

第三章 气体和蒸气的性质

3-1 已知氮气的摩尔质量 $M = 28.1 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$, 求: (1) N_2 的气体常数 R_g ; (2) 标准状态下 N_2 的比体积 v_0 和密度 ρ_0 ; (3) 标准状态 1 m^3 N_2 的质量 m_0 ; (4) $p = 0.1 \text{ MPa}$, $t = 500^\circ\text{C}$ 时 N_2 的比体积 v 和密度 ρ ; (5) 上述状态下的摩尔体积 V_m 。

提示和答案: $R_{g,\text{N}_2} = \frac{R}{M_{\text{N}_2}} = 0.297 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$; $v_{\text{N}_2} = 0.8 \text{ m}^3/\text{kg}$ 、 $\rho_{\text{N}_2} = 1.25 \text{ kg/m}^3$;

$m_0 = 1.25 \text{ kg}$; $v = 2.296 \text{ m}^3/\text{kg}$ 、 $\rho = 0.435 \text{ kg/m}^3$; $V_{m,\text{N}_2} = 64.29 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ 。

3-2 压力表测得储气罐中丙烷 C_3H_8 的压力为 4.4 MPa , 丙烷的温度为 120°C , 问这时比体积多大? 若要储气罐存 1000 kg 这种状态的丙烷, 问储气罐的体积需多大?

提示和答案: $v = 0.01688 \text{ m}^3/\text{kg}$ 、 $V = 16.88 \text{ m}^3$ 。

3-3 供热系统矩形风管的边长为 $100 \times 175 \text{ mm}$, 40°C 、 102 kPa 的空气在管内流动, 其体积流量是 $0.0185 \text{ m}^3/\text{s}$, 求空气流速和质量流量。

提示和答案: $c_f = \frac{q_v}{A} = 1.06 \text{ m/s}$ 、 $q_m = \frac{p q_v}{R_g T} = 0.020 \text{ kg/s}$ 。

3-4 一些大中型柴油机采用压缩空气启动, 若启动柴油机用的空气瓶体积 $V = 0.3 \text{ m}^3$, 内装有 $p_1 = 8 \text{ MPa}$, $T_1 = 303 \text{ K}$ 的压缩空气, 启动后瓶中空气压力降低为 $p_2 = 4.6 \text{ MPa}$, $T_2 = 303 \text{ K}$, 求用去空气的质量。

提示和答案: 钢瓶体积不变, $m_1 - m_2 = \frac{V(p_1 - p_2)}{R_g T_1} = 11.73 \text{ kg}$ 。

3-5 空气压缩机每分钟从大气中吸入温度 $t_b = 17^\circ\text{C}$, 压力等于当地大气压力 $p_b = 750 \text{ mmHg}$ 的空气 0.2 m^3 , 充入体积为 $V = 1 \text{ m}^3$ 的储气罐中。储气罐中原有空气的温度 $t_1 = 17^\circ\text{C}$, 表压力 $p_{e1} = 0.05 \text{ MPa}$ 。问经过多长时间储气罐内气体压力才能提高到 $p_2 = 0.7 \text{ MPa}$, 温度 $t_2 = 50^\circ\text{C}$?

提示和答案: 充气前气罐里空气质量 $m_1 = \frac{p_1 V}{R_g T_1} = \frac{517.21}{R_g}$, 充气后 $m_2 = \frac{p_2 V}{R_g T_2} = \frac{2167.18}{R_g}$,

压气机吸气质量流率 $q_{m_{in}} = \frac{p_{in} q_{V_{in}}}{R_g T_{in}} = \frac{p_b q_{V_{in}}}{R_g T_{in}} = \frac{68.96}{R_g}$, 由质量守恒 $\tau = \frac{m_2 - m_1}{q_{m_{in}}} = 23.93 \text{ min}$ 。

