

$$E = U + E_k + E_p$$

$R = 8.3145 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ 摩尔气体常数

$V_m = MV$

河海大学机电工程学院 06/07 学年第 1 学期

热能与动力工程专业 041311、2、3 班工程热力学 课程考卷 (A) 得分:

$$C_p - C_v = R_g$$

$$C_p / C_v = \gamma$$

姓名 _____ 学号 _____

一、选择题 (共 20 分, 每题 2 分) (在最正确的答案上打“√”)

$$\therefore C_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R_g$$

$$C_v = \frac{1}{\gamma - 1} R_g$$

$$C_p \cdot m - C_v \cdot m = R_g \cdot m$$

$$\int du = C_v dt$$

$$\int dh = C_p dt$$

1. 热力发动机采用气体为工质的原因, 主要是气体具有
(a) 粘性 (b) ☒ 可压缩与膨胀特性 (c) 流动性 (d) 可加热性
2. 常用的状态方程 $p v = R_g T$ 的适用条件为
(a) 高压气体 (b) 实际气体 (c) 粘性气体 (d) ☒ 理想气体

3. 气体比热容可以表达为 $C_p = f(t)$ 或 $C_v = f(t)$ (即只是温度的函数) 的条件是
(a) 低压气体 (b) 实际气体 (c) ☒ 理想气体 (d) 水蒸气

4. 可逆绝热过程又可称成为
(a) ☒ 定熵过程 (b) 定温过程 (c) 定压过程 (d) 定容过程

5. 卡诺循环热效率的表达式为
(a) $\eta_c = 1 - W_{net}/q_1$ (b) $\eta_c = 1 - T_1/T_2$ (c) $\eta_c = 1 - q_2/q_1$ (d) $\eta_c = W_{net}/q_2$

6. 若增压比相同, 采用两级气体压缩比一级压缩省功的首要条件是

- (a) ☒ 中间冷却 (b) 中间加热 (c) 绝热压缩 (d) 多变压缩

7. 已知气体动力循环的加、放热量为 Q_1 和 Q_2 , 实际功量和理论功量 (净功) 分别为 W' 和 W , 则内部可逆循环的热效率 η_i 为

- (a) W'/Q_1 (b) ☒ W/Q_1 (c) $(Q_1 - Q_2)/Q_2$ (d) W'/W

8. 综合考虑循环热效率 η_i 与汽轮机末级干度 x_2 , 提高朗肯循环的哪个参数最有利?

- (a) 蒸汽初压 p_1 (b) ☒ 蒸汽初温 t_1 (c) 汽轮机背压 p_2 (d) 环境温度 t_0

9. 热力系经过某个不可逆热力过程后, 熵的变化一定发生的是

- (a) 熵不变 (b) 熵流为正 (c) 熵流为负 (d) ☒ 有熵产

10. 指出下列哪种动力循环高低温热源温差较大, 因而循环热效率较高

- (a) ☒ 燃气轮机循环 (b) 蒸汽动力循环 (c) 燃气/蒸汽联合循环 (d) 喷气发动机循环

何逆: $\frac{\text{实际作功量}}{\text{循环加热量}} = \eta_i$

何逆: $\frac{\text{实际作功量}}{\text{循环加热量}} = \eta_i$

(A-1)

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_1} = \frac{W'}{Q_1}$$

循环加热量

w_u 有用功
 w_r 排开大气做功

二、分析与简答题 (共 50 分, 其中第 1~2 题各 5 分, 第 3~7 题各 8 分)

1. 请列出你所知道的热力学状态参数, 并指出哪些状态参数可以用仪表直接测量。

热力学状态参数: 压力 p , 温度 T , 体积 V
 热力学能 U , 焓 H , 熵 S

直接用仪表测量: 压力 p , 温度 T , 体积 V

状态参数

T, p, V 可直接测量
 U, H, S 不能直接测量

2. 简述什么是第一类永动机和第二类永动机? 它们分别由哪个定律所否定?

