

## 第一章基本概念与定义

1. 答：不一定。稳定流动开口系统内质量也可以保持恒定
2. 答：这种说法是不对的。工质在越过边界时，其热力学能也越过了边界。但热力学能不是热量，只要系统和外界没有热量地交换就是绝热系。
3. 答：只有在没有外界影响的条件下，工质的状态不随时间变化，这种状态称之为平衡状态。稳定状态只要其工质的状态不随时间变化，就称之为稳定状态，不考虑是否在外界的影响下，这是他们的本质区别。平衡状态并非稳定状态之必要条件。物系内部各处的性质均匀一致的状态为均匀状态。平衡状态不一定为均匀状态，均匀并非系统处于平衡状态之必要条件。
4. 答：压力表的读数可能会改变，根据压力仪表所处的环境压力的改变而改变。当地大气压不一定是环境大气压。环境大气压是指压力仪表所处的环境的压力。
5. 答：温度计随物体的冷热程度不同有显著的变化。
6. 答：任何一种经验温标不能作为度量温度的标准。由于经验温标依赖于测温物质的性质，当选用不同测温物质的温度计、采用不同的物理量作为温度的标志来测量温度时，除选定为基准点的温度，其他温度的测定值可能有微小的差异。
7. 答：系统内部各部分之间的传热和位移或系统与外界之间的热量的交换与功的交换都是促使系统状态变化的原因。
8. 答：（1）第一种情况如图 1-1（a），不作功（2）第二种情况如图 1-1（b），做功（3）第一种情况为不可逆过程不能在  $p-v$  图上表示出来，第二种情况为可逆过程可以在  $p-v$  图上表示出来。
9. 答：经历一个不可逆过程后系统可以恢复为原来状态。系统和外界整个系统不能恢复原来状态。
10. 答：系统经历一可逆正向循环及其逆向可逆循环后，系统恢复到原来状态，外界没有变化；若存在不可逆因素，系统恢复到原状态，外界产生变化。
11. 答：不一定。主要看输出功的主要作用是什么，排斥大气功是否有用。

## 第二章 热力学第一定律

1. 答：将隔板抽去，根据热力学第一定律  $q = \Delta u + w$  其中  $q = 0, w = 0$  所以容器中空气的热力学能不变。

若有一小孔，以 B 为热力系进行分析

$$\delta Q = dE_{cv} + \left( h_2 + \frac{c_{f2}^2}{2} + gz_2 \right) \delta m_2 - \left( h_1 + \frac{c_{f1}^2}{2} + gz_1 \right) \delta m_1 + \delta W_i$$

只有流体的流入没有流出， $\delta Q = 0, \delta W_i = 0$ ，忽略动能、势能

$$dE_{cv} = h_1 \delta m_1$$

$$dU = h_1 \delta m_1$$

$$\Delta U = h_1 m_1$$

B 部分气体的热力学能增量为  $\Delta U$ ，A 部分气体的热力学能减少量为  $\Delta U$

2. 答：热力学第一定律能量方程式不可以写成题中所述的形式。对于  $q = \Delta u + pV$  只有在特殊情况下，功  $W$  可以写成  $pV$ 。热力学第一定律是一个针对任何情况的定律，不具有  $W = pV$  这样一个必需条件。对于公式  $q_2 - q_1 = (u_2 - u_1) + (w_2 - w_1)$ ，功和热量不是状态参数所以不能写成该式的形式。

3. 答： $q = \Delta u + w$  适用于任何过程，任何工质

$$q = \Delta u + \int_1^2 p dV \quad \text{可逆过程，任何工质}$$

4. 答：推动功是由流进（出）系统的工质传递而由工质后面的物质系统作出的。对于闭口系统，不存在工质的流进（出）所以不存在这样进行传递的功。

5. 答：可以。稳定流动能量方程式可应用于任何稳定流动过程，对于连续工作的周期性动作的能量转换装置，只要在平均单位时间所作的轴功、吸热量以及工质的平均流量为常量，虽然它内

部工质的状态及流动情况是变化的，但这种周期性的变化规律不随时间而变，所以仍然可以利用稳定流动能量方程式分析其能量转换关系。

### 第三章 理想气体的热力学能与焓熵计算

1. 答：理想气体：分子为不占体积的弹性质点，除碰撞外分子间无作用力。理想气体是实际气体在低压高温时的抽象，是一种实际并不存在的假想气体。

判断所使用气体是否为理想气体 j 依据气体所处的状态（如：气体的密度是否足够小）估计作为理想气体处理时可能引起的误差；

k 应考虑计算所要求的精度。若为理想气体则可使用理想气体的公式。

2. 答：气体的摩尔体积在同温同压下的情况下不会因气体的种类而异；但因所处状态不同而变化。只有在标准状态下摩尔体积为  $0.022414 \text{ m}^3/\text{mol}$

3. 答：摩尔气体常数不因气体的种类及状态的不同而变化。

4. 答：一种气体满足理想气体状态方程则为理想气体，那么其比热容、热力学能、焓都仅仅是温度的函数。

5. 答：对于确定的理想气体在同一温度下  $C_p - C_v$  为定值， $\frac{C_p}{C_v}$  为定值。在不同温度下  $C_p - C_v$  为定值， $\frac{C_p}{C_v}$  不是定值

6. 答：麦耶公式的推导用到理想气体方程，因此适用于理想气体混合物不适合实际气体

7. 答：在工程热力学里，在无化学反应及原子核反应的过程中，化学能、原子核能都不变化，可以不考虑，因此热力学能包括内动能和内位能。内动能由温度决定，内位能由  $V$  决定。这样热

力学能由两个状态参数决定。所以热力学能是状态参数。由公式  $h = u + pv$  可以看到，焓也是由状态参数决定，所以也是状态参数。对于理想气体热力学能和焓只是温度的函数。

8. 答：不矛盾。实际气体有两个独立的参数。理想气体忽略了分子间的作用力，所以只取决于温度。

9. 答：在工程热力学里需要的是过程中热力学能、焓、熵的变化量。热力学能、焓、熵都只是温度的单值函数，变化量的计算与基准的选取无关。热力学能或焓的参照状态通常取 0K 或 0

时焓值为 0，热力学能值为 0。熵的基准状态取  $p_0 = 101325\text{Pa}$ 、 $T_0 = 0\text{K}$  熵值为 0

10. 答：气体热力性质表中的  $u$ 、 $h$  及  $s^0$  基准是态是  $(T_0, p_0)$ ， $T_0 = 0\text{K}$ ， $p_0 = 101325\text{Pa}$