3-6 锅炉燃烧需要的空气量折合标准状态为 $5000 \text{ m}^3/\text{h}$, 鼓风机实际送入的是温度为 250°C 、表压力为 150 mmHg 的热空气。已知当地大气压力为 $p_b = 765 \text{ mmHg}$ 。设煤燃烧后产生的烟气量与空气量近似相同, 烟气通过烟囱排入上空, 已知烟囱出口处烟气压力为 $p_2 = 0.1 \text{ MPa}$ 温度 $T_2 = 480 \text{ K}$ (参见图 3-1)。要求烟气流速为 $c_f = 3 \text{ m/s}$ 。求 (1) 热空气实际状态的体积流量 $q_{V_{in}}$; (2) 烟囱出口内直径的设计尺寸。

提示和答案: (1) 送入锅炉的空气质量 $q_n = \frac{q_{V_0}}{q_{V_{m,0}}} = 0.062 \text{ kmol/s}$, 实际送风的体积流

率 $q_{V_{in}} = \frac{q_n RT}{p} = 7962.7 \text{ m}^3/\text{h}$ 。(2) 烟囱出口处烟气体积流量 $q_{V_{out}} = \frac{q_n RT_2}{p_2} = 2.4745 \text{ m}^3/\text{s}$,

烟囱出口截面直径 $d = \sqrt{\frac{4q_{V_{out}}}{\pi c_f}} = 1.025 \text{ m}$ 。

3-7 烟囱底部烟气的温度为 250°C , 顶部烟气的温度为 100°C , 若不考虑顶、底部两截面间压力微小的差异, 欲使烟气以同样的速度流经此两截面, 求顶、底部两截面面积之比。

提示和答案: 烟囱顶、底部两截面上质量流量相同 $\frac{A_2 c_{f2}}{v_2} = \frac{A_1 c_{f1}}{v_1}$, 流速相同 $c_{f2} = c_{f1}$,

$\frac{A_2}{A_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{q_{V_2}/q_{m_2}}{q_{V_1}/q_{m_1}} = \frac{q_{V_2}}{q_{V_1}} = 1:1.4$ 。

3-8 截面积 $A = 100 \text{ cm}^2$ 的气缸内充有空气, 活塞距底面高度 $h = 10 \text{ cm}$, 活塞及负载的总质量是 195 kg (见图 3-2)。已知当地大气压力 $p_0 = 771 \text{ mmHg}$, 环境温度为 $t_0 = 27^\circ\text{C}$, 气缸内空气外界处于热力平衡状态, 现将其负载取去 100 kg , 活塞将上升, 最后与环境重新达到热力平衡。设空气可以通过气缸壁充分与外界换热, 达到热力平衡时, 空气的温度等于环境大气的温度。求活塞上升的距离, 空气对外作出的功以及与环境的换热量。

提示和答案: 缸内气体的初始压力为 $p_1 = p_b + \frac{m_1 g}{A} = 0.294 \text{ MPa}$, 取走负载重新建立

热力平衡后，因活塞与气缸壁间无摩擦，又能充分与外界交换热量，气缸内压力与温度等

于外界的压力与温度，故 $T_2 = T_1 = 300\text{K}$ ， $p_2 = p_b + \frac{m_2 g}{A} = 0.196\text{MPa}$ 。由于 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ ，

$V_2 = \frac{p_1}{p_2} V_1 = 1.5 \times 10^{-3} \text{m}^3$ ，上升距离 $\Delta H = \frac{\Delta V}{A} = 5\text{cm}$ 。缸内气体所做的功等于克服外力的

功，故 $W = p_2 A \Delta H = 98\text{J}$ ，理想气体 $T_2 = T_1$ 时必有 $U_2 = U_1$ ，所以 $Q = \Delta U + W = W = 98\text{J}$ 。

3-9 空气初态时 $T_1 = 480\text{K}$ ， $p_1 = 0.2\text{MPa}$ ，经某一状态变化过程被加热到 $T_2 = 1100\text{K}$ ，

这时 $p_2 = 0.5\text{MPa}$ 。求 1kg 空气的 u_1 、 u_2 、 Δu 、 h_1 、 h_2 、 Δh 。(1) 按平均质量热容表；(2)

