

* 说明：全部答题包括填空、选择题必须答在考点下发的答题纸上，否则，一律无效。

试题名称：

热 工 基 础

一、工程热力学

1. 简要回答下列问题 (每小题 5 分, 共 30 分)

- (1) 要使湿衣服干得快, 可采取哪些措施? 说明理由。
- (2) 供暖使室内温度升高, 室内空气的总内能是否增加? 为什么? (室内气压与室外大气压相同)
- (3) 在导体中通有限大小电流的过程是可逆的吗? 为什么?
- (4) 提高平均加热温度和降低平均放热温度都可提高热效率, 其中以哪一种方法提高效率较多?
- (5) 物质在定压下发生汽化, 其吉布斯函数是增大、不变还是减小?
- (6) 若进口气流是超音速的, 那么, 喷管和扩压管各应是什么形状?

2. 某燃气轮机装置中燃烧室的温度为 1700°C , 来自压气机的压缩空气的温度为 210°C 。根据燃气轮机叶片强度的要求, 进入燃气轮机的气体温度不得超过 850°C 。试确定来自燃烧室的燃气与来自压气机的压缩空气的混合比例。设燃烧室燃气的比热 $c_{p,1} = 1.170 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 压缩空气的比热 $c_{p,2} = 1.004 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。 (15 分)

3. 某气体通过进、出管路稳定地流经一绝热装置。若气体在 A 管内压力 $p_A = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、温度 $T_A = 27^{\circ}\text{C}$; 而在 B 管内压力 $p_B = 5 \times 10^5 \text{ Pa}$, 温度 $T_B = 177^{\circ}\text{C}$ 。请问: A 管和 B 管, 哪个是进口管? 为什么? 设该气体可视为理想气体, 气体常数 $R = 0.287 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 在上述范围内, 比热 $c_p = 0.87 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。 (15 分)

4. 电动汽车蓄电池的储能量为 5.2 MJ , 现改用压缩空气来开动汽车。若其压力 $p = 7 \text{ MPa}$, 温度 $t = 25^{\circ}\text{C}$, 而环境压力 $p_0 = 0.1 \text{ MPa}$, 温度 $t_0 = 25^{\circ}\text{C}$, 求所需气瓶的最小容积。 (15 分)

二、传热学

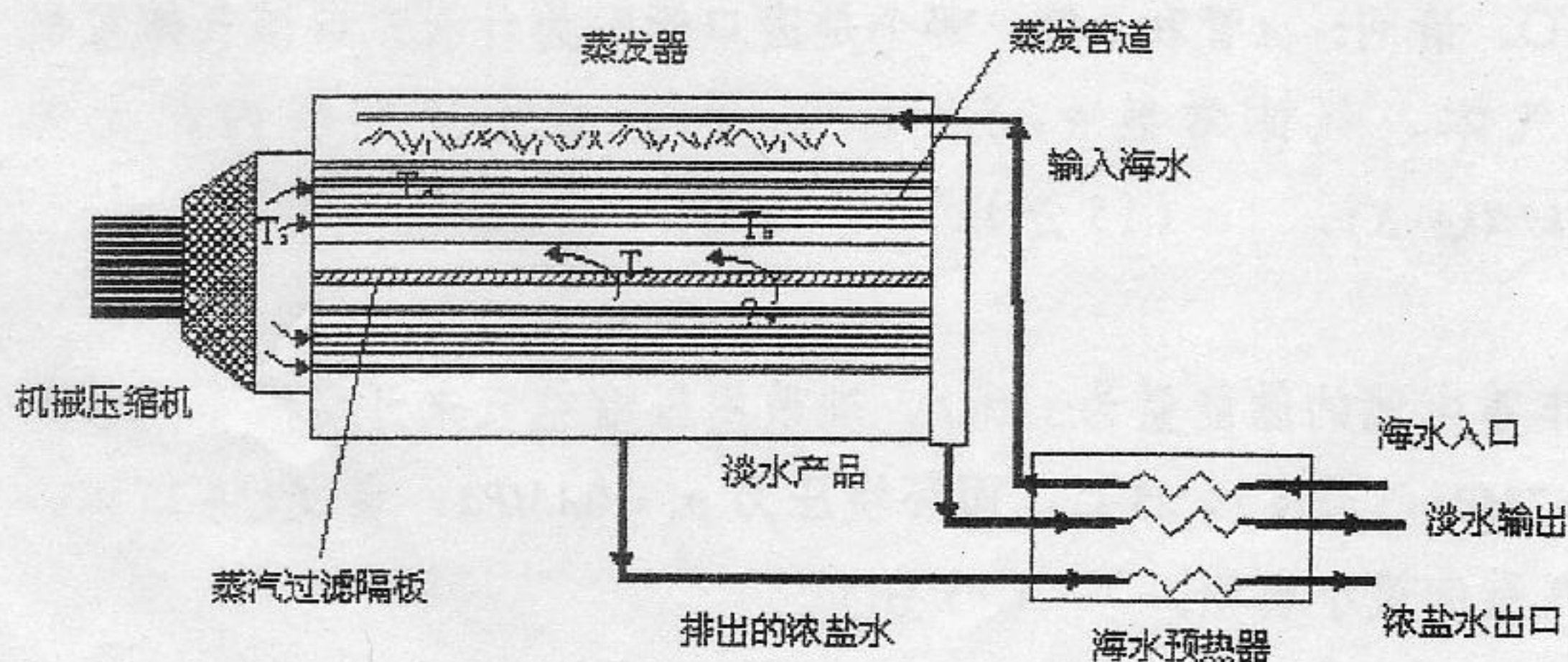
5. 简答题 (每小题 5 分, 共 30 分)

