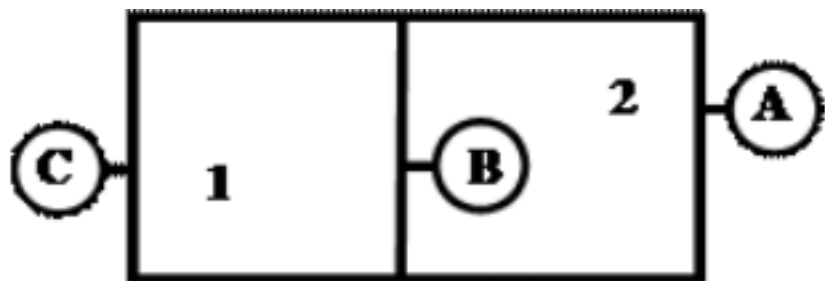


一、是非判断：是在（ ）内画“+”号，非在（ ）内画“-”号，每题 1 分，共 10 分

- 1、热力系是指所有参与热力过程的物体群（ ）。
- 2、绝热闭口系的熵增就是孤立系的熵增（ ）。
- 3、状态方程是描述状态参数之间关系的方程（ ）。
- 4、平衡状态是指在没有外界作用的条件下，热力系宏观性质不随时间变化的状态（ ）。
- 5、通用气体常数对实际气体和理想气体都是一个不变的常数（ ）。
- 6、工质经过不可逆过程的熵变必然等于经历可逆过程的熵变（ ）。
- 7、理想气体的热力学能、焓和熵都仅仅是温度的单值函数（ ）。
- 8、理想气体绝热节流后温度不变（ ）。
- 9、在 $\phi=1$ 时，干球温度 t 湿球温度 t_w 和露点温度 t_d 不相等（ ）。
- 10、任何动力循环，循环净功 w_0 总等于循环净热量 q_0 ，即总有 $w_0 = q_0$ （ ）。

二、选择填空：每题 1 分，共 10 分

- 1、绝热系与外界没有（ ）交换。
A 热量 B 、物质 C 、功
- 2、在所列的压力中哪个不是状态参数（ ）。
A、绝对压力 B、分压力 C、表压力
- 3、功损来自于（ ）。
A 不等温传热 B 、物质交换 C 、运动摩擦
- 4、不可逆损失来源于（ ）。
A 、运动摩擦 B 、不等温传热 C 、任何耗散效应
- 5、干度 的取值可以是（ ）。



A =1 B 、 >1 C 、 <1

6、渐缩喷管出口气体的流速是（ ）。

A $M < 1$ B 、 $M > 1$ C 、 $M = 1$

7、不可逆循环的熵产必然是（ ）。

A 等于零 B 、 大于零 C 、 小于零

8、卡诺热机效率比实际热机效率（ ）。

A 小 B 、 二者相等 C 、 大

9、制冷系数 可以是（ ）。

A 大于 1 B 、 等于 1 C 、 小于 1

10、供热系数 可以是（ ）。

A 大于 1 B 、 等于 1 C 、 小于 1

三、指出下列各对概念之间主要的区别 每题 2 分，共 10 分

1、理想气体与实际气体

2、定容比热与容积比热

3、可逆过程与不可逆过程

4、熵流与熵产

5、饱和湿蒸气与饱和湿空气

四、某容器被一刚性壁分成两部分， 在容器的不同部位安装有压力表， 如下图所示。压力表 B 上的读数为 75kPa， 压力表 C 上的读数为 0.11MPa。 如果大气压力为 97kPa， 试确定压力表 A 上的读数及容器两部分内空气的绝对压力。（10 分）

五、某热机在每个循环中从 $T_1=600\text{K}$ 的高温热源吸收 $Q=419\text{kJ}$ 的热量和可逆地向 $T_2=300\text{K}$ 的低温热源假设分别排出 (1) $Q_2=209.5\text{kJ}$ ； (2) $Q_2=314.25\text{kJ}$ ； (3) $Q_2=104.75\text{kJ}$ 热量， 请用两种方法计算证明， 在这三种情况中， 哪个是不可逆的、 哪个是可逆的和哪个是不可能的？ 并对不可逆循环计算出其不可逆损失， 大气环境温度 $T_0=300\text{K}$ (20 分)

六、温度为 300K 天然气（甲烷）绝热节流后压力由 4MPa 降为 2MPa，试求 (1) 节流造成天然气比熵的增加 Δs ；(2) 节流造成天然气熵产 S_g ；(3) 如果天然气由上述参数经过膨胀透平进行可逆绝热膨胀，压力也降为 2MPa，那么每 kg 天然气将能作出多少功？(4) 将节流过程和可逆绝热膨胀过程分别画在 T-S 图和 P-V 图上。天然气（甲烷）视为定比热理想气体， $\gamma=1.3$ ， $R_g=518.3\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ (10 分)

七、如图所示，一次抽汽回热循环，蒸汽初压力 $P_1=6\text{MPa}$ ，初温 $t_1=600^\circ\text{C}$ ，抽汽压力 $P_{ex}=0.5\text{MPa}$ ， $P_2=10\text{kPa}$ ，并已知各点值如下： $h_1=3657\text{kJ/kg}$ ， $h_2=191.76\text{kJ/kg}$ ， $v_2=0.0010103\text{m}^3/\text{kg}$ ， $h_{ex}=2906\text{kJ/kg}$ ， $h_{ex'}=640.35\text{kJ/kg}$ ， $v_{ex'}=0.0010925\text{m}^3/\text{kg}$ ， $h_3=2276\text{kJ/kg}$ ，锅炉总加热量 $\dot{Q}_1=2767\times 10^6\text{W}$ 试求：(1) 锅炉内水的质量流量；(2) 两台水泵总耗功率；(3) 汽轮机作功率；(4) 冷凝器放热；(5) 循环热效率。(25 分)

八、蒸汽动力循环中，蒸汽轮机排气压力 P_2 是否越低越好？降低 P_2 有哪些限制？(5 分)

2007 年秋季学期 工程热力学 答案（A 卷）

一、

1. (-) ; 2. (+) ; 3. (-) ; 4. (+) ; 5. (-) ; 6. (+) ; 7. (-) ; 8. (+) ; 9. (-) ; 10. (+)。

二、

1. A ; 2. B、C ; 3. C ; 4. A、B、C ; 5. A、C ; 6. A、C ; 7. B ; 8. A、B、C ; 9. A、B、C ; 10. A。

三、

1. 可逆过程沿原路反向进行使系统恢复到原状态之后，给系统和外界均没有留下任何影响；不可逆过程沿原路反向进行使系统恢复到原状态之后将给外界留下某种不可消除的影响。

2．二者差异在体积和作用力上，理想气体分子本身无体积，分子间无作用力，而实际气体恰恰相反。

3．二者计量的基础单位相同，容积比热是以单位体积（容积 m^3 ）来计算；而定容比热是以单位质量（ kg ）来计算，而且比容是不变的。

4．二者差别在于起因不同。熵流来自热力系与外界间的相互作用（热量交换、质量交换）引起的熵的变化量；熵产来自热力系内部不可逆因素（内摩擦、内热流等）所造成的熵的产生量。

5．二者差别有二，其一，湿蒸气是一种化学成分 H_2O 构成的，而饱和湿空气是空气和水蒸气多种化学成分构成的；其二，饱和湿蒸气是饱和液体（水）和干饱和蒸汽的混合物，其中水和蒸汽都是饱和的；饱和湿空气虽是干空气和水蒸气的混合物，其中水蒸气是饱和的，但空气远未达到饱和。

四、

解： $P_1 = P_c + P_b = 0.11\text{MPa} + 0.097\text{MPa} = 0.207\text{MPa}$

$$P_1 = P_b + P_2 \quad P_2 = P_1 - P_b = 0.207 - 0.075 = 0.132\text{MPa}$$

$$P_2 = P_a + P_b \quad P_a = P_2 - P_b = 0.132 - 0.097 = 0.035\text{MPa}$$

五、

1．采用孤立系统熵增原理证明

$$(1) \quad (\Delta S)_{\text{总}} = \frac{-Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = \frac{-419}{600} + \frac{209.5}{300} = 0, \text{可逆}$$

$$(2) \quad (\Delta S)_{\text{总}} = \frac{-Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = \frac{-419}{600} + \frac{314.25}{300} = 0.3492\text{kJ/K} > 0, \text{不可逆}$$

$$(3) \quad (\Delta S)_{\text{总}} = \frac{-Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = \frac{-419}{600} + \frac{104.75}{300} < 0, \text{不可能}$$

$$(4) \quad L = T_0(\Delta S)_{\text{总}} = 300 \times 0.3492 = 104.76\text{kJ}$$

2. 采用卡诺定理证明

$$\eta_{\text{K}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{600} = 0.5$$

$$(1) \quad \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{209.5}{419} = 0.5 = \eta_{\text{K}} \quad \text{可逆}$$

$$(2) \quad \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{341.25}{419} = 1 - 0.75 = 0.25 < \eta_{\text{K}} \quad , \text{不可逆}$$

$$(3) \quad \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{104.75}{419} = 1 - 0.25 = 0.75 > \eta_{\text{K}} \quad , \text{不可能}$$

$$(4) \quad L = 104.76 \text{ kJ}$$

3. 采用克劳修斯积分计算证明

$$(1) \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{-Q_2}{T_2} = \frac{419}{600} + \frac{-209.5}{300} = 0 \quad , \text{可逆}$$

$$(2) \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{-Q_2}{T_2} = \frac{419}{600} + \frac{-314.25}{300} = -0.3492 \text{ kJ/K} < 0 \quad , \text{不可逆}$$

$$(3) \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{-Q_2}{T_2} = \frac{419}{600} + \frac{-104.75}{300} > 0 \quad , \text{不可能}$$

