

# 《化工原理》基本概念、主要公式

## 第一章

基本概念：

连续性假定 质点 拉格朗日法 欧拉法 定态流动 轨线与流线 系统与控制体 粘性的物理本质  
质量守恒方程 静力学方程 总势能 理想流体与实际流体的区别 可压缩流体与不可压缩流体的区别  
牛顿流体与非牛顿流体的区别 伯努利方程的物理意义 动量守恒方程 平均流速 动能校正因子  
均匀分布 均匀流段 层流与湍流的本质区别 稳定性与定态性 边界层 边界层分离现象 因次  
雷诺数的物理意义 泊谟叶方程 因次分析实验研究方法的主要步骤 摩擦系数 完全湍流粗糙管  
局部阻力当量长度 毕托管 驻点压强 孔板流量计 转子流量计的特点  
非牛顿流体的特性(塑性、假塑性与胀塑性、触变性、震凝性、粘弹性)

重要公式：

牛顿粘性定律  $\tau = \mu \frac{du}{dy}$

静力学方程  $\frac{p_1}{\rho} + z_1 g = \frac{p_2}{\rho} + z_2 g$

机械能守恒式  $\frac{p_1}{\rho} + z_1 g + \frac{u_1^2}{2} + h_e = \frac{p_2}{\rho} + z_2 g + \frac{u_2^2}{2} + h_f$

动量守恒  $\Sigma F_x = q_m (u_{2x} - u_{1x})$

雷诺数  $Re = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{dG}{\mu}$

阻力损失  $h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2}$   $h_f \propto \frac{u^3}{d^5} \propto \frac{q_v^2}{d^5}$

层流  $\lambda = \frac{64}{Re}$  或  $h_f = \frac{32\mu l u}{\rho d^2}$

局部阻力  $h_f = \zeta \frac{u^2}{2}$

当量直径  $d_e = \frac{4A}{\Pi}$

孔板流量计  $q_v = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$  ,  $\Delta P = R(\rho_i - \rho)g$

## 第二章

基本概念：

管路特性方程 输送机械的压头或扬程 离心泵主要构件 离心泵理论压头的影响因素 叶片后弯原因  
气缚现象 离心泵特性曲线 离心泵工作点 离心泵的调节手段 汽蚀现象 必需汽蚀余量(NPSH)<sub>r</sub>  
离心泵的选型(类型、型号) 正位移特性 往复泵的调节手段 离心泵与往复泵的比较(流量、压头)  
通风机的全压、动风压 真空泵的主要性能参数

重要公式：

管路特性  $H_e = \frac{\Delta p}{\rho g} + \Delta z + \Sigma \frac{8(\lambda \frac{l}{d} + \zeta)}{\pi^2 d^4 g} q_v^2$

泵的有效功率  $P_e = \rho g q_v H_e$

$$\text{泵效率} \quad \eta = \frac{P_e}{P_a}$$

$$\text{最大允许安装高度} \quad [H_g] = \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \Sigma H_{f0-1} - [(NPSH)_r + 0.5]$$

$$\text{风机全压换算} \quad p'_T = p_T \frac{\rho'}{\rho}$$

### 第三章

基本概念：

搅拌目的 搅拌器按工作原理分类 混合效果 调匀度 分隔尺度 宏观混合 微观混合 搅拌器的两个功能  
旋浆式搅拌器、涡轮式搅拌器、大叶片低转速搅拌器特点及适用范围 改善搅拌效果的工程措施(转速、  
挡板、偏心、导流筒) 搅拌器功率的影响因素 搅拌功率的分配 搅拌器的放大准则

### 第四章

基本概念：

非球形颗粒的当量直径 形状系数 分布函数 频率函数 颗粒群平均直径的基准  
床层比表面 床层空隙率 数学模型法的主要步骤 架桥现象 过滤速率基本方程  
过滤常数及影响因素 洗涤速率 过滤机的生产能力  $opt$