11. 答：图 3-2 中阴影部分面积为多变过程 1-2 的热量。

对于多变过程其热力学能变化量及焓变化量可由下面两式计算得到：

$$\Delta u = c_v (T_2 - T_1) = c_v (T_{2'} - T_1) = q_{v,1-2}$$

$$\Delta h = c_p (T_2 - T_1) = c_p (T_{2'} - T_1) = q_{p,1-2}$$

过初始状态点，做定容线 2-2'，图 3-3 中阴影部分面积为多变过程 1-2 的热力学能变化量

过初始状态点，做定压线 2-2'，图 3-4 中阴影部分面积为多变过程 1-2 的焓变化量

若为不可逆过程，热力学能、焓不变如上图。热量无法在图中表示出来。

12. 答：可以。因为熵是状态参数，只与初终状态有关，与过程无关。

13. 答： $ds = \frac{\delta q_{\text{rev}}}{T}$  中， $\delta q_{\text{rev}}$  为一微元可逆变化过程中与热源交换的热量，而  $\delta q = cdT$  中  $\delta q$  为工质温度升高  $dT$  所吸收的热量，他们是不能等同的所以这一结论是错误的。

14. (1) (×)

(2) (×)

(3) (×)

(4) (×)

(5) ( )

15. 答：不适用

16. 答：因为  $x_A = \frac{M_{eq}}{M_A} w_A$ ,  $x_B = \frac{M_{eq}}{M_B} w_B$ , 混合气体的折合摩尔质量相同，但是组分 A 和 B

摩尔的摩尔质量大小关系不能确定。所以不能断定  $w_A > w_B$

## 第四章 理想气体的热力过程

1. 答：主要解决的问题及方法：

1. 根据过程特点（及状态方程） $\xrightarrow{\text{确定}}$  过程方程

2. 根据过程方程 $\xrightarrow{\text{确定}}$  始、终状态参数之间的关系

3. 由热力学第一定律等 $\xrightarrow{\text{计算}}$   $q, \omega, \omega_t, \Delta u, \Delta h, \Delta s$

4. 分析能量转换关系（用 P—V 图及 T—S 图）（根据需要可以定性也可以定量）

例：

1) 程方程式： $T = \text{常数}$ （特征）  $PV = \text{常数}$ （方程）

2) 始、终状态参数之间的关系： $\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$  或  $P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$\Delta u = 0$$

$$\Delta h = 0$$

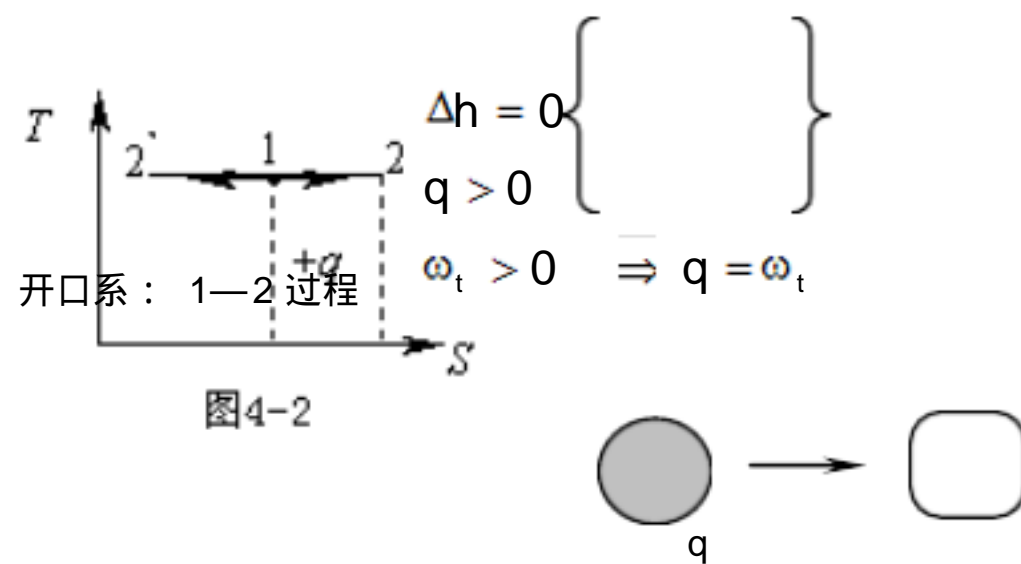
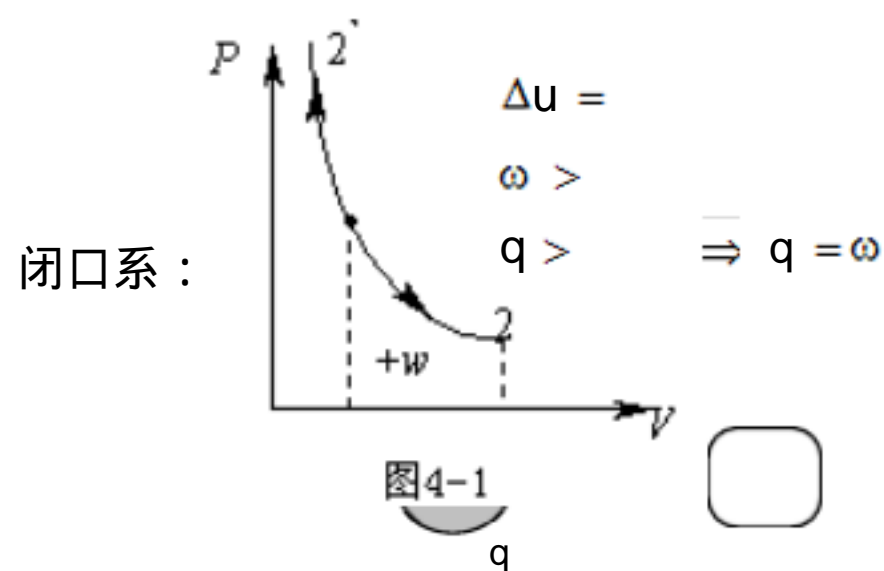
3) 计算各量： $\Delta s = R \ln \frac{V_2}{V_1} = -R \ln \frac{P_2}{P_1}$

$$\omega = \int P dV = \int P V \frac{dV}{V} = P V \ln \frac{V_2}{V_1} = R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\omega_t = \omega = R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$q = \omega_t = \omega = R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

4) P-V图, T-S图 上工质状态参数的变化规律及能量转换情况



## 第五章 热力学第二定律

2. 答：不是都适用。第一组公式适用于任何一种过程。第二组公式

$q = \Delta u = c_v (t_2 - t_1)$  适用于定容过程， $q = \Delta h = c_p (t_2 - t_1)$  适用于定压过程。

3. 答：定温过程对气体应加入热量。



$$\omega = \int PdV = \int PV \frac{dV}{V} = PV \ln \frac{V_2}{V_1} = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\omega_t = \omega = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$q = \omega_t = \omega = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

