

班级 _____ 学号 _____ 姓名 _____ 成绩 _____

*****本章教学要求*****

- 1、理解准静态过程、体积功、热量、内能等概念，理解功、热量和内能的微观意义，并熟练掌握其计算。
- 2、理解热力学第一定律的意义，并能用它对理想气体各过程进行分析和计算。
- 3、理解热容量概念，并能用它计算理想气体各过程的热容及热量传递。
- 4、理解理想气体绝热过程的状态变化特征和能量传递关系。
- 5、理解循环过程概念及正循环、逆循环的能量转换特征；并能计算热机效率和致冷系数。
- 6、理解卡诺循环的特征，掌握卡诺正循环效率及卡诺逆循环致冷系数的计算。

一、填空题

1、准静态过程是指 整个过程的每一中间状态都可以看做是平衡态，或整个过程的每一状态都可用一组确定的状态参量来描述。在 P-V 相图上，准静态过程表示为一条线，平衡态表示为一个点。

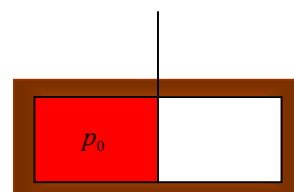
2、准静态过程中系统体积变化做功称为体积功，体积功的表达式为： $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$ ，式中功 A 是 过程量（填：过程量或状态量）。

3、系统与外界或两个物体之间由于 温度 不同而交换的 能量 称为热量，热量是 过程量（选填：过程量或状态量）。系统温度每变化 1 K 时，与外界交换的热量则称为热容，热容是 过程量（填：过程量或状态量）。

4、热力学中，系统的内能 E 是指 所有分子热运动的动能、分子振动的势能和分子间相互作用的势能的总和，内能 E 是 状态量（填：过程量或状态量）；改变内能的方式有两种，分别是 做功 和 热传递。

5、热力学第一定律的实质是 涉及机械运动和热运动范围内的能量转换和守恒定律。其数学表达式为 $Q = \Delta E + A$ ，式中关于做功 A 和热量 Q 的正负约定是：系统对外做功， A 取 正，外界对系统做功 A 取 负；系统吸热， Q 取 正，系统放热， Q 取 负。

6、如图所示，一绝热密闭的容器，用隔板分成相等的两部分，左边盛有一定量的理想气体，压强为 p_0 ，右边为真空。今将隔板抽去，气体自由膨胀，当气体达到平衡时，气体的压强是 $p_0/2$ 。整个过程做功为 零，内能变化为 零，吸热为 零。其过程 不能 用“ $PV^\gamma = \text{常量}$ ”来表示（选填：能或不能）。



填空题 6 图

7、正循环过程，系统从 高温热源 吸热 Q_1 ，对 外界 做功 A ，同时向 低温热源 放热 Q_2 ，

其效率可表示为 $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 。

8、逆循环过程中，系统通过 外界 做功 A ，从 低温热源 吸热 Q_2 ，同时向 高温热源 放热

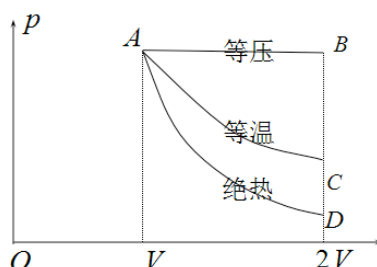
Q_1 ，其致冷系数可表示为 $w = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$ 。

9、系统只和 两个恒温热源交换能量的准静态无摩擦 循环过程，称为卡诺循环过程。卡诺

正循环的效率为 $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ ；卡诺逆循环的致冷系数为 $w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ 。

10、一定量的理想气体，从同一状态开始分别经历以下三个过程体积膨胀到原来的 2 倍：(1) 等压过程；(2) 等温过程；(3) 绝热过程。其中，等压 过程气体对外做功最多；等压 过程气体内能增加最多；等压 过程气体吸收的热量最多。

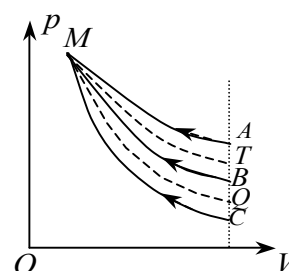
解：三种过程体积膨胀到原来 2 倍，其中等压过程系统的温度要增加，而绝热过程系统的温度要降低。三种过程的 P-V 相图如下所示，可以看出就做功而言，等压过程中对外做功最多；等压过程中，其温度将增大为原来 2 倍，而绝热过程是一个降温过程，所以等压过程内能增加最多；根据热力学第一定律，等压过程吸收的热量也将最多。



