

目录

| | | |
|--------|------------------|----|
| 第 0 章 | 绪论 | 2 |
| 第 1 章 | 流体流动 | 3 |
| 第 2 章 | 流体输送机械 | 10 |
| 第 3 章 | 颗粒流体力学与机械分离..... | 14 |
| 第 4 章 | 传热及换热器 | 17 |
| 第 6 章 | 气体吸收 | 24 |
| 第 7 章 | 液体蒸馏 | 29 |
| 第 8 章 | 塔设备 | 33 |
| 第 10 章 | 固体干燥 | 35 |

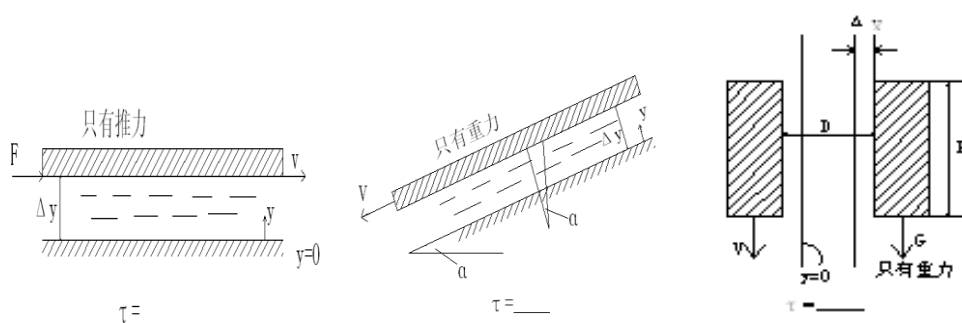
第0章 绪论

- 1) 广义地说, 凡工业生产的关键环节是_____, 这类生产便归属化工生产范畴。
(答: 改变物质组成)
- 2) 为了便于管理及技术交流, 很多行业从化工中划分出去, 但它们仍属“化工大家族”中的一员。这些 行业有_____等。(答: 石油化工, 塑料工业, 制药工业, 硅酸盐工业……)
- 3) 生产工艺学是_____。(答: 研究某一化工产品生产全过程的学科)
- 4) 化学工程是_____。(答: 研究化工生产中共性问题的学科)
- 5) 化工生产中虽然化学反应是核心, 但前、后对物料的处理大都为物理加工过程。这些对物料的物理加工过程称为_____。(答: 单元操作)
- 6) 介绍主要单元操作的原理、方法及设备的课程叫_____。(答: 化工原理)
- 7) 物理量=_____×_____ (答: 数, 单位)
- 8) 基本单位: 长度_____, 质量_____, 时间_____。(答: m, kg, s)
- 9) 导出单位: 力_____, 功或能_____, 功率_____, 压强_____ (答: N, J, W, Pa)
- 10) 有的单位前面有“字首”, 这些字首的意思是: k_____, c_____, m_____, μ _____。
(答: $10^3, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-6}$)
- 11) 查得 30℃ 水的粘度-- $\mu \times 10^5 / \text{Pa} \cdot \text{s}$ 为 80.12, 表明 $\mu =$ _____。(答: $80.12 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{s}$)
- 12) 量纲是_____。如长度单位有 m, cm, mm, km 等, 其量纲为_____。(答: 普遍化单位, L)
- 13) 物料衡算是对_____、_____而言的。[答: 一定的时间间隔, 一定的空间范围(控制体)]
- 14) 总的物料衡算式为_____。(答: $\sum M_i - \sum M_o = M_a$, 各种 M 的单位均为质量单位, 如 kg)
- 15) 若无化学反应, 对任一组分 j, 物料衡算式为_____。(答: $\sum M_{i,j} - \sum M_{o,j} = M_{a,j}$)
- 16) 若进、出控制体的物料均为连续流股, 各流股的质量流量均恒定, $\sum M_i = \sum M_o$, 控制体内任一位置物料的所有参量—如温度、压强、组成、流速等都不随时间而改变, 则该控制体处于_____过程。(答: 定态或称定常态或稳定态)
- 17) 流体粘度的单位换算关系是: cP (厘泊) = $0.001 \text{Pa} \cdot \text{s}$, 则 $3.5 \text{cP} =$ _____ $\text{Pa} \cdot \text{s}$, $0.005 \text{Pa} \cdot \text{s} =$ _____ cP。(答: 3.5×10^{-3} , 5.0)
- 【分析】 $3.5 \text{cP} = 3.5 \text{cP} \times (0.001 \text{Pa} \cdot \text{s} / 1 \text{cP}) = 3.5 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$
 $0.005 \text{Pa} \cdot \text{s} = 0.005 \text{Pa} \cdot \text{s} \times (1 \text{cP} / 0.001 \text{Pa} \cdot \text{s}) = 5.0 \text{cP}$
- 式中 (0.001 Pa·s/1cP 及 (1cP/0.001 Pa·s) 称为“转换因子”, 用于物理量的单位转换。
- 18) 任一物理方程式中各物理量必然单位_____。以离心泵的扬程、流量关系为例, 若 $H_e = 36 - 0.02 V^2$ (单位 H_e — m, V — m^3/h), 则式中 36 的单位是_____, 0.02 单位是_____。(答: 和谐, m, $\text{m}/(\text{m}^3/\text{h}^2)$)
- 19) 某管路特性方程为 $H_e' = 8.0 + 8.07 \times 10^5 V^2$ (式中 H_e' —m, V — m^3/s) 当以 V' [m^3/h] 替代 V , 则该公式改为_____。(答: $H_e' = 8.0 + 0.06227 (V')^2$)
- [分析] 因为 $1 [\text{m}^3/\text{h}] = (1/3600) [\text{m}^3/\text{s}]$, 所以 $H_e' = 8.0 + 8.07 \times 10^5 [V' \times (1/3600)]^2 = 8.0 + 0.06227 (V')^2$
- 20) 圆球固体颗粒在流体中作自由重力沉降, 在 stokes 区的沉降速度计算式为 $u_t = g dp^2 (\rho_s - \rho) / (18\mu)$ 。式中 u_t —沉降速度, m/s, g —重力加速度, $g = 9.81 \text{m/s}^2$, dp —颗粒直径, m; ρ_s —颗粒

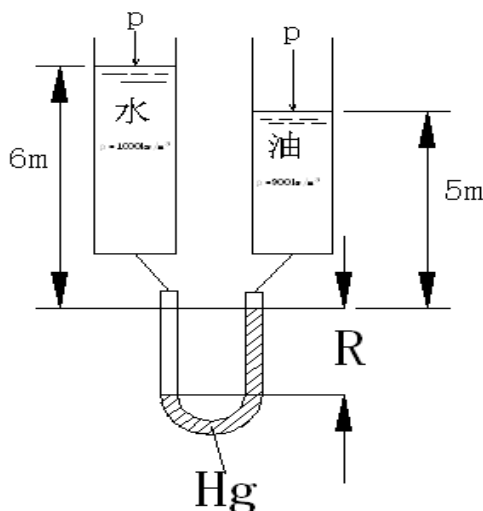
密度, kg/m^3 ; μ —流体粘度, $\text{Pa}\cdot\text{S}$ 。当以 $u_t'[\text{cm/s}], \mu'[\text{cP}]$ 分别替代 u_t 与 μ , 则该公式为_____。[答: $u_t'=10^{-5} \text{ g dp}^2 (\rho_s-\rho)/(18\mu')$]
 分析: $u_t=100u_t'$, cm/s , $\mu=1000\mu'$, 所以: $u_t'=10^{-5} \text{ g dp}^2 (\rho_s-\rho)/(18\mu')$

第1章 流体流动

- 1) 温度升高, 液体粘度_____, 气体粘度_____。(答: 下降, 增大)
- 2) 流体的粘度可通过流体粘性定律 $\tau=\mu(dv/dy)=\mu(\Delta V/\Delta y)[\text{N/m}^2]$ (y 的取向: 令 dv/dy 为正) 求得。试分析下列情况的 τ 值。图中 A 为薄平板或圆筒面的面积 (m^2)。 (答: F/A , $G.\sin\alpha/A$, $G/(\pi DH)$)



- 3) 理想流体是_____的流体。(答: $\mu=0$, $\sum h_f=0$, $\Delta V=0$)
- 4) 2.04ml 某液体的质量为 2.10g, 其密度为_____ kg/m^3 。(答: 1029)
- 5) $1\text{atm}=\text{_____ Pa}=\text{_____ mmHg}=\text{_____ mmH}_2\text{O}$
 $1\text{at}=\text{_____ kgf/cm}^2=\text{_____ Pa}=\text{_____ mmHg}=\text{_____ mmH}_2\text{O}$ (答: 1.013×10^5 , 760, 10.33, 1, 9.81×10^4 , 735.6, 10)
- 6) 外界大气压是 753mmHg(绝压)某容器内气体的真空度为 $7.34\times 10^4\text{Pa}$, 其绝压为_____Pa, 表压为_____Pa。(答: 2.70×10^4 , -7.34×10^4)
- 7) 1.60at(绝压), 35.0°C 的 N_2 (分子量 $M=28.0$) 的密度为_____ kg/m^3 (答: 1.72)
【分析】 根据题给的条件可按理想气体计算密度。 $\rho = pM/(RT)$, $R=8314\text{J}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$, 不要用 $T=273+t$ 。
- 8) 水面压强 $p_0=1\text{atm}$, 水深 64m 处的压强 $p=\text{_____ Pa}$ (p_0, p 皆为绝压) (答: 7.29×10^5)
- 9) 如右图, U 形压差计读数 $R=\text{_____ m}$, $\rho_{\text{Hg}}=13.6\times 10^3\text{kg/m}^3$, 不计两液面大气压 P 的差异。(答: 0.119)



10) 修正压强 $p_m =$ ____。在重力场中静止的恒密度流体，只要流体是连通的，则处处流体的 $p_m =$ ____。(答: $p + \rho gh$, 常数)

11) 流体在圆管内流动，通常讲的“管流”指的是____。(答: 流体充满管内且流动)

【分析】如无说明，流体在管内的流动皆为管流。

12) $\Phi 57 \times 3.5\text{mm}$ 的圆直钢管，管内充满流动的水，则水的流动截面积 $A =$ ____ m^2 (答: 1.96×10^{-3})

【分析】 $\Phi 57 \times 3.5\text{mm}$ ，表示钢管外直径为 57mm，管子壁厚为 3.5mm，其内径为 50mm。

13) $\rho = 940 \text{ kg/m}^3$ 的液体，以 $8.60 \text{ m}^3/\text{h}$ 的流量流过 12) 题的管内，其平均流速 $u =$ ____ m/s ，质量流速 $G =$ ____ $(\text{kg/s} \cdot \text{m})$ (答: 1.22, 1146)

14) 水在 $\Phi 60 \times 3\text{mm}$ 钢管内流过，流量 $V = 2.75 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ ，水的粘度 $\mu = 1.005 \text{ cP}$ ，则 $Re =$ ____，流型为____。(答: 6.45×10^4 ，湍流)

【分析】 $Re = du\rho/\mu$ ，当流体流过管内， $Re = 4V\rho/(\pi d\mu)$ 。前者出现 u ，后者出现 V ，此题用后者算比较好。

15) 圆直管内流体层流的点流速分布侧型为____，令管子内半径为 R ，轴心线处点流速为 v_{\max} ，则任一点与轴心线距离为 r 处的点流速 $v =$ ____。且平均流速 $u =$ ____ v_{\max} 。(答: 抛物线， $v_{\max} [1 - (r/R)^2], 1/2$)

16) 流体在圆、直管内湍流的点流速分布规律 $v = v_{\max} (\text{____})^n$ ，常见的 n 值为____。(答: $1 - r/R, 1/7$)

17) 均匀流遇到与其流线平行的静止固体壁面时，与壁面接触的流层质点被固体吸着而流速降为零，流体与壁面间没有摩擦发生，这叫____现象。由于流体有粘性，受壁面影响而流速降为零的流体层逐渐增厚。若均匀流流速为 u_0 ，则， $v < 0.99 u_0$ 的减速部分称为____。(答: 无滑动，边界层)

18) 湍流边界层紧邻壁面处存在着____。(答: 层流内层)

19) 均匀流体流入圆管内，随着流进圆管内距离的增加，边界层不断增大的管段称为____，在边界层厚度达到管内半径以后的管段称为____，管流的 Re 及流速侧型都是指____而言的。(答: 进口段，稳定段，稳定段)

20) $u^2/2$ 表示每____流体具有的机械能， $u^2/(2g)$ 表示每____流体具有的机械能。

21) 流体从 1 截面流至 2 截面的过程中，由于流体有____，导致部分流体机械能转变为内能，每 kg 流体由此损耗的机械能以____表示。(答: kg , N)

22) 某液体， $\rho = 880 \text{ kg/m}^3$ ， $\mu = 24 \text{ cP}$ ，在 $\Phi 57 \times 3\text{mm}$ 圆直管内流过，流速 $u = 0.802 \text{ m/s}$ ，则流

过 20m 管子的阻力为_____J/kg。(答: 5.38)

【分析】 $Re = du\rho/\mu = 0.051 \times 0.802 \times 880 / (240 \times 0.001) = 1500$, 层流, 层流阻力可按海根.泊稷叶公式计算。 $\Sigma h_f = 32 \mu ul / (\rho d^2) = 32 \times 24 \times 0.001 \times 0.802 \times 20 / (880 \times 0.051^2) = 5.38 \text{ J/kg}$

23) 流体在一圆直管内流动, $Re=700$, 若流量加倍, 对同一管段来说, 阻力消耗的功率为原来的_____倍。(答: 4)

【分析】原来是层流, 流量加倍后, $Re=1400$, 仍属层流。层流: $N = \Sigma h_f (V\rho)[w]$, 所以 $N'/N = (\Sigma h_f' / \Sigma h_f) (V'/V) = (u'/u)^2 = 2^2 = 4$

24) 量纲分析法是一种指导_____的方法。其依据是任一物理方程必然量纲_____。通过量纲分析, 可把_____间一般不定函数式转变成特征数间一般不定函数式。根据[Π]定理, “特征数”数=“物理量”数-“_____”数。(答: 实验, 和谐, 物理量, 基本量纲)

25) 量纲分析法的好处是: ①减少_____, 大大减轻实验工作量。②在满足流体各物性值均为恒值的条件下, 通过实验得到的特征数间的定量关系式可推广应用于其它工质及其它_____的不同尺寸的设备。(答: 变量, 几何相似)

26) 雷诺数表示_____力与_____力之比。(答: 惯性, 粘性)

27) 由量纲分析法指导实验得到的公式是一种_____公式。(答: 半理论半经验)

28) 工业上常用的粗糙管有_____, _____, _____等。(答: 水煤气管, 无缝钢管, 铸铁管)

29) 工业上常用的光滑管有_____, _____, _____等。(答: 玻璃管, 塑料管, 黄铜管)

30) 计算直管沿程阻力的范宁公式为_____。(答: $\Sigma h_f = \lambda(l/d)u^2/2 \text{ J/kg}$)

31) 在湍流区(包括过渡流区), 当 ϵ/d 一定, 随 Re 增大, λ 值先_____, 然后达到常数。 λ =常数的区域称为_____区。(答: 下降, 阻力平方或高度湍流)

32) 在高度湍流区摩擦系数 λ 取决于_____, 与_____无关。若流体在某粗糙管内高度湍流, 当流量加倍, 对同一直管段来说, 阻力将增至原来的_____倍。(答: ϵ/d , Re , 4)

33) 在湍流区(包括过渡流区), 当 Re 一定, 随着 ϵ/d 减小, λ 值_____。 ϵ/d 的极限为光滑管。光滑管, 当 $Re=3000$, $\lambda=_____$, 此公式称为_____公式。(答: 减少, $0.3164/Re^{0.25}$, 布拉修斯)

34) 流体流过_____, _____, _____等的阻力称为局部阻力。局部阻力总伴随着_____现象。计算局部阻力的公式有两种, 即 $h_f = _____ u^2/2 \text{ J/kg}$ 及 $h_f = \lambda (_____) u^2/2 \text{ J/kg}$ 。(答: 弯头, 三通, 阀门, 边界层分离, ζ , le/d)

35) 通过管道, 将地面管内的水输到敞口水塔水面上方。已知出水口距地面高 20m, 水流速 1.20m/s, 管长及局部阻力当量管长 $l + \Sigma le$ 为 40m, 管内径 38mm, 摩擦系数 $\lambda=0.028$ 输入端管内的表压 $p_1 = _____ \text{ at}$ 。(答: 2.216)

【分析】 $p_1/1000 = (9.81 \times 20) + (0.028 \times 40/0.038) \times (1.20)^2/2$

所以, $p_1 = 2.174 \times 10^5 \text{ Pa(表压)} = 2.216 \text{ at(表压)}$

36) 水由 A 水库通过长管道流入 B 水库, 如下图所示管内径为 d_1 , 输入量为 V_1 。现欲加大流量, 要求 $V_2 = 2.4V_1$, 设管长不变, 布拉修斯公式可用, 局部阻力不计, 采用增大管内径方法解决, 则 $d_2/d_1 = _____$ 。(答: 1.38)



【分析】 $E_A - E_B = \sum h_f$ (E 通常表示每千克流体的总机械能。)

因前后情况 E_A 和 E_B 都没有改变, 故 $\sum h_{f,1} = \sum h_{f,2}$,

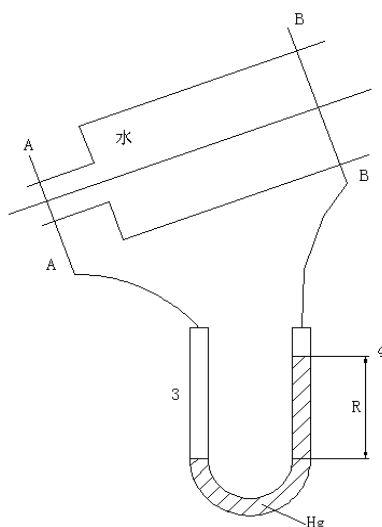
$$\sum h_f = 8 \lambda \frac{1}{2} \frac{V^2}{\pi^2 d^5} = 8 \times 0.3 \frac{1}{2} \frac{16}{\pi^2 d^5} \frac{V^2}{\pi^2 d^5} \propto (V^{1.75} / d^{4.75})$$

$$V_1^{1.75} / d_1^{4.75} = V_2^{1.75} / d_2^{4.75} \text{ 所以 } d_2/d_1 = (V_2/V_1)^{(1.75/4.75)} = 1.38$$