叶滤机 板框压滤机 回转真空过滤机 加快过滤速率的途径

重要公式：

物料衡算：三个去向：滤液  $V$ ，滤饼中固体  $V_{\text{饼}}(1-\varepsilon)$ ，滤饼中液体  $V_{\text{饼}}\varepsilon$

$$\text{过滤速率基本方程} \quad \frac{dV}{d\tau} = \frac{KA^2}{2(V+V_e)} \quad , \quad \text{其中} \quad K = \frac{2\Delta P^{1-S}}{r_0 \phi \mu}$$

$$\text{恒速过滤} \quad V^2 + VV_e = \frac{KA^2}{2} \tau$$

$$\text{恒压过滤} \quad V^2 + 2VV_e = KA^2 \tau$$

$$\text{生产能力} \quad Q = \frac{V}{\Sigma \tau}$$

$$\text{回转真空过滤} \quad q = \sqrt{K \frac{\phi}{n} + q_e^2} - q_e$$

$$\text{板框压滤机洗涤时间} (q_e = 0, S = 0) \quad \tau_w = \frac{\Delta P}{\Delta P_w} \frac{\mu_w}{\mu} \frac{8V_w}{V} \tau$$

### 第五章

基本概念：

曳力(表面曳力、形体曳力) 曳力系数 斯托克斯定律区 牛顿区 (自由)沉降速度 重力沉降室加隔板  
离心分离因数 旋风分离器主要评价指标 总效率 粒级效率 分割直径  $d_{pc}$  流化床的特点(混合、  
压降) 两种流化现象 聚式流化的两种极端情况 起始流化速度 带出速度 气力输送

重要公式：

$$\text{斯托克斯沉降公式} \quad u_t = \frac{d_p^2(\rho_p - \rho)g}{18\mu} \quad , \quad Re_p < 2$$

$$\text{重力降尘室生产能力} \quad q_v = A_{\text{底}} u_t$$

$$\text{除尘效率} \quad \eta = \frac{C_{\text{进}} - C_{\text{出}}}{C_{\text{进}}}$$

流化床压降  $\Delta P = \frac{m}{A\rho_p}(\rho_p - \rho)g$

## 第六章

基本概念：

传热过程的三种基本方式 载热体 三种传热机理的物理本质 间壁换热传热过程的三个步骤

傅里叶定律 导热系数 热阻 推动力 流动对传热的贡献 牛顿冷却定律 强制对流 自然对流(加热、冷却面的位置) 关联式  $Nu=0.023Re^{0.8}Pr^b$  的定性尺寸、定性温度, b 的取值 努塞尔数、普朗特数的物理意义 大容积自然对流的自动模化区 液体沸腾的两个必要条件 核状沸腾 膜状沸腾 临界点 沸腾给热的强化 蒸汽冷凝的两种形式 膜状冷凝给热系数 排放不凝性气体 各种  $\alpha$  的相对大小 斯蒂芬-波尔兹曼定律 黑体 黑度 灰体 克希霍夫定律 角系数 传热过程的控制步骤

传热操作线 K 与 A 的对应 对数平均推动力 逆流 并流 冷、热流体流动通道的主要选择原则

重要公式：

傅立叶定律  $q = -\lambda \frac{dt}{dn}$

牛顿冷却定律  $q = \alpha(T - T_w)$

努塞尔数  $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$

普朗特数  $Pr = \frac{C_p \mu}{\lambda}$

圆管内强制湍流  $\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} Re^{0.8} Pr^b$  受热  $b=0.4$ , 冷却  $b=0.3$

传热系数  $K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_1 + \frac{\delta d_1}{\lambda d_m} + R_2 + \frac{d_1}{\alpha_2 d_2}}$

传热基本方程式  $Q = KA\Delta t_m$   

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

热量衡算式  $Q = q_{m1}C_{p1}(T_1 - T_2) = q_{m2}C_{p2}(t_1 - t_2)$  或  $Q = q_{m1}r$

## 第七章

基本概念：

蒸发操作及其目的 蒸发过程的特点 二次蒸汽 溶液沸点升高 疏水器 气液两相流的环状流动区域 加热蒸汽的经济性 蒸发器的生产强度 提高生产强度的途径 提高液体循环速度的意义 节能措施 杜林法则 多效蒸发的效数在技术经济上的限制

重要公式：

蒸发水量  $W = F(1 - \frac{w_0}{w})$

热量衡算  $Q = Dr_0 = FC_0(t - t_0) + Wr + Q_{损}$

传热速率  $Q = KA(T - t)$

溶液沸点  $t = t^0 + \Delta$

## 第八章

基本概念：

吸收的目的和基本依据 主要操作费 解吸方法 选择吸收溶剂的主要依据 相平衡常数及影响因素 费克定律 扩散流  $J_A$  净物流  $N$  主体流动  $N_M$  传递速率  $N_A$  漂流因子 (气、液)扩散系数的影响因素