$$(4) \quad L = 104.76 \text{ kJ}$$

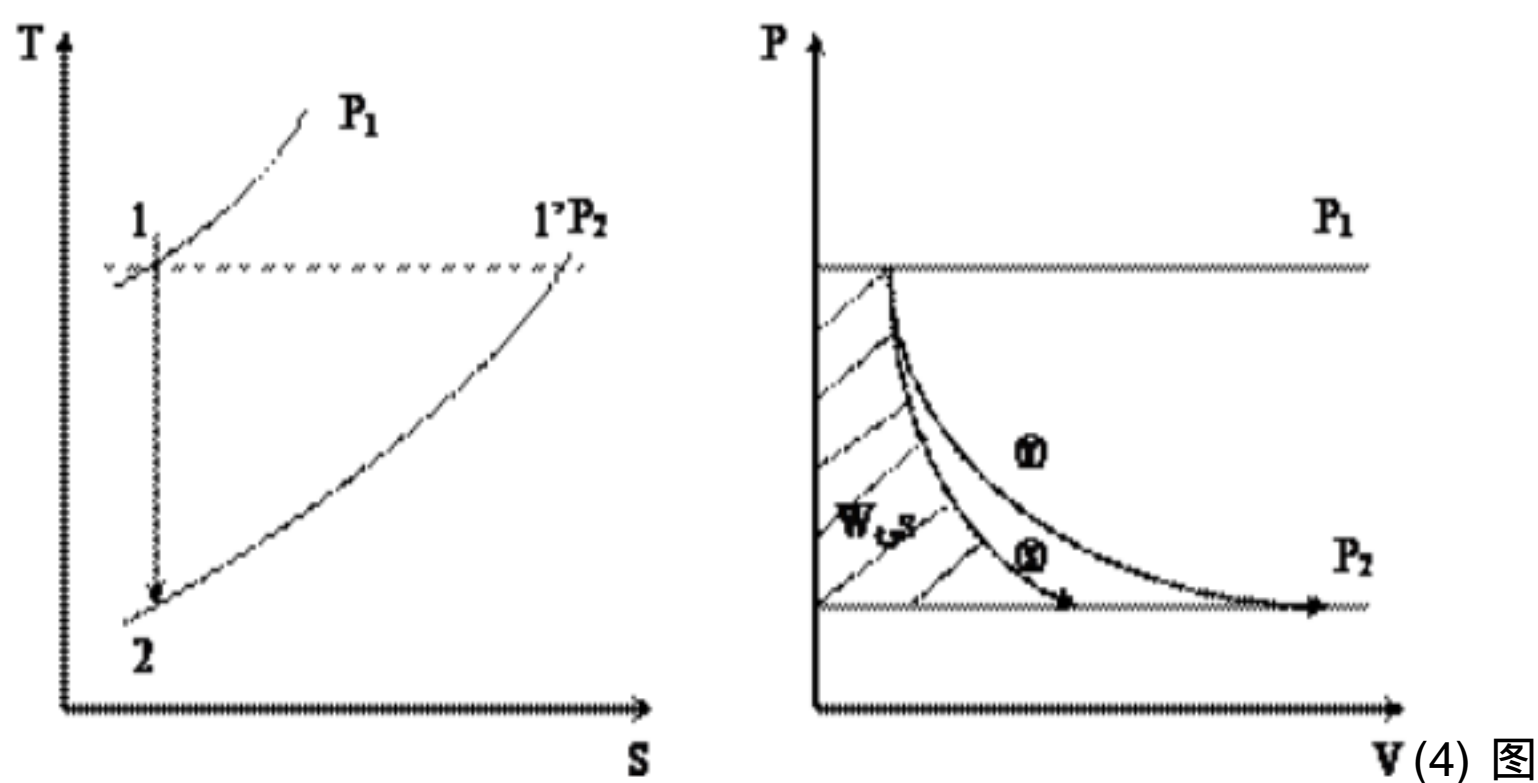
六、

(1) 甲烷视为定比热理想气体，绝热节流过程温度不变，因而其比熵的增加为

$$\Delta s = -R_g \ln \frac{P_2}{P_1} = -518.3 \times \ln \frac{2}{4} = 0.3593 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$(2) \Delta s = s_f + s_g \quad \because s_f = 0 \quad \therefore s_g = \Delta s = 0.3593 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$(3) w_s = \frac{\kappa_0}{\kappa_0 - 1} R_g T_1 \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\kappa_0 - 1}{\kappa_0}} \right] = \frac{1.3 - 1}{1.3} \times 518.3 \times 300 \times \left[1 - \left(\frac{2}{4} \right)^{\frac{1.3 - 1}{1.3}} \right] = 99.61 \text{ kJ/K}$$



七、

解：先求出抽气量

4 点焓值：

$$h_4 = h_2 + v(P_4 - P_2) = 191.76 + 0.0010103 \times (0.5 \times 10^6 - 10 \times 10^3) \times 10^{-3} = 192.26 \text{ kJ/kg}$$

由回热器能量方程 $(1-\alpha)(h_{01} - h_4) = \alpha(h_{01} - h_{01})$ ，可得

$$\alpha = \frac{h_{01} - h_4}{h_{01} - h_4} = \frac{640.35 - 192.26}{2906 - 192.26} = 0.165$$

(1) 锅炉内的水质流量

$$h_5 = h_{01} + v_{01}(P_5 - P_{01}) = 640.35 + 0.0010925 \times (6 \times 10^6 - 0.5 \times 10^6) \times 10^{-3} = 646.36 \text{ kJ/kg}$$

$$\because \dot{Q}_1 = q_m(h_1 - h_5) \quad \therefore q_m = \frac{\dot{Q}_1}{h_1 - h_5} = \frac{2.767 \times 10^5}{3657 - 646.36} = 91.9 \text{ kg/s}$$

(2) 水泵耗功

$$P_{pl} = q_m(h_4 - h_2) = (1 - \alpha)q_m(h_4 - h_2) = (1 - 0.165) \times 91.9 \times (192.26 - 191.76) = 38.36 \text{ kW}$$

$$P_{ph} = q_m(h_5 - h_{01}) = 91.9 \times (646.36 - 640.35) = 552.32 \text{ kW}$$

$$P_p = w_{pl} + w_{ph} = 38.26 + 552.32 = 590.68 \text{ kW}$$

(3) 汽轮机功率

$$w_{T,s} = (h_1 - h_{01}) + (1 - \alpha)(h_{01} - h_2) = (3657 - 2906) + (1 - 0.165) \times (2906 - 2276) = 1277.1 \text{ kJ/kg}$$

$$P_{T,s} = q_m \cdot w_{T,s} = 91.9 \times 1277.1 = 1.174 \times 10^5 \text{ kW}$$

(4) 冷凝器放热量

$$\dot{Q}_2 = q_m(h_2 - h_3) = (1 - \alpha)q_m(h_2 - h_3) = (1 - 0.165) \times 91.9 \times (2276 - 191.26) = 1.595 \times 10^5 \text{ kW}$$

(5) 循环热效率

$$\eta_t = 1 - \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = 1 - \frac{1.595 \times 10^5}{2.767 \times 10^5} = 42.4\%$$

八、蒸汽动力循环中蒸汽轮机的排气压力 P_2 并不是越低越好。从汽轮机自身膨胀做功这个局部来看，在初态不变的前提下， P_2 越低，蒸汽在汽轮机中膨胀做功越多，当然有利。但是从装置全局分析，并非 P_2 越低越好。因为， P_2 ，必然要求凝汽器真空度，凝汽器换热面积，冷却水量，冷却管径，冷却水泵耗功 = 导致制造成本、初投资和运行费用增加。综合考虑这些因素， P_2 未必带来整体装置经济性，这是一个经济性限制。还有蒸汽轮机排汽为饱和湿蒸气，排汽压力 P_2 ，取决于排气温度 t_2 ，这个 t_2 总要比冷却水温高，才能有效冷却放热，而冷却水温度只能维持在 $0-35^\circ\text{C}$ ，必须在零度以上。综合这些因素之后，排汽温度 t_2 大约为 30°C 左右。所以 P_2 大约为 0.05MPa 左右，这是 P_2 的传热学限制。还有个限制就是如果 P_2 太低了，则会造成 y_2 ，导致汽轮机低压缸末级蒸汽湿度过大，不利于汽机安全运行。

-、单选题（ 40 分，每题 2 分）

1. 比热是过程量，定压比热 B。

- A. 表示比体积一定时比内能随温度的变化率 B. 是温度与压力的状态函数
C. 与系统质量成正比 D. 也是过程量

2. 对闭口系任意微元过程，若系统的熵变等于零，则 C。

- A. 该过程可逆 B. 该过程不可逆 C. 无法判定过程的可逆与否 D. 必为吸热过程

3. 概括性卡诺循环热机的效率可以表示为 A。

A. $\eta = \frac{W_{\text{net}}}{Q_1}$ B. $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$ C. $\eta = \frac{Q_1}{W_{\text{net}}}$ D. $\eta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

（下标“1”表示高温，“2”表示低温，“net”表示循环）

4. 理想气体多变过程的比热为 D。

A. $c_n = -n \frac{p}{v}$ B. $c_n = n \frac{p}{v}$ C. $c_n = \frac{n-k}{n-1} c_p$ D. $c_n = \frac{n-k}{n-1} c_v$

5. 在压缩比相同、吸热量相同时，定容加热循环（ Otto ）定压加热循环（ Diesel ）和混合加热循环的效率（ η_{tV} 、 η_{tp} 、 η_{tm} ）大小依次为 B。

A. $\eta_{tp} > \eta_{tm} > \eta_{tV}$ B. $\eta_{tV} > \eta_{tm} > \eta_{tp}$ C. $\eta_{tp} > \eta_{tV} > \eta_{tm}$ D. $\eta_{tV} > \eta_{tp} > \eta_{tm}$