32) 如下图所示, 水由 A-A 截面经向上倾斜异径管流至 B-B 截面。A、B 截面处均流线平行, 由 A、B 截面到 U 形管的连接管内及 U 形压差计内指示液上方均为与管内相同的水。已知 $R=68\text{mm}$, 则 $p_{m,A} - p_{m,B} = \underline{\hspace{2cm}} \text{Pa}$ 。(答: 8.405×10^3)

【分析】在重力场中流体恒密度条件下, 静止流体的 P_m 为恒值, 由此可导出下式:

$$p_{m,A} - p_{m,B} = p_{m,3} - p_{m,4} = p_3 - p_4 = (\rho_{Hg} - \rho) g R = (13.6 - 1) \times 10^3 \times 9.81 \times 0.068 = 8.405 \times 10^3 \text{Pa}$$



38) 承 37 题, 若流量不变把管子水平放置, 则会发生如下变化: $(p_{m,A} - p_{m,B})$ _____ 读 R _____, $(p_A - p_B)$ _____。(答: 不变, 不变, 减小)

【分析】

根据

$$\sqrt{\frac{(\rho_f - \rho_l) \rho_{\text{标}}}{\rho_l (\rho_f - \rho_{\text{标}})}} = 3.80 \sqrt{\frac{(2800 - 840) \times 1000}{840 \times (2800 - 1000)}} = 4.33 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$A \text{ 阀门开大 } \xrightarrow{\text{经验}} V \uparrow \rightarrow \sum h_{f,1-4} \uparrow \xrightarrow{E1 \text{ 恒定}} E_4 \downarrow \rightarrow P_4 \downarrow \rightarrow E_5 \downarrow \rightarrow V_3 \downarrow$$

$$(1 + \sum l_{e,1}) - (1 + \sum l_{e,2}) = 30/20 =$$

$$\begin{cases} V_1 = 8.14 \text{m}^3 / \text{h} \\ H_{e,1} = 41.3 \text{m} \end{cases}$$

$$p_{m,A} / \rho + u_A^2 / 2 = p_{m,B} / \rho + u_B^2 + \sum h_f, \sum h_f \text{ 与管子倾斜角度无关, 所以 } (p_{m,A} - p_{m,B})$$

不变, 亦即 R 不变。

$$p_{m,A} - p_{m,B} = (p_A + \rho g z_A) - (p_B + \rho g z_B) = \text{常量}$$

$$p_A - p_B = \text{常量} + \rho g (z_B - z_A)$$

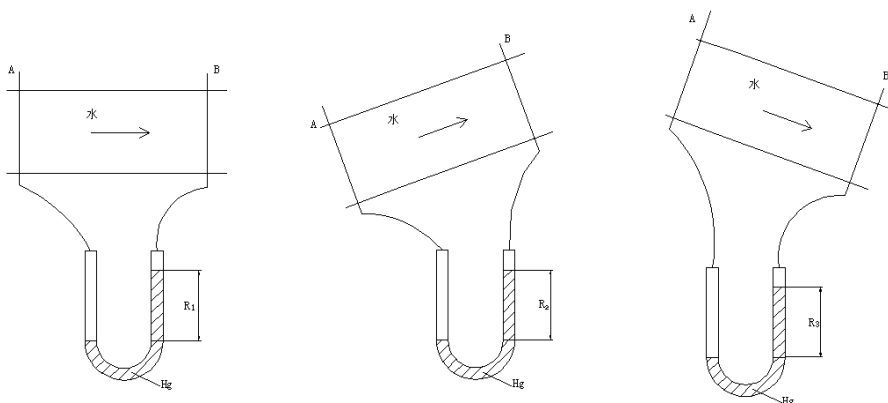
当管子由倾斜向上改为水平, $(z_B - z_A)$ 减小, $(p_A - p_B)$ 减小。

39) 三根内径相同的直管, 管内水流量相同, 两侧压点的距离相同, 但管子安装方向不同, 一根水平, 一根倾斜向上, 一根倾斜向下, 如下图所示, 则 R_1 , R_2 , R_3 的关系是_____ ,

Δp_1 、 Δp_2 、 Δp_3 的关系是_____。(答: $R_1 = R_2 = R_3$, $\Delta p_2 > \Delta p_1 > \Delta p_3$)

【分析】 $\because p_{m,1} = p_{m,2} = p_{m,3}$, $\therefore R_1 = R_2 = R_3$

$\because p_A - p_B = \text{常量} + \rho g(z_B - z_A)$, $\therefore \Delta p_2 > \Delta p_1 > \Delta p_3$



40) 某套管, 外管内直径为 d_2 , 内管外直径为 d_1 , 此套管的当量直径 $d_e =$ _____。

(答: $d_2 - d_1$)

41) 有时把流体流过一段管路的阻力 $\sum h_f$ 改用摩擦压降 $-\Delta p_f$ 形式表示, 二者关系是_____。(答: $\sum h_f = -\Delta p_f / \rho$)

42) 水以 1.2 m/s 流速从圆直等径管内流过, 摩擦系数 $\lambda = 0.026$, 则紧邻管壁处流体剪应力 $\tau_w =$ _____ N/m^2 , 在 $r/R = 0.50$ (R 为管半径) 处的剪应力 $\tau =$ _____ N/m^2 。(答: 4.68, 2.34)

【 分 析 】

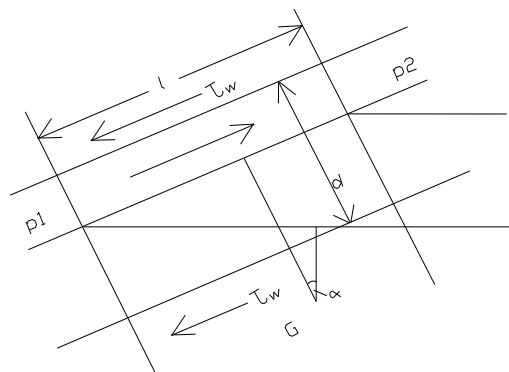
①

$$\because p_{m,1} / \rho = p_{m,2} / \rho + \sum h_f = p_{m,2} / \rho + \lambda(l/d)u^2/2$$

$$\therefore (p_{m,1} - p_{m,2})d/l = \lambda \cdot \rho u^2/2$$

② 参看右图, 沿管轴向作 l 长管段的力的衡算:

$$(\pi/4)d^2(p_1 - p_2) - (\pi/4)d^2l\rho g \sin \alpha = \tau_w \cdot \pi dl$$



其中, $l \sin \alpha = z_2 - z_1$, 可整理得 $\therefore (p_{m,1} - p_{m,2})d/l = 4\tau_w$

③ 因此, $\tau_w = \lambda \rho u^2 / 8 = 0.026 \times 10^3 \times (1.2)^2 / 8 = 4.68 \text{ N/m}^2$

④ 无论层流或湍流的管流, 剪应力 τ 均与该流层距轴心线的距离 r 成正比, 故

$$\tau = \tau_w (r/R) = 4.68 \times 0.5 = 2.34 \text{ N/m}^2$$

43) 如右图所示, $d_A \gg d_B$ 。当水流向为 $A \rightarrow B$, U 形压差计读数为 R_1 。当流向为 $B \rightarrow A$, 读数为 R_2 。两者流量相同, 均不计 AB 段直管阻力, 只计截面突变阻力, 则 $|R_1|$ $|R_2|$ 。
(答: >)

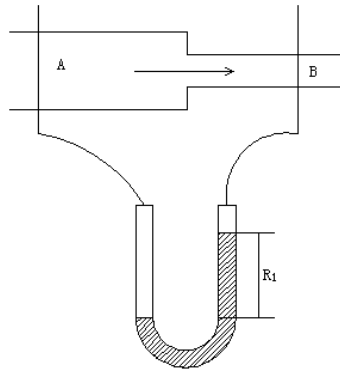
【分析】当 $d_A \gg d_B$, 由 $A \rightarrow B$, $\zeta = 0.5$, 由 $B \rightarrow A$, $\zeta = 1$, 局部阻力均按 $\zeta u_A^2 / 2$ 计。

$$A \rightarrow B: p_A / \rho + u_A^2 / 2 = p_B / \rho + u_B^2 / 2 + 0.5 u_B^2 / 2$$

$$\therefore (p_A - p_B) / \rho = 1.5 u_B^2 / 2 - u_A^2 / 2$$

$$B \rightarrow A: p_B / \rho + u_B^2 / 2 = p_A / \rho + u_A^2 / 2 + u_B^2 / 2$$

$$\therefore (p_B - p_A) / \rho = u_A^2 / 2$$

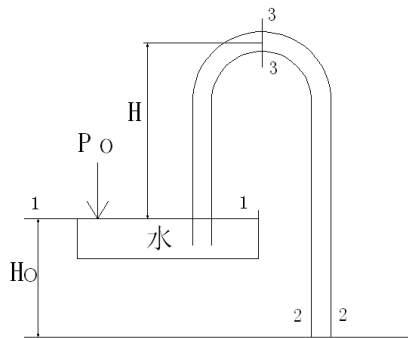


44) 45°C 的水蒸汽压 $P_V = 9.586 \text{ kPa}$, $P_O = 1 \text{ atm}$, $u_2 = 0.60 \sqrt{2gH_o} \text{ m/s}$, $H_o = 1.5 \text{ m}$, 则如图所示的能正常虹吸操作的 $H_{\max} =$ m (计算 H_{\max} 时可忽略阻力)。(答: 8.81)

【分析】 $u_2 = 0.60 \sqrt{2 \times 9.81 \times 1.5} = 3.25 \text{ m/s} = u_3$ 虹吸管正常操作应该管内的水不汽化。

令 $P_3 = P_V$ 时的 H 为 H_{\max} , 排 1-3 截面的伯努利方程, 得: $1.013 \times 10^5 / 1000 =$

$$9.81 H_{\max} + 9.586 \times 10^3 / 1000 + (3.25)^2 / 2 \quad \therefore H_{\max} = 8.81 \text{ m}$$



45) 两管并联, 管 1 的管长 (包括局部阻力的当量管长)、管内径及摩擦系数为 l_1 、 d_1 和 λ_1 , 管 2 的相应值为 l_2 、 d_2 和 λ_2 , 则流量比 $V_1/V_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: $\sqrt{d_1^5/(\lambda_1 l_1)}/\sqrt{d_2^5/(\lambda_2 l_2)}$)

46) 转子流量计对某种流体的操作特性是 $\underline{\hspace{2cm}}$, 现有一转子流量计, 转子密度 $\rho_f = 2800 \text{ kg/m}^3$, 其刻度是按 20°C 的水标定的。当用于 $\rho_1 = 840 \text{ kg/m}^3$ 的流体, 读得刻度为 $3.80 \text{ m}^3/\text{h}$, 则实际流量是 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/\text{h}$ 。(答: 恒流速, 恒压降, 4.33)

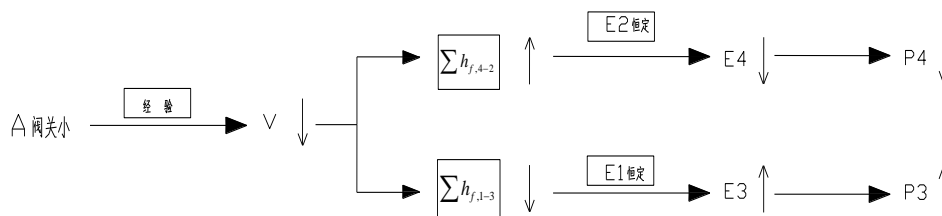
【分析】 $V_1 = V_{\text{标}} \sqrt{\frac{(\rho_f - \rho_1) \rho_{\text{标}}}{\rho_1 (\rho_f - \rho_{\text{标}})}} = 3.80 \sqrt{\frac{(2800 - 840) \times 1000}{840 \times (2800 - 1000)}} = 4.33 \text{ m}^3/\text{h}$

47) 以孔板流量计测量某液体流量, 用 U 形压差计作为测压仪器。若流量加倍且流量改变前后孔流系数 C_0 为不变的常数, 则加大流量后 U 形压差计读数 R' 为原流量时读数 R 的 $\underline{\hspace{2cm}}$ 倍。(答: 4)

48) 以下是两道判断题。在分析=时, 可用 E 表示某截面每 kg 液体的总机械能, 可略去液体动能。各水槽液位假设不变。

①当阀 A 关小, P_3 $\underline{\hspace{1cm}}$, P_4 $\underline{\hspace{1cm}}$ 。(答: 升高, 降低)

[分析]



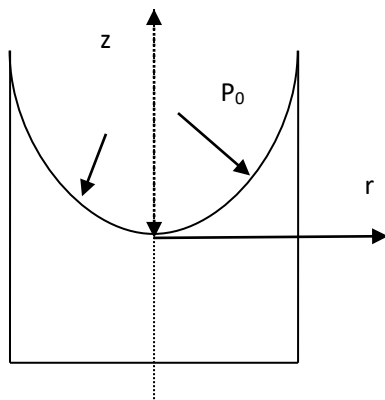
②原来 A, B 阀均部分开启, 当 A 阀开大, B 阀不变, 则 V $\underline{\hspace{1cm}}$, P_4 $\underline{\hspace{1cm}}$, V_3 $\underline{\hspace{1cm}}$ 。(答: 增大, 下降, 减少)

[分析] A 阀门开大 $\xrightarrow{\text{经验}} V \uparrow \rightarrow \sum h_{f,1-4} \uparrow \xrightarrow{E1 \text{ 恒定}} E_4 \downarrow \rightarrow P_4 \downarrow \rightarrow E_5 \downarrow \rightarrow V_3 \downarrow$

第2章 流体输送机械

- 1) 流体输送机械依结构及运行方式不同,可分为4种类型,即_____式、_____式、_____式及_____式。(答:离心,往复,旋转,流体作用)
- 2) 离心泵均采用_____叶片,其泵壳侧形为_____形,引水道渐扩,是为了使_____。(答:后弯,蜗壳,流体动能转化为静压能)
- 3) 离心泵的三条特性曲线是_____,_____和_____曲线。这些曲线是_____和_____条件下,由_____测得的。(答: $H_e \sim V$, $N_a \sim V$, $\eta \sim V$, 一定的流体力质, 一定转速, 实验)
- 4) 离心泵铭牌上写的参量是_____时的参量。(答: η_{\max})
- 5) 离心泵启动前要盘车、灌液,灌液是为了防止_____现象发生。(答:气缚)
- 6) 离心泵停泵要前先关小出口阀,以避免发生易损坏阀门和管道的_____现象。(答:水锤)
- 7) 离心泵在长期正常操作后虽工作条件未变,却发生气蚀,其原因一般是_____。(答:吸入管内壁因污垢沉积造成流体流动阻力增加)
- 8) 液体容器绕中心轴等角速度 ω 旋转,如附图所示。液面任一点高度 z 与该点对轴心线的距离 r 之间的数量关系是 $z = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$ 。(答: $\frac{\omega^2 r^2}{2g}$)

【分析】旋转液体中任一点都满足的方程是: $p + \rho gz - \rho \frac{\omega^2 r^2}{2} = \text{常量 } c$, 如图,取 o 点为柱坐标原点,在 o 点处, $r=0$, $z=0$, $p=p_0$, 所以 $c=p_0$, 于是,上式可改成 $p + \rho gz - \rho \frac{\omega^2 r^2}{2} = p_0$, 在液面上, $p=p_0$, 即 $\rho gz = \rho \frac{\omega^2 r^2}{2}$, 则 $z = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$

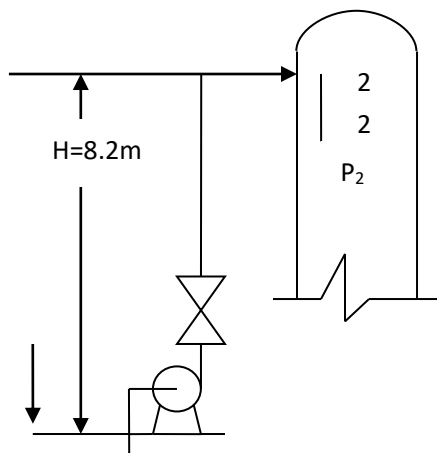


- 9) 如下图,用离心泵将水由水槽输入塔内,塔内压强 $p_2=0.2\text{at}$ (表压),吸入及压出管总长及局部阻力当量管长 $1+\sum l_e=20\text{mm}$,摩擦系数 $\lambda=0.024$,则输送每 N 水所需的外加功 H_e' 与流量 V 的数量关系式为_____。(答: $H_e'=10.24+4.06 \times 10^6 V^2$)

【分析】排 1-2 截面间伯努利方程: $H_e' = H + \frac{p_2 - p_0}{\rho g} + \frac{8\lambda(1 + \sum l_e)}{\pi^2 g d^5} V^2 =$

$$8.2 + \frac{0.2 \times 9.81 \times 10^4}{1000 \times 9.81} + \frac{8 \times 0.024 \times 24}{\pi^2 9.81 (0.025)^5} V^2 = 10.2 + 4.06 \times 10^6 V^2$$

式中单位: H_e' —m, V — m^3/s



10) 承 9) 题, H_e' 表示在 9) 题条件下, 为实现水流量为 $V[m^3/s]$ 的输送, 1[N] 水必须 _____ 的外加机械能[J]。9) 题导出的 $H_e \sim V$ 关系又称为 _____。设 λ 为常数, 此关系的一般式为 _____。(答: 得到, 管路特性曲线, $H_e' = H_0 + KV^2$)

