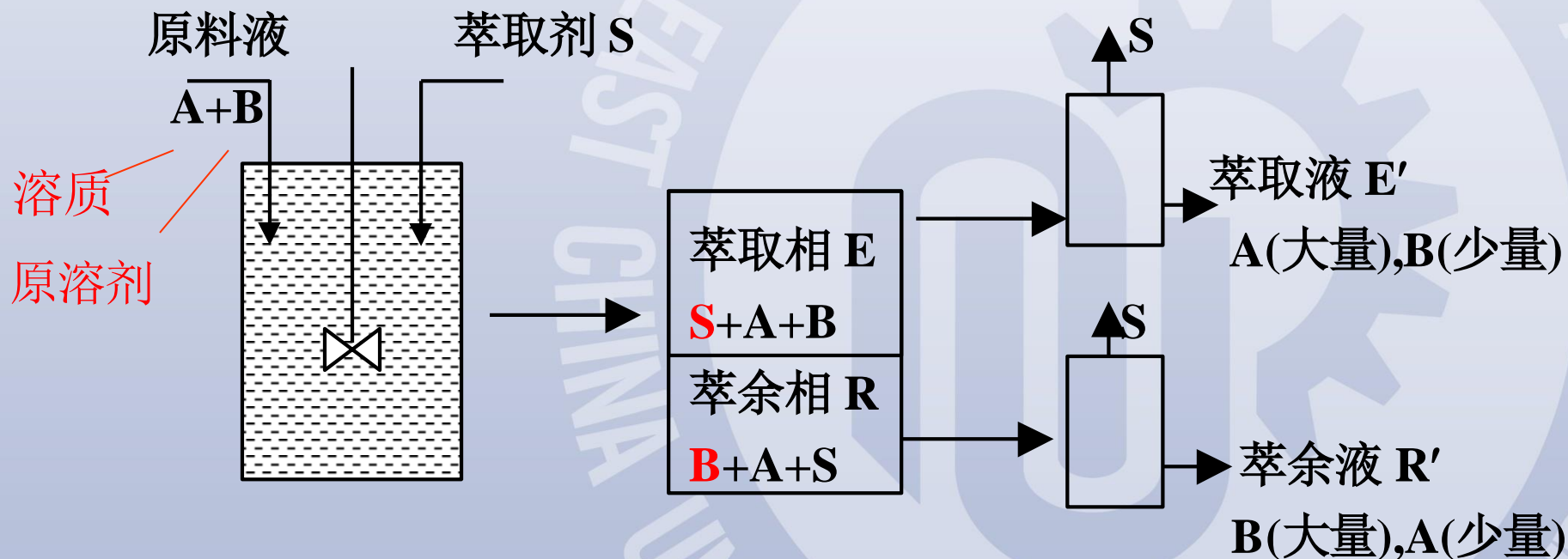


§ 11.1 概述

1. 什么是液液萃取？

利用液体混合物中各组分在**外加溶剂**中**溶解度的差异**而分离该混合物的操作，称为萃取。外加溶剂称为**萃取剂**。

2. 萃取流程：



11.1.1.1 液液萃取目的和依据

目的：液体混合物分离。

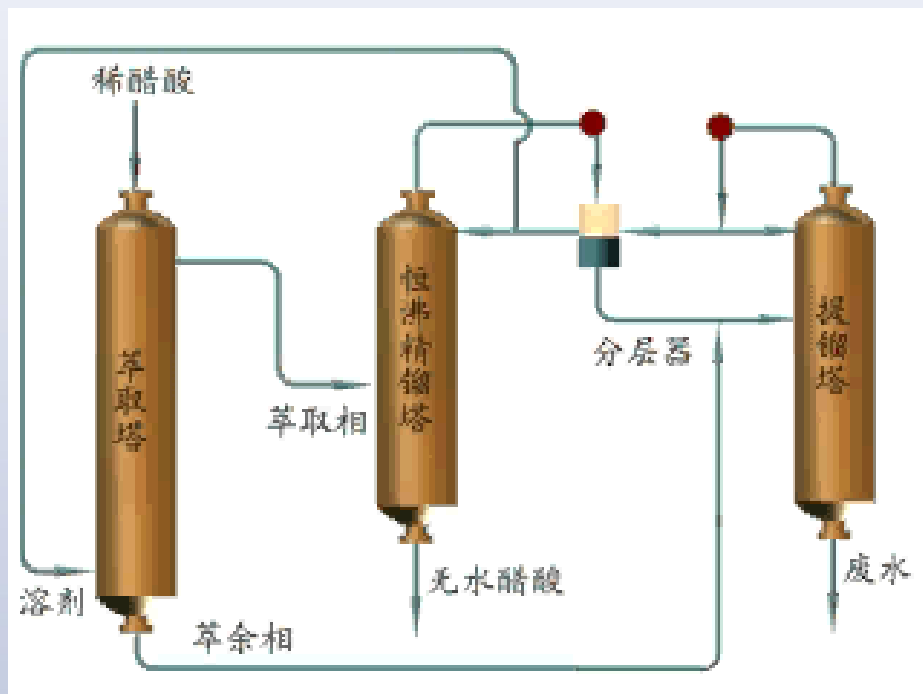
依据：液体混合物各组分
在某种溶剂中**溶解度的差异**。



须解决的问题:

- (1) 选择一合适的萃取剂;
- (2) 提供优良的萃取设备;
- (3) 完成萃取相、萃余相的脱溶剂。

11.1.1.2 工业萃取过程 (稀醋酸水溶液的分离)



萃取剂：醋酸乙酯

萃取相：醋酸乙酯+醋酸，少量水

萃余相：水，少量醋酸乙酯

恒沸精馏塔

顶部：醋酸乙酯-水（非均相恒沸物）

底部：无水醋酸

提馏塔

顶部：醋酸乙酯-水（非均相恒沸物）

底部：水

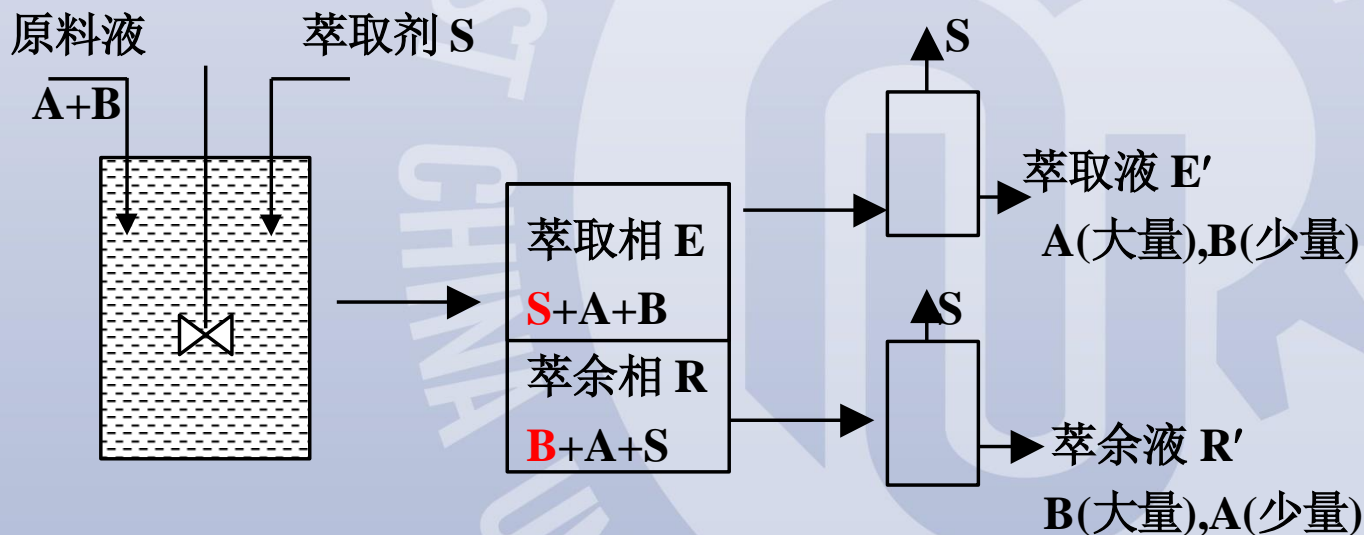
分层器 上层酯相，下层水相

萃取及恒沸精馏提浓醋酸流程

11.1.1.3 萃取剂的选择

要求:

- 1、对溶质溶解能力强
- 2、选择性高（**B**与**S**互溶度越小越好）
- 3、在混合液中的溶解度要小
- 4、萃取剂易于回收
- 5、萃取相与萃余相密度差异大



11.1.2 两相的接触方式

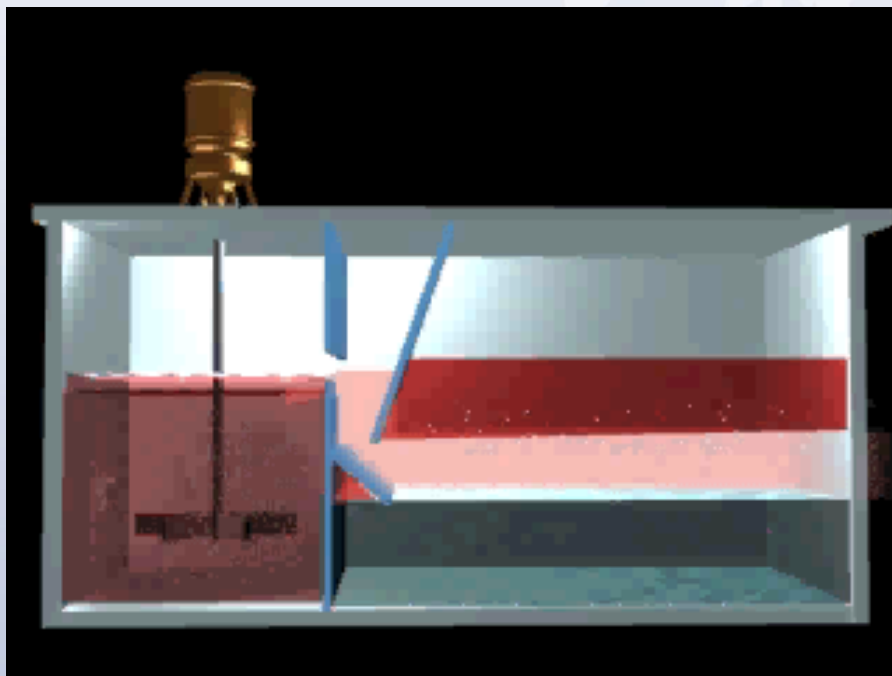
11.1.2.1 微分接触



喷洒萃取塔

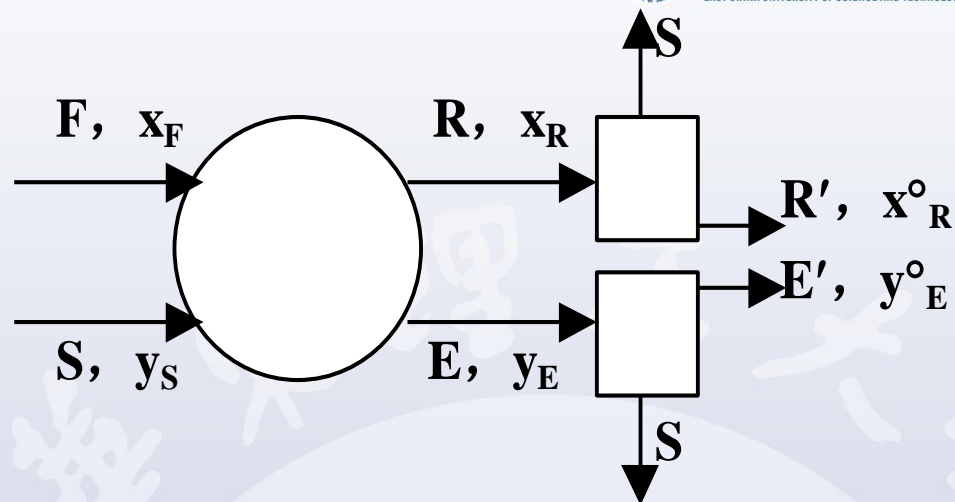
11.1.2.2 级式接触

单级连续萃取

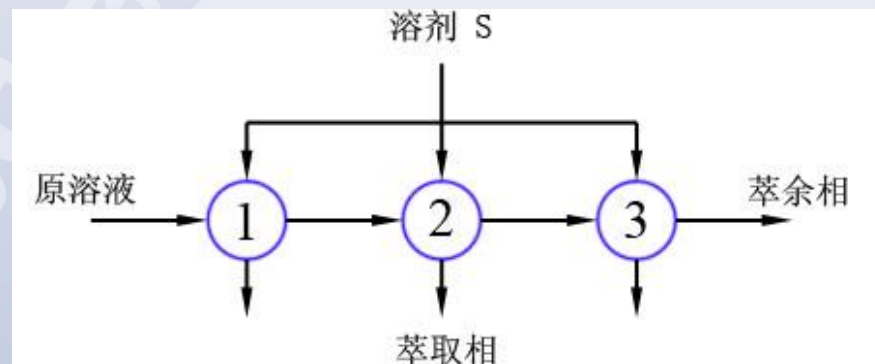


单级混合沉降槽

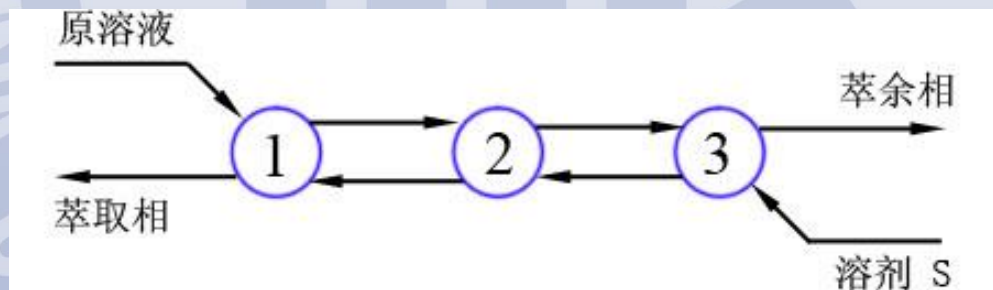
单级萃取



多级错流萃取



多级逆流萃取

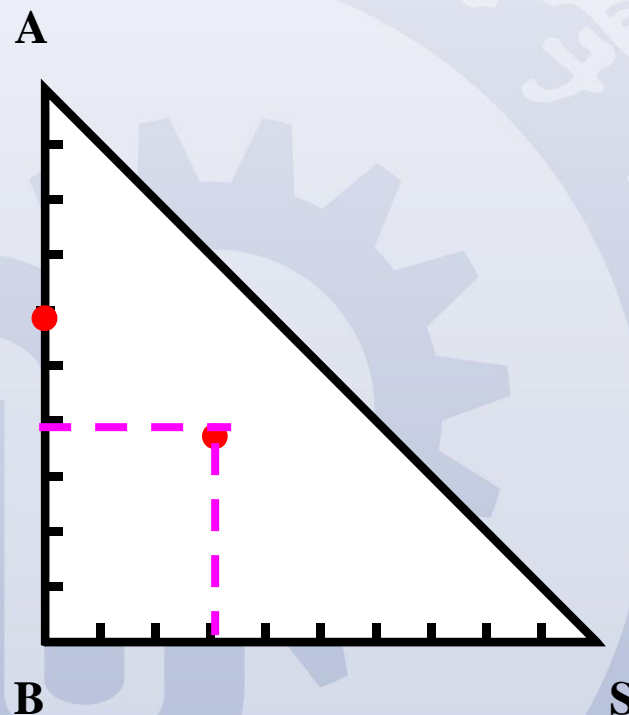


§ 11.2 液液相平衡关系及相图

11.2. 三角形相图及其应用

- ①顶点代表纯组分
- ②每条边代表二元溶液
- ③相图中的点代表三元溶液

$$\%A + \%B + \%S = 100\%$$



三角形相图

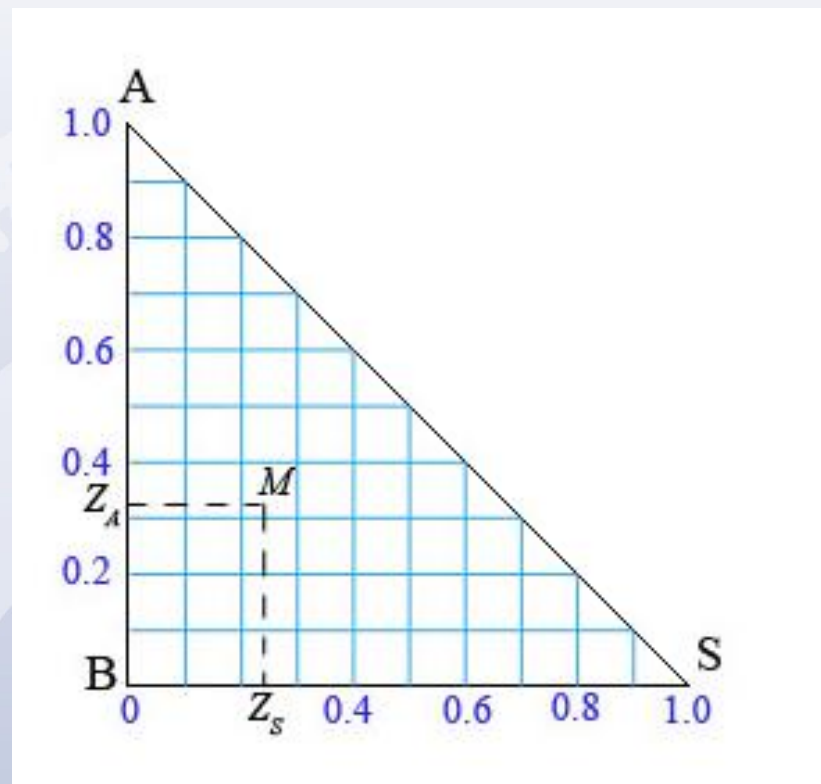
11.2.1 三角形相图

11.2.1.1 溶液组成的表示方法

归一条件:

$$x_A + x_B + x_S = 1$$

x_i 均为质量分率



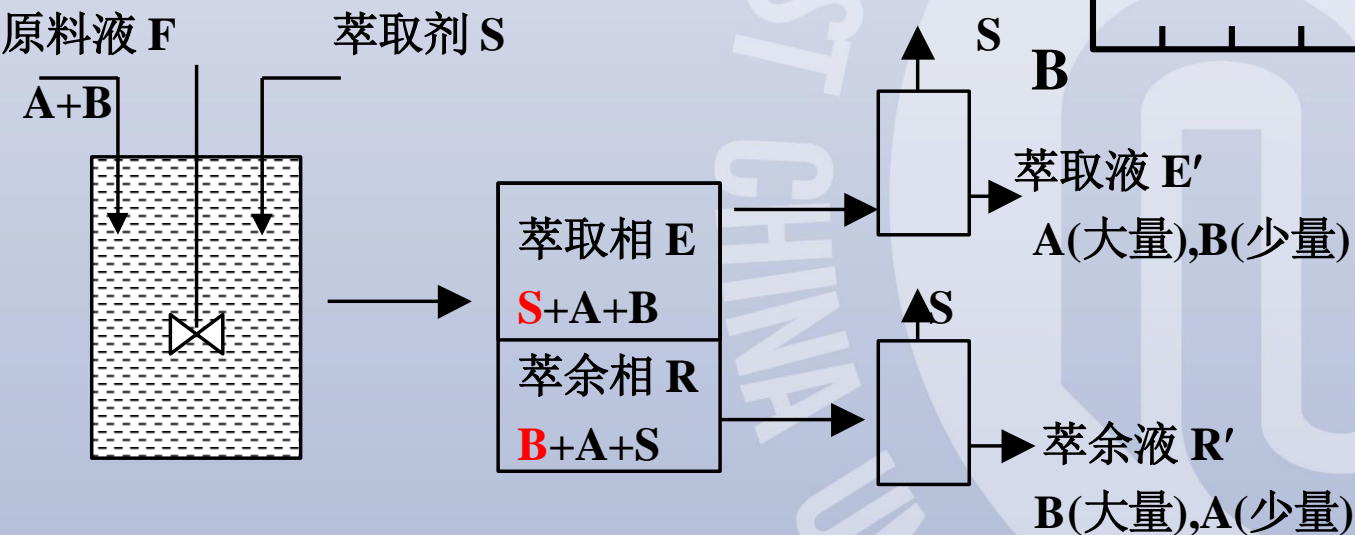
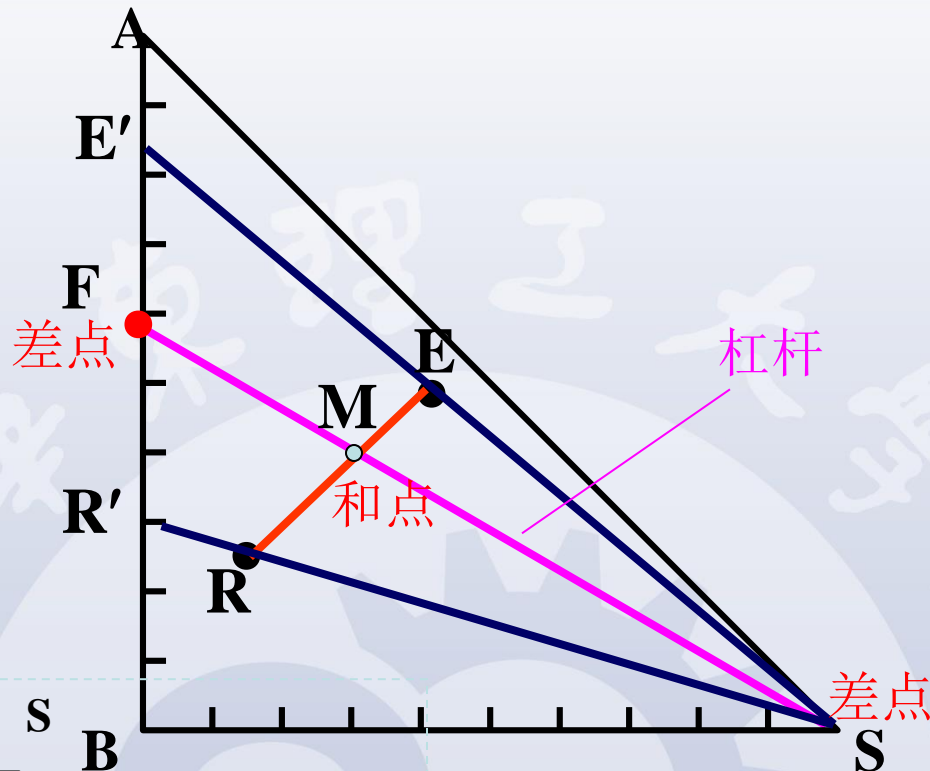
溶液组成的表示方法