按空气的热力性质表；(3) 若上述过程为定压过程，即 $T_1 = 480\text{K}$ ， $T_2 = 1100\text{K}$ ，

$p_1 = p_2 = 0.2\text{MPa}$ ，问这时的 u_1 、 u_2 、 Δu 、 h_1 、 h_2 、 Δh 有何改变？(4) 为什么由气体性质

表得出的 u 、 h 与平均质量热容表得出的 u 、 h 不同？两种方法得出的 Δu 、 Δh 是否相同？

为什么？

提示和答案： (1) 由附表 5 查出

$$c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} = 1.0125 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}), \quad c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} = 1.0737 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$c_v \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} = c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} - R_g = 0.7255 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}), \quad c_v \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} = c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} - R_g = 0.7867 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$u_1 = c_v \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} t_1 = 150.2 \text{kJ}/\text{kg}, \quad u_2 = c_v \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} t_2 = 650.6 \text{kJ}/\text{kg}, \quad \Delta u = u_2 - u_1 = 500.4 \text{kJ}/\text{kg}$$

$$h_1 = c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} t_1 = 209.6 \text{kJ}/\text{kg}, \quad h_2 = c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} t_2 = 887.9 \text{kJ}/\text{kg}, \quad \Delta h = h_2 - h_1 = 678.3 \text{kJ}/\text{kg}。$$

(2) 利用空气的热力性质 (附表 8) 查得 $h_1 = 484.49 \text{kJ}/\text{kg}$ ， $h_2 = 1162.95 \text{kJ}/\text{kg}$ 。

$$u_1 = h_1 - R_g T_1 = 46.73 \text{kJ}/\text{kg}, \quad u_2 = h_2 - R_g T_2 = 847.25 \text{kJ}/\text{kg}, \quad \Delta u = u_2 - u_1 = 500.52 \text{kJ}/\text{kg}。$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 678.46 \text{kJ}/\text{kg}。$$

(3) 因为理想气体的 u 、 h 只是温度的函数，而与压力的大小无关，所以不论过程是否定压，只要是 $T_1 = 480\text{K}$ ， $T_2 = 1100\text{K}$ 不变，则 u_1 、 u_2 、 h_1 、 h_2 的数值与上相同，当然 Δu 、 Δh 也不会改变；

(4) 用气体性质表得出的 u 、 h 是以 0K 为计算起点，而用比热表求得的 u 、 h 是以 0°C 为计算起点，故 u 、 h 值不同，但两种方法得出的 Δu 、 Δh 是相同的。

3-10 体积 $V = 0.5\text{m}^3$ 的密闭容器中装有 27°C 、 0.6MPa 的氧气，加热后温度升高到 327°C ，求加热量 Q_V ：(1) 按定值比热容；(2) 按平均热容表；(3) 按理想气体状态的比热容式；(4) 按平均比热容直线关系式；(5) 按气体热力性质表。

提示和答案： (1) 由低压气体质量热容（附表 3）查得 $T_1 = 300\text{K}$ 和 $T_2 = 600\text{K}$ 时比定容热容分别为 $c_{V1} = 0.658\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ， $c_{V2} = 0.742\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，取比热容为算术平均值

$$c_V \Big|_{300\text{K}}^{600\text{K}} = 0.7005\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})。由理想气体的状态方程式求得 $m = \frac{p_1 V}{R_g T} = 3.846\text{k}$ ，所以$$

$$Q_V = mc_V \Big|_{300\text{K}}^{600\text{K}} (T_2 - T_1) = 808.27\text{kJ}；$$

$$(2)，由光盘附表 7 中查出 $C_{p,m} \Big|_{0^\circ\text{C}}^{27^\circ\text{C}} = 29.345\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ， $C_{p,m} \Big|_{0^\circ\text{C}}^{327^\circ\text{C}} = 30.529\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 。$$

