

单元16

# 填料层高度计算

田文德

青岛科技大学化工原理教研室

Tel: 84022750

Email: [tianwd@qust.edu.cn](mailto:tianwd@qust.edu.cn)

# 主要内容

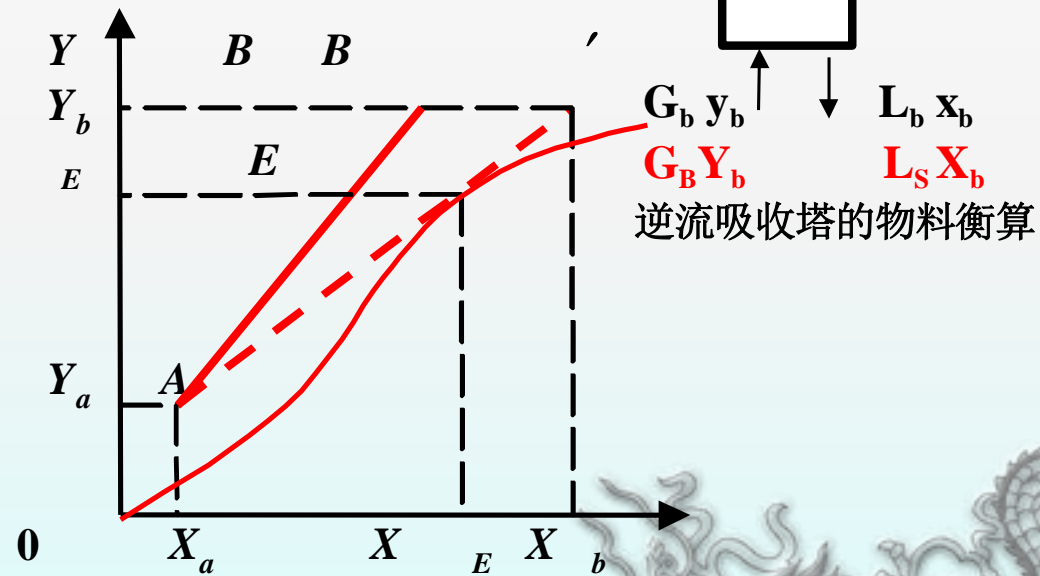
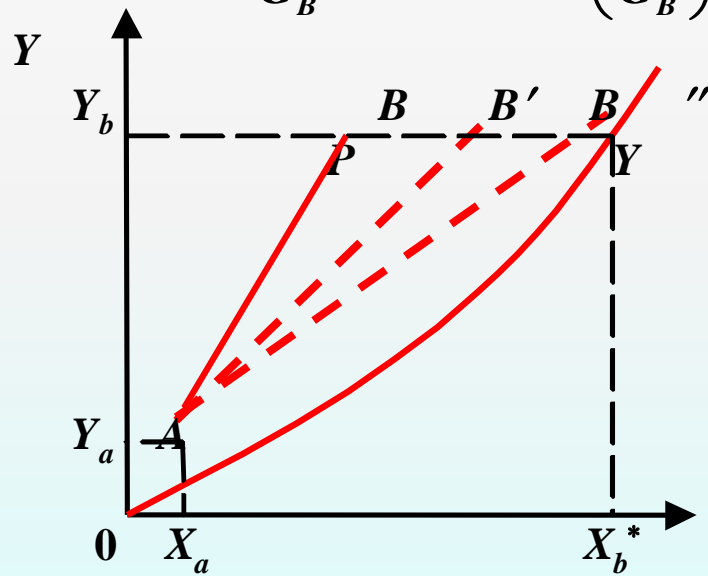
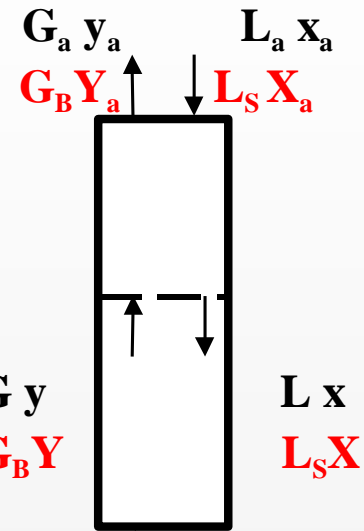
- ◆ 吸收剂的用量
- ◆ 填料层高度的计算

