

第二章 热力学第一定律

习 题

2-1 一辆汽车 1 小时消耗汽油 34.1 升，已知汽油发热量为 44 000 kJ/kg，汽油密度 0.75g/cm^3 。测得该车通过车轮出的功率为 64kW，试求汽车通过排气，水箱散热等各种途径所放出的热量。

提示和答案：汽车通过排气，水箱散热等散发热量为汽油总发热量与通过车轮出的功率之差，解得 $Q_{\text{out}} = 894\,900\text{ kJ/h}$ 。

2-2 质量为 1275 kg 的汽车在以 60 000 m/h 速度行驶时被踩刹车止动，速度降止 20 000 m/h，假定刹车过程中 0.5kg 的刹车带和 4kg 钢刹车鼓均匀加热，但与外界没有传热，已知刹车带和钢刹车鼓的比热容分别是 $1.1\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 和 $0.46\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，求刹车带和刹车鼓的温升。

提示和答案：汽车速度降低，动能转化为刹车带和刹车鼓的热力学能， $t_2 - t_1 = 65.9^\circ\text{C}$ 。

2-3 1kg 氧气置于图 2-14 所示气缸内，缸壁能充分导热，且活塞与缸壁无摩擦。初始时氧气压力为 0.5MPa，温度为 27°C ，若气缸长度 $2l$ ，活塞质量为 10kg。试计算拔除钉后，活塞可能达到最大速度。

提示和答案：气体输出的有用功转化为活塞动能，可逆过程对外界作功最大，故按可逆定温膨胀计算功， $c_2 = 87.7\text{m/s}$ 。

2-4 气体某一过程中吸收了 50J 的热量，同时，热力学能增加 84J，问此过程是膨胀过程还是压缩过程？对外作功是多少 J？

提示和答案：取气体为系统，据闭口系能量方程式 $Q = \Delta U + W$ ，解得外界对气体作功 34J。

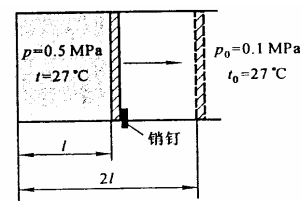


图 2-14 习题 2-3 附图

2-5 在冬季，工厂车间每一小时经过墙壁和玻璃等处损失热量 $3 \times 10^6\text{ kJ}$ ，车间中各种机床的总功率是 375kW，且最终全部变成热能，另外，室内经常点着 50 盏 100W 的电灯，若使该车间温度保持不变，问每小时需另外加入多少热量？

提示和答案：车间内产生的热量等散失的热量车间保持温度不变，解得 $Q_{\text{补}} = 1\,632\,000\text{ kJ}$ 。

2-6 夏日，为避免阳光直射，密闭门窗，用电扇取凉，若假定房间内初温为 28°C ，压力为 0.1MPa，电扇的功率为 0.06kW，太阳直射传入的热量为 0.1kW，若室内有三人，每人每小时向环境散发的热量为 418.7kJ，通过墙壁向外散热 1800kJ/h，试求面积为 15m^2 ，高度为 3.0m 的室内空气每小时温度的升高值，已知空气的热力学能与温度关系为

$$\Delta u = 0.72 \{ \Delta T \}_K \text{ kJ/kg}。$$

提示和答案： 室内门窗密闭，近似假定空气总质量不变，据能量守恒，解得 $\Delta T = 0.86\text{K}$ 。

2-7 有一飞机的弹射装置，如图 2-15，在气缸内装有压缩空气，初始体积为 0.28m^3 ，终了体积为 0.99m^3 ，飞机的发射速度为 61m/s ，活塞、连杆和飞机的总质量为 2722kg 。设发射过程进行很快，压缩空气和外界间无传热现象，若不计摩擦力，求发射过程中压缩空气的热力学能变化。

