第 5 章练习题参考答案

基础练习

1. D　2. D　3. D　4. C　5. A　6. B　7. C　8. B　9. C　10. AC　11. D　12. AD

13. 放；21. 5。

14. 凭空产生；凭空消失；转化；转移。

15. 方向；热力学第一。

16. 1995 J；75. 4。

17. 解：

$Pt=cm\Delta tm$，代入数据得 $m=1.4$ kg。

18. 解：

(1) $W=P\Delta V=169.7$ J；

(2) $Q=W+\Delta E=W+qm=2263.8$ J；

(3) $\Delta E=Q-W=2094.1$ J。

综合进阶

1. D　2. D　3. D　4. B　5. D　6. B　7. D　8. C　9. C　10. B

11. 热量；内能。

12. 平衡态。

13. 准静态过程。

14. $\mathrm{d}E+\mathrm{d}W$。

15. $2.5(p_2V_2-p_1V_1)$；$0.5(p_2+p_1)(V_2-V_1)$；$3(p_2V_2-p_1V_1)+0.5(p_1V_2-p_2V_1)$。

16. 500；25%。

17. 解：

$S_{\mathrm{ABCD}}=1/2(BC+AD)\times CD$，故 $W=150$ J。

18. 解：

根据物态方程 $pV_1=vRT_1$，则做功为

$$W=p(V_2-V_1)=2pv_1=2vRT_1=9.97\times10^3\ \mathrm{J}$$

19. 解：

(1)体积不变时

$$Q_{\mathrm{V}}=\frac{m}{M}C_{V.m}\Delta T=\frac{64}{32}\times\frac{5}{2}\times8.31\times(50-0)=2.08\times10^3(\mathrm{J})$$

$$W_V=0$$

由热力学第一定律 $Q=\Delta E+W$ 得 $\Delta E_{\mathrm{V}}=Q_{\mathrm{V}}=2.08\times10^3(\mathrm{J})$。

(2)压强不变时

$$Q_{\mathrm{p}}=\frac{m}{M}C_{p.m}\Delta T=\frac{64}{32}\times\frac{5+2}{2}\times8.31\times(50-0)=2.91\times10^3(\mathrm{J})$$

$$\Delta E_p = \Delta E_V = 2.08\times10^3(\mathrm{J})$$
$$W_p = Q_p - \Delta E_p = (2.91-2.08)\times10^3 = 0.83\times10^3(\mathrm{J})$$

20. 解：

(1)利用公式 $W=\int p(V)\mathrm{d}V$ 求解。在等压过程中，$\mathrm{d}W=p\mathrm{d}V=\frac{m}{M}R\mathrm{d}T$，则得

$$W_p = \int \mathrm{d}W = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m}{M}R\mathrm{d}T = 36.6(\mathrm{J})$$

而在等体过程中，因气体的体积不变，故做功为

$$W_p = Q_p - \Delta E = 36.6(\mathrm{J})$$

氧气的摩尔定压热容 $C_{p,m}=\frac{7}{2}R$，摩尔定容热容 $C_{V,m}=\frac{5}{2}R$

$$Q_p = \int p\mathrm{d}V + \Delta E = vC_{p,m}(T_2 - T_1) = 128.1(\mathrm{J})$$
$$Q_V = \Delta E = vC_{V,m}(T_2 - T_1) = 91.5(\mathrm{J})$$
$$Q_V = \Delta E = \frac{m}{M}C_{V,m}(T_2 - T_1) = 91.5(\mathrm{J})$$

(2)由于在(1)中已求出 Q_p 与 Q_V，则由热力学第一定律可得在等压过程、等体过程中所做的功分别为

$$W_p = Q_p - \Delta E = 36.6\ \mathrm{J}$$
$$W_V = Q_V - \Delta E = 0$$

21. 解：

空气在等温膨胀过程中所做的功为

$$W_T = \frac{m}{M}RT_1\ln(V_2/V_1) = p_1V_1\ln(p_1/p_2)$$

空气在等压压缩过程中所做的功为

$$W = \int p\mathrm{d}V = p(V_2 - V_1)$$

利用等温过程关系 $p_1V_1=p_2V_2$，则空气在整个过程中所做的功为

$$W = W_p + W_T = p_1V_1\ln(p_1/p_2) + p_2V_1 - p_1V_1 = 55.7(\mathrm{J})$$

22. 解：

(1)沿 AB 作等温膨胀的过程中，系统做功

$$W_{AB} = \frac{m}{M}RT_1\ln(V_B/V_A) = p_AV_B\ln(V_B/V_A) = 2.77\times10^3(\mathrm{J})$$

