

NO. 10 - 2

第十三章 热力学基础(2)

Fundamentals of Thermodynamics

2016 - 11 - 22

判断对错:

- (1) 系统温度变化时, 一定有热传递;
- (2) 系统温度不变时, 一定无热传递。
- (3) 系统与外界有温度差时, 一定有热传递
- (4) 系统与外界无温度差时, 一定无热传递



内容纲要

一、热力学第一定律在理想气体等值过程及绝热过程中的应用 (内能、体积功、热量)

二、循环过程

- (正循环——热机)
- (逆循环——致冷机)

1. 等体过程 (isochoric process)

(1) 过程方程: $\frac{p}{T} = \text{常量}$

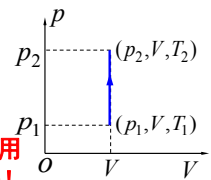
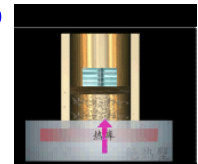
(2) 热力学第一定律分析:

$$W = 0$$

$$Q_V = \frac{m}{M} C_{V,m} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta E = \frac{m}{M} C_{V,m} (T_2 - T_1)$$

因内能是状态量, 故该公式适用于 $T_1 \sim T_2$ 间的任何热力学过程!



2. 等压过程 (isotonic process)

(1) 过程方程: $\frac{V}{T} = \text{常量}$

(2) 热力学第一定律分析:

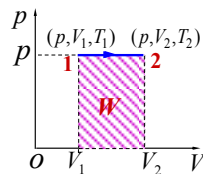
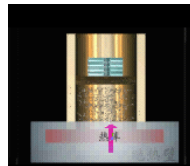
$$W = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R (T_2 - T_1)$$

$$Q_p = \frac{m}{M} C_{p,m} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta E = \frac{m}{M} C_{v,m} (T_2 - T_1)$$

$$C_{p,m} = C_{v,m} + R$$

$$\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{v,m}}$$



3. 等温过程 (isothermal process)

(1) 过程方程: $pV = \text{常量}$

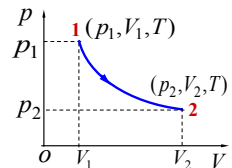
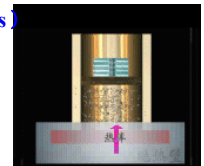
(2) 热力学第一定律分析:

$$\Delta E = 0$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

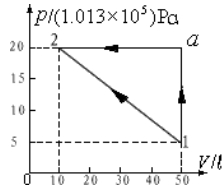
$$Q = W$$



例1: 20mol氧气由状态1变化到状态2, 分别经历如图所示的过程。 试计算:

- (1) 系统沿1→2直线过程中的 W, Q 及 ΔE ;
(2) 系统沿1→a→2折线过程中的 W, Q 及 ΔE 。
(氧气的等体摩尔热容 $C_{v,m} = 20.98 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

(1) $W_{12} = -5.065 \times 10^4 \text{ J}$
 $\Delta E_{12} = -1.279 \times 10^4 \text{ J}$
 $Q_{12} = -6.344 \times 10^4 \text{ J}$
(2) $W_{1a2} = -8.104 \times 10^4 \text{ J}$
 $\Delta E_{1a2} = -1.279 \times 10^4 \text{ J}$
 $Q_{1a2} = -9.383 \times 10^4 \text{ J}$



三、用热力学第一定律分析几个典型热力学过程

4. 绝热过程 (adiabatic process) $Q=0$

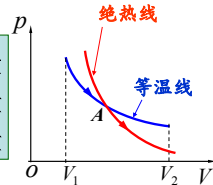
I 准静态绝热过程

- (1) 过程方程: $V^{\gamma-1}T = \text{常量}$
 $pV^{\gamma} = \text{常量}$
 $p^{\frac{1}{\gamma-1}}T^{-\gamma} = \text{常量}$
(2) 热力学第

$$\Delta E = \frac{m}{M} C_{v,m} (T_2 - T_1)$$

$$W = \frac{m}{M} C_{v,m} (T_1 - T_2) = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} p_1 V_1^{\gamma} \frac{1}{V^{\gamma}} dV = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1 - \gamma}$$