- (1) 简述受迫对流与自然对流概念, 并指出二者的二维稳态层流动量守恒方程之间的区别。
- (2) 简述在太阳能利用中应用选择性吸收表面的物理基础及其传热学机理。
- (3) 简述漫射灰表面假设在长波辐射换热中的重要意义。
- (4) 简述气体辐射与普通固体表面辐射的区别。
- (5) 简述肋片设计和使用的一些基本准则。
- (6) 简述有效度-NTU 方法和 LMTD 法在换热器设计和计算中的作用。

6. 一铜电缆的直径为 30mm , 其单位长度的电阻为 5×10^{-3} 欧姆/米, 所传输的电流为 250A 。这根电缆暴露在 20 摄氏度的环境空气中, 其相应的对流换热系数为 $25\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。试求电缆的表面温度和中心线温度各是多少?
(紫铜的导热系数可取 $401\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) (15 分)

7. 一薄壁同心套管式换热器用于将起始温度 $T_{h,i} = 160^\circ\text{C}$ 的机油冷却至 $T_{h,o} = 60^\circ\text{C}$, 并用温度 $T_{c,i} = 25^\circ\text{C}$ 的水作为冷却剂。油和水的流量均为 2kg/s , 内管直径为 0.5m , 相应的总传热系数 $U = 250\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 问达到所要求的冷却温度时换热器所需的长度是多少? (机油的比热取 $2260\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; 水的比热取 $4179\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$) (15 分)

8. 试利用传热学知识分析下图所示的蒸汽压缩海水淡化系统的原理及优缺点。(15 分)



科目名称:

热 工 基 础

一、工程热力学

1. 简要回答下列问题 (每小题 5 分, 共 30 分)

(1) 可采取的措施有二: ① 加热, 如日晒、烘烤等; ② 吹风, 如用风扇吹或置于通风干燥处。办法一是提高衣服表面水分的温度; 办法二是降低衣服表面水蒸气的压力。它们都可以使衣服表面的蒸汽处于非饱和状态, 促使衣服中水分的蒸发。

(2) 不增加。因一般情况下, 空气可视为理想气体, 温度变化不大, 比热近似为常数。其比内能 $u = c_v T$, 状态变化 $pV = mRT$, 故室内空气的总内能的变化

$$\Delta U = m_2 u_2 - m_1 u_1 = c_v (m_2 T_2 - m_1 T_1) = \frac{c_v}{R} (p_2 V_2 - p_1 V_1),$$

