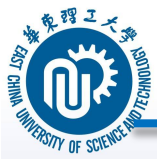


# 第八章 吸收(4)

---



# 复习

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

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a}$$

□ 分传质系数和总传质系数的关系

□ 吸收过程的判别

$$N_{OG} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m}$$

□ 对数平均的理解

□  $m=L/G$  时,  $N_{OG}$  的求取

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

□ 吸收因子  $A$

□  $A=1$  时,  $N_{OG}$  的求取

1、已知：  $K_y a \propto G^{0.8}$  ,  $G \uparrow$  ,  $H_{OG}$  \_\_\_\_\_ (增加, 减少, 不变)

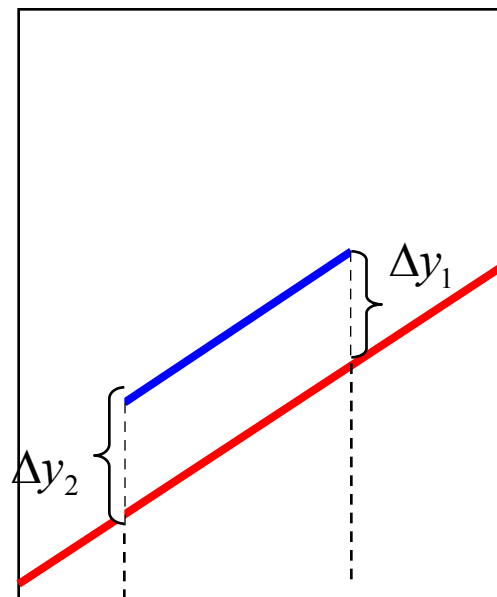
2、用纯溶剂逆流吸收, 已知  $L/G=m$ , 回收率为0.8, 则传质单元数  $N_{OG}$  = \_\_\_\_。

$$\Delta y_1 = \Delta y_2 = \Delta y_m$$

$$N_{OG} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m} = \frac{y_1 - y_2}{y_2 - mx_2} = \frac{y_1 - y_2}{y_2} = \frac{y_1}{y_2} - 1$$

$$\eta = \frac{y_1 - y_2}{y_1} = 1 - \frac{y_2}{y_1}$$

$$N_{OG} = \frac{\eta}{1 - \eta}$$



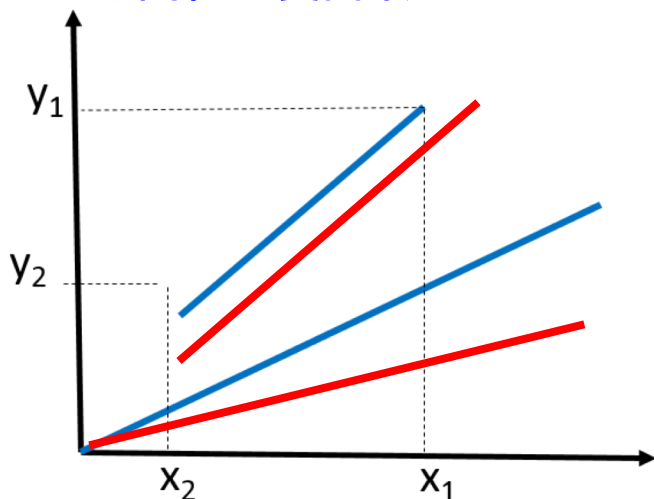
# 复习

操作线:

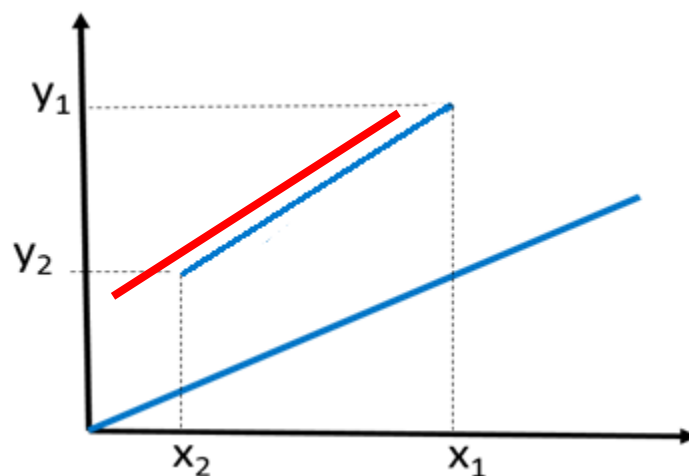
$$y = \frac{L}{G} (x - x_2) + y_2$$

试画出按下列改变操作条件后的新平衡线与操作线, 并作判断




操作温度降低







$x_2$ 降低



判断各参数变化趋势 (增加, 减小, 不变, 不确定)

