

第三章 气体和蒸气的性质

习 题

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 $1 \text{ m}^3 \text{ N}_2$ 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： $R = MR_g$ ，标准状态时气体体积为 $22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ 。解得 $R_{g,\text{N}_2} = 0.297 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ ；标准状态下 $v_{\text{N}_2} = 0.8 \text{ m}^3/\text{kg}$ 、 $\rho_{\text{N}_2} = 1.25 \text{ kg/m}^3$ 、 $m_0 = 1.25 \text{ kg}$ ； $p = 0.1 \text{ MPa}$, $t = 500^\circ\text{C}$ 时 $v = 2.296 \text{ m}^3/\text{kg}$ 、 $\rho = 0.435 \text{ kg/m}^3$ ； $V_{m,\text{N}_2} = 64.29 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ 。

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： 假设题示状态满足理想气体状态方程式求得 $V = 16.88 \text{ m}^3$ 。

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： 处于平衡态的气体在流动状态下同样满足理想气体的状态方程，此时状态方程形式为 $p q_v = q_m R_g T$ ，解得 $c_f = 1.06 \text{ m/s}$ 、 0.020 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 $p_2 = 0.46 \text{ MPa}$ ， $T_2 = 303 \text{ K}$ ，求用去空气的质量。

提示和答案： 使用前后瓶中空气满足理想气体状态方程，用去空气 $m_1 - m_2 = 11.73 \text{ kg}$ 。

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 $p_{e1} = 0.05 \text{ MPa}$ ，参见图 3-16。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： 利用气体的状态方程式 $pV = mR_g T$ 得充气前后储气罐里空气质量

$$m_1 = \frac{p_1 v}{R_g T_1} = \frac{517.21}{R_g}, \quad m_2 = \frac{p_2 v}{R_g T_2} = \frac{2167.18}{R_g}$$

压气机吸入空气的质量流量可由体积流率计算，

$$q_{m_{in}} = \frac{p_b q_{v_{in}}}{R_g T_{in}} = \frac{68.96}{R_g} \quad \text{。由质量守恒得充气时间}$$

$$q_{m_{in}} \tau = m_2 - m_1, \quad \tau = 23.93 \text{ min} \quad \text{。}$$

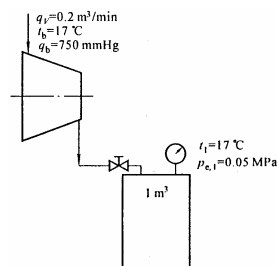


图 3-16 习题 3-5 附图

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 $p_b = 756 \text{ mmHg}$ 。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 $T_2 = 480 \text{ K}$ 。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，参见图 3-17。

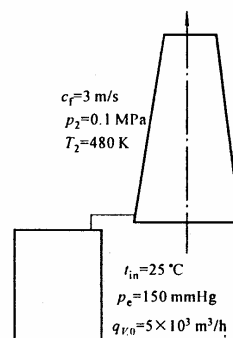


图 3-17 习题 3-6 附图

提示和答案： 鼓风机实际送入的空气并非标准状态，故须利用质量守恒折合为相应的气体状态，解得热空气实际状态的体积流量 $q_{v_{in}} = 7962.7 \text{ m}^3/\text{h}$ ，烟囱出口截面积为 $D = 1.025 \text{ m}$ 。

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： 利用烟囱顶、底部两截面上质量流量相同得到两截面上体积流量关系，进而解得 $A_2 : A_1 = 1 : 1.4$ 。

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 3-20）。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，

