

## 第八章 压气机的热力过程

## 习 题

8-1 某单级活塞式压气机每小时吸入的空气量  $V_1 = 140\text{m}^3/\text{h}$ ，吸入空气的状态参数是  $p_1 = 0.1\text{MPa}$ 、 $t_1 = 27^\circ\text{C}$ ，输出空气的压力  $p_2 = 0.6\text{MPa}$ 。试按下列三种情况计算压气机所需要的理想功率（以 kW 表示）：（1）定温压缩；（2）绝热压缩（设  $\kappa = 1.4$ ）；（3）多变压缩（设  $n = 1.2$ ）。

提示和答案：  $W_c = -W_t$ ， $P_T = 6.97\text{KW}$ 、 $P_s = 9.11\text{kW}$ 、 $P_n = 8.12\text{kW}$ 。

8-2 某单级活塞式压气机吸入空气参数为  $p_1 = 0.1\text{MPa}$ 、 $t_1 = 50^\circ\text{C}$ 、 $V_1 = 0.032\text{m}^3$ ，经多变压缩  $p_2 = 0.32\text{MPa}$ 、 $V_2 = 0.012\text{m}^3$ 。求：（1）压缩过程的多变指数；（2）压缩终了空气温度；（3）所需压缩功；（4）压缩过程中传出的热量。

提示和答案：压缩功只是体积变化功。 $n = 1.186$ 、 $T_2 = 387.82\text{K}$ 、 $W_n = 3.443\text{kJ}$ 、 $Q_n = mq = -1.84\text{kJ}$ 。

8-3 压气机中气体压缩后的温度不宜过高，若取极限值为  $150^\circ\text{C}$ 。某单缸压气机吸入空气的压力和温度为  $p_1 = 0.1\text{MPa}$ ， $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ，吸气量为  $250\text{m}^3/\text{h}$ ，若压气机中缸套流过冷却水  $465\text{kg/h}$ ，温升为  $14^\circ\text{C}$ 。求（1）空气可能达到的最高压力；（2）压气机必需的功率。

提示和答案：空气只有在可逆多变过程才可能达到最高压力，故须求多变指数。利用气体放热等于冷却水吸热可确定  $n = 1.20$ ， $p_{2,\max} = 0.90\text{MPa}$ ， $P = 18.3\text{kW}$ 。

8-4 三台空气压缩机的余隙容积比均为  $6\%$ ，进气状态均为  $0.1\text{MPa}$ 、 $27^\circ\text{C}$ ，出口压力为  $0.5\text{MPa}$ ，但压缩过程的指数分别为： $n_1 = 1.4$ 、 $n_2 = 1.25$ 、 $n_3 = 1$ ，试求各压气机的容积效率（假设膨胀过程的指数和压缩过程相同）。

提示和答案：  $\eta_v = 1 - \sigma(\pi^{\frac{1}{n}} - 1)$ ， $\eta_{v,1} = 0.871$ 、 $\eta_{v,2} = 0.843$ 、 $\eta_{v,3} = 0.76$ 。

8-5 某单级活塞式压气机，其增压比为  $7$ ，活塞排量为  $0.009\text{m}^3$ ，余容比为  $0.06$ ，转速为  $750\text{r/min}$ ，压缩过程多变指数为  $1.3$ 。求（1）容积效率；（2）生产量（ $\text{kg/h}$ ）；（3）理论消耗功率（ $\text{kW}$ ）；（4）压缩过程中放出的热量。已知吸入空气参数为  $p_1 = 0.1\text{MPa}$ 、

$t_1 = 20^\circ\text{C}$ 。

提示和答案：活塞式压气机曲轴每转一圈完成一次吸气压缩排气过程，故每小时有效吸气容积  $V = 750 \times 60 \times \eta_v V_h$ 。  $\eta_v = 0.792$ ，  $q_m = 3\,813.56\text{ kg/h}$ ，  $P = 13.4\text{ kW}$ ，  $q_Q = 42.13\text{ kW}$ 。

