

第一章 基本概念

1-1 华氏温标规定在标准大气压 (101325 Pa) 下纯水的冰点是 32°F , 汽点是 212°F ($^{\circ}\text{F}$ 是华氏温标温度单位的符号)。试推导华氏温度与摄氏温度的换算关系。

提示和答案:
$$\frac{\{t\}_{\text{F}} - 32}{212 - 32} = \frac{\{t\}_{\text{C}} - 0}{100 - 0}, \quad \{t\}_{\text{F}} = \frac{9}{5}\{t\}_{\text{C}} + 32。$$

1-2 英制系统中的兰氏温标 (兰氏温标与华氏温标的关系相当于热力学温标与摄氏温标的关系), 其温度以符号 $^{\circ}\text{R}$ 表示。兰氏温度与华氏温度的关系为 $\{T\}_{\text{R}} = \{t\}_{\text{F}} + 459.67$ 。已知开尔文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) 导出兰氏温度和开尔文温度的关系式; (2) 开尔文温标上绝对零度在兰氏温标上是多少度? (3) 画出摄氏温标、开尔文温标、华氏温标和兰氏温标之间的对应关系。

提示和答案:
$$\frac{671.67 - 491.67}{373.15 - 273.15} = \frac{\{T\}_{\text{R}} - 491.67}{\{T\}_{\text{K}} - 273.15}。 \quad \{T\}_{\text{R}} = 1.8\{T\}_{\text{K}}; \quad \{T\}_{\text{R}} = 0^{\circ}\text{R}; \quad \text{略}$$

1-3 设一新的温标, 用符号 $^{\circ}\text{N}$ 表示温度单位, 它的绝对温标用 $^{\circ}\text{Q}$ 表示温度单位。规定纯水的冰点和汽点分别是 100°N 和 1000°N , 试求: (1) 该新温标和摄氏温标的关系; (2) 若该温标的绝对温度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 $^{\circ}\text{Q}$?

提示和答案: (1)
$$\frac{\{t\}_{\text{N}} - 100}{1000 - 100} = \frac{\{t\}_{\text{C}} - 0}{100 - 0}; \quad \{t\}_{\text{N}} = 9\{t\}_{\text{C}} + 100 \quad (2)$$

$\{T\}_{\text{Q}} = \{t\}_{\text{N}} + \text{常数} = 9\{t\}_{\text{C}} + 100 + \text{常数}$, $\{T\}_{\text{K}} = 0\text{K}$ 时, $T\{^{\circ}\text{Q}\} = 0^{\circ}\text{Q}$ 解得式中常数, 代入原式: $\{T\}_{\text{Q}} = \{t\}_{\text{N}} + 2358.35$, $\{T\}_{\text{Q}} = 2358.385^{\circ}\text{N}$

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

提示和答案: $p = p_b - p_v = 691.75\text{Pa}; \quad F = A_0 \Delta p = 0.315 \times 10^6\text{N}。$

1-5 用 U 型压力计测量容器中气体压力, 在水银柱上加一段水, 测得水柱高 1020mm, 水银柱高 900mm, 如图 1-1 所示。若当地大气压为 755mmHg, 求容器中气体压力 (MPa)。

提示和答案： $p = p_e + p_b = 0.231\text{MPa}$

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 755mm ，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 770mm ，求此时真空表上的读数（以 mmHg 表示）是多少？

提示和答案： $p = p_b - p_v = 0.0207\text{MPa}$ ； $p'_v = 615\text{mmHg}$ 。

1-7 用斜管压力计测量锅炉烟道烟气的真空度（如图 1-2）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）

提示和答案： $p_v = l \sin \alpha \rho g = 80 \times 9.81\text{Pa} = 80\text{mmH}_2\text{O}$ ；

$$p = p_b - p_v = 10048.3\text{mmH}_2\text{O} = 0.9857 \times 10^5 \text{Pa}。$$

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，见图 1-3。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： $p_e = p - p_b = 100\text{kPa}$ ； $m = \frac{p_e A}{g} = 0.0408\text{kg}$ 。