$y_2$    $x_1$    $\Delta y_m$  不确定  $\eta$  

$y_2$    $x_1$    $\Delta y_m$    $\eta$  

**例题**在常压逆流接触的填料塔内，用纯溶剂**S**吸收混合气中的可溶组分**A**。入塔气体中**A**的摩尔分率为**0.03**，要求吸收率为**95%**。已知操作条件下的解吸因数为**1**，相平衡关系服从亨利定律，与入塔气体成平衡的液相浓度为**0.03**（摩尔分率）。试计算：

- (1)操作线的斜率；
- (2)出塔液体的浓度；
- (3)完成上述分离任务所需的气相总传质单元数**NOG**。

$$1) \quad 1/A=1 \quad \frac{1}{A} = \frac{mG}{L} \Rightarrow \frac{L}{G} = m \quad y=mx=0.03x=0.03$$

$$\Rightarrow m=1 \quad \frac{L}{G} = 1$$

$$2) \quad \text{列操作线方程} \quad \begin{cases} y_1 = \frac{L}{G}(x_1 - x_2) + y_2 = x_1 - 0.03 + y_2 \\ \eta = \frac{y_1 - y_2}{y_1} = 1 - \frac{y_2}{y_1} = 1 - \frac{y_2}{0.03} = 0.95 \end{cases}$$

$$\Rightarrow x_1 = 0.0285$$

$$3) A = 1 \quad N_{OG} = \frac{\eta}{1 - \eta} = 19$$

例题拟用一塔径为**0.5m**的填料吸收塔，逆流操作，用纯溶剂吸收混合气中的溶质。入塔气体量为**100kmol/h**，溶质浓度为**0.01**（摩尔分率），要求回收率达到**90%**，液气比为**1.5**，平衡关系为 **$y = x$** 。试求：

- (1)液体出塔浓度；
- (2)测得气相总体积传质系数 **$K_y a = 0.10 \text{ kmol}/(\text{m}^3 \times \text{s})$** ，问该塔填料层高度为多少

1) 列操作线方程

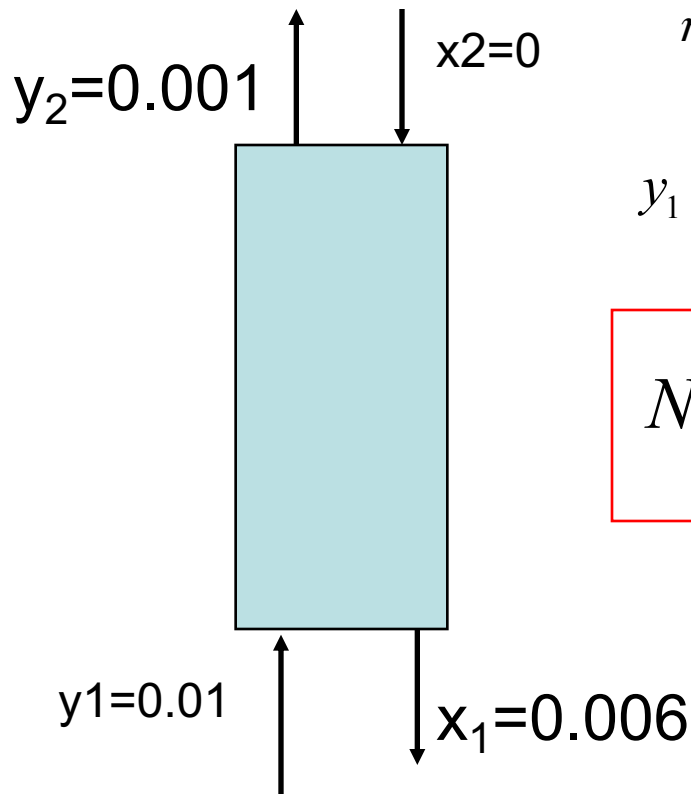
$$\begin{cases} y_1 = \frac{L}{G}(x_1 - x_2) + y_2 = 1.5x_1 + y_2 = 0.01 \\ \eta = \frac{y_1 - y_2}{y_1} = 1 - \frac{y_2}{y_1} = 1 - \frac{y_2}{0.01} = 0.9 \end{cases} \quad \Rightarrow \quad x_1 = 0.006$$