8-6 利用单缸活塞式压气机制备 0.8MPa 的压缩空气，已知气缸直径  $D = 300\text{mm}$ ，活塞行程  $S = 200\text{mm}$  余隙容积比为 0.05，机轴转速为 400r/min。压气机吸入空气的参数是  $p_1 = 0.1\text{MPa}$ 、 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ，压缩过程多变指数  $n = 1.25$ 。若压气机的定温效率为  $\eta_{c,T} = 0.77$ ，试计算压气机生产量（kg/h）及带动该压气机所需的原动机的功率（压气机的外部磨擦损失忽略不计）。

提示和答案：余隙容积存在并不影响压气机理论耗功，  $q_m = 0.088\text{ kg/s}$ 、 $P_c = 20.0\text{ kW}$ 。

8-7 空气初态为  $p_1 = 0.1\text{MPa}$ 、 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ，经过三级活塞式压气机后，压力提高到 12.5MPa，假定各级压力比相同，各级压缩过程的多变指数  $n = 1.3$ 。试求：（1）生产 1kg 压缩空气理论上应消耗的功；（2）各级气缸出口的温度；（3）如果不用中间冷却器，压气机消耗的功及各级气缸出口温度；（4）若采用单级压缩，压气机消耗的功及气缸出口温度。

提示和答案：按耗功最小原则，  $\pi_1 = \pi_2 = \pi_3$ ，  $w_c = 3w_{c,L} = 492.0\text{ kJ/kg}$ ；各级气缸出口的温度相同，  $T_2 = T_3 = T_4 = 425\text{ K}$ ；若不用中间冷却器  $T_2 = 425.0\text{ K}$ 、 $T_3 = 616.25\text{ K}$ 、 $T_4 = 893.56\text{ K}$ 、 $w_c = 746.4\text{ kJ/kg}$ ；若单级压缩，  $T_2 = 893.56\text{ K}$ 、 $w_c = 746.4\text{ kJ/kg}$ 。

8-8 一台两级压气机，示功图如图 8-7 所示，若此压气机吸入空气的温度是  $t_1 = 17^\circ\text{C}$ 、 $p_1 = 0.1\text{MPa}$ ，压气机将空气压缩到  $p_3 = 2.5\text{MPa}$ 。压气机的生产量为  $500\text{m}^3/\text{h}$ （标准状态下），两个气缸中的压缩过程均按多变指数  $n = 1.25$  进行。以压气机所需要的功量最小作为条件，试求：（1）空气在低压气缸中被压缩后所达到的压力  $p_2$ ；（2）压气机中气体被压缩后的最高温度  $t_2$  和  $t_3$ ；（3）设压气机转速为 250r/min，每个气缸在每个进气冲程中吸入的空气体积  $V_1$  和  $V_2$ ；（4）每级压气机中每小时所消耗的功  $W_1$  和  $W_2$ ，以及压气所消耗的总功  $W$ ；（5）

空气在中间冷却器及两级气缸中每小时放出的热量。

**提示和答案：**注意压气机的生产量所指的状态，并考虑可否利用  $Q = H_3 - H_1 - W_C$  求解空气在中间冷却器及两级气缸中放热量。  $p_2 = 0.5 \text{ MPa}$ ； $T_2 = T_3 = 400.33 \text{ K}$ ； $V_1 = 0.03590 \text{ m}^3$ 、 $V_2 = 0.00718 \text{ m}^3$ ； $P_C = 56.8 \text{ kW}$ ； $Q = -1.33 \times 10^5 \text{ kJ/h}$ 。

**8-9** 某活塞式空气压缩机容积效率为  $\eta_V = 0.95$ ，每分钟吸进  $p = 1 \text{ atm}$ 、 $t = 21^\circ\text{C}$  的空气  $14 \text{ m}^3$ ，压缩到  $0.52 \text{ MPa}$  输出，设压缩过程可视为等熵压缩，求（1）余隙容积比；（2）所需输出功率。