11.2.1.2 三角形相图的应用

- 1、查取浓度；
- 2、表示混合、分离等过程；
- 3、定量计算----杠杆原理

杠杆原理：
$$\frac{F}{S} = \frac{\overline{MS}}{\overline{FM}}$$

$$\frac{R}{E} = \frac{\overline{ME}}{\overline{RM}}$$



11.2.1.2.1 物料衡算与杠杆定律

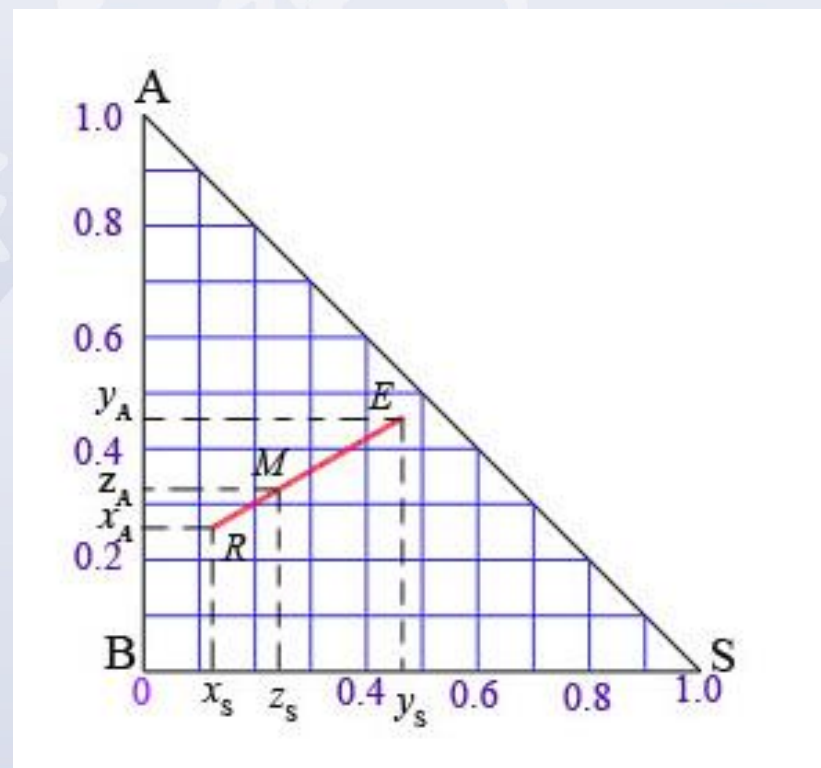
设 $R (x_A, x_B, x_S)$ 与 $E (y_A, y_B, y_S)$ 混合，
得 $M (z_A, z_B, z_S)$ 。

$$\begin{cases} M = R + E \\ Mz_A = Rx_A + Ey_A \\ Mz_S = Rx_S + Ey_S \end{cases}$$

$$\therefore \frac{E}{R} = \frac{z_A - x_A}{y_A - z_A} = \frac{z_S - x_S}{y_S - z_S}$$

$$\frac{E}{R} = \frac{RM}{EM}$$

以哪个为支点？



溶液组成的表示方法

11.2.1.2.2 混合物的和点和差点

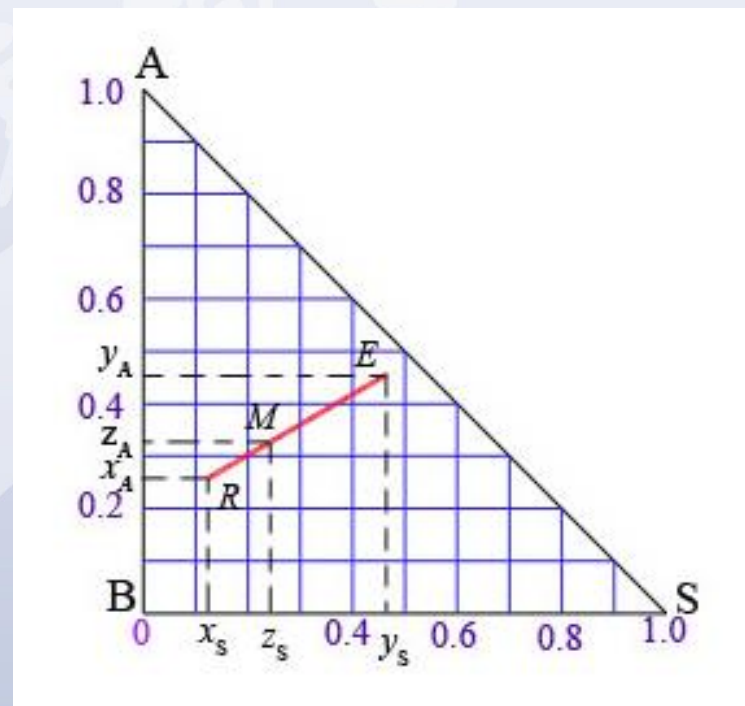
M 为 R 与 E 的和点

R 为 M 与 E 的差点

E 为 M 与 R 的差点

$$\frac{E}{M} = \frac{\overline{MR}}{\overline{RE}}$$

以哪个为支点？



溶液组成的表示方法

AP 线:

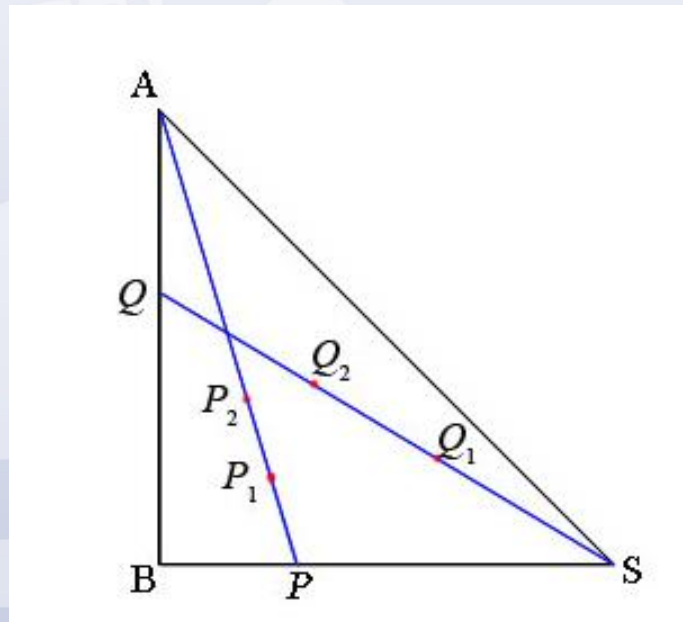
B 与 S 的相对比值与原二元溶液相同

P_1 、 P_2 均为 A 与 P 的和点

SQ 线:

A 与 B 的相对比值与原二元溶液相同

Q_2 、 Q 均为 Q_1 与 S 的差点



混合液的和点和差点

11.2.2 部分互溶物系的相平衡

自由度: $F = N - \Phi + 2 = 3 - 2 + 2 = 3$

T 、 p 一定, 互成平衡的两相组成自由度为1。

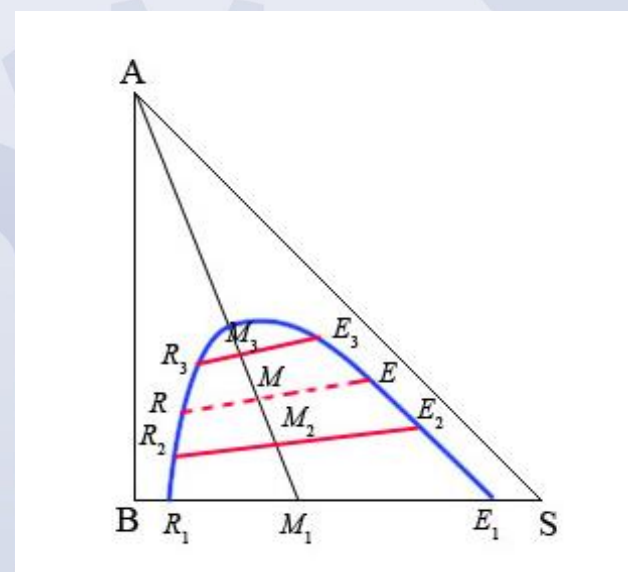
11.2.2.1 溶解度曲线和平衡联结线

溶解度曲线:

$$y_s = \varphi(y_A); \quad x_s = \varphi(x_A)$$

平衡联结线:

$$y_A = f(x_A)$$

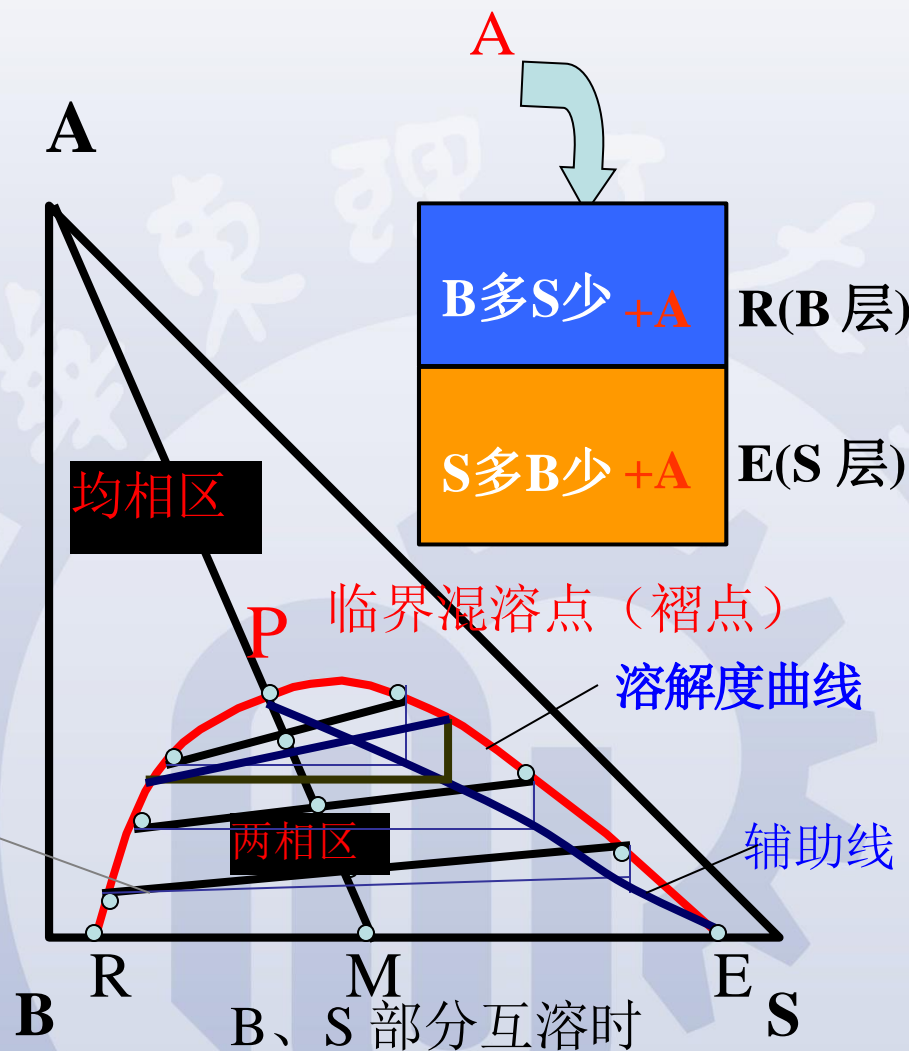


平衡联结线

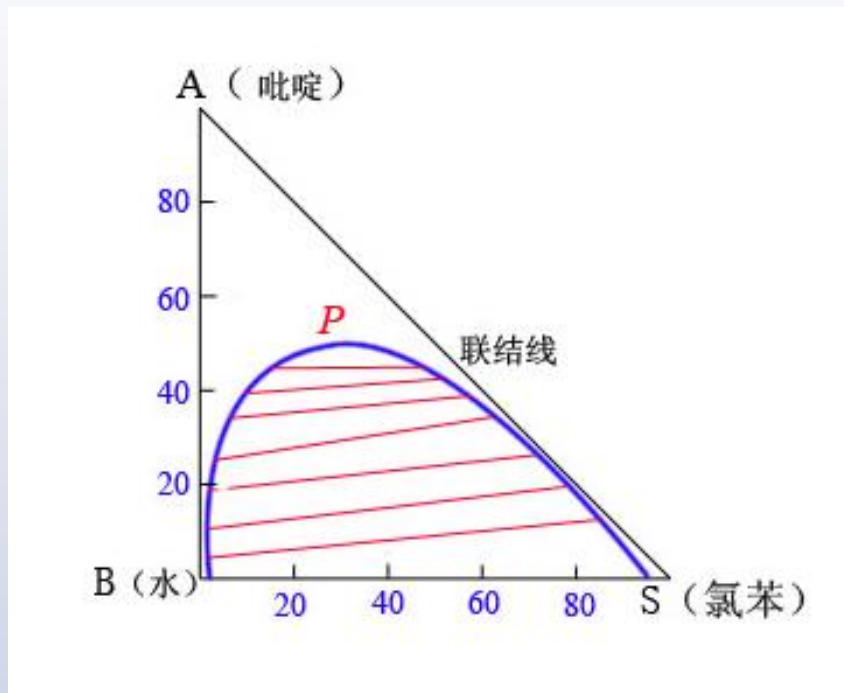
11.2.2.2 萃取过程中的相平衡关系

1、B与S部分互溶时
 溶解度曲线、
 共轭线
 辅助线、

思考：若B与S互溶度变大，
 则两相区范围如何变化？
 对萃取过程有利还是不利？

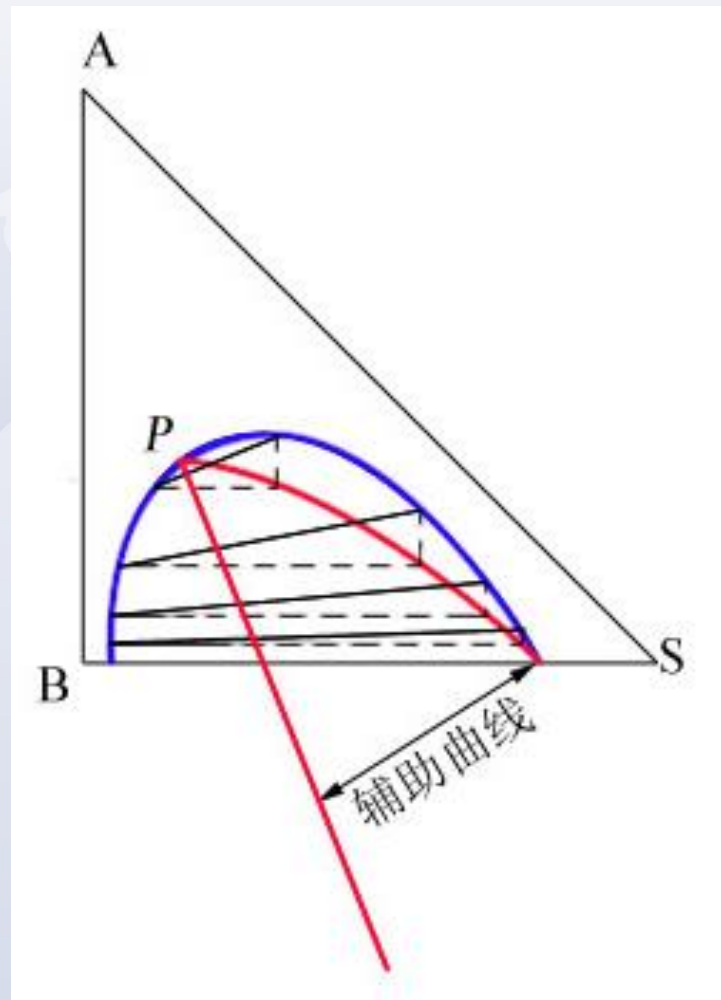


临界混溶点 (P)



吡啶-氯苯-水系统的平衡联结线

两共轭相的组成无限趋近而变为一相，表示这一组成的点。



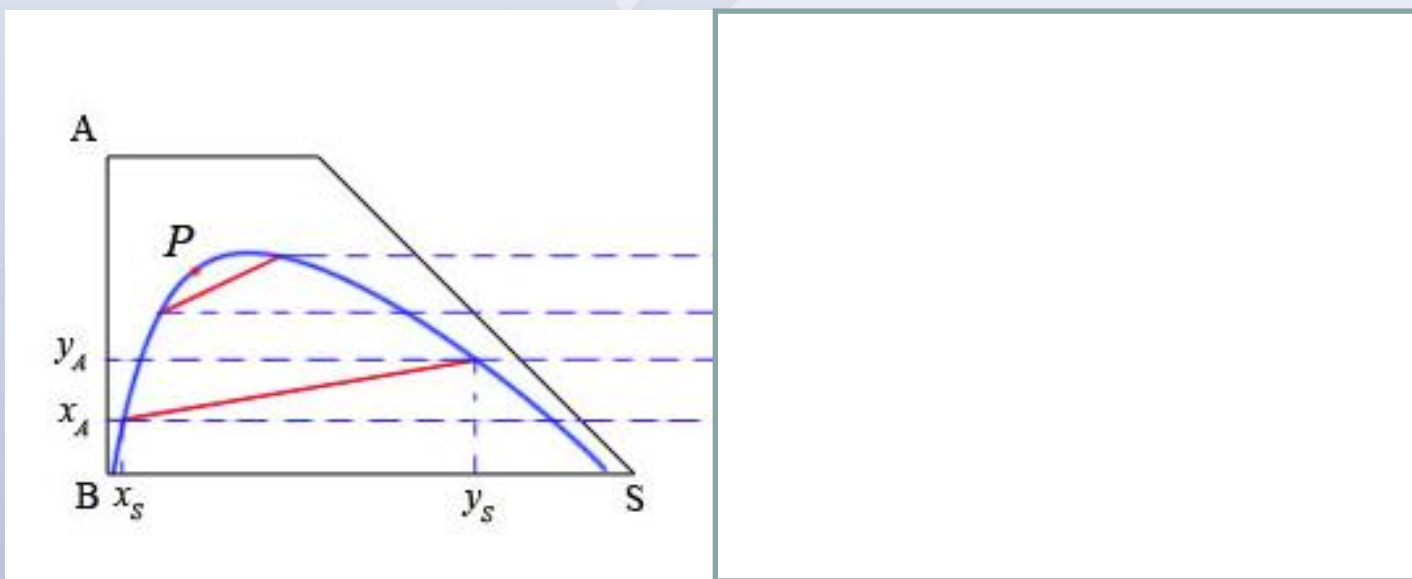
辅助曲线的作法

11.2.2.4 分配曲线与分配系数

$$y_A = f(x_A)$$

$$k_A = \frac{y_A}{x_A} = \frac{\text{萃取相 } E \text{ 中 } A \text{ 的质量分数}}{\text{萃余相 } R \text{ 中 } A \text{ 的质量分数}}$$