### 3.3.5 吸收剂用量计算

吸收剂用量改变对吸收过程的影响:

$$L_S \downarrow \quad \frac{L_S}{G_B} \downarrow \quad \rightarrow \quad \left( \frac{L_S}{G_B} \right)_{\min} \quad \text{最小液气比}$$

$$\frac{L_S}{G_B} = (1.2 \sim 2.0) \left( \frac{L_S}{G_B} \right)_{\min}$$



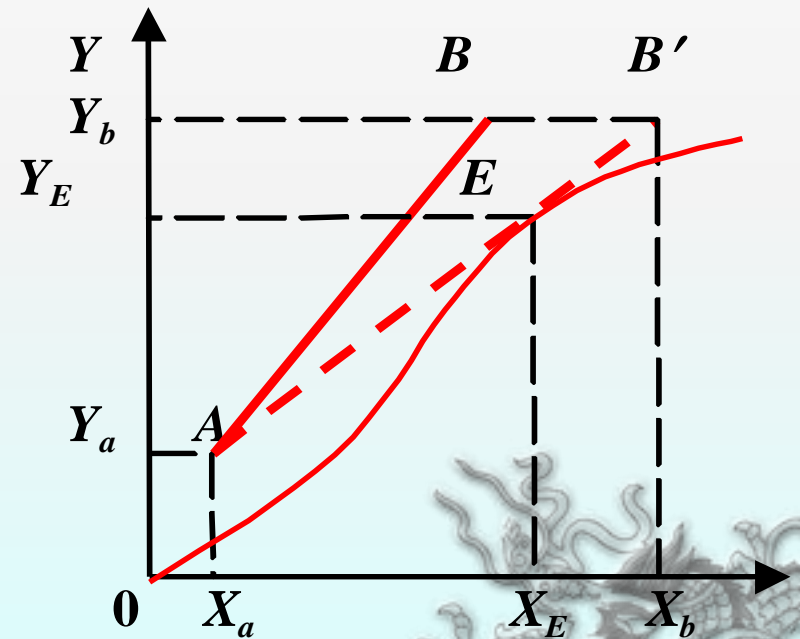
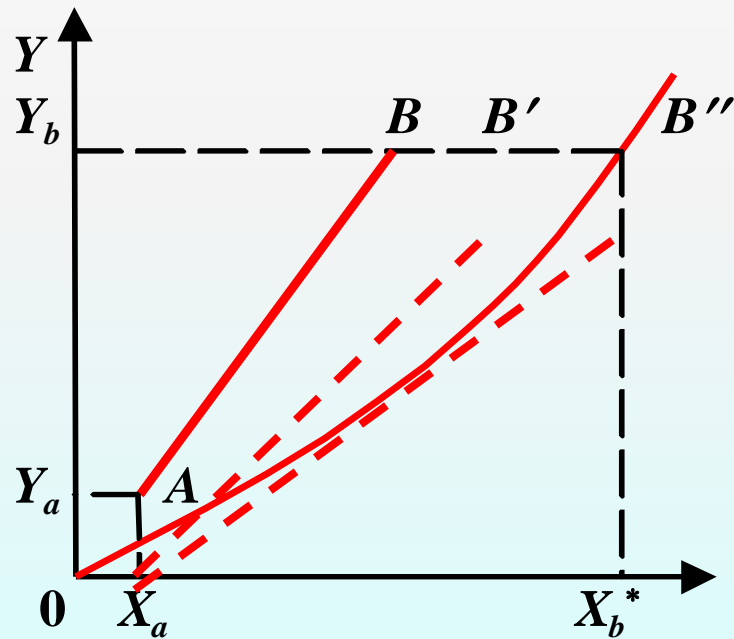
逆流吸收塔物料衡算

$$y_b \approx \frac{L}{G} (x_b - x_a) + y_a \quad Y_b = \frac{L_S}{G_B} (X_b - X_a) + Y_a$$

### 3.3.5 吸收剂用量计算

最小液气比的计算:

$$\left(\frac{L_S}{G_B}\right)_{\min} = \frac{Y_b - Y_a}{X_b^* - X_a} \quad \left(\frac{L_S}{G_B}\right)_{\min} = \frac{Y_b - Y_E}{X_b - X_E}$$



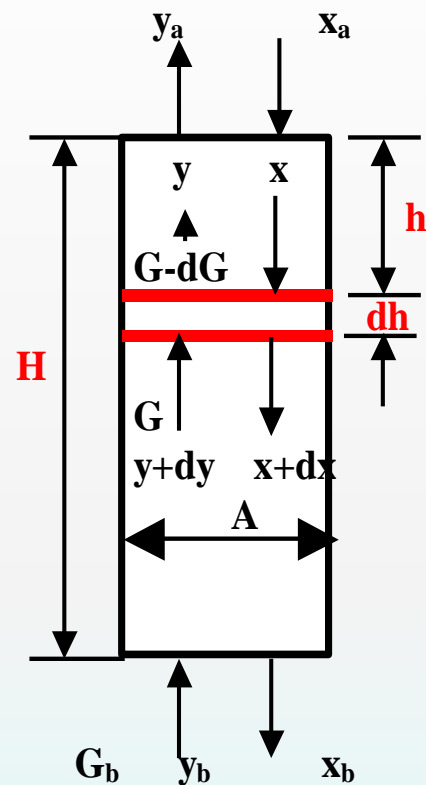
### 3.3.6 吸收设计计算

#### 1. 填料层高度的一般计算式

气相中溶质 A 的减少速率  
 = 液相中溶质 A 的增加速率  
 = 从气相到液相的传质速率

引入  $a = \frac{\text{填料层所具有的有效传质面积}}{\text{填料体积}}$

$$\begin{aligned} [G(y + dy) - (G - dG)y]A &= Ad(Gy) \\ &= Ad(Lx) \\ &= N_A a A dh \end{aligned}$$