由分析可知在等温过程中，氧气吸收的热量为

$$Q_{AB} = W_{AB} = 2.77\times10^3(\mathrm{J})$$

(2)沿 A 到 C 再到 B 的过程中系统做功和吸热分别为

$$W_{ACB} = W_{AC} + W_{CB} = W_{CB} = p_C(V_B - V_C) = 2.0\times10^3(\mathrm{J})$$
$$Q_{ACB} = W_{ACB} = 2.0\times10^3(\mathrm{J})$$

23. 解：

该空气等压膨胀，对外做功为

$$W=p(V_2-V_1)=5.0\times10^2\ \text{J}$$

其内能的改变为

$$Q=\Delta E+W=1.21\times10^3\ \text{J}$$

24. 解：

设 p、V 分别为绝热过程中任一状态的压强和体积，则由 $p_1V_1^{\gamma}=pV^{\gamma}$ 得

$$p=p_1V_1^{\gamma}V^{-\gamma}$$

氢气绝热压缩做功为

$$W=\int p\mathrm{d}V=\int_{V_1}^{V_2}p_1V_1^{\gamma}V^{-\gamma}\mathrm{d}V=\frac{p_1}{1-\gamma}\left[V_2\left[\frac{V_1}{V_2}\right]-V_1\right]=-23.0(\text{J})$$

25. 解：

(1)等压膨胀

$$W_{\text{p}}=p_{\text{A}}(V_{\text{B}}-V_{\text{A}})=\frac{vRT_{\text{A}}}{V_{\text{A}}}(V_{\text{B}}-V_{\text{A}})=RT_{\text{A}}=2.49\times10^3(\text{J})$$

$$Q_{\text{p}}=W_{\text{p}}+\Delta E=vC_{p,m}(T_{\text{B}}-T_{\text{A}})=vC_{p,m}T_{\text{A}}=\frac{7R}{2}T_{\text{A}}=8.73\times10^3(\text{J})$$

(2)等温膨胀

$$W_{\text{T}}=vRT\ln V_{\text{C}}/V_{\text{A}}=RT_{\text{A}}\ln2=1.73\times10^3(\text{J})$$

对等温过程 $\Delta E=0$，所以 $Q_{\text{T}}=W_{\text{T}}=1.73\times10^3$ J。

(3)绝热膨胀

$$T_{\text{D}}=T_{\text{A}}(V_{\text{A}}/V_{\text{D}})\gamma^{-1}=300\times(0.5)^{0.4}=227.4(\text{K})$$

对绝热过程 $Q_{\text{a}}=0$，则有

$$W_{\text{a}}=-\Delta E=vC_{V,m}(T_{\text{A}}-T_{\text{D}})=\frac{5R}{2}(T_{\text{A}}-T_{\text{D}})=1.51\times10^3\ \text{J}$$

26. 解：

(1)等温压缩 $T=300$ K，由 $p_1V_1=p_2V_2$ 求得体积

$$V_2=\frac{p_1V_1}{p_2}=\frac{1}{10}\times0.01=1\times10^{-3}(\text{m}^3)$$

对外做功

$$\begin{aligned}A&=VRT\ln\frac{V_2}{V_1}=p_1V\ln\frac{p_1}{p_2}\\&=1\times1.013\times10^5\times0.01\times\ln 0.01\\&=-4.67\times10^3(\text{J})\end{aligned}$$

(2)绝热压缩 $C_{\text{V}}=\frac{5}{2}R$，$\gamma=\frac{7}{5}$，由绝热方程 $p_1V_1^{\gamma}=p_2V_2^{\gamma}$，$V_2=\left(\frac{p_1V_1^{\gamma}}{p_2}\right)^{1/\gamma}$

$$V_2=\left(\frac{p_1V_1^{\gamma}}{p_2}\right)^{1/\gamma}=\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}V_1=\left(\frac{1}{10}\right)^{\frac{1}{4}}\times0.01=1.93\times10^{-3}(\text{m})$$

由绝热方程 $T_1^{\gamma}p_1^{\gamma-1}=T_2^{-\gamma}p_2^{-\gamma}$ 得 $T_2^{\gamma}=\dfrac{T_1^{\gamma}p_2^{\gamma-1}}{p_1^{\gamma-1}}=300^{1.4}\times(10)^{0.4}$　$T_2=579$ K。

热力学第一定律 $Q=\Delta E+A$，$Q=0$，所以

$$A=-\frac{M}{M_{\mathrm{mol}}}C_{\mathrm{V}}(T_2-T_1)$$

$$pV=\frac{M}{M_{\mathrm{mol}}}RT,\ A=-\frac{p_1V_1}{RT_1}\ \frac{5}{2}R(T_2-T_1)$$

$$A=-\frac{1.013\times10^5\times0.001}{300}\times\frac{5}{2}\times(579-300)=-23.5\times10^3(\mathrm{J})$$