传质机理 气液相际物质传递步骤 有效膜理论与溶质渗透理论的结果差别 传质速率方程式  
 传质阻力控制 低浓度气体吸收特点 物料衡算式 建立操作线方程的依据 传质单元数  $N_{OG}$   
 传质单元高度  $H_{OG}$  返混 最小液气比  $N_{OG}$  的计算方法  $H_{OG}$  的含义 常用设备的  $H_{OG}$  值  $H_{OG}$  值测定  
 吸收剂三要素及对吸收结果的影响 化学吸收与物理吸收的区别 增强因子 容积过程 表面过程  
 重要公式：

亨利定律  $p_e = Ex$  ,  $p_e = HC$  ; 相平衡  $y_e = mx$

费克定律  $J_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz}$

传递速率  $N_A = J_A + Nx_A$  ;  $N_A = \frac{D}{\delta} \frac{C_M}{C_{Bm}} (C_{A1} - C_{A2})$

$$C_{Bm} = \frac{C_{B2} - C_{B1}}{\ln \frac{C_{B2}}{C_{B1}}}$$

对流传质  $N_A = k_g(p - p_i) = k_L(C_i - C) = k_y(y - y_i) = k_x(x_i - x)$

总传质系数  $K_y = \frac{1}{\frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}}$

传质速率方程式  $N_A = K_y(y - y_e) = K_x(x_e - x)$

吸收过程基本方程式  $H = H_{OG} N_{OG} = \frac{G}{K_y a} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e} = \frac{G}{K_y a} \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m}$

对数平均推动力  $\Delta y_m = \frac{(y_1 - mx_1) - (y_2 - mx_2)}{\ln \frac{y_1 - mx_1}{y_2 - mx_2}}$

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

最小液气比  $\left( \frac{L}{G} \right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_{1e} - x_2}$

物料衡算式  $G(y_1 - y_2) = L(x_1 - x_2)$

## 第九章

基本概念：

蒸馏的目的及基本依据 主要操作费用 双组份汽液平衡自由度 泡点 露点 非理想物系  
 总压对相对挥发度的影响 平衡蒸馏 简单蒸馏 连续精馏 间歇精馏 特殊精馏 实现精馏的必要条件  
 理论板 板效率 恒摩尔流假设及主要条件 回流比 加料热状态参数  $q$  值的含义及取值范围  
 建立操作线的依据 操作线为直线的条件 最优加料位置 挟点恒浓区的特征 全回流 芬斯克方程  
 最小回流比 最适宜回流比 灵敏板 间歇精馏的特点 恒沸精馏与萃取精馏的主要异同点  
 多组分精馏流程方案选择 关键组分 清晰分割法 全回流近似法 捷算法步骤  
 重要公式：

相平衡常数  $K_A = \frac{y_A}{x_A}$

相平衡方程  $y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$

物料衡算  $F = D + W$   
 $Fx_f = Dx_D + Wx_W$

轻组分回收率  $\eta_A = \frac{Dx_D}{Fx_f}$

默弗里板效率  $E_{mV} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}}$

$q$  线方程  $y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_f}{q-1}$

塔内气液流率  $\bar{L} = L + qF = RD + qF$   
 $\bar{V} = V - (1-q)F = (R+1)D - (1-q)F$

精馏段操作方程  $y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$

提馏段操作方程  $y = \frac{\bar{L}}{\bar{V}}x - \frac{Wx_W}{\bar{V}}$

最小回流比  $R_{\min} = \frac{x_D - y_e}{y_e - x_e}$

芬斯克方程  $N_{\min} = \frac{\ln\left(\frac{x_D}{1-x_D} \frac{1-x_W}{x_W}\right)}{\ln \alpha}$

## 第十章

基本概念：

板式塔的设计意图 对传质过程最有利的理想流动条件 三种气液接触状态 转相点

板式塔内主要的非理想流动 板式塔的不正常操作现象 筛板塔负荷性能图 湿板效率 全塔效率

操作弹性 常用塔板类型 板效率、全塔效率的测定 填料的主要特性参数 常用填料类型 载点 泛点

最小喷淋密度 等板高度 HETP 等板高度的测定 填料塔与板式塔的比较

重要公式：

全塔效率  $E_T = \frac{N_T(\text{不含釜})}{N_{\text{实际}}}$

填料塔高度  $H = N_T HETP$

## 第十一章

基本概念：

萃取的目的及原理 溶剂的必要条件 临界混溶点 和点 差点 分配曲线 分配系数

萃取相 萃余相 萃取液 萃余液 选择性系数 操作温度对萃取的影响

单级萃取图解法 错流萃取 完全不互溶物系的逆流萃取 最小溶剂比

分配系数  $k_A = \frac{y_A}{x_A}$

选择性系数  $\beta = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{y_A^0/(1-y_A^0)}{x_A^0/(1-x_A^0)}$