第一类永动机: 不消耗能量的永动机

热力学第一定律

第二类永动机: 从单一热源吸取热量转变为功的热机

热力学第二定律

单一热源作功的热机

第一类: 不消耗能量而源源不断对外做功的热机

第二类: 从单一热源吸热, 使之完全转化为有用功而不产生其他影响的热机

从单一热源吸取热量, 使之完全转化为有用功的热机

3. 热力学第一定律的数学表达式可分别写成:

$$q = \Delta u + w \quad (1)$$

$$\text{或} \quad q = \Delta h + w_t \quad (2)$$

(a) 试说明两式分别适用的热力系:

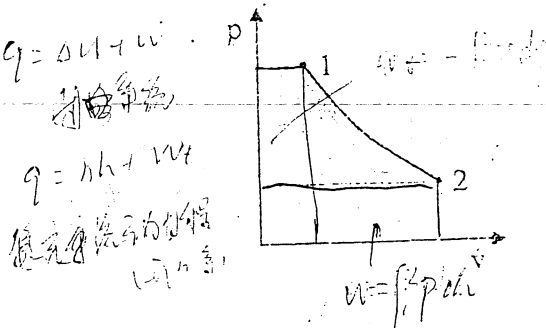
(b) 若过程可逆, 给出过程功 w 和技术功 w_t 的表达式, 并在 $p-v$ 图上用阴影面积表达。

(a) (1) 式适用于闭口系统

(2) 式适用于稳定流动过程 (开口系)

$$(b) \quad w = \int_1^2 p dv$$

$$w_t = - \int_1^2 v dp$$



$$w = \int_1^2 p dv$$

$$w_t = - \int_1^2 v dp$$

$$\text{总能量 (内能)} \\ E = U + \frac{1}{2} m C_f^2 + m g z \quad (A-2)$$

$$\text{水力学} \quad H = U + pV \quad (J)$$

$$\phi_{in} = \phi_{out} = 0$$

$$Q = \Delta U + W \quad \text{闭口系能量守恒式}$$

$$Q = \Delta H + w_t \quad \text{稳定流动能量守恒式}$$

$$w_t = \int_1^2 v dp$$

$$\Delta S_{1-2} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$\Delta S_{1-2} = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\Delta S_{1-2} = c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \ln \frac{v_2}{v_1}$$

卡诺循环：两可逆正回
两可逆他热

循环热效率 $\eta_c = \frac{w_{net}}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$
卡诺 $\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

逆向卡诺循环：

制冷系数： $\epsilon_c = \frac{q_2}{w_{net}} = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

供暖系数 $\epsilon'_c = \frac{q_1}{w_{net}} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} > 1$

多热源可逆循环

$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

卡诺定理(两个)

例：用以判断实际过程方向
过程能否实现
是否可逆

4. 对于闭口热力系，热力学第二定律表达式为

$ds \geq \frac{\delta Q}{T_r}$

$\Delta S \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T_r}$

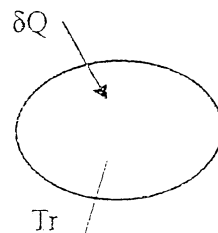
(1) 试说明如何用该式判断热力过程可逆与不可逆。

(2) 设该热力系经过某过程，熵的变化 $\Delta S_{12} = S_2 - S_1 = -10 \text{ kJ/K}$ ，熵流为 $S_f, Q = -15 \text{ kJ/K}$ ，试问该热力过程能否实现？过程是否可逆？

(1) 可逆： $ds = \frac{\delta Q}{T_r}$
不可逆： $ds > \frac{\delta Q}{T_r}$

(2) $\Delta S_{12} = -10 \text{ kJ/K} > \Delta S_{f,Q} = -15 \text{ kJ/K}$
此过程能实现，为不可逆过程

$\Delta S_{12} = -10 \text{ kJ/K} > S_{f,Q} = -15 \text{ kJ/K}$
此过程能实现，为不可逆过程



$\Delta S_{12} = S_g + S_{f,Q}$

$-10 = S_g - 15$

$\Rightarrow S_g = 5 \text{ kJ/K}$

可以实现
不可逆

制冷 $\epsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

供暖 $\epsilon = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$

✓
域。

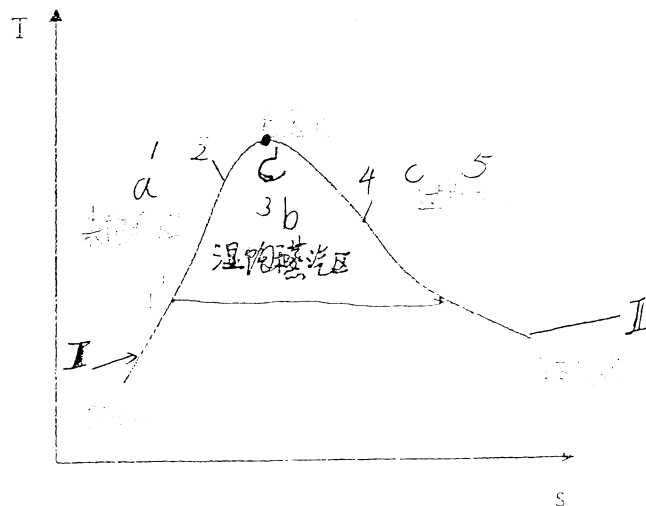
在水定压汽化过程的 $T-s$ 图上，标明所谓的一点、两线、三区、五态的位置或区