微元填料段的物料衡算

$G, L$ ----- $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

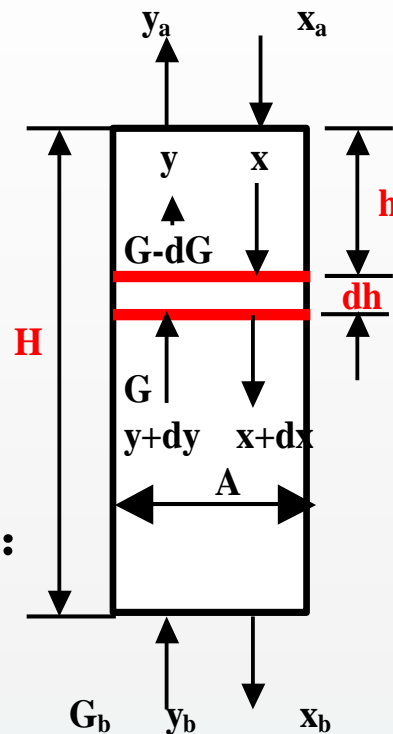
### 3.3.6 吸收设计计算

$$dh = \frac{d(Gy)}{N_A a} = \frac{d(Lx)}{N_A a}$$

$$H = \int_0^H dh = \int_{\text{顶}}^{\text{底}} \frac{d(Gy)}{N_A a} = \int_{\text{顶}}^{\text{底}} \frac{d(Lx)}{N_A a}$$

将总传质速率方程  $N_A = K_y(y - y^*) = K_x(x^* - x)$  代入得:

$$H = \int_{\text{顶}}^{\text{底}} \frac{d(Gy)}{K_y a (y - y^*)} = \int_{\text{顶}}^{\text{底}} \frac{d(Lx)}{K_x a (x^* - x)}$$



$$\frac{1}{K_y a} = \frac{1}{k_y a} + \frac{m}{k_x a}$$

低浓气体吸收时

※  $G$ 、 $L$ 为常数

※  $K_y$ 、 $K_x$ 可视为常数-----气相、液相**总体积传质系数**

※  $a$ 也可视为常数： $a$ 与填料形状、尺寸及填充状况有关

### 3.3.6 吸收设计计算

气相总传质单元高度, m  $H_{OG} = \frac{G}{K_y a}$   
 (HTU—Height of Transfer Unit)

$$H = \frac{G}{K_y a} \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*} = H_{OG} \cdot N_{OG}$$

气相总传质单元数, 无因次

$$H = \frac{L}{K_x a} \int_{x_a}^{x_b} \frac{dx}{x^* - x} = H_{OL} \cdot N_{OL}$$

$$N_{OG} = \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*}$$

气相分传质单元高度, m

$$H = \frac{G}{k_y a} \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y - y_i} = H_G \cdot N_G$$