单级萃取  $F + S = R + E$  ;  $Fx_{fA} + Sz_A = Rx_A + Ey_A$  ;  $Sz_S = Rx_S + Ey_S$

## 第十二章

基本概念：

溶液结晶操作的基本原理 造成过饱和度方法 晶习 溶解度曲线 超溶解度曲线 溶液结晶的两个阶段

晶核的生成方式 再结晶现象 过饱和度对结晶速率的影响 吸附现象 物理吸附与化学吸附的区别

吸附分离的基本原理 常用的吸附解吸循环 常用吸附剂 吸附等温线 传质内扩散的四种类型

负荷曲线 浓度波 透过曲线 透过点 饱和点 固定床吸附床高计算 膜分离基本原理 膜分离过程

分离过程对膜的基本要求 膜分离推动力 浓差极化 阴膜 阳膜 气体混合物膜分离机理

重要公式：

总物料衡算式  $\tau_B u(c_1 - c_2) = (L - 0.5L_0)\rho_B(x_1 - x_2)$

传质区计算式  $L_0 = H_{of} N_{of} = \frac{u}{K_f a_B} \int_{c_B}^{c_s} \frac{dc}{c - c_e}$

### 第十三章

基本概念：

过程方向的判据 传质方向或传热方向逆转的原因 过程极限的新特点  $t_{as}$  与  $t_w$  在物理含义上的差别

重要公式：

湿度  $H = \frac{M_{\text{水}}}{M_{\text{空气}}} \frac{p_{\text{水汽}}}{p - p_{\text{水汽}}} = 0.622 \frac{p_{\text{水汽}}}{p - p_{\text{水汽}}}$

相对湿度  $\varphi = \frac{p_{\text{水汽}}}{p_s}$  当  $p_s < p$  ;  $\varphi = \frac{p_{\text{水汽}}}{p}$  当  $p_s > p$

焓  $I = (1.01 + 1.88H)t + 2500H$

比容  $v_H = \left( \frac{22.4}{29} + \frac{22.4}{18} H \right) \frac{t + 273}{273}$

湿球温度  $t_w = t - \frac{k_H}{\alpha} r_w (H_w - H)$

绝热饱和温度  $t_{as} = t - \frac{r_{as}}{C_H} (H_{as} - H)$

路易斯规则 空气-水系统  $\frac{\alpha}{k_H} = 1.09 \text{ kJ/kg} \approx c_{pH}$  ,  $t_{as} \approx t_w$

### 第十四章

基本概念：

物料去湿的常用方法 对流干燥过程的特点 主要操作费用  $t_d, t_w, t$  的大小关系

改变湿空气温度、湿度的工程措施 平衡蒸汽压曲线 结合水与非结合水 平衡含水量 自由含水量

恒速干燥阶段及物料表面温度 降速干燥阶段 临界含水量及其影响因素 干燥速率对产品性质的影响

连续干燥过程的特点 热效率 理想干燥过程的条件 提高热效率的措施 干燥器选型

重要公式：

干燥速率  $N_A = -\frac{G_C}{A} \frac{dX}{d\tau}$

恒速段速率  $N_A = k_H (H_w - H) = \frac{\alpha}{r_w} (t - t_w)$

间隙干燥 恒速段时间： $\tau_1 = \frac{G_C (X_1 - X_C)}{A N_A}$

降速段时间： $\tau_2 = \frac{G_C}{A K_X} \ln \frac{X_C - X^*}{X_2 - X^*}$  (近似处理  $N_A = K_X (X - X^*)$ )

连续干燥 物料衡算  $W = G_C (X_1 - X_2) = V (H_2 - H_1)$

热量衡算  $Q + Q_{\text{补}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{\text{损}}$  ; 预热器  $Q = V(I_1 - I_0)$  ; 理想干燥  $I_2 = I_1$

热效率  $\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q + Q_{\text{补}}}$  ; 当  $Q_{\text{补}} = 0$  ,  $Q_{\text{损}} = 0$  时  $\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}$