6. 对于闭口系绝热过程，错误的表述是 D。

- A. 熵变等于熵产 B. 过程功的大小等于内能差 C. 熵变必大于零 D. 必为等熵过程

7. 准平衡过程是指 B 的过程。

- A. 弛豫时间很长 B. 不平衡势差无限小 C. 温差无限小 D. 压差无限小

8. 理想气体的比内能和比焓 C。

- A. 是温度与压力的函数 B. 是压力的函数

C. 在初终态压力不同，温度相同时的变化值相同
D. 在初终态压力相同，温度不相同时的变化值相同

9. $\delta q = du + pdv$ 适用于 C。

A. 定压过程 B. 准平衡过程 C. 无耗散的准平衡过程 D. 理想气体的任意过程

10. 湿空气 B。

A. 可当作纯物质来处理 B. 中的干空气与水蒸汽均可视为理想气体
C. 中的干空气与水蒸汽的状态由分体积定律确定 D. 中的干空气必须视为混合物

11. 在理想气体压容图上，等熵线 C。

A. 的斜率为 $k \frac{p}{v}$ B. 比等温线平缓 C. 比等温线陡 D. 的斜率为 $\frac{p}{v}$

12. 闭系经历一不可逆循环，作循环功 5KJ，则 D。

A. 熵变小于零 B. 循环热小于 5KJ C. 熵变大于零 D. 循环热等于 5KJ

13. 空气的平均分子量为 28.97，定压比热 $c_p = 1004 \text{ J/(kg.K)}$ ，其定容比热为 A J/(kg.K) 。

A. 717 B. 0.717 C. 1006 D. 2006

14. 热量 Q ($E_{x,Q}$) A。

A. 是过程量 B. 是状态量 C. 恒为正 D. 恒为负

15. 相同初终态参数条件下，不可逆过程的 B。

A. 熵变一定大于可逆过程的熵变 B. 焓差一定等于可逆过程的焓差
C. 熵变一定小于可逆过程的熵变 D. 焓差一定小于可逆过程的焓差

16. 1kg 理想气体在一容器内作绝热自由膨胀，体积扩大了两倍，熵差为 A。

A. $R_g \ln 2$ B. $R \ln 2$ C. $c_v \ln \frac{1}{2} + R_g \ln 2$ D. $c_v \ln \frac{1}{2} - R_g \ln 2$

17. 湿空气的相对湿度 $\phi = 100\%$ 时, 表明空气中 B。

- A. 只有水蒸气
- B. 的水蒸气处于饱和状态
- C. 的水蒸气的绝对含量很高
- D. 的干空气处于饱和状态

18. 湿空气的状态可以由 A 确定。

- A. 3 个强度参数
- B. 总压与干球温度
- C. 总压与相对湿度
- D. 比焓和湿球温度

19. 摄氏温标 B。

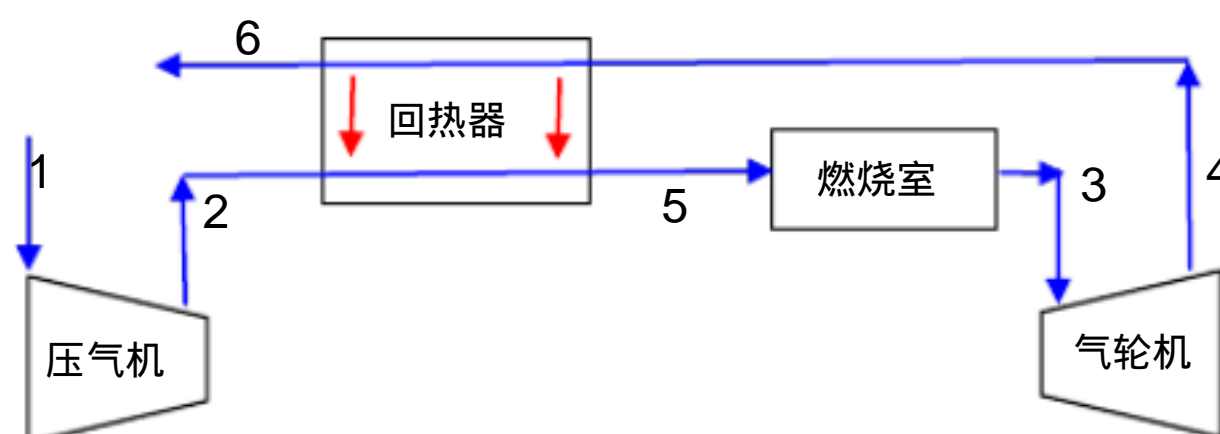
- A. 是经验温标
- B. 是由热力学温标导出的温标
- C. 有两个基准点
- D. 在水的冰点与沸点无量测误差

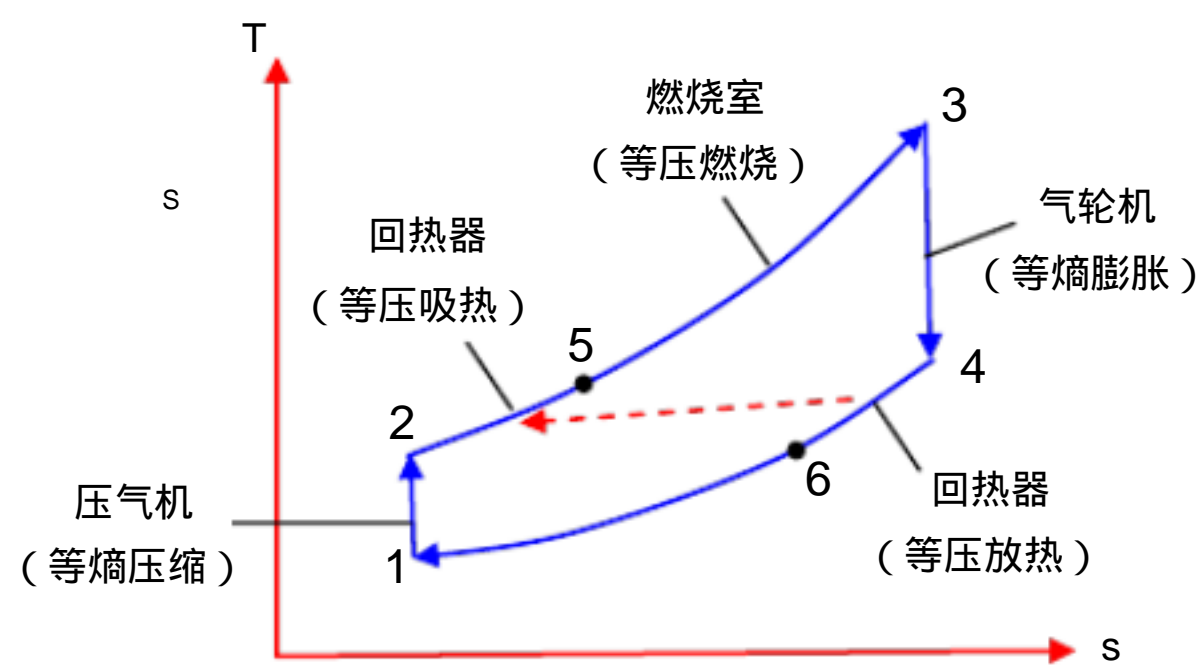
20. 与理想气体比较, 实际气体的最大两个特点是 A。

- A. 分子占有体积和分子间有作用力
- B. 分子占有体积和压缩因子等于 1
- C. 压缩因子等于 1 和分子间有作用力
- D. 以上选择都不对

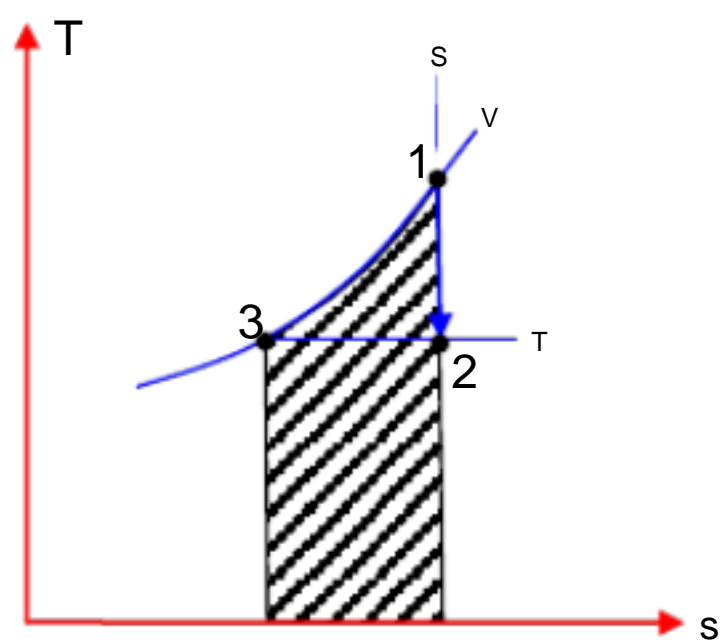
二、作图题 (10 分, 每题 5 分)

1. 定性地画出具有回热的燃气轮机装置示意图。并在 T-s 图上定性地画出各个不同的热力过程, 并说明这些过程各在哪个部件内完成的, 其特点是什么 ?





2. 在 T-s 图上表示每公斤理想气体由状态 1 等熵可逆膨胀到状态 2 时膨胀功的大小。并说明为什么。



$$w_{12} = u_1 - u_2 = u_1 - u_3 = q_{31} = \text{阴影面积}$$

三、简述题（ 20 分，每题 10 分）

1. 简述热量的定义。在热力系统中有绝热闭口系的定义，在开口系统中，由于有流体的进出，就不可能有绝热开口系，该说法对否？分析之。

答：热量是过程量，是体系与体系之间或体系与环境之间通过温差传递的无序能量。开

口系也可以是绝热的，因为流体进出带进和带出的是流体的焓与动势能。

2. 在循环最高温度与最低温度一定的条件下，说明 Brayton 循环（布雷顿定压加热循环）的循环功和增压比之间的关系，热效率和增压比之间的关系，并给出最佳热效率和极限热效率的定义。

答：Brayton 循环的热效率仅随增压比的升高而升高，当增压比一定时增压比存在一最大

值，此时的热效率称为极限热效率。当增压比从最小（等于 1）变到最大时，循环功并

非单调增，而是在增压比最小与最大值间存在一最佳增压比，此时循环功最大。最佳增

压比对应热效率称最佳热效率。

四、计算题（ 30 分， 每题 15 分）

1. 欲设计一热机，使之能从 973K 的高温热源吸热 2000kJ，并向温度为 303K 的冷源放热 800kJ。（1）此循环能否实现？（2）若把此热机当制冷机用，从冷源吸热 800kJ，能否向热源放热 2000kJ？若使之从冷源吸热 800kJ，至少消耗多少功，并向热源放热多少？。

