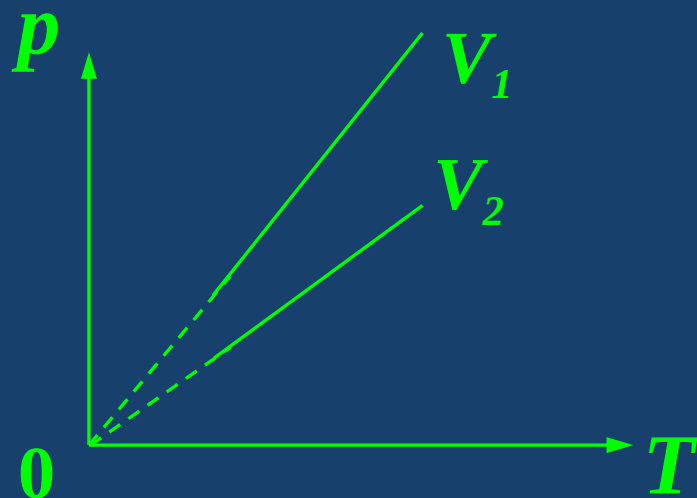
一定量的理想气体，在体积不变时，其压强与热力学温度成正比。

$$V = \text{常量}, \quad P/T = C$$

P 与热力学温度 T 成正比，不与摄氏温度成正比

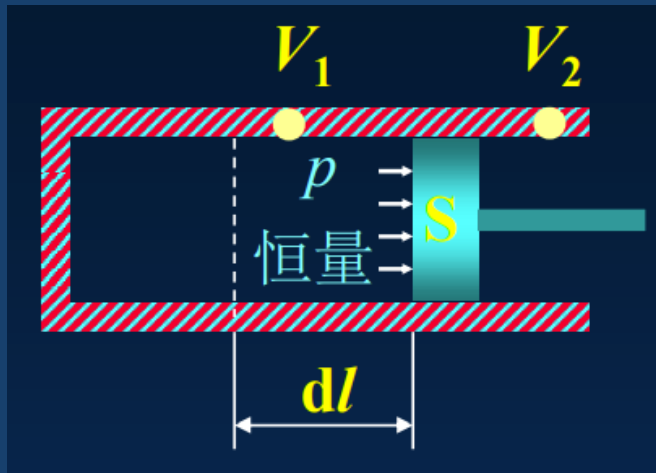
过程曲线的特征

动手：画出等容过程曲线



一定质量气体的
等容线 $p - T$ 图象，
其延长线经过坐标原点，
斜率反映体积大小

3、等压变化



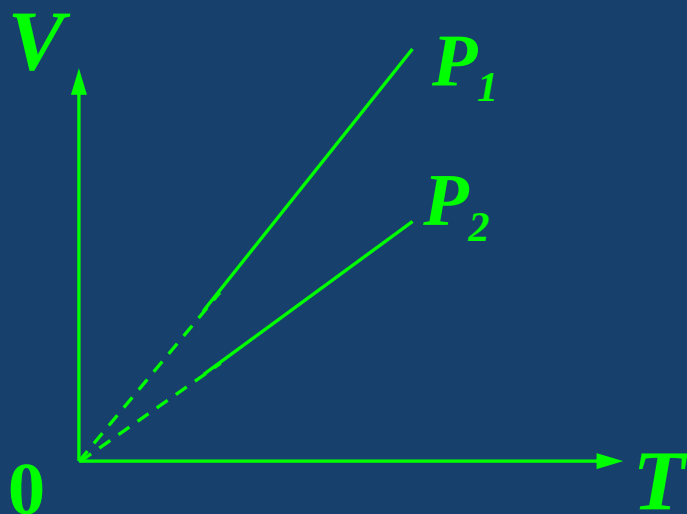
盖·吕萨克定律 (1802)

一定量的理想气体，在压强不变时，其体积与热力学温度成正比

$$P = \text{常量}, \quad V/T = C$$

V 与热力学温度 T 成正比，不与摄氏温度成正比

过程曲线的特征



一定质量气体的
等压线 $V - T$ 图象，
其延长线经过坐标原点，
斜率反映压强大小

二、理想气体状态方程

气体的状态方程

$$T = f(p, V)$$

“一定条件下”