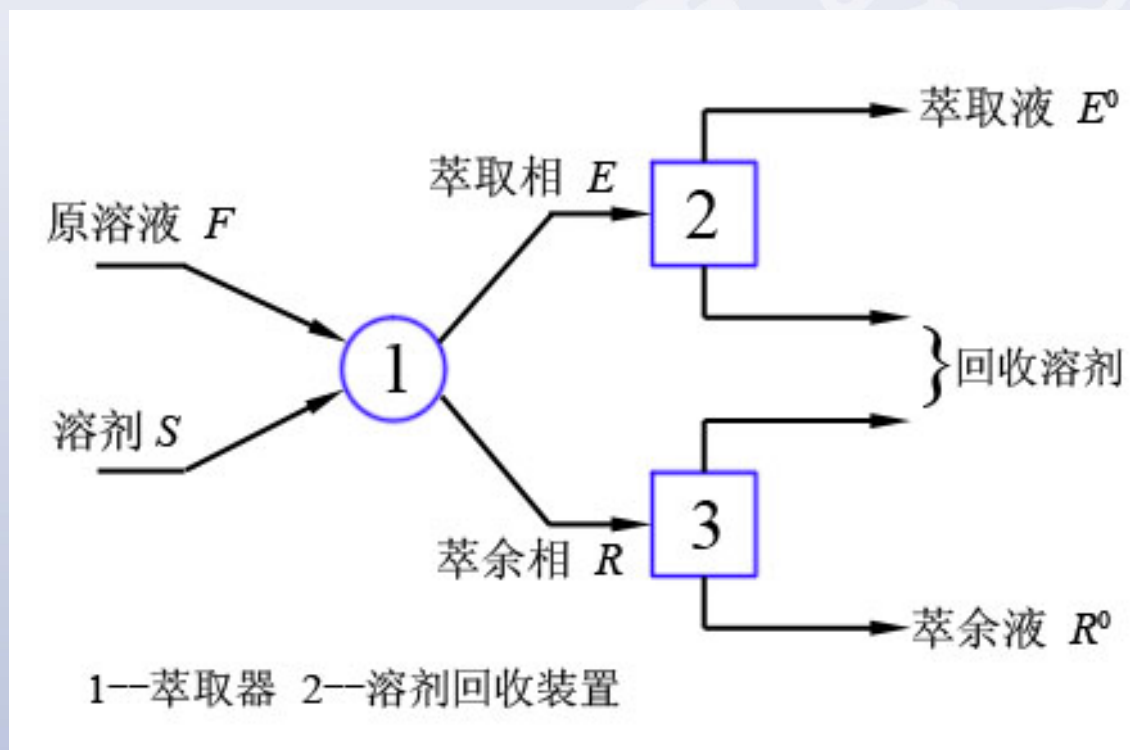
$$k_B = \frac{y_B}{x_B}$$



分配曲线与平衡联结线的关系

11.2.3 液液相平衡与萃取操作的关系

11.2.3.1 级式萃取过程的图示

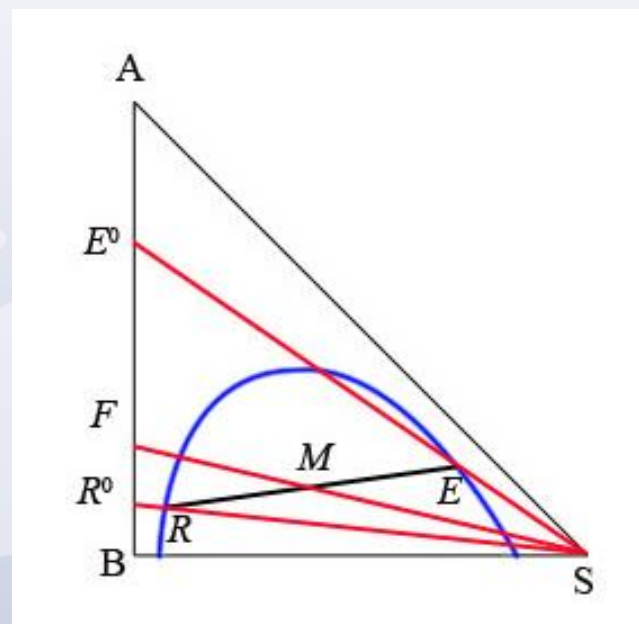


单级萃取过程

$$F = E^0 + R^0$$

$$F x_{FA} = E^0 y_A^0 + R^0 x_A^0$$

整个过程将组成为 F 点的混合物分离成为含 A 较多的萃取液 E^0 与含 A 较少的萃余液 R^0 。

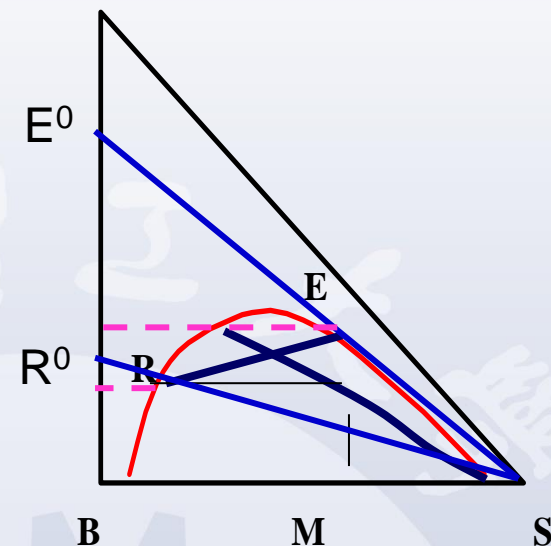


单级萃取过程

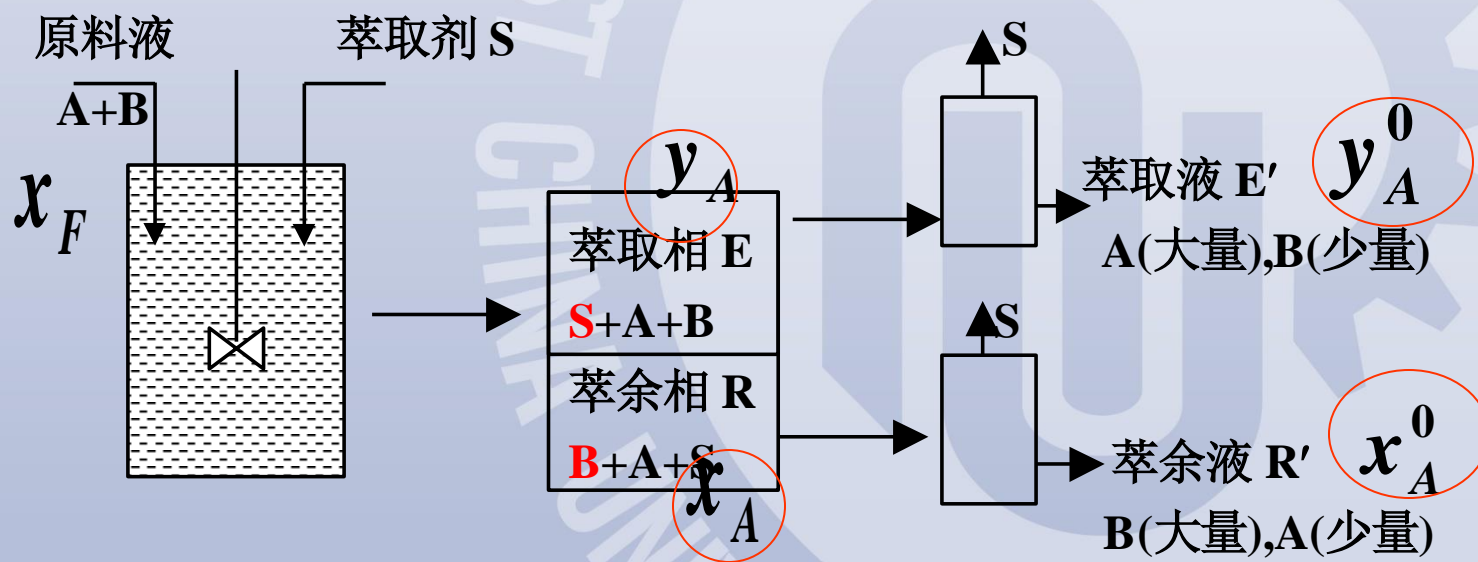
11.2.3.2 选择性系数 β

$$k_A = \frac{y_A}{x_A} \quad k_B = \frac{y_B}{x_B}$$

$$\beta = \frac{k_A}{k_B} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B} = \frac{y_A^0/y_B^0}{x_A^0/x_B^0}$$



要求: $\beta \neq 1$,
 k_A 越大越好, k_B 越小越好。



选择性系数 β 表示溶质A在两液相中浓度的差异

$$\beta = \frac{k_A}{k_B} = \frac{y_A / y_B}{x_A / x_B} = \frac{y_A^0 / (1 - y_A^0)}{x_A^0 / (1 - x_A^0)}$$

$$y_A^0 = \frac{\beta x_A^0}{1 + (\beta - 1)x_A^0}$$

$\beta > 1$ ，能萃取分离；

$\beta = 1$ ，平衡联结线的延长线过S点，不能萃取分离；

$\beta \rightarrow \infty$ ，B与S不互溶。

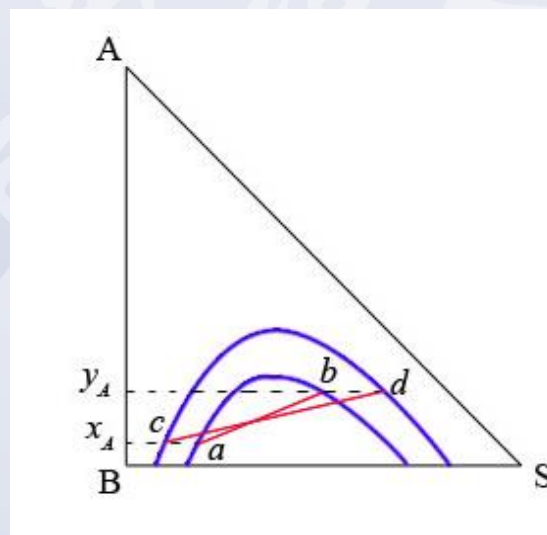
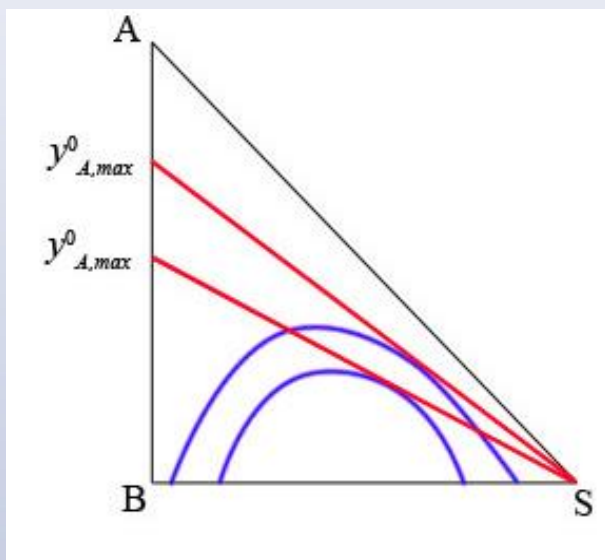
- 在B-S部分互溶的单级萃取中，进料中含A=55kg，B=45kg，用纯溶剂萃取，已知萃取相中 $y_A / y_B = 12/5$ ，萃余液中 $x_A^0 / x_B^0 = 2/5$ ，试求：选择性系数 β

$$x_A / x_B = x_A^0 / x_B^0 = 2/5$$

$$\beta = \frac{y_A / y_B}{x_A / x_B} = \frac{12/5}{2/5} = 6.0$$

11.2.3.3 互溶度的影响

互溶度越小，萃取的操作范围越大， $y_{A,\max}^0$ 越高。



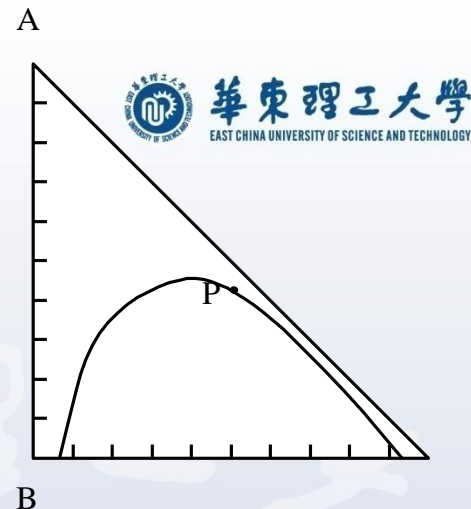
β 不同

K相同

互溶度对萃取过程的影响

一般，温度降低，互溶度减小，利于萃取。

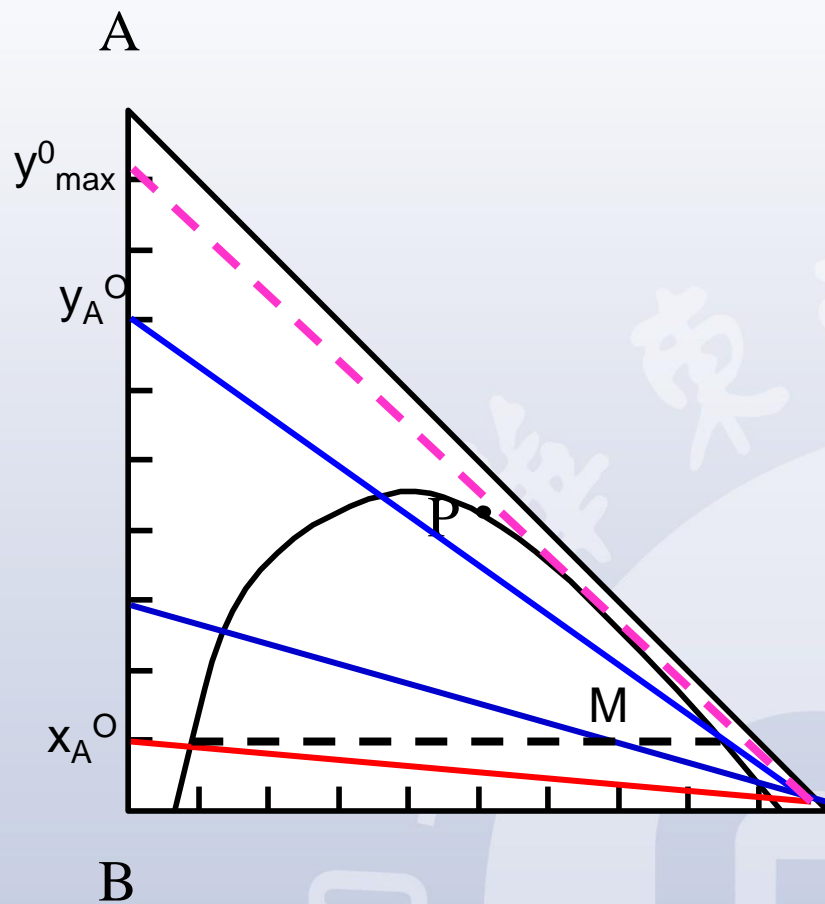
作图



- [1] 作图题 已知 $x_f=0.3$**
 $x_A^0=0.1$, $K_A=1$, 纯S, 单级萃取。
 求: β 、M点的位置, y^0_{\max}
- [2] 在B—S部分互溶物系中, 已知临界P均不在最高点, 试画出分配曲线 (二种)**

A. $K_A < 1$,

B. $K_A > 1$



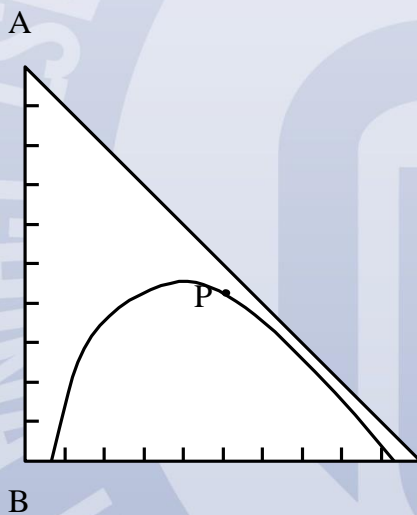
$$\beta = \frac{k_A}{k_B} = \frac{y_A / y_B}{x_A / x_B} = \frac{y_A^0 / (1 - y_A^0)}{x_A^0 / (1 - x_A^0)}$$

作图

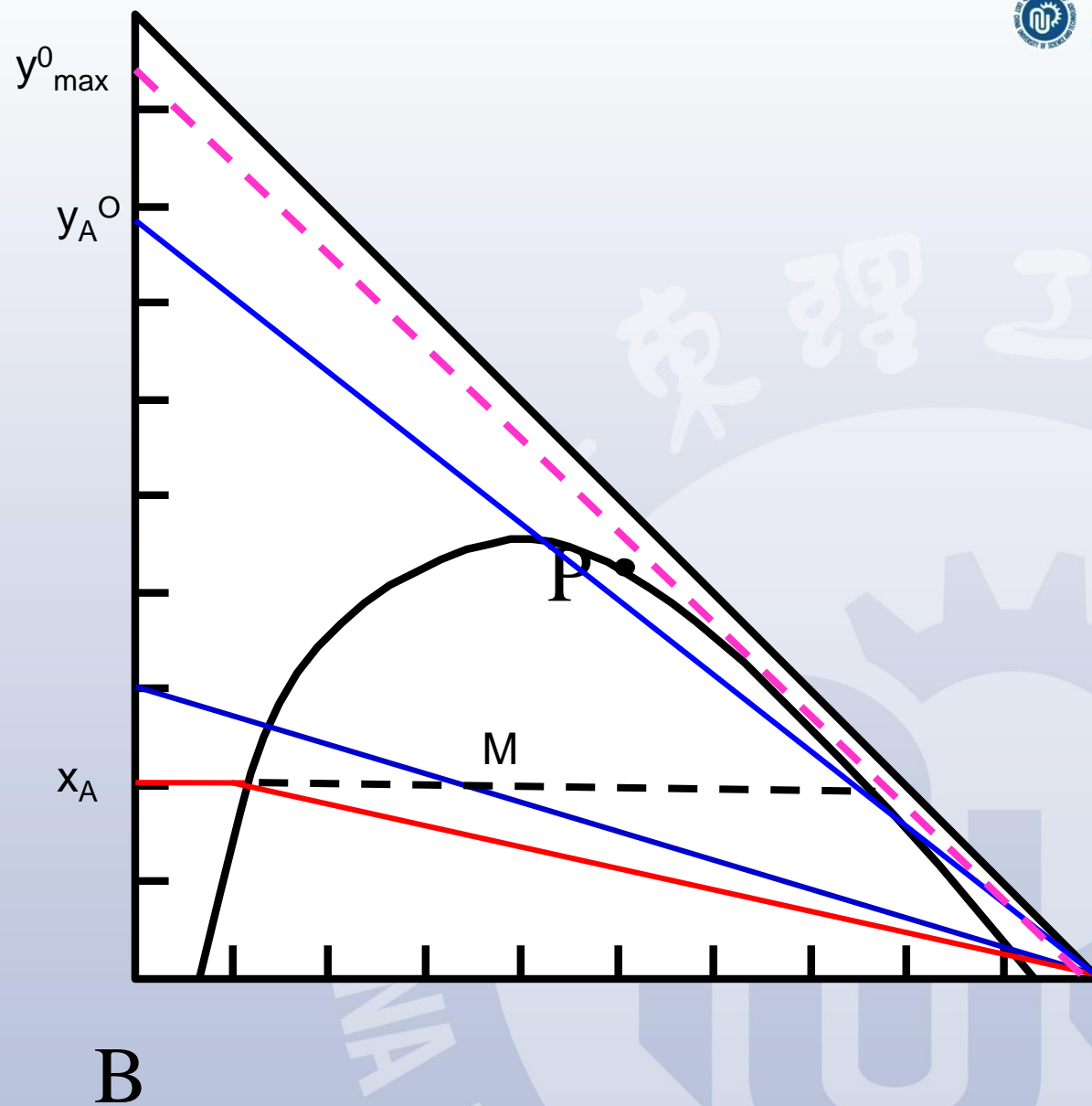
- [1] 作图题 已知 $x_f=0.3$

$x_A=0.2$, $K_A=1$, 纯 S, 单级萃取。

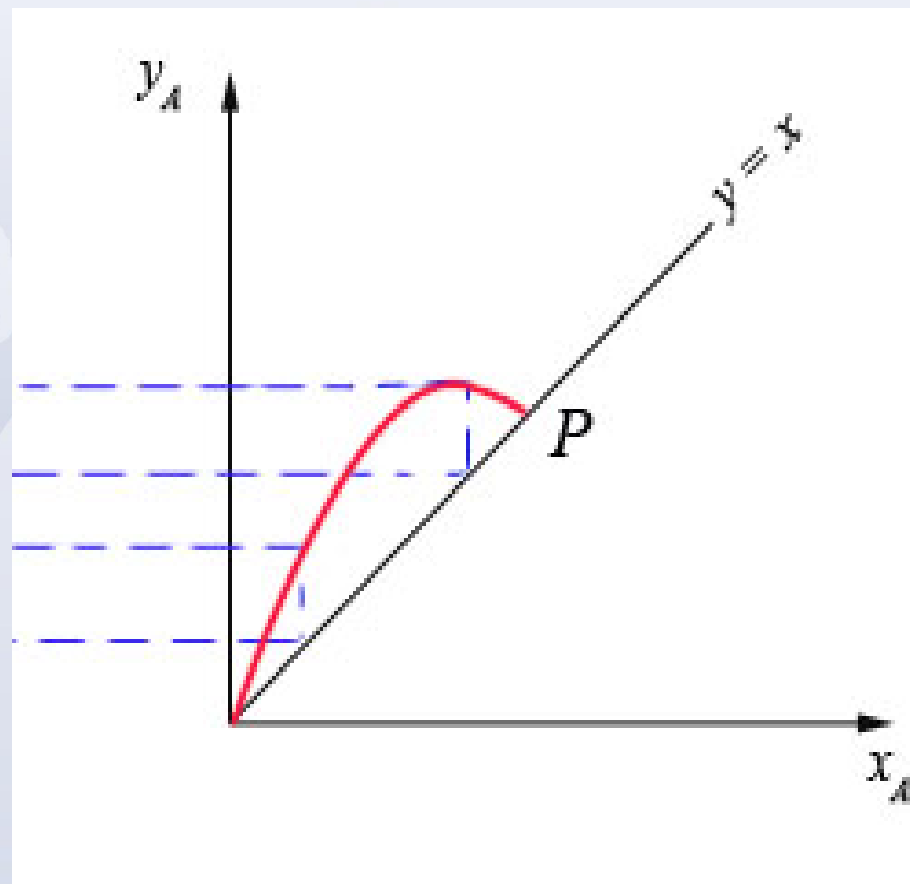
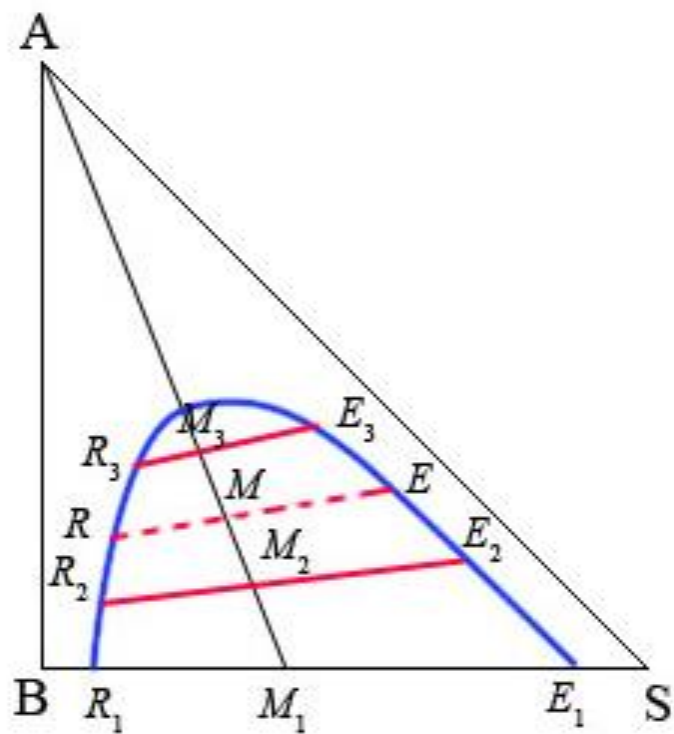
求: β 、M点的位置, y^0_{\max}