- 绝热膨胀, 温度降低;
- 绝热压缩, 温度升高;



三、用热力学第一定律分析几个典型热力学过程

4. 绝热过程 (adiabatic process) $Q=0$

(I) 准静态绝热过程

系统被绝热材料包裹, 过程缓慢;

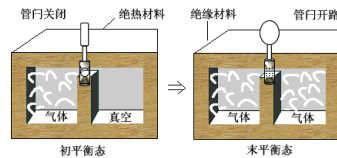
(II) 非静态绝热过程

热力学过程非常迅速, 系统来不及与外界进行显著热量交换 (如给轮胎充气、放气; 内燃机内燃气的爆炸过程)

三、用热力学第一定律分析几个典型热力学过程

II 非静态绝热过程

(理想气体绝热自由膨胀过程)



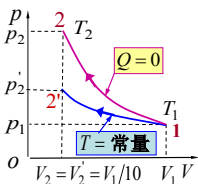
- 无过程方程, 但仍然遵循热力学第一定律。

$Q=0$ $W=0$ $\Delta E=0$ $T_2=T_1$

- 若 $Q=0$, $W>0$ $\Delta E<0$ $T_2<T_1$ 节流阀
- $W<0$ $\Delta E>0$ $T_2>T_1$ 压缩机

例2 设有 5 mol 的氢气, 最初温度 20°C , 压强为 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, 求下列过程中把氢气压缩为原体积的 1/10 需作的功: (1) 等温过程 (2) 绝热过程.

(3) 经这两过程后, 气体的压强各为多少? $\gamma = 1.41$



- (1) $W_{12} = -2.80 \times 10^4 \text{ J}$
(2) $W_{12} = -4.70 \times 10^4 \text{ J}$
(3) $p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right) = 1.01 \times 10^6 \text{ Pa}$
(4) $p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} = 2.55 \times 10^6 \text{ Pa}$

四、循环过程 (cycle process)

热学理论的建立和发展与热机的研究密切相关!

热机及其发展: 热机是能够不断把从外界吸收的热量转化为机械能的机器。

- 1698年英国萨维利 (Savery) 和1705年纽克曼 (Newcomen) 先后发明了蒸汽机;

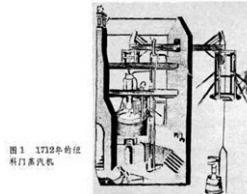


图 1 1733年的纽克曼蒸汽机

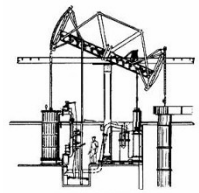


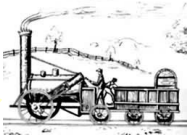
图 2 瓦特的早期蒸汽机

- 1765年瓦特进行了重大改进, 大大提高了效率; **蒸汽机**

四、循环过程 (cycle process)

热机及其发展:

- 1769年, 法国人N.J.居诺发明蒸汽汽车;
- 到1804年, 英国的棉纺织业已普遍采用蒸汽机作为生产动力。
- 1807年, 美国R.富尔顿第一次成功地把蒸汽机装在船上, 创造出蒸汽轮船。1811年英国也制成蒸汽轮船。
- 1829年英国人G.斯蒂芬森试制成功的“火箭”号蒸汽机车, 速度为58公里/小时



四、循环过程 (cycle process)

热机及其发展:

- 1860年, 内燃机问世 (法国);
- 1882年, 汽轮机问世 (瑞典);

瓦特从开始改良蒸汽机到最后研制成复动式蒸汽机, 前后花了30多年, 仅在解决活塞与汽缸之间的漏气问题上, 瓦特就反复试验了很长时间。

“蒸汽机的历史意义, 无论怎样夸大也不为过。”

——《全球通史》作者L.S.斯塔夫里阿诺斯

问题:

1. 热机的效率能否达到100%吗?
2. 如何最大限度地提高热机的效率?

今日作业

13 - 11, 14, 15, 19