

## 第十一章 制冷循环

## 习 题

**11-1** 一制冷机在  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  的热源间工作，若其吸热为  $10\text{ kW}$ ，循环制冷系数是同温限间逆向卡诺循环的  $75\%$ ，试计算：（1）散热量；（2）循环净耗功量；（3）循环制冷量折合多少“冷吨”？

提示和答案：  $\varepsilon_{\text{act}} = \frac{q_{Q_c}}{q_Q - q_{Q_c}}$ ，  $q_Q = 12.63\text{ kW}$ ；  $P_{\text{net}} = 2.63\text{ kW}$ ； **2.59 冷吨**。

**11-2** 一逆向卡诺制冷循环，其性能系数为 4，（1）问高温热源与低温热源温度之比是多少？（2）若输入功率为  $1.5\text{ kW}$ 。试问制冷量为多少“冷吨”？（3）如果将此系统改作热泵循环，高、低温热源温度及输入功率维持不变。试求循环的性能系数及能提供的热量。

提示和答案：  $\varepsilon_c = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$ ，  $\frac{T_H}{T_L} = 1.25$ ； **0.486 冷吨**；  $\varepsilon'_c = 5$ ，  $q'_Q = 6\text{ kW}$ 。

**11-3** 压缩空气制冷循环运行温度  $T_c = 290\text{ K}$ ，  $T_0 = 300\text{ K}$ ，如果循环增压比分别为 3 和 6，分别计算它们的循环性能系数和每千克工质的制冷量。假定空气为理想气体，比热容取定值  $c_p = 1.005\text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ 、 $\kappa = 1.4$ 。

提示和答案：  $\varepsilon = \frac{1}{\pi_1^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1}$ 。  $\varepsilon_a = 2.712$ 、 $\varepsilon_b = 1.496$ ；  $q_{c,a} = 71.2\text{ kJ/kg}$ 、

$q_{c,b} = 110.7\text{ kJ/kg}$ 。

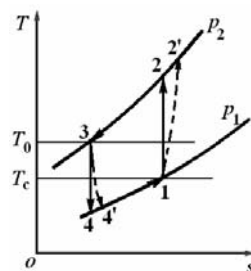
**11-4** 若题 11-3 中压气机绝热效率  $\eta_{c,s} = 0.82$ ，膨胀机相对内效率  $\eta_T = 0.85$ ，分别计算  $1\text{ kg}$  工质的制冷量，循环净功及循环性能系数。

提示和答案：  $T'_4 = T_3 - \eta_T(T_3 - T_4)$ 、 $T_{2'} = T_1 + (T_2 - T_1)/\eta_{c,s}$ 。

$q_{c,a} = 54.93\text{ kJ/kg}$ 、 $q_{c,b} = 86.58\text{ kJ/kg}$ 、 $w_{\text{net},a} = -66.1\text{ kJ/kg}$ 、

$w_{\text{net},b} = -141.0\text{ kJ/kg}$ 、 $\varepsilon_a = 0.831$ 、 $\varepsilon_b = 0.614$ 。**考虑能否利用**

$$\varepsilon = \frac{1}{\pi_1^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1} ?$$

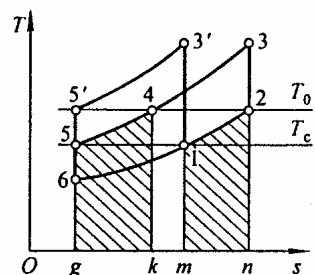


题 11-4 附图

**11-5** 若例 11-1 中压气机的绝热效率  $\eta_{cs} = 0.90$ 、膨胀机的相对内效率  $\eta_T = 0.92$ ，其他条件不变，再求无回热时的制冷系数  $\varepsilon$ 、每千克空气的制冷量  $q_c$  及压缩过程的作功能力损失。

**提示和答案：**  $I = T_0 s_g$ 。  $q_c = 59.79 \text{ kJ/kg}$ 、 $\varepsilon = 0.916$ 、 $I = 11.83 \text{ kJ/kg}$ 。考虑  $I$  是否等于  $w'_c - w_{cs}$ 。

**11-6** 某采用理想回热的压缩气体制冷装置，工质为某种理想气体，循环增压比为  $\pi = 5$ ，冷库温度  $T_c = -40^\circ\text{C}$ ，环境温度为  $300 \text{ K}$ ，若输入功率为  $3 \text{ kW}$ ，试计算：（1）循环制冷量；（2）循环制冷系数；（3）若循环制冷系数及制冷量不变，但不用回热措施。此时，循环的增压比应该是多少？该气体热可取定值， $c_p = 0.85 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ 、 $\kappa = 1.3$ 。



