

【知识点十】

基础篇

10.1 (西交 2011) 由迈尔公式 $C_{p,m} = C_{V,m} + R$ 可知, ν 摩尔理想气体定压过程温度升高 1K 时, 气体对外做功为_____; 内能增量为_____; 吸收的热量为_____。

10.2 一可逆卡诺热机, 低温热源的温度为 27°C , 热机效率为 40%, 则其高温热源温度为_____K。

10.3 (华科 2015) 2mol 的理想气体在温度为 300K 时经历一可逆的等温膨胀过程, 其体积从 0.02m^3 增加到 0.04m^3 , 则气体在此过程中的熵变为_____。

10.4 (中南大学 2014) 理想气体绝热地向真空膨胀, 其温度和熵变为 ()

A. 二者都减少 B. 二者均不变 C. 温度不变, 熵增加 D. 温度降低, 熵增加

10.5 (华科 2012) 一理想的卡诺循环机, 高温热源的温度是 400K , 每一循环从此热源吸收 100J 热量并向一低温热源放出 80J 热量, 求: ()

(1) 低温热源的温度; (2) 这热机循环的效率。

10.6 (中国农业 2011) 3mol 温度为 $T_0 = 273\text{K}$ 的理想气体, 先经等温过程体积膨胀到原来的 5 倍, 然后等容加热, 使其末态的压强刚好等于初始压强, 整个过程传给气体的热量为 $Q = 8 \times 10^4\text{J}$. 试画出此过程的 $p-V$ 图, 并求这种气体的比热容比 $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ 值. (普适气体常量 $R = 8.31\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

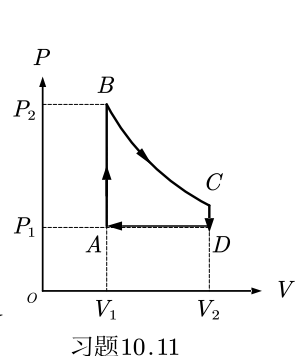
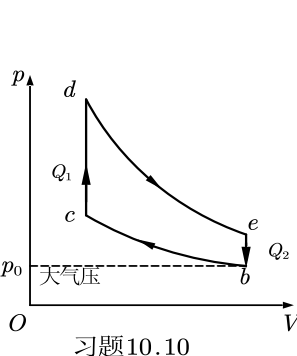
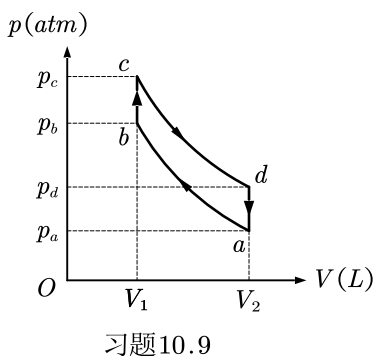
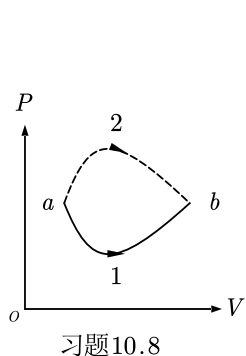
提高篇

10.7 下列结论正确的是: ()

A. 功可以全部转换为热, 但热不能全部转换为功 B. 热量不能自动地从低温物体传递到高温物体
C. 不可逆过程就是不能反向进行的过程 D. 绝热过程的熵变一定为 0

10.8 如图所示, 某热力学系统从 a 状态经过可逆过程 1 到达 b 状态, 热温比的积分为 $\int_a^b \frac{dQ_1}{T_1}$; 从 a 状态经过不可逆过程到达 b 状态, 热温比的积分为 $\int_a^b \frac{dQ_2}{T_2}$. 以下说法正确的是 ()

A. $\int_a^b \frac{dQ_1}{T_1} = \int_a^b \frac{dQ_2}{T_2}$ B. $\int_a^b \frac{dQ_1}{T_1} > \int_a^b \frac{dQ_2}{T_2}$
C. $\int_a^b \frac{dQ_1}{T_1} < \int_a^b \frac{dQ_2}{T_2}$ D. $\int_a^b \frac{dQ_1}{T_1}$ 和 $\int_a^b \frac{dQ_2}{T_2}$ 的大小关系不确定