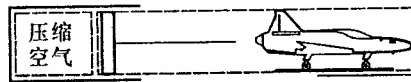


图 2-15 习题 2-7 附图

提示和答案： 取压缩空气为系统，且 $W = p_0(V_2 - V_1) + \frac{m}{2}c_2^2$ ，解得 $\Delta U = -5135 \times 10^3 \text{ J}$ 。

2-8 如图 2-16 所示，气缸内空气的体积为 0.008m^3 ，温度为 17°C 。初始时空气压力为 0.1013MPa ，环境大气压力 $p_b = 0.1\text{MPa}$ ，弹簧呈自由状态。现向空气加热，使其压力升高，并推动活塞上升而压缩弹簧。已知活塞面积为 0.08m^2 ，弹簧刚度为 $k = 40\,000 \text{ N/m}$ ，空气热力学能变化关系式为 $\Delta \{u\}_{\text{kJ/kg}} = 0.718 \Delta \{T\}_K$ 。试求，使气缸内空气压力达到 0.15MPa 所需的热量。

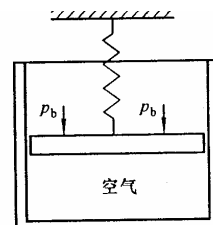


图 2-16 习题 2-8 附图

提示和答案： 初始时弹簧呈自由状态，利用力平衡求得活塞质量 $m_{\text{活}} = \frac{(p_1 - p_b)A}{g} = 10.61\text{kg}$ 。

据空气质量 $m_a = 9.73 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 进而得 $h = \frac{V_1}{A} = 0.1\text{m}$ 。终态时的力平衡

$(p_2 - p_b)A - m_{\text{活}}g = Kx_2$ 解得， $x_2 = 0.0974\text{m}$ ，于是解得 $V_2 = A(h + x_2) = 0.0158\text{m}^3$ 、

$T_2 = \frac{p_2 V_2}{m_a R_g} = 848.26\text{K}$ ， $\Delta U = mc_v(T_2 - T_1) = 3.90\text{kJ}$ 。因 $p = p_b + \frac{(m_{\text{活}}g + Kx)}{A}$ ，所以

$$W = \int_{A_1}^{A_2} \left[p_b + \frac{(m_{\text{活}}g + Kx)}{A} \right] d(Ax) = 0.98\text{kJ}，Q = \Delta U + W = 4.88\text{kJ}。$$

2-9 有一橡皮球，当其内部气体的压力和大气压相同，为 0.1MPa 时呈自由状态，体积为 0.3m^3 。气球受火焰照射而受热，其体积膨胀一倍，压力上升为 0.15MPa ，设气球的压力与体积成正比。试求：(1) 该过程中气体作的功；(2) 用于克服橡皮气球弹力所作的功，若初始时气体温度为 17°C ，求球内气体吸热量。已知该气体的气体常数 $R_g = 287\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，

其热力学能 $\{u\}_{\text{kJ/kg}} = 0.72\{T\}_{\text{K}}$ 。

提示和答案： 据题意 $\Delta p = (p - p_0) = kV + b$ ，初、终态压力及体积确定 $p = p(V)$ ，

利用 $W = \int_1^2 p dv$ 解得 $W = 37.5\text{kJ}$ ；克服橡皮气球弹力所作的功和排斥大气功等于过程中气体作的功，得 $W_{\text{弹}} = 7.5\text{kJ}$ ；据闭口系能量方程解得 $Q = 188.1\text{kJ}$ 。

2-10 空气在某压气机中被压缩，压缩前空气的参数是： $p_1 = 0.1\text{MPa}$ ， $v_1 = 0.845\text{m}^3/\text{kg}$ 。压缩后的参数是 $p_2 = 0.1\text{MPa}$ ， $v_2 = 0.175\text{m}^3/\text{kg}$ 。设在压缩过程中每 kg 空气的热力学能增加 146.5kJ 同时向外放出热量 50kJ 。压气机每分钟产生压缩空气 10kg 。求：
(1) 压缩过程中对每 kg 气体所作的体积变化功；(2) 每生产 1kg 的压缩空气所需的功（技术功）；(3) 带动此压气机要用多大功率的电动机？