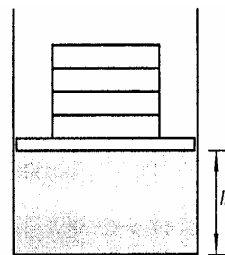


图 3-18 习题 3-8 附图

空气对外作出的功以及与环境的换热量。

提示和答案： 负载取走前气缸内气体的初始状态为： $p_1 = p_b + \frac{m_1 g}{A} = 0.294 \text{ MPa}$ 、
 $V_1 = 10^{-3} \text{ m}^3$ 。取走负载后，重新建立热力平衡时，气缸内压力与温度等于外界的压力与温度，
 $p_2 = p_b + \frac{m_2 g}{A} = 0.196 \text{ MPa}$ 、 $V_2 = \frac{p_1}{p_2} V_1 = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ，上升距离 $\Delta H = 5 \text{ cm}$ 。气缸内
 气体由状态 1 到状态 2，其间经过的是非准平衡过程，所以不能用 $w = \int_1^2 p dv$ 求解过程功，
 但气缸内气体所做的功等于克服外力的功，故 $W = p_2 A \Delta H = 98 \text{ J}$ 。因为是理想气体， $T_2 = T_1$
 必有 $U_2 = U_1$ ，所以 $Q = W = 98 \text{ J}$ 。

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 1 kg 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) 对计算
 结果进行简单的讨论：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) 由附表查出 $c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} = 1.0125 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 、 $c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} = 1.0737 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。
 故 $c_v \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} = c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} - R_g = 0.7255 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 、 $c_v \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} = c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} - R_g = 0.7867 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。
 $u_1 = c_v \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} t_1 = 150.2 \text{ kJ/kg}$ 、 $u_2 = c_v \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} t_2 = 650.6 \text{ kJ/kg}$ ， $\Delta u = 500.4 \text{ kJ/kg}$
 $h_1 = c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{207^\circ\text{C}} t_1 = 209.6 \text{ kJ/kg}$ 、 $h_2 = c_p \Big|_{0^\circ\text{C}}^{827^\circ\text{C}} t_2 = 887.9 \text{ kJ/kg}$ ， $\Delta h = 678.3 \text{ kJ/kg}$

(2) 利用空气的热力性质表查得 $h_1 = 484.49 \text{ kJ/kg}$ ， $h_2 = 1162.95 \text{ kJ/kg}$ ，由定义，
 $u_1 = h_1 - R_g T_1 = 346.73 \text{ kJ/kg}$ 、 $u_2 = 847.25 \text{ kJ/kg}$ ， $\Delta u = 500.52 \text{ kJ/kg}$ 、 $\Delta h = 678.46 \text{ kJ/kg}$ 。

(3) 理想气体的 u 、 h 只是温度的函数，与压力的大小无关，所以 Δu 、 Δh 不会改变；
 (4) 用气体性质表得出的 u 、 h 是以 0 K 为计算起点，用比热容表求得的 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 相同。

3-10 体积 $V = 0.5 \text{ m}^3$ 的密闭容器中装有 27°C 、 0.6 MPa 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：参见题 3-10。(1) $Q_v = 808.27\text{kJ}$ 、(2) $Q_v = 805.59\text{ kJ}$ 、(3) $Q_v = 805.95\text{kJ}$ 、(4) $Q_v = 805.34\text{kJ}$ 。

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

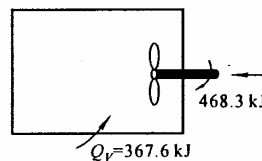


图 3-19 习题 3-12 附图

提示和答案：气体吸入的热量和输入的功转换为气体的热力学能。(1) $t_2 = 727.48^\circ\text{C}$ ，

(2) $\Delta H = 1005.94\text{kJ}$ 、 $\Delta S = 1.1075\text{kJ/K}$ 。

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：氩气可看为理想气体，热力学能只是温度的函数，故 $T_2 = 600\text{K}$ 、 $p_2 = 0.2 \times 10^6\text{ Pa}$ 、 $\Delta S = 1.14 \times 10^{-3}\text{ kJ/K}$ 。

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）氮为双原子气体 $C_{p,m} = \frac{7}{2}R = 29.10 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ，