**提示和答案：**据题意  $\pi = 5.132$   $n = 1.4$ ，求得  $\sigma = 0.023$ ， $P = 49.3 \text{ kW}$ 。

**8-10** 一台单缸活塞式压气机（其示功图见图 8-5），气缸直径  $D = 200 \text{ mm}$ ，活塞行程  $S = 300 \text{ mm}$ 。从大气中吸入空气，空气初态为  $p_1 = 97 \text{ kPa}$ 、 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ，经多变压缩到  $p_2 = 0.55 \text{ MPa}$ ，若多变指数为  $n = 1.3$ ，机轴转速为  $500 \text{ r/min}$ ，压气机余隙容积比  $\sigma = 0.05$ ，求：（1）压气机有效吸气容积及容积效率；（2）压气机的排气温度；（3）压气机的生产量；（4）拖动压气机所需的功率。

**提示和答案：**气缸排量即活塞扫过的容积。有效吸气容积  $V = 0.008106 \text{ m}^3$ ， $\eta_V = 0.86$ ，排气温度  $t_2 = 164.37^\circ\text{C}$ ，生产量  $q_m = 280.4 \text{ kg/h}$ ，功率  $P_C = 14.0 \text{ kW}$ 。

**8-11** 轴流式压气机每分钟吸入  $p_1 = 0.1 \text{ MPa}$ 、 $t_1 = 20^\circ\text{C}$  的空气  $1200 \text{ kg}$ ，经绝热压缩到  $p_2 = 0.6 \text{ MPa}$ ，该压气机的绝热效率为  $0.85$ ，求出口处气体的温度及压气机所消耗的功率；（2）过程的熵产率及作功能力的损失（ $T_0 = 293.15 \text{ K}$ ）。

**提示和答案：**据绝热稳流系统熵方程， $(s_2 - s_1) = s_g$ ，作功能力损失  $\dot{I} = T_0 \dot{S}_g$ 。  
 $T_2 = 523.70 \text{ K}$ 、 $P_C = 4630.0 \text{ kW}$ ， $\dot{I} = 402.1 \text{ kJ/s}$ 。

**8-12** 某轴流式压气机从大气环境吸入  $p_1 = 0.1 \text{ MPa}$ 、 $t_1 = 27^\circ\text{C}$  的空气，其中体积流量为  $516.6 \text{ m}^3/\text{min}$ ，绝热压缩到  $p_2 = 1 \text{ MPa}$ 。由于磨擦作用，使出口气温度达到  $350^\circ\text{C}$ 。求（1）该压气机的绝热效率；（2）因磨擦引起的熵产；（3）拖动压气机所需的功率。

**提示和答案：**本题为不可逆绝热压缩，不是可逆多变过程，因此不能由初、终态参数求

多变指数。压气机的绝热效率  $\eta_{cs} = 0.865$ ，熵产率  $\dot{S}_g = 0.729 \text{ kJ}/(\text{K} \cdot \text{s})$ ，压气机需功率  $P_c = 3\,241.3 \text{ kW}$ 。

**8-13** 某次对轴流压气机的实例数据如下：压气机进口处空气压力  $p_1 = 0.1 \text{ MPa}$ ，温度  $t_1 = 17^\circ\text{C}$ ，出口处温度  $t_2 = 207^\circ\text{C}$ ，压力  $p_2 = 0.4 \text{ MPa}$ ，气体流量是  $60 \text{ kg}/\text{min}$ ；消耗功率  $185 \text{ kW}$ ，若压缩过程绝热，分析测试的可靠性。

提示和答案：可从出口温度和耗功比较分析。若过程可逆，则

$$T_{2s} = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 431.15 \text{ K}, \quad t_{2s} = 158^\circ\text{C}, \quad t_{2s} < t_2 \text{ 合理。}$$

从耗功分析

$$P_c = q_m(h_2 - h_1) = 190.7 \text{ kW} > 185 \text{ kW}$$

考虑到实际存在的少量散热和不可逆性， $P_c$  应略大于  $185 \text{ kW}$ ， $\frac{(190.76-185)\text{kW}}{185 \text{ kW}} = 3.1\%$ ，

其误差尚在可允许范围内，所以实测基本合理。

**8-14** 以 R134a 为工质的制冷循环装置中，蒸发器温度为  $-15^\circ\text{C}$ ，进入压缩机工质的干度近似为 1，压缩后的压力为  $1\,160.5 \text{ kPa}$ ，若压缩机的绝热效率为 0.95，求压缩机出口处工质的焓值。