点：c点：临界点 (p_c, T_c, v_c)

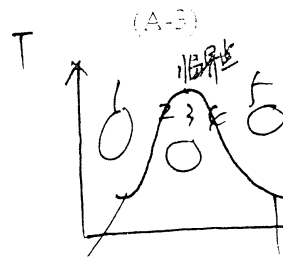
两线 $\begin{cases} c-I: \text{饱和水线} \\ c-II: \text{饱和蒸气线} \end{cases}$

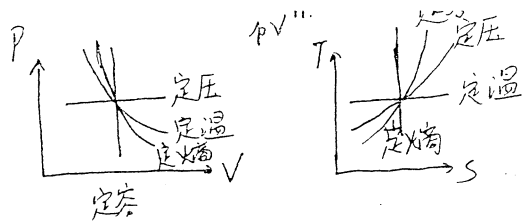
三区 $\begin{cases} a \text{ 未饱和水区 (液相区)} \\ b \text{ 湿饱和蒸气区 (汽液共存区)} \\ c \text{ 过热蒸气区 (气相区)} \end{cases}$

五态 $\begin{cases} 1 \text{ 未饱和水} \\ 2 \text{ 饱和水} \\ 3 \text{ 湿蒸气 (湿饱和蒸气)} \\ 4 \text{ 干饱和蒸气} \\ 5 \text{ 过热蒸气} \end{cases}$

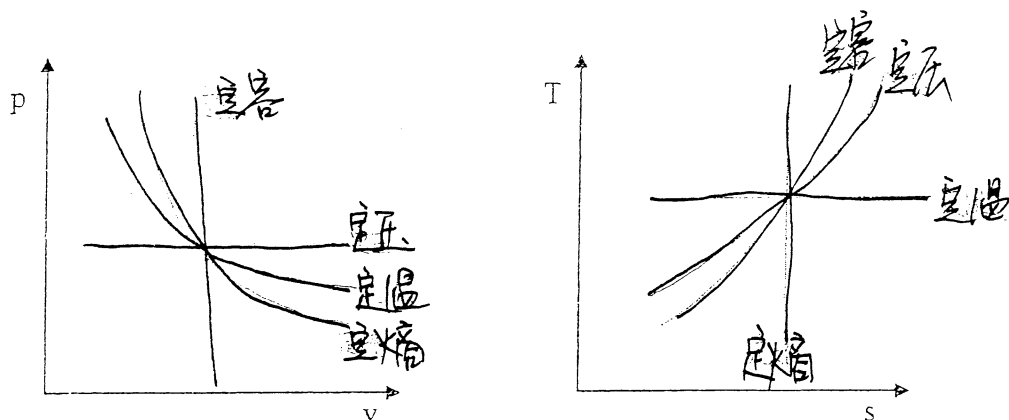


$$\frac{\frac{k}{k-1} p_g T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{p_g T_1 \ln \frac{p_2}{p_1}} = \frac{\frac{k}{k-1} p_g T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{p_g T_1 \ln \frac{p_2}{p_1}}$$

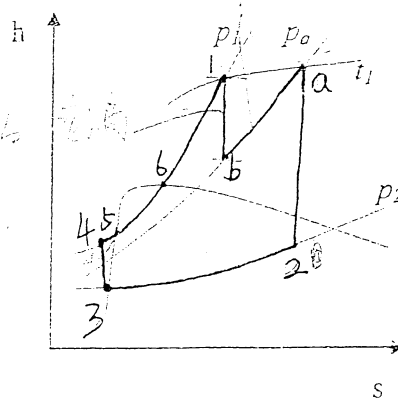
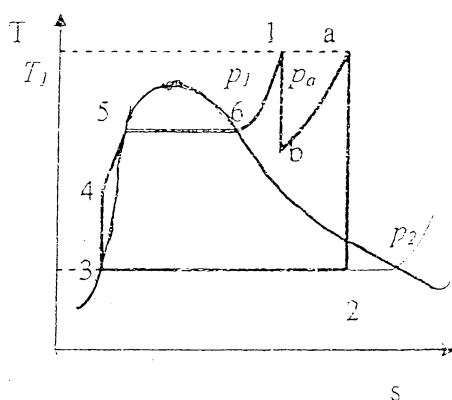