27. 解：

如图 5-30 所示，完成一次循环过程气体对外所做的功为矩形 1234 的面积，即 $W=(5-1)\times10^{-3}\times(10-5)\times10^5\ \mathrm{J}=2000\ \mathrm{J}$。

或

$$\begin{aligned}W&=W_{23}+W_{41}=p_2(V_3-V_2)+p_4(V_1-V_4)\\&=[10\times10^5\times(5-1)\times10^{-3}+5\times10^5(1-5)\times10^{-3}](\mathrm{J})\\&=2000(\mathrm{J})\end{aligned}$$

循环过程中氮气吸收的热量为：

$$Q_{吸}=Q_{23}+Q_{12}=\nu\ \frac{7}{2}R(T_3-T_2)+\nu\ \frac{5}{2}R(T_2-T_1)$$

$$=\frac{7}{2}(p_3V_3-p_2V_2)+\frac{5}{2}(p_2V_2-p_1V_1)$$

$$\therefore\quad \eta=\frac{W}{Q_{\mathrm{ab}}+Q_{\mathrm{da}}}=\frac{W}{\frac{7}{2}(p_3V_3-p_2V_2)+\frac{5}{2}(p_2V_2-p_1V_1)}$$

$$=\frac{2000}{\frac{7}{2}(10\times10^5\times5\times10^{-3}-10\times10^5\times1\times10^{-3})+\frac{5}{2}(10\times10^5\times1\times10^{-3}-5\times10\times1\times10^{-3})}$$

$$=\frac{2000}{15250}=13.1\%$$

28. 解：

(1) 等容过程：$W=0$；$Q=\Delta E=C_{V,m}\Delta T=\frac{5}{2}R\Delta T=\frac{5}{2}\times8.31\times60=1246.5(\mathrm{J})$。

(2) 等温过程：$Q=W=RT\ln\frac{V_2}{V_1}=8.31\times(273+80)\ln 2=2033.3(\mathrm{J})$，$\Delta E=0$。

29. 解：

卡诺循环由气体的四个变化过程组成，等温膨胀过程，绝热膨胀过程，等温压缩过程，绝热压缩过程。气体在等温膨胀过程内能不改变，所吸收的热量全部转化为对外所做的功，即

$$Q_1=A_1=\int_{V_1}^{V_2}p\mathrm{d}V=RT_1\int_{V_1}^{V_2}\frac{1}{V}\mathrm{d}V=RT_1\ln\frac{V_2}{V_1}=5.35\times10^3(\mathrm{J})$$

气体在等温压缩过程内能也不改变，所放出的热量是由外界对系统做功转化来的，即

$$Q_2 = A_2 = \int_{V_3}^{V_4} p\mathrm{d}V = RT_2\int_{V_3}^{V_4} \frac{1}{V}\mathrm{d}V = RT_2\ln\frac{V_4}{V_3}$$

利用两个绝热过程，可以证明：$V_4/V_3=V_2/V_1$，可得：$Q_2=4.01\times10^3$ J。

气体在整个循环过程中所做的功为：$A=Q_1-Q_2=1.34\times10^3$ J。

30. 解：

$$Q_{\mathrm{ab}}=A=nRT_a\ln\frac{V_{\mathrm{b}}}{V_{\mathrm{a}}}=RT_{\mathrm{a}}\ln2$$

$$Q_{\mathrm{bc}}=nC_{\mathrm{p,m}}(T_{\mathrm{c}}-T_{\mathrm{b}})=\frac{7}{2}R\left(\frac{T_{\mathrm{a}}}{2}-T_{\mathrm{a}}\right)=-\frac{7}{4}RT_{\mathrm{a}}$$

$$Q_{\mathrm{ca}}=nC_{\mathrm{V,m}}(T_{\mathrm{a}}-T_{\mathrm{c}})=\frac{5}{2}R\left(T_{\mathrm{a}}-\frac{1}{2}T_{\mathrm{a}}\right)=\frac{5}{4}RT_{\mathrm{a}}$$

$$\eta=1+\frac{Q_{\mathrm{bc}}}{Q_{\mathrm{ab}}+Q_{\mathrm{ca}}}=9.94\%$$

31. 解：

由 $\eta=1-\dfrac{T_2}{T_1}$，得 $T_1=500$ K，效率升高后高温热源的温度为 $T_1=600$ K。

32. 解：

热机的效率为

$$\eta=1-\frac{T_2}{T_1}=25.5\%$$

每次循环对外做的净功为

$$A=\eta Q_1=5\times10^4(\mathrm{J})$$

33. 解：

(1) $\varepsilon=\dfrac{T_2}{T_1-T_2}=5.208$。

(2) 从低温热源吸收的热量为

$$Q_2=A\varepsilon=2.3\times10^6(\mathrm{J})$$

向高温热源释放的热量为

$$Q_1=A+Q_2=2.79\times10^6(\mathrm{J})$$