$\Delta S = n\Delta S_m = 31.22 \text{ kJ/K}$ ；（2）热容为变值时， $\Delta S_m = S_{m,2}^0 - S_{m,1}^0 - R \ln \frac{p_2}{p_1}$ 。由附表查得

$S_{m,1}^0 = 200.179 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 、 $S_{m,2}^0 = 224.756 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ， $\Delta S_m = 32.20 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ，

$\Delta S = 32.20 \text{ kJ/K}$ 。

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 $\Delta S = 0.242 \text{ kJ/K}$ （精确值），终压 $p_2 = 0.1 \text{ MPa}$ ，求终态温度 t_2 。

提示和答案：利用 $\Delta S = n(S_{m,2}^0 - S_{m,1}^0 - R \ln p_2 / p_1)$ 求得， $S_{m,2}^0 = 234.953 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

由表查得 $t_2 = 227.47^\circ \text{C}$ 。

3-16 绝热刚性容器中间有隔板将容器一分为二，左侧 0.05 kmol 的 300 K 、 2.8 MPa 的高压空气，右侧为真空。若抽出隔板，求容器中空气的熵变。

提示和答案：熵是状态参数， $\Delta S = n \left(C_{V,m} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right) = 288.2 \text{ J/K}$ 。

3-17 CO_2 按定压过程流经冷却器， $p_1 = p_2 = 0.105 \text{ MPa}$ ，温度由 600 K 冷却到 366 K ，试分别使用（1）真实热容经验式、（2）比热容算术平均值，计算 1 kg CO_2 的热力学能变化量、焓变化量及熵变化量。

提示和答案：（1）查得 CO_2 的摩尔定压热容为

$$C_{p,m} / R = 2.401 + 8.735 \times 10^{-3} \{T\}_K - 6.607 \times 10^{-6} \{T\}_K^2 + 2.002 \times 10^{-9} \{T\}_K^3$$

$$\Delta h = \frac{R}{M} \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_{p,m}}{R} dT = -233.74 \text{ kJ/kg} \quad \Delta u = \Delta h - R_g \Delta T = -189.54 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta s = \frac{R}{M} \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_{p,m}}{RT} dT - R_g \ln \frac{p_2}{p_1} = -0.4903 \text{ kJ/kg}$$

（2）查得 $c_{p1} = 1.075 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ， $c_{v1} = 0.886 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ； $c_{p2} = 0.90908 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，

$c_{v2} = 0.72018 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。 T_1 到 T_2 之间的比热容算术平均值 $c_{p,av} = 0.99204 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 、

$c_{v,av} = 0.80309 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。 $\Delta u = c_{v,av}(T_2 - T_1) = -187.92 \text{ kJ/kg}$ 、 $\Delta h = -232.14 \text{ kJ/kg}$ 、

$$\Delta s = c_{p,\text{av}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R_g \ln \frac{p_2}{p_1} = -0.4904 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}。$$

讨论：对照例题 3-4 得 (1) 利用气体热力性质表直接查取 h (或 H_m) 的方法是一种既精确又简便的方法，各种方法的计算结果，以及与此相比得出的相对误差见下表。利用平均比热容表也是精确的计算方法。真实摩尔经验式和比热容算术平均值这两种方法的误差也都能满足工程计算的要求。若按定值比热容计算， $C_{p,m} = 9 \times R / 2$ ，可得 $\Delta u = -154.73 \text{ kJ/kg}$ ， $\Delta h = -198.94 \text{ kJ/kg}$ ， $\Delta s = -0.4202 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ ，误差分别为 18.1%、14.5%、15.2%，显然误差过大。

方法	$\Delta u / (\text{kJ/kg})$ 误差 / %	$\Delta h / (\text{kJ/kg})$ 误差 / %	$\Delta s / (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$ 误差 / %
1	-188.88 0.19	-233.10 0.16	-0.4924 0.63
2	-188.52	-232.72	-0.4955
3	-189.54 0.56	-233.74 0.46	-0.4903 1.06
4	-187.92 0.32	-232.14 0.24	-0.4904 1.03