$$C_{V,m} \Big|_{0^\circ\text{C}}^{27^\circ\text{C}} = C_{p,m} \Big|_{0^\circ\text{C}}^{27^\circ\text{C}} - R = 21.031\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})，C_{V,m} \Big|_{0^\circ\text{C}}^{327^\circ\text{C}} = C_{p,m} \Big|_{0^\circ\text{C}}^{327^\circ\text{C}} - R = 22.215\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})，$$

$$\text{因 } n = \frac{p_1 V}{RT_1} = 120.3\text{mol}，Q_V = n(C_{V,m} \Big|_0^{t_2} - C_{V,m} \Big|_0^{t_1}) = 805.59\text{kJ}。$$

(3) 由光盘附表 5-2 中查出氧气的真实摩尔定压热容为

$$\frac{C_{p,m}}{R} = 3.626 - 1.878 \times 10^{-3} T + 7.055 \times 10^{-6} T^2 - 6.764 \times 10^{-9} T^3 + 2.156 \times 10^{-12} T^4$$

$$\text{因 } \frac{C_{V,m}}{R} = \frac{C_{p,m}}{R} - 1，Q_V = n \int C_{V,m} dT = nR \int \frac{C_{V,m}}{R} dT，代入积分得 $Q_V = 805.95\text{kJ}。$$$

$$(4) 由附表 6 查得 $c_V \Big|_{t_1}^{t_2} = 0.6 + 5.9 \times 10^{-4} (t_2 - t_1)$ ，$$

$$Q_V = mc_V \Big|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) = 804.31\text{kJ}。$$

$$(5) 由附表 8 查得氧气摩尔焓计算热力学能， $Q_V = n(U_{m,2} - U_{m,1}) = 805.34\text{kJ}。$$$

3-11 某种理想气体初态时 $p_1 = 520\text{kPa}$ ， $V_1 = 0.1419\text{m}^3$ 经过放热膨胀过程，终态 $p_2 = 170\text{kPa}$ ， $V_2 = 0.2744\text{m}^3$ ，过程焓值变化 $\Delta H = -67.95\text{kJ}$ ，已知该气体的质量定压热容 $c_p = 5.20\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，且为定值。求：(1) 热力学能变化量；(2) 比定容热容和气体常数 R_g 。

提示和答案： (1) $\Delta U = \Delta H - \Delta(pV) = 40.81\text{kJ}$ ；(2) 定值热容时 $\Delta U = mc_V \Delta T$ ，

$$\Delta H = mc_p \Delta T, \text{ 所以 } c_v = \frac{c_p}{\Delta H / \Delta U} = 3.123 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}), R_g = c_p - c_v = 2.077 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}).$$

3-12 初态温度 $t_1 = 280^\circ\text{C}$ 的 2 kg 理想气体定容吸热 $Q_v = 367.6\text{kJ}$, 同时输入搅拌功 468.3kJ (图 3-3)。若过程中气体的平均比热容为 $c_p = 1124\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $c_v = 934\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 求: (1) 终态温度 t_2 ; (2) 热力学能、焓、熵的变化量 ΔU 、 ΔH 、 ΔS 。

提示和答案: 气体吸入热量和输入功转换为气体的热力学能。 $\Delta U = Q_v - W = 835.9\text{kJ}$, $t_2 = 727.48^\circ\text{C}$; $\Delta H = \Delta U + mR_g \Delta T = 1005.94\text{kJ}$ 、 $\Delta S = 1.107 \text{ kJ}/\text{K}$ 。

3-13 5g 氩气初始状态 $p_1 = 0.6\text{MPa}$, $T_1 = 600\text{K}$, 经历一个热力学能不变的过程膨胀到体积 $V_2 = 3V_1$, 氩气可作为理想气体, 且热容可看作为定值, 求终温 T_2 、终压 p_2 及总熵变 ΔS 。