6. 在同一 $p-v$ 图和 $T-s$ 图上表示四个典型热力过程，并标明它们的名称。 $\left(\frac{T}{p}\right) > \left(\frac{T}{p}\right)$



7. 左侧图示为蒸汽再热循环的 $T-s$ 图，请在右侧 $h-s$ 图上相应画出该循环，并标明循环的各个状态点。



已知 $V_1 = V_2 = 0.3 \text{ m}^3$

$p_1 = 10 \text{ MPa}$

$p_2 = 6 \text{ MPa}$

$T_1 = T_2 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$

$R_g = 260 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

$p_1 V_1 = m_1 R_g T_1$

$p_2 V_2 = m_2 R_g T_2$

姓名 _____

三、计算题 (共 30 分, 第 1 题 10 分, 第 2、3 题选做一题, 计 20 分)

求 Δm

1. (必做题) 体积为 0.3 m^3 的钢瓶内装有高压氧气, 压力为 10 MPa , 温度为 27°C , 使用后压力降低至 6 MPa , 温度不变。试求用掉多少千克氧气? 设瓶内氧气为理想气体, $R_g = 260 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ 。

解: $p_1 V_1 = m_1 R_g T_1$

$p_2 V_2 = m_2 R_g T_2$

$T_1 = T_2$

$$m_1 - m_2 = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{R_g T} = \frac{(10 - 6) \times 10^6 \times 0.3}{260 \times (27 + 273.15)}$$

$= 15.38 \text{ kg}$

2. (选做题) 欲将初压为 0.1 MPa , 温度为 15°C , 质量流量 q_m 为 0.2 kg/s 的空气压缩至压力为 0.8 MPa , 设计分析时, 若分别采用定温、定熵和多变三种压缩过程, 试计算比较压气机压缩功率 P_c 的大小, 并用 p - v 图加以说明。设空气为理想气体, 压缩过程可逆, $R_g = 287 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, $k = 1.4$, $n = 1.3$ 。

(提示: 一定温过程 $w_t = -R_g T_1 \ln \frac{p_2}{p_1}$; 定熵过程 $w_s = c_p (T_1 - T_2)$, $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$,

$c_p = \frac{k R_g}{k-1}$; $P_c = q_m w_c$, w_c 为压气机的做功大小, $w_c = -w_t$; $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$

$8^{0.286} = 1.813$, $8^{0.231} = 1.617$

解: 定温: $w_t = -R_g T_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = -287 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \times (15 + 273.15) \ln \frac{0.8}{0.1} = -171967.84 \text{ J/kg}$

$P_{c1} = q_m w_c = -q_m w_t = -0.2 \text{ kg/s} \times (-171967.84 \text{ J/kg}) = 34393.57 \text{ W}$

定熵: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$

$T_2 = \left(\frac{0.8}{0.1}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} \times (15 + 273.15) = 521.969 \text{ K}$

$w_{t2} = c_p (T_1 - T_2) = \frac{k R_g}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{1.4}{0.4} \times 287 \times (288.15 - 521.969) = -234871.19 \text{ J/kg}$

$P_{c2} = q_m w_c = -q_m w_{t2} = -0.2 \text{ kg/s} \times (-234871.19 \text{ J/kg}) = 46974.238 \text{ W}$

多变: $w_{t3} = c_p (T_1 - T_2) = \frac{n R_g}{n-1} T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]$

$= \frac{1.3 \times 287}{0.3} \times (15 + 273.15) \times \left[1 - \left(\frac{0.8}{0.1}\right)^{\frac{0.3}{1.3}}\right] = -221109.69 \text{ J/kg}$

$P_{c3} = q_m w_c = -q_m w_{t3} = -0.2 \text{ kg/s} \times (-221109.69 \text{ J/kg}) = 44221.938 \text{ W}$