提示和答案：由  $t_1 = -15^\circ\text{C}$ ， $x = 1$ ，查 R134a 热力性质表： $h_1 = 389.6 \text{ kJ}/\text{kg}$ 、 $s_1 = 1.737 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。由  $s_{2s} = s_1$ 、 $p_2 = 1160.5 \text{ kPa}$ ，查同表  $h_{2s} = 430.5 \text{ kJ}/\text{kg}$

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{cs}} = 432.7 \text{ kJ}/\text{kg}。$$

**8-15** 以 R134a 为工质的制冷装置循环的制冷工质进入压缩机的状态为  $t_1 = -10^\circ\text{C}$ 、 $x_1 = 0.99$ ，压缩后压力  $p_2 = 10 \text{ MPa}$ 、温度  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ ，求：压缩机耗功和压缩机的绝热效率。

提示和答案：据  $t_1$  和  $x_1$ ，查 R134a 热力性质表可算得  $h_1$  和  $s_1$ ， $s_{2s} = s_1$ ，进而查表得  $h_{2s}$  和  $h_2$ ，即可求得  $\eta_{cs} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = 0.646$ 、 $w_c = h_2 - h_1 = 50.9 \text{ kJ}/\text{kg}$ 。

**8-16** 某两级气体压缩机进气参数为  $100 \text{ kPa}$ 、 $300 \text{ K}$ ，每级压力比为 5，绝热效率为 0.82，从中间冷却器排出的气体温度是  $330 \text{ K}$ 。若空气的比热容可取定值，计算每级压气机的排气

温度和生产 1kg 压缩空气压气机消耗的功。

**提示和答案:** 由状态 1 压力和温度计算可逆压缩到  $p_2$  温度  $T_{2s} = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 475.13\text{K}$ ,

再据绝热效率得  $T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_{Cs}} = 513.57\text{K}$ 。状态 3:  $p_2 = p_3 = 500\text{kPa}$ 、 $T_3 = 330\text{K}$ ;

状态 4:  $p_4 = \pi p_3 = 2500\text{kPa}$ , 同理求得,  $T_{4s} = 522.65\text{K}$ 、 $T_4 = 564.94\text{K}$ 。生产 1kg 压

缩空气压气机耗功:  $w_c = (h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) = 450.7\text{kJ/kg}$ 。

本题虽然各级压力比相同, 但进入高压级气缸的气体温度比进入低压级气缸温度高, 所以各级消耗的功不相等。

**8-17** 某高校实验室需要压力为 6.0MPa 的压缩空气。有两人分别提出下述两个方案:  
A 方案采用绝热效率为 0.9 的轴流式压气机; B 方案采用活塞式气机, 二级压缩。中间冷却, 两缸压缩多变指数均为 1.25。试述上述两个方案的优劣。(设  $p_0 = 0.1\text{MPa}$ 、 $t_0 = 27^\circ\text{C}$ )

**提示和答案:** A 方案:  $T_{2s} = T_1 \pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 966.84\text{K}$ 、 $T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_{Cs}} = 1042.92\text{K}$ ,

$t_2 = 767.77^\circ\text{C}$ ,  $w_c = h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1) = 743.7\text{kJ/kg}$ 。

B 方案: 按耗功最小选择中间压力  $\pi_L = \pi_h = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} = 7.746$ ,  $t_a = t_2 = 178.87^\circ\text{C}$ ,

$w_c = 2 \times \frac{nR_g T_1}{n-1} \times (\pi^{\frac{n-1}{n}} - 1) = 435.8\text{kJ/kg}$ 。比较方案:  $T_{2,A} \gg T_{2,B}$ ;  $w_{c,A} > w_{c,B}$ , 所以

从人身安全、设备安全角度看 B 方案优于 A 方案。此外 A 方案实施需多级压气机故较困难, 而且实验室未必需要大流量的高压空气, 但 A 案可提供稳定气流可能是某些场合需要的。