A



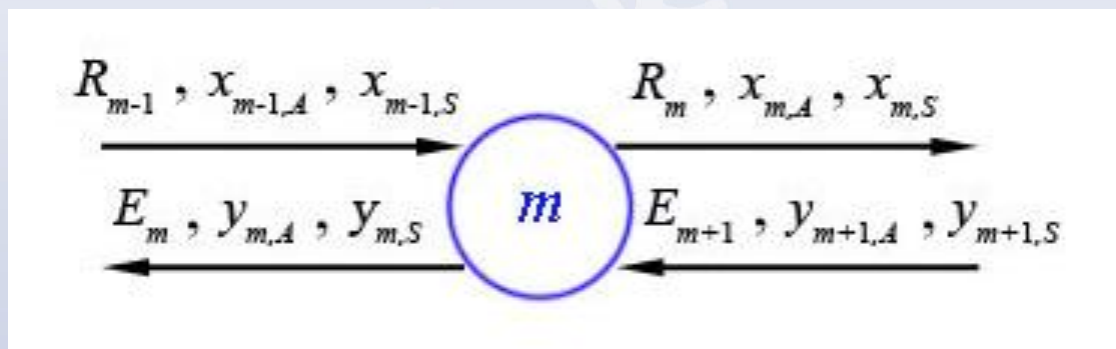
$$K_A > 1$$



11.3.萃取过程计算

11.3.1 萃取级内过程的数学描述

11.3.1.1 单一萃取级的物料衡算



萃取级的物料衡算

总物料衡算式 $R_{m-1} + E_{m+1} = R_m + E_m$

溶质A衡算式 $R_{m-1}x_{m-1,A} + E_{m+1}y_{m+1,A} = R_mx_{m,A} + E_my_{m,A}$

溶剂S衡算式 $R_{m-1}x_{m-1,S} + E_{m+1}y_{m+1,S} = R_mx_{m,S} + E_my_{m,S}$

11.3.1.2 理论级与级效率

理论级：进入 m 级的 R_{m-1} 和 E_{m+1} ，不论组成如何，传质之后，离开 m 级的 R_m 与 E_m 达到平衡状态。

特征方程： $y_{m,S} = \varphi(y_{m,A})$

$$x_{m,S} = \varphi(x_{m,A})$$

$$y_{m,A} = f(x_{m,A})$$

级效率：实际萃取级和理论萃取级分离能力的差异。

11.3.2 单级萃取

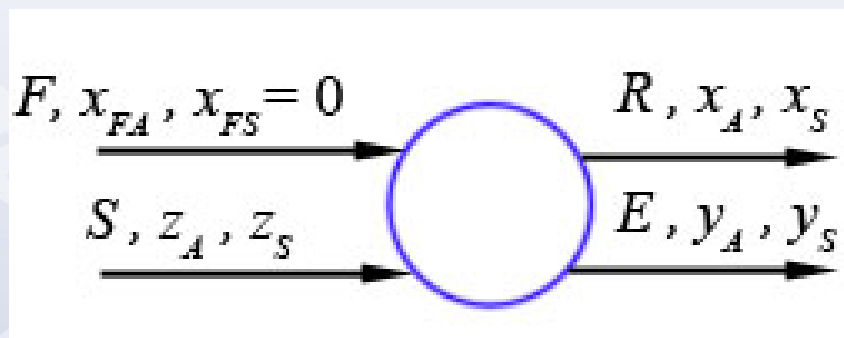
11.3.2.1 单级萃取的解析计算

物料衡算

$$F + S = R + E$$

$$Fx_{FA} + Sz_A = Rx_A + Ey_A$$

$$Sz_S = Rx_S + Ey_S$$



单级萃取

假设萃取器相当于一个理论级，则特征方程

$$y_S = \varphi(y_A)$$

$$x_S = \varphi(x_A)$$

$$y_A = f(x_A)$$

设计型问题

已知: F, x_{FA} 物系的相平衡关系;

工艺要求规定 x_A ;

选择 z_A, z_S ,

求: S, E, y_A, y_S, R, x_S 。

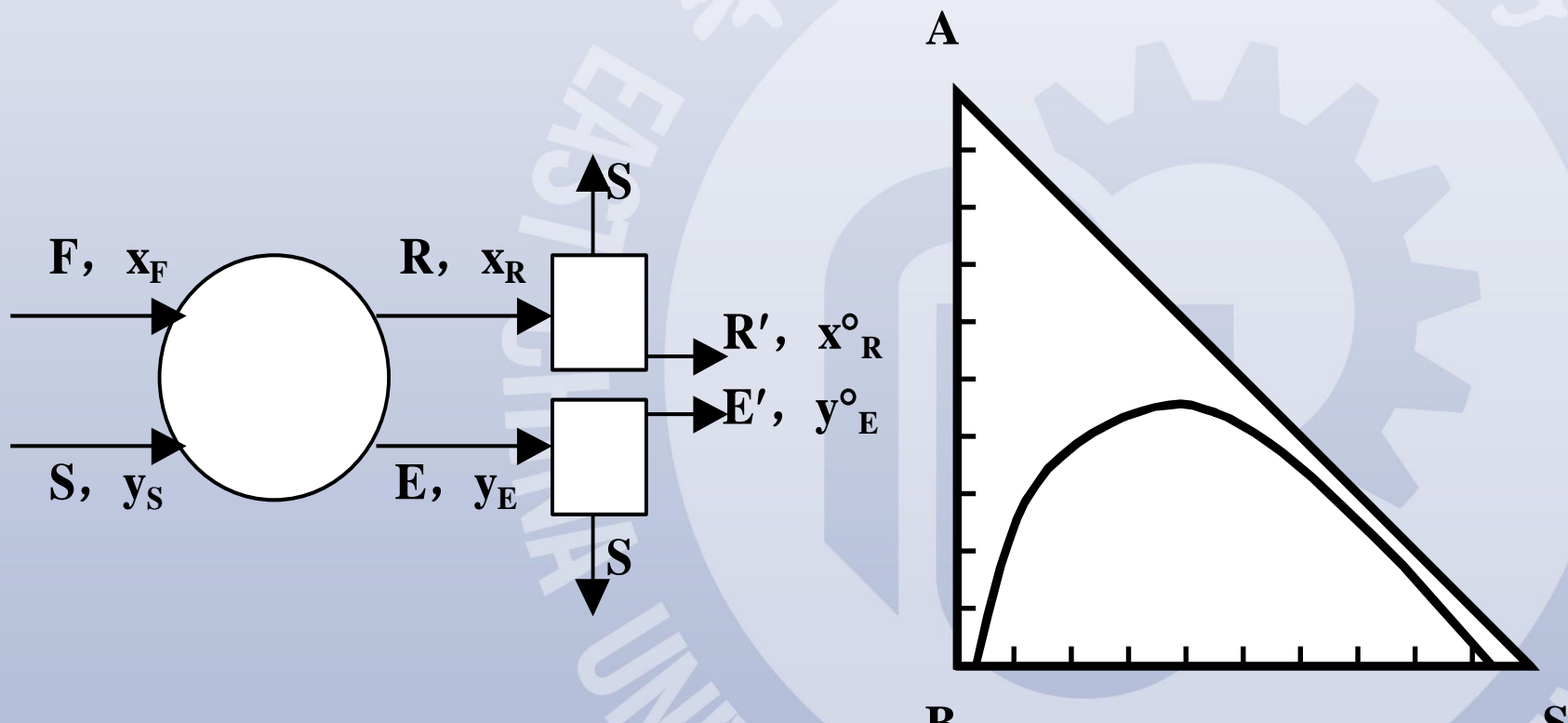
操作型问题

已知: $F, S, x_{FA}, x_{FS}, z_A, z_S$ 。

求: E, R, y_A, y_S, x_A, x_S 。

例1 单级萃取

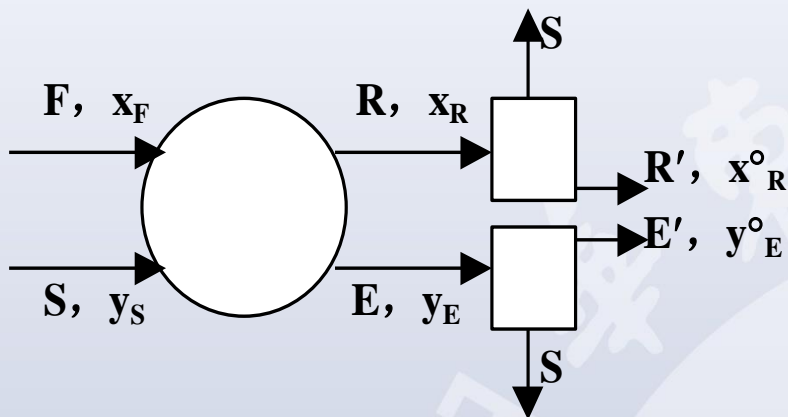
采用纯溶剂进行单级萃取。已知料液组成 $x_F=0.3$ (质量分率, 下同), 选择性系数为6, 在萃余相中 $x_A/x_B = 0.25$, $k_A < 1$, 溶解度曲线如图所示。试求:
萃取液量与萃余液量的比值;



单级萃取计算举例

解： 萃取液量与萃余液量的比值

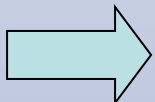
解析法：



$$\begin{cases} R' + E' = F \\ R'x_A^0 + E'y_A^0 = Fx_F \end{cases}$$

$$\frac{x_A}{x_B} = \frac{x_A^0}{1 - x_A^0} = 0.25 \quad \therefore x_A^0 = 0.2$$

$$y_A^0 = \frac{\beta x_A^0}{1 + (\beta - 1)x_A^0} = 0.6$$


$$\frac{E'}{R'} = \frac{x_F - x_A^0}{y_A^0 - x_F} = \frac{0.3 - 0.2}{0.6 - 0.3} = \frac{1}{3}$$

11.3.2.2 单级萃取的图解计算

B、S部分互溶时

已知: F 、 x_F 、 y_S 、 x_R (或 x_R^0 、 y_E 、 y_E^0)、
相平衡关系。

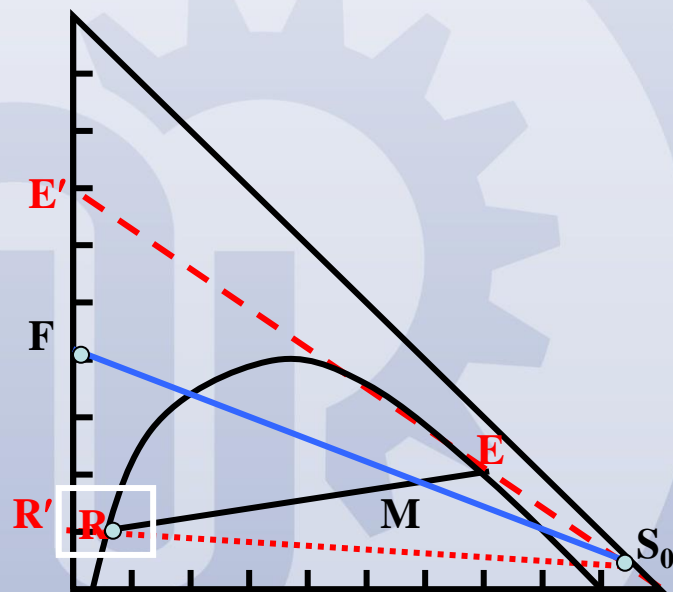
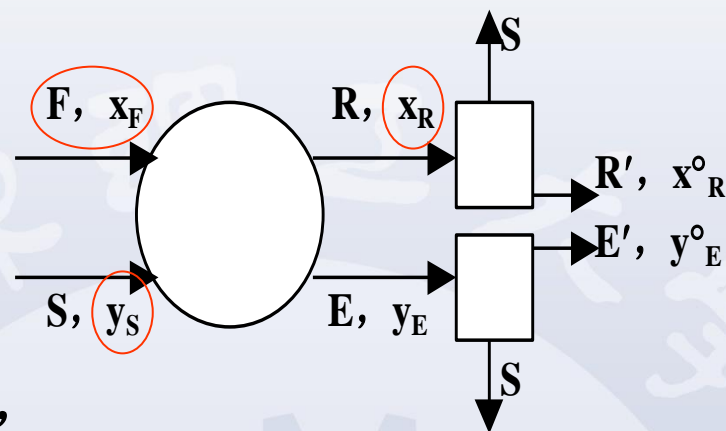
求: S 、 R 、 E 、另一相浓度

图解法:

确定点 F 、 S (或 S_0)、点 R 或 R' 、点 E ，
作联结线，找到点 M ，利用杠杆原理求各量。

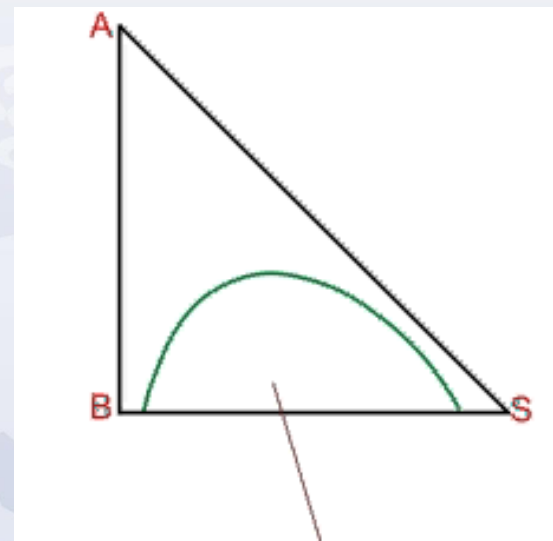
$$\frac{S}{F} = \frac{\overline{FM}}{\overline{MS}} \quad \begin{cases} \frac{R}{E} = \frac{\overline{ME}}{\overline{RM}} \\ R + E = F + S \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{R'}{E'} = \frac{\overline{FE'}}{\overline{R'F}} \\ R' + E' = F \end{cases}$$



图解步骤

- (1) 由 x_A 定 R ;
- (2) 过 R 由平衡联结线定 E ;
- (3) 由 x_{FA} 定 F ;
- (4) 联结 \overline{FS} (纯溶剂萃取时), 交 \overline{RE} 于 M 点。



单级萃取

$$\frac{F}{S} = \frac{\overline{SM}}{\overline{FM}} \quad E = M \cdot \frac{\overline{MR}}{\overline{RE}}$$

$$M = F + S \quad R = M - E$$

11.3.2.3 单级萃取的操作范围

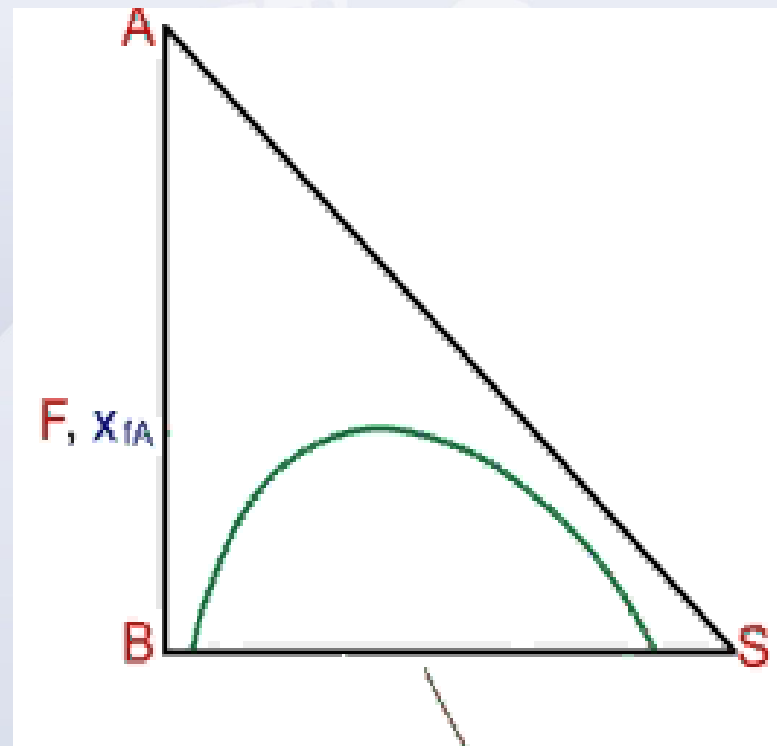
F, x_{FA} 一定, $S \uparrow, M \rightarrow S$, 以C点为限。

$$\left(\frac{S}{F}\right)_{\max} = \frac{\overline{FC}}{\overline{SC}} \Rightarrow x_{A,\min}^0$$