$$G = \frac{1000/3600}{\frac{1}{4}\pi \times 0.5^2} = 0.142 \text{ kmol}/(\text{m}^2 \text{ s}) \quad H_{OG} = \frac{G}{K_y a} \Rightarrow H_{OG} = 1.42 \text{ m}$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - 1/A} \ln \left[ \left( 1 - 1/A \right) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + 1/A \right] = 4.16 \quad H = H_{OG} \cdot N_{OG} = 5.9 \text{ m}$$

例题拟用一塔径为**0.5m**的填料吸收塔，逆流操作，用纯溶剂吸收混合气中的溶质。入塔气体量为**100kmol/h**，溶质浓度为**0.01**（摩尔分率），要求回收率达到**90%**，液气比为**1.5**，平衡关系为 **$y = x$** 。试求：

- (1)液体出塔浓度；
- (2)测得气相总体积传质系数 **$K_y a = 0.10 \text{ kmol}/(\text{m}^3 \times \text{s})$** ，问该塔填料层高度为多少



$$\eta = \frac{y_1 - y_2}{y_1} = 1 - \frac{y_2}{y_1} = 1 - \frac{y_2}{0.01} = 0.9 \quad y_2 = 0.001$$

$$y_1 = \frac{L}{G}(x_1 - x_2) + y_2 = 1.5x_1 + y_2 = 0.01 \quad x_1 = 0.006$$

$$N_{OG} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m} \quad \Delta y_m = \frac{\Delta y_1 - \Delta y_2}{\ln \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}} \quad \begin{aligned} \Delta y_1 &= y_1 - mx_1 \\ \Delta y_2 &= y_2 - mx_2 \end{aligned}$$

$$N_{OG} = 4.16 \quad H_{OG} = \frac{G}{K_y a}$$

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG} = 5.9 \text{ m}$$

## 8.5.3 吸收塔的计算

设计型：指吸收任务给定，求塔径、塔高等。

操作型：指吸收设备和流程已给定，考察操作条件的变化对吸收效果的影响

计算公式：

全塔物料衡算式

相平衡方程式

吸收过程基本方程式

操作条件：  
气液流量、  
气液进口浓度、  
操作温度、压力等



## 8.5.3 吸收塔的设计型计算

### 8.5.3.1 计算公式

全塔物料衡算式  $G(y_1 - y_2) = L(x_1 - x_2)$

相平衡方程式  $y_e = f(x)$

吸收过程基本方程式

$$\begin{aligned} H &= H_{OG} \cdot N_{OG} = \frac{G}{K_y a} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e} \\ H &= H_{OL} \cdot N_{OL} = \frac{L}{K_x a} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x_e - x} \end{aligned} \left\{ \begin{aligned} H_{OG} &= \frac{G}{K_y a} \\ N_{OG} &= \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m} \\ N_{OG} &= \frac{1}{1 - 1/A} \ln \left[ (1 - 1/A) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + 1/A \right] \end{aligned} \right.$$