而供暖过程中, 室内的容积不变, 压力与大气压一致也不变, 所以 pV 不变, 故 $\Delta U = 0$ 。

(3) 不可逆。因有导体电阻引起的耗散效应存在, 其会带来熵产。

(4) 提高平均加热温度, 其效率变为 $\eta_1 = 1 - \frac{\bar{T}_2}{\bar{T}_1 + \Delta T}$;

降低平均放热温度, 其效率变为 $\eta_2 = 1 - \frac{\bar{T}_2 - \Delta T}{\bar{T}_1}$ 。

两者之差 $\eta_2 - \eta_1 = \frac{(T_1 - T_2)\Delta T + (\Delta T)^2}{T_1(T_1 + \Delta T)} > 0$ 。所以, 降低平均放热温度提高效率较多,

但降低平均放热温度要考虑环境温度的限制。

(5) 吉布斯函数不变。物质在定压 p 下汽化, 其温度 $T = T_s(p)$ 不变, 故为定压、定温过程。

由 $s'' = s' + \frac{r}{T_s} = s' + \frac{h'' - h'}{T_s}$ 得 $h'' - T_s s'' = h' - T_s s'$, 即 $g'' = g'$ 。

或: 物质在定压 p 下汽化, 其温度 $T = T_s(p)$ 也不变, 此时, 物质处于液、气的相平衡, 化学势相等, $\mu'' = \mu'$, 而 $\mu = g(T, p)$, 故 $g'' = g'$ 。

(6) 由式 $\frac{dA}{A} = (M_a^2 - 1) \frac{dc}{c}$, 若进口气流是超音速的, 喷管应设计成渐扩形状, 而扩压管应为渐缩形状。

2. 设 1kg 燃气需 m kg 的空气与之混合。则由理想气体混合物比热公式得混合气体的比

$$c_{p,3} = \frac{1}{1+m} c_{p,1} + \frac{m}{1+m} c_{p,2}$$

开系稳定流动方程为

$$Q = \Delta H + W_t$$

因混合过程 绝热 $Q = 0$, 不做功 $W_t = 0$, 所以, 混合前后 $\Delta H = 0$, 即

科目名称:

共 4 页 第 1 页

$$c_{p,1}T_1 + mc_{p,2}T_2 = (1+m)c_{p,3}T_3$$

将所得的 $c_{p,3}$ 式代入, 有

$$c_{p,1}T_1 + mc_{p,2}T_2 = (c_{p,1} + mc_{p,2})T_3$$

$$\text{所以 } m = \frac{c_{p,1}(T_1 - T_3)}{c_{p,2}(T_3 - T_2)} = \frac{1.170 \times (1700 - 850)}{1.004 \times (850 - 210)} = 1.55 \text{ kg}$$

燃气与空气混合比为 1:1.55。 (15 分)

3. 由熵增原理, 工质稳定地流经一绝热装置, 其熵只会增加, 不会减少。因此可通过计算两端的熵变作判断。

$$\Delta S_{AB} = s_B - s_A = c_p \ln \frac{T_B}{T_A} - R \ln \frac{p_B}{p_A} = 0.87 \ln \frac{273+177}{273+27} - 0.287 \ln \frac{5 \times 10^5}{1 \times 10^5} = -0.11 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

故可断定 B 管为进口管。 (15 分)

4. 若改用压缩空气来开动汽车, 必须使压缩空气的可用能不低于电动汽车的储能量。设所需气瓶的容积为 V , 气瓶内压缩空气膨胀至与环境平衡时的体积 V_0 , 由