题 11-6 附图

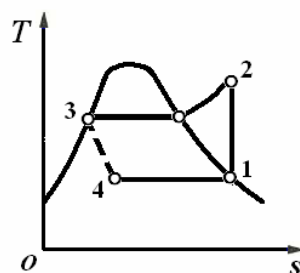
**提示和答案：**  $\varepsilon_{1234561} = \varepsilon_{13'5'6} = 1.156$ 、 $q_{Qc} = 3.47 \text{ kW}$ 、 $\pi' = 14.9$ 。

**11-7** 某压缩气体制冷循环中空气进入压气机时  $p_1 = 0.1 \text{ MPa}$ ， $t_1 = t_c = -23.15^\circ\text{C}$ ，在压气机内定熵压缩到  $p_2 = 0.4 \text{ MPa}$ ，然后进入冷却器。离开冷却器时空气温度  $t_3 = t_0 = 26.85^\circ\text{C}$ 。取空气比热容是温度的函数，试求制冷系数  $\varepsilon$  及每千克空气的制冷量  $q_c$ 。

**提示和答案：** 据  $\frac{p_{r2}}{p_{r1}} = \frac{p_2}{p_1}$  查空气热力性质表确定  $T_2$  和  $h_2$  及  $T_4$  和  $h_4$ 。  $\varepsilon = 2.07$ 、

$$q_c = h_1 - h_4 = 48.46 \text{ kJ/kg}。$$

**11-8** 氟里昂 134a 是对环境较安全的制冷剂，用来替代对大气臭氧层有较大破坏作用的氟里昂 12。今有以氟里昂 134a 为工质的制冷循环，其冷凝温度为  $40^\circ\text{C}$ ，蒸发器温度为  $-20^\circ\text{C}$ ，求：（1）蒸发器和冷凝器的压力；（2）循环的制冷系数。

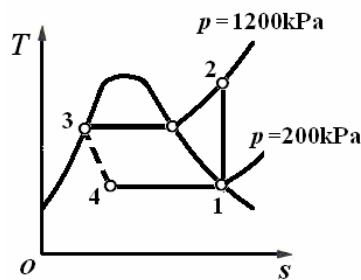


题 11-8 附图

**提示和答案：** 若非特别说明制冷剂离开蒸发器进入压缩机时的状态可近似为温度为蒸发器内温度的干饱和蒸气，离开冷凝器时的状态为冷凝器内温度的饱和液；节流过程焓值不变。

$$p_1 = 133.8 \text{ kPa}、p_2 = p_3 = 1016.32 \text{ kPa}；\varepsilon = 3.06。$$

**11-9** 一台汽车空调器使用氟里昂 134a 为制冷工质，向空调器的压缩机输入功率 2 kW，把工质自 200 kPa 压缩到 1200 kPa，车外的空气流过空调器的蒸发器盘管从 33 °C 的降温到 15 °C 吹进车厢，假定制冷循环为理想循环，求制冷系统内氟里昂 134a 的流量和吹进车厢时的空气体积流量。车厢内压力为 100 kPa。

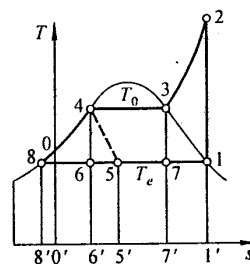


题 11-9 附图

**提示和答案：** 同题 11-8，且  $s_2 = s_1$ 。循环制冷量等于空气放热量。注意制冷剂流量和循环制冷量关系和空气体积

流量应折合到车厢内状态。  $q_m = 0.054 \text{ kg/s}$ 、 $q_v = 0.211 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

**11-10** 某压缩蒸汽制冷装置采用氨 ( $\text{NH}_3$ ) 为制冷剂，参看图 11-5 和图 11-6，从蒸发器中出来的氨气的状态是  $t_1 = -15^\circ\text{C}$ ， $x_1 = 0.95$ 。进入压机升温升压后进入冷凝器。在冷凝器中冷凝成饱和氨液，温度为  $t_4 = 25^\circ\text{C}$ 。从点 4 经节流阀，降温降压成干度较小的湿蒸气状态，再进入蒸发器气化吸热。(1) 求蒸发器管子中氨的压力  $p_1$  及冷凝器管子中的氨的压力  $p_2$ ；(2) 求  $q_c$ 、 $w_{\text{net}}$  和制冷系数  $\varepsilon$ ，并在  $T-s$  图上表示  $q_c$ ；(3) 设该装置的制冷量  $q_Q = 4.2 \times 10^4 \text{ kJ/h}$ ，求氨的流量  $q_m$ ；(4) 求该装置的效率。