解：

$$(1) \quad \left[\int \frac{\delta Q}{T_r} = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = \frac{2000}{973} - \frac{800}{303} = -0.5848 \text{ kJ/k} < 0 \right] \text{ 可实现}$$

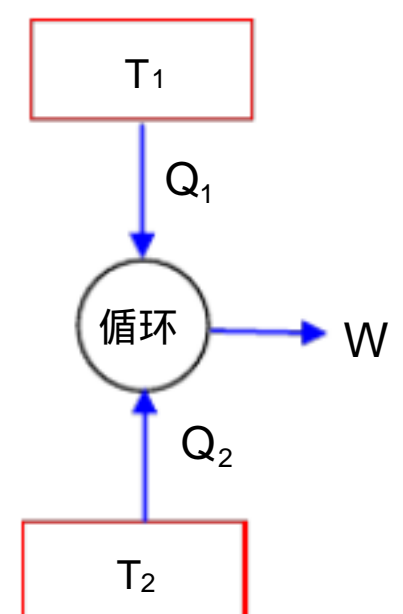
$$(2) \quad \left[\int \frac{\delta Q}{T_r} = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = -\frac{2000}{973} + \frac{800}{303} = 0.5848 \text{ kJ/k} > 0 \right]$$

不可行

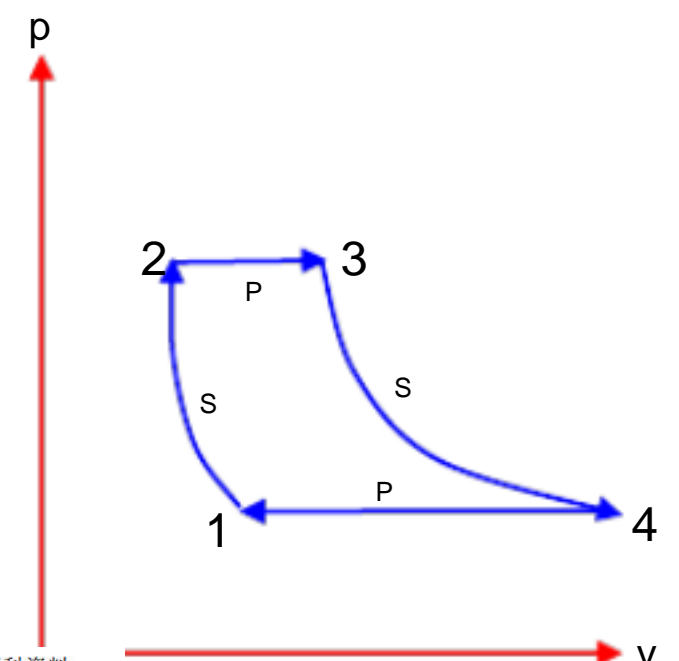
- (3) 可逆循环耗功最少

$$\left[\int \frac{\delta Q}{T_r} = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{973} + \frac{800}{303} = 0 \right] \quad Q_1 = -2568.98 \text{ kJ}$$

$$W = Q_1 + Q_2 = -2568.98 + 800 = -1768.98 \text{ kJ}$$



2. 某燃气轮机装置循环为 Brayton 循环，即定压加热循环。燃烧室出口温度为 $t_3=800$ ，压气机进口为环境大气压 $p_1 = 0.1 \text{ MPa}$ ，环境温度 $t_1=20$ ，压气机出口压力 $p_2=0.8 \text{ MPa}$ 。循环功率为 800KW，取空气的 $c_p=1004 \text{ J/(kg K)}$ ， $k=1.4$ ，试求空气的最小质量流量。



$$\text{解： } T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293.15 \times 8^{\frac{0.4}{1.4}} = 531.03 \text{K}$$

$$T_4 = \frac{T_1}{T_2} T_3 = 293.15 / 531.03 \times 1073.15 = 592.43 \text{K}$$

$$w_{\text{net}} = c_p (T_3 - T_4 - T_2 + T_1) = 1004 \times (1073.15 - 592.43 - 531.03 + 293.15) = 243.82 \text{kJ / Kg}$$

$$q_m = P_i / w_{\text{net}} = 800 / 243.82 = 3.28 \text{ kg / s}$$

工程热力学 （A 卷）

（闭卷，150分钟）

班级 _____ 姓名 _____ 学号 _____ 成绩 _____

一、简答题（每小题 5 分，共 40 分）

1. 什么是热力过程？可逆过程的主要特征是什么？

答：热力系统从一个平衡态到另一个平衡态，称为热力过程。可逆过程的主要特征是驱动过程进行的势差无限小，即准静过程，且无耗散。

2. 温度为 500 ℃ 的热源向热机工质放出 500 kJ 的热量，设环境温度为 30 ℃，试问这部分热量的火用（yong）值（最大可用能）为多少？

$$\text{答： } E_{x,q} = 500 \times \left(1 - \frac{30 + 273.15}{500 + 273.15} \right) = 303.95 \text{kJ}$$

3. 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 向低温热源 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 $\Delta S_{\text{iso}} = 0$ 。假设功源的熵变 $S_W = 0$ 。

证明：四个子系统构成的孤立系统熵增为

$$\text{（1 分） } \Delta S_{\text{iso}} = \Delta S_{T_1} + \Delta S_{T_2} + \Delta S_R + \Delta S_W$$

对热机循环子系统： $\Delta S_R = 0$ 1分

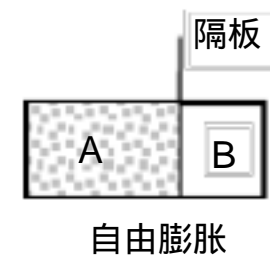
$$\Delta S_{\text{ISO}} = \frac{-Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + 0 + 0 \quad 1 \text{分}$$

根据卡诺定理及推论：

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

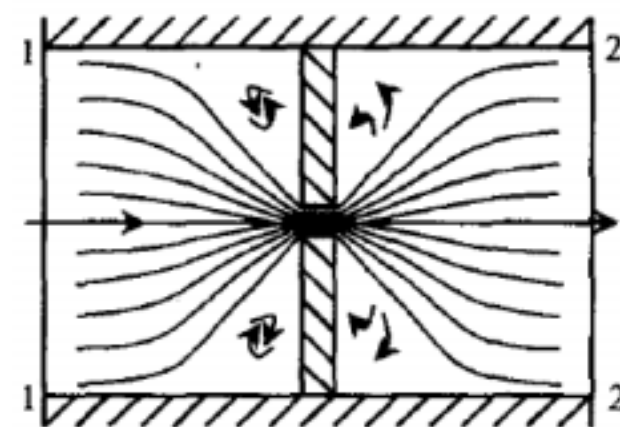
则： $\Delta S_{\text{iso}} = 0$ 。 1分

4. 刚性绝热容器中间用隔板分为两部分，A 中存有高压空气，B 中保持真空，如右图所示。若将隔板抽去，试分析容器中空气的状态参数（T、P、u、s、v）如何变化，并简述为什么。



答：u、T 不变，P 减小，v 增大，s 增大。

5. 试由开口系能量方程一般表达式出发，证明绝热节流过程中，节流前后工质的焓值不变。（绝热节流过程可看作稳态稳流过程，宏观动能和重力位能的变化可忽略不计）



答：开口系一般能量方程表达式为

$$\frac{dE}{d\tau} = \dot{Q} - \dot{W}_s + \left(h_1 + \frac{c_1^2}{2} + gz_1 \right) \dot{m}_1 - \left(h_2 + \frac{c_2^2}{2} + gz_2 \right) \dot{m}_2$$

绝热节流过程是稳态稳流过程，因此有如下简化条件

$$dE/d\tau = 0; \dot{Q} = 0; \dot{W}_s = 0; \Delta E_K = 0, \Delta E_P = 0$$

则上式可以简化为：

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2$$

根据质量守恒，有 $\frac{dm}{d\tau} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 = 0$

代入能量方程，有 $h_1 = h_2$

6. 什么是理想混合气体中某组元的分压力？试按分压力给出第 i 组元的状态方程。

答：在混合气体的温度之下，当 i 组元单独占有整个混合气体的容积（中容积）时对容器壁面所形成的压力，称为该组元的分压力；若表为 P_i ，则该组元的状态方程可写成： $P_i V = m_i R_i T$ 。

7. 高、低温热源的温差愈大，卡诺制冷机的制冷系数是否就愈大，愈有利？试证明你的结论。

答：否，温差愈大，卡诺制冷机的制冷系数愈小，耗功越大。（2分）

证明： $\varepsilon_R = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{q_2}{w} = \frac{T_2}{\Delta T}$ ，当 q_2 不变， ΔT 时， w 、 $\varepsilon_R \downarrow$ 。即在同样 q_2 下

(说明得到的收益相同)，温差愈大，需耗费更多的外界有用功量，制冷系数下降。（3分）

8. 一个控制质量由初始状态 A 分别经可逆与不可逆等温吸热过程到达状态 B ，若两过程中热源温度均为 T_r 。试证明系统在可逆过程中吸收的热量多，对外做出的膨胀功也大。