$$H = \frac{L}{k_x a} \int_{x_a}^{x_b} \frac{dx}{x_i - x} = H_L \cdot N_L$$

气相分传质单元数, 无因次

### 3.3.6 吸收设计计算

#### 2. 传质单元高度与传质单元数

##### 什么是传质单元？

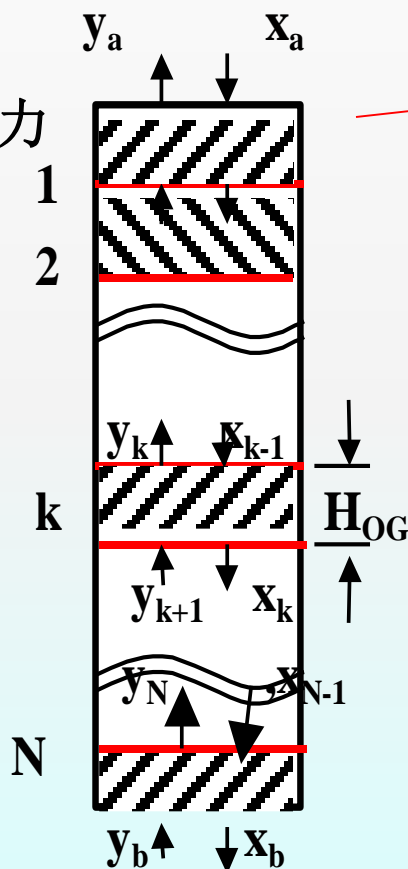
每一段气相组成的变化量

= 该段气相总平均传质推动力

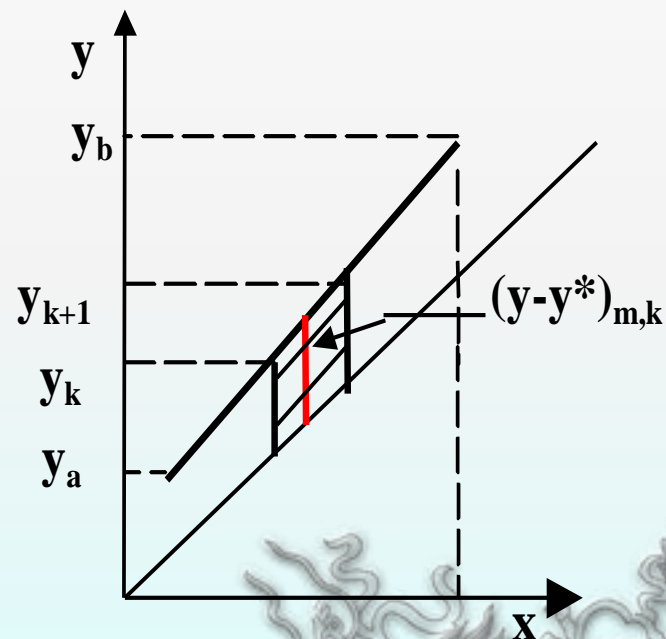
$$y_{k+1} - y_k = (y - y^*)_{m,k}$$

$$N_{OG,k} = \int_{y_k}^{y_{k+1}} \frac{dy}{y - y^*}$$

$$= \frac{y_{k+1} - y_k}{(y - y^*)_{m,k}} = 1$$



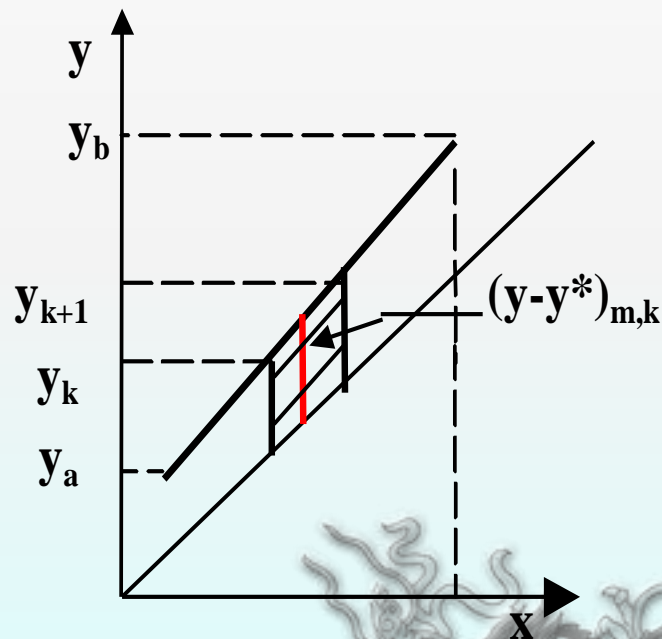
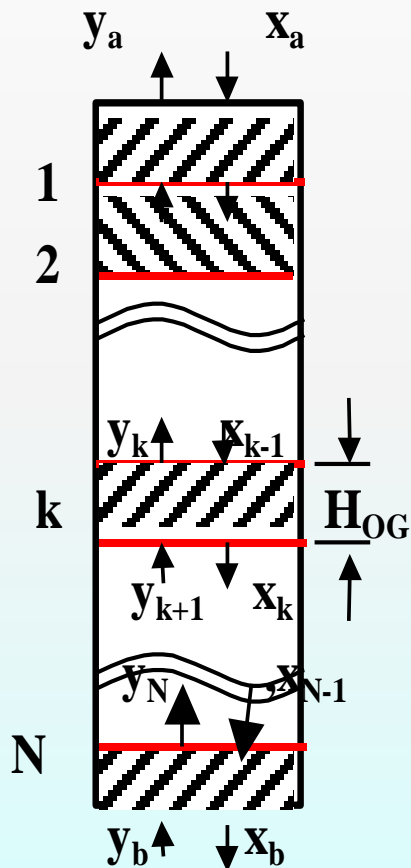
一个 (气相总) 传质单元



气相总传质单元

### 3.3.6 吸收设计计算

$$\begin{aligned}
 N_{OG} &= \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*} \\
 &= \int_{y_a}^{y_1} \frac{dy}{y - y^*} + \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{y - y^*} + \dots + \int_{y_k}^{y_{k+1}} \frac{dy}{y - y^*} + \dots + \int_{y_N}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*} \\
 &= 1 + 1 + \dots + 1 \\
 &= N(\text{个})
 \end{aligned}$$