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} \quad \text{得} \quad V_0 = \frac{pT_0 V}{p_0 T} = \frac{7 \times 10^6 (273+25)}{0.1 \times 10^6 (273+25)} V = 70V$$

$$\text{空气质量 } m = \frac{pV}{RT}$$

则其可用能

$$E_x = (U + p_0 V - T_0 S) - (U_0 + p_0 V_0 - T_0 S_0) = mc_v(T - T_0) + p_0(V - V_0) - mT_0(s - s_0) \\ = m[c_v(T - T_0) - T_0(s - s_0)] + p_0(V - V_0)$$

$$= p_0(V - V_0) + \frac{pV}{RT} \left\{ c_v(T - T_0) - T_0 \left[(c_v + R) \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{p}{p_0} \right] \right\}$$

$$\text{由题给 } T = T_0, \quad \text{故} \quad E_x = p_0(V - V_0) + pV \ln \frac{p}{p_0}$$

$$= 0.1 \times 10^6 (V - 70V) + 7 \times 10^6 V \ln \frac{7 \times 10^6}{0.1 \times 10^6} = 22.84 \times 10^6 V$$

$$\text{令} \quad E_x = 5.2 \text{ MJ} \quad \text{即} \quad 22.84 \times 10^6 V = 5.2 \times 10^6, \quad \text{得} \quad V = 0.228 \text{ m}^3.$$

(15 分)

二、传热学

5. 简答题 (每小题 5 分, 共 30 分)

- (1) 受迫对流是指由泵与风机产生的压力梯度驱动流动, 自然对流是指由温度梯度产生的密度梯度在物体力的作用下产生的流动。二者动量守恒方程的区别在于受迫对流方程中存在压力梯度项, 自然对流方程中存在浮升力项, 后者造成动量方程与能量方程之间的耦合。
- (2) 在太阳能利用中应用选择性表面的物理基础为太阳表面温度与吸收表面之间的温度有很大的差别, 造成两者的辐射光谱的绝大部分不相重叠, 使得选择性表面得以应用; 其传热机理在于涂层表面在太阳光谱内具有较高的吸收率, 而在长波部分的发射率较低。
- (3) 长波辐射换热的复杂性在于长波辐射不仅在方向上具有分布而且在光谱上有分布, 而漫射灰表面则是分别在方向分布和光谱分布上做了很大的假设: 即辐射在各个方向上一致, 而且表面的辐射性质与波长没有关系, 这样可大大简化辐射换热的计算。
- (4) 气体辐射是容积现象而固体表面辐射是表面现象; 气体辐射是在特定的光谱上进行的, 而固体表面辐射一般是连续的。
- (5) 肋片应采用导热性能好的材料; 肋片应该薄或细; 肋片应用在导热性能差的换热侧。
- (6) 前者一般用于评价已知性能的换热器的换热效果; 后者一般用于换热器的设计。

6. 假设: 稳态一维热传导; 常物性; 热产均匀分布; 忽略辐射
根据能量平衡可求得表面温度:

$$T_s = T_\infty + \frac{\dot{q}r_0}{2h} \approx 152.6^\circ\text{C}$$

中心线温度:

$$T_0 = T_s + \frac{\dot{q}r_0^2}{4k} \approx 152.7^\circ\text{C}$$

(15 分)

7. 假设: 换热器与周围环境绝热; 不考虑轴向热传导, 并忽略动能和势能的变化; 比热和总传热系数为常数

$$q = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) = 4.52 \times 10^5 \text{ W}$$

$$\text{故 } T_{c,o} = T_{c,i} + \frac{q}{\dot{m}_c c_{p,c}} = 79^\circ\text{C}$$

由于 $T_{c,o} > T_{h,o}$, 必须采用逆向流动;

$$\text{由于 } \Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln\left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}}\right)} = 54.8^\circ\text{C}, \quad \text{故 } L = \frac{q}{U\pi D \Delta T_{lm}} = 21\text{m}$$

(15 分)

8. 该装置是采用蒸汽压缩实现海水淡化的系统;

优点: 通过蒸汽压缩提供少量的能量可实现凝结潜热的回收; 预热系统可回收浓盐水和淡水的显热;

缺点: 压缩机工作在高温蒸汽环境中, 易腐蚀和泄漏。

(15 分)