

工程热力学（机械 2010 级）试题-答案

2012 -- 2013 学年 上 学期

时间 120 分钟

工程热力学 课程 32 学时 2 学分 考试形式: 开卷

专业年级: 机械 10 级 总分 100 分, 占总评成绩 70 %

注: 此页不作答题纸, 请将答案写在答题纸上

一、 填空题 (每空 2 分, 总计 10 分)

- 1、 热力学第一定律的实质是 (能量守恒与转换定律在热现象中的应用。它确定了热力过程中热力系与外界进行能量交换时, 各种形态能量数量上的守恒关系)。
- 2、 实现可逆过程的条件是 (准静态过程+无耗散)。
- 3、 系统与外界间传递热量的动力是 (温度差)。
- 4、 常见的比热容计算方法有 (真实比热容法、平均比热容表法、平均比热容直线关系式、定值比热容、比热容算术平均值)。
- 5、 焓的物理意义是 (工质的热学能与推动功之和)。

二、 简答题 (30 分)

- 1、(5 分) 一个门窗敞开的房间, 若室内空气的压力不变而温度升高了, 问室内空气的总热力学能怎样变化? 比热力学能又怎样变化? 为什么?

答: 室内空气的总热力学能不变, 比热力学能增加。

为什么的解释可以有多种, 其中之一为: 此定压变化过程中, 由 $\Delta u = \int_1^2 c_v dT$ 可知比热力学能是增加的。

另外:

根据理想气体状态方程, 有

$$pV = mRT \quad p dV + V dp = mR dT + RT dm = R(mdT + Tdm)$$

按题意有 $dV=0$ 及 $dp=0$, 因此有 $mdT + Tdm=0$

根据理想气体热力学能的性质, 有

$$dU = d(mu) = mdu + udm = m c_v dT + c_v T dm = c_v (mdT + Tdm) = 0$$

结论: 室内空气的比热力学能随温度升高而增大; 但室内空气总热力学能则保持不变, $U = mu$, 这是由于室内空气的质量随温度升高而减少的缘故。

- 2、(5 分) 什么是热力系统? 什么是闭口系? 什么是绝热系? 什么是开口系? 什么是孤

立系？

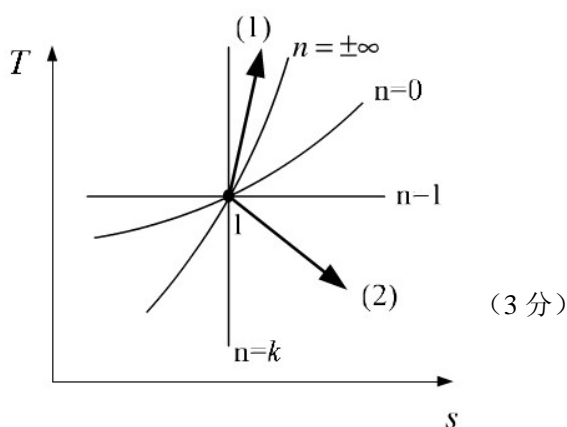
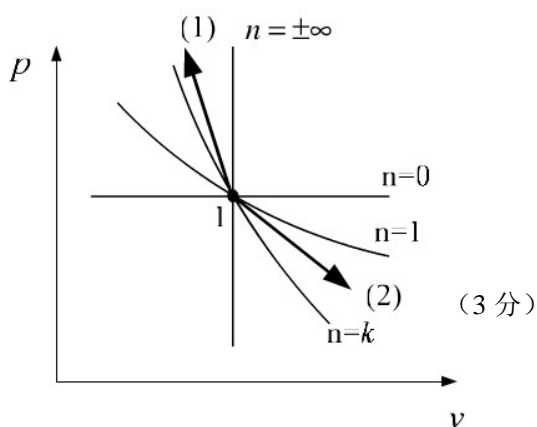
答：1、根据研究问题的需要，人为地选取一定范围内的物质作为热力学分析对象，称其为热力系统；2、热力系与外界无热量交换的系统称之为绝热系；3、热力系与外界无物质交换的系统称之为闭口系；4、热力系与外界有物质的交换的系统称之为开口系；5、热力系与外界既无能量也无物质的交换，称之为孤立系。

2、（10分）试在所给的参数坐标图上定性画出理想气体过点1的下述过程，分别指出该过程的过程指数 n 应当在什么数值范围内（图中请标明四个基本过程线）：

1) 压缩、升温、吸热的过程；

2) 膨胀、降温、吸热的过程。

答案：



答：(1) $n > k$ ； (2) $1 < n < k$ (2分+2分)

4、（10分）两个不同温度 (T_1 , T_2) 的恒温热源间工作的可逆热机，从高温热源 T_1 吸收热量 Q_1 同低温热源 T_2 放出热量 Q_2 ，证明：由高温热源、低温热源、热机和功源四个子系统构成的孤立系统熵增 $\Delta S_{iso} = 0$ 。假设功源的熵变 $\Delta S_w = 0$ 。