气相总传质单元

## 3.3.6 吸收设计计算

传质单元高度的物理意义？

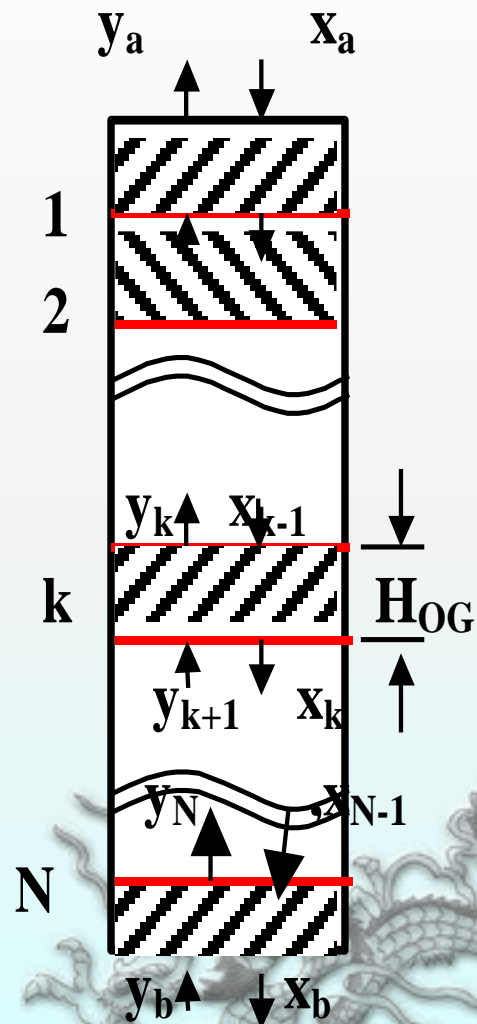
$$H_{OG} = \frac{H}{N_{OG}}$$

-----每个传质单元对应的填料层高度

常用吸收设备的HTU约为0.15~ 1.5m,

思考：

HTU越大越好，还是越小越好？

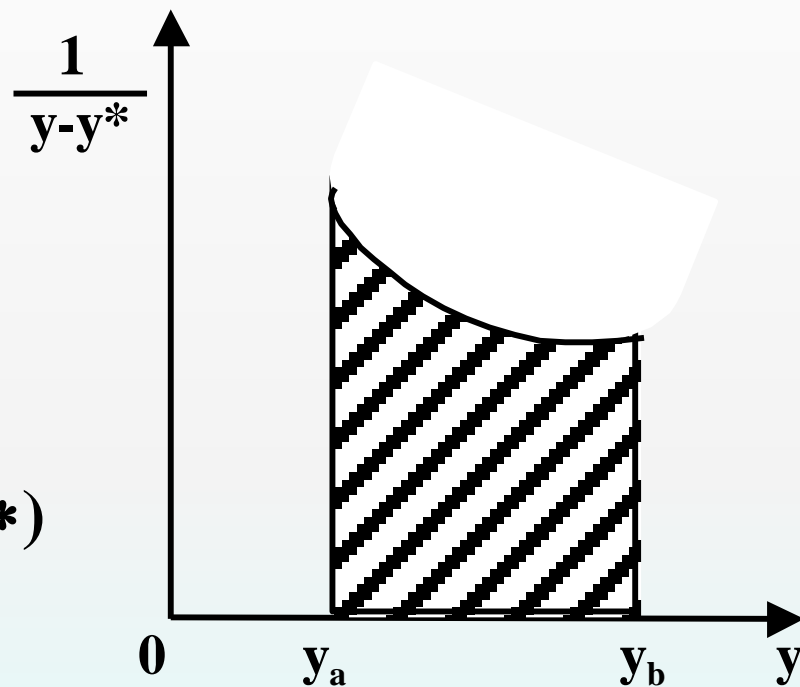


### 3.3.6 吸收设计计算

传质单元数的物理意义？

$$N_{OG} = \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*}$$

若吸收过程的传质推动力  $(y - y^*)$  越小或分离要求  $(y_b - y_a)$  越高，则  $N_{OG}$  越大。



传质单元数

## 3.3.6 吸收设计计算

### 3. 传质单元数的计算

(1) 平衡线为直线时

$$\left. \begin{aligned} y^* &= mx + b \\ y &= \frac{L}{G}(x - x_a) + y_a \end{aligned} \right\} \rightarrow \Delta y = y - y^* \text{ 与 } y \text{ 关系也为直线函数关系}$$

$$\rightarrow \frac{d\Delta y}{dy} = \frac{\Delta y_b - \Delta y_a}{y_b - y_a}$$

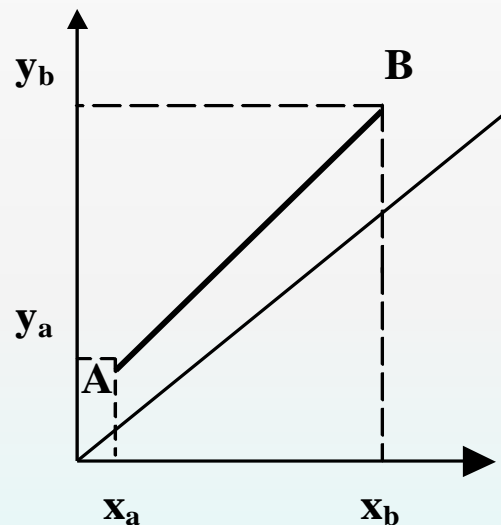
$$N_{OG} = \int_{\Delta y_a}^{\Delta y_b} \frac{1}{\Delta y} \frac{y_b - y_a}{\Delta y_b - \Delta y_a} d\Delta y$$