从S点作溶解度曲线的切线 \overline{Se} , 得 $y_{A,\max}^0$

过切点 e 作平衡联结线 \overline{er} , 交 \overline{FS} 于M点

$$S = F \cdot \left(\frac{\overline{FM}}{\overline{SM}}\right)$$



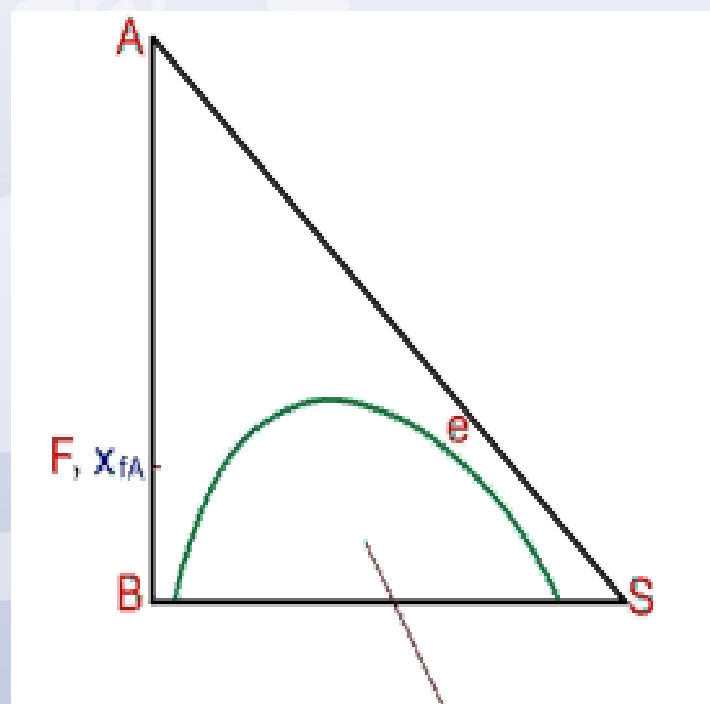
单级萃取操作的分离范围

当 x_{FA} 较低、 k_A 较小时，
 单级萃取无法实现E相组成
 到达切点 e , $S \downarrow$, $y_A \uparrow$ 。

$$\left(\frac{S}{F}\right)_{\min} = \frac{\overline{Fd}}{\overline{Sd}}$$

过 d 作平衡联结线 \overline{dg} ,

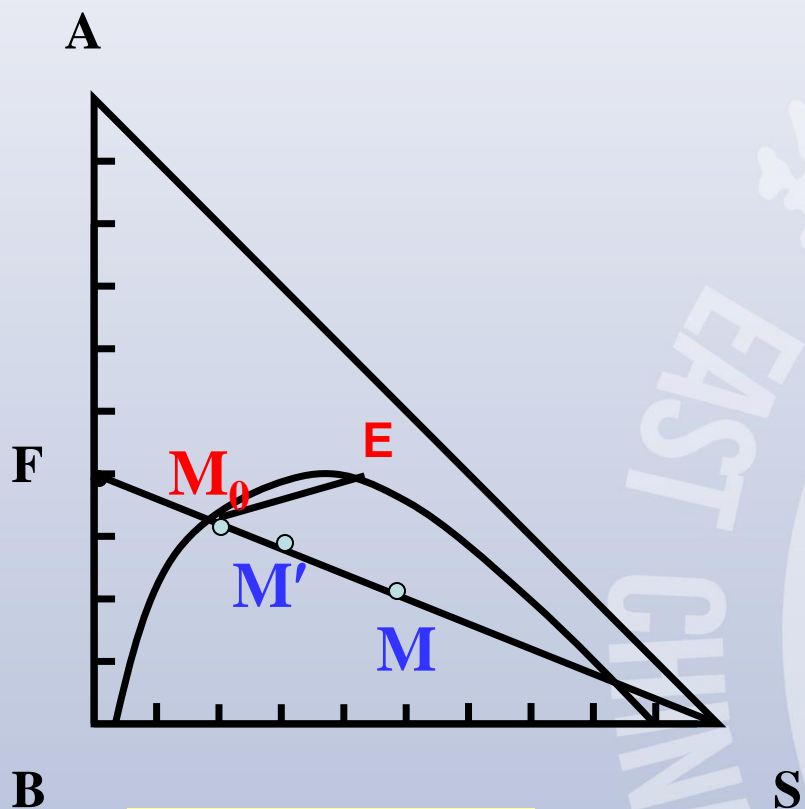
由 \overline{sg} 得 $y_{A,\max}^0$



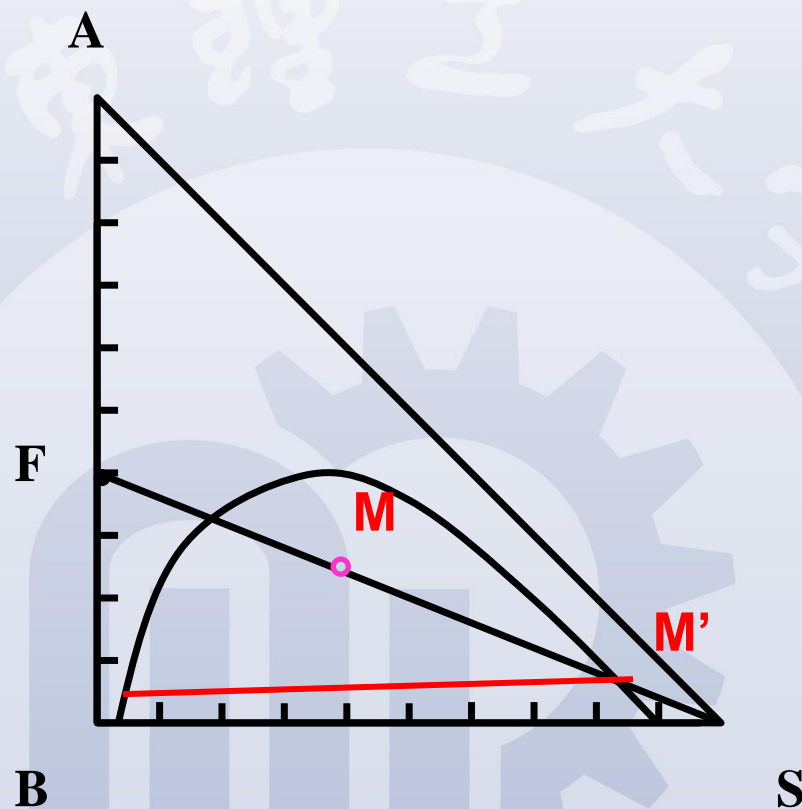
单级萃取操作的分离范围

最小萃取剂用量 S_{\min}

最大萃取剂用量 S_{\max}



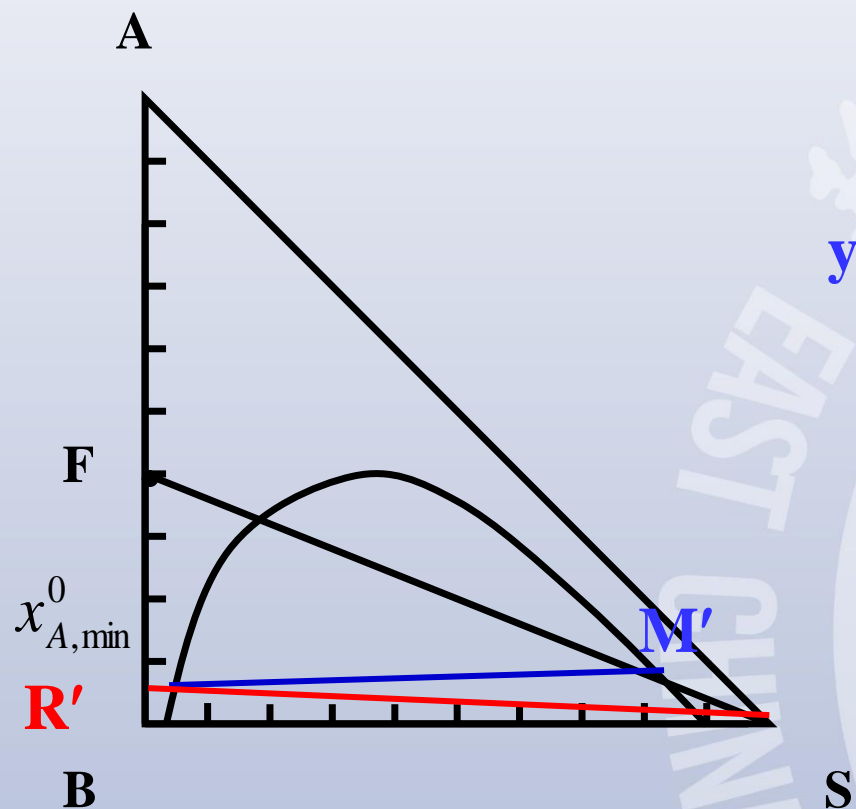
$$S_{\min} = F \times \frac{\overline{FM_0}}{\overline{SM_0}}$$



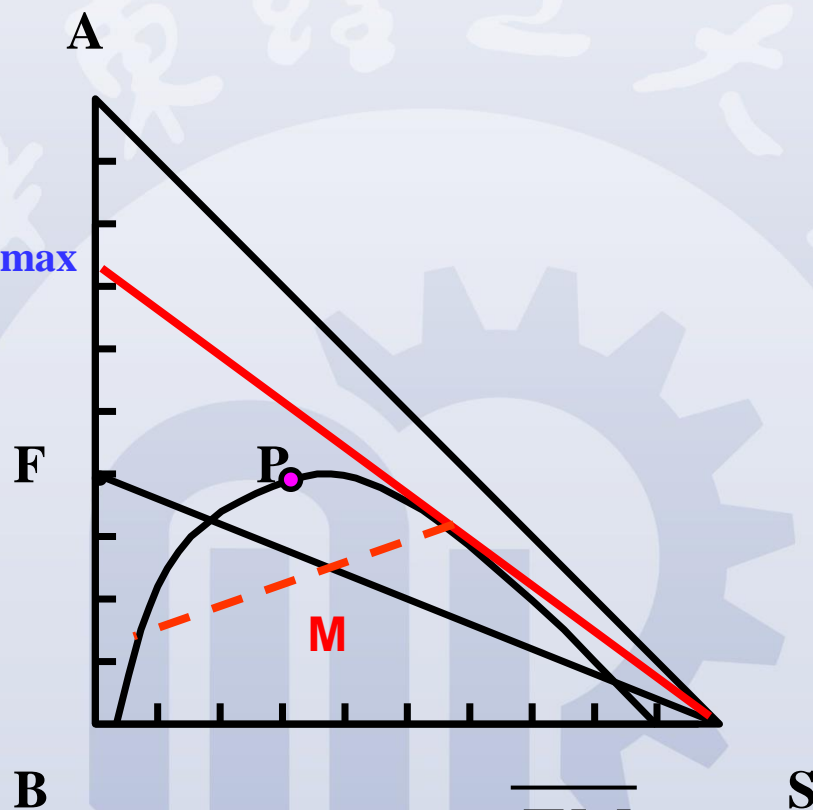
$$S_{\max} = F \times \frac{\overline{FM'}}{\overline{SM'}}$$

最小萃余液浓度 $x_{A,\min}^0$

最大萃取液浓度 $y_{A,\max}^0$



$$S_{\max} = F \times \frac{\overline{FM'}}{\overline{SM'}}$$

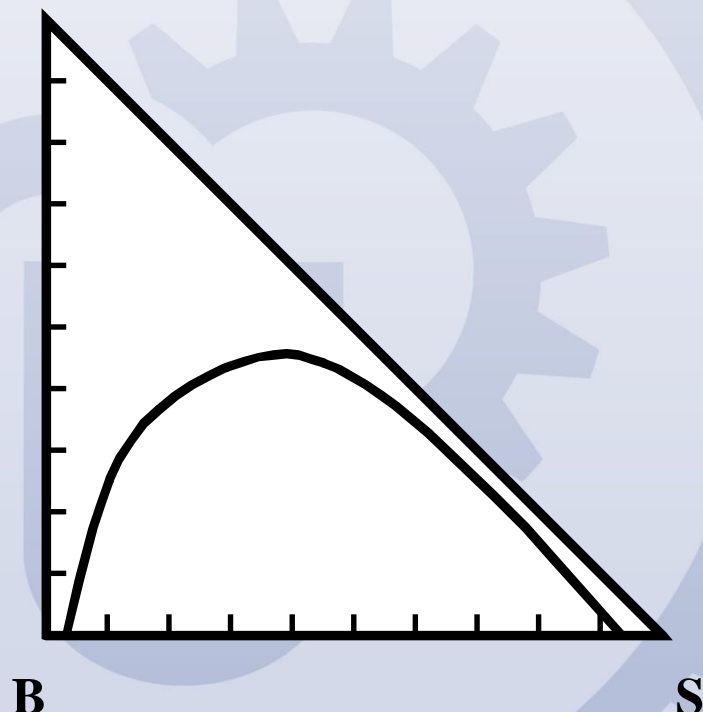
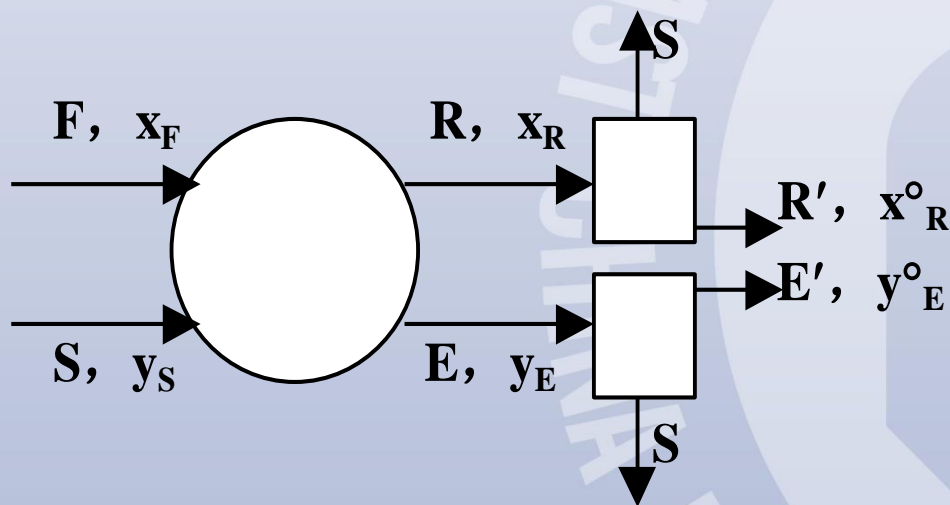


$$S = F \cdot \left(\frac{\overline{FM}}{\overline{SM}} \right)$$

例1 单级萃取

采用纯溶剂进行单级萃取。已知料液组成 $x_F=0.3$ (质量分率, 下同), 选择性系数为6, 在萃余相中 $x_A/x_B = 0.25$, $k_A < 1$, 溶解度曲线如图所示。试求:

- (1) 萃取液量与萃余液量的比值;
- (2) 溶剂比 S/F 是最小溶剂比 $(S/F)_A \min$ 多少倍? (用线段表示)



单级萃取计算举例

纯溶剂, $x_F=0.3$, 选择性系数为6,

$$k_A < 1 \quad x_A / x_B = 0.25$$

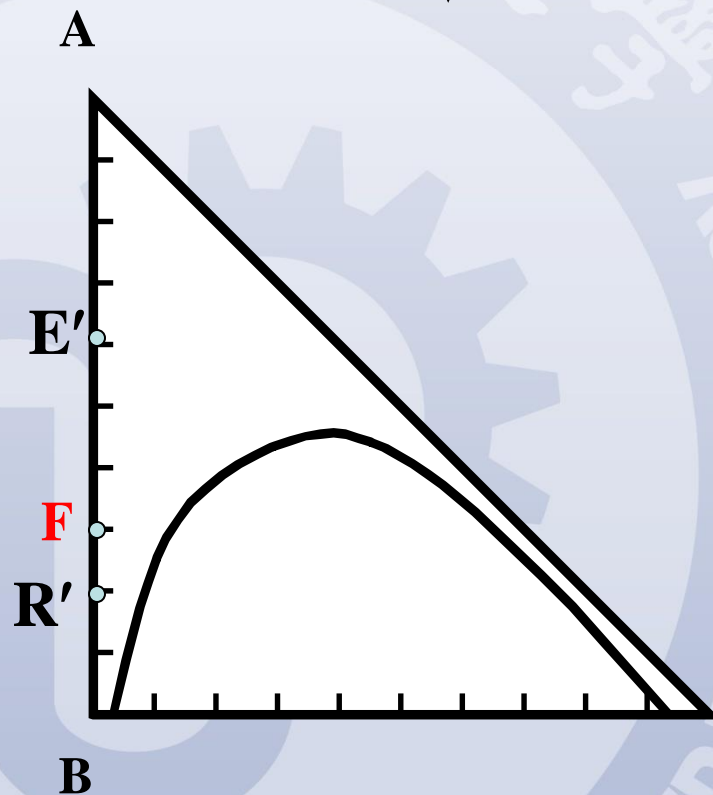
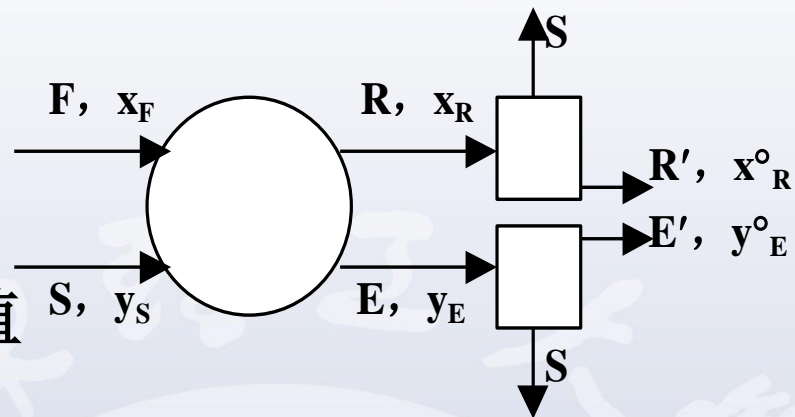
解: (1) 萃取液量与萃余液量的比值

图解法: 找到点F、E'、R', 然后应用杠杆原理求E'、R'的大小。

$$\frac{x_A}{x_B} = \frac{x_A^0}{1 - x_A^0} = 0.25 \quad \therefore x_A^0 = 0.2$$

$$y_A^0 = \frac{\beta x_A^0}{1 + (\beta - 1)x_A^0} = 0.6$$

$$\frac{E'}{R'} = \frac{\overline{R'F}}{\overline{FE'}} = \frac{x_F - x_A^0}{y_A^0 - x_F} = \frac{0.3 - 0.2}{0.6 - 0.3} = \frac{1}{3}$$



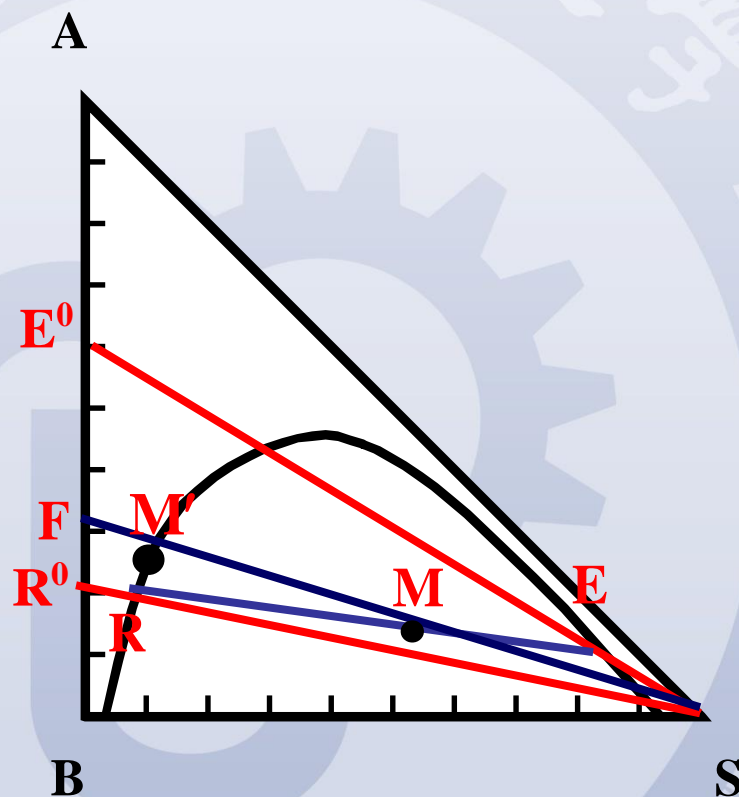
单级萃取计算举例

纯溶剂， $x_F=0.3$ ，选择性系数为6，

$$k_A < 1 \quad x_A / x_B = 0.25$$

解：（2）溶剂比 S/F 是最小溶剂比 $(S/F)_{\min}$ 多少倍？
（用线段表示）

$$\begin{aligned}
 \frac{S/F}{(S/F)_{\min}} &= \frac{\overline{MF}/\overline{MS}}{\overline{M'F}/\overline{M'S}} \\
 &= \frac{\overline{MF}}{\overline{M'F}} \cdot \frac{\overline{M'S}}{\overline{MS}}
 \end{aligned}$$



练 习

- 某二元混合液中含**40%**的**A**，含**60%**的**B**（均为**wt%**）。现用纯溶剂进行单级萃取，萃取相中 $y_A / y_B = 4$ ，分配系数 $k_A = 1$ ，
- $k_B = 1/12$ 。试求：
- （1）选择性系数 β
- （2）萃余液的浓度 x_A^0
- （3）萃取液量 E^0 与进料量 F 的比值 E^0/F 。

$$x_f = 0.4$$

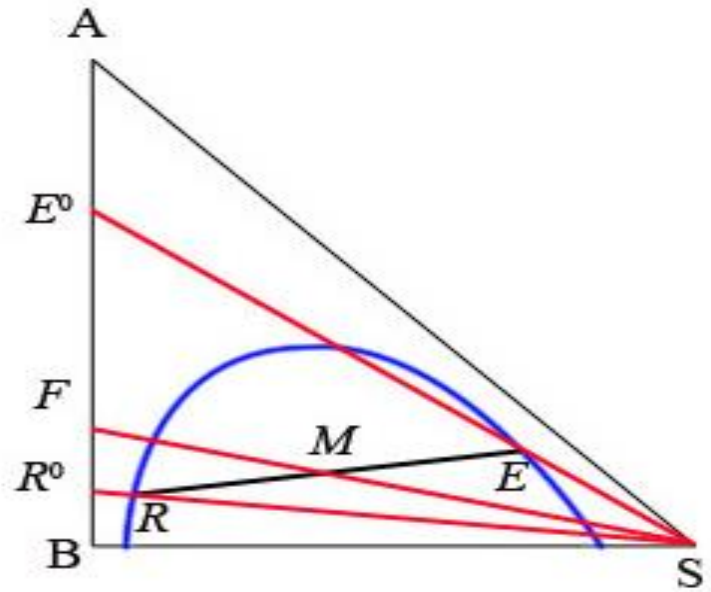
$$\frac{y_A}{y_B} = \frac{y_A^0}{y_B^0} = \frac{y_A^0}{1 - y_A^0} = 4 \quad y_A^0 = 0.8$$

$$\beta = \frac{y_A / x_A}{y_B / x_B} = \frac{k_A}{k_B} = \frac{1}{1/12} = 12$$

$$y_A^0 = \frac{\beta x_A^0}{1 + (\beta - 1)x_A^0}$$

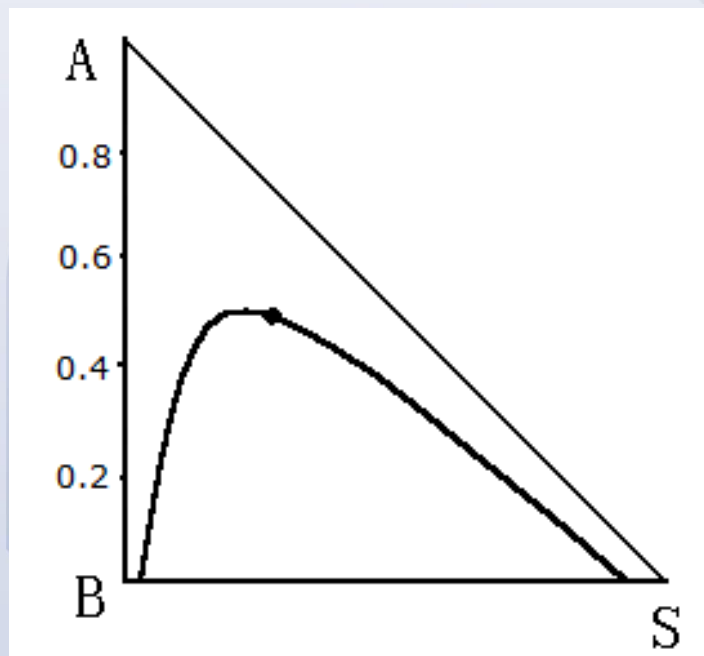
$$x_A^0 = \frac{y_A^0}{\beta - (\beta - 1)y_A^0} = \frac{0.8}{12 - 11 \times 0.8} = 0.25$$

$$\frac{E^0}{F} = \frac{\overline{FR^0}}{\overline{E^0R^0}} = \frac{x_f - x_A^0}{y_A^0 - x_A^0} = \frac{0.4 - 0.25}{0.8 - 0.25} = 0.273$$