证明：四个子系统构成的孤立系统熵增为

$$\Delta S_{iso} = \Delta S_{T_1} + \Delta S_{T_2} + \Delta S_R + \Delta S_w \quad (2分)$$

对热机循环子系统： $\Delta S_R = 0$ (2分)

$$\Delta S_{iso} = \frac{-Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + 0 + 0 \quad (2分)$$

根据卡诺定理及推论：

$$\eta_t = \eta_{t,C} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (2分)$$

则： $\Delta S_{iso} = 0$ (2分)

三、计算题: (60 分)

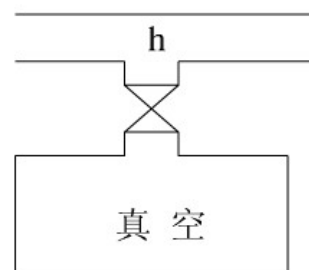
1、(5 分) 有一发动机工作于 727°C 的高温热源及 127°C 的低温热源之间, 吸热 1000KJ 而作功 700KJ 。问该发动机能否实现?

$$\text{解: } \eta_{tc} = 1 - \frac{400}{1000} = 0.6 \quad 2 \text{ 分}$$

$$\eta_t = \frac{W_0}{Q_1} = \frac{700}{1000} = 0.7 \quad 2 \text{ 分}$$

$$\eta_{tc} < \eta_t \quad \text{不可能实现} \quad 1 \text{ 分}$$

2、(10 分) 有一储气罐, 初始时其内部为真空, 如图所示, 现连接于输气管道进行充气。已知输气管内空气状态始终保持稳定, $p_1 = 3\text{MPa}$, $T_1 = 300\text{K}$, $h_1 = 301.8\text{kJ/kg}$ 。储气罐的容积为 0.5m^3 , 当储气罐内气体的压力为 2MPa 时, 停止充气。如忽略充气过程中气体的流动动能及重力位能的影响, 而且管路、储气罐、阀门都是绝热的, 若该气体与温度的变化关系为 $u = 0.72T \text{ kJ/kg}$, 求充气后储气罐内气体的温度。



解: 取储气罐为开口系统。

$$\frac{dm_0}{d\tau} = q_{m1} - q_{m2} \quad \int_0^\tau q_{m1} d\tau = m_0 \quad (2 \text{ 分})$$

$$\frac{dU_0}{d\tau} - q_{m1}h_1 = 0 \quad (2 \text{ 分})$$

$$U_{02} - U_{01} = U_0 = h_1 \int_0^\tau q_{m1} d\tau = m_0 h_1 \quad m_0 u_0 = m_0 h_1 \quad (2 \text{ 分})$$

$$u_0 = h_1 \quad 0.72T_0 = 301.8 \quad (2 \text{ 分})$$

$$T_0 = 419.17\text{K} \quad (2 \text{ 分})$$

3、(10 分) 某太阳能供暖的房屋用 $5 \times 8 \times 0.3\text{m}$ 的大块混凝土作为蓄热材料, 该混凝土的密度为 2300kg/m^3 , 比热容 $0.65\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。若在 18°C 的房子内的混凝土板在晚上从 23°C 冷却到 18°C , 求此过程混凝土板的散热量、熵流和熵产。

解：混凝土板的质量

$$m = \rho V = 2300 \text{ kg/m}^3 \times 5 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} = 27600 \text{ kg}$$

(2 分)

混凝土板的释热量

$$Q = mc\Delta T$$

(2 分)

$$= 27600 \text{ kg} \times 0.65 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \times (23^\circ \text{C} - 18^\circ \text{C}) = 89700 \text{ kJ}$$

混凝土的熵变

$$\Delta S_1 = m \int_1^2 \frac{\delta q}{T} = m \int_1^2 \frac{cdT}{T} = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$$

(3 分)

$$= 27600 \text{ kg} \times 0.65 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \times \ln \frac{(273+18)\text{K}}{(273+23)\text{K}} = -305.63 \text{ kJ/K}$$

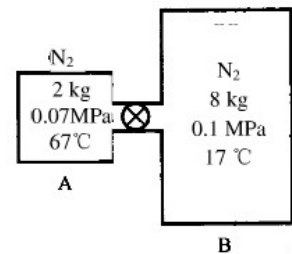
熵流

$$S_f = \frac{Q}{T_0} = \frac{-89700 \text{ kJ}}{(273+18)\text{K}} = -308.25 \text{ kJ/K}$$

(3 分)

$$S_g = \Delta S - S_f = -305.63 \text{ kJ/K} - (-308.25 \text{ kJ/K}) = 2.62 \text{ kJ/K}$$