4. 答：对于一个定温过程，过程途径就已经确定了。所以说  $q$  是与途径有关的。

5. 答：成立

6. 答：不只限于理想气体和可逆的绝热过程。因为  $q = \Delta u + w$  和  $q = \Delta h + w_t$  是通用公式，适用于任何工质任何过程，只要是绝热过程  $q = 0$  无论是可逆还是不可逆。所以  $w = u_1 - u_2$  和  $w_t = h_1 - h_2$  不只限于可逆绝热过程。

7. (1) (×)

(2) (×)

(3) (×)

8. 答：

$$q_{1-2-3} = u_{1-2-3} + w_{1-2-3}, q_{1-4-3} = u_{1-4-3} + w_{1-4-3}$$

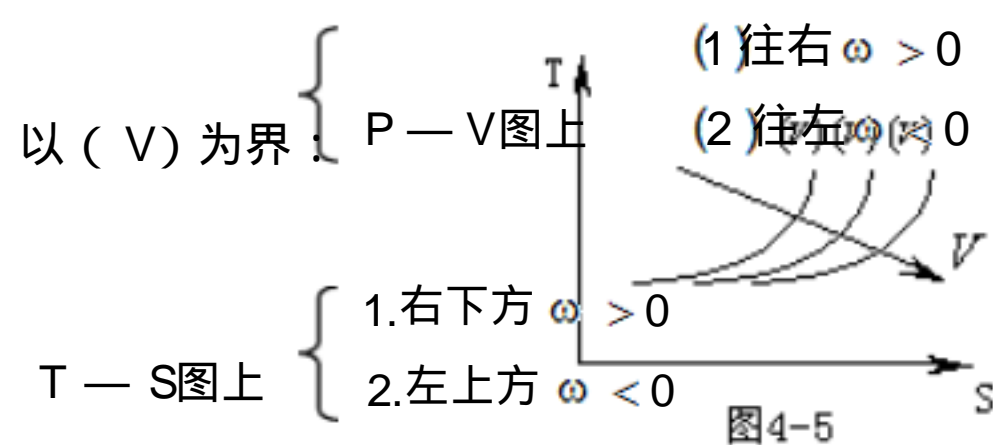
$$u_{1-2-3} = u_{1-4-3}, w_{1-2-3} > w_{1-4-3}$$

$$q_{1-2-3} > q_{1-4-3}$$

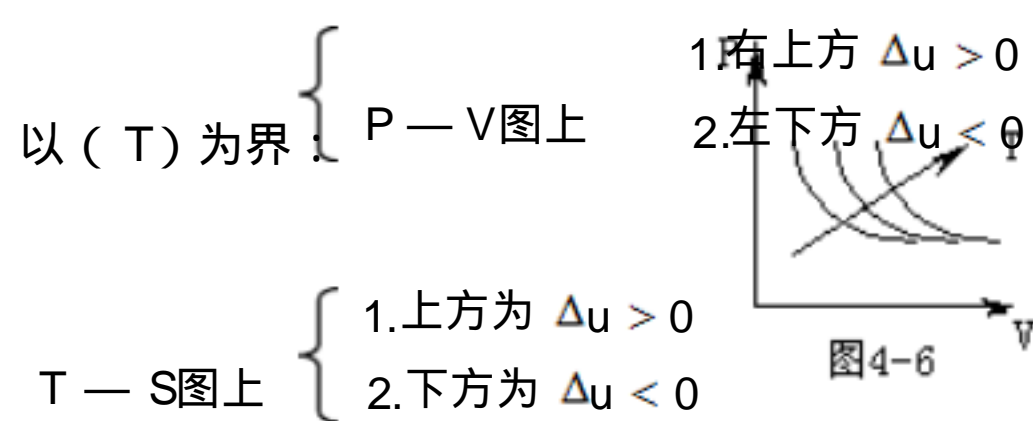
b、c 在同一条绝热线上  $\Delta u_{ab} < \Delta u_{ac}$ ，若 b、c 在同一条定温线上，二者相等。

9. 答：绝热过程，不管是否是可逆过程都有  $w_t = -\Delta h, w = -\Delta u$  所以在 T-S 图上的表示方法与第三章第十一题相同。

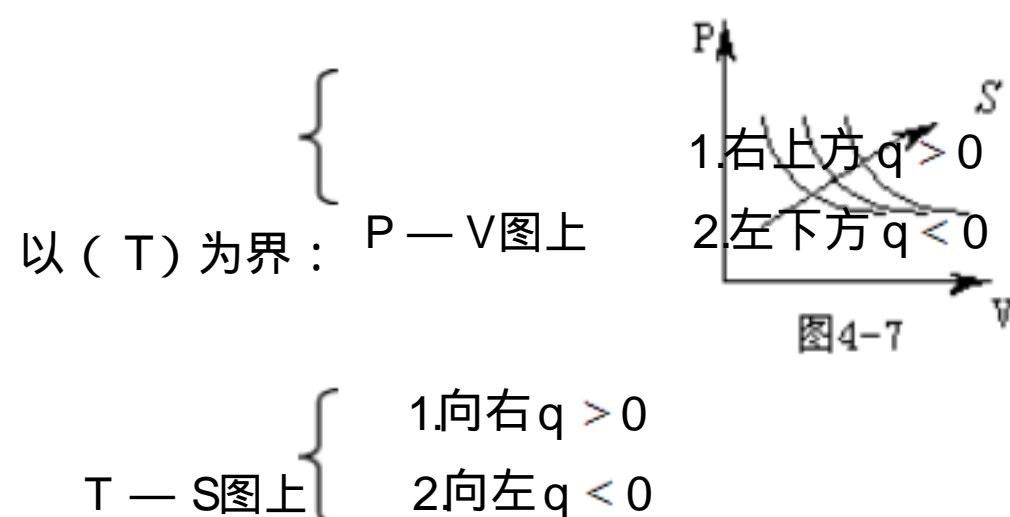
10. 答：1)  $\omega$  的判别：



2)  $\Delta u$  ,  $\Delta h$  的判别：



3)  $q$  的判别：





1. 答：不能这样表述。表述不正确，对于可逆的定温过程，所吸收的热量可以全部转化为机械能，但是自身状态发生了变化。所以这种表述不正确。

2. 答：不正确。自发过程是不可逆过程是正确的。非自发过程却不一定为可逆过程。

3. 答：一切非准静态过程都是不可逆过程。不可逆因素有：摩擦、不等温传热和不等压做功。

4. 答：热力学第二定律的两种说法反映的是同一客观规律——自然过程的方向性  $\longrightarrow$  是一致的，只要一种表述可能，则另一种也可能。

假设热量  $Q_2$  能够从温度  $T_2$  的低温热源自动传给温度为  $T_1$  的高温热源。现有一循环热机在两热源间工作，并且它放给低温热源的热量恰好等于  $Q_2$ 。整个系统在完成一个循环时，所产生的唯一效果是热机从单一热源（ $T_1$ ）取得热量  $Q_1 - Q_2$ ，并全部转变为对外输出的功  $W$ 。低温热源的自动传热  $Q_2$  给高温热源，又从热机处接受  $Q_2$ ，故并未受任何影响。这就成了第二类永动机。  $\Rightarrow$  违反了克劳修斯说法，  $\Rightarrow$  必须违反了开尔文说法。反之，承认了开尔文说法，克劳修斯说法也就必然成立。

