

中国科学技术大学  
2014-2015 学年第二学期考试试卷

考试科目: 工程热力学

得分: \_\_\_\_\_

学生所在系: \_\_\_\_\_ 姓名: \_\_\_\_\_ 学号: \_\_\_\_\_

一、简要比较下列各对概念 (每小题 5 分, 共 50 分)

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| (1) 闭口系统与开口系统;  | (6) 三相点与临界点;    |
| (2) 准静态过程与可逆过程; | (7) 绝对湿度与相对湿度;  |
| (3) 熵流与熵产;      | (8) 过热与过冷;      |
| (4) 自由能与自由焓;    | (9) 回热与再热;      |
| (5) 理想气体与实际气体;  | (10) 制冷系数与供暖系数。 |

答: (1) 物质不能透过边界, 即与外界无质量交换只能有能量交换的热力系统, 称为闭口系统。

物质可以透过边界, 即与外界既可有质量交换又可有能量交换的热力系统, 称为开口系统。闭口系统控制质量。开口系统控制空间范围。

(2) 热力系所进行的状态变化无限缓慢因而无限接近于平衡状态的过程称为准静态过程或准平衡过程。可逆过程是指变化过程可以逆行即系统和外界均能复原的过程。准静态过程着眼于系统所经历的状态, 可逆过程着眼于过程所产生的效果。可逆过程一定是准静态过程, 而准静态过程不一定是可逆过程。

(3) 系统熵的变化  $dS$  有两个来源: 一是由外界与其换热的热流引起的称为熵流

$$\delta S_f = \frac{\delta Q}{T_r}, \text{ 一是由不可逆因素导致的称为熵产 } \delta S_g, \text{ 即 } dS = \delta S_f + \delta S_g。 \text{ 熵}$$

流只是一个物体的熵向另一个物体的迁移, 它不增加自然界的总熵; 而熵产则是自然界熵增加的真正来源。

(4)  $F = U - TS$  称为自由能, 它是定温-定容系统的内能中可用于做功的部分;  
 $G = H - TS$  称为自由焓, 它是定温-定压系统的焓中可用于做功的部分。

(5) 不考虑分子所占的体积及分子间的相互作用力的假想气体称为理想气体, 反之即为实际气体。

(6) 相图上工质三条相界线的交点为其气、液、固三相平衡共存的状态点, 称

为三相点。气化线随温度压力的升高有一上端点，称为临界点。它是饱和液线和饱和气线的交点，此处工质的液态和气态具有相同的状态参数，称为临界状态。

- (7) 湿空气的绝对湿度是指单位体积湿空气中包含的水蒸气的质量，也即水蒸气的密度  $\rho_v$ 。湿空气的绝对湿度  $\rho_v$  与同温度下饱和空气的绝对湿度  $\rho_s$  的比

值称为相对湿度  $\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_s} \approx \frac{p_v}{p_s}$ 。它更准确地反映了空气的潮湿程度即吸水

能力。

- (8) 物质两相平衡的状态称为饱和状态，其温度与压力是一一对应的。若物质的温度高于相应压力下的饱和温度或压力低于相应温度下的饱和压力称为过热。反之则称为过冷。
- (9) 将工质在热力循环末段的放热返用于其初段的加热这种以提高热效率为目的在工质内部交换热量的方法称为回热。若加热过的工质膨胀到某一中间压力时被引出再次加热则称为再热。再热不仅是要提高热效率，同时还有别的装置上的考虑，如提高干度。

- (10) 衡量制冷机工作性能的系数称为制冷系数，其定义  $\varepsilon = \frac{Q_2}{W}$ ，即从低温热源取出的热量与输入的功之比。衡量热泵工作性能的系数称为供暖系数，其定义  $\varepsilon' = \frac{Q_1}{W}$ ，即向高温热源输送的热量与输入的功之比。

## 二、试推导满足范德瓦尔方程

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = R_g T$$

气体的内能变化关系式

(10 分)

解：由热力学函数一般关系式之第一  $du$  方程

$$du = c_v dT - \left[ p - T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \right] dv$$

可得

$$\Delta u = \int_1^2 \left\{ c_v dT - \left[ p - T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \right] dv \right\}$$

对于范式气体

$$p = \frac{R_g T}{v-b} - \frac{a}{v^2}, \quad \text{有} \quad \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \frac{R_g}{v-b}, \quad \text{则} \quad p - T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = -\frac{a}{v^2}$$

故

$$\Delta u = \int_1^2 c_v dT + a \left( \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right)$$

三、初速为亚音速的气流流过收缩喷管，若初压、背压及喷管尺寸均无变化，只是初温提高了，问喷管出口的气流速度及流量是否变化？为什么？（10分）

解：由 喷管能量方程  $h_1 + \frac{1}{2}c_1^2 = h_2 + \frac{1}{2}c_2^2$

$$\begin{aligned} c_2^2 &= 2(h_1 - h_2) + c_1^2 = 2c_p(T_1 - T_2) + c_1^2 = 2c_p T_1 \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) + c_1^2 \\ &= 2c_p T_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right] + c_1^2 \end{aligned}$$

得 初温  $T_1$  提高，出口速度  $c_2$  增加。

$$\text{由流量公式} \quad \dot{m}_2 = \frac{A_2 c_2}{v_2} = \dot{m}_1 = \frac{A_1 c_1}{v_1} = \frac{A_1 c_1}{\frac{R_g T_1}{p_1}} = \frac{A_1 c_1 p_1}{R_g T_1}$$

