

第一章 基本概念

习 题

1-1 英制系统中采用华氏温标，它规定在标准大气压（101 325 Pa）下纯水的冰点是 32°F，汽点是 212°F，试推导华氏温度与摄氏温度的换算关系。

提示和答案：华氏温标和摄氏温标定点不同，但分度规律相同，可得， $\{t\}_{\circ\text{F}} = \frac{9}{5}\{t\}_{\circ\text{C}} + 32$ 。

1-2 英制系统中朗肯温度与华氏温度的关系为 $\{T\}_{\circ\text{R}} = \{t\}_{\circ\text{F}} + 459.67$ 。已知热力学绝对温标及朗肯温标在纯水冰点的读数分别是 273.15K 和 491.67°R；汽点的读数分别是 373.15K 和 671.67°R。(1)导出朗肯温度和开尔文温度的关系式；(2)开尔文温标上绝对零度在朗肯温标上是多少度？

提示和答案：朗肯温标和华氏温标的关系与摄氏温标和热力学温标的关系相仿，故朗肯温度和热力学温度也成比例，解得 $T\{\circ\text{R}\} = 1.8T\{\text{K}\}$ ， $T\{\text{K}\} = 0$ K 时 $T\{\circ\text{R}\} = 0\circ\text{R}$ 。

1-3 设一新温标，用符号 °N 表示温度单位（它的绝对温标是用 °Q 表示温度单位）。规定纯水的冰点和汽点 100°N 和 1000°N。试求：(1)该新温标与摄氏温标的关系；(2)若该温标的绝对零度与热力学温标零度相同，则该温标读数为 0°N 时，其绝对温标读数是多少 °Q？

提示和答案：(1) $\frac{\{t\}_{\circ\text{N}} - 100}{1000 - 100} = \frac{\{t\}_{\circ\text{C}} - 0}{100 - 0} \quad \{t\}_{\circ\text{N}} = 9\{t\}_{\circ\text{C}} + 100$

(2) $\{T\}_{\circ\text{Q}} = \{t\}_{\circ\text{N}} + \text{常数} = 9\{t\}_{\circ\text{C}} + 100 + \text{常数} = 9[T\{\text{K}\} - 273.15] + 100 + \text{常数}$

据题意，当 $T\{\text{K}\} = 0$ K 时， $T\{\circ\text{Q}\} = 0\circ\text{Q}$ 故解得上式中常数=2358.35 代回原式得

$$\{T\}_{\circ\text{Q}} = \{t\}_{\circ\text{N}} + 2358.35 \quad T\{\circ\text{N}\} = 0 \text{ 时} \quad T\{\circ\text{Q}\} = 2358.385\circ\text{N}$$

1-4 直径为 1m 的球形刚性容器，抽气后真空度为 752.5mmHg，若当地大气为 0.101MPa，求 (1) 容器内绝对压力为多少 Pa；(2) 容器表面受力多少 N？

提示和答案：容器表面力为两侧压力差与表面积的乘积。可解得 $p = 691.75\text{Pa}$ ，

$$F = 1.261 \times 10^6 \text{ N}。$$

1-5 用 U 型压力计测量容器中气体的压力，在水银柱上加一段水，则得水柱高 1020mm，水银柱高 900mm，如图 1-24 所示，若当地大气压为 755mmHg，求容器中气体的压力为多少 MPa？

提示和答案：表压力为水柱和汞柱之和，解得

$$p = 2.306 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.231 \text{ MPa}。$$

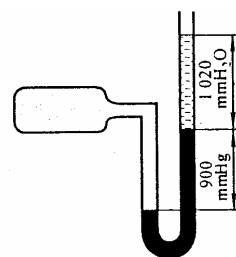


图 1-24 题 1-5 附图

1-6 容器中的真空度为 $p_v = 600\text{mmHg}$ ，气压计上水银柱高度为 $p_b = 755\text{mm}$ ，求容器中的绝对压力（以 MPa 表示）。如果容器中的绝对压力不变，而气压计上水银柱高度为 $p'_b = 770\text{mm}$ ，求此时真空表上的读数（以 mmHg 表示）是多少？