5. (1) (×)

(2) (×)

(3) (×)

6. 答：这两个公式不相同。

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

适用于任何工质，任何循环。

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

适用于任何工质，卡诺循环

7. 答：不违反热力学第二定律，对于理想气体的定温过程，从单一热源吸热并膨胀做功，工质的状态发生了变化，所以不违反热力学第二定律

8. (1) (×)

(2) (×)

(3) (×)

9 (1) 熵增大的过程必为不可逆过程 (×)

(2) 使系统熵增大的过程必为不可逆过程 (×)

(3) 熵产  $S_g > 0$  的过程必为不可逆过程 ( )

(4) 不可逆过程的熵变  $\Delta S$  无法计算 (×)

(5) 如果从同一初始态到同一终态有两条途径，一为可逆，另一为不可逆，则

$\Delta S_{\text{不可逆}} > \Delta S_{\text{可逆}}$  ,  $S_{f,\text{不可逆}} > S_{f,\text{可逆}}$  ,  $S_{g,\text{不可逆}} > S_{g,\text{可逆}}$  是否正确？

答：  $\Delta S_{\text{不可逆}} = \Delta S_{\text{可逆}}$  、  $S_{f,\text{不可逆}} < S_{f,\text{可逆}}$  、  $S_{g,\text{不可逆}} > S_{g,\text{可逆}}$

(6) 不可逆绝热膨胀的终态熵大于初态熵，  $S_2 > S_1$ ，不可逆绝热压缩的终态熵小于初态熵  $S_2 < S_1$ ？

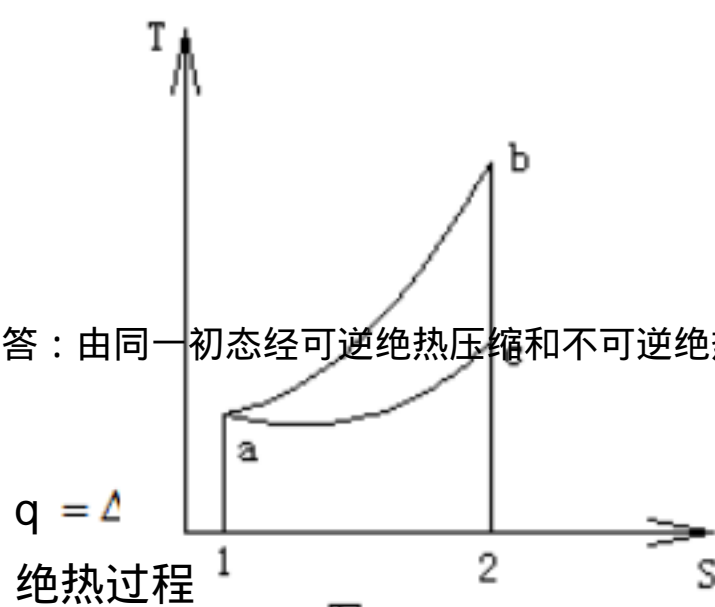
答：不可逆绝热膨胀的终态熵大于初态熵  $S_2 > S_1$  不可逆绝热压缩的终态熵也大于初态熵  $S_2 > S_1$ 。

(7) 工质经过不可逆循环有  $\oint ds > 0, \oint \frac{\delta q}{T_r} < 0$  ?

答：工质经过不可逆循环有  $\oint ds = 0, \oint \frac{\delta q}{T_r} < 0$

10. 答：由图 5-2 可知  $q_{a-b} > q_{a-c}$

$q_{a-b}$  为 1-a-b-2-1 的面积；  $q_{a-c}$  为 1-a-c-2-1 的面积



11. 答：由同一初态经可逆绝热压缩和不可逆绝热压缩两种过程到相同终压如图 5-3 图所示。

$q = \Delta$   
绝热过程  
图 5-2  
 $\Delta h = c_p (T_2 - T_1) = c_p (T_{2'} - T_1) = q_{p,1-2}$