11) 承 9) 题的管路特性方程可改写成 $H_e' = 10.2 + 0.313V^2[m]$ (式中: V — m^3/h)。如选用的泵的“ $H_e \sim V$ ”关系可表达为 $H_e = 42 - 0.01V^2[m]$, 则工作点为 _____。

(答: $V = 9.92 m^3/h, H_e = 41 m$)

【分析】泵: $H_e = 42 - 0.01V^2$, $H_e' = 10.2 + 0.313V^2$

令 $H_e = H_e'$, 得 $V = 9.92 m^3/h$, $H_e = 41 m$

注意: V 的单位只能统一才能联立求解。

12) 承 11) 题, 若略关小出口阀, 使 $1 + \sum l_e = 30 m$, 设 λ 不变, 则新工作点为 _____。

(答: $V_1 = 8.14 m^3/h$, $H_{e,1} = 41.3 m$)

【分析】出口阀关小后, 与原来的相比, $(1 + \sum l_e)_1 / (1 + \sum l_e) = 30/20 = 1.5$, 所以

$K_1 = 1.5K = 1.5 \times 0.313 = 0.47$, 新的管路特性方程为 $H_e' = 10.2 + 0.47V^2$

$$\begin{cases} \text{泵: } H_e = 42 - 0.01V^2 \\ \text{管路: } H_e' = 10.2 + 0.47V^2 \end{cases}, \text{ 令 } H_e = H_e', \text{ 所以 } \begin{cases} V_1 = 8.14 m^3/h, H_{e,1} = 41.3 m \end{cases}$$

13) 承 12) 题, 已知在出口阀关小后 $V_1 = 8.14 m^3/h$ 时泵的效率 $\eta = 0.62$, 与原来的 $V = 9.92 m^3/h$ 相比, 因关小阀而多消耗在阀上的轴功率 $\Delta N_a =$ _____。(答: $372 W$)

【分析】参照附图, 当阀关小 $V_1 = 8.14 m^3/h$ 时, 若按原来的管路特性曲线计, 只需

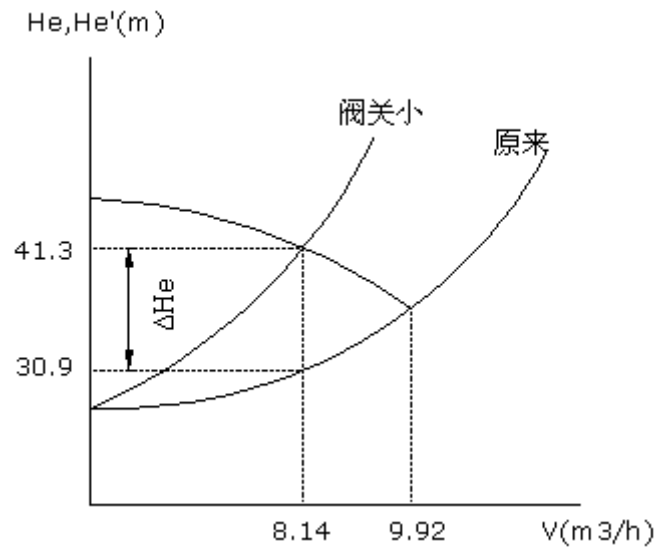
$H_e' = 10.2 + 0.313 \times (8.14)^2 = 30.9 m$, 但因阀关小增加阀的阻力, 实际 $H_{e,1} = 41.3 m$, 所以因阀关小而多耗的轴功率

$$\Delta N_a = \Delta H_e \cdot V \rho g / \eta = (41.3 - 30.9) \times 8.14 \times 10^3 \times 9.81 / (3600 \times 0.62) = 372 W$$

$$n' / n = V' / V = 8.14 / 9.92 = 0.822 \left(42 - 0.01(V' / 2)^2 \right) H_e' = 6.2 + 0.0854 V'^2 m (V - m^3 / h) \sum H_f = KV^2$$

$$H_{g \max} = (p_1 - p_v) / (\rho g) - \Delta h_{\text{允}} - \sum H_{f, \text{汲}} = 0 - 2.4 - 3.3 = -5.7 m \mu_2^2 \rho_1 / 2 V', H_T' / \rho'$$

$$\Delta N_a = \Delta H_e \cdot V \rho g / \eta = (41.3 - 30.9) \times 8.14 \times 10^3 \times 9.81 / (3600 \times 0.62) = 372 W$$



14) 承 13) 题, 若管路及阀门开启度均保持原来情况不变, 用减小泵转速的方法使流量降至 $8.14 \text{ m}^3/\text{h}$, 则调节后的转速与原转速之比 $n'/n = \underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: 0.82)

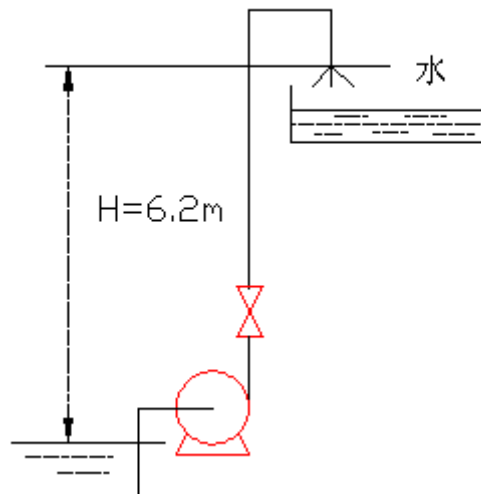
【分析】 $n'/n = V'/V = 8.14/9.92 = 0.82$

15) 已知单台离心泵的性能为 $H_e = 42 - 0.01V^2$ ($V - \text{m}^3/\text{h}$), 则两台相同的上述的泵串联或并联, 其综合的性能分别为 $H_{e, \#} = \underline{\hspace{2cm}}$, $H_{e, \#} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。[答: $2(42 - 0.01V^2)$,

$42 - 0.01(V/2)^2$]

16) 如图, 当泵出口阀全开, $V = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ 时管路阻力 $\sum H_f = 53.4 \text{ mH}_2\text{O}$, 则阀全开时的管路特性方程为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: $H_e' = 6.2 + 0.0854V^2 \text{ m}(V - \text{m}^3/\text{h})$)

【分析】 阀全开, $\sum H_f = KV^2$, 即 $53.4 = K(25)^2$, 所以 $K = 0.0854 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$ 故阀全开时管路特性方程为 $H_e' = 6.2 + 0.0854V^2 \text{ m}(V - \text{m}^3/\text{h})$



17) 单项选择题: 离心泵的安装高度与_____。(答: D)

(A) 泵的结构无关 (B) 液量流量无关 (C) 吸入管阻力无关 (D) 液体密度有关

【分析】当离心泵从低位液槽汲液, 液槽的液面压强为 p_1 (绝压), 该液体在工作温度下的蒸汽压为 p_v , 则泵的最大安装高度为

$$H_{g\max} = (p_1 - p_v) / (\rho g) - \Delta h_{\text{允}} - \sum H_{f, \text{汲}}$$

其中允许汽蚀余量 $\Delta h_{\text{允}}$ 与泵的类型, 尺寸, 转速, 流量有关。

18) 某离心泵在高原使用, 外界大气压 $p_0=8.6 \text{ mH}_2\text{O}$ (绝压), 输 15°C 的水, 水的蒸汽压 $p_v=1.707\text{kPa}$ 。由工作点查得 $\Delta h_{\text{允}}=3.5\text{m}$, 可算得吸入管阻力为 $2.3 \text{ mH}_2\text{O}$, 则最大安装高度为_____m。(答: 2.63)

【分析】 $H_{g\max} = p_0 / (\rho g) - p_v / (\rho g) - \Delta h_{\text{允}} - \sum H_{f, \text{汲}}$

$$= 8.6 - 1.707 \times 10^3 / (1000 \times 9.81) - 3.5 - 2.3 = 2.63\text{m}$$

19) 以离心泵由 A 槽把饱和液体输至 B 槽。要求流量为 $16 \text{ m}^3/\text{h}$ 。查得该泵在该流量时 $\Delta h_{\text{允}}=2.4\text{m}$, 可算得吸入管阻力为 3.3m 。可判断此泵在该流量时_____发生气蚀。(答: 不会)

【分析】饱和液体, 即工作温度下液体的蒸汽压 p_v 等于外压 p_1 , 于是

$$H_{g\max} = (p_1 - p_v) / (\rho g) - \Delta h_{\text{允}} - \sum H_{f, \text{汲}} = 0 - 2.4 - 3.3 = -5.7\text{m}$$

从附图见, $H_g=-8\text{m}$, 因此 $H_g < H_{g\max}$, 故不会产生气蚀。

20) 使用离心泵从此泵的位置更低的液槽汲液, 不应在吸入管上装阀以调节流量, 原因是_____。(答: 当阀关小时会造成气蚀)

21) 往复泵属于_____类型的流体输送机械, 常用于流量_____, 压头_____的场合。在固定操作条件下, 通过泵体的液体流量是恒定的。当需要调节流量时, 不能用调节出口阀的办法, 只能用调节_____方法解决。(答: 正位移, 小, 大, 旁路阀门)

22) 在风机样本中, 离心式风机的性能曲线是在一定转速下, 规定进口气体密度 $\rho=$ _____ kg/m^3 条件下测得的。性能曲线共有 4 条, 即_____, _____、_____和_____曲线。(答: 1.2, $H_T \sim V, H_{\text{静}} \sim V, N_a \sim V, \eta \sim V$)

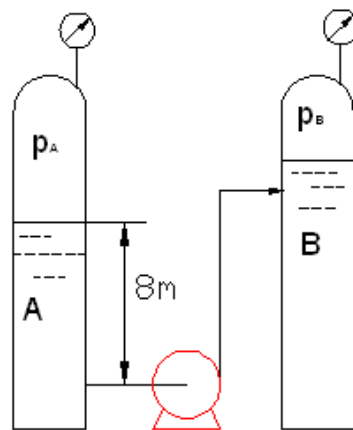
23) 若以下标“1”、“2”表示风机的进、出口截面, 风机全风压 H_T 为_____。(答: 按风机进口截面处气体密度计的每立方米气体流过风机所提高的机械能, J/m^3 或 Pa)

24) 在全风压中, 往往略去_____项。(答: 位能)

25) 若风机操作时进风口压强为 p_1 , 出风口压强为 p_2 (全为绝压), 进风口气体密度为 ρ_1 , 出风口气速为 u_2 , 则风机的静压强 $H_{\text{静}}=$ _____, 出口动能为_____。(答: $p_2 - p_1, u_2^2 \rho_1 / 2$)

26) 若风机在工作时进风口气体密度为 ρ' , 按此密度计的风机流量为 V' , 实测得风机全风压为 H'_T , 为了从风机样本中选择风机型号, 须做参量转换。转换关系为: $V_{\text{样本}}=$ _____

(H_T)_{样本/1.2} = _____。(答: $V', H'_T / \rho'$)



第3章 颗粒流体力学与机械分离

- 1) 正圆柱体颗粒, 高 $h=2\text{mm}$, 底圆直径 $d=2\text{mm}$, 其等体积当量直径 $d_{e,v}=\underline{\hspace{1cm}}\text{mm}$, 形状系数 $\Psi=\underline{\hspace{1cm}}$ 。(答: 2.29, 0.874)
- 2) 对某号筛, 穿过筛孔的颗粒质量称为_____, 留在该号筛面上的称为_____。(答: 筛过量, 筛余量)
- 3) 某颗粒群, 依颗粒大小的差异, 可粗分为三部分, 其平均粒径 $d_{p,i}$ 为 1.08, 1.52 及 2.24mm 的部分的质量分数 x_i 相应为 0.31, 0.55 及 0.14, 设所有颗粒形状系数相同, 则按比表面积相等原则算出的颗粒群的平均粒径为_____mm。(答: 1.41)

[分析] $d_m = 1 / \sum (x_i / d_{p,i})$

- 4) 由固体颗粒堆积成的固定床, 其空隙率 $\varepsilon=\underline{\hspace{1cm}}$ 。[答: (床层体积-颗粒体积)/床层体积]
- 5) 对于颗粒乱堆的固定床, 若颗粒足够小, 可认为床层各向同性, 即床层内处处_____值相等, 且床层内任一平截面上空隙面积与界面总面积之比(自由截面率)在数值上等于_____。(答: ε , ε)
- 6) 当流体通过多孔介质, 或称流体对固定床的渗流, 当雷诺数 $Re' < 2$, 流动阻力属粘性阻力时可用柯士尼公示计算流动阻力, 该公式可表达为 $-\Delta p_m = A \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} \text{Pa}$ 。(式中 A 为固定床的结构参量, 对一定的固定床, A 为常量)(答: μ , u , L)
- 7) 当流体通过多孔介质, 在更宽的雷诺数范围内, 亦即流动阻力可包含粘性阻力及涡流阻力时, 可用欧根公式计算流动阻力。该公式可表示为 $-\Delta p_m / L = A \underline{\hspace{1cm}} + B \underline{\hspace{1cm}} \text{Pa}$ 。(式中 A, B 为固定床的不同的结构参量, 对一定的固定床, A, B 均为常量)(答: μ , u , ρ , u^2)
- 8) 为了固、液分离, 常用的机械分离方法是_____和_____。(答: 过滤, 沉降)
- 9) 过滤是以过滤介质(如滤布, 滤网)截留_____的操作。滤饼过滤是指过滤过程中在过滤介质上形成滤饼的操作。滤饼在过程中起_____作用。在常见的用于固液分离的恒压差滤饼过滤中, 随着过滤时间 τ 的延长, 滤饼厚度 L _____, 过滤阻力(滤液流过滤布及滤饼的阻力)_____, 滤液流率 $dv/d\tau$ _____。(v 是通过滤布的液量累积量), 这是个_____过程。(答: 悬浮在流体中的固体颗粒, 过滤介质, 增加, 增加, 减小, 非定态)
- 10) 若过滤面积为 $A\text{m}^2$, 经过一段时间的过滤后, 得滤液量 $V\text{m}^3$, 同时生成厚度为 $L\text{m}$ 的滤饼, 滤饼空隙率为 ε , 固体颗粒的密度为 $\rho_p \text{kg/m}^3$, 即可判断截留的固体质量为_____kg, 与之对应的液体体积为_____ m^3 。当过滤前悬浮液的浓度以 $\Phi \text{kg固/m}^3$ 清夜表示, 则 $\Phi=\underline{\hspace{1cm}}$ 。[答: $LA(1-\varepsilon)\rho_p$, $V + LA\varepsilon$, $LA(1-\varepsilon)\rho_p / (V + LA\varepsilon)$]
- 11) 推导液体流过滤饼(固定床)的过滤基本方程式的基本假设是: 液体在多孔介质中流型属_____, 依据的公式是_____公式。(答: 层流, 柯士尼)
- 12) 在过滤速率方程中, 对于液体流过滤介质的阻力的处理方法是, 按等阻力原则将其折合成一层虚拟的厚度为 L_e 的附加滤饼层, 该虚拟滤饼层的结构与操作中生成的滤饼的相同。当过滤面积为 A , 则滤布阻力可用 L_e 或 q_e 表示, L_e 是_____, q_e 是_____。(答: 与生成 AL_e 滤饼层相应的滤液量, 对单位过滤面积生成 L_e 厚的滤饼所对应的滤

液量)

- 13) 以叶滤机恒压过滤某悬浮液, 已知过滤时间 $\tau_1=5\text{min}$, 单位过滤面积通过滤液量 $q_1=0.112\text{m}^3/\text{m}^2$, 滤饼厚度 $L_1=2.0\text{mm}$, 当过滤累积时间 $\tau_2=10\text{min}$, 累积的 $q_2=0.162\text{m}^3/\text{m}^2$, 则过滤总共时间 $\tau_3=25\text{min}$ 时, 滤饼厚度 $L_3=\underline{\hspace{2cm}}\text{mm}$ 。(答: 4.66)

[分析]恒压过滤, 通式为 $q^2 + 2qq_e = K\tau$, 代入 τ_1, τ_2 两时刻的值, 得

$$\begin{cases} (0.112)^2 + 2 \times 0.112q_e = K \times 5 \\ (0.162)^2 + 2 \times 0.162q_e = K \times 10 \end{cases}$$

两式联立, 解得 $K = 2.93 \times 10^{-3} \text{m}^2 / \text{min}$, $q_e = 9.32 \times 10^{-3} \text{m}^3 / \text{m}^2$

对于 $\tau_3, q_3^2 + 2 \times 9.32 \times 10^{-3} q_3 = 2.93 \times 10^{-3} \times 25 \therefore q_3 = 0.261 \text{m}^3 / \text{m}^2$

$\because L \propto q, \therefore L_3 = L_1 q_3 / q_1 = 2.0 \times 0.261 / 0.112 = 4.66 \text{mm}$

- 14) 承 13) 题, 若过滤 25min 便停止过滤, 则过滤终了时的瞬时过滤速率 $dq/d\tau = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 。(答: 5.42×10^{-3})

[分析] $\frac{dq}{d\tau} = \frac{K}{2(q+q_e)} = \frac{2.93 \times 10^{-3}}{2(0.261+9.32 \times 10^{-3})} = 5.42 \times 10^{-3} \text{m}^3 / \text{min} \cdot \text{m}^2$

- 15) 承 14) 题, 若过滤停止后, 即洗涤滤饼, 洗涤液与滤液粘度相同, 洗涤压差与过滤压差相同, 洗涤液量为总滤液量的 0.12, 则洗涤时间 $\tau_w = \underline{\hspace{2cm}} \text{min}$ 。(答: 5.78)

[分析]对叶滤机, 当 $\mu_w = \mu, -\Delta p_{m,w} = -\Delta p_{m,E}$, 则

$$(dq/d\tau)_w = (dq/d\tau)_E, \therefore \tau_w = 0.12 \times 0.261 / (5.42 \times 10^{-3}) = 5.78 \text{min}$$

- 16) 一个过滤周期包含着过滤、滤饼洗涤及清理三个阶段, 三段操作时间依次为 τ_F, τ_w 和 τ_R 三者之和为 $\sum \tau$, 其中过滤阶段得滤液量 v , 则过滤机得生产能力 $G = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}^3/\text{s}$ 。若为恒压过滤且过滤介质阻力不计, 洗涤时 $\mu_w = \mu, \Delta p_{m,w} = \Delta p_{m,E}$, 则当 $\tau_R = \underline{\hspace{2cm}}$ 时, 生产