提示和答案： (1) 压缩过程中气体为闭口系，据能量方程求得 $w = -196.5\text{kJ/kg}$ ；(2) 压气机是开口系，生产 1kg 空气需要的是技术功 w_t 。由开口系能量方程得 $w_t = -252\text{kJ/kg}$ ；
(3) 压气机生产压缩空气 $\frac{1}{6}\text{kg/s}$ ，故带动压气机的电机功率为 $P = 42\text{kW}$ 。

2-11 某建筑物的排气扇每秒能把 2.5kg/s 压力为 98kPa ，温度为 20°C 的空气通过直径为 0.4m 的排气孔排出，经过排气扇后气体压力升高 $50\text{mmH}_2\text{O}$ ，但温度近似不变，试求排气扇的功率和排气速度。

提示和答案： 排气扇前后质量流量相同，但比体积变化，故流速改变，列稳定流动能量方程 $q_Q + q_m \left(h_1 + \frac{c_{f1}^2}{2} + gz_1 \right) - q_m \left(h_2 + \frac{c_{f2}^2}{2} + gz_2 \right) + P = 0$ 解得 $P = 0.365\text{ kW}$ 。

2-12 进入蒸汽发生器中内径为 30mm 管子的压力水参数为 10MPa 、 30°C ，从管子输出时参数为 9MPa 、 400°C ，若入口体积流量为 3L/s ，求加热率。已知，初态时 $h = 134.8\text{kJ/kg}$ 、 $v = 0.0010\text{m}^3/\text{kg}$ ；终态时 $h = 3117.5\text{kJ/kg}$ 、 $v = 0.0299\text{m}^3/\text{kg}$ 。

提示和答案： 管截面积 $A = \frac{\pi D^2}{4} = 7.069 \times 10^{-4}\text{m}^2$ ，据质量流量相等可得进出口流速，

而 $\Phi = q_m [h_2 - h_1 + \frac{1}{2}(c_{f2}^2 - c_{f1}^2)] = 8972.2\text{kW}$ 。

2-13 某蒸汽动力厂中锅炉以 40T/h 的蒸汽供入蒸汽轮机。进口处压力表上读数是 9MPa ，蒸汽的焓是 3441kJ/kg 。蒸汽轮机出口处真空表上的读数是 0.0974MPa ，出口蒸汽的焓是 2248kJ/kg ，汽轮机对环境散热为 $6.81 \times 10^5\text{kJ/h}$ 。求：(1) 进、出口处蒸汽的绝对压力，（当场大气压是 101325Pa ）；(2) 不计进、出口动能差和位能差时汽轮机的功率；(3)

进口处蒸汽为 70m/s，出口处速度为 140m/s 时对汽轮机的功率有多大的影响；(4) 蒸汽进出口高度并差是 1.6m 时，对汽轮机的功率又有多大影响？

提示和答案：(1) $p_1 = p_{e,1} + p_b = 9.1\text{MPa}$ 、 $p_2 = p_b - p_{v,2} = 0.3925 \times 10^{-2}\text{MPa}$ ；(2)

功率 $P = \frac{W_t}{3600} = 13066.7\text{kW}$ ；(3) 计及动能差 $P_i' = (\Phi - q_m \Delta h) - \frac{q_m}{2}(c_{f2}^2 - c_{f1}^2) = 12985\text{kW}$ ；

(4) 计及位能差 $P_i'' = (\Phi - q_m \Delta h) - q_m g \Delta z = 13066.9\text{kW}$ 。

2-14 500 kPa 饱和液氨进入锅炉加热成干饱和氨蒸气，然后进入压力同为 500 kPa 的过热器加热到 275 K，若氨的质量流量为 0.005 kg/s，求：锅炉和过热器中的换热量。已知：氨进入和离开锅炉时的焓分别为 $h_1 = h' = -396.2\text{kJ/kg}$ 、 $h_2 = h'' = -223.2\text{kJ/kg}$ ，氨离开过热器时的焓为 $h = -25.1\text{kJ/kg}$ 。