提示和答案: 氩气处于理想气体状态, 热力学能只是温度的函数, 故 $T_2 = T_1 = 600\text{K}$ 、

$$p_2 = p_1 \frac{V_1}{V_2} = 0.2 \times 10^6 \text{ Pa}, \Delta S = -m \left(R_g \ln \frac{p_2}{p_1} \right) = 1.14 \times 10^{-3} \text{ kJ}/\text{K}.$$

3-14 1kmol 氮气由 $p_1 = 1\text{MPa}$, $T_1 = 400\text{K}$ 变化到 $p_2 = 0.4\text{MPa}$, $T_2 = 900\text{K}$, 试求摩尔熵变量 ΔS_m 。(1) 比热容可近似为定值; (2) 藉助气体热力表计算。

提示和答案: (1) 双原子气体 $C_{p,m} = \frac{7}{2}R = 29.10 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, $\Delta S = n\Delta S_m = 31.22 \text{ kJ}/\text{K}$;

(2) 热容为变值时, $\Delta S_m = S_{m,2}^0 - S_{m,1}^0 - R \ln \frac{p_2}{p_1}$ 。由附表 8 查得 $S_{m,1}^0$ 和 $S_{m,2}^0$,

$$\Delta S_m = S_{m,2}^0 - S_{m,1}^0 - R \ln \frac{p_2}{p_1} = 32.20\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K}).$$

3-15 初始状态 $p_1 = 0.1\text{MPa}$, $t_1 = 27^\circ\text{C}$ 的 CO_2 , $V_2 = 0.8\text{m}^3$, 经历某种状态变化过程, 其熵变 $\Delta S = 0.242\text{kJ}/\text{K}$ (精确值), 终压 $p_2 = 0.1\text{MPa}$, 求终态温度 t_2 。

提示和答案: $n = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = 32.07 \text{ mol}$, 由附表 8 查得 $S_{m,1}^0 = 214.025 \text{ J}/(\text{mol}$,

$$S_{m,2}^0 = \frac{\Delta S}{n} + S_{m,1}^0 + R \ln \frac{p_2}{p_1} = 221.571 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}), \text{ 由同表查得 } T_2 = 366.84 \text{ K}。$$

3-16 绝热刚性容器中间有隔板将容器一分为二，左侧 0.05kmol 的 300K、2.8MPa 的高压空气，右侧为真空。抽出隔板后空气充满整个容器，达到新的平衡状态，求容器中空气的熵变。

提示和答案： 自由膨胀 $Q=0$ ， $W=0$ ， $\Delta U=0$ ，所以， $T_2=T_1=300 \text{ K}$ ，熵是状态

$$\text{参数， } \Delta S = n \left(C_{v,m} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right) = 288.2 \text{ J/K}。$$

3-17 刚性绝热容器用隔板分成 A、B 两室，A 室的容积 0.5 m^3 ，其中空气压力 250 kPa、温度 300 K。B 室容积 1 m^3 ，其中空气压力 150 kPa、温度 1 000 K。抽去隔板，A、B 两室的空气混合，最终达到均匀一致，求平衡后的空气的温度和压力及过程熵变。空气比热容取定值 $c_p = 100 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

提示和答案： 先求初态时 A 室和 B 室空气质量，再取容器内全部气体为系统，列能量方程，注意到 $Q=0$ ， $W=0$ ，解得 $T_2 = 485.4 \text{ K}$ 、 $p_2 = 183.4 \text{ kPa}$ 、 $\Delta S = 0.223 \text{ kJ/K}$ 。

3-18 氮气流入绝热收缩喷管时压力 $p_1 = 300 \text{ kPa}$ ，温度 $T_1 = 400 \text{ K}$ ，速度 $c_{f1} = 30 \text{ m/s}$ ，流出喷管时压力 $p_2 = 100 \text{ kPa}$ ，温度 $T_2 = 330 \text{ K}$ 。若位能可忽略不计，求出口截面上气体流速。氮气比热容可取定值， $c_p = 1042 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