能力最大。(答: $v / \sum \tau, \tau_F + \tau_w$)

- 17) 在一台板框压滤机中滤框有 $\underline{\hspace{2cm}}$ 种结构类型, 滤板有 $\underline{\hspace{2cm}}$ 种结构类型。(答: 一, 二)

- 18) 某板框压滤机对某料浆进行恒压过滤, 滤饼充满滤框需 22min, 现框数加一倍, 操作压力及物性不变, 则滤饼充满滤框的时间是 $\underline{\hspace{2cm}} \text{min}$ 。(答: B)

(A) 11 (B) 22 (C) 33 (D) 44

- 19) 板框压滤机, 若滤饼洗涤时, $\mu_w = \mu, \Delta p_{m,w} = \Delta p_{m,E}$, 则

$$(dV/d\tau)_w = \underline{\hspace{2cm}} (dV/d\tau)_E. \quad (\text{答: } 1/4)$$

- 20) 以板框压滤机恒压过滤某悬浮液, 若滤布阻力不计, 悬浮液浓度不变, 滤液粘度不变, 仅是操作压差增加一倍, 已知滤饼的压缩性指数 $S=0.35$, 则对于同一 V 值, 增压后的滤液流率 $dV/d\tau$ 为原来的 $\underline{\hspace{2cm}}$ 倍。(答: 1.57)

[分析] $dV/d\tau = KA^2/[2(V+V_e)], K = 2\Delta p_m^{1-s}/(\mu r_o \Phi)$

- 21) 板框压滤机恒压过滤某料浆，若料浆浓度 Φ 减小为原来的 1/2，设滤布阻力可略，滤饼比阻系数及其他操作条件不变，可略去滤饼中滤液量，则滤饼充满滤框的时间为原来条件下充满滤框时间的____倍。（答：2）

[分析] $L = \Phi q / [\rho_p(1-\varepsilon)]$ ，滤饼充满框时， $L=0.5$ 框厚=定值，当 Φ 值减半，必然 q 值加倍。又， $K = 2\Delta p_m^{1-s} / (\mu r_o \Phi)$ ， Φ 值减半，则 K 值加。由 $q^2 = K\tau$ 即可判断， Φ 减半，则 τ 加倍

- 22) 回转真空过滤机在滤布阻力不计条件下的生产能力 $G=$ ____ m^3/s 。（答： $\sqrt{nA^2\Psi K}$ ）

- 23) 回转真空过滤机若增大转速，优点是____，缺点是____。（答：增大生产能力，卸滤饼处因滤饼变薄，刮刀易损坏滤布）

- 24) 自由沉降是指颗粒在沉降过程中没有同其他颗粒碰撞，而且不受____与____影响的沉降。（答：器壁，器底）

- 25) 重力自由沉降速度 u_t 是颗粒在重力场中，在流体中自由沉降且颗粒受到的____、____与____平衡时的恒定速度。（答：重力，浮力，曳力）

- 26) $\rho_p=2600 \text{ kg/m}^3, d_p=0.120\text{mm}$ 的光滑圆球在 20°C 水中自由重力沉降速度 $u_t=$ ____ m/s ，水的 $\mu=1.0\text{cp}$ 。（答： 1.26×10^{-2} ）

[分析] 设颗粒沉降属斯托克区

$$u_t = \frac{gd_p^2(\rho_s - \rho)}{18\mu} = \frac{9.81 \times (0.120 \times 10^{-3})^2 (2600 - 1000)}{18 \times 0.001} = 1.26 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\text{校核 } \text{Re}_p = \frac{d_p u_t \rho}{\mu} = \frac{0.120 \times 10^{-3} \times 1.26 \times 10^{-2} \times 1000}{0.001} = 1.51 < 2, \text{ 计算有效}$$

- 27) 以重力沉降室分离某悬浮系的固体颗粒，若要求大于某指定粒径的颗粒全部沉至器底，其处理能力与设备的____有关，与____无关。（答：水平面积，高度）

- 28) 某悬浮系水平流过一重力沉降室，设进沉降室时悬浮系中颗粒分布均匀。当悬浮系离开沉降室时粒径为 $d_{p,c}$ 的颗粒正好沉降至器底，此粒径颗粒的自由沉降速度为 $u_{t,c}$ ，则 $d_p < d_{p,c}$ 且自由沉降速度为 u_t 的颗粒的收尘效率为____。（答： $u_t / u_{t,c}$ ）

- 29) 评价旋风分离器的主要性能指标是____与____。（答：粒级效率，压降）

- 30) 含尘气体通过旋风分离器收尘，为表示其性能，常用的术语“粒级效率”是____，“分割粒径 d_{50} ”是____。（答：对某指定粒径的颗粒的收尘效率，粒级效率为 50% 的颗粒粒径）

- 31) 据早期对旋风分离器的除尘机理研究，认为圆筒部分外旋流是唯一的除尘区，由此导出的“临界粒径 d_c ”是____。（答：能全部收下的颗粒中的最小粒径）

- 32) 在散式流化作中，流化床的压降 Δp_m 等于单位床层横截面积上悬浮颗粒的____。流体空速增大，床层高度____，床层空隙率____，压降____。（答：净重，增加，增加，不变）

- 33) 在聚式流化操作中，可能发生的不正常现象是____与____。（答：腾涌，沟流）

- 34) 起始流化速度由____床的“压降~流速”曲线交点决定，带出速度为最大流化速度，即颗粒的____速度。（答：固定，流化，自由沉降）

第4章 传热及换热器

- 1) 传热是以_____为推动力的能量传递过程。(答: 温度差)
- 2) 传热的基本方式有_____, _____、_____三种。(答: 导热, 对流传热, 热辐射)
- 3) 热冷流体热交换的类型有三种, 即_____式、_____式及_____式。(答: 间壁, 直接接触, 蓄热)
- 4) 常见的加热剂有_____, _____、及_____等。常用的冷却剂有_____, _____及_____等。(答: 水蒸气, 热水, 矿物油, 冷水, 空气, 冷冻盐水)
- 5) 对某换热设备, 单位时间热冷流体间传递的热量称为_____, 常以 Q 表示, 单位为 W 。单位时间、单位传热面积传递的热量称为_____, 常以 q 表示, 单位是 W/m^2 。(答: 传热热率或热负荷, 传热通量)
- 6) 某传热过程测得控制体内某一点位置的温度随时间而变, 即可判断该传热过程为_____过程。(答: 非定态)
- 7) 定态、一维导热、傅里叶定律的表达式是 $dQ = \lambda \cdot dA \cdot dt / dn$ 。(答: $-\lambda \cdot dA \cdot dt / dn$)
- 8) 导热系数 λ 的单位是_____。使用此单位时, 普通碳钢、不锈钢、空气在常温、常压下的 λ 值分别为_____, _____、_____。(答: $W/(m \cdot ^\circ C)$, 45, 16, 0.02)
- 9) 对于大多数物质, 导热系数 λ 与温度 $t(^{\circ}C)$ 的关系为 $\lambda_t = \lambda_o(1 + at)$ 。(答: $\lambda_o(1 + at)$)
- 10) 温度升高金属的导热系数 λ 值_____, 液体的 λ 值_____, 空气的 λ 值_____。(答: 减小, 减小, 增大)
- 11) 面积 $A = 0.05m^2$, 壁厚为 $3.0mm$ 的金属平壁, 其导热系数 $\lambda = 45W/(m \cdot ^\circ C)$ 。若壁的两侧面温度分别为 $104^{\circ}C$ 和 $103.6^{\circ}C$, 则传热速率 $Q =$ _____ W 。(答: 300)
- [分析] $Q = \lambda \cdot A \cdot \Delta t / \delta = 45 \cdot 0.050 \cdot (104 - 103.6) / (3.0 \cdot 10^{-3}) = 300W$
- 12) $\Phi 48 \times 3.5mm$ 钢管外包以 $8mm$ 厚的保温层, 保温层的导热系数 $\lambda = 0.12W/(m \cdot ^\circ C)$, 管内壁及保温层外侧温度分别为 $120^{\circ}C$ 及 $60^{\circ}C$, 则每米管长的散热速率 $Q/L =$ _____ W/m 。(答: 157)
- [分析]
- $$\frac{Q}{L} = \frac{2\pi(t_1 - t_3)}{(1/\lambda) \ln(d_2/d_1) + (1/\lambda_2) \ln(d_3/d_2)} = \frac{2\pi(120 - 60)}{(1/45) \ln(48/41) + (1/0.12) \ln(64/48)} = 157W/m$$
- 13) 对流给热共分为四种类型即_____, _____、_____和_____给热。(答: 强制对流、自然对流、液体沸腾、蒸汽冷凝)
- 14) 对于无相变的对流给热, 以特征数表示的一般函数式为 $Nu = f(\text{_____, _____, _____})$ 。(答: Re, Gr, Pr)
- 15) $Gr =$ _____, 表示_____热过程的影响。(答: $gl^3\beta\Delta t/\nu^2$, 自然对流运动)
- 16) $Pr =$ _____, 表示_____对给热过程的影响。(答: $C_p \cdot \mu / \lambda$, 流体物性)

17) $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$, 表示 $\frac{\text{给热速率}}{\text{相同条件下按导热计的导热速率之比}}$ 。(答: $\alpha l / \lambda$, 给热速率与相同条件下按导热计的导热速率之比)

18) 水从 $\Phi 60 \times 3.5 \text{ mm}$ 钢管内流过且被加热, 已知水的 $Pr = 4.32$, $Re = 1.44 \times 10^5$, $\lambda = 0.634 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$, 则水对管壁的给热系数 $\alpha = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ 。(答: 6.613×10^3)

[分析] 当流体从圆直、等径管内流过, 当 $Re > 4000$, 属湍流, $Pr > 0.7$, 流体粘度不大于同温度水的粘度的二倍且管子的长, 径比 $l/d > 50$ (如无特殊说明, l/d 的条件都满足) 的条件下可应用 Dittus 和 Boelter 公式。该公式 $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$ ($n=0.4$, 当流体被加热, $n=0.3$, 流体被冷却)。本题符合上述条件, 且流体被加热, 故

$$\alpha = 0.023(\lambda / d) Re^{0.8} Pr^{0.4} = 0.023(0.634 / 0.053)(1.44 \times 10^5)^{0.8}(4.32)^{0.4} = 6.613 \times 10^3 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

19) 承 18 题, 若管子不变, 水流速增加至原来的 1.5 倍, 该物性数据不变, 则 $\alpha' = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ 。(答: 9.147×10^3)

$$[\text{分析}] \quad \alpha = 0.023(\lambda / d)(du\rho / \mu)^{0.8} Pr^{0.4} \propto u^{0.8}$$

$$\therefore \alpha' = \alpha(u' / u)^{0.8} = 6.613 \times 10^3 \times 1.5^{0.8} = 9.147 \times 10^3 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

20) 承 19 题, 若水流量不变, 改用 $\Phi 68 \times 3 \text{ mm}$ 钢管, 物性数据不变, 则 $\alpha'' = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ 。(答: 4.986×10^3)

$$[\text{分析}] \quad \alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} \left(\frac{4v\rho}{\pi d \mu} \right)^{0.8} Pr^{0.4} \propto \left(\frac{1}{d} \right)^{1.8}$$

$$\alpha'' = \alpha(d / d'')^{1.8} = 6.613 \times 10^3 (53 / 62)^{1.8} = 4.986 \times 10^3 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

21) 某流体经过一直管后流入同一内径的弯管, 则 $\alpha_{\text{弯}} > \alpha_{\text{直}}$ 的原因是 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: 在弯管内流体有附加扰流)

22) 某金属导线, 直径 0.50 mm , 电阻 0.16 欧姆/m , 通过 1.6 安培 电流。导线发热速率 $Q = I^2 R [\text{W}]$ 。导线外包绝热层, 厚 0.8 mm , 其 $\lambda = 0.16 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ 。外围是 20°C 的空气, 空气 $\alpha = 12 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ 。过程定态。则金属线与绝热层间界面温度为 $\underline{\hspace{2cm}} ^\circ\text{C}$ 。(答: 25.8)

[分析] 这是有内热源的导热与对流给热串联传热的问题。令导线直径为 d_1 , 绝热层外直径为 d_2 , 导线外侧温度为 t_1 , 绝热层外侧温度为 t_2 , 大气温度为 t_0 , 可建立如下传热速率式:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{2\pi\lambda L(t_1 - t_2)}{\ln(d_2 / d_1)} = \alpha(\pi d_2 L)(t_2 - t_0) \\ &= \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda L} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{t_2 - t_0}{\frac{1}{\alpha\pi d_2 L}} = \frac{t_1 - t_0}{\frac{1}{2\pi\lambda L} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha\pi d_2 L}} \end{aligned}$$

$$\text{即 } 1.6^2 \times 0.16 = \frac{t_2 - t_0}{\frac{1}{2\pi \times 0.16} \ln \frac{2.10}{0.50} + \frac{1}{12\pi \times 2.1 \times 10^{-3}}}$$

$\therefore t_1 = 25.8^\circ\text{C}$
23) 某蒸汽管外包有厚度为 δ 的绝热材料。现将该保温层划分成厚度为 $\delta/2$ 的内外两层, 略

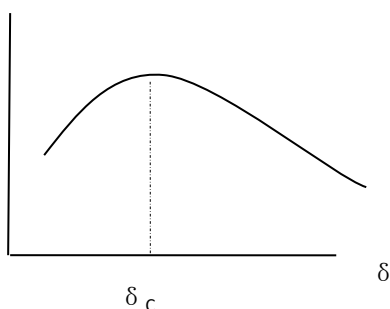
去保温层导热系数 λ 值随温度的变化, 则内保温层热阻_____于外包保温层热阻。(答: 大)

[分析] $Q = \frac{\Delta t}{(\delta/2)(\lambda A_{m,内}) + (\delta/2)(\lambda A_{m,外})}$

因 $A_{m,内} < A_{m,外}$, 故内层热阻大于外层热阻

24) 某钢管外壁温度高于外界空气温度, 为减少散热, 拟在管外包厚度均为 δ 的两层保温层。现有导热系数分别为 λ_1 和 λ_2 的两种绝热材料, $\lambda_2 > \lambda_1$ 则把 λ_1 的绝热材料包在_____层的保温效果好。(答: 内)

25) 某小口径钢管, 外半径为 r_1 , 外壁温度为 T , 外界空气温度为 t_0 , 空气给热系数为 α 。 $T > t_0$, 为减小散热, 拟在管外包导热系数为 λ 的保温层, 保温层厚 δ , 保温层外半径为 r_2 。设 T 、 λ 均为恒值。在实践中发现, 单位管长散热速率 Q/L 随 δ 的增大出现先升后降的现象, 如附图所示, Q/L 最大时的 δ 为临界保温层厚 δ_c , 可推得, Q/L 最大时保温层外半径 $r_{2,c} = \lambda / \alpha$ 。(答: λ / α)



[分析] $Q/L = \frac{Q/L \cdot t_0}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha}} = \frac{\text{总温差} \Delta t}{\text{总热阻} R}$

可见, 随 r_2 增大, 保温层的热阻增大, 而空气的给热热阻减小, 二者对 Q/L 的影响相反。可通过 R 对 r_2 极值以求出 $r_{2,c}$

令 $\frac{dR}{dr_2} = 0$, 即 $\frac{d}{dr_2} \left(\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha} \right) = 0$

得 $\frac{1}{2\pi r_{2,c}} + \frac{1}{2\pi\alpha} \left(-\frac{1}{r_{2,c}^2} \right) = 0$ 即 $\frac{1}{\lambda r_{2,c}} = \frac{1}{\alpha r_{2,c}^2}$

$\therefore r_{2,c} = \lambda / \alpha$

此极限是极大还是极小值, 须以二阶导数判定。

$\frac{d^2 R}{dr_2^2} = \frac{d}{dr_2} \left(\frac{1}{2\pi\lambda r_2} - \frac{1}{2\pi\alpha r_2^2} \right) = \frac{-1}{2\pi\lambda r_2^2} + \frac{2}{2\pi\alpha r_2^3}$

当 $r_{2,c} = \lambda / \alpha$, 则 $\frac{d^2 R}{dr_2^2} \Big|_{r_{2,c}} = \frac{\alpha^2}{2\pi\lambda^3} > 0$, 即当 $\delta = \delta_c$ 时, R 为极小亦即 Q/L 为极大。

26) 大容器内液体沸腾给热随液体过热度 Δt (即加热壁温 t_w 与液体饱和温度 t_s 之差) 增加, 可向后出现_____、_____及_____给热三种状况。正常操作应在_____给热状况。(答: 自然对流、泡核沸腾、膜状沸腾、泡核沸腾)

27) 承 26 题, _____ 给热状况是不允许发生的, 若发生则属生产事故, 故正常操作的过热度必须严控在 _____ 以下。(答: 膜状沸腾、临界过热度)

28) 液体沸腾的必要条件是 _____ 和 _____。(答: 液体过热、有汽化核心)

29) 蒸汽冷凝分膜状与滴状冷凝两种类型。于同一蒸汽同一冷凝温度 t_s , 滴状冷凝 α 值常取为 _____ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。(答: 大、膜、10000)

30) 水蒸汽冷凝, 若水蒸汽中混有 1% 的空气 (不凝性气体), 其 α 值会比纯水蒸汽 α 值下降 _____ % (答: 60)

31) 蒸汽膜状冷凝凝液在壁面层流流下, 若蒸汽饱和温度与壁温之差 ($t_s - t_w$) 增大, 则 α 值 _____。(答: 减小)

[分析] $\alpha = 1.13 \left[\frac{g \rho^2 \lambda^3 r}{\mu L (t_s - t_w)} \right]^{\frac{1}{4}}$, 此公式不必记, 但 α 与 $(t_s - t_w)$ 得关系应知道