10.9 (哈工大 2013) 1mol 氦气作如图所示的可逆循环过程, 其中 ab 和 cd 是绝热过程, bc 和 da 为等体过程, 已

知 $V_1=16.4L$, $V_2=32.8L$, $p_a=1atm$, $p_b=3.18atm$, $p_c=4atm$, $p_d=1.26atm$, 试求:

(1) 在各态氮气的温度; (2) bc 过程的熵变 ΔS_{bc} ; (3) 循环效率。

$$(1atm=1.013\times 10^5Pa, R=8.31J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1})$$

10.10 一定量的理想气体经历如图所示的循环过程, $c\rightarrow d$ 和 $e\rightarrow b$ 是等容过程, $d\rightarrow e$ 和 $b\rightarrow c$ 是绝热过程。已知 $T_c=400K$, $T_b=300K$, 试求此循环的效率。

10.11 (武大 2015) 气缸内 $1mol$ 的氮气 (N_2) 经历如图所示的循环过程 $ABCD$, 其中 BC 为等温过程, 已知 P_1 , P_2 , V_1 , V_2 及气体的普适常量 R 。试求:

(1) AB 过程中气体对外所做的功和内能的增量;

(2) 循环过程中气体对外做的净功和循环效率。

【知识点十参考答案】

基础篇

10.1 【正解】 $\nu R(SI)$ $\nu C_{V,m}(SI)$ $\nu(R+C_{V,m}(SI))$

【解析】做功 $W = P\Delta V = \nu R\Delta T = \nu R$, 内能变化 $\Delta U = \nu C_{V,m}\Delta T = \nu C_{V,m}$, 吸热等于对外做功加上内能增量。

10.2 【正解】 500

【解析】卡诺循环的效率公式: $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 40\% = 0.4 = \frac{2}{5}$, 所以 $\frac{T_2}{T_1} = \frac{3}{5}$,

其中 $T_2 = 27^\circ C = 300K$, 所以 $T_1 = 500K$ 。

10.3 【正解】 $11.53J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}$

【解析】根据熵增公式: $\Delta S = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$, 代入数值算得结果为 $11.53J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}$ 。

10.4 【正解】 C

【解析】在该过程中 $Q=0$, $A=0$, $\Delta E=0$, 说明初、末状态的温度相同, 即 $T_1=T_2$, 温度不变。因此该过程的初态和末态处在等温线上, 我们可以沿这个可逆等温过程来计算实际过程的熵变, 即

$$\Delta S = \int_{\text{等温线}} \frac{\delta Q}{T} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{pdV}{T} = \nu R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}, \text{说明系统熵增加。}$$

10.5 【正解】 320K 20%

【解析】考察卡诺循环机原理

(1) 对卡诺循环, 有 $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$,

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}, \frac{100}{400} = \frac{80}{T_2}, T_2 = \frac{80}{100} \times 400 = 320(K)$$

(2) $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{80}{100} = 20\%$

10.6 【正解】过程图如下 $\gamma = 1.39$

【解析】 $p-V$ 图如右

末态温度为 $T = 5T_0$,

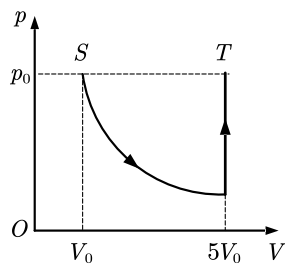
$$\text{等温过程: } Q_T = \nu RT_0 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 3RT_0 \ln 5 = 1.09 \times 10^4 J$$

$$\text{等容过程: } Q_V = \nu C_V (T - T_0) = 3C_V (4T_0) = 3276C_V$$

$$\text{由 } Q = Q_T + Q_V = Q_T + 3276C_V$$

$$\text{得: } C_V = (Q - Q_T)/3276 = 21.1 J/(mol \cdot K)$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{C_V + R}{C_V} = 1.39$$



习题10.6图

提高篇

10.7 【正解】B

【解析】A: 一在一定条件下完全转化为功, 如等温膨胀; C: 不可逆过程是指在不引起其他变化的条件下, 不能使逆过程重复正过程的每一个状态的过程; D: 绝热可逆过程的熵变为 0, 不可逆过程熵变大于 0。

10.8 【正解】B

【解析】从 b 经 1 过程的逆过程到 a , 再经 2 过程到 b , 这个过程 $\int_b^a \frac{dQ_1}{T_1} + \int_a^b \frac{dQ_2}{T_2} < 0$, 移项即可。