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT$$

理想气体方程
19世纪中叶

普适气体常量

$$R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

说明

(1) **理想气体的宏观定义**：在任何条件下都严格遵守气体实验规律的气体。

★ **理想气体是理想模型。**

(2) “一定条件下” 指**压强不太高，温度不太低**的条件下。

★ 在温度不低于负几十摄氏度,压强不超过大气压的几倍时,很多气体都可当成理想气体来处理。

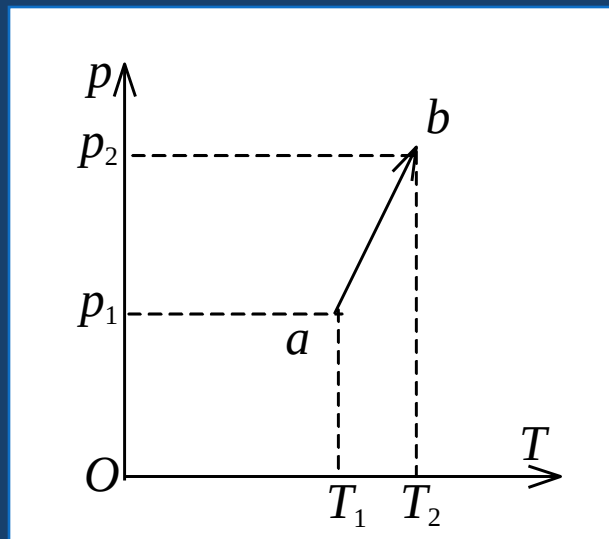
★ 在常温常压下,大多数实际气体,尤其是那些不易液化的气体都可以近似地看成理想气体.

温度越高、压强越低, 精确度越高。

(3) 混合理想气体的状态方程为 $pV = \frac{m}{M}RT$

其中 $p = \sum_i p_i$ $m = \sum_i m_i$ $M = \frac{m}{\sum_i \nu_i}$

一定量的理想气体，其状态改变在 $p-T$ 图上沿着一条直线从平衡态 a 到平衡态 b (如图)



- A 这是一个膨胀过程
- B 这是一个等体过程
- C 这是一个压缩过程
- D 数据不足，不能判断这是那种过程

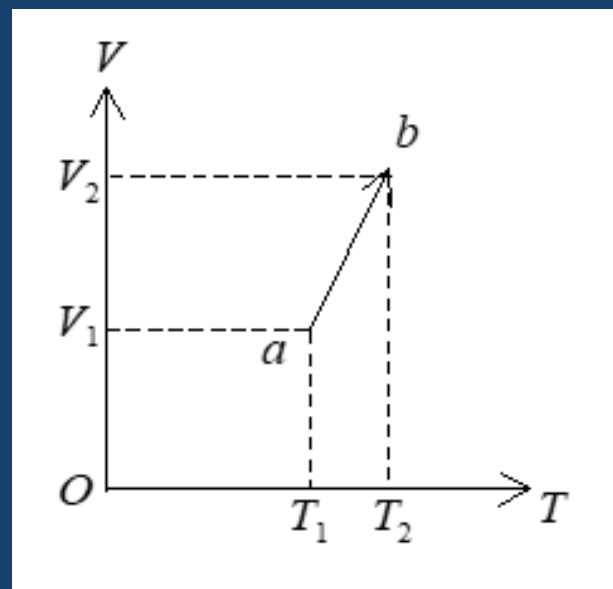
一定量的理想气体，其状态改变在 $V-T$ 图上沿着一条直线从平衡态 a 到平衡态 b (如图)