33) 靠自然抽风的烟囱, 在烟囱内烟气与烟囱壁间的给热是自然对流还是强制对流给热? 答: _____。(答: 强制对流给热)

34) 黑体是 _____。黑体的辐射能力 $E_b = C_0 (\text{_____})^4 W/m^2$, 其中 C_0 是黑体的辐射系数, 其值为 _____ $W/(m^2 K^4)$ 。(答: 吸收率 $a=1$ 的物体, $T/100, 5.67$)

35) 某种物体在某温度下对任一波长的单色辐射能力与同温同一波长的黑体单色辐射能力之比 $E_\lambda/E_{b\lambda} = \epsilon$, 若 ϵ 值不随波长而变, 该物体称为 _____, ϵ 称为该物体的 _____。(答: 灰体, 黑度)

36) 空间有面积分别为 A_1 及 A_2 的两平面, 其间相对位置是任意的。角系数 ϕ_{12} 表示 _____。 $A_1 \phi_{12}$ _____ $A_2 \phi_{21}$ 。(答: 黑体或灰体的 A_1 平面发出的辐射能中到大 A_2 的平面的分率, $=$)

37) 两灰体为透热体, 则由 1 面至 2 面的净辐射传热速率 $Q_{12} = C_0 \cdot \epsilon_s [\text{_____}] [W]$ 。式中 ϵ_s 为系统黑度。对于很大的物体 2 包住凸面物体 1, 则上式中 $\epsilon_s = \text{_____}$ 。(答:

$$A_1 \phi_{12}, [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4], \epsilon_1)$$

38) 设有温度分别为 T_A 和 T_B 两平行平面, $T_A > T_B$, 为减少辐射传热, 在两平板间设置几块平行遮热板, 所有板的黑度相等, 各板面积相同, 间距很小, 则设置遮热板后的辐射传热速率为未装遮热板时 _____。(答: $1/(n+1)$)

[分析] 两平行板间: $q_{1-2} = c_0 \cdot \epsilon_s \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$

本题条件下, $\epsilon_s = \left[\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right]^{-1} = \text{常数}$

$$\text{未装遮热板} \quad q_{A-B} = c_0 \cdot \epsilon_s \left[\left(\frac{T_A}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{100} \right)^4 \right]$$

$$\text{装遮热板后} \quad q_{A-1} = c_0 \cdot \epsilon_s \left[\left(\frac{T_A}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right]$$

$$q_{1-2} = c_0 \cdot \epsilon_s \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

.....

$$Q_{n-B} = c_0 \cdot \epsilon_s \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{100} \right)^4 \right]$$

$$\therefore q_{A-1} + q_{1-2} + \dots + q_{nB} = (n+1)q_{A-1} = q_{A-B}$$

$$\therefore q_{A-1} = q_{A-B} / (n+1)$$

38) 用热电偶测量某管道内流动气体的温度。由仪表中读得热电偶温度为 780°C 。热电偶的黑度为 0.06, 输气管管壁温度为 600°C 。气体的给热系数为 $65\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 若把热电偶温度视为气体温度, 按绝对温度计算的相对误差是_____。减小测温误差的方法有_____。(答: -24.4%, 热电偶外装遮热罩及减少输气管的散热速率等)

[分析]管内传热情况为: 气体 $\xrightarrow{\text{给热}}$ 热电偶 $\xrightarrow{\text{辐射}}$ 管壁。在过程定态, 即热电偶温度恒定条件下, 令气体、热电偶及管壁温度分别为 T_g , T_1 , T_w , 热电偶的黑度为 ε_1 , 则下式

$$\text{成立: } \alpha(T_g - T_1) = \varepsilon_1 c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right]$$

$$\text{即 } 65[T_g - (273.2 + 780)] = 0.60 \times 5.67 \left[\left(\frac{273.2 + 780}{100} \right)^4 - \left(\frac{273.2 + 600}{100} \right)^4 \right]$$

$$\therefore T_g = 1392.9\text{K} = 1120^{\circ}\text{C}$$

故测温相对误差 = $(780 + 273.2 - 1392.9) / 1392.9 = -24.4\%$

39) 常见的间壁式换热器有以下类型: _____式, _____式及_____式等。(答: 套管, 列管, 板, 螺旋板, 热管...任写三种)

40) 用套管换热器以冷水使饱和甲苯蒸汽冷凝为饱和液体。甲苯走环隙, 温度 $T = 100^{\circ}\text{C}$, 流量 $W_h = 2200\text{kg/h}$, 其冷凝潜热 $r_h = 363\text{kJ/h}$, 冷凝水走管内, 进出口水温分别是 $t_1 = 15^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 43^{\circ}\text{C}$, 水的比热 $C_{p,c} = 4.174\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。则该换热器的热负荷 $Q = \underline{\hspace{2cm}}\text{kJ/h}$, $W_c = \underline{\hspace{2cm}}\text{kJ/h}$, 平均传热温差 $\Delta t_m = \underline{\hspace{2cm}}^{\circ}\text{C}$ 。(答: 7.986×10^5 , 6.833×10^3 , 70.07)

[分析] $Q = W_h \times r_h = 2200 \times 363 = 7.986 \times 10^5\text{kJ/h}$

又 $Q = W_c \cdot C_{p,c} (t_1 - t_2)$ 即 $7.986 \times 10^5 = W_c \times 4.174 (43 - 15)$

所以 $W_c = 6.833 \times 10^3\text{kg/h}$

因为 $\Delta t_1 = 100 - 15 = 85^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_2 = 100 - 43 = 57^{\circ}\text{C}$

所以 $\Delta t_m = (\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2) = (85 - 57) / \ln(85 / 57) = 70.07^{\circ}\text{C}$

41) 承 40) 题, 已知内管规格为 $\Phi 57 \times 3.5\text{mm}$, 内管内冷凝水给热系数 $\alpha_i = 3738\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$, 环隙中甲苯冷凝的给热系数 $\alpha_o = 5200\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$, 若略去管壁及污垢热阻, 则以内管壁面为基准的传热系数 $K_i = \underline{\hspace{2cm}}\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$, 该换热器的长度 $L = \underline{\hspace{2cm}}\text{m}$ 。(答: 2292, 7.68)

$$[\text{分析}] \frac{1}{K_i} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_i}{\alpha_o d_o}, \text{ 即 } \frac{1}{K_i} = \frac{1}{3738} + \frac{50}{5200 \times 57}$$

所以 $K_i = 2292\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$

又 $Q = K_i (\pi d_i L) \cdot \Delta t_m$, 即 $7.986 \times 10^5 (1000 / 3600) = 2292 (\pi \times 0.050 L) \times 70.07$

所以 $L = 8.8\text{m}$

42) 承 41) 题, 若其它条件不变, 只是因气候变化, 冷水进口温度为 20°C , 设物性数据不变, 则冷水出口温度 $t_2' = \underline{\hspace{2cm}}^{\circ}\text{C}$ 。(答: 46.5)

[分析]对于热流体侧为蒸汽冷凝, 有相变且热流体温度 T 保持不变, 而冷流体侧则无相变, 有温度变化的情况, 可运用如下等式:

$$W_c \cdot C_{p,c}(t_2 - t_1) = K_i A_i [(T - t_1) - (T - t_2)] / \ln \frac{T - t_1}{T - t_2}$$

$$= K_i A_i (t_2 - t_1) / \ln \frac{T - t_1}{T - t_2}$$

$$\text{所以 } W_c \cdot C_{p,c} \ln \frac{T - t_1}{T - t_2} = K_i A_i$$

$$\text{原来: } W_c \cdot C_{p,c} \ln \frac{100 - 15}{100 - 43} = K_i A_i \quad W_c, C_{p,c}, K_i, A_i \text{ 均前后不变}$$

$$\text{后来: } W_c \cdot C_{p,c} \ln \frac{100 - 20}{100 - t_2'} = K_i A_i$$

$$\text{前后情况对比, 得 } \frac{100 - 15}{100 - 43} = \frac{100 - 20}{100 - t_2'}, \text{ 所以 } t_2' = 46.4^\circ\text{C}$$

43) 列管换热器有三种类型, 即: _____ 式, _____ 式及 _____ 式。(答: 固定管板, U 形管, 浮头)

44) 列管换热器内设置折流板的目的是_____。(答: 增大壳程流体流速, 使尽量多的壳程流体可垂直接过管束, 使其给热系数增大)

45) 折流板有两种形式, 即_____式和_____式。(答: 圆缺形, 盘环形)

46) 某单管程, 单壳程列管换热器, 壳程为水蒸汽冷凝, 蒸汽温度为 $T=140^\circ\text{C}$, 管程走空气, 由 $t_1=20^\circ\text{C}$ 升至 $t_2=90^\circ\text{C}$ 。若将此换热器改为双管程, 空气流量不变, 设空气物性不变, 空气原来在管内湍流, 管壁及污垢热阻均可略去, 改为双管程后换热管数不变, 则改为双管程后空气出口温度 $t_2'=\underline{\hspace{2cm}}^\circ\text{C}$ 。(答: 113.9°C)

$$[\text{分析}] \text{原来: } W_c \cdot C_{p,c} \ln \frac{T - t_1}{T - t_2} = K_i A_i$$

$$\text{后来: } W_c \cdot C_{p,c} \ln \frac{T - t_1}{T - t_2'} = K_i' A$$

$$\text{两式相除, 得 } \frac{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2'}}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}} = \frac{K_i'}{K_i}, \text{ 由于水蒸气冷凝 } \alpha_h \gg \text{空气 } \alpha_c, \text{ 且管壁及污垢热阻不计, 故}$$

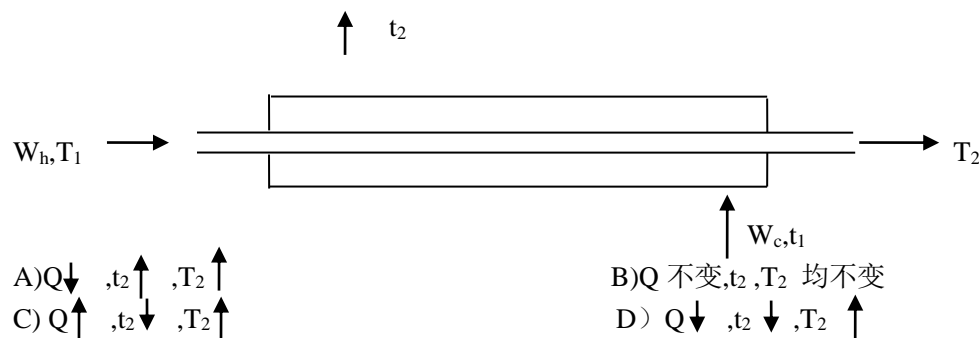
$$\frac{K_i'}{K_i} = \frac{\alpha_c'}{\alpha_c}, \text{ 又由于空气在管内均为湍流, 且改成双管程后, 空气在管内的流速为单管程的}$$

$$2 \text{ 倍, 故 } \frac{\alpha_c'}{\alpha_c} = 2^{0.8}$$

因此, $\frac{\ln \frac{140-20}{140-t_2'}}{\ln \frac{140-20}{140-90}} = 2^{0.8}, \therefore t_2' = 113.9^\circ\text{C}$

47) 螺旋板换热管的特点是_____。(答: 因是弯曲通道, 比起直通道, 在其他条件相近时, 传热系数较大, 热冷流体逆流换热, 平均温差大, 紧凑, 不易堵塞, 但坏了不能修)

48) 如下图, 当 W_c 下降, 其他不变, 则_____ (答: A)



[分析] $W_c \downarrow \xrightarrow{\text{直接}} \alpha_0 \downarrow \xrightarrow{\text{间接}} K_i \downarrow \longrightarrow T_2 \uparrow \longrightarrow Q \downarrow$
 (幅度大) (幅度大) (幅度小) (幅度小) (幅度小)

又 $Q = W_c \cdot C_{p,c} (t_2 - t_1)$, 可判断, t_2 必然上升

$\downarrow \quad \downarrow \quad \uparrow$
 (幅度小) (幅度大)

49) 有一加热釜, 内有 $W\text{kg}$ 比热为 C_p 的液体。用蛇管加热器加热液体, 蛇管内通温度为 T 的饱和蒸汽, 凝液为饱和水。釜内有搅拌器, 故液体温度均匀。蒸汽与釜液之间传热系数为 K_1 , 蛇管换热器面积为 A_1 。外界空气温度为 t_0 , 釜液与外界空气的传热系数为 K_2 , 釜液温度升至 t_{\max} 时, 便维持恒温。写出釜液升温阶段有 t_1 升至 t_2 所需时间的计算式及计算 t_{\max} 的计算式。(答: ①在釜液升温的非定态过程, 在 dt 时间内)

$$dQ_i - dQ_0 = dQ_a$$

即 $K_1 A_1 (T - t) d\tau - K_2 A_2 (t - t_0) d\tau = W \cdot C_p \cdot dt$

或 $[K_1 A_1 (T - t) - K_2 A_2 (t - t_0)] d\tau = W \cdot C_p \cdot dt$

所以 $\tau = \int_0^\tau d\tau = W \cdot C_p \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{(K_1 A_1 T + K_2 A_2 t_0) - (K_1 A_1 + K_2 A_2) t}$

②釜液温度为 t_{\max} 时, 过程定态, $Q_i = Q_0$

则 $K_1 A_1 (T - t_{\max}) = K_2 A_2 (t_{\max} - t_0)$

第6章 气体吸收

以下讨论只限于单组分吸收或解吸，即气相中只含有溶质气体 A 及惰性气体 B。气相中 A 的摩尔分数以 y 表示，液相中 A 的摩尔分数以 x 表示。设惰气完全不溶于液相，吸收剂完全不挥发。

- 1) 吸收是_____的过程。(答：气体溶解于液体)
- 2) 吸收最广泛的用途是通过适当的吸收剂以_____。(答：分离气体混合物的组分)
- 3) 对吸收剂的要求主要是_____。(答：对欲吸收的溶质气体溶解度大，选择性好，溶解度对温度改变的变化大，挥发度小，无毒，价廉，易得)
- 4) 二元气相物系，分子扩散系数 D_{AB} 与 D_{BA} 的关系是： D_{AB} _____ D_{BA} 。(答：=)
- 5) 气相分子扩散系数 D_{AB} 值正比于绝对温度 T 的_____次方，反比于绝对压强 P 的_____次方。(答：1.5, 1)
- 6) 液相分子扩散系数 D_{AB} 值正比于绝对温度 T 的_____次方，反比于液相粘度 μ 的_____次方。(答：1, 1)
- 7) 以 J_A, J_B 表示组分 A, B 的分子扩散通量，以 N_A, N_B 表示 A, B 的传质通量。在精馏操作中， $|J_A|$ _____ $|J_B|$ ， N_A _____ J_A 。(答：=, =)
- 8) 在吸收过程，存在着_____流动， N_A _____ J_A ， $|J_A|$ _____ $|J_B|$ 。(答：主体，>, =)
[分析]理想气体恒温恒压意味着单位体积气体的摩尔数恒定。当二元气体物系在恒温恒压下 A、B 分子相向扩散，必然是彼此填补对方移动腾出的空间。这好比一个公共汽车内车尾的乘客在下一站就要下车前，在向中门移动过程中同不下车的乘客“调一调”位置，彼此相向移动，但摩尔密度不变。这就是 $|J_A|=|J_B|$ 。无论是吸收或精馏，只要是二元物系满足上述条件， $|J_A|=|J_B|$ 的结论都成立。如果公共汽车正面对红灯停车，则 $|J_A|=N_A$ ，如精馏过程；如果公共汽车正在缓缓向前行驶靠站，使站台上等车的乘客认为 B 并无位移，这就如吸收过程。显然，站台上的人看到 A 的位移通量比 A 相对于公共汽车的位移通量大，即 $N_A > J_A$ ，以上仅是个比喻，很粗略，仅适合二元物系
- 9) 在气相中进行着组分 A 由 1 截面至 2 截面的分子扩散，组分 A 在 1, 2 截面的摩尔分数分别是 y_1 与 y_2 。则“漂流因子”之值=_____。(答： $1/(1-y)_{1,m}$ ， $1/(1-y)_{1,m}$ 是 $(1-y_1)$ 与 $(1-y_2)$ 的对数平均值)
- 10) 对一定气液体系，温度升高，溶质气体的溶解度_____，相平衡常数 m =_____。(答：下降，增大)
- 11) 已知亨利系数 E ，总压 P ，两者单位相同，则相平衡常数 m =_____。(答： E/P)
- 12) 以水吸收空气， SO_2 混合物中的 SO_2 ，已知 $m=20.17$ ， $y=0.030$ ， $x=4.13 \times 10^{-4}$ ，当以 Δy

为推动力, 则 $y-y^*=$ _____, 当以 Δx 为推动力, 则 $x^*-x=$ _____。(答: 2.17×10^{-2} , 1.07×10^{-3})

13) 在对流扩散的吸收过程, 在气相侧, A 的扩散通量 $N_A=k_y(y-y_i)$, 在液相侧, $N_A=k_x(x_i-x)$ 。式中下标 i 表示气液界面。已知相平衡常数为 m , 则以 Δy 为推动力的相际总传热系数 K_y 的计算式为: $1/K_y=$ _____, 以 Δx 为推动力的相际总传热系数 K_x 的计算式为 $1/K_x=$ _____。

(答: $1/k_y+m/k_x, 1/k_x+1/(mk_y)$)

14) 在吸收过程中, 当气相阻力 > 液相阻力, (气相阻力/总阻力) 可用_____或_____表示。当液相阻力 > 气相阻力, (液相阻力/总阻力) 可用_____或_____表示。(答:

$K_y/k_y, (y-y_i)/(y-y^*), K_x/k_x, (x_i-x)/(x^*-x)$)

15) 双膜理论的要点是: ①临近界面的气液流动必为层流; ②可把层流适当延伸, 使之包含了湍流及过度流的传质阻力。这种延伸的层流层称为“虚拟层流膜”。可认为界面上气液处于平衡态。于是, 吸收阻力全在于气液两层“虚拟层流膜”上。③_____。(答: 若操作条件固定, 则设备内进行着定态传质)