11、图示为一理想气体几种状态变化过程的 $p-V$ 图，其中 MT 为等温线， MQ 为绝热线，在 AM 、 BM 、 CM 三种准静态过程中：

(1) 温度降低的是 AM 过程；

(2) 气体放热的是 AM、BM 过程。



填空题 11 图

解：根据物态方程， $pV = \frac{m}{M}RT$ ，可知，A、B、C、M、Q 的

温度关系为 $T_A > T_M > T_B > T_Q > T_C$ ，所以降温的过程只有 AM；BM、QM、CM 都是升温

过程，并且 $\Delta E_{CM} > \Delta E_{QM} > \Delta E_{BM} > 0 > \Delta E_{AM}$ 。由 P-V 图还可知道 AM、BM、QM、CM

的体积功关系为： $A_{AM} < A_{BM} < A_{QM} < A_{CM} < 0$ 。

根据热力学第一定律，可得： $Q_{AM} = \Delta E_{AM} + A_{AM} < 0$ ；

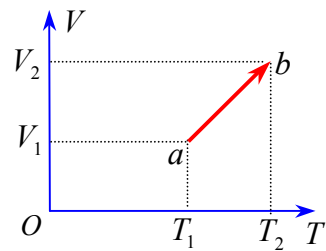
$$Q_{BM} = \Delta E_{BM} + A_{BM} < \Delta E_{QM} + A_{QM} = 0; \quad Q_{CM} = \Delta E_{CM} + A_{CM} > \Delta E_{QM} + A_{QM} = 0$$

综上所述 AM 和 BM 是放热过程，CM 是一吸热过程。

12、一定量的理想气体，其状态在 $V-T$ 图上沿着一条直线从平衡态 a 改变到平衡态 b (如图)。这是一个 吸热降压 过程。

(选填：吸热、放热、升压或降压)

解：由气体状态方程： $p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_1$ ，因此 $p_2 V_2 = \frac{m}{M} R T_2$



填空题 12 图

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2/V_2}{T_1/V_1} = \frac{V_1/T_1}{V_2/T_2} < 1, \text{ 因而从 } a \text{ 到 } b \text{ 是一降压过程。此外从 } a$$

到 b ，气体温度升高（内能增加），体积增大（对外做正功），一定是一吸热过程。

13、压强、体积和温度都相同的氢气和氦气（均视为刚性分子的理想气体），它们的质量之比为 $m_1 : m_2 = \underline{1:2}$ ，它们的内能之比为 $E_1 : E_2 = \underline{5:3}$ ，如果它们分别在等压过程中吸收了相同的热量，则它们对外做功之比为 $A_1 : A_2 = \underline{5:7}$ 。

(各量下角标 1 表示氢气，2 表示氦气)

解：由气体状态方程： $pV = \frac{m_1}{2} RT$ 可知： $\frac{m_1}{2} = \frac{m_2}{4}$ ， $\frac{m_1}{m_2} = 1/2$ ；
 $pV = \frac{m_2}{4} RT$

氢气是双原子分子，其自由度为 5，而氦气是单原子分子，其自由度为 3，因此氢气与氦气

的内能分别为： $E_1 = \frac{m_1}{2} \frac{5}{2} RT$ ，所以 $\frac{E_1}{E_2} = 5/3$ ；
 $E_2 = \frac{m_2}{4} \frac{3}{2} RT$ ；

氢气与氦气的等压热容分别为： $C_{p,H_2} = \frac{7}{2} R$ ，当它们吸收相同的热量，意味着它们的温度变
 $C_{p,He} = \frac{5}{2} R$

化之比为: $\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{5}{7}$, 则等压过程中两种气体做功之比为: $\frac{A_1}{A_2} = \frac{\frac{m_1}{2} R \Delta T_1}{\frac{m_2}{4} R \Delta T_2} = \frac{5}{7}$

14、一气缸内储有 10 mol 的单原子分子理想气体, 在压缩过程中, 外力做功 209 J, 气体温度升高 1 K, 则气体内能的增量 ΔE 为 125 J, 吸收的热量 Q 为 -84 J。

解: 单原子分子: $i = 3, C_V = \frac{3}{2} R = 12.5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

内能增量为: $\Delta E = \frac{m}{M} C_V \Delta T = 10 \times 12.5 \times 1 = 125 (\text{J})$

吸收的热量为: $Q = \Delta E + A = 125 - 209 = -84 (\text{J})$

15、16g 氧气在 400 K 温度下等温压缩, 气体放出的热量为 1152 J, 则被压缩后的气体的体积为原体积的 0.5 倍, 而压强为原来压强的 2 倍。

解: 对于等温压缩: $Q = A = \frac{m}{M} R T \ln \frac{V_2}{V_1}$

$$\therefore -1152 = \frac{16}{32} \times 8.31 \times 400 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \text{解得: } \frac{V_2}{V_1} = e^{-0.69} = 0.5$$

由等温过程的过程方程得: $\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} = e^{0.69} = 2$

二、简答题

1、若系统体积不变是否对外不做功? 若系统体积改变是否一定对外做功? 对于非静态过程能否用体积功的表达式求解做功? 如果不能, 又该用什么方法去求解?