4. (20 分) 在高温环境中有一容器，A 侧装有 2kg 氮气，压力为 0.07MPa，温度为 67℃；B 侧装有 8kg 氮气，压力为 0.1MPa，温度为 17℃；A 和 B 的壁面均为透热壁面，它们之间用管道和阀门相连，见附图。现打开阀门，氮气由 B 流向 A。氮气可视为理想气体，已知气体常数 $R_{g,N_2} = 297 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ ，过程中的平均定容比热容 $c_v = 0.742 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ ，若压力平衡时容器中气体温度为 $t_2 = 40^\circ \text{C}$ ，试求：



(1) 平衡时终压力 P_2 ；(2) 吸热量 Q ；(3) 气体的熵变。

解：(1)容器 A 和 B 的容积分别为

$$V_A = \frac{m_A R_g T_{A1}}{P_{A1}} = \frac{2 \times 297 \times 340}{0.07 \times 10^6} = 2.8851 \text{ m}^3$$
$$V_B = \frac{m_B R_g T_{B1}}{P_{B1}} = \frac{8 \times 297 \times 290}{0.1 \times 10^6} = 6.8904 \text{ m}^3 \quad (3 \text{ 分})$$

取 A+B 中的气体为系统 (CM),

$$m = m_A + m_B = 2 + 8 = 10 \text{ kg}$$
$$V = V_A + V_B = 2.8851 + 6.8904 = 9.7755 \text{ m}^3 \quad (3 \text{ 分})$$

终态时的气体压力

$$P_2 = \frac{m R_g T_2}{V} = \frac{10 \times 297 \times 313}{9.7755} = 0.0951 \text{ MPa} \quad (3 \text{ 分})$$

(2)按题给, 系统不对外做功, 有

$$Q = \Delta U = m c_v T_2 - c_v (m_A T_{A1} + m_B T_{B1})$$
$$= 10 \times 0.742 \times 313 - 0.742 \times (2 \times 340 + 8 \times 290) \quad (3 \text{ 分})$$
$$= 2322.46 - 2226 = 96.46 \text{ kJ}$$

(3)原在 A 中的氮气熵变 (3 分)

$$\Delta S_A = m_A (c_p \ln \frac{T_2}{T_A} - R_g \ln \frac{P_2}{P_A}) = 2 \times (1.039 \ln \frac{273 + 40}{273 + 67} - 0.297 \ln \frac{0.0951}{0.07}) = -0.3540 \text{ kJ/K}$$

原在 B 中的氮气熵变 (3 分)

$$\Delta S_B = m_B (c_p \ln \frac{T_2}{T_B} - R_g \ln \frac{P_2}{P_B}) = 2 \times (1.039 \ln \frac{273 + 40}{273 + 17} - 0.297 \ln \frac{0.0951}{0.1}) = 0.7538 \text{ kJ/K}$$

全部氮气的熵变

$$\Delta S = \Delta S_A + \Delta S_B = -0.3540 + 0.7538 = 0.3998 \text{ kJ/K} \quad (2 \text{ 分})$$

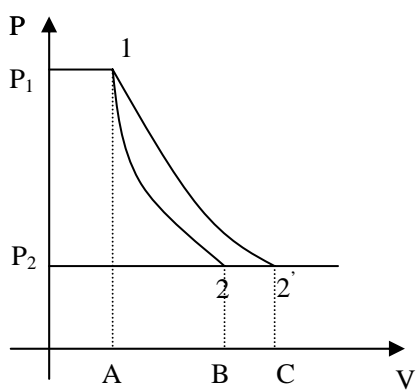
5、(15 分) 某理想气体工质进行稳定绝热流动, 由初态 P_1 、 T_1 膨胀到终态 P_2 , 若过程一为可逆, 另一为不可逆, 设 c_p 为定值。(1) 将两过程在 P - V 图和 T - S 图上表示出来; (2) 分析比较两过程所作技术功的大小, 并将其差值在 P - V 图上表示出来; (3) 分别写出两过程的膨胀功的大小, 并在 P - V 图上表示出来。

解: 1-2 可逆过程技术功为: $w_t = -\int_1^2 v dp = \text{面积} 12 P_1 P_2;$ (2 分)

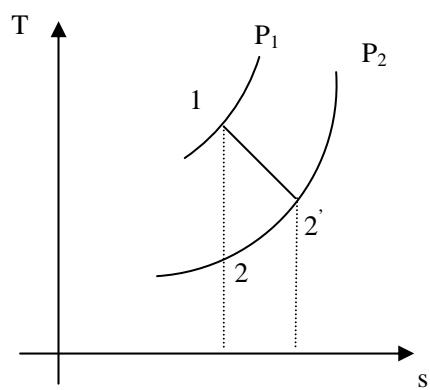
1-2 '不可逆过程技术功为: $w_t = -\int_1^2 v dp = \text{面积} 12' P_1 P_2;$ (2 分)

技术功差值为: 面积 $12' 21;$ (1 分)

膨胀功大小分别为 $w = \int_1^2 p dv = \text{面积}12BA$ 和 $w = \int_1^{2'} p dv = \text{面积}12'CA$ (4分)



(3分)



(3分)

(4分)