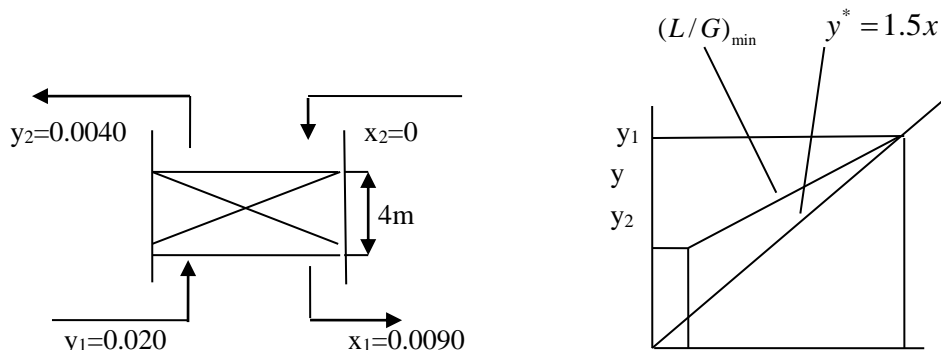
16) 某逆流填料吸收塔, 塔截面积为 0.8m^2 , 在常压, 27°C 下处理混合气流量为 $1200\text{m}^3/\text{h}$, 则气体的摩尔通量 $G=$ _____ $\text{kmol}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 。(答: 60.91)

[分析] 根据 $pV=nRT$ 公式, 把 v 的单位看成 m^3/h , n 的单位看成 kmol/h

17) 低浓度气体吸收的特点是: _____。(答①全塔气液摩尔通量 G 、 L 均为常量; ②全塔等温吸收; ③ k_y, k_x 在全塔均为常量)

18) 在填料吸收塔或解吸塔中, 操作线表示_____。(答: 同一塔的横截面上气相浓度 y 与液相浓度 x 之间的数量关系)

19) 某吸收操作情况如附图所示。已知 $y^*=1.5x$, 则 (L/G) 与 $(L/G)_{\min}$ 的比值 $\beta=$ _____。(答: 1.278)



[分析] 当 y_1 , y_2 , x_2 , m 以及 G 已定的条件下, 液体喷淋通量 L 愈小, 则 x_1 愈大。 L 为最小极限值 L_{\min} 时, x_1 增大到愈 y_1 在塔底平衡的 x_1^* , 此题,

$$(L/G)_{\min} = (y_1 - y_2)/(y_1/m) = (0.020 - 0.0040)/(0.020/1.5) = 1.20,$$

$$L/G = (0.02 - 0.004)/0.0090 = 1.78, \therefore \beta = 1.48$$

20) 在常压逆流填料吸收塔中, 以清水吸收空气与某可溶组分 A 的混合气中的 A, $y_1=0.03$, 吸收率 $\eta=0.95$, 已知解吸因数为 0.80, 物系服从亨利定律, 与入塔气体成平衡的液相浓度为 0.030, 则 $x_1=$ _____。(答: 0.0228)

[分析] 一般相平衡常数 m 值是可查的, 是已知值, 但此题却以“与入塔气体成平衡的液相浓度为 0.030”间接给出了 m , 一般 (mG/L) 值是 m 与 L/G 均已知后算得, 但此题却把 (mG/L) 作为已知值给出。像这样的考察基本概念及解题技巧的题并不多见。 $\therefore m=y_1/x_1^*=0.030/0.030=1.0$, $mG/L=0.80$, $\therefore L/G=1.25$, 又, $y_2=y_1(1-\eta)=0.030 \times (1-0.95)=1.5$

$\times 10^{-3}$, 由 $L/G = (0.030 - 0.0015) / x_1 = 1.25$, $\therefore x_1 = 0.0228$

21) 在逆流填料吸收塔中, 以纯溶剂吸收某气体混合物中的溶质气体, 已知气相摩尔通量 $G = 60.91 \text{ kmol}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, 气相体积总传质系数 $K_{ya} = 100 \text{ kmol}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$, 填料层高 4.0 m , 体系符合亨利定律且吸收因数为 1.20 , 则吸收率 $\eta =$ _____。(答: 0.9226)

[分析] 此题 $H = 4.0 \text{ m}$, $H_{OG} = G/K_{ya} = 60.91/100 = 0.6091 \text{ m}$, 所以 $N_{OG} = 4.0/0.6091 = 6.567$, 接下去就是以 N_{OG} 求 η 。计算 N_{OG} 的吸收因数法比对数平均浓度差法用得更多。下列公式应熟记:

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - mG/L} \ln \left[\left(1 - \frac{mG}{L} \right) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + \frac{mG}{L} \right] \quad (x_2 \neq 0)$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - mG/L} \ln \left[\left(1 - \frac{mG}{L} \right) \frac{1}{1 - \eta} + \frac{mG}{L} \right] \quad (x_2 = 0)$$

代入数据后, 可解出 $\eta = 0.9226$

22) 某厂使用填料塔, 以清水逆流吸收混合气中的有害组分 A, 已知填料层高 8.0 m , $y_1 = 0.060$, $y_2 = 0.0080$, $x_1 = 0.020$, $y^* = 2.5x$ 。该厂要求尾气排放浓度降至 0.0050 , 准备另加一个塔径、填料与原塔相同的填料塔, 二塔串联操作 (气液均串联), 气液流量及进塔浓度均不变, 则新加塔的填料层高度为 _____ m 。(答: 4.66)

[分析] 原塔, $L/G = (0.060 - 0.0080) / 0.020 = 2.60$, $mG/L = 0.9615$, $\eta = 0.8667$, 由吸收因数法算得 $N_{OG} = 5.80$ 。两塔串联后的操作从效果上看相当于在原塔基础上增加填料层高度。因前、后情况的 H_{OG} 相等, 故 $H'/H = N_{OG}'/N_{OG}$ 。在后来情况 $mG/L = 0.9615$, $\eta' = 0.9617$, 由吸收因数法算得, $N_{OG}' = 9.175$, 则 $H' = H \cdot (N_{OG}'/N_{OG}) = 8.0 \times 9.175/5.80 = 12.66 \text{ m}$, 新增塔的填料层需 4.66 m

23) 在气相控制的逆流吸收塔中, 若气、液流量保持原比例不变且同时增大, 其他条件不变, 则 η _____。(答: 减小)

[分析] 所谓气相控制, 一方面表示 $1/k_y \gg m/k_x$, $K_y = k_y$, 另一方面表示 $k_y \propto G^m$, k_y 与 L 无关。因 $k_y \propto G^m$ 中的 m 恒小于 1 , 故随着 G 增大, H_{OG} 增大。所谓其他条件不变, 指仍未原塔 H , m , y_1 , x_2 均不变。又因此题规定 L/G 不变, 故前后操作线平行, 而且操作线的两端点都在 $y = y_1$ 和 $x = x_2$ 两条直线上。因后来情况 N_{OG} 减小, 其操作线只能比原来更远离平衡线, 使 y_2 增加, 故 η 减小。如果此题改为液相控制, 分析方法一样, 得出的结论也一样。所不同的是,

是采用了 $H = H_{OL} \cdot N_{OL}$ 公式, K_x 等于 k_x , $k_x \propto L^n$, $n < 1$, k_x 与 G 无关。 L 增大, H_{OL} 增大,

N_{OG} 减小。可见, 虽吸收有气相与液相控制两种情况, 一般只需掌握对气相控制问题的分析
24) 某气相控制逆流吸收塔, 若其他操作条件不变, 只是操作压强增大。设亨利系数与压强无关, 则 y_2 _____, x_1 _____。(答: 减小, 增大)

[分析] $m = E/P$, P 增大则 m 变小, 若 $y_2' = y_2$, 又 L/G 不变, 则操作线不变。显然, 在 p 增大后, 此操作线与平衡线间的距离拉开了, N_{OG}' 减小了。再考察 p 对 H_{OG} 的影响。 $H_{OG} = G/K_{ya}$, $1/K_{ya} = 1/k_{ya} + m/k_{xa}$, 又, p 对 k_y 、 k_x 均无影响。可见, 只有 m 受 p 影响。但在气相控制情况下, 液相阻力可略, 因而可判断, H_{OG} 与 p 无关。既然 H , H_{OG} 在增压后均不变, 则 N_{OG} 亦不变, 要满足这条件, 只可能是上述操作线向下平移的结果, 即 $y_2' < y_2$, $x_1' > x_1$ 。本题是考察平衡线改变对操作效果的影响。不仅 p 改变影响平衡线, 操作温度改变亦影响平衡线。不过, 温度改变一般只局限于对平衡线的影响, 假设温度对气液物性无影响。

25) 某液相控制逆流吸收塔, 若气流量增大, 其他操作线条件不变, 则塔底液相 x_1 _____, 塔顶气相 y_2 _____。(答: 减小, 减小)

[分析] 此题情况, 塔顶进液浓度 x_2 不变, 塔底进气浓度 y_1 不变, 故操作线的两点必在 $x = x_2$ 及 $y = y_1$ 两直线上。当 G 增大, L 不变, 设 $x_1' = x_1$, 由于 L/G 变小, 操作线成 “a 线”, 显

然 $N_{OL}' < N_{OL}$ 但根据题给条件, $N_{OL}' = N_{OL}$, 所以 a 线必须平移向上, 故 $x_1' < x_1$ 。同理, 设 $y_2' = y_2$, 操作线变成 b 线, 因 $N_{OL}' > N_{OL}$, b 线必须平移向下, 故 $y_2' < y_2$ 。

26) 某逆流填料吸收塔, 液相控制, 若 y_1 增大, 其它操作条件不变, 则 y_2 _____, x_1 _____。
(答: 增大, 增大)

27) 某逆流填料吸收塔, 气相控制, 若 G 增大, 其它操作条件不变, 则 y_2 _____, x_1 _____。
(答: 升高, 升高)

28) 逆流吸收, $A=0.5$, 若填料层无限高, 则必会在塔_____平衡。(答: 底)

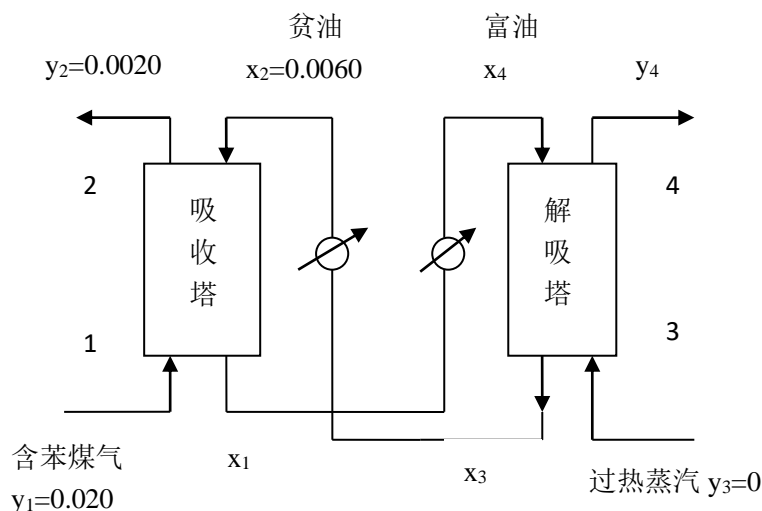
[分析] $A = (L/G) / m$, 表示操作线斜率与平衡线斜率之比, $A=0.5$, 则 $(L/G) < m$ 。当操作线平移向平衡线靠拢, 首先两线接触的必为塔底

29) 某填料塔, 用纯的洗油逆流吸收空气中的苯, 已知 $y_1=6.0\%$, $y_2=0.50\%$, $x_1=0.20$, $y^*=0.20x$, 为了改善填料润湿情况, 拟采用吸收剂循环流程, 设气体处理量 G 及纯洗油用量 L 不变, 吸收率不变, 其他操作条件不变, 令 θ 为循环液与纯洗油的摩尔流量之比, 则最大的 θ 值为_____。(答: 0.143)

[分析]依题意, 最大循环液量时相当于塔顶平衡, 即混合后进塔液体浓度 x_0 与 y_2 平衡, 故 $x_0 = y_2/m = 0.0050/0.20 = 0.025$

混合: $\theta x_1 + x_2 = (1 + \theta) x_0$, 即 $0.20\theta + 0 = (1 + \theta) \times 0.025$ 所以最大 $\theta = 0.143$

30) 以洗油吸收苯的吸收与解吸联合流程如附图所示。已知吸收塔内 $y^*=0.125x$, $L/G=0.18$, 气相控制, 解吸塔内, $G/L=0.40$, $y^*=3.16x$, 液相控制, 则 x_1 =_____, 吸收塔 N_{OG} =_____, 解吸塔 N_{OL} =_____。(答: 0.106, 5.519, 7.180)



[分析]吸收塔内: $L/G=0.18 = (0.020 - 0.0020) / (x_1 - 0.0060)$, $\therefore x_1 = 0.106$, $mG/L = 0.6944$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - mG/L} \ln \left[\left(1 - \frac{mG}{L} \right) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + \frac{mG}{L} \right]$$

$$= \frac{1}{1 - 0.6944} \ln \left[(1 - 0.6944) \frac{0.020 - 0.125 \times 0.0060}{0.0020 - 0.125 \times 0.0060} + 0.6944 \right]$$

$$= 5.519$$

解吸塔内: $A = L/(mG) = 0.7911$

$$N_{OL} = \frac{1}{1-A} \ln[(1-A) \frac{x_4 - y_3/m}{x_3 - y_3/m} + A]$$

$$= \frac{1}{1-0.7911} \ln[(1-0.7911) \frac{0.106}{0.0060} + 0.7911]$$

$$= 7.180$$

31) 承 30) 题, 含苯煤气及过热蒸气流量均不变, 把液体循环量增加一倍, 其他操作条件不变, 已知解吸塔内 $K_{xa} \propto L^{0.66}$, 则 $x_2 = \underline{\hspace{1cm}}$, $x_1 = \underline{\hspace{1cm}}$, $y_2 = \underline{\hspace{1cm}}$ 。(答: 0.02733,

0.07256, 3.717×10^{-3})

[分析]液体循环量增大后, x_1, x_2, y_2, y_4 均未知, 须有 4 个独立方程才能解出, 按题意, y_4 不必求, 则需排出 3 个方程, 以下是 3 个方程式:

a) 吸收塔 $L/G=0.36$, $mG/L=0.3472$

$$L/G=0.36 = (0.020 - y_2) / (x_1 - x_2) \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$$N_{OG} = 5.519 = \frac{1}{1-0.3472} \ln[(1-0.3472) \frac{0.020 - 0.125x_2}{y_2 - 0.125x_2} + 0.3472] \dots\dots \textcircled{2}$$

b) 解吸塔: $A=1.582$

$$H_{OL}' / H_{OL} = N_{OL} / N_{OL}' = (L' / L)^{0.34} = 2^{0.34} = 7.180 / N_{OL}'$$

$$\therefore N_{OL}' = 5.672 \text{ (以下去掉 “'”)}$$

$$N_{OL} = 5.672 = \frac{1}{1-1.582} \ln[(1-1.582) \frac{x_1}{x_2} + 1.582]$$

$$\text{即 } x_1 = 2.655x_2 \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

把③式代入①式, 得 $y_2 = 0.020 - 0.5958x_2 \dots\dots\dots \textcircled{4}$

将④式代入②式, 得 $x_2 = 0.02733$, 由此可得, $x_1 = 0.07256$, $y_2 = 3.717 \times 10^{-3}$

第7章 液体蒸馏

本章只讨论 A、B 二元体系，汽相中易挥发组分 A 的摩尔分数以 y 表示，液相中则以 x 表示。在精馏操作中，进料、塔顶产品及塔底产品摩尔流量分别以 F 、 D 和 W 表示，回流比以 R 表示。A 对 B 的相对挥发度以 α 表示。

- 1) 蒸馏分离的依据是_____。(答：不同组分挥发能力存在差异)
- 2) 以汽液平衡时的 y 、 x 表示 A 对 B 的相对挥发度，则 $\alpha_{AB}=\frac{y/(1-y)}{x/(1-x)}$ 。(答：[$y/(1-y)$]/[$x/(1-x)$])
- 3) 精馏操作的特点是_____。(答：塔顶有液相回流)
- 4) 精馏操作时，在塔板上汽液接触的泡沫层中，液相进行着_____，汽相进行着_____。(答：部分汽化，部分冷凝)
- 5) 精馏操作对于非加料、非出料板，恒摩尔流假设的基本条件是_____。(答：绝热，饱和液体及饱和蒸汽流进塔板，A，B 两组份的摩尔汽化潜热相近，饱和液体的摩尔焓与组成无关)
- 6) 精馏段操作线方程的推导，须以_____为控制体，并对组分 A 作_____求得。(答：精馏段上面部分塔段与冷凝器，物料衡算)
- 7) 对于板式塔，操作线方程表示_____。(答：一块塔板的上侧或下侧的 y 与 x 间的数量关系)
- 8) A、B 混合物 j 的热状态参数 q 的定义是 $q=\frac{I-i_j}{I-i}$ (以 I 、 i 分别表示饱和蒸汽与饱和液体的摩尔焓，以 i_j 表示该混合物的摩尔焓) (答：($I-i_j$)/($I-i$))
- 9) 过冷液体 $q>1$ ，过热液体 $q<1$ (答：>，<)
- 10) 对于单股进料，无侧线出料的精馏塔， q 线表示_____。(答：在 Z_i ， q ， x_w ， x_D 已定的条件下，随 R 的改变，精馏段与提馏段操作线交点的移动轨迹)
- 11) “苯-甲苯”精馏分离操作，已知 $x_F=0.35$ ， $q=1$ ， $x_D=0.88$ ， $x_W=0.0442$ ， $R=1.96$ ，泡点回流，则精馏段操作线方程为_____，提馏段操作线方程为_____。(答： $y_{n+1}=0.662x_n+0.297$ ， $y_{m+1}=1.585x_m-0.00259$)
- 12) 已知某精馏塔操作为饱和蒸汽进料，泡点回流，其操作线方程如下：精馏段 $y=0.7143x+0.2714$ ，提馏段 $y=1.25x-0.01$ ，则其 $R=2.5$ ， $x_D=0.95$ ， $x_W=0.04$ ， $y_F=0.6466$ 。(答：2.5，0.95，0.04，0.6466)