提示和答案：容器中气体绝对压力是当地大气压与真空度的差，故 $p = 0.0207\text{MPa}$ ；大气压力改变后真空表上的读数为 $p'_v = 615\text{mmHg}$ 。

1-7 用斜管压力计测量锅炉烟道烟气的真空度（如图 1-24）管子的倾斜角 $\alpha = 30^\circ$ ，压力计中使用密度 $\rho = 0.8 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的煤油，斜管中液柱长度 $l = 200\text{mm}$ 。当地大气压力 $p_b = 745\text{mmHg}$ 。求烟气的真空度（以 mmH_2O 表示）及绝对压力（以 Pa 表示）。

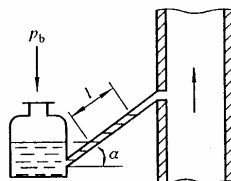


图 1-25 斜管压力计

提示和答案：倾斜式压力计上读数即烟气的真空度 $p_v = l \sin \alpha \rho g = 80 \times 9.81\text{Pa}$ ，故 $p_v = 80\text{mmH}_2\text{O}$ ；烟气绝对压力 $p = p_b - p_v = 10048.3\text{mmH}_2\text{O} = 0.9857 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

1-8 压力锅因其内部压力和温度比普通锅高而缩短了蒸煮食物的时间。压力锅的盖子密封良好，蒸汽只能从盖子中间的缝隙逸出，在缝隙的上方有一个可移动的小柱塞，所以只有锅内蒸汽的压力超过了柱塞的压力后蒸汽才能逸出。蒸汽周期性逸出使锅内压力近似可认为恒定，也防止了锅内压力过高产生的危险。若蒸汽逸出时压力锅内压力应达到 201kPa ，压力锅盖缝隙的横截面积为 4mm^2 ，当地大气压力平均为 101kPa ，试求小柱塞的质量。

提示和答案：蒸汽逸出时锅内表压力即为由柱塞产生的压力，柱塞质量 $m = 0.0408\text{kg}$ 。

1-9 容器被分隔成 AB 两室，如图 1-27 所示，已知当场大气压 $p_b = 0.1013\text{MPa}$ ，气压表 2 读为 $p_{e2} = 0.04\text{MPa}$ ，气压表 1 的读数 $p_{e1} = 0.294\text{MPa}$ ，求气压表 3 的读数（用 MPa 表示）。

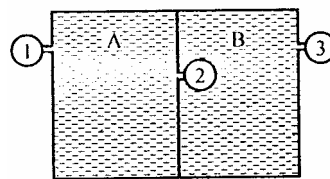


图 1-27 题 1-8 附图

提示和答案：气压表 2 处于 B 室内，故其当地大气压为 B 室的压力，解得 $p_{e3} = 0.254\text{MPa}$ 。

1-10 起重机以每秒 2m 的恒速提升总质量为 450kg 的水泥块，试求所需功率。

提示和答案：功率等于力与速度的乘积，恒速提升，加速度为零，解得。 $P = 8.83\text{kW}$ 。

1-11 电阻加热器的电阻 15Ω ，现有 10A 的电流流经电阻丝，求功率。

提示和答案：电功率等于电阻和电流平方乘积 $P = 1.5\text{kW}$ 。

1-12 气缸中密封有空气，初态为 $p_1 = 0.2\text{MPa}$ ， $V_1 = 0.4\text{m}^3$ ，缓慢胀到 $V_2 = 0.8\text{m}^3$ 。（1）过程中 pV 保持不变；（2）过程中气体先循 $\{p\}_{\text{MPa}} = 0.4 - 0.5\{V\}_{\text{m}^3}$ 膨胀到 $V_m = 0.6\text{m}^3$ ，再维