提示和答案：氨在锅炉和过热器中过程均近似为定压过程，换热量等于焓差。

$\Phi_g = 0.865\text{kW}$ ， $\Phi_s = 0.991\text{kW}$ 。

2-15 向大厦供水的主管线在地下 5m 进入时，管内压力 600kPa。经水泵加压，在距地面 150m 高处的大厦顶层水压仍有 200kPa，假定水温为 10℃，流量为 10kg/s，忽略水热力学能差和动能差，假设水的比体积为 0.001m³/kg，求水泵消耗的功率。

提示和答案：对整个水管系统列稳定流动能量方程，由于水的密度较大，且有较大的高差，不能忽略位能的变化，得 $P = -11.2\text{kW}$ 。

2-16 用一台水泵将井水从 6 m 深的井里泵到比地面高 30 m 的水塔中，水流量为 25m³/h，水泵耗功是 12kW。冬天井水温度为 3.5℃，为防止冬天结冰，要求进入水塔的水温不低于 4℃。整个系统及管道均包有一定厚度的保温材料，问是否有必要在管道中设置加热器？如有必要的话需加入多少热量？设管道中水进、出口动能差可忽略不计；水的比热容取定值 $c_p = 4.187\text{kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ 且水的焓差 $\Delta h \cong c_p \Delta t$ ，水的密度取 1000kg/m³。

提示和答案：同题 2-19，有必要加入加热器，加热量最小为 $Q = 1.8 \times 10^4\text{kJ}$ 。

2-17 一种工具利用从喷嘴射出的高速水流进行切割，若供水压力 200kPa、温度 20℃，喷嘴内径为 0.002 m，射出水流温度 20℃，流速 1000 m/s，假定喷嘴两侧水的热力学能变化可略去不计，求水泵功率。已知，在 200kPa、20℃ 时水的比体积 $v = 0.001002\text{m}^3/\text{kg}$ 。

提示和答案：水流的质量流量 $q_m = \frac{q_v}{v} = \frac{c_f A}{v} = 3.135\text{kg/s}$ ，稳定流动能量方程

$$q + \left(h_1 + \frac{c_{f1}^2}{2} + gz_1 \right) - \left(h_2 + \frac{c_{f2}^2}{2} + gz_2 \right) - w_s = 0$$

据题意, $q=0$ 、 $t_1=t_2$ 、 $u_1=u_2$ 、 $z_2=z_1$, 所以 $w_s = -\left[\frac{c_{f2}^2}{2} + (p_2v_2 - p_1v_1)\right] = -500\text{kJ/kg}$, 于是

$P = q_m w_s = -1567.2\text{kW}$ 。

2-18 一刚性绝热容器, 容积为 $V = 0.028\text{m}^3$, 原先装有压力为 0.1MPa 、温度为 21°C 的空气。现将与此容器连接的输气管道阀门打开, 向容器充气。设输气管道内气体的状态参数保持不变, $p = 0.7\text{MPa}$, $t = 21^\circ\text{C}$ 。当容器中压力达到 0.2MPa 时, 阀门关闭。求容器内气体到平衡时的温度。设空气可视为理想气体, 其热力学能与温度的关系为 $\{u\}_{\text{kJ/kg}} = 0.72\{T\}_{\text{K}}$; 焓与温度的关系为 $\{h\}_{\text{kJ/kg}} = 1.005\{T\}_{\text{K}}$ 。

提示和答案: 取刚性容器为控制体, 则

$$\delta Q = dE_{\text{CV}} + (h_{f2} + \frac{1}{2}c_{f2}^2 + gz_2)\delta m_2 - (h_1 + \frac{1}{2}c_{f1}^2 + gz_1)\delta m_1 + \delta W_i$$