$$= \frac{y_b - y_a}{\Delta y_b - \Delta y_a} \ln \frac{\Delta y_b}{\Delta y_a}$$

$$= \frac{y_b - y_a}{\Delta y_m} \text{ 对数平均推动力法}$$

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG} \quad H_{OG} = \frac{G}{K_y a}$$

$$N_{OG} = \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*}$$



$$\Delta y_m = \frac{\Delta y_b - \Delta y_a}{\ln \frac{\Delta y_b}{\Delta y_a}} \quad \begin{aligned} \Delta y_b &= y_b - y_b^* \\ \Delta y_a &= y_a - y_a^* \end{aligned}$$

### 3.3.6 吸收设计计算

同理，得：

$$N_{OL} = \frac{x_b - x_a}{\Delta x_m}$$

$$N_G = \frac{y_b - y_a}{\Delta y_{im}}$$

$$N_L = \frac{x_b - x_a}{\Delta x_{im}}$$

式中：

$$\Delta x_m = \frac{\Delta x_b - \Delta x_a}{\ln \frac{\Delta x_b}{\Delta x_a}}$$

$$\Delta x_b = x_b^* - x_b$$

$$\Delta x_a = x_a^* - x_a$$

### 3.3.6 吸收设计计算

$$N_{OG} = \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*}$$

(2) 平衡线为直线时

吸收因数法

$$y = \frac{L}{G}(x - x_a) + y_a \quad \longrightarrow \quad x = \frac{G}{L}(y - y_a) + x_a \quad \longrightarrow$$

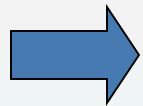
$$y^* = mx + b = m \frac{G}{L}(y - y_a) + mx_a + b = S(y - y_a) + y_a^*$$

$$S = \frac{mG}{L} \text{ —— 脱吸因数, 无因次}$$

$$A = \frac{L}{mG} \text{ —— 吸收因数, 无因次}$$

### 3.3.6 吸收设计计算

$$\begin{aligned} N_{OG} &= \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*} = \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{(1-S)y + (Sy_a - y_a^*)} \\ &= \frac{1}{1-S} \ln \left[ \frac{(1-S)y_b + (Sy_a - y_a^*)}{(1-S)y_a + (Sy_a - y_a^*)} \right] \end{aligned}$$



$$N_{OG} = \frac{1}{1-S} \ln \left[ (1-S) \frac{y_b - y_a^*}{y_a - y_a^*} + S \right]$$

$$N_{OL} = SN_{OG}$$

### 3.3.6 吸收设计计算

横坐标  $\frac{y_b - y_a^*}{y_a - y_a^*}$  值的大小反映溶质吸收率的高低；

由图中可见，在相同  $S$  下，横坐标越大， $N_{OG}$  越大；

而在相同的  $\frac{y_b - y_a^*}{y_a - y_a^*}$  下， $S$  越大， $N_{OG}$  越大。

回收率  $\phi$  为：
$$\phi = \frac{Y_b - Y_a}{Y_b} = 1 - \frac{Y_a}{Y_b} \approx 1 - \frac{y_a}{y_b} \text{ (低浓)}$$

思考：当  $S=1$  时， $N_{OG}=?$  
$$N_{OG} = \frac{y_b - y_a^*}{y_a - y_a^*} - 1$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1-S} \ln \left[ (1-S) \frac{y_b - y_a^*}{y_a - y_a^*} + S \right]$$