得 初温  $T_1$  提高，出口流量  $\dot{m}_2$  减小。

四、为开动鱼雷，在鱼雷中储存了压力  $p=150\text{bar}$  的压缩空气，其体积  $V=0.18\text{m}^3$ ，温度等于海水温度  $t=t_0=15^\circ\text{C}$ 。假定控制鱼雷在海面下  $5\text{m}$  深处运动，试求鱼雷的空气发动机所能做出的最大有用功。设海面上的大气压力  $p_b=1\text{bar}$ ，

$1\text{bar}=0.1\text{MPa}$ ， $1\text{mmH}_2\text{O}=9.81\text{Pa}$ 。（15分）

解：海面下  $5\text{m}$  处的压力  $p_0 = 10^5\text{Pa} + 5000 \times 9.81\text{Pa} = 1.491\text{bar}$

设鱼雷气瓶内压缩空气膨胀至与海水环境平衡时的体积  $V_0$ ，由

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0}, \quad \text{及} \quad T = T_0 \quad \text{得} \quad V_0 = \frac{pV}{p_0} = \frac{150}{1.491} \times 0.18 = 18.11\text{m}^3$$

$$\text{空气质量 } m = \frac{pV}{R_g T}$$

则其可用能

$$\begin{aligned} E_x &= (U + p_0 V - T_0 S) - (U_0 + p_0 V_0 - T_0 S_0) = mc_v(T - T_0) + p_0(V - V_0) - mT_0(s - s_0) \\ &= m[c_v(T - T_0) - T_0(s - s_0)] + p_0(V - V_0) \\ &= p_0(V - V_0) + \frac{pV}{R_g T} \left\{ c_v(T - T_0) - T_0 \left[ (c_v + R_g) \ln \frac{T}{T_0} - R_g \ln \frac{p}{p_0} \right] \right\} \end{aligned}$$

由题给  $T = T_0$ ，故

$$\begin{aligned} E_x &= p_0(V - V_0) + pV \ln \frac{p}{p_0} \\ &= 1.491 \times 10^5 (0.18 - 18.11) + 150 \times 10^5 \times 0.18 \ln \frac{150}{1.491} = 97.77 \times 10^5 \text{ J} = 9777 \text{ kJ} \end{aligned}$$

故鱼雷的空气发动机所能做出的最大有用功为 9777 kJ。

五、 某理想气体动力循环，空气从初始参数  $p_1 = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $t_1 = 15^\circ \text{C}$ ，

$V_1 = 0.014 \text{ m}^3$ ，绝热压缩到  $V_2 = 0.0028 \text{ m}^3$ ，再定容加热到  $p_3 = 18.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，

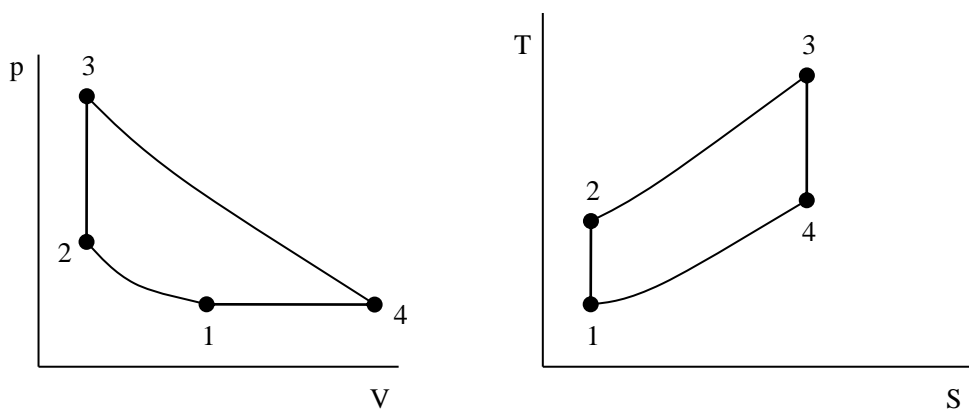
然后绝热膨胀到  $p_4 = p_1$ ，最后定压放热到初始状态完成循环。设空气的定压

比热  $c_p = 1.004 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ，定容比热  $c_v = 0.717 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ，气体常数

$R_g = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ ，试计算：

- (1) 循环热效率；(2) 循环净功量；(3) 同温度范围卡诺循环热效率。  
(15 分)

解：循环的 p-V 图与 T-S 图



先确定各状态点温度

$$T_1 = 273 + 15 = 288K ;$$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} = 288 \left( \frac{0.014}{0.0028} \right)^{1.4-1} = 548K ;$$

$$T_3 = T_2 \frac{p_3}{p_2} , \quad \text{其中} \quad p_2 = p_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa} = 1.01 \times 10^5 \times 5^{1.4} = 9.61 \times 10^5 Pa ,$$

$$T_3 = 548 \times \frac{18.5}{9.61} = 1054K ; \quad T_4 = T_3 \left( \frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 1054 \left( \frac{1.01}{18.5} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 459K .$$

(1) 循环热效率

$$\eta_t = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\kappa(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1.4(459 - 288)}{1054 - 548} = 0.527$$

(2) 循环净功量

$$\text{空气质量 } m = \frac{p_1 V_1}{R_g T_1} = \frac{1.01 \times 10^5 \times 0.014}{287 \times 288} = 0.0171kg$$

$$\text{循环吸热量 } Q_1 = mc_v(T_3 - T_2) = 0.0171 \times 0.717 \times (1054 - 548) = 6.2kJ$$

$$\text{循环净功量 } W = \eta_t Q_1 = 0.527 \times 6.2 = 3.27kJ$$

(3) 同温度范围卡诺循环热效率

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{288}{1054} = 0.727$$