[分析]对精馏段操作线方程, 由 $R/(1+R)=0.7143$ 可解出 R , 由 $x_D/(R+1)=0.2714$ 可解出 x_D 。
对提馏段操作线方程, 因通过 (x_w, x_w) 这一点, 可解出 x_w 。此外, 两操作线交点 (x_q, y_q) 必与 q 线 $y=y_f$ 相交, 可解出 y_f 。

13) 某精馏塔, $F=100\text{kmol/h}$, $x_f=0.41, x_D=0.95, x_w=0.05$, 则 $D=\underline{\hspace{2cm}}\text{kmol/h}$ (答: 40)

[分析] $D/F=(x_f-x_w)/(x_D-x_w)$ 。这是杠杆规则对全塔的一种应用, 杠杆规则只用于一分为二的情况。

14) 某二元物料精馏分离, 已知 $F=100\text{kmol/h}, x_f=0.40, x_D=0.90, x_w=0.010$, 泡点回流, $V=130\text{kmol/h}$, 则 $R=\underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: 1.967)

[分析]已知 $F, x_f, x_D, x_w \rightarrow D=43.82\text{kmol/h}$; 因进料 $q=1$, 故 $V'=V=(1+R)D$, 可算得 $R=1.967$ 。

15) 若精馏塔回流进塔的液体是过冷液体, 该回流液的 q 以 q_R 表示, 则精馏段液相摩尔流量 L 大于 全凝器回流液相的摩尔流量 L_R , 且 $L/L_R=\underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: 大, q_R)

16) 理论板是一种假想的塔板, 离开该塔板的汽液相达到平衡。(答: 一种假想的塔板, 离开该塔板的汽液相达到平衡)

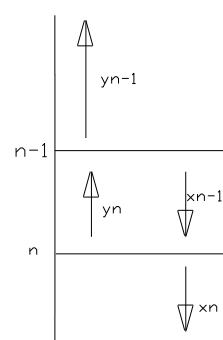
17) 除理论板外, 蒸馏釜, 分凝器亦各自相当于一块理论板。(答: 蒸馏釜, 分凝器)

18) 理论板的概念不仅适用于非加料、非出料板。而且适用于加料或出料板。(答: 加料或出料)

19) 全回流操作的特点是塔顶全凝器的冷凝液全部回流进塔, 操作线即 $y-x$ 图的对角线, 不分精馏段与提馏段, 分离程度最大。

20) 某二元混合物进行全回流精馏操作, 塔板均为理论板, 已知 $\alpha=3.0, x_n=0.3, y_{n-1}=\underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: 0.794)

[分析]参看右图, 因为是理论板, 所以 y_n 与 x_n 平衡, y_{n-1} 与 x_{n-1} 平衡, 又因为是全回流操作, 操作线为 $y_n=x_{n-1}$ 。根据此两重关系, 即可由 x_n 算出 y_{n-1} 。



21) “苯-甲苯”混合液, 组成 $x_f=0.44$, 经闪蒸分成组成分别为 y 与 x 的平衡汽、液相, 汽、液相摩尔流量比为 $1/2$, 已知 $\alpha=2.50$, 则 $x=\underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: 0.365)

[分析]在经闪蒸后生成的汽液混合物中, 令 q 表示液相占汽液混合物的摩尔分数, 此 q 值与该汽液混合物的热状态参数 q 在数值上是相等的。

由 $x_f=qx+(1-q)y$, 可得 $y=qx/(q-1)-x_f/(q-1)$ 。此式与 q 线方程是相同的, 根据 $y=2.50x/(1+1.50x)$

$$y = \frac{2/3}{2/3-1} x - \frac{0.44}{2/3-1} = -2x + 1.32$$

联立, 可解得 $x=0.365$ 。

22) “苯-甲苯”物系进行精馏操作, 进料 $Z_f=0.44$ 。进料为汽液混合物, 其中汽/液 (摩尔比) $=1/2$, 要求 $x_D=0.96$, 已知 $\alpha=2.50$, 则 $R_{\min}=\underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: 1.64)

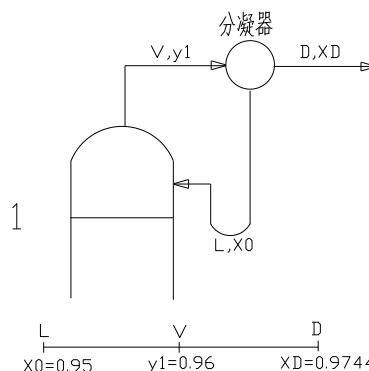
[分析]这是求最小回流比的基本题, 只需求出进料 q 线与平衡线的交点 (x_e, y_e) , 再由 (x_D, x_D) 与 (x_e, y_e) 两点, 由 $R_{\min}=(x_D-y_e)/(y_e-x_e)$ 即可算出 R_{\min} 。

23) 某二元体系精馏塔采用分凝器, 如附图所示,

已知 $\alpha=2.0, y_1=0.96, x_0=0.95$, 则 $x_D=\underline{\hspace{2cm}}, L/D=\underline{\hspace{2cm}}$ 。(答: 0.9744, 1.44)

[分析]分凝器相当于一块理论塔板, 故 x_D 与 x_0 平衡, 则 $x_D=2.0 \times 0.95/(1+0.95)=0.9744$

V 分成 D 与 L , 参看右图, L/D 可由杠杆规则求得。



24) 某二元混合物采用带分凝器的精馏流程, 如附图所示。已知: $\alpha=2.0$, $L=V/2$, $x_D=0.90$, 则 $y_1=$ _____ $y_2=$ _____ (答: 0.8591, 0.8265)

[分析] 已知 $x_D \xrightarrow{\alpha} x_0=0.8182$

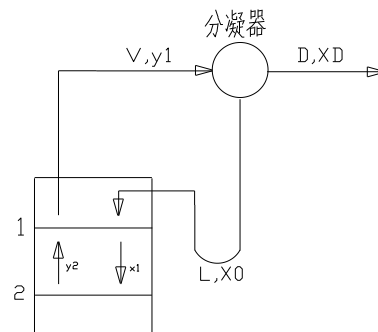
已知 x_D , x_0 以及 $D/L=1$, 有杠杆规则算得 $y_1=0.8591$,

已知 $y_1 \xrightarrow{\alpha} x_1, x_1=0.7530$ 带分凝器的精馏段操作线方

程 同样 是 $y_{n+1} = Rx/(R+1) + x_D/(R+1)$, 由于 $R=1$,

$x_D=0.90$,

故 $y_{n+1} = (x_n + x_D)/2$, 代入 x_1 得 $y_2=0.8265$ 。



25) 某二元混合物进行精馏操作, 已知: $F=10\text{kmol/s}$, 进料为饱和蒸汽, $y_f=0.5, x_D=0.95, x_W=0.10$, $\alpha=2.0$, 采用全凝器, 泡点回流, 塔釜间接蒸汽加热, 塔釜汽化量 V' 是 V'_{\min} 的 1.5 倍, 则回流比 $R=$ _____。(答: 3.488)

[分析] 这本是基本型精馏的很普通的求 R 的问题, 常见的方法是先求出 R_{\min} , 再根据题给出的 R/R_{\min} 值来确定 R , 但本题偏偏要求先求出 V'_{\min} . 根据 $V'/V'_{\min}=1.5$, 确定 V' , 再算出 R , 绕了一个圈子, 属少见的题型。此题的解题步骤如下:

a: 已知 $F, y_f, x_D, x_W \rightarrow D=4.706\text{kmol/s}, W=5.29\text{kmol/s}$

b: 已知 $\alpha, y_f, q \rightarrow x_e=0.3333, y_e=0.50$

c: 已知 $x_e, y_e, x_D \rightarrow R_{\min}=2.70$

d: 在精馏设计计算中, 为完成题给的分离任务, 回流比 R 以及精馏段的液流量 L 是可变因素, 有其最小的极限值。在 R 或 L 取最小值, 因操作线与平衡线相交, 需无穷多塔板, 故在此情况下操作以实现题给分离任务是不可能的。但由此提出的极限状态却有分析价值。当回流比为 R_{\min} , 必然塔内液流量为 L_{\min} 及 L'_{\min} (因进料为饱和蒸汽, 故 $L_{\min}=L'_{\min}$) 相应的, V' 亦取其最小值 $V'_{\min}=V_{\min}-W=R_{\min}D-W=2.70*4.706-5.294=7.412\text{kmol/s}$

e: 因为 $V=(1+R)D=V'+F$ 即 $(1+R)*4.706=11.12+10$

所以 $R=3.488$

26) “苯-甲苯”混合物精馏操作, 饱和液体进料, $D=75\text{kmol/h}$, 泡点回流, 精馏段操作线方程为 $y=0.72x+0.25$, 蒸馏釜采用间接蒸汽加热。汽化潜热以 r 表示, 釜液 $r=41900\text{kJ/kmol}$, 加热蒸汽 $r_0=2140\text{kJ/kg}$, 则加热蒸汽耗量为_____ kg/h 。(答: 5243)

[分析] 精馏段, $R/(R+1)=0.72 \Rightarrow R=2.571$

因 进 料 $q=1$, 则 $V'=V=(1+R)D$, 故 $V'=267.8\text{kmol/h}$, 水 蒸 汽 用 量

$$=V'r/r_0=267.8*41900/2140=5243*10^3\text{kg/h}$$

27) 在某二元混合物精馏操作基础上, 当 R 增大, 保持 D/W 不变, 则 x_D 的变化趋势是_____。(答: 增大)

[分析] 既要分析 x_D 在新条件下的变化趋势, 一般设 $x'_D=x_D$ 。通过讨论, 检验此假设是否成

立，并判断欲满足新条件， x_D 的变化必然趋向。

当 $x_D = x'_D$ ，由于 Z_f 不变， D/W 不变，故 $x_w = x'_w$ ，由于 R 增大，操作线更靠近对角线，离平衡线更远，于是，在精馏段操作线上跨越原定的梯级数后，不考虑最佳加料板位置原则，便跨入提馏段操作线，必然 $N'_m < N_m$ 这说明 $x_D = x'_D$ 的假设不成立，同时可判定，要满足总理论板数及加料位置与原来的相同，只有一种可能，即 $x'_D > x_D$ 。

本题虽主要考察只改变 R 对操作线的影响，但约束条件如“ D/W 不变”是不能缺的。假如只考虑 R 增大，没有任何其他的约束条件，则此题无实解。这一点可有如下分析得出，当 R 增大时，假设一个 x'_D ，必然能找到一个相应的 x'_w ，使得按前述方法作梯级可同时满足理论板数及加料板位置的要求。因 x'_D 的假设具有随意性，答案便有无限个。常见的约束条件为 D/W 不变，也有其他的，如 V' 不变，如下面一个来自英文版教材的题目所示。28) 附图所示为使用 5 块理论板的定态双组分物系精馏的 $M-T$ 图。若回流比由原来的 R 提高至 $1.5R$ 且维持原 Q_b 值不变， Q_c 值则调节到保证蒸汽恰好完全冷凝，试求重新建立的定态操作的 D 及 W 值。解释确定 x_D 与 x_w 的定性方法。

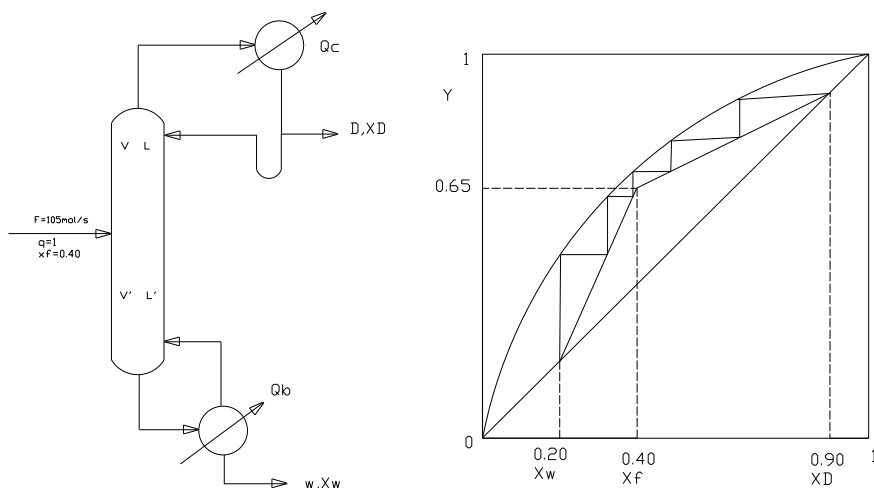
[分析]原来操作：

已知 $F, X_f, x_D, x_w \rightarrow D, D=30\text{mol/s}$

$R=(0.90-0.65)/(0.65-0.40)=1.0$

因为进料 $q=1$ ，所以 $V'=V=(1+R)D=(1+1.0)*30=60\text{mol/s}$

后来操作： $R'=1.5, V'=60\text{mol/s}$ ，所以 $60=(1+1.5)D' \Rightarrow D'=24\text{mol/s}$ 则 $W'=81\text{kmol/s}$
 $D'/W'=0.2963$



设 $x'_D = x_D = 0.90$ ，由杠杆规则知 $x'_w = 0.2519$ 。因 $x'_D = x_D$ ， $x'_w > x_w$ ， $R' > R$ ，即可判断 $N'_m < N_m$ ， x'_D 的变化趋向只能是 $x_D > x_D$ 。从极端情况看，设 $x'_D = 1$ ，按 $D'/W' = 0.2519$ ，可算出 $x'_w = 0.2222$ ，可见，必然 $x'_w > x_w$ 。

29) 间歇精馏有两种典型的操作方式，即_____与_____。（答： x_D 恒定， R 恒定）

30) 对于 $\alpha=1$ 或有恒沸物的二元物系，用常规精馏方法分离，效果很差，这时宜用特殊精馏方法，简言之，特殊精馏是_____。（答：通过加入第 3 组分，使原来两组分间的相随挥发度增大）

31) 萃取精馏的特点是_____。（答：加入某高沸点组分 C（萃取剂），在液相中 C 与原组分 A 或 B 结合而降低其挥发能力，使另一未结合的组分易于从塔顶蒸出）

32) 恒沸精馏的特点是_____。（答：加入某组分 C（挟带剂），C 与原组分 A 或 B 或 A 同 B 结合生成低沸点恒沸物从塔顶蒸出，令较纯的 A 或 B 成为塔底产品）

第8章 塔设备

- 1) 塔器分两大类, 即_____塔与_____塔。(答: 填料, 板式)
- 2) 对塔器的一般要求是_____。(答: 分离效率高, 生产能力大, 操作弹性大, 气体流动阻力小与结构简单、维修方便)
- 3) 常用的板式塔类型有_____。(任写两种)(答: 筛板塔, 浮阀塔)
- 4) 有降液管的板式塔, 气液的相对流向, 对全塔而言为_____流, 对每块塔板而言为_____流。(答: 逆, 错)
- 5) 常用的塔填料种类有_____。(答: 拉西环, 鲍尔环, 阶梯环)
- 6) 2 吋以下填料在塔内的堆放方式是_____。(答: 乱堆)
- 7) 令塔内径为 D , 填料尺寸为 d , 为使塔内各处空隙率较均匀且气流阻力不至太大, 一般 $D/d=$ _____。(答: 8~15)
- 8) 对一定的液体喷淋密度, 气体的载点气速指_____。(答: 必须考虑上升气流对向下膜状流动的液体产生曳力的最小速度)
- 9) 对一定的液体喷淋密度, 气体的泛点气速指_____。(答: 向下流动的液膜增厚到刚把气体通道封闭, 形成液相连续, 气相分散时的气速)
- 10) 通常填料塔的泛速是依据_____经验关联图算出的, 其中体现不同尺寸的各种填料操作特性的参量是_____。(答: Eckert, 泛点填料因子 ϕ)
- 11) 轴向混合——气流把液滴往上带及液流把气泡往下带——对汽液逆流传质过程是_____利因素。(答: 不)
- 12) HETP 是指_____。(答: 一块理论板相当的填料层高)
- 13) 令 u_f 为气体泛速, u 为气体操作气速 (二者均为空速), 一般推荐 $u=$ _____ u_f 。(答:

0.5~0.8)

14) 筛板塔的孔径 d_0 一般为_____mm。(答: 3~8)

15) 筛板塔上筛孔的排列方式常用_____。(答: 正三角形)

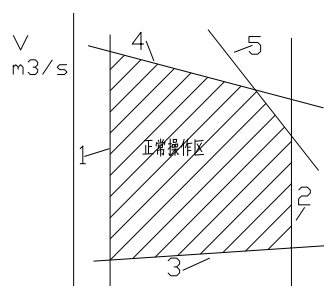
16) 筛板塔上液流的型式有 3 种, 即_____。(答: 单流型, 双流型及 U 形流型)

17) 令塔的内径为 D , 溢流堰长为 l_w , 推荐的 $l_w/D=$ _____。(答: 0.6~0.8)

18) 当液体从降液管流出, 刚进入筛板时, 板上设计有一窄长的不开孔区, 其目的是_____。(答: 倾向性漏液)

19) 当液体横向流过塔板, 在流进降液管前, 板上设计有一窄长的不开孔区, 其目的是_____。(答: 减少流入降液管的液体中夹带的气泡量)

20) 限定筛板塔正常操作气、液流量的有 5 条线, 即_____ (作简图示意)



(答: 1.液流量下限线, 2.液流量上限线, 3.漏液线, 4.过量

液沫夹带线, 5.溢流液泛线)

21) 若液流量小于液流下限, 会发生_____。确定液流量下限线的依据是_____ (答: 塔板上液体偏流, 溢流堰顶液厚度 $h_{ow}=6\text{mm}$)