图示某萃取物系的互溶曲线：原料组成为 $x_f=0.4$ （质量分率，下同），用纯溶剂萃取，经单级萃取后所得的萃余相中含溶质A的浓度 $x_A=0.2$ ， $\beta=4.0$ ，求：

- ① 溶剂比 S/F ；
- ② 该级的分配系数 k_A ；



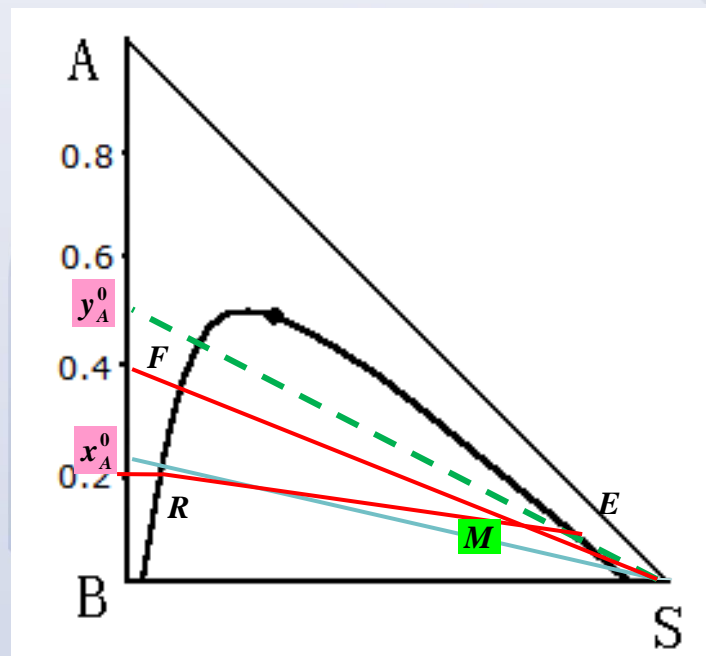
解:

$$(1) x_A \rightarrow R \rightarrow x_A^0 = 0.22$$

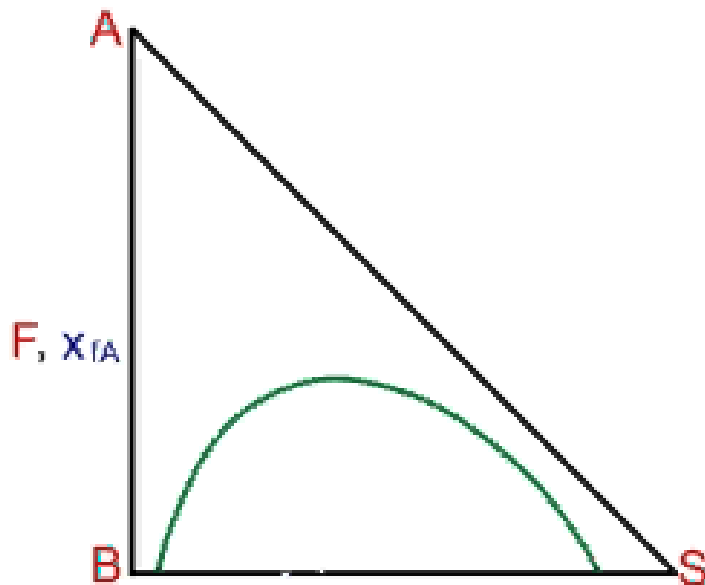
$$y_A^0 = \frac{\beta x_A^0}{1 + (\beta - 1)x_A^0} = \frac{4 \times 0.22}{1 + 3 \times 0.22} = 0.53$$

$$\frac{S}{F} = \frac{\overline{FM}}{\overline{SM}} = \frac{41}{18} = 2.28$$

$$(2) k_A = \frac{y_A}{x_A} = \frac{5.5}{11} = 0.5$$



多级错流萃取的计算是单级萃取的多次重复。



多级错流萃取

S=100kg一级萃取与S=50kg二级错流比较，哪个效果更好？

11.3.4 多级逆流萃取

11.3.4.1 多级逆流萃取的逐级计算

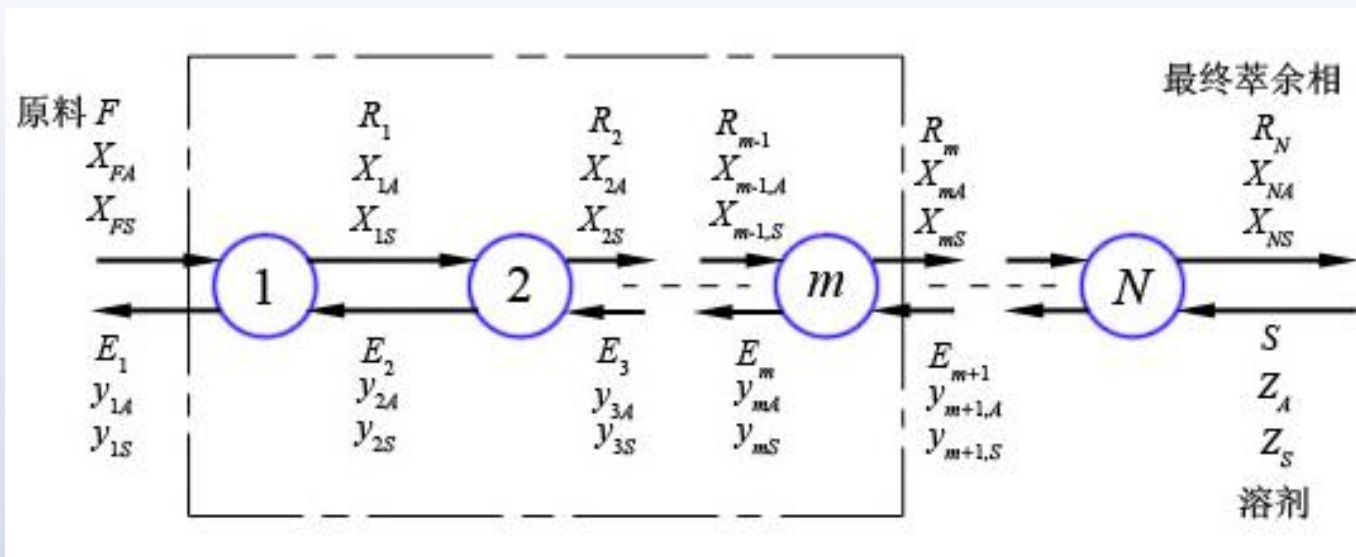
设计型问题

已知: F, x_{FA}, x_{FS} 及相平衡关系;

工艺要求规定 x_{NA} ;

选定 S, z_A, z_S ,

求: $N, E_i, R_i, y_{iA}, y_{iS}, x_{iA}, x_{iS}$



多级逆流萃取

$$F + E_{m+1} = R_m + F_1$$

$$F \cdot x_{FA} + E_{m+1} \cdot y_{m+1,A} = R_m \cdot x_{mA} + E_1 \cdot y_{1,A}$$

$$F \cdot x_{FS} + E_{m+1} \cdot y_{m+1,S} = R_m \cdot x_{mS} + E_1 \cdot y_{1,S}$$

若N已知，为操作型问题。

11.3.5 完全不互溶物系萃取过程的计算

11.3.5.1 组成与相平衡的表示方法

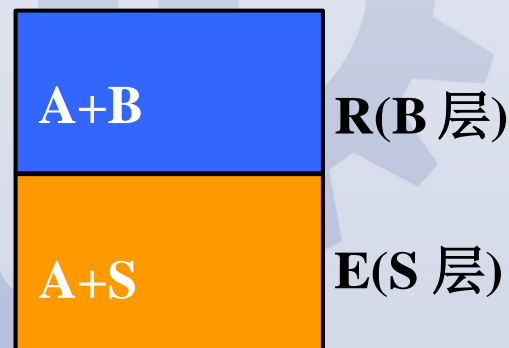
以惰性组分为基准表示溶液的浓度。

X — R 相组成, kgA / kgB

Y — E 相组成, kgA / kgS

相平衡方程: $Y = KX$

K 随浓度不同而异



11.3.5.2 单级萃取

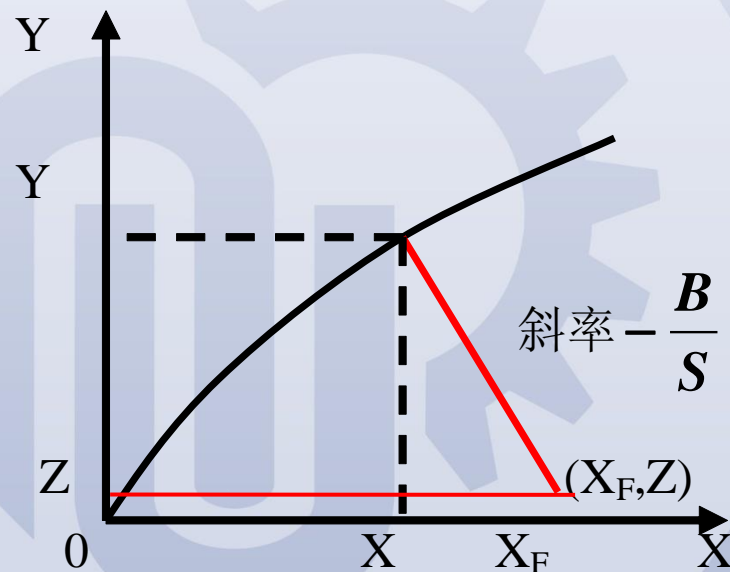
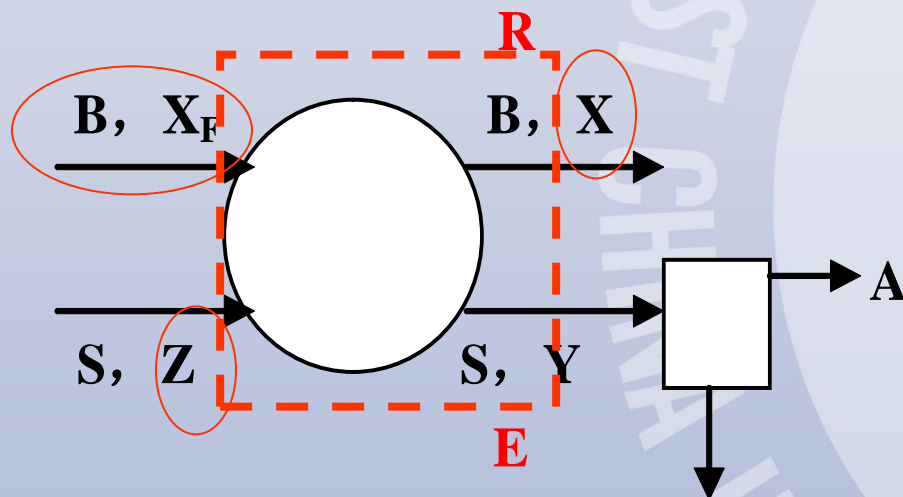
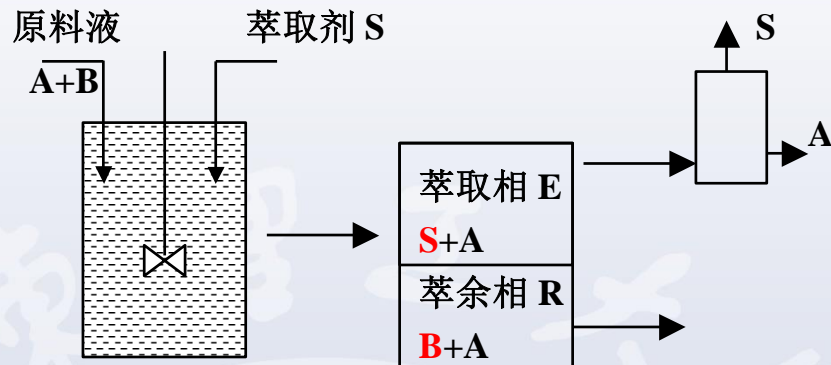
B、S完全不互溶时
解析法：

物料衡算：

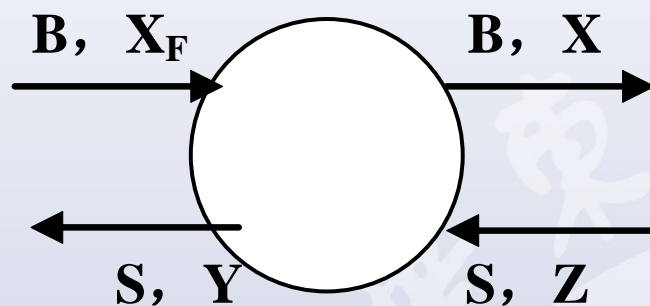
$$BX_F + SZ = BX + SY$$

$$\Rightarrow Y = -\frac{B}{S}(X - X_F) + Z$$

相平衡关系： $Y = f(X)$

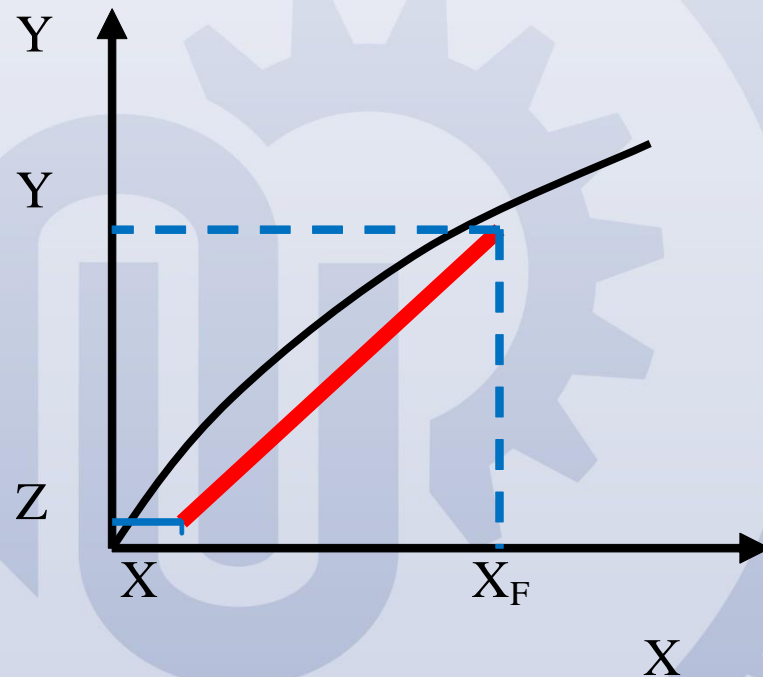


思考： 若流程如图所示，逆流流动， 则操作线又如何？



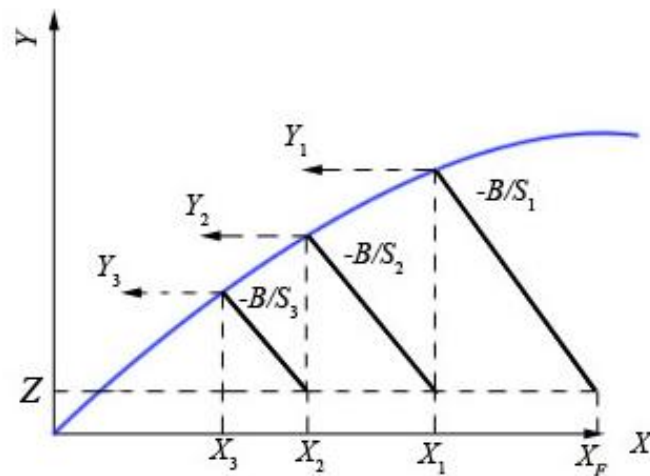
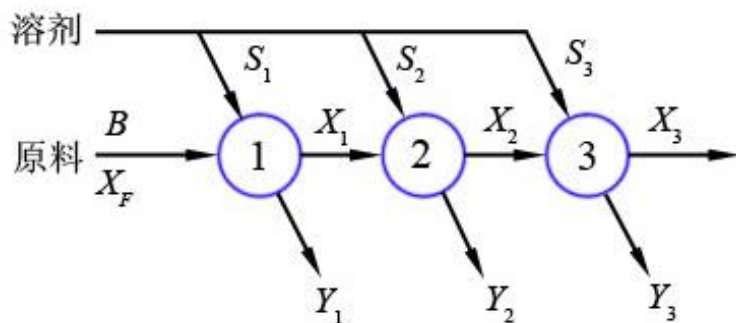
$$BX_F + SZ = BX + SY$$

$$Y = KX$$



11.3.5.3 多级错流萃取

为单级萃取的多次重复



完全不互溶物系的多级错流萃取图解

设 $Z = 0$ (溶剂 S 中不含有 A)

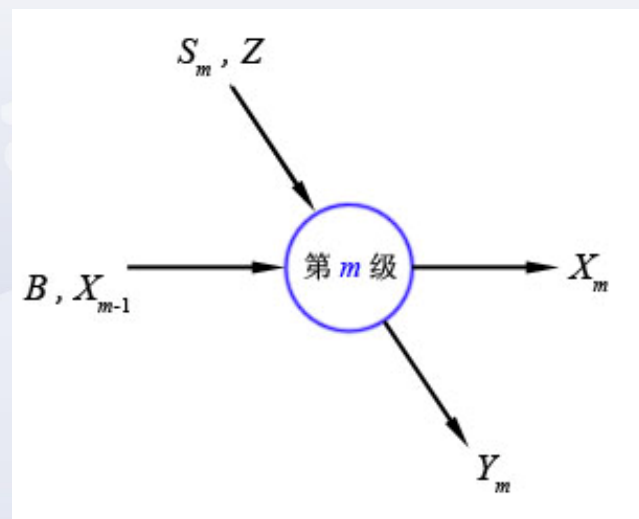
$K = \text{常数}$, 则可解析计算求 N 。

$$B(X_{m-1} - X_m) = S_m Y_m$$

$$Y_m = KX_m$$

$$X_m = \frac{X_{m-1}}{1 + \frac{S_m}{B} \cdot K} = \frac{X_{m-1}}{1 + \frac{1}{A_m}}$$

萃取因数: $\frac{1}{A_m} = \frac{S_m}{B} \cdot K = \frac{S_m Y_m}{BX_m} = \frac{\text{萃取相 } E \text{ 中 } A \text{ 的量}}{\text{萃余相 } R \text{ 中 } A \text{ 的量}}$



多级错流萃取中第 m 级的物料衡算

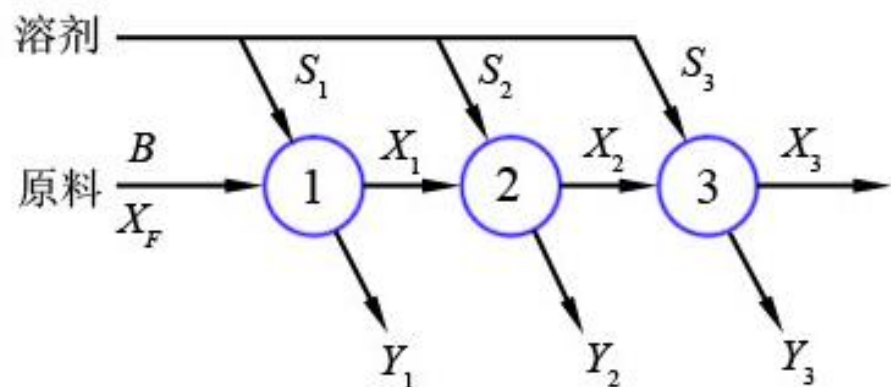
当 $S_1 = S_2 = \dots = S_m = \dots$ 时, $\frac{1}{A_m} = \frac{1}{A} = \text{常数}$

逐级递推,

$$X_m = \frac{X_{m-1}}{1 + \frac{1}{A}}$$

$$X_N = \frac{x_F}{\left(1 + \frac{1}{A}\right)^N}$$

$$N = \frac{\log\left(\frac{x_F}{x_N}\right)}{\log\left(1 + \frac{1}{A}\right)}$$