A 这是一个等压过程

B 这是一个升压过程

C 这是一个降压过程

D 数据不足，不能判断这是那种过程



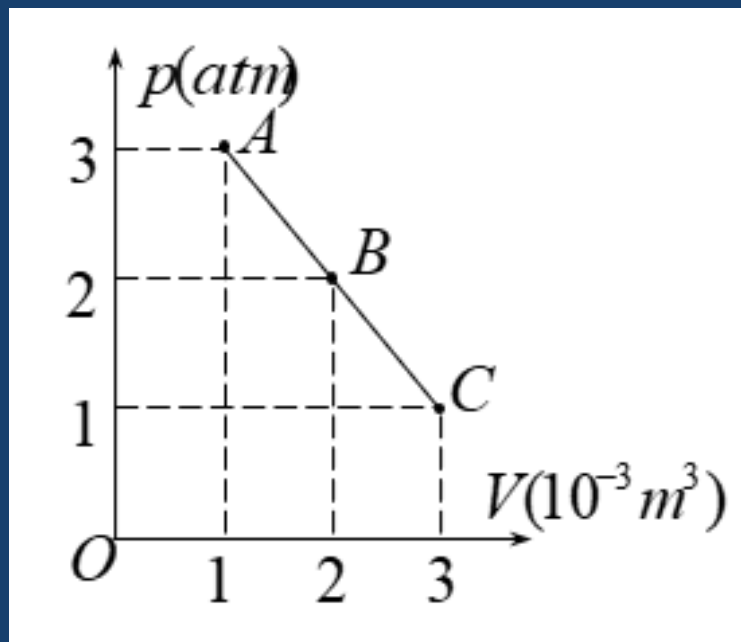
如图所示为一定量的理想气体的 p — V 图，由图可得出结论

A ABC 是等温过程

B $T_A > T_C$

C $T_A < T_C$

D $T_A = T_C$



一柴油的汽缸容积为 $0.827 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 。压缩前汽缸的空气温度为 320 K ，压强为 $8.4 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，当活塞急速推进时可将空气压缩到原体积的 $1/17$ ，使压强增大到 $4.2 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。

求 这时空气的温度？

解 理想气体状态方程 $pV = \nu RT$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \longrightarrow \quad T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} T_1$$

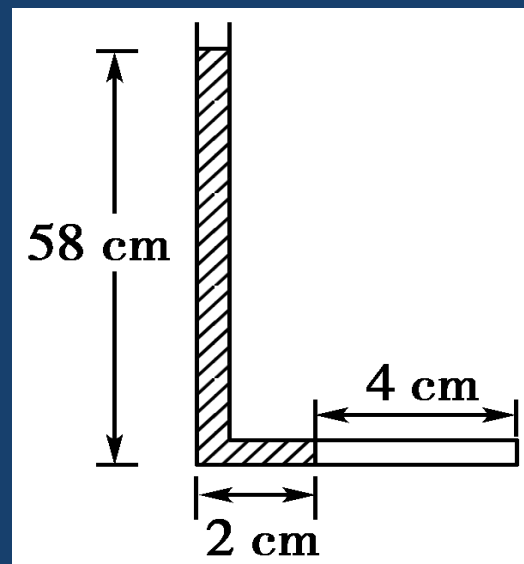
$$T_2 = \frac{4.2 \times 10^6}{8.4 \times 10^4} \times \frac{1}{17} \times 320 = 941 \text{ K}$$

$T_2 >$ 柴油的燃点

若在这时将柴油喷入汽缸，柴油将立即燃烧，瞬间释放能量，推动活塞做功，这就是柴油机点火的原理。

内径均匀的L形直角细玻璃管，一端封闭，一端开口竖直向上，用水银柱将一定质量空气封存在封闭端内，空气柱长 4 cm，水银柱高 58 cm，进入封闭端长 2 cm，如图所示，温度是 87 °C，大气压强为 75 cm Hg，

求：(1)在图示位置空气柱的压强 p_1 。
(2)在图示位置，要使空气柱的长度变为3 cm，温度必须降低到多少度？



$$(1) p_1 = p_0 + p_h = (75 + 58) \text{ cmHg} = 133 \text{ cmHg}.$$

(2) 对空气柱：初态： $p_1 = 133 \text{ cmHg}$, $V_1 = 4S$, S 为横截面

$$T_1 = (273 + 87) \text{ K} = 360 \text{ K}.$$

$$\text{末态： } p_2 = p_0 + p_h'$$

$$= (75 + 57) \text{ cmHg} = 132 \text{ cmHg},$$

$$V_2 = 3S.$$

$$\text{由 } \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ 代入数值, 解得: } T_2 = 268 \text{ K} = -5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

§6 功 热量 内能 热力学第一定律

热力学系统与外界传递能量的两种方式 $\left\{ \begin{array}{l} \text{做功} \\ \text{热传递} \end{array} \right.$