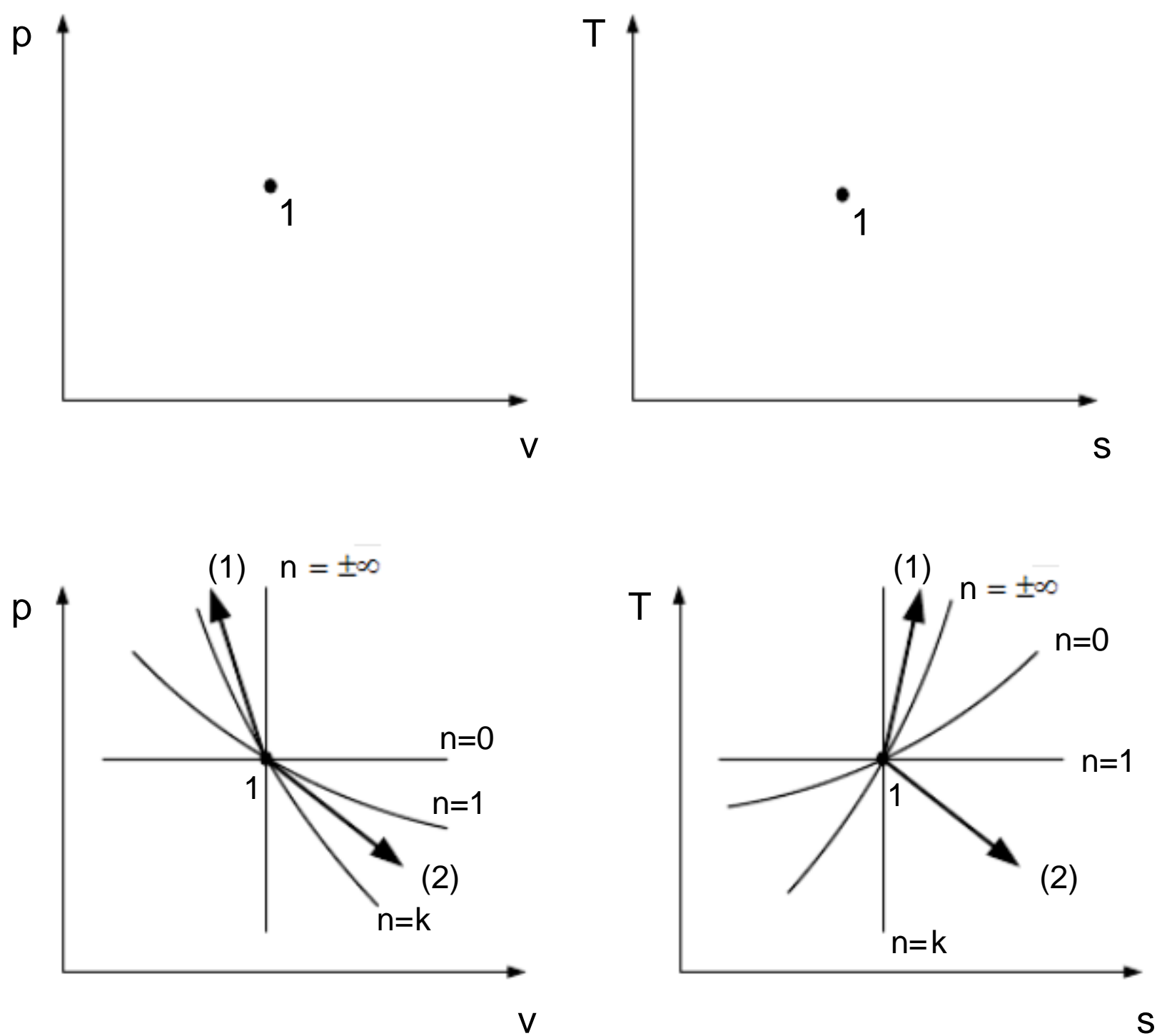
答：经历可逆或不可逆定温过程后，按题给两种情况下过程的初、终状态相同，因而系统的熵变相同。由系统的熵方程 $\Delta s = s_f + s_g$ ，对于可逆过程其熵产为零，故热熵流将大于不可逆过程。可见，可逆过程的热量将大于不可逆过程；（3分）

由热力学第一定律， $q = \Delta u + w$ ，因过程的初、终状态相同，热力学能变化 Δu 相同，故可逆与不可逆两种情况相比，可逆过程的过程功亦较大。（2分）

二、作图题：（每小题 5 分，共 10 分）

1. 试在所给参数坐标图上定性地画出理想气体过点 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。



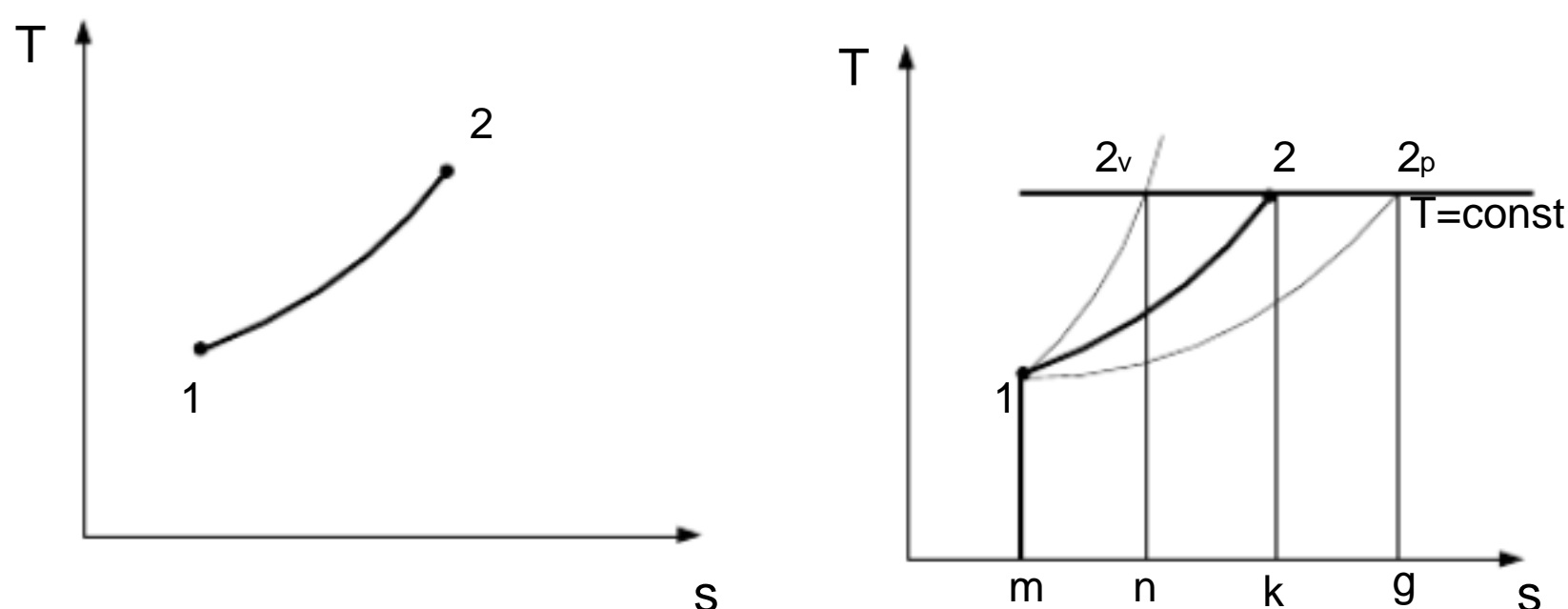
答： (1) $n > k$; (2) $1 < n < k$

评分：四条基本线（ 2 分）两条曲线（ 2 分） n 取值（ 1 分）

2. 如图所示 T - s 图上理想气体任意可逆过程 1 - 2 的热量如何表示？热力学能变化量、焓变化量如何表示？若过程 1 - 2 是不可逆的，上述各量是否相同？（请写出简明的作图方法。）

答：对可逆过程，热量为面积 1-m-k-2-1，热力学能变化量为面积 1-m-n-2_v-1，焓变化量为 1-m-g-2_p-1。

对不可逆过程，热量无法表示，热力学能和焓变化量相同



三、计算题：（共 50 分）

1. 压气机在 95 kPa、25 的状态下稳定地以 340 m³/min 的容积流率吸入空气，进口处的空气流速可以忽略不计；压气机排口处的截面积为 0.025 m²，排出的压缩空气的参数为 200 kPa、120 。压气机的散热量为 60 kJ/min。已知空气的气体常数 R_g=0.287 kJ/(kg.K)，比定热容 c_v=0.717 kJ/(kg.K)，求压气机所消耗的功率。（16 分）

解：

以压气机中空气为研究对象，其稳定工况的能量方程为

$$\dot{Q} - \dot{W}_{sh} + \left(h_1 + \frac{c_1^2}{2} + gz_1 \right) \dot{m} - \left(h_2 + \frac{c_2^2}{2} + gz_2 \right) \dot{m} = 0$$

即

$$\dot{W}_{sh} = \dot{Q} + \left(h_1 + \frac{c_1^2}{2} + gz_1 \right) \dot{m} - \left(h_2 + \frac{c_2^2}{2} + gz_2 \right) \dot{m} \quad (a)$$

其中： $\dot{Q} = -\frac{60 \times 10^3}{60} = -1000 \text{ (J/s)}$

$$\dot{m} = \frac{p_1 V}{R_g T_1} = \frac{95 \times 10^3}{287 \times (273 + 25)} \times \frac{340}{60} = 6.2944 \text{ (kg/s)}$$

$$c_1 \approx 0 \text{ m/s}$$

$$\Delta z = 0 \text{ m}$$

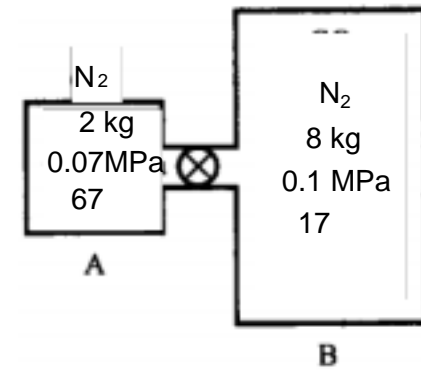
$$c_2 = \frac{\dot{m}}{p_2 A_2} = \frac{m R_g T_2}{p_2 A_2} = \frac{6.2944 \times 287 \times (273 + 120)}{200 \times 10^3 \times 0.025} = 141.99 \text{ (m/s)}$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = c_p \Delta T = (273 + 717) \times (120 - 25) = 95380.0 \text{ (J/s)}$$

将以上数据代入式 (a)，可得压气机所消耗的功率为：

$$\dot{W}_{sh} = -1000 + 6.2944 \times \left(-95380.0 - \frac{141.99^2}{2} \right) = -6.648 \times 10^5 \text{ (J/s)}$$

2. 在高温环境中有一容器，A 侧装有 2 kg 氮气，压力为 0.07 MPa，温度为 67 °C；B 侧装有 8 kg 氮气，压力为 0.1 MPa，温度为 17 °C。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 $t_2 = 40 \text{ °C}$ ，试求：平衡时终压力 P_2 ；吸热量 Q ；气体的熵变。（18 分）