10.9 【正解】(1) $T_a = p_a V_2 / R = 400K$, $T_b = p_b V_1 / R = 636K$, $T_c = p_c V_1 / R = 800K$, $T_d = p_d V_2 / R = 504K$;

$$(2) \Delta S_{bc} = 2.86 J \cdot K^{-1}; \quad (3) \eta = 36.6\%。$$

【解析】(1) $T_a = p_a V_2 / R = 400K$, $T_b = p_b V_1 / R = 636K$, $T_c = p_c V_1 / R = 800K$, $T_d = p_d V_2 / R = 504K$

$$(2) \Delta S_{bc} = \int \frac{\delta Q}{T} = \int \frac{dE}{T} = \int_{T_b}^{T_c} \frac{i}{2} R \frac{dT}{T} = \frac{3}{2} R \int_{T_b}^{T_c} \frac{dT}{T} = \frac{3}{2} R \ln \frac{T_c}{T_b} = 2.86 J \cdot K^{-1}$$

$$(3) b \rightarrow c \text{ 等体系热: } Q_1 = C_V (T_c - T_b) = 2.044 \times 10^3 J$$

$$d \rightarrow a \text{ 等体放热: } Q_2 = C_V (T_d - T_a) = 1.296 \times 10^3 J \quad \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{1.296 \times 10^3}{2.044 \times 10^3} = 36.6\%$$

10.10 【正解】25%

【解析】循环的效率 $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\nu C_V \Delta T_2}{\nu C_V \Delta T_1} = 1 - \frac{T_b - T_e}{T_c - T_d}$, 在 de 绝热过程中, 根据绝热方程可得:

$$\left(\frac{V_e}{V_d}\right)^\gamma = \frac{T_d}{T_e}, \text{ 同理, 在 } bc \text{ 过程有: } \left(\frac{V_b}{V_c}\right)^\gamma = \frac{T_c}{T_b}, \text{ 又因为 } cd \text{ 和 } eb \text{ 是等容过程, 所以}$$

$$V_c = V_d, V_b = V_e, \text{ 所以 } \frac{T_b}{T_c} = \frac{T_e}{T_d} = \frac{T_b - T_e}{T_c - T_d} = \frac{3}{4}, \text{ 所以 } \eta = 1 - \frac{3}{4} = 25\%$$

10.11 【正解】(1) $A_{AB} = 0$, $\Delta E_{AB} = \frac{5}{2} (p_2 V_1 - p_1 V_1)$; (2) $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{p_2 V_2 \ln \frac{V_2}{V_1} - p_1 (V_2 - V_1)}{\frac{5}{2} (p_2 V_1 - p_1 V_1) + p_2 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}$

【解析】(1) 由于 $A \rightarrow B$ 为等体过程, 所以气体对外所做的功 $A_{AB} = 0$

$$\text{而内能的增量为 } \Delta E_{AB} = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R(T_B - T_A)$$

$$\text{又对于氮气 (N}_2\text{), } i=5 \text{ 且 } pV = \frac{m}{M} RT, \text{ 所以 } \Delta E_{AB} = \frac{5}{2} (p_2 V_1 - p_1 V_1)$$

$$(2) B \rightarrow C \text{ 为等温膨胀过程, 系统对外做的功为 } A_{BC} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \frac{M}{\mu} RT_B \ln \frac{V_2}{V_1} = p_2 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$D \rightarrow A \text{ 为等压压缩过程, 系统对外做负功, 即 } A_{DA} = -p_1 (V_2 - V_1)$$

又 $A \rightarrow B$ 及 $C \rightarrow D$ 均为等体过程, 系统对外不做功, 故循环过程中气体对外做的净功为

$$A = A_{BC} + A_{DA} = p_2 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - p_1 (V_2 - V_1)$$

在此循环过程中, 吸热过程有 $A \rightarrow B$ 和 $B \rightarrow C$ 过程, 且

$$Q_{AB} = \Delta E_{AB} = \frac{5}{2} (p_2 V_1 - p_1 V_1), \quad Q_{BC} = A_{BC} = p_2 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\text{所以: } Q_1 = Q_{AB} + Q_{BC} = \frac{5}{2} (p_2 V_1 - p_1 V_1) + p_2 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\text{循环效率为: } \eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{p_2 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - p_1 (V_2 - V_1)}{\frac{5}{2} (p_2 V_1 - p_1 V_1) + p_2 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$