提示和答案： 取喷管为控制体积列能量方程，忽略位能差， $c_{f2} = \sqrt{2(h_1 - h_2) + c_{f1}^2} = \sqrt{2c_p(T_1 - T_2) + c_{f1}^2} = 383.1 \text{ m/s}$ 。

3-19 气缸活塞系统内有 3kg 压力为 1MPa、温度为 27°C 的 O_2 。缸内气体被加热到 327°C ，此时压力为 1 500kPa。由于活塞外弹簧的作用，缸内压力与体积变化成线性关系。若 O_2 的比热容可取定值， $R_g = 0.260 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 、 $c_v = 0.658 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。求过程中的换热量。

提示和答案： 取缸内气体为系统，确定过程功即可得热量。缸内气体初终态体积

$$V_1 = \frac{mR_g T_1}{p_1} = 0.234 \text{ m}^3, V_2 = 0.312 \text{ m}^3, \text{ 缸内压力与体积变化成线性关系，令比例系数为 } k,$$

$$W = \int_1^2 p dV = \int_1^2 kV dV = 97.5 \text{ kJ}, Q = \Delta U + W = mc_v(T_2 - T_1) + W = 689.7 \text{ kJ}。$$

3-20 利用蒸汽图表，填充下列空白并用计算机软件计算校核

	p/MPa	$t/^\circ\text{C}$	$h/\text{kJ/kg}$	$s/\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	x	过热度 $^\circ\text{C}$
1	3	500	3457	7.226		266
2	0.5	392	3244	7.764		239
3	3	360	3140	6.780		126
4	0.02	61	2375	7.210	0.90	

3-21 湿饱和蒸汽， $x=0.95$ 、 $p=1\text{MPa}$ ，应用水蒸气表求 t_s 、 h 、 u 、 v 、 s ，再用 $h-s$ 图求上述参数并用计算机软件计算校核。

提示和答案： 利用饱和水和饱和水蒸气表求取饱和参数，再与干度一起求得湿蒸汽参数： $h=2676.9\text{kJ/kg}$ 、 $v=0.18472\text{m}^3/\text{kg}$ 、 $s=6.3635\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、 $u=2492.2\text{kJ/kg}$ 。

3-22 过热蒸汽， $p=3\text{MPa}$ 、 $t=400^\circ\text{C}$ ，根据水蒸气表求 h 、 u 、 v 、 s 和过热度，再用 $h-s$ 图求上述参数。

提示和答案： 据水蒸气表： $t_s=233.893^\circ\text{C}$ 、 $h=3230.1\text{kJ/kg}$ 、 $s=6.9199\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、 $v=0.099352\text{m}^3/\text{kg}$ 、 $D=t-t_s=166.1^\circ\text{C}$ 。利用 $h-s$ 图 $t_s=234^\circ\text{C}$ 、 $h=3233\text{kJ/kg}$ 、 $v=0.1\text{m}^3/\text{kg}$ 、 $s=6.92\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、 $D=t-t_s=166^\circ\text{C}$ 。

3-23 已知水蒸气的压力为 $p=0.5\text{MPa}$ ，比体积 $v=0.35\text{m}^3/\text{kg}$ ，问这蒸汽处在什么状态？用水蒸气表求出其它参数。

提示和答案： $p=0.5\text{MPa}$ 时， $v'=0.0010925\text{m}^3/\text{kg}$ 、 $v''=0.37486\text{m}^3/\text{kg}$ 。因 $v'<v<v''$ 所以是饱和湿蒸汽。 $x=\frac{v-v'}{v''-v'}=0.9335$ ， $h=h'+x(h''-h')=2608.4\text{kJ/kg}$ ， $s=s'+x(s''-s')=6.4915\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ， $u=h-pv=2433.4\text{kJ/kg}$ 。

3-24 容器内有氟利昂 134a 过热蒸气 1 kg，参数为 300 kPa、 100°C ，定压冷却成为干度为 0.75 的气液两相混合物，求过程中氟利昂 134a 的热力学能变化量。