22) 若液流量大于液流上限, 会发生_____。确定液流量上限线的依据是_____。(答: 液体在降液管内停留时间不足, 未能充分分离其中的气泡, 造成气体轴向混合, H_{TA}/L_s =规定的停留时间)

23) 漏液线是依据_____经验关联图线作的。其基本观点是_____。(答: Davies 的“板上液层厚 h_l ~干板阻力 h_c ” 气体流过塔板的阻力=干板阻力+液层阻力, 当干板阻力/液层阻力 \leq 某特定值时便漏液)

24) 过量液沫夹带是指每 kg 干气夹带的液滴的 kg 数 e_v 大于等于_____的情况。(答: 0.1)

25) 溢流液泛指_____, 对一定结构的塔板, 溢流液泛一般发生在_____的情况。(答: 由于降液管内的液面升高到上层塔板的溢流堰顶而导致淹塔, 气液负荷皆大)

26) 若液流量在正常操作范围内, 但气相流量过大, 可能发生_____。(答: 过量液沫夹带或溢流液泛)

27) 气相默弗里效率 $E_{M,v}=(y_n-y_{n+1})/(y_n^*-y_{n+1})$, 其中 y_n^* 是与_____平衡的气相组成。(答: x_n)

28) 液相默弗里效率 $E_{M,l}=(x_{n-1}-x_n)/(x_{n-1}-x_n^*)$, 其中 x_n^* 是与_____平衡的液相组成。(答: y_n)

第 10 章 固体干燥

本章所指的湿空气为绝干空气与水蒸汽的混合物,湿空气的总压,如无说明,均指 1atm (绝压)。湿物料的湿分均为水分。

1) 湿物料去湿方法有_____法、_____法与_____法。(答:机械、干燥、化学)

2) 干燥的特点是_____。(答:通过对湿物料输入热能,使湿分汽化,并将湿分蒸汽移走)

3) 根据热能输入方式的不同,干燥操作的类型有_____式、_____式、_____式和_____式。(答:热传导、对流传热、热辐射、介电加热)

4) 对流干燥的特点是_____。(答:对流传热和对流传质同时反向进行)

5) 湿空气, $H=0.018\text{kg/kg}$ 干气, 则水汽分压 $p_w=\text{_____Pa}$ 。(答: 2850)

6) 已知水在 22.72°C 的蒸汽压为 2850Pa, 则第 5 题所述湿空气的露点 t_d 为_____。 $^\circ\text{C}$ 。(答: 22.72)

7) $H=0.018\text{kg/kg}$, $t=40^\circ\text{C}$ 的湿空气, 已知水在 40°C 的蒸汽压为 7377Pa, 该湿空气的相对湿度 $\phi=\text{_____}$ 。(答: 0.386)

[分析] $\phi = p_w / p_s(t) = 2850 / 7377 = 0.386$ 。这是用第 5) 题数据计算的, 亦可按

$H = 0.622\phi p_s(t) / [p - \phi p_s(t)]$ 算。

8) $H=0.018$, $t=120^\circ\text{C}$ 湿空气, 总压为 1atm (绝压), 其 $\phi=\text{_____}$ 。(答: 0.0281)

9) $H=0.018$, $t=40^\circ\text{C}$ 湿空气的焓 $I=\text{_____kJ/kg}$ 干空气。(答: 86.75)

[分析] $I = (1.01 + 1.88H)t + 2500H = (1.01 + 1.88 \times 0.018) \times 40 + 2500 \times 0.018 = 86.75\text{kJ/kg}$ 干气

10) 第 9 题所述湿空气的比体积 $V_H=\text{_____m}^3/\text{kg}$ 干气。(答: 0.911)

[分析] $V_H = (0.722 + 1.244H)(T/T_0)(p_0/p)$

11) 某湿空气的湿球温度 t_w 是_____。(答: 与大量该湿空气接触的少量水的稳定的表面温度)

12) 某湿空气的绝热饱和温度 t_{as} 是_____。(答: 该湿空气经等焓的降温增湿过程, 直到 $\phi=1$ 时的温度)

13) 某湿空气, $t=60^\circ\text{C}$, $t_w=30^\circ\text{C}$, 则其 $H=\text{_____kg/kg}$ 。(答: 0.0150)

[分析] 湿空气的 t_w 值有重要的实用意义, 但按对流传热、传质导出的关联 t 、 H 、 t_w 的公式计算较繁; 湿空气的 t_{as} 值在实际干燥过程极少应用, 但关联 t 、 H 、 t_{as} 的关系却较简单。由于“水—空气”体系 $t_w \approx t_{as}$, 所以, 可兼取两方面的长处, 即指物理意义上及实际应用上常提到 t_w , 但在计算 t_w 时用 t 、 H 、 t_{as} 的关系替代。此题, 湿空气 $t=60^\circ\text{C}$, $t_w=30^\circ\text{C}$, 可看成 $t_{as}=30^\circ\text{C}$ 。

设原来湿空气状态点为 A, 由 A 经等焓降温过程直到 $\phi=1$ 时状态为 B。在 B 点 $t_B=30^\circ\text{C}$,

$\phi_B=1$, 查得 $p_{s,B}=4.247\text{kPa}$, 则 $H_B = 0.622 \times 4.247 / (101.3 - 4.247) = 0.02722$,

$I_B = (1.01 + 1.88 \times 0.02722) \times 30 + 2500 \times 0.02722 = 99.89 \text{ kJ/kg}$ 干气。在 A 点, $I_A = I_B = 99.89 \text{ kJ/kg}$

干气, $t_A = 60^\circ\text{C}$, 由 $99.89 = 1.01 \times 60 + (2500 + 1.88 \times 60)H_A$ 解得 $H_A = 0.0150$

14) 在测量湿空气湿球温度时, 空气流速应大于 _____ m/s, 目的是 _____。
(答: 5, 减少热辐射影响)

15) 湿空气 p, H 一定, t 升高, 则 ϕ _____。(答: 减小)

16) 湿空气 p, H 一定, t 升高, 则 I _____。(答: 增大)

17) 湿空气 $\phi = 0.85$, 则 $t \text{ } ______ t_w \text{ } ______ t_d$, 当 $\phi = 1$, 则 $t \text{ } ______ t_w \text{ } ______ t_d$ 。(答: $>$, $>$; $=$, $=$)

18) 某连续干燥器令新鲜空气 ($H_A = 0.015$, $t_A = 20^\circ\text{C}$) 与出干燥器的部分废气 ($H_B = 0.040$, $t_B = 60^\circ\text{C}$)

混合后进预热器混合比为 2kg 干气(B)/kg 干气(A), 则混合气的温度 $t_m = \text{ }^\circ\text{C}$ 。(答: 47.05)

[分析] 湿空气的湿度有加和性, 两气体混合前后符合杠杆规则, 即

$L_A / L_B = (H_m - H_A) / (H_B - H_m)$, 可算得 $H_m = 0.03167$

同样, 湿空气的焓有加和性, 可算出 $I_A = 58.26 \text{ kJ/kg}$, $I_B = 165.1 \text{ kJ/kg}$ 干气, 由

$I_m = 129.5 = (1.01 + 1.88 \times 0.03167)t_m + 2500 \times 0.03167$ 得 $t_m = 47.05^\circ\text{C}$ 。注意, 温度没有

加和性。

19) 某常压定态干燥过程的流程及参量, 如附图所示, 则循环干空气量 $L = \text{ } \text{kg/h}$ (答: 66.0)

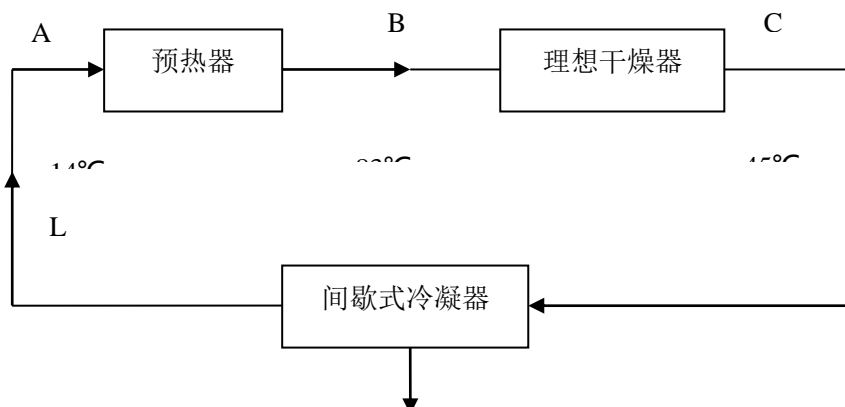
[分析] 关键是要能判断 $\phi_A = 1$

A: $t_A = 14^\circ\text{C}$, $\phi_A = 1$, 查得 14°C 的 $p_s = 1611 \text{ Pa}$, 可算得 $H_A = 0.01005$

B: $H_B = 0.01005$, $t_B = 83^\circ\text{C}$, 可算得, $I_B = 110.5 \text{ kJ/kg}$ 干气

C: $I_C = 110.5 \text{ kJ/kg}$ 干气, $t_C = 45^\circ\text{C}$, 可算得 $H_C = 0.0252$

间壁式冷凝器: $L(H_C - H_A) = 1$, 所以 $L = 1 / (0.0252 - 0.01005) = 66.0 \text{ kg/h}$



冷凝水 kg/h

20) 某常压连续干燥流程及参量如附图所示, 绝干物料比热 $C_s=1.76\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$, 热损 $Q_L'=500\text{kJ/kg}$ 汽化水, 则空气流量 $L=\underline{\hspace{2cm}}\text{kg}$ 干气/s.

[分析]①干燥器的物料衡算

$$\text{除水量 } w = G_c(x_1 - x_2) = L(H_2 - H_1) \dots\dots\dots (1)$$

$$x_1 = 1.50/(100 - 1.50) = 0.01523, x_2 = 0.30/(100 - 0.30) = 0.301\%$$

$$G_c = G_1(1 - w_1) = 2.50(1 - 0.015) = 2.463\text{kg/s}, \text{ 所以 } w = 0.0301\text{kg/s}$$

②干燥器的热量衡算

$$Q_L = w \bullet Q_L' = 0.0301 \times 500 = 15.05\text{kJ/s}$$

$$I_1' = (1.76 + 4.187 \times 0.01523) \times 20 = 36.48\text{kJ/kg绝干物}$$

$$I_2' = (1.76 + 4.187 \times 0.00301) \times 33 = 58.50\text{kJ/kg绝干物}$$

$$\text{所以 } G_c(I_2' - I_1') = 2.463(58.50 - 36.48) = 54.24\text{kJ/s}$$

以下计算有两种方法:

A) 对于干燥器作焓衡算

$$Q_D = L(I_2 - I_1) + G_c(I_2' - I_1') + Q_L \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{即 } L(I_2 - I_1) = Q_D - G_c(I_2' - I_1') - Q_L$$

令 $\Delta = Q_D - G_c(I_2' - I_1') - Q_L$, 并代入 (1) 式, 得

$$\frac{I_2 - I_1}{H_2 - H_1} = \frac{\Delta}{w} \dots\dots\dots (3)$$

可见, (3) 式是对干燥器作物料衡算, 所得的综合式, 由于 I 取决于 t 及 H , 当 H_2 未知, 使用 (3) 式还不太方便, 因此把 I “拆” 成 $f(t)$ 与 $\phi(H)$ 两部分, 设 $C_{H,1} \approx C_{H,2}$, 可整理, 得

$$\text{下式 } \frac{t_2 - t_1}{H_2 - H_1} = \left(\frac{\Delta}{w} - r_0\right) \frac{1}{C_{H,1}} \quad (\text{式中 } C_{H,1} \text{ 也可换为 } C_{H,2})$$

对本题, $\Delta = 0 - 54.24 - 15.05 = -69.29\text{kJ/s}$, 则

$$\frac{60 - 92}{H_2 - 0.016} = \left(\frac{-69.29}{0.0301} - 2500\right) \frac{1}{1.01 + 1.88 \times 0.016} \text{ 所以 } H_2 = 0.02293$$

$$\text{所以 } L = w/(H_2 - H_1) = 0.0301/(0.02293 - 0.016) = 4.343\text{kg/s}$$

B) 剖析法

此法与前述方法不同之处在于，不是等到焓 I 出现后再“拆” I，而是作干燥器热量衡算时，就把湿物料“拆”成两流股，也把废气“拆”成两流股，如附图所示，于是

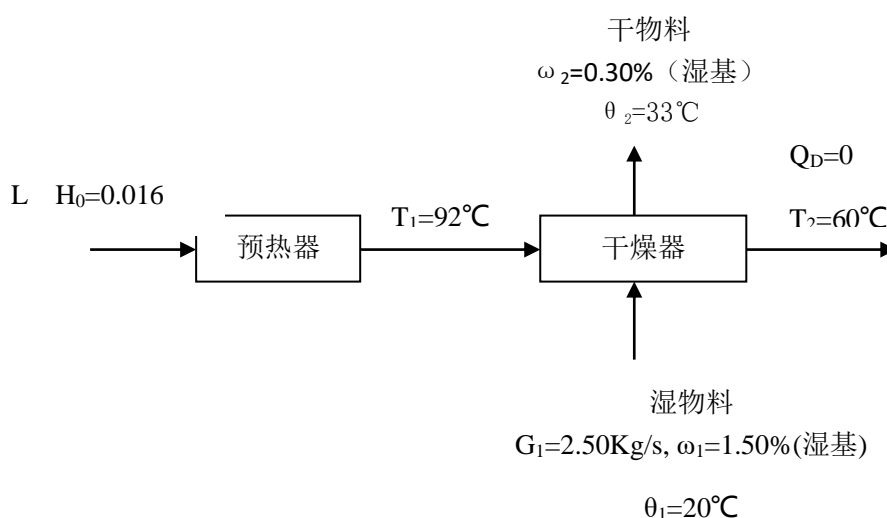
$$Q_D = L(1.01 + 1.88H_1)(t_2 - t_1) + w(2500 + 1.88t_2 - 4.187\theta_1) + G_c \cdot c_{m,2}(\theta_2 - \theta_1) + Q_L$$

代入本题数据

$$0 = L(1.01 + 1.88 \times 0.016)(60 - 92) + 0.0301(2500 + 1.88 \times 60 - 4.187 \times 20) + 2.643 \times (1.76 + 4.187 \times 0.00301)(33 - 20) + 15.05$$

所以 $L = 4.445 \text{ kg/s}$

两种算法得的 L 值有 2.3% 的误差，焓衡算作了 $C_{H,1} \approx C_{H,2}$ 的假设，且计算步骤较多，误差累积较大，而剖析法没作近似假设，算法简洁，故剖析法较准确，干燥设计中多采用剖析法。



21) 干燥器的热效率指_____。(答：湿度为 H_0 的湿空气在干燥器中放出的热量与其在预热器中得到的热量之比)

22) 干燥效率指_____。(答：湿度为 H_0 的湿空气在干燥器中放出的热量中，用于水分蒸发的热量所占的分数)

[分析]21) 22) 题中均用到剖析法的概念

23) 干燥器中实现理想干燥过程须满足的条件是_____。(答：

$$Q_D = 0, I_2' = I_1', Q_L = 0)$$

24) 理想干燥器由于 $\Delta = 0$ ，因而湿空气在干燥器内经历了等_____过程。(答：焓)

25) 恒定干燥条件是指湿空气_____、_____、_____及_____不变。(答：温度、湿度、流速，与物料接触方式)

26) 恒速干燥阶段，湿物料表面的水分情况是_____，其表面水分温度是湿空气的_____，此阶段的干燥速率属_____部条件控制，干燥速率与物料种类_____关。(答：充分湿润， t_w ，外，无)

27) 降速干燥阶段，湿物料表面的水分情况是_____，其表面湿度_____，此阶段干燥速率受_____控制，干燥速率与_____有关。(答：局部或全部水分消失，高于湿空气的 t_w ，物料内部分水分扩散速率，物料结构及水分含量)

28) 在常压、25℃下,以湿空气干燥某湿物料,当 $\phi=100\%$ 时, $X^*=0.02\text{kg 水/kg 绝干物料}$ (以下 x 均为此单位,略去单位), $\phi=40\%$ 时, $X^*=0.007$ 。现知,该物料 $X=0.23$,与 $\phi=40\%$ 湿空气接触,则其自由含水量为_____,结合水量为_____,非结合水量为_____。

(答: 0.223, 0.02, 0.21)

29) 物料的平衡水分一定是_____(A 非结合水, B 自由水分, C 结合水分, D 临界水分) (答: C)

30) 当湿空气的温度升高或流速增大或湿度减小或湿物料堆积层增厚,物料的临界含水量 x_0 _____。(答: 增大)

31) 在恒定干燥条件下干燥某湿物料,已知干燥开始时, $X_1=0.40$, 临界含水量 $X_0=0.175$, 恒速干燥时间 $\tau_1=2.5\text{h}$, 已知 $X^*=0$, 降速干燥阶段干燥速率 u 正比于 X , 欲干燥至 $X_2=0.040$ 为止, 则降速干燥时间 $\tau_2=$ _____h. (答: 2.87)

[分析]恒速干燥阶段: $\tau_1 = \frac{G_c(X_1 - X_0)}{A \square u_0}$ (u_0 —恒速干燥速率)

降速干燥阶段: $u = K_x(X - X^*), \tau_2 = \frac{G_c}{A \square K_x} \ln \frac{X_0 - X^*}{X_2 - X^*}$, 又 $u_0 = K_x(X_0 - X^*)$

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{X_1 - X_0}{(X_0 - X^*) \ln \frac{X_0 - X^*}{X_2 - X^*}}, \text{ 代入本题数据, 得 } \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{0.40 - 0.175}{0.175 \ln \frac{0.175}{0.040}} = 0.871$$

所以 $\tau_2 = 2.87\text{h}$

32) 气流干燥器只适用于对_____状湿物料的干燥, 去除的水分主要是湿物料的_____水分, 因湿物料在干燥器中停留时间短, 出干燥器时物料温度不高, 故适用于对_____性物料的干燥。(答: 颗粒, 表面附着, 热敏)