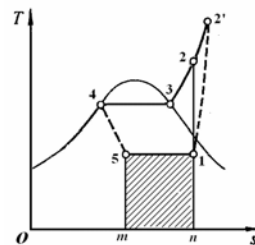


题 11-10 附图

**提示和答案：** 参照题 11-8、11-9，但本题  $x_1 = 0.95$ ；装置效率可定义为冷量与循环净功的比值。  $p_1 = 0.236 \text{ MPa}$ 、 $p_2 = 1.003 \text{ MPa}$ 、 $q_c$  可用  $T-s$  图上面积，155'1'1 表示、 $q_c = 1060.7 \text{ kJ/kg}$ 、 $w_{\text{net}} = 184.0 \text{ kJ/kg}$ 、 $\varepsilon = 5.77$ 、 $q_m = 0.11 \text{ kg/s}$ 、 $\eta_{e_x} = 0.893$ 。

**11-11** 上题中若氨压缩机的绝热效率  $\eta_{C,s} = 0.80$ ，其它参数同上题，求循环的  $w'_{\text{net}}$ 、 $\varepsilon$  及效率  $\eta_{e_x}$ 。

**提示和答案：** 本题与题 1-10 差异仅在于  $w'_{\text{net}} = \frac{w_{\text{net}}}{\eta_{C,s}}$ 。



题 11-11 附图

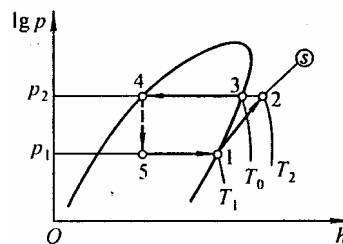
$w'_{\text{net}} = 230 \text{ kJ/kg}$ 、 $\varepsilon = 4.61$ 、 $\eta_{e_x} = 0.715$ 。

**11-12** 若 11-10 题中制冷剂改为氟里昂 134a (HCFC134a)，求 (1) 蒸发压力  $p_1$  和冷凝压力  $p_2$ ；(2)  $q_c$ 、 $w_{\text{net}}$  和  $\varepsilon$ ；(3) HCFC134a 的流量；(4) 装置效率  $\eta_{e_x}$ 。

提示和答案：参照题 11-10。  $p_1 = 164.36 \text{ kPa}$ 、

$p_2 = 665.49 \text{ kPa}$ 、 $q_c = 150 \text{ kJ/kg}$ 、 $w_{\text{net}} = 26 \text{ kJ/kg}$ 、

$\varepsilon = 5.77$ 、 $q_m = 0.778 \text{ kg/s}$ 、 $\eta_{e_x} = 0.894$ 。



题 11-12 附图

11-13 某热泵装置用氨为工质，设蒸发器中氨的温度

为  $-10^\circ\text{C}$ ，进入压缩机时氨蒸气的干度为  $x_1 = 0.95$ ，冷凝器

中饱和氨的温度为  $35^\circ\text{C}$ 。求：(1) 工质在蒸发器中吸收的热量  $q_2$ ，在冷凝器中的散向室内空

气的热量  $q_1$  和循环供暖系数  $\varepsilon'$ ；(2) 设该装置每小时向室内空气供热量  $Q_1 = 8 \times 10^4 \text{ kJ}$ ，求用

以带动该热泵的最小功率是多少？若改用电炉供热，则电炉功率应是多少？两者比较，可得出什么样的结论？

提示和答案：逆向可逆循环运行的热泵消耗功率最小。  $q_2 = 1019.2 \text{ kJ/kg}$ 、

$q_1 = 1203.7 \text{ kJ/kg}$ 、 $\varepsilon' = 6.52$ 、 $P = 3.41 \text{ kW}$ 、 $P_E = 22.2 \text{ kW}$ 、热泵供暖是一种节能措施。