### 3.3.6 吸收设计计算

对数平均推动力法与吸收因数法的对比：

**相同点：**都适用于低浓、平衡线为直线的情况

**不同点：**前者涉及四个浓度，后者涉及三个浓度，  
故后者特别适用于操作型问题的求解。

$$N_{OG} = \frac{y_b - y_a}{\Delta y_m}$$

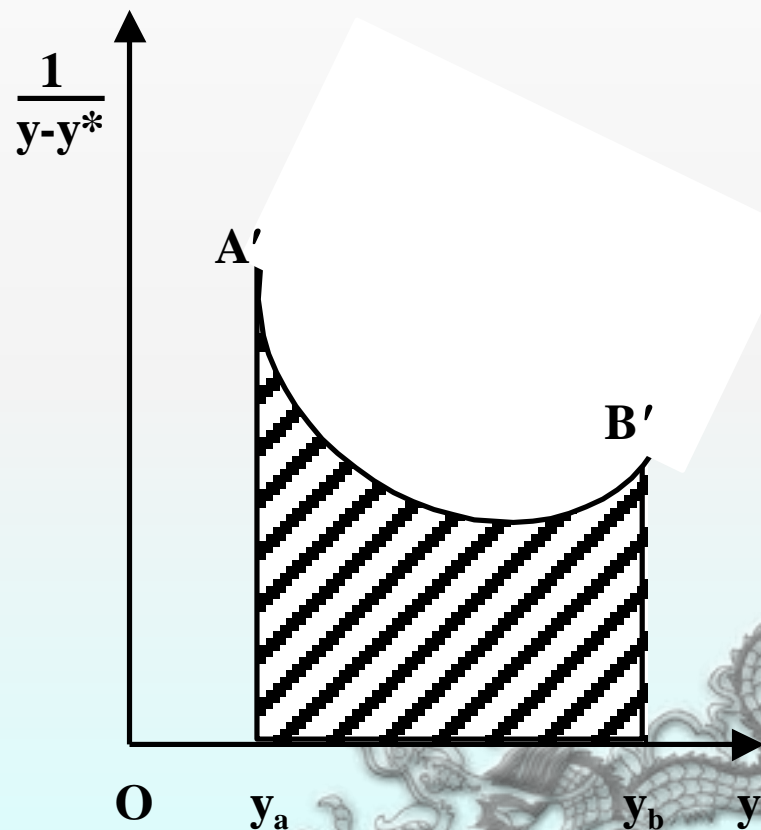
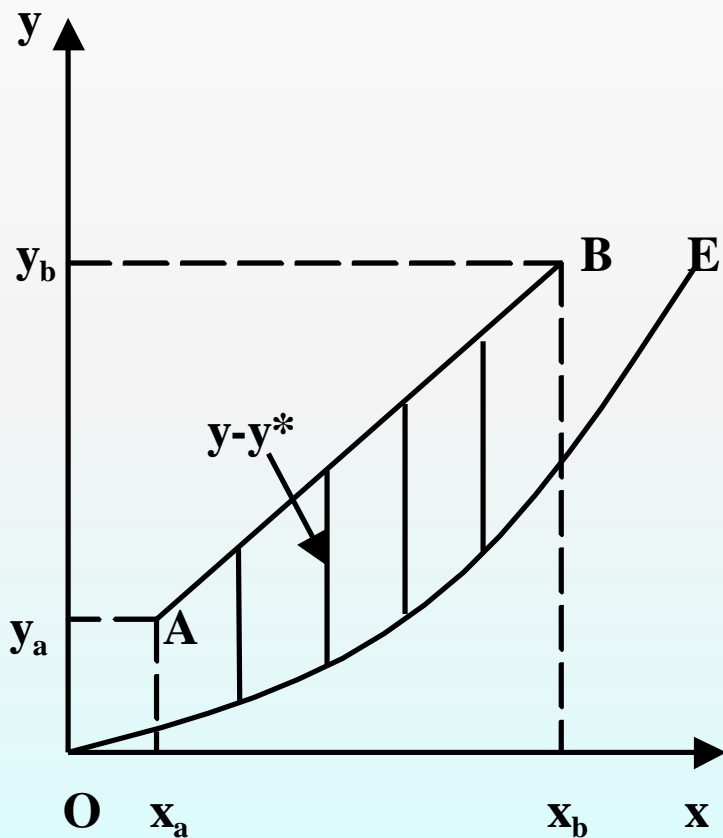
$$N_{OG} = \frac{1}{1-S} \ln \left[ (1-S) \frac{y_b - y_a^*}{y_a - y_a^*} + S \right]$$

### 3.3.6 吸收设计计算

(3) 平衡线不为直线时

图解（或数值）积分法、近似梯级法

$$N_{OG} = \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*}$$



图解法求  $N_{OG}$

# 收塔操作计算

## 设计型问题与操作型问题

### 设计型问题：

已知气相流量 $V$ 、气相进塔组成 $y_b$ 、液相进塔组成 $x_a$ ，回收率 $\eta$ 以及温度 $T$ 和压力 $P$ ，计算液相流量 $L$ 、填料层高度 $H$ 和塔径 $D$ 。

### 操作型问题：

已知气相流量 $V$ 、气相进塔组成 $y_b$ ，液相进塔组成 $x_a$ 和填料层高度 $H$ ，通过调节液相流量 $L$ 、液相进塔组成、以及温度 $T$ 和压力 $P$ ，计算气相和液相出塔组成 $y_a$ 和 $x_b$ 。