解：容器 A 和 B 的容积分别为

$$V_A = \frac{m_A R_g T_{A1}}{P_{A1}} = \frac{2 \times 297 \times 340}{0.07 \times 10^6} = 2.8851 \text{ m}^3$$

$$V_B = \frac{m_B R_g T_{B1}}{P_{B1}} = \frac{8 \times 297 \times 290}{0.1 \times 10^6} = 6.8904 \text{ m}^3 \quad (4 \text{ 分})$$

取 A+B 中的气体为系统（CM），

$$m = m_A + m_B = 2 + 8 = 10 \text{ kg}$$

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

终态时的气体压力

$$P_2 = \frac{m R_g T_2}{V} = \frac{10 \times 297 \times 313}{9.7755} = 0.0951 \text{ MPa} \quad (2 \text{ 分})$$

按题给，系统不对外做功，有

$$Q = \Delta U = m c_v T_2 - c_v (m_A T_{A1} + m_B T_{B1})$$

$$= 10 \times 0.742 \times 313 - 0.742 \times (2 \times 340 + 8 \times 290) \quad (5 \text{ 分})$$

$$= 2322.46 - 2226 = 96.46 \text{ kJ}$$

原在 A 中的氮气熵变（2 分）

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

原在 B 中的氮气熵变（2 分）

$$\Delta S_B = m_B \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_B} - R_g \ln \frac{P_2}{P_B} \right) = 8 \times \left(1.039 \ln \frac{273 + 40}{273 + 17} - 0.297 \ln \frac{0.0951}{0.1} \right) = 0.7538 \text{ kJ/K}$$

全部氮气的熵变

$$\Delta S = \Delta S_A + \Delta S_B = -0.3540 + 0.7538 = 0.3998 \text{ kJ/K} \quad (1 \text{ 分})$$

3. 将 100 kg 温度为 30 °C 的水与 200 kg 温度为 80 °C 的水在绝热容器中混合，假定容器内壁与水之间也是绝热的，且水的比热容为定值，取 $c = 4.187 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ ，环境温度为 17 °C。

求混合过程导致的可用能损失？（16 分）

解：以绝热容器内水为研究对象，由其能量方程可得

$$m_1 c T_1 + m_2 c T_2 = (m_1 + m_2) c T$$

可得

$$T = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} = \frac{100 \times 303 + 200 \times 353}{100 + 200} = 336.33\text{K}$$

水的混合过程的熵变为

$$\Delta S = S_f + S_g$$

由于绝热 $S_f = 0$

$$\begin{aligned} S_g = \Delta S &= m_1 c \ln \frac{T}{T_1} + m_2 c \ln \frac{T}{T_2} \\ &= 100 \times 4.187 \ln \frac{336.33}{303} + 200 \times 4.187 \ln \frac{336.33}{353} = 3.186(\text{kJ} / \text{K}) \end{aligned}$$

混合过程的做功能力的损失为

$$I = T_0 S_g = 290 \times 3.186 = 923.94(\text{kJ})$$

工程热力学（机械 2005 级）试题参考答案

2007 -- 2008 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 05 级 总分 100 分，占总评成绩 70 %

一、 填空（每空 2 分，总计 20 分）

- 1、基本热力学状态参数有：（压力）、（温度）、（体积）。
- 2、理想气体的热力学能是温度的（单值）函数。
- 3、热力平衡的充要条件是：（系统内部及系统与外界之间各种不平衡的热力势差为零）。
- 4、不可逆绝热过程中，由于不可逆因素导致的熵增量，叫做（熵产）。
- 5、卡诺循环由（两个可逆定温和两个可逆绝热）热力学过程组成。
- 6、熵增原理指出了热力过程进行的（方向）、（限度）、（条件）。

二、 简答题（20 分）

1、(5 分) 如图 1 , 某种理想气体有两任意过程 a-b 和 a-c , 已知 b , c 在同一可逆绝热线上 , 试问 : u_{ab} 和 u_{ac} 哪个大 ?

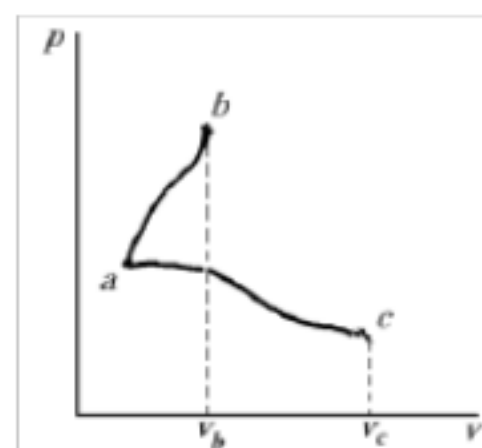


图 1

解 : (方法一)

过 b、c 分别作等温线 , 因为 $T_b > T_c$, 故 $u_b > u_c$

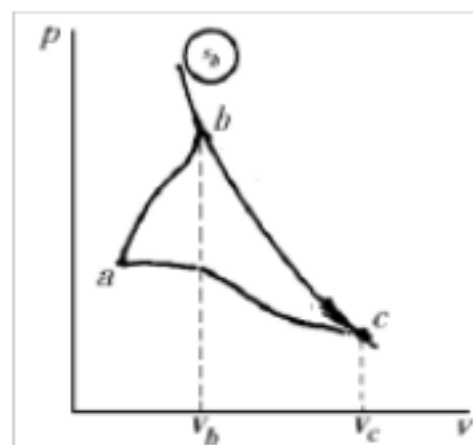
$$\text{即 } \Delta u_{ab} = u_b - u_a > \Delta u_{ac} = u_c - u_a$$

(方法二) 考虑过程 b-c

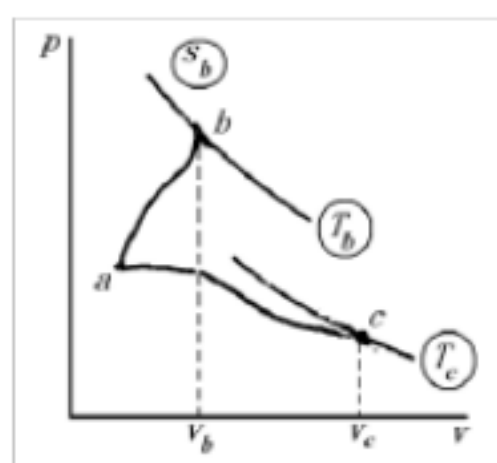
$$q = \Delta u + w = u_c - u_b + w$$

$$q = 0 \quad v_c > v_b \quad w > 0$$

$$u_b > u_c, \quad \Delta u_{ab} > \Delta u_{ac}$$



方法二



方法一

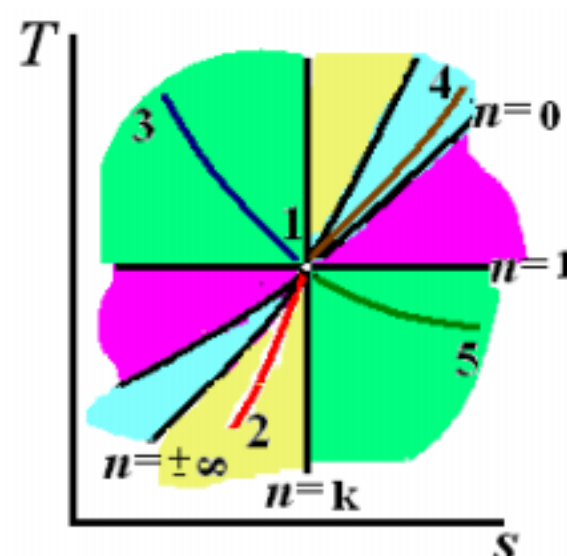


图 2

2、(5 分) 某理想气体经历 4 个过程 , 如图 2 所示。

(1) 将各过程画在 p-v 图上 , 并说明作图过程 ;

(2) 指出过程加热或放热 , 膨胀或压缩。

解 : 因为 : $q = \Delta u + w$

$$1-3 : 1 < n_{1-3} < k, \text{ 且 } T_3 > T_1 \text{ 及 } S_3 < S_1 \text{ 则有 : } \Delta u > 0, q < 0 \text{ 所以 } w < 0$$

边压缩边放热

$$1-2 : k < n_{1-2} < \infty \text{ 且 } T_2 < T_1 \text{ 及 } S_2 < S_1, \text{ 则 } \Delta u < 0, q < 0$$

$$w = \int_1^2 p dv = ||| = \frac{R_g T_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{R_g}{n-1} (T_1 - T_2)$$