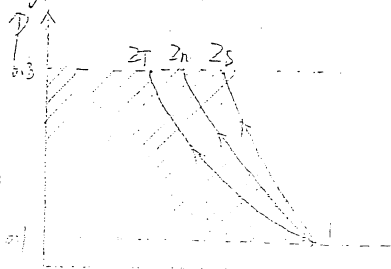
$\therefore P_{c1} < P_{c3} < P_{c2}$

若过程曲线与 p 轴围成的面积则为 w_t 的大小

由图得 $w_{t1} < w_{t3} < w_{t2}$

$\therefore P_{c1} < P_{c3} < P_{c2}$

(A-5)



3. (选做题) 某简单蒸汽动力循环(朗肯循环)的初参数为 $15\text{MPa}/540^\circ\text{C}$, 背压 为 6kPa , 有关状态参数见附表, 设循环可逆。试求 (1) 汽轮机出口状态 2 的 x_2 和 h_2 ; (2) 汽轮机输出功 w_T 和水泵功 w_p ; (3) 循环热效率 η_1 和理论耗汽率 d_0 。

附表:

| p (MPa) | Ts (K) | h' (kJ/kg) | h'' (kJ/kg) | s' (kJ/(kg·K)) | s'' (kJ/(kg·K)) |
|------------|-----------|-----------------|------------------|---------------------|----------------------|
| 0.006 | 309.3 | 151.5 | 2566.5 | 0.5208 | 8.3283 |
| 15 | 615.3 | 1612.2 | 2611.6 | 3.6877 | 5.3122 |

又: 当 $p=15\text{MPa}$, $s=0.5208\text{kJ/(kg·K)}$ 时, 未饱和水的 $h=166.75\text{kJ/kg}$ 。

当 $p=15\text{MPa}$, $t=540^\circ\text{C}$ 时(过热蒸汽), $h=3421\text{kJ/kg}$, $s=6.4881\text{kJ/(kg·K)}$ 。

提示: $S_2 = S_2' + x_2(S_2'' - S_2')$, $h_2 = h_2' + x_2(h_2'' - h_2')$, $S_1 = S_2$, $S_3 = S_4$

解: 由已知 $p_1 = 15\text{MPa}$ 时 $h_1 = 3421\text{kJ/kg}$ $S_1 = 6.4881\text{kJ/(kg·K)}$

1-2 是绝热过程 $h_1 = 3421\text{kJ/kg}$

当 $p_2 = 0.006\text{MPa}$ 时 $S_2' = 0.5208$

$S_2'' = 8.3283\text{kJ/(kg·K)}$

$S_2 = S_1 = 6.4881\text{kJ/(kg·K)}$

$S_2 = S_2' + x_2(S_2'' - S_2')$

$x_2 = \frac{6.4881 - 0.5208}{8.3283 - 0.5208}$

$= 0.764$

$h_2 = h_2' + x_2(h_2'' - h_2')$

$= 151.5 + 0.764(2566.5 - 151.5) = 1996.5\text{kJ/kg}$

(2) $w_T = h_1 - h_2 = 3421\text{kJ/kg} - 1996.5\text{kJ/kg} = 1424.5\text{kJ/kg}$

$w_p = h_4 - h_3 = (h_4 - h_2) = 15.25\text{kJ/kg}$

$= 166.75\text{kJ/kg} - 151.5\text{kJ/kg} = 15.25\text{kJ/kg}$

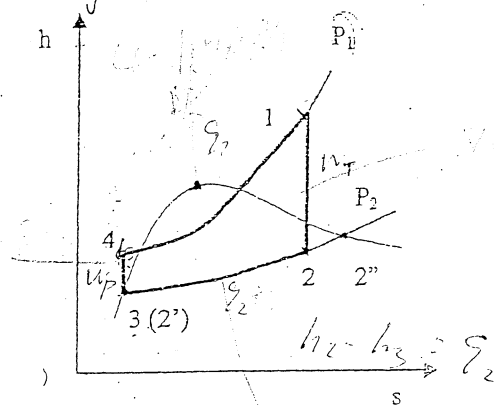
(3) $\eta_1 = \frac{w_{net}}{q_1} = \frac{h_1 - h_2 - w_p}{h_1 - h_4}$

$= \frac{1424.5 - 15.25}{3421 - 166.75} \times 100\%$

$= 43.30\%$

$d_0 = \frac{1}{h_1 - h_2} = \frac{1}{(3421 - 1996.5) \times 10^3\text{J/kg}}$

$= 7.02 \times 10^{-7}\text{kg/J}$



(A-6)

注: 适用教材沈维道等《工程热力学》(第三版) 高教出版社 2001.6.