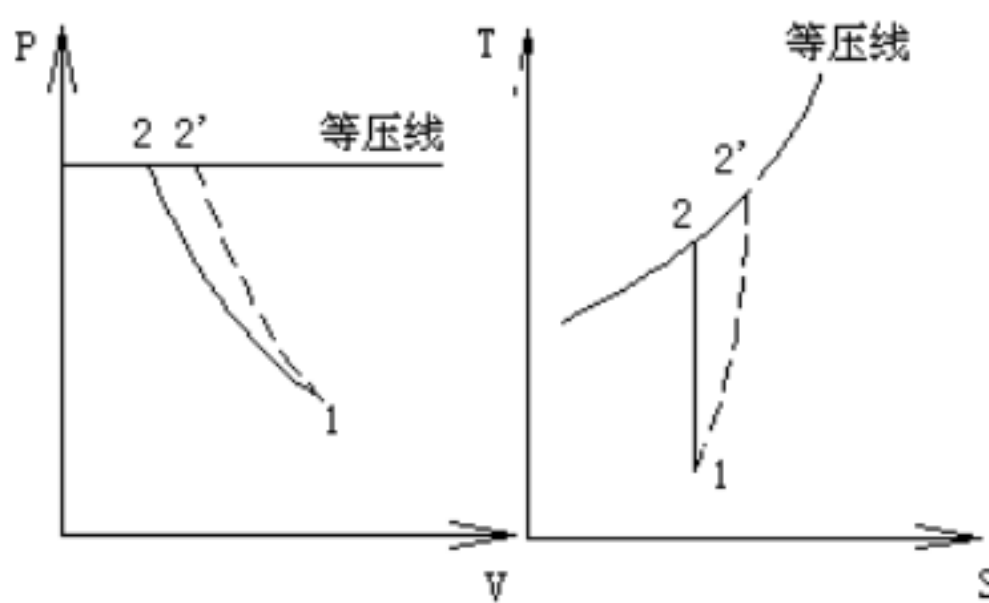


图 5-3

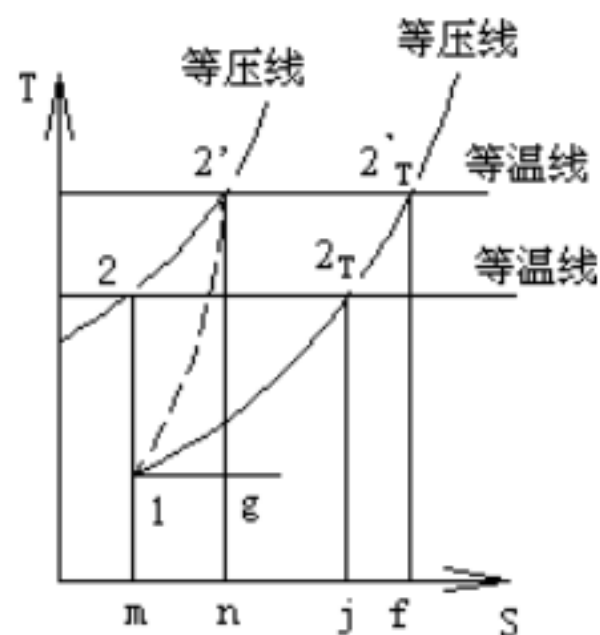


图 5-4

由 5-4 图可知，可逆绝热压缩过程的技术功为面积  $1-2-T-j-m-1$ ，不可逆绝热压缩过程的技术功为面积  $1-2'-T-f-m-1$ ，不可逆过程的用损失为面积  $1-g-n-m-1$

12. 答：若系统内进行的是不可逆过程则系统的总能不变，总熵增加，总火用减小

## 第六章气体与蒸汽的流动

1. 答：改变气流速度主要是气流本身状态变化。

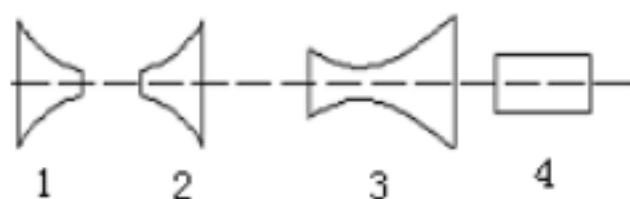


图 6-1

2. 答：气流速度为亚声速时图 6-1 中的 1 图宜于作喷管，2 图宜于作扩压管，3 图宜于作喷管。当声速达到超声速时时 1 图宜于作扩压管，2 图宜于作喷管，3 图宜于作扩压管。4 图不改变声速也不改变压强。

3. 答：摩擦损耗包含在流体出口的焓值里。摩擦引起出口速度变小，出口动能的减小引起出口焓值的增大。

4. 答：1) 若两喷管的最小截面面积相等，两喷管的流量相等，渐缩喷管出口截面流速小于缩放喷管出口截面流速，渐缩喷管出口截面压力大于缩放喷管出口截面压力。

2) 若截取一段，渐缩喷管最小截面面积大于缩放喷管最小截面面积，则渐缩喷管的流量小于缩放喷管的流量，渐缩喷管出口截面流速小于缩放喷管出口截面流速，渐缩喷管出口截面压力大于缩放喷管出口截面压力。

5. 答：定焓线并不是节流过程线。在节流口附近流体发生强烈的扰动及涡流，不能用平衡态热力学方法分析，不能确定各截面的焓值。但是在距孔口较远的地方流体仍处于平衡态，忽略速度影响后节流前和节流后焓值相等。尽管节流前和节流后焓值相等，但不能把节流过程看作定焓过程。距孔口较远的地方属于焓值不变的过程所以  $dh = 0$

## 第七章 压气机的压气过程

1. 答：分级压缩主要是减小余隙容积对产气量的影响，冷却作用只是减小消耗功。所以仍然需要采用分级压缩。

2. 答：绝热压缩时压气机不向外放热，热量完全转化为工质的内能，使工质的温度升高不利于进一步压缩容易对压气机造成损伤，耗功大。等温压缩压气机向外放热，工质的温度不变，有利于进一步压缩耗功小，所以等温压缩更为经济。

3. 答：由第一定律能量方程式  $q = \Delta h + w_t$  ,

定温过程  $\Delta h = 0$  , 所以  $w_c = -w_t = -q = -T \Delta s$  , 同时  $\Delta s = R_g \ln \frac{p_1}{p_2}$  则有

$$w_c = R_g T_1 \ln \frac{p_2}{p_1}$$

多变过程  $w_c = -w_t = \Delta h - q$

$$q = \frac{n-k}{n-1} c_v (T_2 - T_1) = \frac{n-k}{n-1} \cdot \frac{1}{k-1} R_g (T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = c_p (T_2 - T_1) = \frac{k}{k-1} R_g T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = \frac{k}{k-1} R_g T_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$w_c = \frac{n}{n-1} R_g T_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

绝热压缩过程  $q = 0$  , 所以

$$w_c = -w_t = \Delta h = c_p (T_2 - T_1) = \frac{k}{k-1} R_g T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = \frac{k}{k-1} R_g T_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