热传递的三种方式：热传导、热对流、热辐射

一. 功 热量 内能 大家有什么问题吗？

1. 概念 过程量（不仅与始末两态有关，而且与经历的中间过程有关）

功 (A) 系统状态变化过程中能量传递和转化的量度；
是过程量

热量 (Q) 传热过程中所传递能量多少的量度； 是过程量

内能 (E) 是系统分子的无规则运动能量的总和； 是状态量
系统内部所有粒子间的各种能量的总和；

ΔE 、 Q 、 A 都是代数量，其正负号意义如下

A : 系统对外界作功 $A > 0$

外界对系统作功 $A < 0$

Q : 系统从外界吸热 $Q > 0$

系统对外界放热 $Q < 0$

ΔE : 系统内能增加为正，内能减少为负

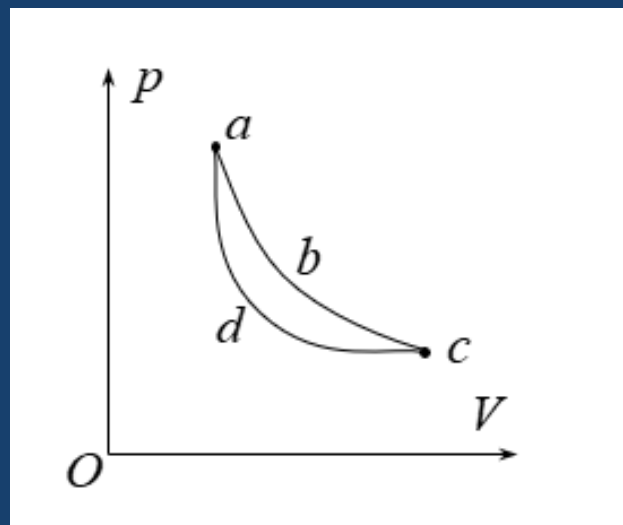
在 p - V 图上有两条曲线 abc 和 adc ，由此可以得出以下结论

A 其中一条是绝热线，另一条是等温线

B 两个过程吸收的热量相同

C 两个过程中系统对外作的功相等

D 两个过程中系统的内能变化相同



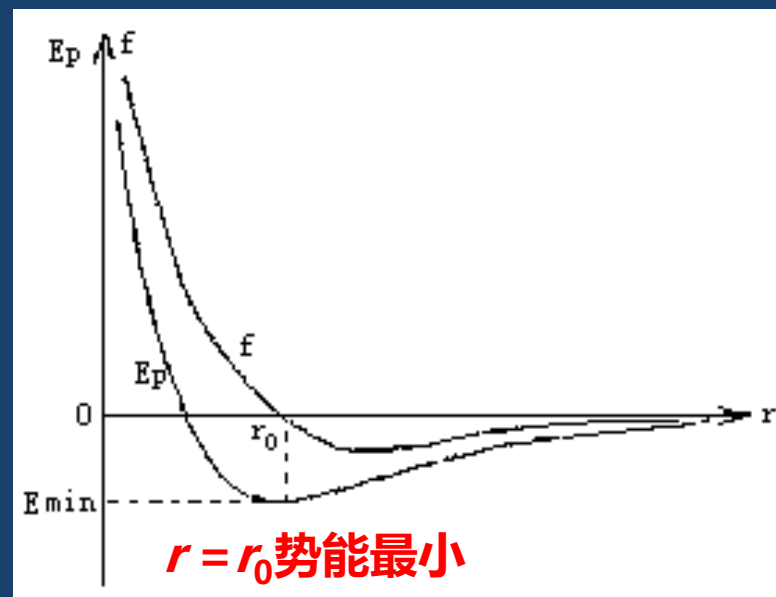
内能：分子热运动动能与分子间势能之和

*分子的势能

分子间相互作用



分子势能



分子势能：分子间所具有的由它们的相对位置所决定的能量

(1) 如果 $r > r_0$ ，分子势能随 r 增大而增大，与弹簧拉伸相似

如果 $r < r_0$ ，分子势能随 r 减小而增大，与弹簧压缩相似；

(2) 一个物体的体积改变，分子势能也随改变，因此分子势能和它的体积有关。

• 分子间因有相互作用力而具有的、由它们相对位置决定的能量

分子势能

$r < r_0$ 时, $r \downarrow \rightarrow E_p \uparrow$

$r > r_0$ 时, $r \uparrow \rightarrow E_p \uparrow$

$r = r_0$ 时, E_p 最低