答: 若系统体积不变, 则对外没有体积功, 但还可以做机械功, 比如摩擦时克服摩擦力做功, 系统体积不变。系统体积改变也不一定对外做功, 比如系统向真空自由膨胀过程, 体积增大,

但系统未做功。对于非静态过程不能用体积表达式 $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$ 来直接求解做功, 但可以

根据热力学第一定律间接求: $A = Q - \Delta E$ 。

2、理想气体的下列过程, 哪些过程是可能发生的, 哪些过程是不可能发生? 为什么?

- (1) 内能减小的等容加热过程;
- (2) 吸收热量的等温压缩过程;
- (3) 吸收热量的等压压缩过程;
- (4) 内能增加的绝热压缩过程。

答：（1）不可能。等容加热过程中，系统吸热且不对外做功，根据热力学第一定律其内能一定增加。

（2）不可能。等温压缩过程中，系统内能不变，对外做负功，根据热力学第一定律系统一定是经历放热过程。

（3）不可能。等压压缩过程中，系统温度降低，内能减少，同时对外做负功，根据热力学第一定律系统一定是经历放热过程。

（4）可能。绝热压缩过程，吸热为零，外界对系统做功，系统内能一定增加。

3、在一个房间里，有一台电冰箱正工作着。如果打冰箱门，会不会使房间降温？为什么？

答：不会。根据电冰箱的工作原理，冰箱在吸热的同时还会放热，并且 $|Q_{\text{放}}| = A + Q_{\text{吸}}$ ，也就是 $Q_{\text{放}} > |Q_{\text{吸}}|$ 。由于放出的热也在房间里，所以最终不会使房间降温，反而使得房间升温。

4、自行车打气时气筒变热，有人说其原因主要是活塞与筒壁摩擦的结果。这种说法是否正确？为什么？

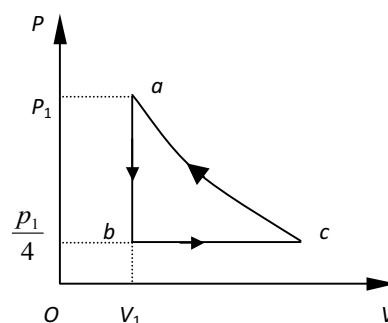
答：筒壁会热起来，主要原因是因为打气筒的活塞压缩空气做功，空气的内能增加，气体内能传给筒壁，使筒壁温度升高。同时打气过程也是克服活塞和筒壁间摩擦力做功的过程，也能使筒壁的内能增加，温度升高，但这是次要原因。

三、计算题

1、如图所示，一定量的理想气体，从初状态 $a(p_1, V_1)$

开始，经过一个等容过程达到压强为 $\frac{p_1}{4}$ 的 b 态，再经

过一个等压过程达到状态 c 态，最后经过等温过程而完成一个循环。求该循环过程中系统对外作的功 A 和所吸收的净热量 Q 。



计算题 1 图

解：设气体的自由度为 i ， $C_V = \frac{i}{2}R$

由等温过程的过程方程得： $P_1 V_1 = \frac{P_1}{4} \cdot V_c \quad \therefore V_c = 4V_1$

a—b 等容过程： $Q_{ab} = \frac{m}{M} C_V (T_b - T_a) = \frac{i}{2} \left(\frac{1}{4} P_1 V_1 - P_1 V_1 \right) = -\frac{3}{8} i P_1 V_1$

$$A_{ab} = 0$$

b—c 等压过程: $Q_{bc} = \frac{m}{M} C_P (T_c - T_b) = \frac{i+2}{2} (P_c V_c - P_b V_b) = \frac{3}{8} (i+2) P_1 V_1$

$$A_{bc} = \frac{1}{4} P_1 (V_c - V_b) = \frac{3}{4} P_1 V_1$$

c—a 等温过程: $Q_{ca} = A_{ca} = \frac{m}{M} R T_a \ln \frac{V_a}{V_c} = P_a V_a \ln \frac{1}{4} = -P_1 V_1 \ln 4$

该循环过程中:

$$A_{\text{总}} = A_{ab} + A_{bc} + A_{ca} = (0.75 - \ln 4) P_1 V_1 = -0.64 P_1 V_1$$

$$Q_{\text{总}} = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca} = (0.75 - \ln 4) P_1 V_1 = -0.64 P_1 V_1$$