1-9 容器被分隔成 AB 两室，如图 1-4 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）。

提示和答案： 表 1 的和表 3 当地大气压等于即为 p_b ，表 2 的当地大气压等于 B 室压力。

$$p_{e3} = p_B - p_b = 0.254\text{MPa}。$$

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，因恒速提升，加速度为零。 $P = Fc = 8.83\text{kW}$ 。

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： $P = Ei = Ri^2 = 1.5\text{kW}$ 。

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 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: (1) $W = \int_1^2 p dV = 5.54 \times 10^4 \text{J}$; (2) $w = \int_1^m p dV + \int_m^2 p dV = 0.15 \times 10^5 \text{J}$ 。

1-13 某种理想气体在其状态变化过程中服从 $pv^n = \text{常数}$ 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

$$w = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

提示和答案: $w = \int_1^2 p dv = \int_1^2 \frac{pv^n}{v^n} dv = p_1 v_1^n \int_1^2 \frac{dv}{v^n} = \frac{p_1 v_1^n}{-n+1} (v_2^{-n+1} - v_1^{-n+1}) = \dots$

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: $W = \int_1^2 p dV \cong \Sigma \bar{p} \Delta V = \sum \frac{p_{i+1} - p_i}{2} (V_{i+1} - V_i) = 304.$

1-15 有一绝对真空的钢瓶, 当阀门的打开时, 在大气压 $p_b = 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 的作用下, 有体积为 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。

提示和答案: 大气压力恒定, $W = p_0 V = 10.13 \text{kJ}$ 。

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 。过程中气体压力依 $\{p\}_{\text{MPa}} = 0.24 - 0.4\{V\}_{\text{m}^3}$ 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: 气体膨胀作功 $W = \int_1^2 p dV = 0.24(V_2 - V_1) - 0.2(V_2^2 - V_1^2) = 0.0255 \times 10^6 \text{J}$; 扣除排斥大气功和摩擦耗功为有用功, $W_u = W - W' - W'' = 8700 \text{J}$; $W_{u, \text{re}} = W - W' = 10500 \text{J}$ 。

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： 循环净功率等净换热量， $P_{\text{net}} = P_T - P_C = (\Phi_1 - \Phi_2) = 0.44\text{MW}$ ； $\eta_t = 0.42$ 。

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： 空调器耗电由发动机输出， $W_{\text{ac}} = \frac{Q_c}{\varepsilon} = W_e = Q_1 \eta_t$ ， $Q_1 = \frac{Q_c}{\eta_t \varepsilon} = 0.952\text{kJ}$ 。

1-19 据统计资料，某地各发电厂平均每生产 1kW·h 电耗标煤 372 g。若标煤的热值是 29 308 kJ/kg，试求电厂平均热效率 η_t 是多少？

提示和答案： $\eta_t = \frac{W_{\text{net}}}{Q_1} = 33.0\%$

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： $\varepsilon = \frac{\Phi_2}{P_C} = 2.4$ 。

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： $P = \frac{\Phi_1}{\varepsilon'} = 3.85\text{kW}$

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

提示和答案： 维持房子内温度需使散热与热泵供热平衡， $P = \frac{\Phi_1}{\varepsilon'} = 11.43\text{kW}$

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 1-5 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。

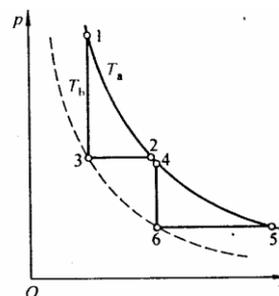


图 1-5

提示和答案： 注意到两循环中过程 1-2 和 4-5 都是等温过程， $T = T_a$ ，1-3 和 4-6 都是等容过程，2-3 和 5-6 都是等压过程，据 $w_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} p dv$ 结合理想气体状态方程， $pv = R_g T$ ，可证。