提示和答案： 水蒸气性质的研究适用于其他工质，查 R134a 热力性质表获取有关数据，计算得 $u_1=h_1-p_1v_1=460.55\text{kJ}$ 、 h_2 和 v_2 ，进而 $u_2=h_2-p_2v_2=333.92\text{kJ}$ ， $\Delta U=m\Delta u=-126.63\text{kJ}$ 。

3-25 干度为 0.6、温度为 0°C 的氨在容积为 200 L 的刚性容器内被加热到压力 $p_2=1\text{MPa}$ ，求加热量。

提示和答案： 0°C 时容器内 NH_3 的 $p = 429.6\text{kPa}$ 、 $h = 957.3\text{kJ/kg}$ 、 $v = 0.1741\text{m}^3/\text{kg}$ ， $m = V/v = 1.149\text{kg}$ ， $u_1 = h_1 - p_1 v_1 = 882.5\text{kJ/kg}$ 。因容器刚性，所以在过程中氨的比体积不变， $p_2 = 1\text{MPa}$ 时， $v'' = 0.1285\text{m}^3/\text{kg} < v_2$ ，所以终态为过热蒸气。查 NH_3 热力性质表， $h = 1684.4\text{kJ/kg}$ ， $u_2 = 1510.3\text{kJ/kg}$ ， $Q = \Delta U + W = 721.3\text{kJ}$ 。

3-26 我国南方某压水堆核电站蒸汽发生器（图 3-5）产生的新蒸汽为压力 6.53MPa ，干度 0.9956 的湿饱和蒸汽，进入蒸汽发生器的水压力为 7.08MPa ，温度为 221.3°C 。反应堆冷却剂（一回路压力水）进入反应堆时的平均温度为 290°C ，吸热离开反应堆进入蒸汽发生器时的温度为 330°C ，反应堆内平均压力为 15.5MPa ，冷却剂流量为 17550 t/h 。若蒸汽发生器主蒸汽管内流速不大于 20 m/s ，蒸汽发生器向环境大气散热量可忽略，不计工质的动能差和为能差，求：（1）蒸汽发生器的蒸汽产量和新蒸汽的焓；（2）及蒸汽发生器主蒸汽管内径。

提示和答案： 取蒸汽发生器为控制体积，忽略向环境大气散热量，不计工质的动能差和位能差，据能量方程 $q_{m1}(h_1 - h_2) = q_{m3}(h_4 - h_3)$ ，可解得蒸汽流量 $q_{m3} = 608.47\text{ kg/s}$ ；再由出口蒸汽参数和流速计算管直径 $d_1 = \sqrt{\frac{4vq_m}{\pi c_f}} = 1.07\text{ m}$ 。

$$d_1 = \sqrt{\frac{4vq_m}{\pi c_f}} = 1.07\text{ m}。$$

3-27 垂直放置的气缸活塞系统的活塞质量为 90 kg ，气缸的横截面积为 0.006m^2 。内有 10°C 的干度为 0.9 的 R407c （一种在空调中应用的制冷工质）蒸气 10L 。外界大气压 100kPa ，活塞用销钉卡住。拔去销钉，活塞移动，最终活塞静止，且 R407c 温度达到 10°C 。求终态工质压力、体积及所作的功。已知： 10°C 时 R407c 饱和参数为 $v' = 0.0008\text{m}^3/\text{kg}$ 、 $v'' = 0.0381\text{m}^3/\text{kg}$ ；终态时比体积 $v = 0.1059\text{m}^3/\text{kg}$ 。

提示和答案： 状态 1 $v_1 = v' + x(v'' + v') = 0.03437\text{m}^3/\text{kg}$ ， $m = V_1/v_1 = 0.291\text{kg}$ ；状态 2， $p_2 = p_0 + \frac{mg}{A} = 247.1\text{kPa}$ ，由 T_2 和 p_2 查得 v ， $V_2 = mv_2 = 30.8\text{L}$ ， $W = p_2(V_2 - V_1) = 5.14\text{kJ}$ 。