等温过程所作的功为图 7-1 中面积  $1-2_T-m-n-1$ ，绝热过程所作的功为图中面积  $1-2_s-f-n-1$

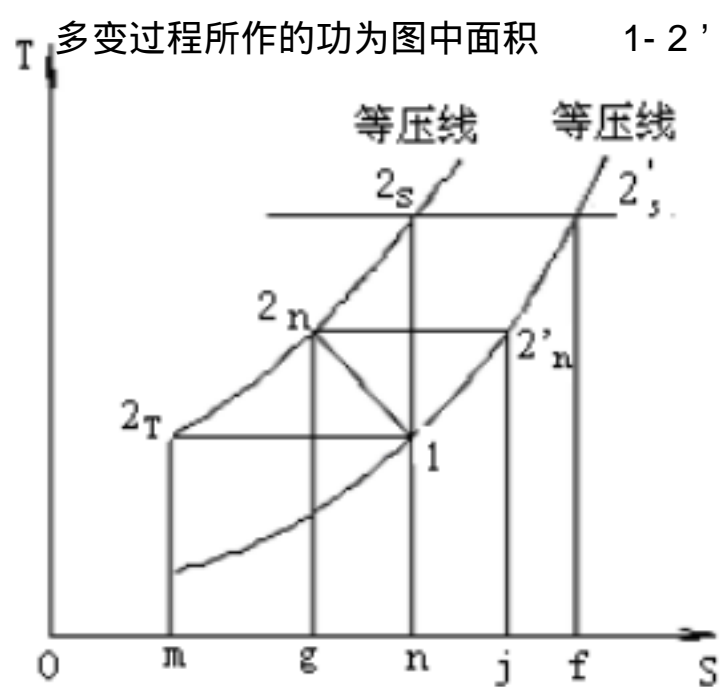


图 7-1

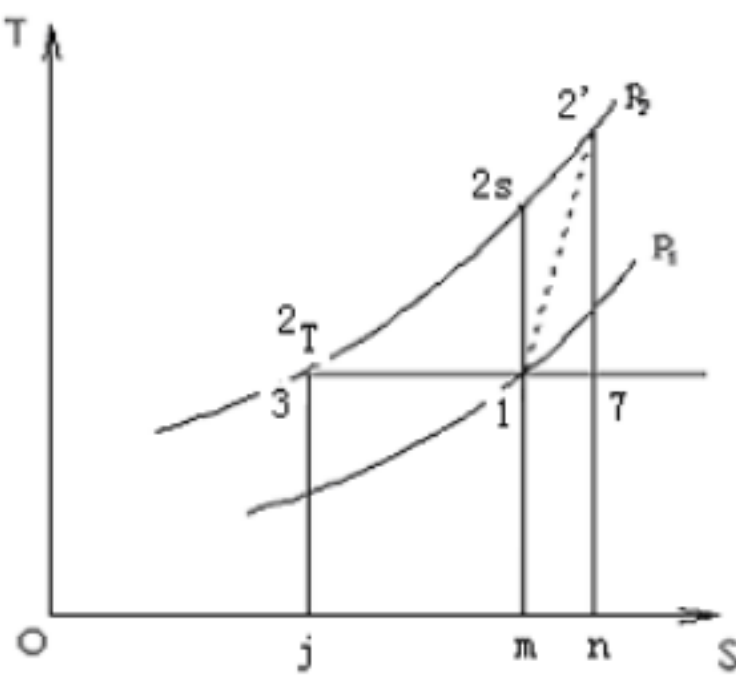


图 7-2

答：多消耗的功量并不就是损失的做功能力损失。因为

$i = T_0 \Delta s_g = T_0 (s_{2'} - s_1) = T_0 (s_{2'} - s_1) = 2_T (s_{2'} - s_1)$  为图 9-2 上面积  $1-7-n-m$  所示。

5. 答：若压缩过程 1-2 是可逆的，则为升温升压吸热过程。它与不可逆绝热压缩过程的区别是：该过程没有不可逆因素的影响，所消耗的功是最小的，且可以在 T-s 图上把该过程的吸热量表示

出来。对于不可逆绝热压缩过程  $q = \Delta u + w$ ， $w = -\Delta u$ ，而可逆绝热压缩过程  $q = \Delta u + w$ ，

$w = q - \Delta u$  所以不可逆过程消耗的功大，数值为  $\int_1^2 T ds$

## 第八章 气体动力循环

答：分析动力循环的一般方法：首先把实际过程的不可逆过程简化为可逆过程。找到影响热效率的主要因素和提高热效率的可能措施。然后分析实际循环与理论循环的偏离程度，找出实际损失的部位、大小、原因以及改进办法。

2. 答：若两者初态相同，压缩比相同，它们的热效率相等。因为

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \text{ 而 } \pi = \frac{p_2}{p_1} \text{ 对于}$$

定压加热理想循环  $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k = \varepsilon^k$  带入效率公式可知二者相等。若卡诺循环的压缩比与

他们相同，则有  $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1}$  ,  $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$  他们的效率都相等。

3. 答：理论上可以利用回热来提高热效率。在实际中也得到适当的应用。如果采用极限回热，可以提高热效率但所需的回热器换热面积趋于无穷大，无法实现。

4. 答：采用定温压缩增加了循环净功。而

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

在此过程中  $T_2$  不变， $T_1$  变小，所以其热效率降低。

答：定温膨胀增大膨胀过程作出的功，增加循环净功，但

$$\eta = 1 - \frac{\bar{T}_2}{\bar{T}_1}$$

在此过程中  $\bar{T}_2$  变大， $\bar{T}_1$  不

变，所以其热效率降低。

6. 答：该理论循环热效率比定压燃烧喷气式发动机循

环的热效率降低。因为

$$\eta = \frac{w}{q}$$

当利用喷油嘴喷出燃油进行加力燃烧时，虽然多做了功增大了推力，但是功的增加是在吸收了大量的热的基础上获得的。由图可知获得的功与需要的热的比值小于定压燃烧喷气式发动机循环的比值，导致整体的理论循环的热效率比定压燃烧喷气式发动机循环的热效率降低。

7. 答：原方案：

$$\text{循环吸热量： } Q = c m \quad t, \text{ 循环净功： } w = w_r - w_c = m[(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)] \quad (1)$$

第 2 方案：



$$\text{循环吸热量: } Q_1 = c m_A (t_1 - t_2) + c m_B (t_2 - t_1) = c m (t_1 - t_2) \quad (2)$$

$$\text{循环净功: } w_0 = w_{rB} = m_B (h_3 - h_4) \quad (3)$$

$$\text{对于第 2 方案, } w_{rA} = w_C, \text{ 即: } m_A (h_3 - h_4) = m (h_2 - h_1)$$

$$\text{或 } (m - m_B) (h_3 - h_4) = m (h_2 - h_1) \quad (4)$$

$$\text{由 (3)、(4) 解得: } w_0 = m [(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)]$$

结论：两种方案循环吸热量与循环净功均相同，因而热力学效果相同，热效率  $w_0/Q_1$  必相同。

## 第九章 实际气体

答：理想气体模型中忽略了气体分子间的作用力和气体分子所占据的体积。实际气体只有在高温低压状态下，其性质和理想气体相近。或者在常温常压下，那些不易液化的气体，如氧气、氮气、空气等的性质与理想气体相似，可以将它们看作理想气体，使研究的问题简化。

2. 答：压缩因子为温度、压力相同时的实际气体比体积与理想气体比体积之比。压缩因子不仅随气体的种类而且随其状态而异，故每种气体应有不同的  $Z = f(p, T)$  曲线。因此不能取常数。

3. 答：范德瓦耳方程其计算精度虽然不高，但范德瓦耳方程式的价值在于能近似地反映实际气体性质方面的特征，并为实际气体状态方程式的研究开拓了道路，因此具有较高的地位。

4. 答：当需要较高的精度时应采用实验数据拟和得到  $a$ 、 $b$ 。利用临界压力和临界温度计算得到的  $a$ 、 $b$  值是近似的。

5. 答：在相同的压力与温度下，不同气体的比体积是不同的，但是只要他们的  $p_r$  和  $T_r$  分别相同，他们的  $v_r$  必定相同这就是对应态原理， $f(p_r, T_r, v_r) = 0$ 。