(2) 理想气体的熵不是温度的单值函数，比熵变为 $\Delta s_{1-2} = \int_{T_1}^{T_2} c_p \frac{dT}{T} - R_g \ln \frac{p_2}{p_1}$ ，摩尔熵变

$$\Delta S_m = S_{m2}^0 - S_{m1}^0 - R \ln \frac{p_2}{p_1}。 \text{ 本题为定压过程，与压力相关量 } R \ln \frac{p_2}{p_1} \text{ 为零，熵变量也只与温}$$

度项 $\int_{T_1}^{T_2} c_p \frac{dT}{T}$ 有关。

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， $c_p = 1042 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ 。

提示和答案： 取喷管为控制体积，列能量方程，忽略位能差，得 $c_{f2} = 383.1 \text{ m/s}$ 。

3-19 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 1000 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过程熵变。空气比热容取定值 $c_p = 1005 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ 。

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位系统，列能量方程，解得 $T_2 = 485.4 \text{ K}$ 、 $p_2 = 183.4 \text{ kPa}$ 、 $\Delta S = 0.223 \text{ kJ/K}$ 。

3-20 气缸活塞系统内有 3 kg 压力为 1 MPa 、温度为 27°C 的 O_2 。缸内气体被加热到

327 °C，此时压力为 1 500 kPa。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O₂的比热容可取定值， $R_g = 0.260 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 、 $c_v = 0.658 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。求过程换热量。

提示和答案： $V_1 = \frac{mR_g T_1}{p_1} = 0.234 \text{ m}^3$ 、 $V_2 = 0.312 \text{ m}^3$ 。 $W = \int_1^2 p dV = \int_1^2 kV dV = 97.5 \text{ kJ}$ ，

$$Q = \Delta U + W = mc_v(T_2 - T_1) + W = 689.7 \text{ kJ}。$$

3-21 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	

3-22 湿饱和蒸汽， $x = 0.95$ 、 $p = 1 \text{ MPa}$ ，应用水蒸汽表求 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汽表求取饱和参数，再与干度一起求得湿蒸汽

参数： $h = 2676.9 \text{ kJ/kg}$ 、 $v = 0.18472 \text{ m}^3 / \text{kg}$ 、 $s = 6.3635 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 、 $u = 2492.2 \text{ kJ/kg}$ 。

3-23 过热蒸汽， $p = 3 \text{ MPa}$ 、 $t = 400^\circ\text{C}$ ，根据水蒸汽表求 h 、 u 、 v 、 s 和过热度，再用 $h-s$ 图求上述参数。

提示和答案：据水蒸汽表： $t_s = 233.893^\circ\text{C}$ 、 $h = 3230.1 \text{ kJ/kg}$ 、 $s = 6.9199 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 、

$v = 0.099352 \text{ m}^3 / \text{kg}$ 、 $D = t - t_s = 166.1^\circ\text{C}$ 。利用 $h-s$ 图 $t_s = 234^\circ\text{C}$ 、 $h = 3233 \text{ kJ/kg}$ 、

$v = 0.1 \text{ m}^3 / \text{kg}$ 、 $s = 6.92 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 、 $D = t - t_s = 166^\circ\text{C}$ 。

3-24 已知水蒸气的压力为 $p = 0.5 \text{ MPa}$ ，比体积 $v = 0.35 \text{ m}^3 / \text{kg}$ ，问这是不是过热蒸汽？如果不是，那是饱和蒸汽还是湿蒸汽？用水蒸汽表求出其它参数。

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。 $x = \frac{v - v'}{v'' - v'} = 0.9335$ ， $h = h' + x(h'' - h') = 2608.4 \text{ kJ/kg}$ ，

$s = s' + x(s'' - s') = 6.4915 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ， $u = h - pv = 2433.4 \text{ kJ/kg}$ 。