持压力不变，膨胀到 $V_2 = 0.8\text{m}^3$ 。分别求出两过程中气体作出的膨胀功。

提示和答案：过程可近似为可逆， $W = \int_1^2 p dV$ ，(1) $W = 5.54 \times 10^4 \text{J}$ 、(2) $W = 0.15 \times 10^5 \text{J}$ 。

1-13 某种理想气体在其状态变化过程中服从 $p v^n = \text{常数}$ 的规律，其中 n 是定值， p 是压

力； v 是比体积。试据 $w = \int_1^2 p dv$ 导出气体在该过程中做功为 $w = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(p_2 / p_1 \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$

提示和答案： $w = \int_1^2 p dv = \int_1^2 \frac{p v^n}{v^n} dv = p_1 v_1^n \int_1^2 \frac{dv}{v^n} = \dots = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$ 。

1-14 测得某汽油机气缸内燃气的压力与容积对应值如下表所示，求燃气在该膨胀过程中所作的功。

p/MPa	1.655	1.069	0.724	0.500	0.396	0.317	0.245	0.193	0.103
V/cm^3	114.71	163.87	245.81	327.74	409.68	491.61	573.55	655.48	704.64

提示和答案：膨胀过程的功可用过程线下的面积表示，该面积近似等于若干矩形面积累加，即， $W = \int_1^2 p dV \cong \Sigma \bar{p} \Delta V$ ，解得 $W = 304.7 \text{J}$ 。

1-15 有一绝对真空的钢瓶，当阀门的打开时，在大气压 $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 的作用下体积为 0.1m^3 的空气被输入钢瓶，求大气对输入钢瓶的空气所作功为多少？

提示和答案：设想体积为 0.1m^3 的空气系统边界上压力恒为大气压力，故 $W = 10.13 \text{kJ}$ 。

1-16 某种气体在气缸中进行一缓慢膨胀过程。其体积由 0.1m^3 增加到 0.25m^3 。过程中气体压力循 $\{p\}_{\text{MPa}} = 0.24 - 0.4 \{V\}_{\text{m}^3}$ 变化。若过程中气缸与活塞的摩擦保持为 1200N ；当地大气压力为 0.1MPa ；气缸截面积为 0.1m^2 ，试求：(1) 气体所作的膨胀功 W ；(2) 系统输出的有用功 W_u ；(3) 若活塞与气缸无摩擦，系统输出的有用功 $W_{u,\text{re}}$ 。

提示和答案：活塞移动距离 $L = \frac{V_2 - V_1}{A} = 1.5\text{m}$ 。(1) 气体膨胀做功 $W = \int_1^2 p dV = \int_1^2 (0.24 - 0.4V) dV = 0.0255 \times 10^6 \text{J}$ 、摩擦耗功 $W'' = FL = 1800 \text{J}$ 、气体膨胀排拆大气功 $W' = p_0(V_2 - V_1) = 0.015 \times 10^6 \text{J}$ ；(2) 有用功 $W_u = W - W' - W'' = 8700 \text{J}$ ；(3) 有用功 $W_{u,\text{re}} = W - W' = 10500 \text{J}$ 。

1-17 某蒸汽动力厂加入锅炉的每 1MW 能量要从冷凝器排出 0.58MW 能量，同时水泵要

消耗 0.02MW 功，求汽轮机输出功率和电厂的热效率。

提示和答案： 汽轮机输出功率为循环净功加水泵消耗的功率 $P_T = 0.44\text{MW}$ ；电厂的热效率为循环净功与循环吸热量之比， $\eta_t = 0.42$ 。

1-18 汽车发动机的热效率为 35%，车内空调器的工作性能系数为 3，求每从车内排除 1kJ 热量消耗燃油能量。

提示和答案： 空调器耗功 $W = Q_c / \varepsilon$ 由汽车发动机输出功 $W = Q_1 \eta_t$ ，解得 $Q_1 = 0.952\text{kJ}$ 。