### 操作型问题的计算：

所需用的计算公式与设计型问题完全一致，但由于需要计算的是气液相的出塔组成，往往需要进行试差求解。

# 解吸塔的计算

## 1. 解吸方法:

※减压解吸 -----闪蒸

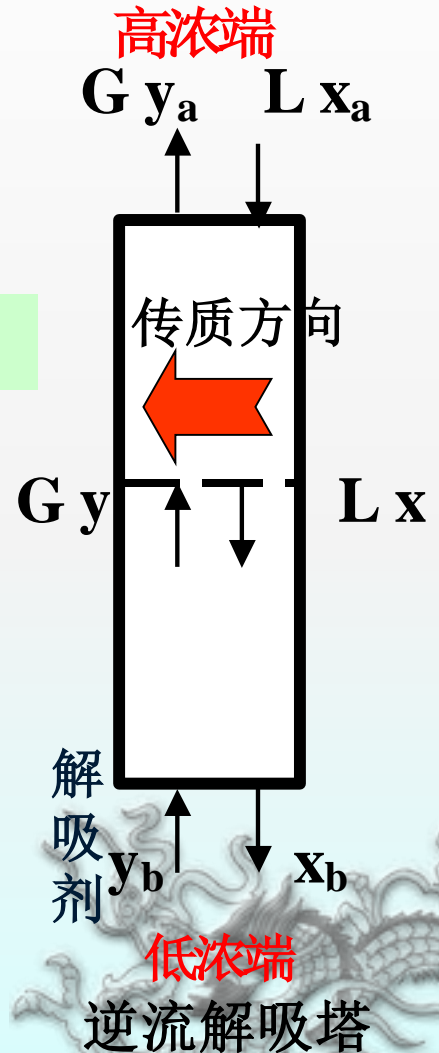
※应用解吸剂进行解吸

-----吸收的逆操作

常用的解吸剂有惰性气体、水蒸气或贫气等

气提 -----解吸剂用惰性气体或贫气

汽提或提馏 -----解吸剂用水蒸汽



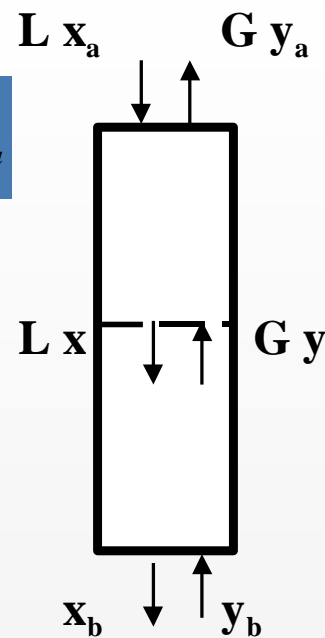
## 2. 低浓气体解吸时

特点:

\*全塔物料衡算、操作线方程、填料层高度计算式与吸收时的完全相同

$$y_b \approx \frac{L}{G}(x_b - x_a) + y_a$$

$$y \approx \frac{L}{G}(x - x_a) + y_a$$



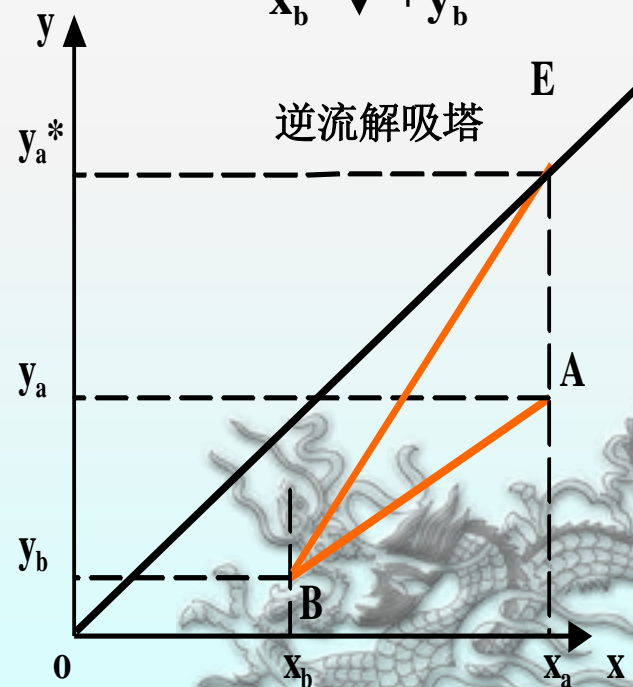
$$N_{OG} = \frac{1}{1-S} \ln \left[ (1-S) \frac{y_b - y_a^*}{y_a - y_a^*} + S \right]$$

$$N_{OL} = \frac{1}{1-A} \ln \left[ (1-A) \frac{x_a - x_b^*}{x_b - x_b^*} + A \right]$$

$$N_{OL} = S N_{OG}$$

\*最小气液比  $\left(\frac{G}{L}\right)_{\min} = \frac{x_a - x_b}{y_a^* - y_b}$

$$\frac{G}{L} = (1.2 \sim 2.0) \left(\frac{G}{L}\right)_{\min}$$



# 结束

下节内容：蒸馏

本节作业：P210—16，17。