3-25 我国南方某核电厂蒸汽发生器内产生的新蒸汽压力 6.53 MPa，干度为 0.9956，蒸汽的流量为 608.47 kg/s，若蒸汽发生器主蒸汽管内流速不大于 20 m/s，求：新蒸汽的焓及蒸汽发生器主蒸汽管内径。

提示和答案: $h = h' + x(h'' - h') = 2771.0 \text{ kJ/kg}$, $v = v' + x(v'' - v') = 0.02948 \text{ m}^3/\text{kg}$,

$$q_m = \frac{Ac_f}{v} = \frac{\pi d_i^2 c_f}{4v}, \text{ 故 } d_i = \sqrt{\frac{4vq_m}{\pi c_f}} = 1.07 \text{ m}.$$

3-26 容器内有氟利昂 134a 过热蒸气 1 kg, 参数为 300 kPa、100℃, 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。

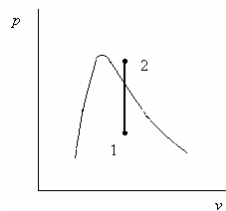
提示和答案: 水蒸气性质的研究适用于其他工质, 取容器中 R134a 为闭口系, 查 R134a 热力性质表获取有关数据, $v_2 = v' + x_2(v'' - v') = 0.050214 \text{ m}^3/\text{kg}$ 、 $u_2 = 333.92 \text{ kJ/kg}$, $\Delta U = m\Delta u = -15.06 \text{ kJ}$ 。

3-27 干度为 0.6、温度为 0℃ 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℃ 时容器内 NH_3 的 $p = 429.6 \text{ kPa}$ 、 $h = 957.3 \text{ kJ/kg}$ 、 $v = 0.1741 \text{ m}^3/\text{kg}$, $m = V/v = 1.149 \text{ kg}$, $u_1 = h_1 - p_1 v_1 = 882.5 \text{ kJ/kg}$ 。

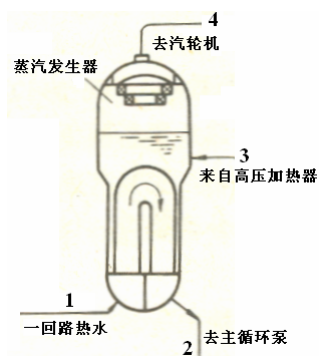
因容器刚性, 所以在过程中氨的比体积不变, $p_2 = 1 \text{ MPa}$ 时, $v'' = 0.1285 \text{ m}^3/\text{kg} < v_2$, 所以终态为过热蒸气。查 NH_3 热力性质表,

$h = 1684.4 \text{ kJ/kg}$, $u_2 = 1510.3 \text{ kJ/kg}$, $Q = \Delta U + W = 721.3 \text{ kJ}$



习题 3-26 附图

3-28 某压水堆核电厂蒸汽发生器 (见附图) 产生的新蒸汽是压力 6.53 MPa, 干度为 0.9956 的湿饱和蒸汽, 进入蒸汽发生器的水压力为 7.08 MPa, 温度为 221.3℃。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℃, 吸热离开反应堆进入蒸汽发生器时的温度为 330℃, 反应堆内平均压力为 15.5 MPa, 冷却剂流量为 17550 t/h。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, 求蒸汽发生器的蒸汽产量。



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为能差, 能量方程 $q_{m1}(h_1 - h_2) = q_{m3}(h_4 - h_3)$, 解得蒸汽流量 $q_{m3} = 608.47 \text{ kg/s}$ 。

3-29 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 0.006 m^2 。内有 10℃ 的干度为 0.9 的 R407c (一种在空调中应用的制冷工质) 蒸气 10 L。外界大气压 100 kPa,

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 ， $V_2 = mv_2 = 30.8\text{L}$ ， $W = p_2(V_2 - V_1) = 5.14\text{kJ}$ 。