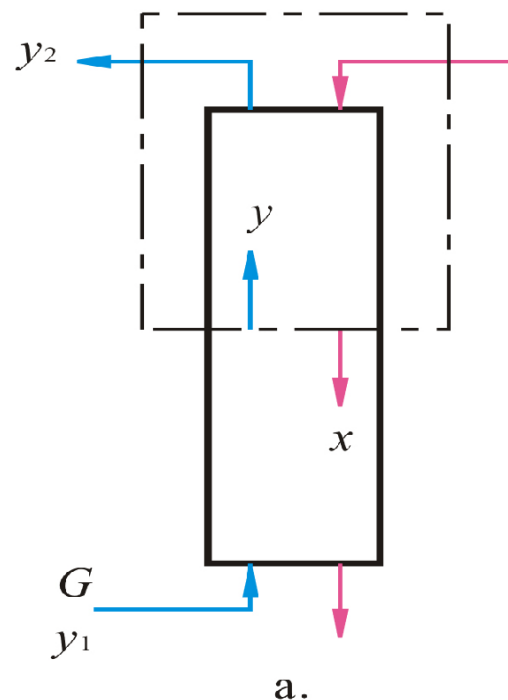
### 8.5.3.2 设计型计算的命题

设计要求：求达到指定分离要求所需的**塔高**。

给定条件： $y_1$ ， $G$ ，相平衡关系，  
分离要求( $y_2$ 或 $\eta$ )。

回收率： $\eta = \frac{\text{被吸收的溶质量}}{\text{气体进塔的溶质量}}$

$$= \frac{G_1 y_1 - G_2 y_2}{G_1 y_1} = 1 - \frac{y_2}{y_1}$$

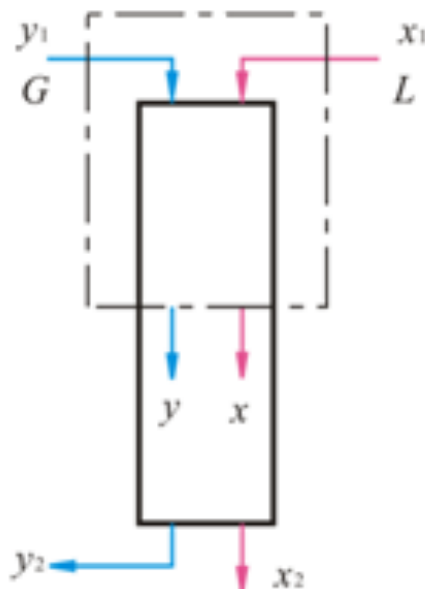


尚须作设计条件**选择**。

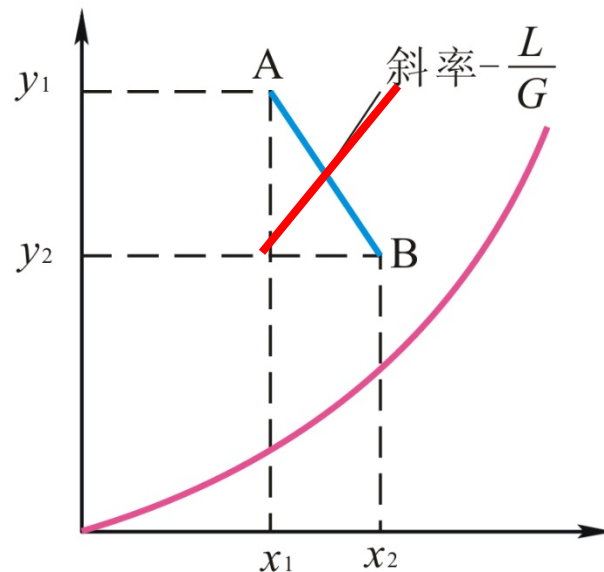
流向  
吸收剂进口浓度  
吸收剂用量，  $L/G$

### 8.5.3.3 流向选择

一般选逆流， $\Delta y_m$ 较大。在特殊情况下，可考虑用并流。



a.