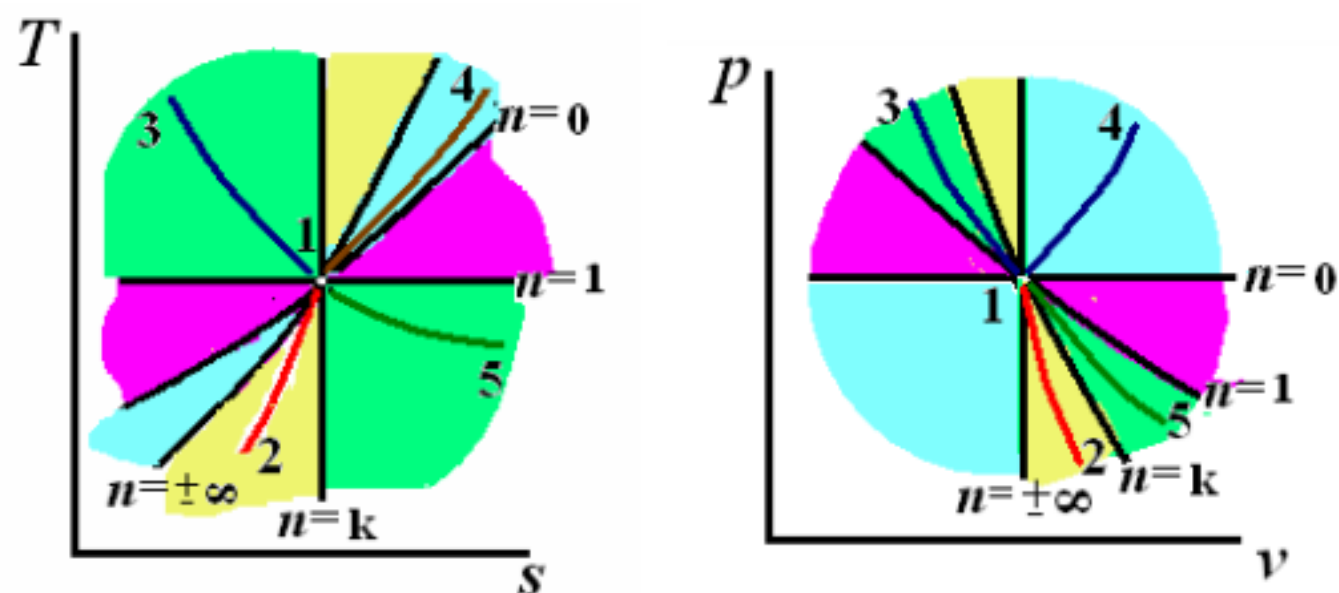
所以有 $w > 0$ 边膨胀边放热

1-4: $0 > n_{1-4} > -\infty$ 且 $T_4 > T_1$ 及 $S_4 > S_1$

$$\Delta u > 0, q > 0, w = \frac{R_g}{n-1} (T_1 - T_4) > 0 \quad \text{边膨胀边吸热}$$

1-5: $1 < n_{1-5} < k$ 且 $T_5 < T_1$ 及 $S_5 > S_1$

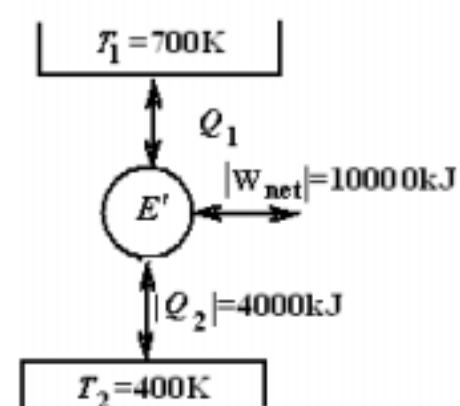
$\Delta u < 0, q > 0, w > 0$ 边膨胀边吸热边降温



3、(6分) 某循环在 700K 的热源及 400K 的冷源之间工作，如图 3 所示。

(1) 用克劳修斯积分不等式判别循环是热机循环还是制冷循环，可逆还是不可逆？(3分)

(2) 用卡诺定理判别循环是热机循环还是制冷循环，可逆还是不可逆？(3分)



解：

图 3

$$|W_{\text{net}}| = |Q_1| - |Q_2|$$

$$|Q_1| = |W_{\text{net}}| + |Q_2| = 10000\text{kJ} + 4000\text{kJ} = 14000\text{kJ}$$

方法 1：

设为热机循环

$$\oint \frac{Q}{T_r} = \frac{Q_1}{T_{r1}} - \frac{Q_2}{T_{r2}} = \frac{14000\text{kJ}}{700\text{K}} - \frac{4000\text{kJ}}{400\text{K}} = 10\text{kJ/K} > 0 \quad \text{不可能}$$

设为制冷循环：

$$\oint \frac{Q}{T_r} = -\frac{Q_1}{T_{r1}} + \frac{Q_2}{T_{r2}} = -\frac{14000\text{kJ}}{700\text{K}} + \frac{4000\text{kJ}}{400\text{K}} = -10\text{kJ/K}$$

符合克氏不等式，所以是不可逆制冷循环

方法 2：

设为热机循环

$$\eta_c = 1 - \frac{T_L}{T_h} = 1 - \frac{400\text{K}}{700\text{K}} = 0.4286 \quad \eta_t = \frac{W_{\text{net}}}{Q_1} = \frac{10000\text{kJ}}{14000\text{kJ}} = 0.7126$$

$\eta_t > \eta_c$ 不可能

设为制冷循环

$$\varepsilon_c = \frac{T_c}{T_0 - T_c} = \frac{400\text{K}}{700\text{K} - 400\text{K}} = 1.33 \quad \varepsilon = \frac{Q_2}{W_{\text{net}}} = \frac{4000\text{kJ}}{10000\text{kJ}} = 0.4$$

$\varepsilon < \varepsilon_c \Rightarrow$ 可能但不可逆，所以是不可逆制冷循环

4、（4分）请问一下几种说法正确吗？为什么？

（1）熵增大的过程必为不可逆过程；

答：不正确。熵增大的过程不一定为不可逆过程，因为熵增大包括熵流和熵产两部分，如果熵流大于 0，而熵产为 0 的可逆过程，上仍然是增大的。

（2）熵产 $s_g > 0$ 的过程必为不可逆过程。

答：正确。熵产是由于热力过程中的不可逆因素导致的，因此当熵产 $s_g > 0$ ，则此过程必定为不可逆过程。

三、计算题：（60分）

1、（15分）如图 4 所示，气缸内充以空气，活塞及负载 205kg，缸壁充分导热，活塞的初始高度为 10cm，活塞的横截面积为 100cm^2 ，气缸内的空气初始温度为 27，初始压力为 771mmHg。若取走 90kg 负载，待平衡后，求：

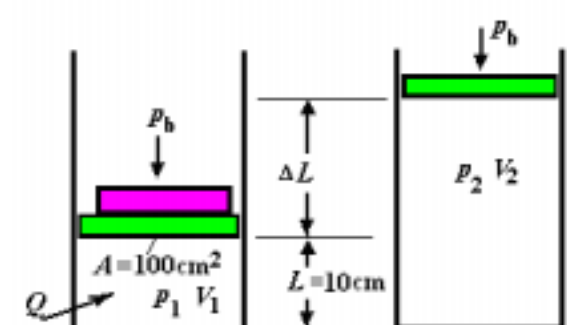


图 4

（1）活塞上升的高度；（7分）

(2) 气体在过程中作的功，已知 $\{u\}_{\text{KJ/Kg}} = 0.68\{T\}_{\text{K}}$ 。(8分)

解：缸内气体为热力系 - 闭口系。突然取走 90kg 负载，气体失去平衡，振荡后最终建立新的平衡。虽不计摩擦，但由于非准静态，故过程不可逆。但可以应用第一定律解析式。由于缸壁充分导热，所以缸内的气体在热力变化过程中的温度是不变的。

首先计算状态 1 和状态 2 的基本参数，

$$P_1 = P_b + \frac{F_1}{A} = 771 \times 133.32 + \frac{205}{100} \times 98100 = 0.3039 \text{ MPa}$$

$$V_1 = A \times h = 100 \times 10 \times 10^{-6} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T_2 = T_1$$

$$V_2 = A \times (h + \Delta h) = (h + \Delta h) \times 100 \times 10^{-6} = (10 + \Delta h) \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$P_2 = P_b + \frac{F_2}{A} = 771 \times 133.32 + \frac{205 - 90}{100} \times 98100 = 0.2156 \text{ MPa}$$

(1) 求活塞上升的高度：

$$\text{过程中质量不变，且等于} \quad m_1 = \frac{P_1 V_1}{R_g T_1} = m_2 = \frac{P_2 V_2}{R_g T_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1}{P_2} V_1 = \frac{0.3039}{0.2156} \times 10^{-3} = (10 + \Delta h) \times 10^{-4}$$

$$\Delta h = 4.1 \text{ cm}$$

(2) 气体在过程中作的功

根据热力学第一定律， $Q = \Delta U + W$ ，以及 $\Delta U = U_1 - U_2 = m_2 u_2 - m_1 u_1$

由于 $m_2 = m_1$ ， $\{u\}_{\text{KJ/Kg}} = \{T\}_{\text{K}}$ 且 $T_1 = T_2$ ， $\Delta u = 0$

由于不计摩擦气体所做的功， W 分为两部分：

W_1 位克服大气所做的功； W_2 位活塞位能的增加量

$$\text{则 } W_2 = \Delta E_p = mgh = (205 - 90) \times 9.81 \times 4.1 \times 10^{-2} = 46.25 \text{ J}$$

$$W_1 = P_b A \times \Delta h = 771 \times 133.32 \times 100 \times 10^{-4} \times 4.1 \times 10^{-2} = 42.14 \text{ J}$$

$$\Rightarrow W = W_1 + W_2 = 46.25 + 42.14 = 88.4 \text{ J}$$

$$\text{或者，} W = p_2 A \Delta H = 0.2156 \times 10^6 \text{ Pa} \times 100 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 4.1 \times 10^{-2} \text{ m} = 88.4 \text{ J}$$

2、(10分) 100kg 空气从 0.1MPa，100 变化到 0.5MPa，1000 。按照以下三

种不同的方法求热力学能的变化量 ΔU_{12} 、焓的变化量 ΔH_{12} 、过程热量 (Q_V 和 Q_p)

(1) 按定值比热容求; (3分)

(2) 按平均比热直线关系式求; (3分)

(3) 按平均比热表求 (4分)

解: 空气、压力不太高, 作理想气体处理, 对于理想气体的任何一种过程, 下列各式都成立:

$$\Delta u = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT \quad \Delta h = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT$$

(1) 按定值比热容

$$C_{vm} = \frac{5}{2} R = \frac{5}{2} \times 8.3145 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} = 20.786 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

$$c_v = \frac{C_{vm}}{M} = \frac{20.786 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}}{28.9 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 718 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$C_{pm} = \frac{7}{2} R = \frac{7}{2} \times 8.3145 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} = 29.101 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

$$c_p = \frac{C_{pm}}{M} = \frac{29.101 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}}{28.9 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 1005 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$\Delta u = c_v \Delta T = 718 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \times (1000 - 100) \text{ K} = 646.2 \text{ kJ/kg} = q_v$$

$$\Delta h = c_p \Delta T = 1005 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \times (1000 - 100) \text{ K} = 904.5 \text{ kJ/kg} = q_p$$

$$\Delta U_{12} = m \times \Delta u = 100 \text{ kg} \times 646.2 \text{ kJ/kg} = 64620 \text{ kJ} = Q_V$$

$$\Delta H_{12} = m \times \Delta h = 100 \text{ kg} \times 904.5 \text{ kJ/kg} = 90450 \text{ kJ} = Q_p$$