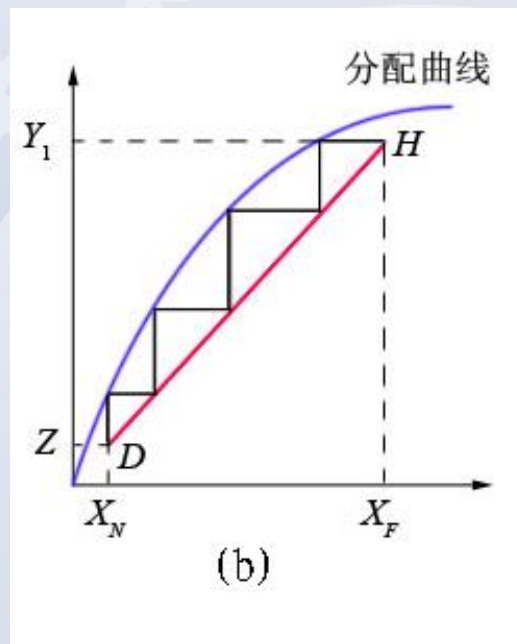
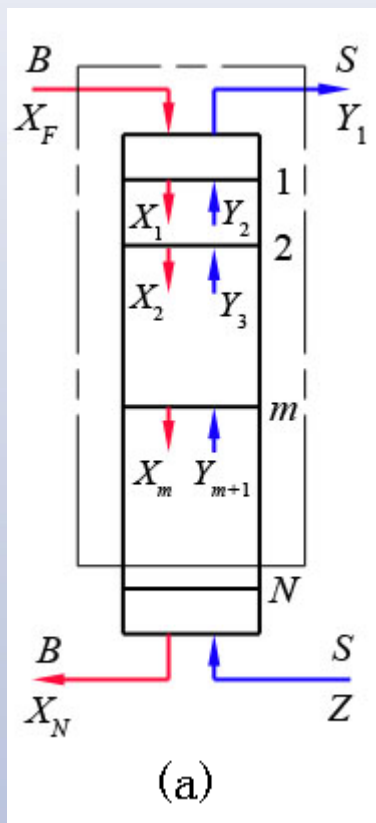


A 的萃余百分数:

$$\varphi = \frac{Bx_N}{Bx_F} = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{A}\right)^N}$$

11.3.5.4 多级逆流萃取

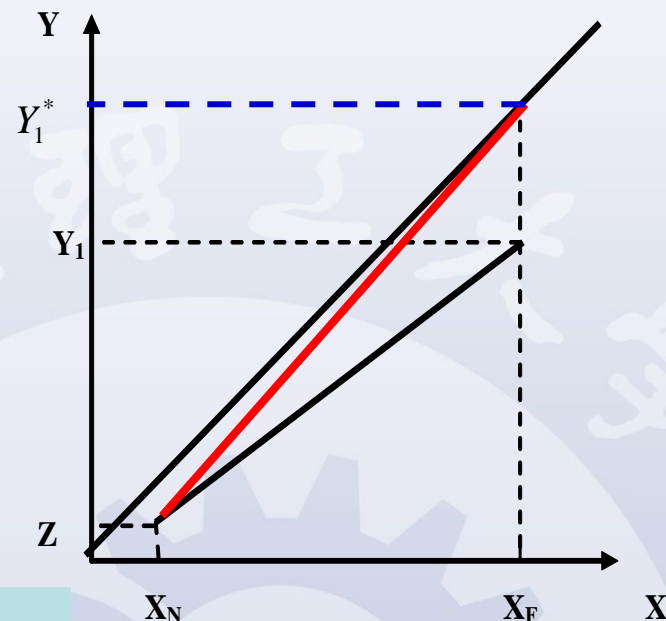
平衡线: $Y = KX$; 操作线: $Y_{m+1} = \frac{B}{S} X_m + (Y_1 - \frac{B}{S} X_F)$



完全不互溶物系的多级逆流萃取

最小溶剂比 $\left(\frac{S}{B}\right)_{\min}$:

$$\left(\frac{S}{B}\right)_{\min} = \frac{X_F - X_N}{Y_1^* - Z}$$



$$Y_m = \frac{B}{S} (X_{m-1} - X_N) + Z$$

溶剂比 $\left(\frac{S}{B}\right) = \frac{X_F - X_N}{Y_1 - Z}$

若平衡线为一通过原点的直线，则

$$N = \frac{1}{\ln\left(\frac{1}{A}\right)} \ln \left[(1-A) \left(\frac{X_F - \frac{Z}{K}}{X_N - \frac{Z}{K}} \right) + A \right]$$

精馏、解吸、萃取均可用上式计算 N 。

对萃取， $\frac{1}{A} = \frac{S}{B} K$ 为萃取因数；

对解吸， $\frac{1}{A} = \frac{mG}{L}$ 为解吸因数。

A为操作线和平
衡线斜率之比。

11.3.6 回流萃取

11.3.6.1 回流萃取过程

回流液必须具备的条件：

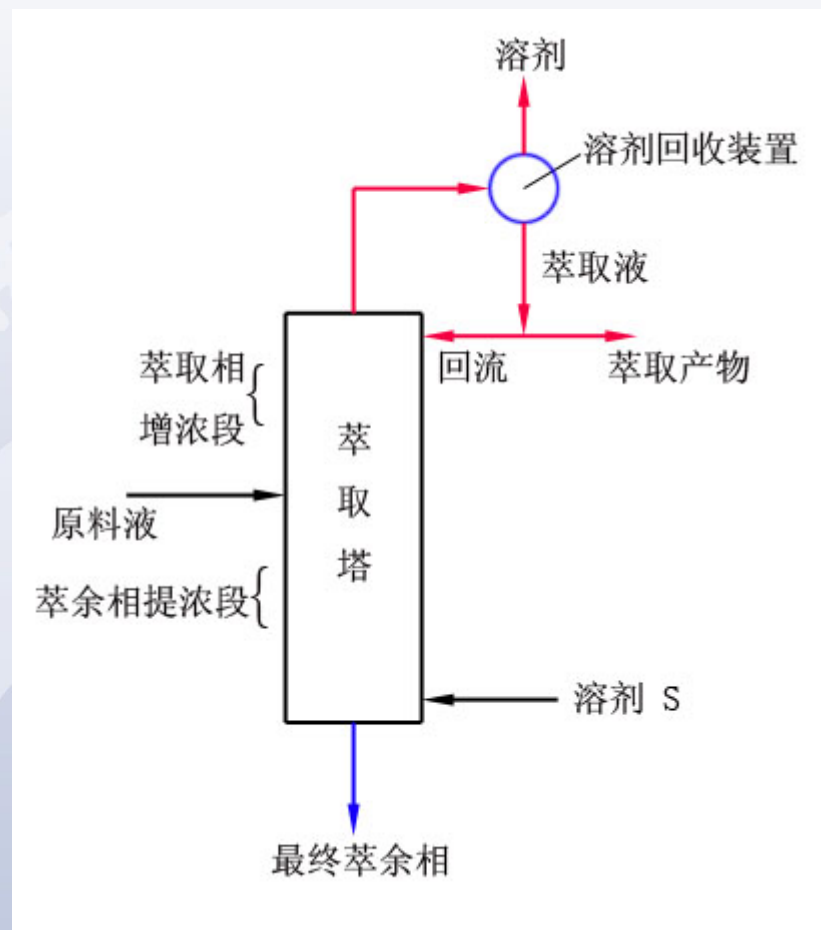
1) 不能与萃取相完全互溶

2) 应使 *B* 向 *R* 相传递；

而 *A* 向 *E* 相传递。

回流萃取用于有两对部分互溶组分的第II类物系。

(*A*、*B*互溶，*B*、*S*及*A*、*S*为两对部分互溶组分)



回流萃取

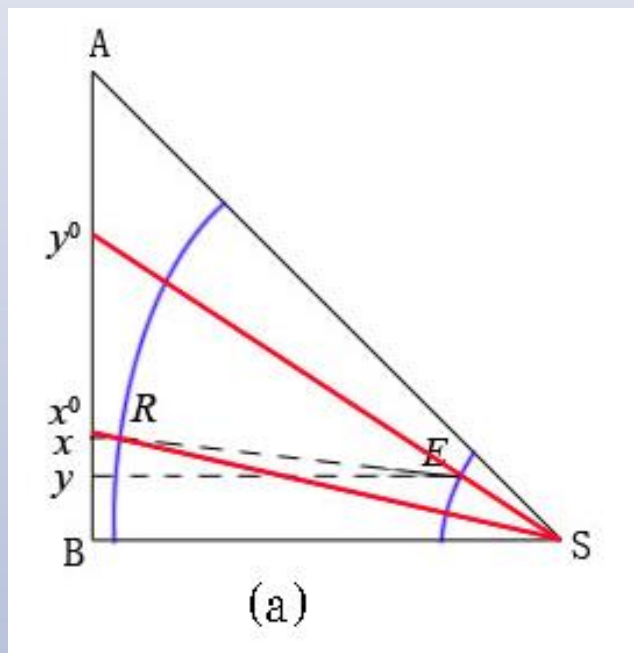
解决“萃取相中含有一定量的*B*”的问题。

11.3.6.2 脱溶剂为基的相平衡图 ($y^0 \sim x^0$ 图)

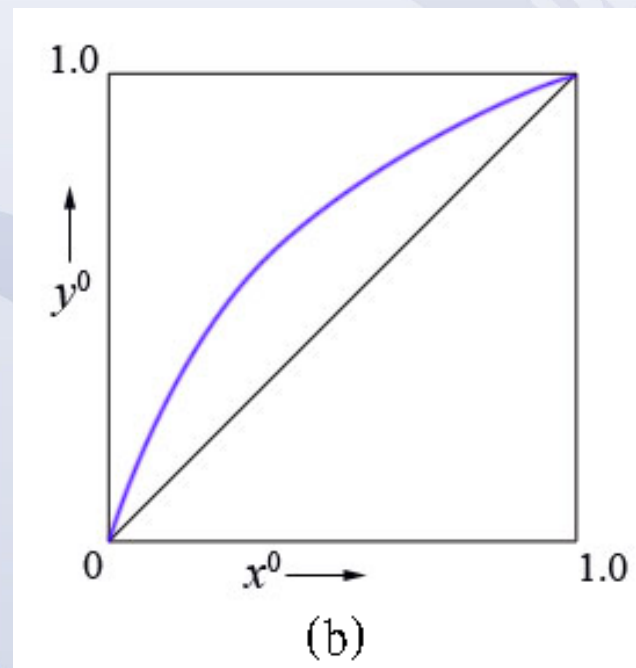
y^0 —— E 相的脱溶剂基浓度, $\text{kgA} / \text{kg} (\text{A}+\text{B})$

x^0 —— R 相的脱溶剂基浓度, $\text{kgA} / \text{kg} (\text{A}+\text{B})$

$$y^0 = \frac{\beta x^0}{1 + (\beta - 1)x^0}$$



(A、B互溶，B、S及A、S为两对部分互溶组分)



第二类物系的相图

以脱溶剂为基的相平衡曲线

11.3.6.3 物料衡算

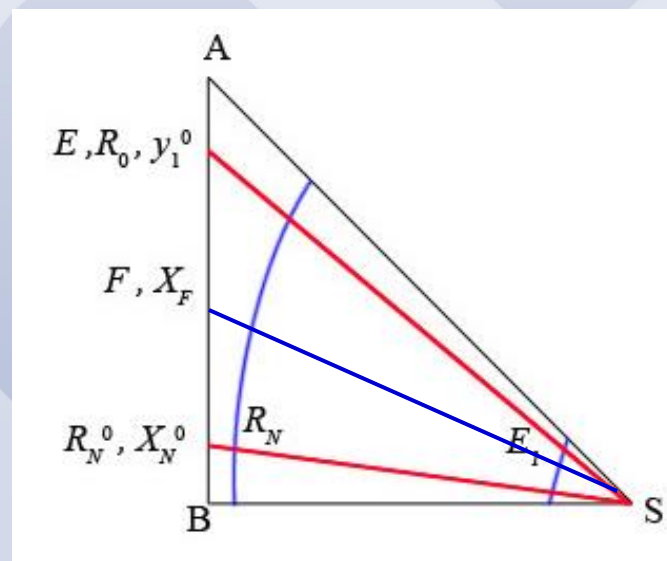
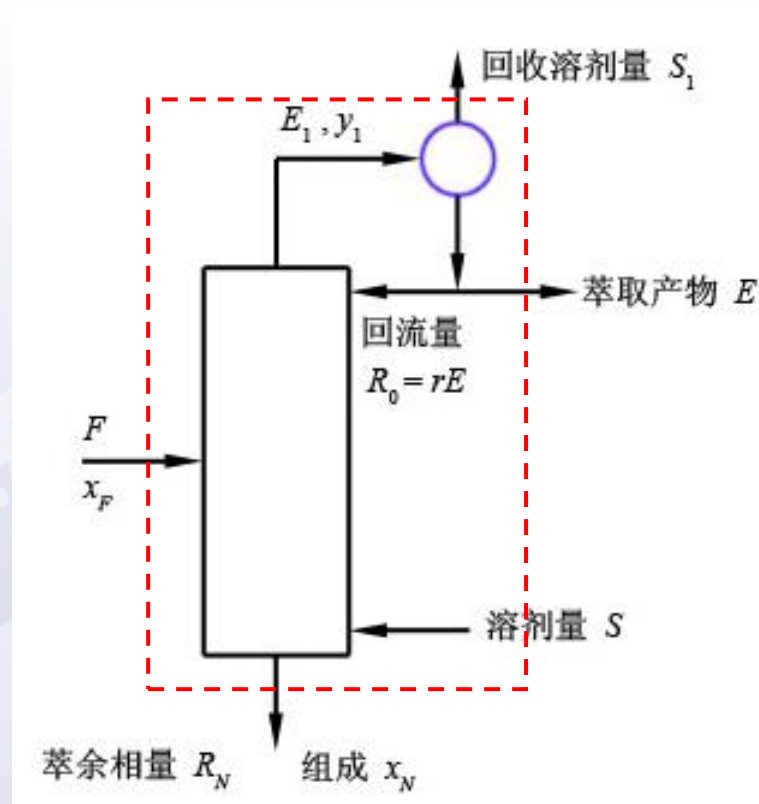
全过程物料衡算

$$F = E + R_N^0$$

$$F \cdot x_F = E \cdot y_1^0 + R_N^0 \cdot x_N^0$$

$$R_N = \frac{\overline{R_N^0 S}}{R_N S} \cdot R_N^0$$

$$R_0 = r \cdot E$$



溶剂回收装置物料衡算

$$S_1 = E_1 - (r + 1)E$$

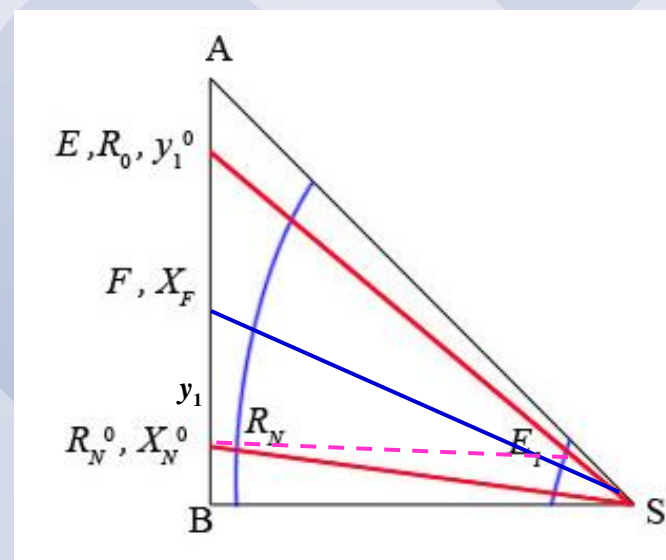
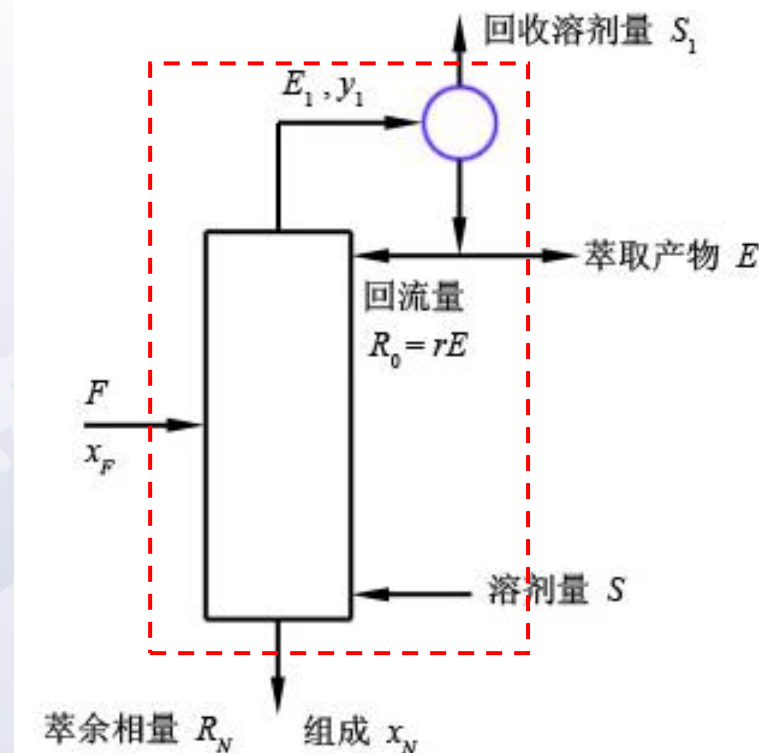
$$S = S_1 + (R_N - R_N^0)$$

表示一部分**S**溶在**AB**溶液中

$$E_1 y_1 = (r + 1) E y_0^1$$

代表**A**的含量

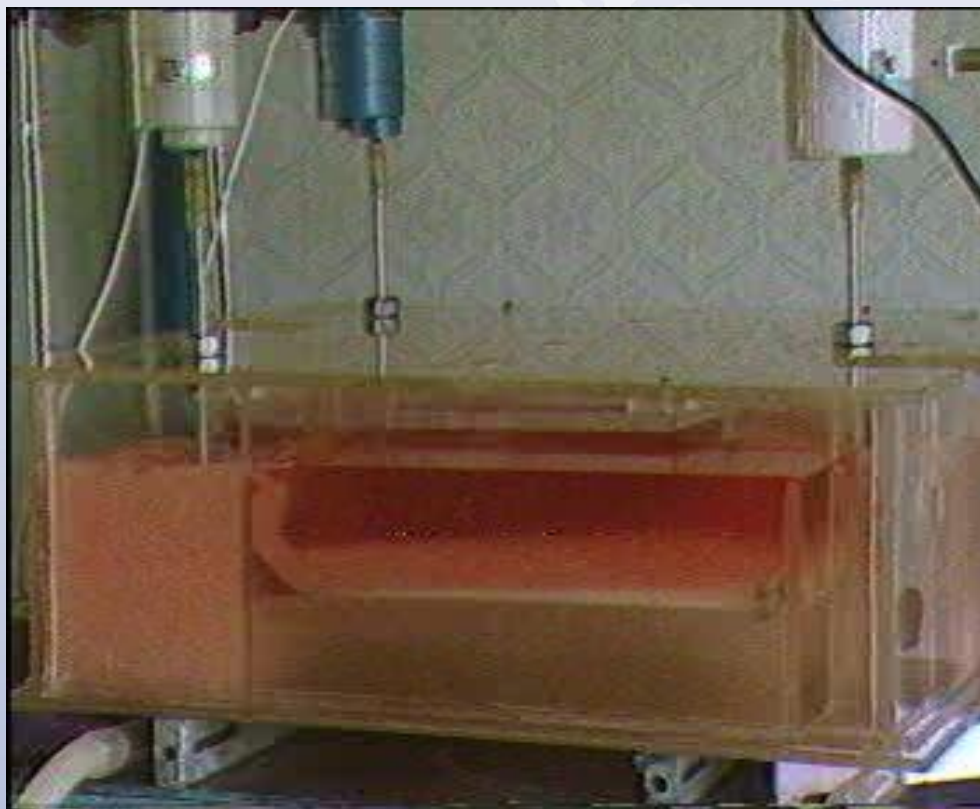
$$E_1 = (r + 1) E \cdot \frac{\overline{SE}}{\overline{SE_1}}$$