并流吸收的操作线

$$y = y_1 - \frac{L}{G}(x - x_1)$$

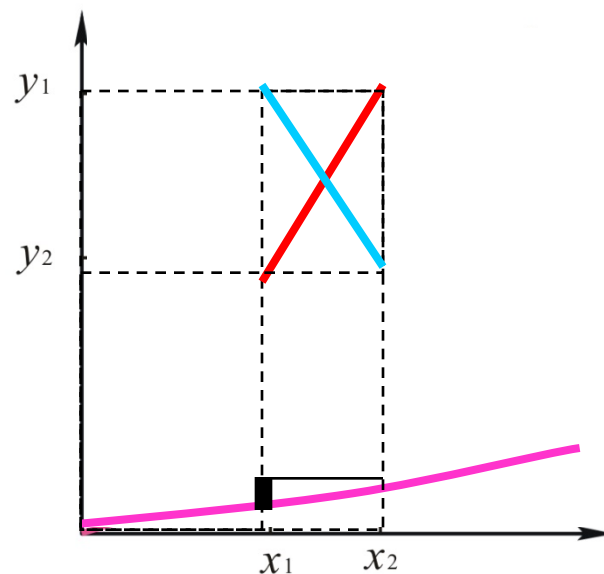
### 8.5.3.3 流向选择

一般选逆流， $\Delta y_m$ 较大。在特殊情况下，可考虑用并流。

相平衡线斜率极小时，考虑采取什么流向？

并流

- 逆流的缺点：  
流体的下降受到上升气体的作用力，  
**L**、**G**受到一定的限制。



$$y = y_1 - \frac{L}{G}(x - x_1)$$

### 8.5.3.4 吸收剂进口浓度的选择

在 $y_1, y_2$ 一定的情况下

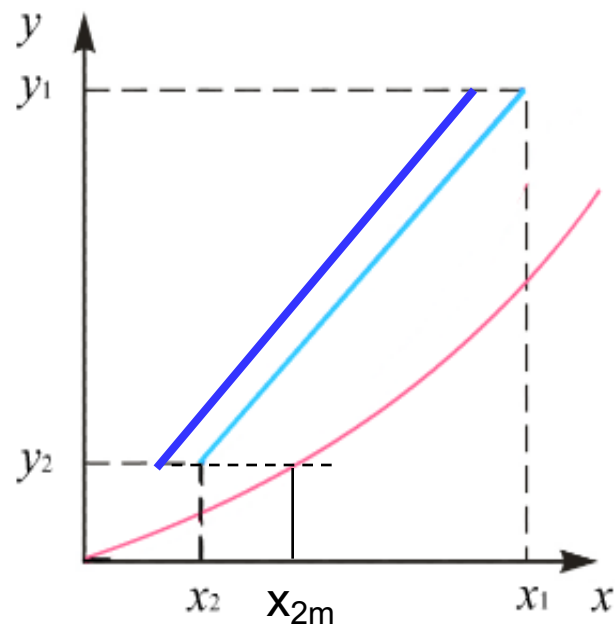
$$x_2 \downarrow, \Delta y_m \uparrow, H \downarrow$$

(最高允许浓度:  $x_2 = x_{2m}$ ,

$$\Delta y_m = 0, H \rightarrow \infty)$$

经济上: 通过极限法推断:

$x_2 \downarrow, H \downarrow$ , 设备费 $\downarrow$ , 但解吸操作费 $\uparrow$ , 须优化选择。



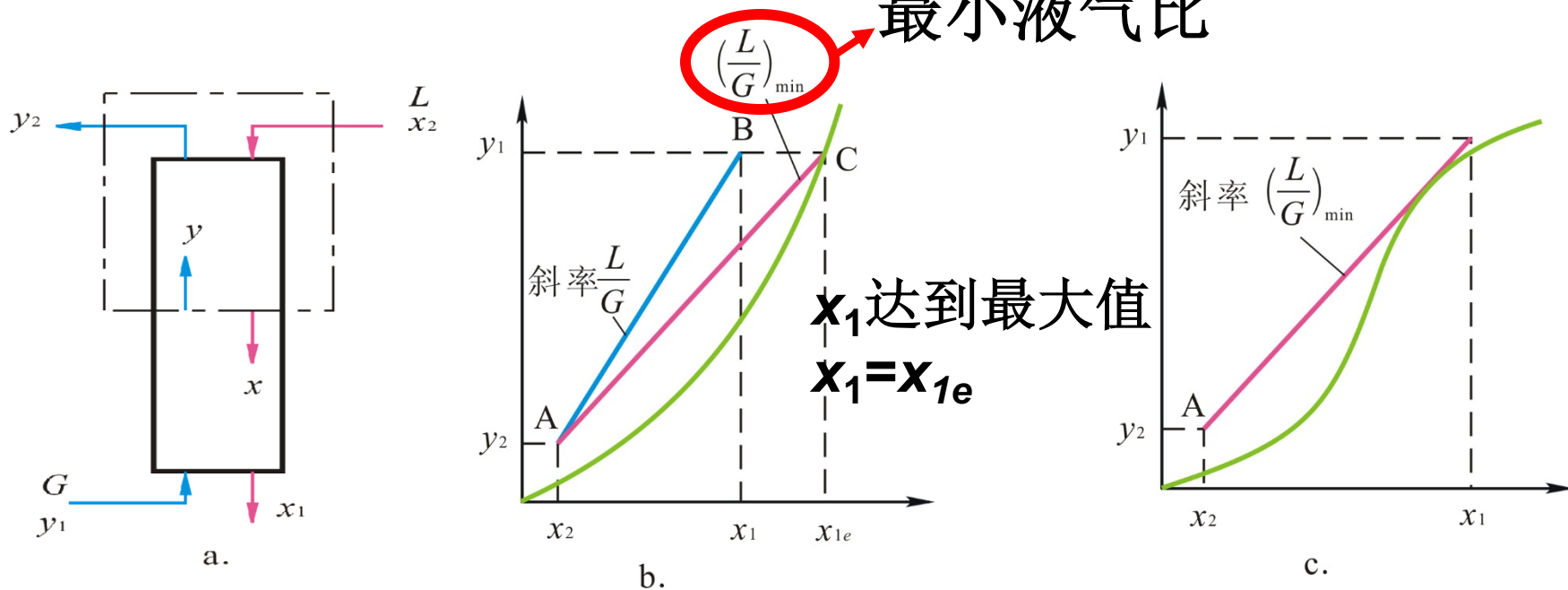
吸收剂进口浓度上限

### 8.5.3.5 吸收剂用量的选择及最小液气比

$$x_1 = x_2 + \frac{G}{L} (y_1 - y_2)$$

讨论

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_{1e} - x_2}, \quad \Delta y_1 = 0, \quad H \rightarrow \infty。$$



最小液气比只对设计型问题（即规定 $y_1, y_2$ ）有意义。

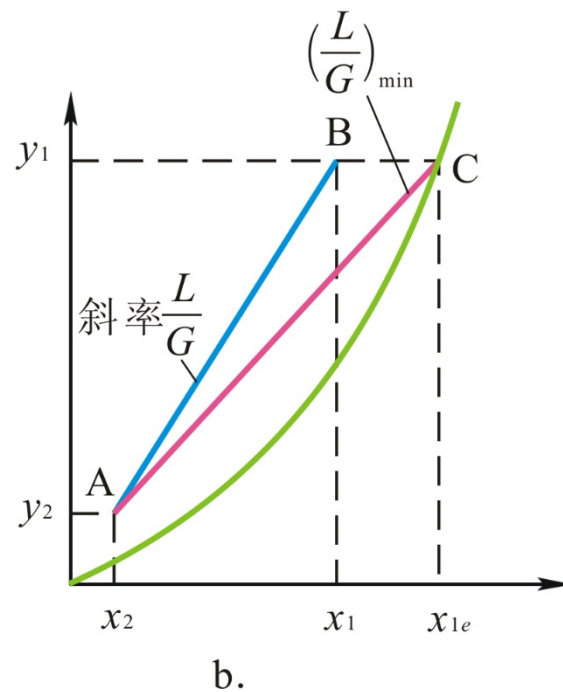
### 8.5.3.6 解吸塔的最小气液比

$$\left(\frac{G}{L}\right)_{\min} = \frac{x_1 - x_2}{y_{1e} - y_2}$$

$L/G \uparrow$ ,  $x_1 \downarrow$ ,  $\Delta y_m \uparrow$ ,  $N_{OG} \downarrow$ ,

$H \downarrow$ , 设备费 $\downarrow$ ,  
但 $L$ 增大, 解吸操作费 $\uparrow$

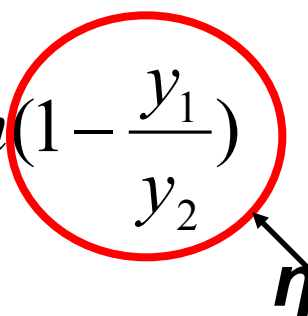
适宜液气比  $\frac{L}{G} = (1.2 \sim 2.0) \left(\frac{L}{G}\right)_{\min}$