1-19 据统计资料，某地各发电厂平均发 1 kW·h 的电耗标煤 372g，若标煤的热值是 29308kJ/kg，试求电厂平均热效率 η_t 是多少？

提示和答案： 电厂平均热效率为循环净功与循环吸热量之比， $\eta_t = 33.0\%$ 。

1-20 某空调器输入功率 1.5kW 需向环境介质输出热量 5.1kW，求空调器的制冷系数。

提示和答案： 制冷系数为单位时间制冷量与输入功率的比值， $\varepsilon = 2.4$ 。

1-21 某房间冬季通过墙壁和窗子向外散热 70 000 kJ/h，房内有 2 只 40W 电灯照明，其他家电耗电约 100W，为维持房内温度不变，房主购买供暖系数为 5 的热泵，求热泵最小功率。

提示和答案： 家电耗电转化为热能，故热泵单位时间供暖为通过墙壁和窗子向外散热和所有家电耗电之差，解得 $P = 3.85\text{kW}$ 。

1-22 一所房子利用供暖系数为 2.1 热泵供暖维持 20℃，据估算室外大气温度每低于房内温度 1℃，房子向外散热为 0.8kW，若室外温度为 -10℃，求驱动热泵所需的功率。

提示和答案： 为维持房子内温度需使散热与热泵供热平衡，所以 $P = 11.43\text{kW}$ 。

1-23 若某种气体的状态方程为 $pv = R_g T$ ，现取质量 1kg 的该种气体分别作两次循环，如图 1-28 中循环 1-2-3-1 和循环 4-5-6-4 所示，设过程 1-2 和过程 4-5 中温度不变都等于 T_a ，过程 2-3 和 5-6 中压力不变，过程 3-1 和 4-6 中体积不变。又设状态 3 和状态 6 温度相等，都等于 T_b 。试证明两个循环中 1kg 气体对外界所作的循环净功相同。

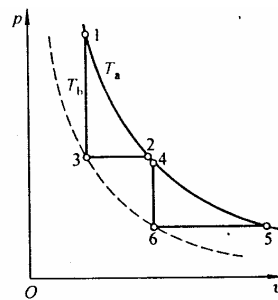


图 1-28 习题 1-25 附图

提示和答案： 循环 1231 和循环 4564 中过程 1-2 和 4-5 都是等温过程， $T = T_a$ ，据理想气体状态方程， $pv = R_g T$ ，

$$\text{可知 } p = \frac{R_g T}{v} = \frac{R_g T_a}{v}, \quad w_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} p dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{R_g T_a}{v} dv = R_g T_a \ln \frac{v_2}{v_1}; \quad \text{同理 } w_{4-5} = R_g T_a \ln \frac{v_5}{v_4}.$$

根据已知条件： $v_1 = v_3$ ， $v_4 = v_6$ ， $p_3 = p_2$ ， $p_6 = p_5$ ， $T_2 = T_5 = T_a$ ， $T_3 = T_6 = T_b$ 得

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_2}{v_3} = \frac{R_g T_2}{p_2 \frac{p_3}{R_g T_3}} = \frac{T_a}{T_b}; \text{ 同理 } \frac{v_5}{v_4} = \frac{T_a}{T_b}, \text{ 即 } \frac{v_2}{v_1} = \frac{v_5}{v_4}, w_{12} = w_{45}。 \text{ 表明 } 1\text{kg 工质在 } 1-2 \text{ 和 } 4-5 \text{ 过程中作出的膨胀功相同。过程 } 2-3 \text{ 和 } 5-6 \text{ 都是等压过程，}$$

$$w_{2-3} = p_2(v_3 - v_2) = p_3 v_3 - p_2 v_2 = R_g(T_b - T_a), \text{ 同样, } w_{5-6} = R_g(T_b - T_a), \text{ 即 } w_{2-3} = w_{5-6}。$$

过程 3-1 和 6-4 中 v 不变，故功为零。综上两循环的净功相等，即

$$W_{\text{net},1231} = W_{12} + W_{23} + W_{31} = W_{45} + W_{56} + W_{64} = W_{\text{net},4564}。$$