• E_p 随物态的变化而变化

分子动能

• 分子因热运动而具有的能量

• 同温度下各个分子的分子动能 E_K 不同

• 分子动能的平均值与分子结构和温度有关



物体内能

• 物体内所有分子的 E_K 和 E_p 总和

• 物体的内能与温度和体积有关, 还和物体所含的分子数有关

2. 功与内能的关系

绝热壁构成的容器中充满某种气体，状态1变化到状态2

绝热过程 $Q = 0$

系统内能的变化仅外界对系统做功

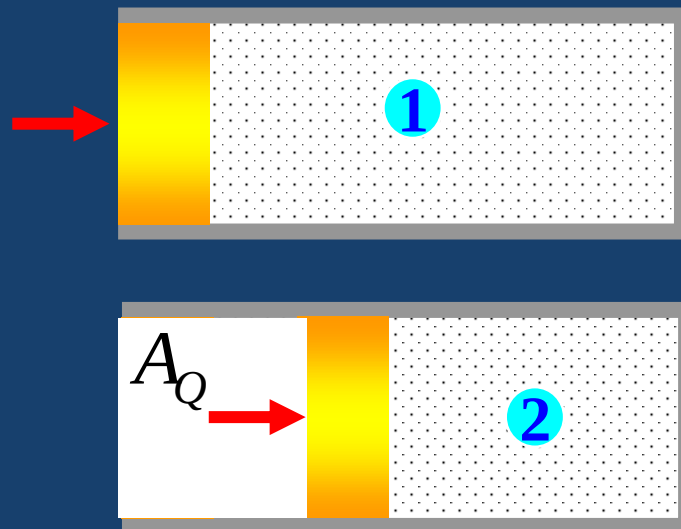
$$(E_2 - E_1) = A_Q$$

★ 说明

(1) 初、末态给定， A_Q 都相同，
与过程无关；

(2) 内能的改变量可以用绝热过程中外界对系统所作的功来量度；

(3) 上式给出过程量与状态量的关系



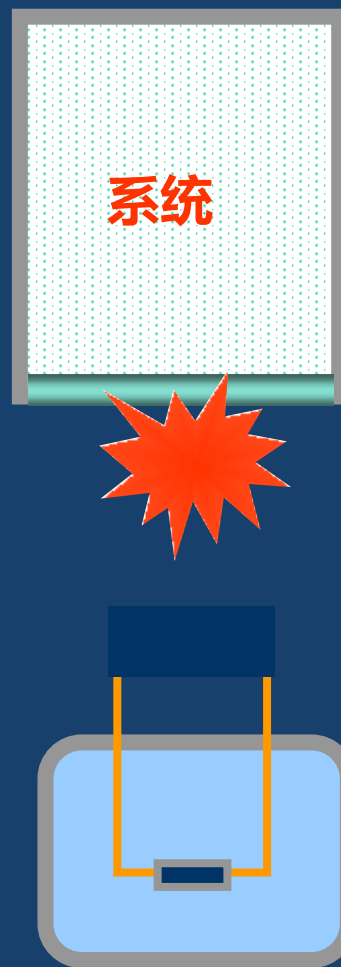
3. 热量与内能的关系

外界与系统之间不作功，仅传递热量

$$(E_2 - E_1) = Q_V$$

★ 说明

- (1) 初、末态给定， Q_V 都相同，与过程无关
- (2) 此式给出过程量与状态量的关系
- (3) 作功和传热效果一样，本质不同



注意：

(1) 做功和传热对改变系统的内能效果是一样的。

(要提高一杯水的温度，可加热，也可搅拌)

(2) 国际单位制中，功、热、内能单位都是焦耳 (J)。

(1卡 = 4.18 焦耳)

(3) 功和热量都是系统内能变化的量度,但功和热本身绝不是内能。

内能：态函数,系统每个状态都对应着一定内能的数值。

功、热量：只有在状态变化过程中才有意义，状态不变，无功、热可言。

(4) 做功、传热在改变内能效果上一样，但有本质区别：

做功：通过物体宏观位移来完成，是系统外物体的有规则运动与系统内分子无规则运动之间的转换。

传热：通过分子间的相互作用来完成，是系统外、内分子无规则运动之间的转换。