据题意 $\delta Q = 0$ 、 $\delta W_i = 0$ 、 $\delta m_2 = 0$ 、 $\frac{c_{f1}^2}{2}$ 和 $g(z_2 - z_1)$ 可忽略不计, 积分有 $\Delta E_{\text{CV}} = h_{\text{in}} m_{\text{in}}$,

而 $\Delta E_{\text{CV}} = \Delta U$ 、 $m_{\text{in}} = m_2 - m_1$ 、所以 $m_2 u_2 - m_1 u_1 = h_{\text{in}}(m_2 - m_1)$

$$T_2 = \frac{h_{\text{in}}(m_2 - m_1) + m_1 u_1}{m_2 c_v} = \frac{c_p T_{\text{in}}(m_2 - m_1) + m_1 c_v T_1}{m_2 c_v} \quad (\text{a})$$

$$\text{且} \quad m_2 = \frac{p_2 V_2}{R_g T_2} = \frac{19.5}{T_2} \quad (\text{b})$$

联立求解式 (a)、(b) 得 $m_2 = 0.0571\text{kg}$, $T_2 = 342.69\text{K}$ 。

2-19 医用氧气袋中空时是扁平状态, 内部容积为零。接在压力为 14MPa 、温度为 17°C 的钢质氧气瓶上充气。充气后氧气袋隆起, 体积为 0.008m^3 , 压力为 0.15MPa 。由于充气过程很快, 氧气袋与大气换热可以忽略不计, 同时因充入氧气袋内气体质量与钢瓶气体质量相比甚少, 故可以认为钢瓶内氧气参数不变。设氧气可作为理想气体, 其热力学能和焓可表示为 $\{u\}_{\text{kJ/kg}} = 0.657\{T\}_{\text{K}}$, $\{h\}_{\text{kJ/kg}} = 0.917\{T\}_{\text{K}}$, 理想气体服从 $pV = mR_g T$ 。求充入氧气袋内氧气的质量?

提示和答案: 开系能量方程 $\delta Q = dE_{\text{CV}} + (h + \frac{c_f^2}{2} + gz)\delta m_{\text{out}} - (h + \frac{c_f^2}{2} + gz)\delta m_{\text{in}} + \delta W_i$,

简化为 $dU - h_{\text{in}} \delta m_{\text{in}} + \delta W_i = 0$ 。因 $\delta W_i = p_0 dV$ 且氧气袋内氧气质量即充入氧气的质量, 积分整理得 $m_2(u_2 - h_{\text{in}}) + p_0 V_2 = 0$, 结合 $p_2 V_2 = m_2 R_g T_2$ 解得 $T_2 = 313.20\text{K}$ 、 $m_2 = 0.0147\text{kg}$ 。

2-20 两个体重都是 80kg 的男子每天吃同样的食物，完成相同的工作，但 A 每天上下班步行 60 min，而 B 则每天驾驶汽车 20 min 上下班，另 40 min 用于看电视，试确定 100 工作日后这两人的体重差。

提示和答案： 比较 A 比 B 多消耗能量，得 100 工作日后两人的体重差 $\Delta m = 4.04\text{kg}$ 。

2-21 一间教室通过门窗散发热量 25 000 kJ/h，教室内有 30 名师生，15 套电子计算机，若每人散发的热量是 100 W，每台计算机功率 120 W，为了保持室内温度，是否有必要打开取暖器？

提示和答案： 取室内空气为系统， $W = 0$ ，为保持温度不变需打开取暖器补充热量 $Q = -2.14\text{kW}$ 。

2-22 一位 55kg 的女士经不住美味的诱惑多吃了 0.25 L 冰激凌，为了消耗这些额外的冰激凌的能量她决定以 7.2 km/h 的速度步行 5.5 km 回家，试确定她能否达到预期目的？

提示和答案： 步行消耗的热量 $Q' = 1118.3\text{kJ}$ 与冰激凌提供的热量 $Q = 1150\text{kJ}$ 相当，所以她基本上能达到预期目的。