对应态原理并不是十分精确，但大致是正确的。它可以使我们在缺乏详细资料的情况下，能借助某一资料充分的参考流体的热力性质来估算其他流体的性质。

相对于临界参数的对比值叫做对比参数。对比温度  $T_r = T/T_c$ ，对比压力  $p_r = p/p_c$ ，对比比体积  $v_r = v/v_c$ 。

6. 答：对简单可压缩的系统，任意一个状态参数都可以表示成另外两个独立参数的函数。其中，某些状态参数若表示成特定的两个独立参数的函数时，只需一个状态函数就可以确定系统的其它参数，这样的函数就称为“特性函数”

由函数  $u = u(s, p)$  知  $du = \left(\frac{\partial u}{\partial s}\right)_p ds + \left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)_p dp$  且  $du = Tds - pdv$  将两公式进行对比则有  $T = \left(\frac{\partial u}{\partial s}\right)_p$ ，但是对于比容无法用该函数表示出来，所以此函数不是特性函数。

答：将状态方程进行求导，然后带入热力学能、焓或熵的一般关系式，在进行积分。

8. 答：以  $T, p$  为独立变量时  $u = u(T, p)$ ，将第二  $ds$  方程  $ds = \frac{c_p}{T} dT - \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p dp$  代入

$du = Tds - pdv$  同时， $dv = \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T dp$  得到

$$du = \left[ c_p - p \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right] dT - \left[ p \left( \frac{\partial v}{\partial p} \right)_T + T \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right] dp$$

同理：以  $v, p$  为独立变量时  $u = u(v, p)$ ，将第三  $ds$  方程  $ds = \frac{c_v}{T} \left( \frac{\partial T}{\partial v} \right)_p dp + \frac{c_p}{T} \left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_v dv$  代入  $du = Tds - pdv$ ，得到

$$du = c_v \left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_v dp + \left[ c_p \left( \frac{\partial T}{\partial v} \right)_p - p \right] dv$$

以  $T, v$  为独立变量时  $h = h(p, v)$ ，将第一  $ds$  方程代入  $dh = Tds + vdp$  得

$$dh = \left[ c_v + v \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \right] dT + \left[ T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v + v \left( \frac{\partial p}{\partial v} \right)_T \right] dv$$

以  $p, v$  为独立变量时  $h = h(T, v)$ ，将第三  $ds$  方程代入  $dh = Tds + vdp$  得

$$dh = \left[ v + c_v \left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_v \right] dp + c_p \left( \frac{\partial T}{\partial v} \right)_p dv$$

9. 答：热力学能、焓、熵都是状态参数，计算两个平衡状态之间的变量可任意选择其过程。所以同样适用于不可逆过程。

10. 答：比热容一般关系式：

$$c_p - c_v = -T \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p^2 \left( \frac{\partial p}{\partial v} \right)_T$$

对于液态水，在压力不变条件下，比容随温度的变化很小，因而  $c_p - c_v \approx 0$ 。

即：液态和固态物质一般不区分定压比热与定容比热，而气体  $c_p \neq c_v$ ，要区分。

11. 答：与水的相图比较，显著的差别是固液二相平衡线的倾斜方向不同，由于液态水凝固时容积增大，依据克拉贝隆 - 克劳修斯方程固液相平衡曲线的斜率为负。而其他物质则相反。

## 第十章 水蒸气及动力循环

答：水的三相点状态参数不是唯一的，其中温度、压力是定值而比体积不是定值；临界点是唯一的，其比体积、温度、压力都是确定的；三相点是三相共存的点，临界点是饱和水线与饱和蒸汽线的交点，在该点饱和水线与饱和蒸汽线不再有分别。

2. 答：水的集态为高压水，若有裂缝则会产生爆裂事故。

3. 答：这种说法是不对的。因为温度不变不表示热力学能不变。这里分析的是水，定压汽化有相变，不能作为理想气体来处理，所以  $\Delta u \neq 0$ 。不能得到  $q = w$  这样的结果。

4. 答： $\Delta h_p = c_p \Big|_{T_1}^{T_2} \Delta T$  适用于理想气体，不能应用于水定压汽化过程，水不能作为理想气体来处理。

5. 答：图 10-1 中循环 6-7-3-4-5-6 局限于饱和区，上限温度受制于临界温度，导致其平均吸热温度较低，故即使实现卡诺循环其热效率也不高。

6. 答：通过对热机的效率进行分析后知道，提高蒸汽的过热温度和蒸汽的压力，都能使热机效率提高。在本世纪二三十年代，材料的耐热性较差，通过提高蒸汽的温度而提高热机的效率比较困难，因此采用再热循环来提高蒸汽初压。随着耐热材料的研究通过提高蒸汽的温度而提高热机的效率就可以满足工业要求。因此很长一段时期不再设计制造再热循环工作设备。近年来要求使用的蒸汽初压提高，由于初压的提高使得乏气干度迅速降低，引起气轮机内部效率降低，另外还会侵蚀汽轮机叶片缩短汽轮机寿命，所以乏气干度不宜太低，必须提高乏气温度，就要使用再热循环。

答：计算回热循环主要是计算抽气量。

1) 对于混合式回热加热器对如图 11-4 所示的 N 级抽汽回热的第 j 级加热器，列出质量守恒方程为

$$\alpha_j + \sum_{k=j+1}^N (1 - \alpha_k) = \sum_{k=j}^{N-1} (1 - \alpha_k)$$

能量守恒方程为

$$\alpha_j h_{0j} + \sum_{k=j+1}^N (1 - \alpha_k) h'_{0,j+1} = \sum_{k=j}^{N-1} (1 - \alpha_k) h'$$

解得第 j 级抽气量为

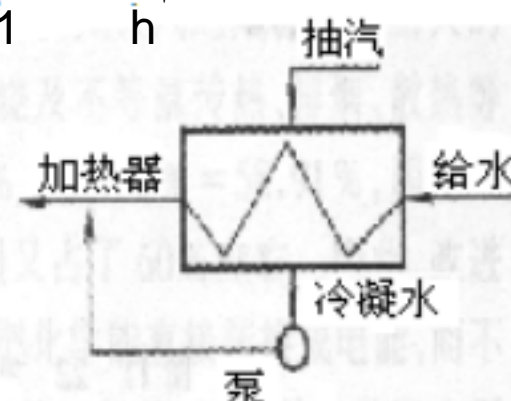


图 11-3

$$\alpha_j = \left( 1 - \sum_{k=1}^{N-j} \alpha_k \right) \frac{h_{0j}' - h_{0,j+1}'}{h_{0j}' - h_{0j}'}$$