(2) 按平均比热直线关系式

$$c_v \Big|_{t_1}^{t_2} = 0.7088 + 0.93 \times 10^{-4} (100 + 1000) = 0.8111 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$c_p \Big|_{t_1}^{t_2} = 0.9956 + 0.93 \times 10^{-4} (100 + 1000) = 1.0929 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$\Delta u = c_v \Big|_{t_1}^{t_2} \Delta t = 0.8111 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \times 900^\circ \text{C} = 729.9 \text{ kJ/kg} = q_v$$

$$\Delta h = c_p \Big|_{t_1}^{t_2} \Delta t = 1.0979 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \times 900^\circ \text{C} = 988.1 \text{ kJ/kg} = q_p$$

$$\Delta U_{12} = m \times \Delta u = 100 \text{ kg} \times 729.9 \text{ kJ/kg} = 72990 \text{ kJ} = Q_V$$

$$\Delta H_{12} = m \times \Delta h = 100 \text{ kg} \times 988.1 \text{ kJ/kg} = 98810 \text{ kJ} = Q_p$$

(3) 按平均比热表

$$c_p \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{c_p \Big|_0^{t_2} \times t_2 - c_p \Big|_0^{t_1} \times t_1}{t_2 - t_1} = \frac{c_p \Big|_0^{1000} \times 1000 - c_p \Big|_0^{100} \times 100}{1000 - 100}$$

$$\text{查表} \quad c_p \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{c_p \Big|_0^{1000} \times 1000 - c_p \Big|_0^{100} \times 100}{1000 - 100} = 1.1004 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$c_v \Big|_{t_1}^{t_2} = c_p \Big|_{t_1}^{t_2} - R_g = 0.8134 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$\Delta u = c_v \Big|_{t_1}^{t_2} \Delta t = 732.1 \text{kJ}/\text{kg} = q_v$$

$$\Delta h = c_p \Big|_{t_1}^{t_2} \Delta t = 990.4 \text{kJ}/\text{kg} = q_p$$

$$\Delta U_{12} = m \times \Delta u = 100 \text{kg} \times 732.1 \text{kJ}/\text{kg} = 73210 \text{kJ} = Q_v$$

$$\Delta H_{12} = m \times \Delta h = 100 \text{kg} \times 990.4 \text{kJ}/\text{kg} = 99040 \text{kJ} = Q_p$$

3、(10 分) 封闭气缸中气体初态 $p_1=8\text{MPa}$, $t_1=1300$, 经过可逆多变膨胀过程变化到终态 $p_2=0.4\text{MPa}$, $t_2=400$ 。已知该气体的气体常数 $R_g=0.287\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 比热容为常数 , $c_v=0.716 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

(1) 求多变过程的多变指数 ; (4 分)

(2) 求多变过程的膨胀功 ; (3 分)

(3) 试判断气体在该过程中各是放热还是吸热的 ? (3 分)

解 : (1) 1 到 2 是可逆多变过程 , 对初 , 终态用理想气体状态方程式有

$$v_1 = \frac{R_g T_1}{p_1} = \frac{287 \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \times (1300 + 273) \text{K}}{8 \times 10^6 \text{Pa}} = 0.05643 \text{m}^3 / \text{kg}$$

$$v_2 = \frac{R_g T_2}{p_2} = \frac{287 \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \times (400 + 273) \text{K}}{0.4 \times 10^6 \text{Pa}} = 0.48288 \text{m}^3 / \text{kg}$$

所以多变指数

$$n = \frac{\ln(p_1 / p_2)}{\ln(v_2 / v_1)} = \frac{\ln(8 \times 10^6 \text{Pa} / 0.4 \times 10^6 \text{MPa})}{\ln(0.48288 \text{m}^3 / \text{kg} / 0.05643 \text{m}^3 / \text{kg})} = 1.395$$

(2) 多变过程的膨胀功

$$w = \frac{R_g}{n-1} (T_1 - T_2) = \frac{287 \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})}{1.395 - 1} (1573 - 673) \text{K} = 653.92 \text{kJ}/\text{kg}$$

(3) 多变过程的热量

$$\begin{aligned} q &= \Delta u + w = c_v (T_2 - T_1) + w \\ &= 0.716 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \times (673 - 1573) \text{K} + 653.92 \text{kJ}/\text{kg} \\ &= 9.52 \text{kJ}/\text{kg} > 0 \end{aligned}$$

故该可逆多变膨胀过程是吸热过程

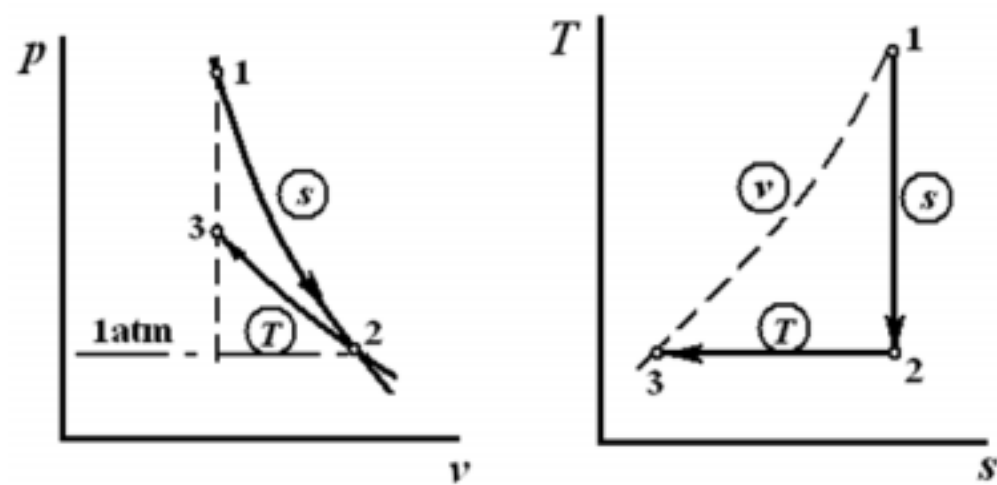
4、(15 分) 0.5kmol 某种单原子理想气体 , 由 25 , 2m³可逆绝热膨胀到 1atm , 然后在此状态的温度下定温可逆压缩回到 2m³。

(1) 画出各过程的 p-v 图及 T-s 图 ; (5 分)

(2) 计算整个过程的 Q , W , U , H 及 S₀ (10 分)

解 :

(1) 画出各过程的 p-v 图及 T-s 图



(2) 先求各状态参数

$$p_1 = \frac{nRT_1}{V_1} = \frac{500\text{mol} \times 8.314\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times (273 + 25)\text{K}}{2\text{m}^3} \\ = 6.19393 \times 10^5 \text{Pa} = 6.11\text{atm}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 298\text{K} \times \left(\frac{1\text{MPa}}{6.11\text{MPa}} \right)^{\frac{1.67-1}{1.67}} = 144.26\text{K}$$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 2\text{m}^3 \times \left(\frac{6.11\text{MPa}}{1\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{1.67}} = 5.906\text{m}^3$$

$$T_3 = T_2 = 144.26\text{K} \quad V_3 = V_1 = 2\text{m}^3$$

$$p_3 = \frac{500\text{mol} \times 8.314\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 144.26\text{K}}{2\text{m}^3} = 299855\text{Pa}$$

等温过程 : 热量 = 膨胀功 = 技术功

$$Q = Q_{1-2} + Q_{2-3} = Q_{2-3} = W_{T2-3} = nRT \ln \frac{V_3}{V_2} \\ = 500\text{mol} \times 8.314\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 144.26\text{K} \times \ln \frac{2\text{m}^3}{5.906\text{m}^3} \\ = -649.4\text{kJ}$$

所以 , 放热

$$\begin{aligned}
W &= W_{1,2} + W_{2,3} = (U_1 - U_2) + W_{T2,3} \\
&= nC_{vm} (T_1 - T_2) + nRT \ln \frac{V_3}{V_2} \\
&= 500 \text{ mol} \times 3 \times 4.1868 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \times (298 - 144.26) \text{ K} + (-649.4) \text{ kJ} \\
&= 316.12 \text{ kJ} \\
\Delta U_{1,3} &= Q_{1,3} - W_{1,3} \\
&= -649.4 \text{ kJ} - 316.62 \text{ kJ} = -965.52 \text{ kJ} \\
\Delta H_{1,3} &= nC_{pm} (T_3 - T_1) = \Delta U + \Delta(pV) \\
&= -965.52 \text{ kJ} + (299.855 - 619.393) \text{ kPa} \times 2 \text{ m}^3 \\
&= 1604.6 \text{ kJ} \\
\Delta S_{1,3} &= n \left[C_{vm} \ln \frac{T_3}{T_1} + R \ln \frac{V_3}{V_1} \right] \\
&= 500 \text{ mol} \times 3 \times 4.1868 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \times \ln \frac{144.26 \text{ K}}{298 \text{ K}} \\
&= -4.56 \text{ kJ/K}
\end{aligned}$$

5、(10分) 压气机空气由 $P_1=100\text{kPa}$, $T_1=400\text{K}$, 定温压缩到终态 $P_2=1000\text{kPa}$, 过程中实际消耗功比可逆定温压缩消耗轴功多 25%。设环境温度为 $T_0=300\text{K}$ 。

求：(1) 压气机实际消耗轴功；(4分)

(2) 压缩 1kg 气体的总熵变。(6分)

解：取压气机为控制体。

(1) 按可逆定温压缩消耗轴功：

$$W_{so} = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = RT \ln \frac{P_1}{P_2} = 0.287 \times 400 \ln \frac{100}{1000} = -264.3 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{实际消耗轴功： } W_s = 1.25(-264.3) = -330.4 \text{ kJ/kg}$$

(2) 由开口系统能量方程，忽略动能、位能变化： $W_s + h_1 = q + h_2$

因为理想气体定温过程： $h_1 = h_2$

$$\text{故： } q = W_s = -330.4 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{孤立系统熵增： } \Delta S_{iso} = \Delta S_{sys} + \Delta S_{sur}$$

$$\text{稳态稳流： } \Delta S_{sys} = 0$$

$$\begin{aligned}\Delta S_{sur} &= S_2 - S_1 + \frac{q}{T_0} = R \ln \frac{P_1}{P_2} + \frac{q}{T_0} \\ &= 0.287 \ln \frac{100}{1000} + \frac{330.4}{300} = 0.44 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}\end{aligned}$$