11-14 某热泵型空调器用氟里昂 134a 为工质，设蒸发器中氟里昂 134a 的温度为  $-10^\circ\text{C}$ ，

进压机时蒸气干度  $x_1 = 0.98$ ，冷凝器中饱和液温度为  $35^\circ\text{C}$ 。求热泵耗功和循环供暖系数。

提示和答案：  $w_p = 32 \text{ kJ/kg}$ 、 $\varepsilon' = 5.31$ 。

11-15 有一台空调系统，采用蒸汽喷射压缩制冷机，制取  $p_3 = 1 \text{ kPa}$  的饱和水

( $t_s = 6.949^\circ\text{C}$ )，来降低室温，如教材图 11-13。在

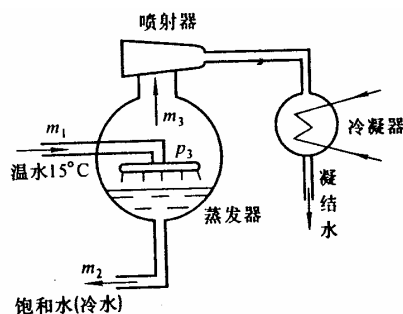
室内吸热升温到  $15^\circ\text{C}$  的水被送入蒸发器内，部分汽化，

其余变为  $1 \text{ kPa}$  的饱和水，蒸发器内产生的蒸汽干度为

0.95，被喷射器内流过的蒸汽抽送到冷凝器中，在  $30^\circ\text{C}$

下凝结成水，若制冷量为  $32000 \text{ kJ/h}$ ，试求所需冷水

流量及蒸发器中被抽走蒸汽的量。



蒸汽喷射压缩制冷示意图

提示和答案：取蒸发器为控制容积，列出质量守恒及能量守恒方程，求得

$q_{m_3} = 0.00372 \text{ kg/s}$ ， $q_{m_2} = 0.258 \text{ kg/s}$ 。

11-16 某冷库制冷机组利用氨 ( $\text{NH}_3$ ) 为制冷工质，由一台小型天然气动力的燃气轮机

机组为制冷机组提供动力。制冷机组的冷凝温度为  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，蒸发温度为  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。燃气轮机装置的热效率是  $30\%$ 。试求：（1）制冷循环中每千克制冷剂的吸热量、放热量及制冷系数；（2）整个系统的能量利用率。

**提示和答案：**装置运行的目的是制冷剂从冷库吸热，代价为燃气轮机装置燃烧室内燃料燃烧放出的热量，故能量利用率可定义为制冷系统  $1\text{ kg}$  制冷剂从冷库吸热量和燃气轮机装置中工质吸热量之比。 $q_c = 1\,047.1\text{ kJ/kg}$ 、 $q_0 = 1\,366.8\text{ kJ/kg}$ 、 $\varepsilon = 3.28$ 、 $\zeta = 0.984$ 。

**11-17** 在氨-水吸收式制冷装置中，利用压力为  $0.3\text{ MPa}$ ，干度为  $0.88$  的湿饱和蒸汽的冷凝热，作为蒸汽发生器的外热源，如果保持冷藏库的温度为  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，而周围环境温度为  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，试计算：（1）吸收式制冷装置的  $\text{COP}_{\max}$ ；（2）如果实际的热量利用系数为  $0.4\text{COP}_{\max}$ ，而要达到制冷能力为  $2.8 \times 10^5\text{ kJ/h}$ ，求需提供湿饱和蒸汽的质量流率  $q_m$  多少。

**提示和答案：**根据压力从饱和水蒸气表中查得饱和温度  $t_s \approx 133.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，求得汽化潜热  $\gamma = h'' - h' = 2\,163.7\text{ kJ/kg}$ 、 $T_H = T_s = 133.5\text{ }^{\circ}\text{C} = 406.7\text{ K}$ 。1 kg 湿蒸汽的冷凝热为：

$q_x = x\gamma = 1\,904.1\text{ kJ/kg}$ 。故冷藏库  $\text{COP}_{\max} = \frac{T_H - T_0}{T_0 - T_L} \left( \frac{T_L}{T_H} \right) = 1.68$ 。吸收式制冷装置的实际热

量利用系数  $\text{COP}$  为： $\text{COP} = 0.4\text{COP}_{\max} = 0.672$ ，所需的供热能力  $Q_H$  可表示为：

$Q_H = \frac{Q_L}{\text{COP}} = 115.7\text{ kW}$ ，需要提供的湿饱和蒸汽的质量流率为： $q_m = \frac{Q_H}{q_x} = 0.061\text{ kg/s}$ 。