2) 对于表面式回热加热器，其抽气量仍是通过热平衡方程求取

$$\alpha_j (h_{0j}' - h_{0j}') = (h_{0j}' - h_{0,j+1}')$$

$$\alpha_j = \frac{h_{0j}' - h_{0,j+1}'}{h_{0j}' - h_{0j}'}$$

8. 答：这与卡诺定理并不矛盾。卡诺定理当中的可逆循环忽略了循环当中所有的不可逆因素，不存在任何不可逆损失，所以这时热能向机械能转化只由热源的条件所决定。而实际循环中存在各种不可逆损失，由于工质性质不同，不可逆因素和不可逆程度是各不相同的，因此其热效率与工质性质有关。

9. 答：这样的想法是不对的。因为从热力学第二定律来讲一个非自发过程的进行必定要有一个自发过程的进行来作为补充条件。乏气向冷取水排热就是这样一个补充条件，是不可缺少的。

10. 答：柴油机的汽缸壁因为有冷却水和进入气缸的空气冷却，燃烧室和叶片都可以冷却，其材料可以承受较高燃气温度，燃气温度通常可高达 1800-2300K，而蒸汽循环蒸汽过热器外面是高温燃气里面是蒸汽，所以过热器壁面温度必定高于蒸汽温度，这与柴油机是不同的，蒸汽循环的最高蒸汽温度很少超过 600K。因此蒸汽循环的热效率较低。

11. 答：这种想法是不正确的。回热循环是通过减少了温差传热不可逆因素，从而使热效率提高，使该循环向卡诺循环靠近了一步。而该题中的想法恰恰是又增加了温差传热不可逆因素。因此对效率提高是没有好处的。

12. 答：热量利用系数说明了全部热量的利用程度，但是不能完善的衡量循环的经济性。能量分为可用能与不可用能，能量的品位是不同的。在实际工程应用中用的是可用能。可用能在各个部分各个过程的损失是不能用热量利用系数来说明的。

13. 答：提高循环热效率的共同原则是：提高工质的平均吸热温度。

## 第十一章 制冷循环

答：压缩空气制冷循环不能采用节流阀来代替膨胀机。工质在节流阀中的过程是不可逆绝热过程，不可逆绝热节流熵增大，所以不但减少了制冷量也损失了可逆绝热膨胀可以带来的功量。而压缩蒸汽制冷循环在膨胀过程中，因为工质的干度很小，所以能得到的膨胀功也极小。而增加一台膨胀机，既增加了系统的投资，又降低了系统工作的可靠性。因此，为了装置的简化及运行的可靠性等实际原因采用节流阀作绝热节流。



2. 答：采用回热后没有提高其理论制冷系数但能够提高其实际制冷系数。因为采用回热后工质的压缩比减小，使压缩过程和膨胀过程的不可逆损失的影响减小，因此提高实际制冷系数。

3. 答：过程 4-8 熵减，必须放热才能实现。而 4 点工质温度为环境温度  $T_0$ ，要想放热达到温度  $T_c$ （8 点），必须有温度低于  $T_c$  的冷源，这是不存在的。（如果有，就不必压缩制冷了）。

4. 答：制冷剂应具备的性质：对应于装置的工作温度，要有适中的压力；在工作温度下气化潜热要大；临界温度应高于环境温度；制冷剂在  $T-s$  图上的上下界限线要陡峭；工质的三相点温度要低于制冷循环的下限温度；比体积要小；传热特性要好；溶油性好；无毒等。限产直至禁用 R11 和 R12 是十分必要的，因为这类物质进入大气后在紫外线作用下破坏臭氧层使得紫外线直接照射到地面，破坏原有的生态平衡。

5. 答：各种制冷循环都有共同点。从热力学第二定律的角度来看，无论是消耗机械能还是热能都是使熵增大，以弥补热量从低温物体传到高温物体造成的熵的减小，从而使孤立系统保持熵增大。

6. 答：因为热泵循环与制冷循环的本质都是消耗高质能以实现热量从低温热源向高温热元的传输。热泵循环和制冷循环的热力学原理相同。

## 第十二章 湿空气

答：阴雨天空气的湿度大，吸取水蒸气的能力差，所以晒衣服不易干。晴天则恰恰相反，所以容易感。

2. 答：人呼出的气体是未饱和湿空气。当进入外界环境时，外界环境的温度很低使得呼出的气体得到冷却。在冷却过程中，湿空气保持含湿量不变，温度降低。当低于露点温度时就有水蒸气不断凝结析出，这就形成了白色雾状气体。

冬季室内有供暖装置时，温度较高，使空气含湿量减小。因此会觉得干燥。放一壶水的目的就是使水加热变成水蒸气散发到空气中增加空气的含湿量。

3. 答：露点：湿空气中水蒸气的分压力所对应的饱和温度称为湿空气的露点温度，或简称露点。

- a) 雾是近地面空气中的水蒸气发生的凝结现象。白天温度比较高，空气中可容纳较多的水汽。但是到了夜间，地面温度较低，空气把自身的热量传给地面，空气温度下降，这时湿空气随温度降低呈现出过饱和状态，就会发生凝结，当足够多的水分子与空气中微小的灰尘颗粒结合在一起，同时水分子本身也会相互粘结，就变成小水滴或冰晶，这就形成了雾。雾的形成基本条件，一是近地面空气中的水蒸气含量充沛，二是地面气温低。三是在凝结时必须有一个凝聚核，如尘埃等。
- b) 露是水蒸气遇到冷的物体凝结成的水珠。露的形成有两个基本条件：一是水汽条件好，二是温度比较低的物体（低，指与露点温度比较）。温度逐渐降低且保持含湿量不变。当温度低于露点温度时就有水珠析出，这就形成露。
- c) 霜是近地面空气中的水蒸气在物体上的凝华现象。霜的形成有两个基本条件，一是空气中含有较多的水蒸气，二是有冷（ $0^{\circ}\text{C}$  以下）的物体。湿空气与温度较低物体接触达到水汽过饱和的时候多余的水汽就会析出。如果温度在  $0^{\circ}\text{C}$  以下，则多余的水汽就在物体表面上凝华为冰晶，形成霜。

4. 答：对于未饱和空气，干球温度数值较大。对于饱和空气三者的大小相等。

5. 答：含湿量  $d$ ：1 千克干空气所带有的水蒸汽的质量。相对湿度是湿空气中实际包含的水蒸汽量与同温度下最多能包含的水蒸汽量的百分比。相对湿度是一个比值，不能简单的地说相对湿度愈大含湿量愈高，他与同温度下最多能包含的水蒸汽量是相关的。

6. 答： $\phi$  减小， $d$  减小， $p_v$  减小

7. 答： $\phi$  减小， $d$  不变， $h$  变大