例 清水逆流吸收，回收率 $\eta=0.92$ ,  $y=3x$

$$\frac{L}{G} = 1.2 \left( \frac{L}{G} \right)_{\min} \quad \text{求: } \left( \frac{L}{G} \right)_{\min}, \frac{1}{A}, N_{OG}$$

$$\left( \frac{L}{G} \right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_{1e} - x_2}, \quad x_2 = 0, \quad x_{1e} = y_1 / m$$

$$\left( \frac{L}{G} \right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{y_1 / m} = m \left( 1 - \frac{y_2}{y_1} \right) = m \eta = 0.92 * 3 = 2.76$$


$$\frac{1}{A} = \frac{mG}{L} = \frac{3}{1.2 * 2.76} = 0.906$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - 1/A} \ln \left[ \left( 1 - 1/A \right) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + 1/A \right] = 8.76$$



**例** 常压下，用煤油从苯蒸汽和空气混合物中吸收苯，吸收率为**99%**，混合气量为**53kmol/h**。入塔气中含苯**2%**（体积%），入塔煤油中含苯**0.02%**（摩尔分率）。溶剂用量为最小用量的**1.5**倍，在操作温度**50℃**下，相平衡关系为 **$y = 0.36x$** ，总传质系数 **$K_y a = 0.015 \text{ kmol}/(\text{m}^3 \times \text{s})$** ，塔径为**1.1**米。试求所需填料层高度。

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a} \quad G = \frac{53/3600}{\frac{1}{4} \pi \times 1.1^2} \quad H_{OG} = 1.03 \text{ m}$$

$$y_2 = (1 - \eta) y_1 = (1 - 0.99) 0.02 = 0.0002$$

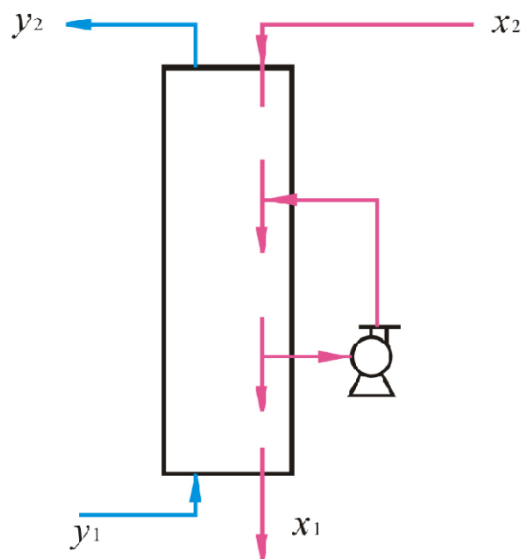
$$\left( \frac{L}{G} \right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_{1e} - x_2} = \frac{2 - 0.0002}{2/0.36 - 0.02} = 0.358$$

$$\left( \frac{L}{G} \right) = 1.5 \left( \frac{L}{G} \right)_{\min} = 1.5 * 0.358 = 0.537 \quad \frac{1}{A} = \frac{mG}{L} = \frac{0.36}{0.537} = 0.67$$

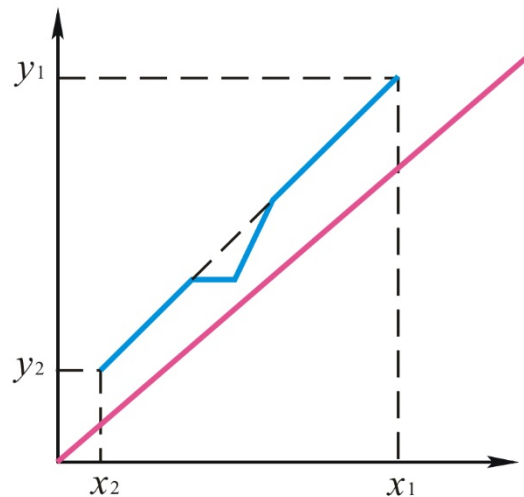
$$N_{OG} = \frac{1}{1 - 1/A} \ln \left[ \left( 1 - 1/A \right) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + 1/A \right] = 11.98$$

$$H = H_{OG} N_{OG} = 1.03 * 11.98 = 12.4 \text{ m}$$

### 8.5.3.7 塔内返混的影响



a.