2、 3.2×10^{-2} kg 氧气作 ABCD 循环过程。A→B 和 C→D 都为等温过程，设 $T_1 = 300$ K， $T_2 = 200$ K， $V_2 = 2V_1$ 。求循环效率。

解：氧气的自由度为 $i=5$

A—B: 等温过程: $Q_{AB} = \frac{m}{M} R T_1 \ln \frac{V_B}{V_A} > 0$

B—C: 等容过程:

$$Q_{AB} = \frac{m}{M} C_V \Delta T = \frac{m}{M} \frac{5R}{2} (T_2 - T_1) < 0$$

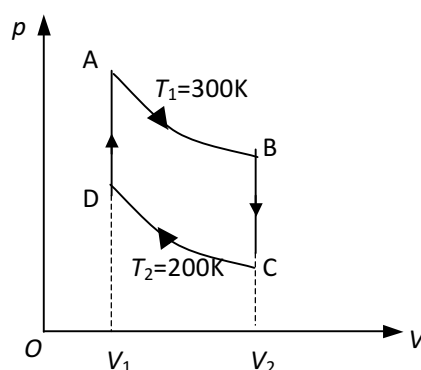
C—D: 等温过程: $Q_{CD} = \frac{m}{M} R T_2 \ln \frac{V_D}{V_C} < 0$

D—A: 等容过程: $Q_{DA} = \frac{m}{M} C_V \Delta T = \frac{m}{M} \frac{5R}{2} (T_1 - T_2) > 0$

$$Q_{\text{吸}} = \frac{m}{M} R T_1 \ln \frac{V_B}{V_A} + \frac{m}{M} \frac{5R}{2} (T_1 - T_2) = \frac{m}{M} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} + \frac{m}{M} \frac{5R}{2} (T_1 - T_2)$$

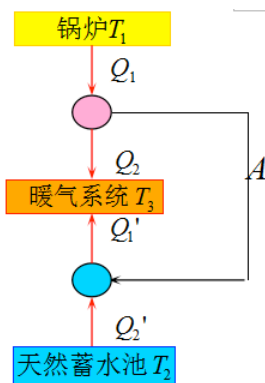
$$Q_{\text{放}} = \frac{m}{M} \frac{5R}{2} (T_2 - T_1) + \frac{m}{M} R T_2 \ln \frac{V_D}{V_C} = \frac{m}{M} \frac{5R}{2} (T_2 - T_1) + \frac{m}{M} R T_2 \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{\text{放}}|}{Q_{\text{吸}}} = \frac{\ln 2 (T_1 - T_2)}{T_1 \ln 2 + \frac{5}{2} (T_1 - T_2)} = 15\%$$



计算题 2 图

*3、设一动力暖气装置由一台卡诺热机和一台卡诺致冷机组合而成。热机靠燃烧燃料时释放的热量工作并向暖气系统中的水放热，同时，热机带动致冷机。致冷机自天然蓄水池中吸热，也向暖气系统放热。假定热机锅炉的温度为 $t_1=210^{\circ}\text{C}$ ，天然蓄水池中水的温度为 $t_2=15^{\circ}\text{C}$ ，暖气系统的温度为 $t_3=60^{\circ}\text{C}$ ，热机从燃烧燃料时获得热量 $2.1\times 10^7\text{J}$ ，试计算暖气系统所得热量。



计算题 3 图

解：由卡诺热机效率： $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_3}{T_1}$

可得热机传给暖气系统热量为 $Q_2 = \frac{T_3}{T_1} Q_1$ (1)

卡诺热机向致冷机输出的功为： $A = \eta Q_1 = (1 - \frac{T_3}{T_1}) Q_1$

卡诺致冷机从天然蓄水池中吸收热量为：

$$Q_2' = wA = \frac{T_2}{T_3 - T_2} \cdot (1 - \frac{T_3}{T_1}) Q_1,$$

于是卡诺致冷机传给暖气的热量为：

$$Q_1' = Q_2' + A = wA + \eta Q_1 = \frac{T_3 Q_1}{T_3 - T_2} (1 - \frac{T_3}{T_1}) \quad (2)$$

从(1)、(2)两式，再考虑到 $Q_1 = 2.1 \times 10^7 (\text{J})$ ，可得暖气系统共获得热量

$$Q = Q_2 + Q_1' = \frac{(T_1 - T_2) T_3}{(T_3 - T_2) T_1} Q_1 = \frac{(210 - 15) \times (60 + 273)}{(60 - 15) \times (210 + 273)} \times 2.1 \times 10^7 = 6.27 \times 10^7 (\text{J})$$