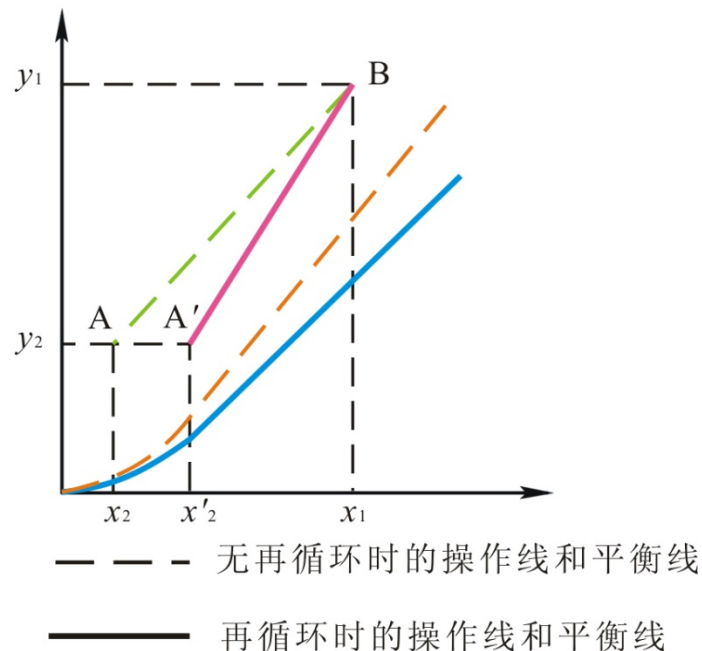
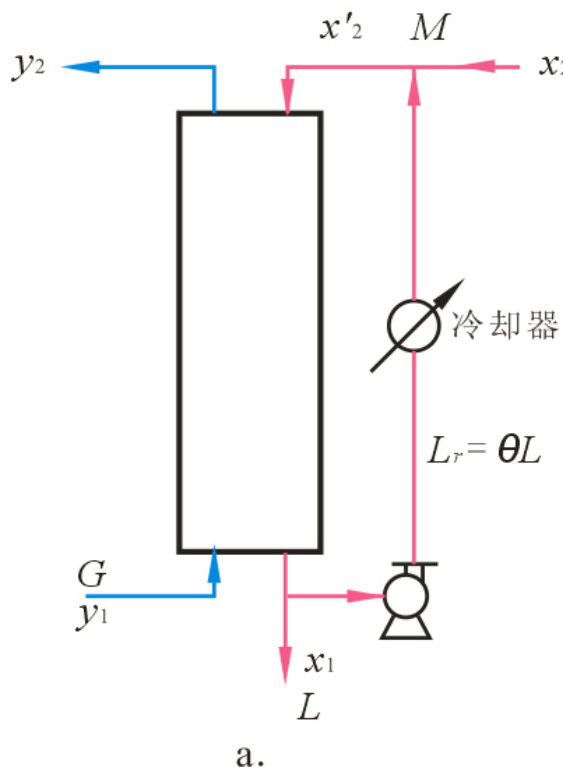
b.

轴向返混降低推动力

返混：少量流体自身由下游返回至上游。  
返混破坏逆流操作条件，使推动力下降，  
对传质不利。

### 8.5.3.8 吸收剂再循环

$$x'_2 = \frac{\theta x_1 + x_2}{1 + \theta}$$



下列情况溶剂再循环有利吸收

1. 吸收过程有显著热效应, 平衡线下移,  $\Delta y_m$  影响不大
2. 吸收目的在于获得高  $x_1$  的液相, 根据物料衡算,  $L$  较小, 不足于湿润填料。

一般情况溶剂再循环不利吸收

## 8.5.4 吸收塔的操作型计算

### 8.5.4.1 操作型计算的命题

#### (1) 第一类命题

(求操作结果)

给定条件:

$H$  (及其他有关尺寸),  $L$ ,  $G$ ,  $x_2$ ,  $y_1$ ,  
 $y = f(x)$ , 流动方式,  $K_y a$  或  $K_x a$ 。

计算目的:

$y_2(\eta)$ ,  $x_1$ 。

## (2) 第二类命题

(求操作条件)

给定条件:

$H$  (及其他有关尺寸),  $G$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  
 $x_2$ ,  $y = f(x)$ , 流动方式,  $K_y a$  或  $K_x a$ 。

计算目的:

$L$ ,  $x_1$ 。

### 8.5.4.2 计算方法

联立方程。一般，由于相平衡方程式及吸收过程方程式的非线性，须试差或迭代。

当平衡线在操作范围内可视为直线时，第一类命题可将基本方程线性化。

但第二类命题仍须试差。