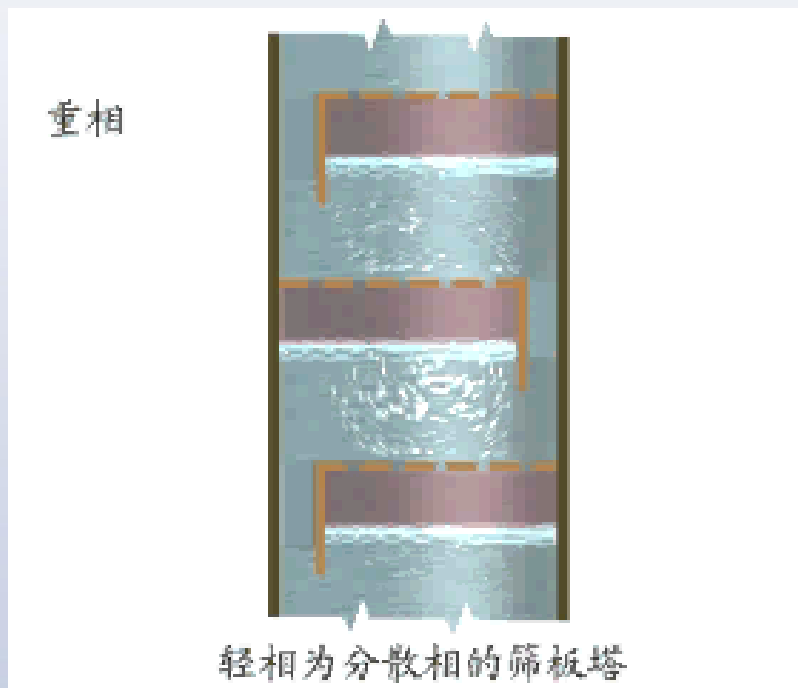
11.4 萃取设备

11.4.1 萃取设备的主要类型

11.4.1.1 混合澄清槽



11.4.1.2 筛板塔



轻相为分散相的筛板塔



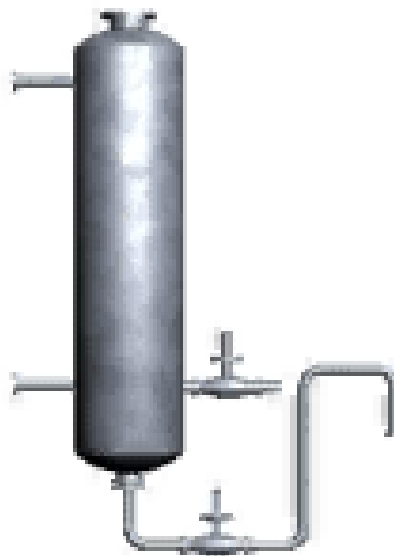
轻相

重相为分散相的筛板塔

重相为分散相的筛板塔

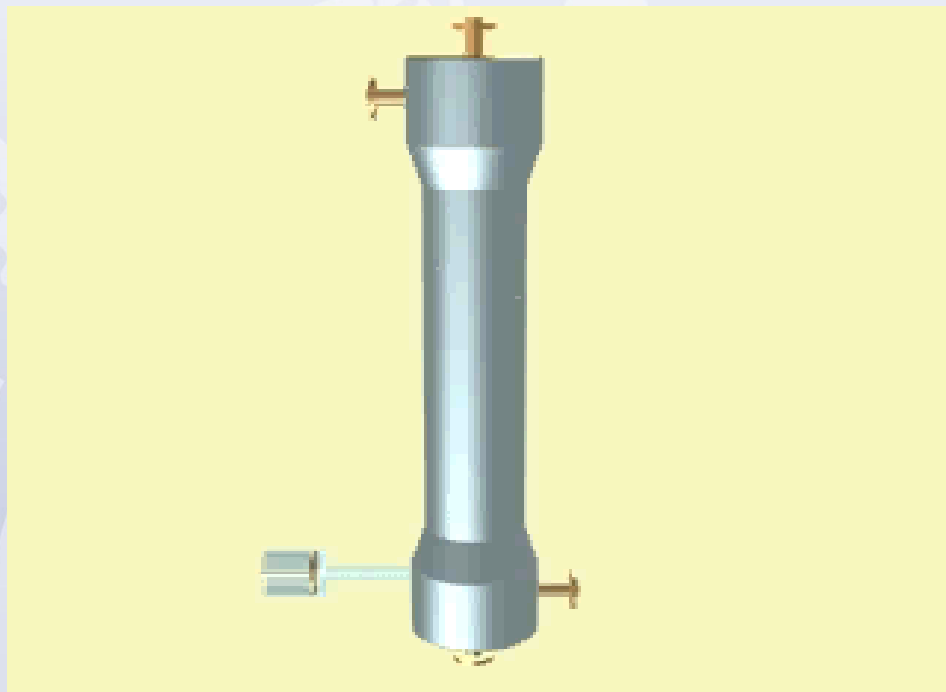


11.4.1.3 喷洒萃取塔



11.4.1.4 脉冲筛板塔

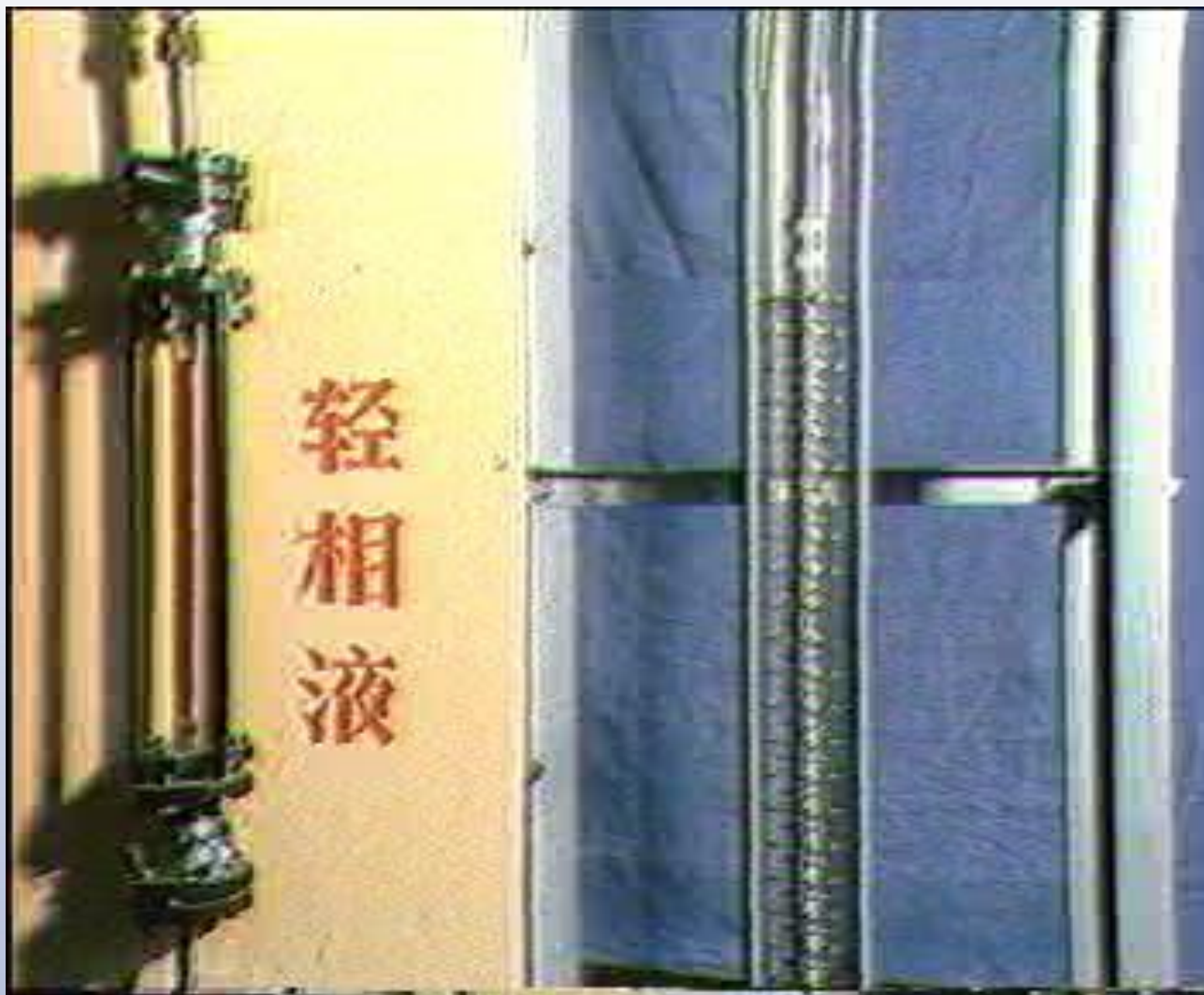
在塔内提供外加机械能以造成脉动，使物料处于周期性的变速运动之中，两液相获得较大的相对速度。传质速率很高。



11.4.1.5 振动筛板塔



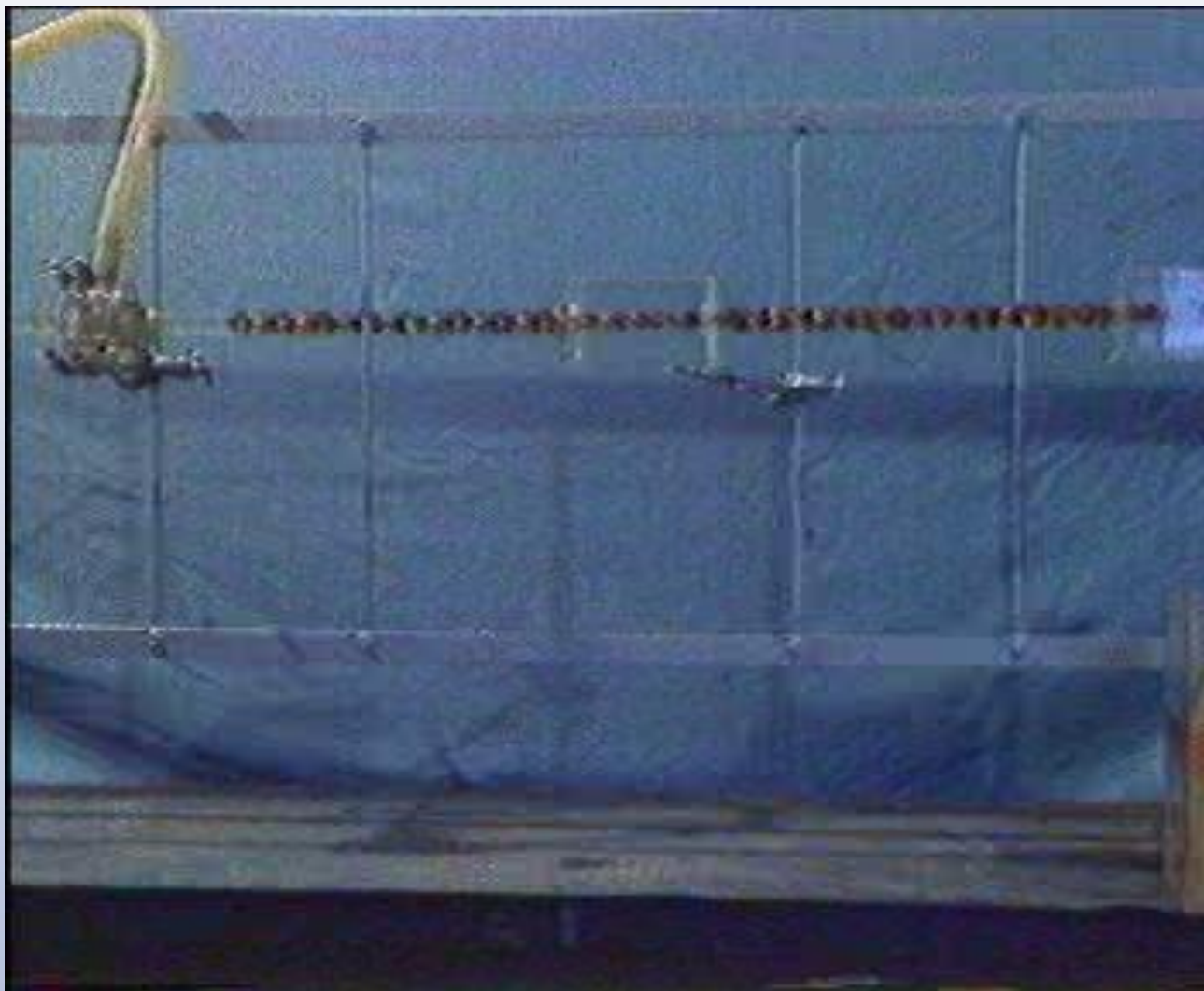
11.4.1.6 转盘塔



11.4.1.7 翻斗式萃取器



11.4.1.8 静态混合器



11.4.2 液泛现象



11.4.3 界面现象



11.5 超临界萃取和液膜萃取

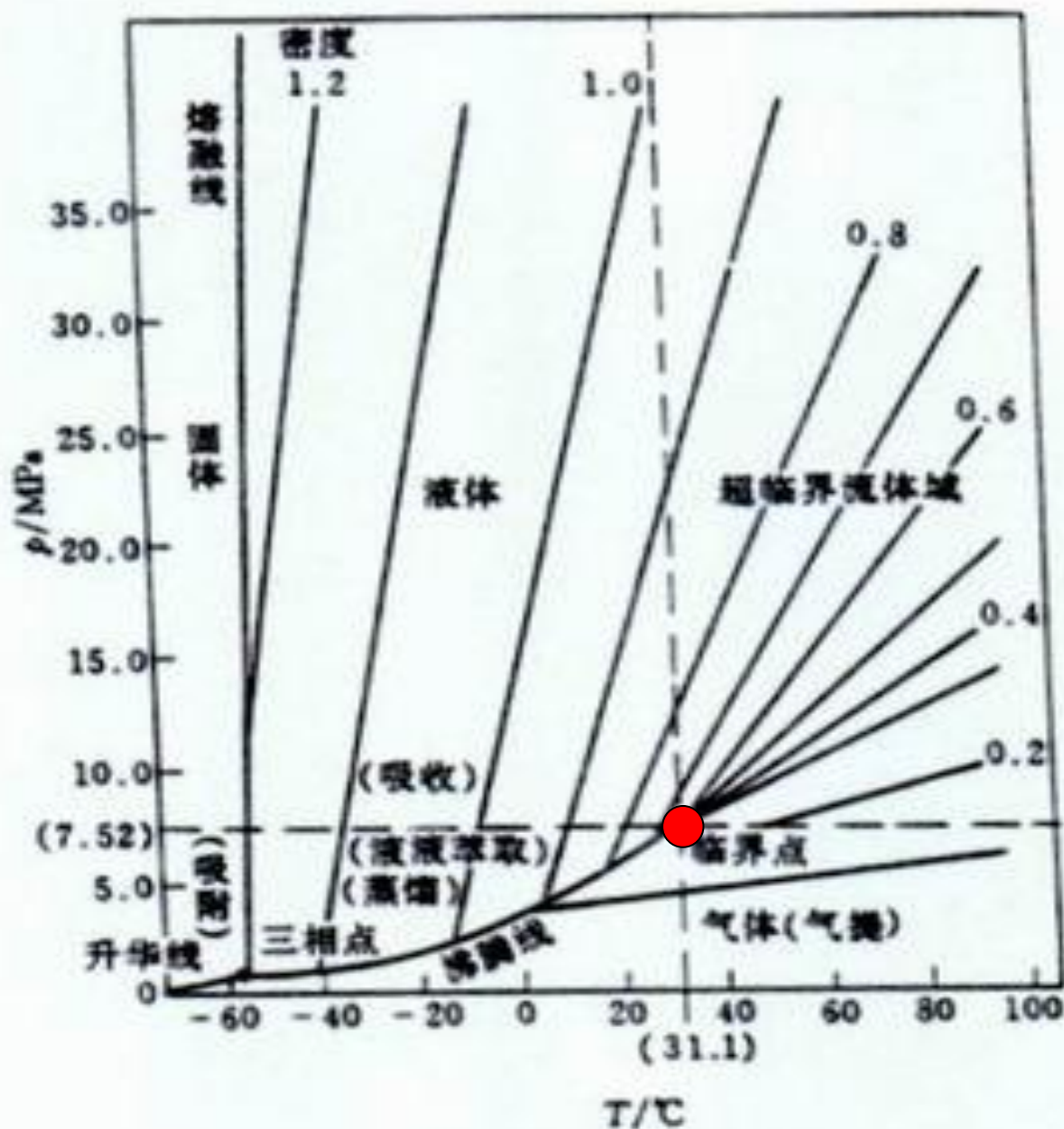
11.5.1 超临界萃取

SCF ——超临界流体 (supercritical fluid)

SCFE ——超临界流体萃取 (supercritical fluid extraction)

临界点是指气、液两相共存线的终结点，此时汽液两相的相对密度一致，差别消失。

超临界流体指该流体在其临界温度压力以上的状态。



在临界温度以上压力不高时与气体性质相近，压力较高时则与液体性质更接近，由此形成了**SCF**性质介于汽液两相之间，并易于随压力调节的特点。

1、超临界萃取原理

- 流体萃取分离过程的原理是利用压力和温度对超临界流体溶解能力的影响而进行的。
- 在超临界状态下，将超临界流体与待分离的物质接触，使其有选择性地把极性大小、沸点高低和分子量大小的成分依次萃取出来。
- 借助减压升温的方法使超临界流体变成普通气体，被萃取物质则完全或基本析出，从而达到分离提纯的目的。
- 超临界流体萃取过程是有萃取和分离组合而成的。

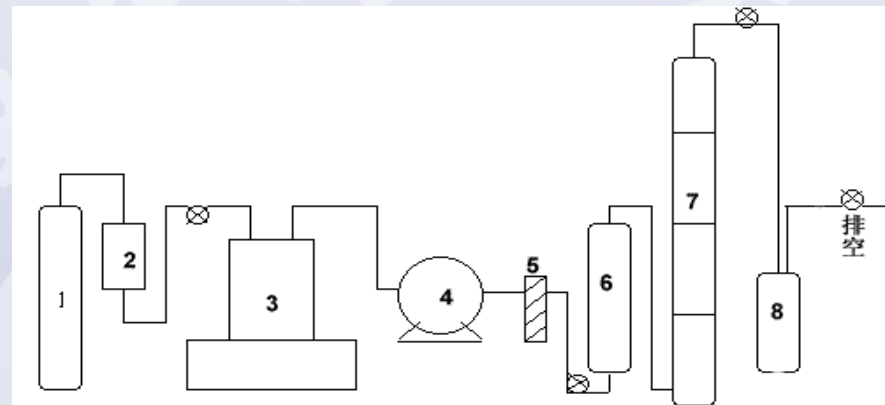
2、超临界CO₂

超临界CO₂成为目前最常用的萃取剂，它具有以下特点：

- CO₂临界温度为31.1℃，临界压力为7.4MPa，临界条件容易达到。
- CO₂化学性质不活泼，无色无味无毒，安全性好。
- 价格便宜，纯度高，容易获得。
- CO₂特别适合天然产物有效成分的提取。

超临界CO₂萃取—精馏装置图

将鱼油乙酯放入萃取罐中，打开钢瓶，CO₂经冷凝后，由高压计量泵加压至设定压力，再预热至工作温度，进入萃取罐。SC-CO₂携带着鱼油乙酯进入精馏柱，组分按溶解度大小先后从柱顶出来，减压后进入分离器接受。CO₂经流量计排空。馏分由气相色谱测定。

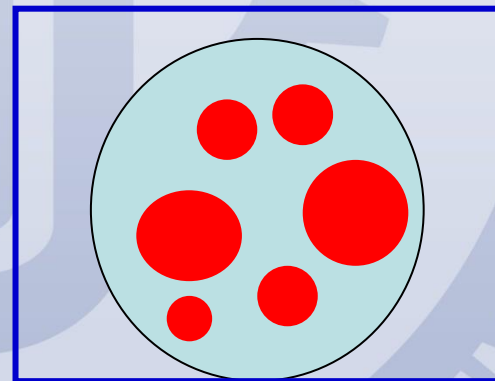


1. CO₂钢瓶
2. 过滤器
3. 冷凝器
4. 高压计量泵
5. 换热器
6. 萃取器
7. 精馏柱
8. 分离器

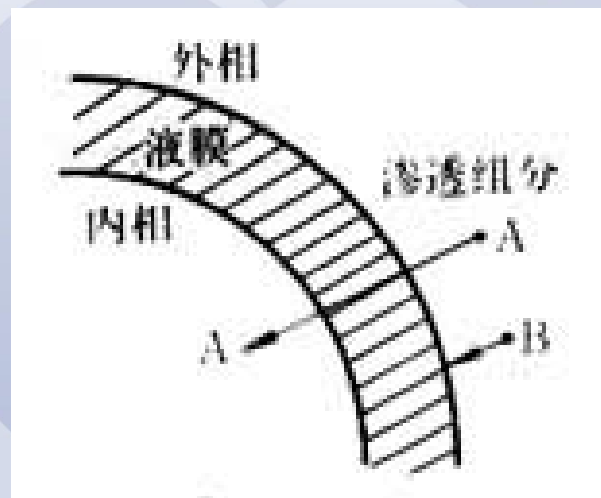
11.5.2 液膜萃取（分离）

- 一种以液膜为分离介质，以浓度差为推动力的膜分离操作。
- 液膜分离涉及**三种液体**：通常将含有被分离组分的料液作连续相，称为外相；接受被分离组分的液体，称为内相；成膜的液体处于两者之间，称为膜相。
- 在液膜分离过程中，被分离组分从外相进入膜相，再转入内相，浓集于内相。

W/O/W



- 液膜分离与液液萃取虽然机理不同，但都属于液液系统的传质分离过程。
- 液膜分离系统的外相、膜相和内相，分别对应于萃取系统的料液、萃取剂和反萃取剂。液膜分离时三相共存，使相当于萃取和反萃取的操作在同一装置中进行。



液膜的组成

液膜通常由溶剂（水或有机溶剂）、表面活性剂和添加剂组成。

- 溶剂是构成液膜的基体；
- 表面活性剂亲水亲油基团在溶剂中的定向排列是成膜的关键；
- 添加剂的主要作用是确保膜的强度和
提高膜的渗透性。

液膜分离机理

1. 选择性渗透

在液膜设计时，根据被分离组分的性质，选择能溶解它的溶剂成膜，其余组分则不能溶解于膜相，从而达到分离的目的。

2. 滴内化学反应

在内相中包含能与外相被分离组分反应的物质，当被分离物质进入内相后立即被反应掉。这样就保持内相中被分离组分含量始终很低，维持较高的传质推动力。

3. 膜相化学反应

在膜相中包含能与外相被分离组分反应的物质，内相中包含更强的反应物质。这样膜相生成的产物在内相中再被反应，同时还还原出膜相中原来的反应物，从而实现连续的反应传质过程。

4. 膜相吸附

在膜相中包含能吸附外相被分离组分的物质，外相中的被分离组分被吸附在膜相的外表层。

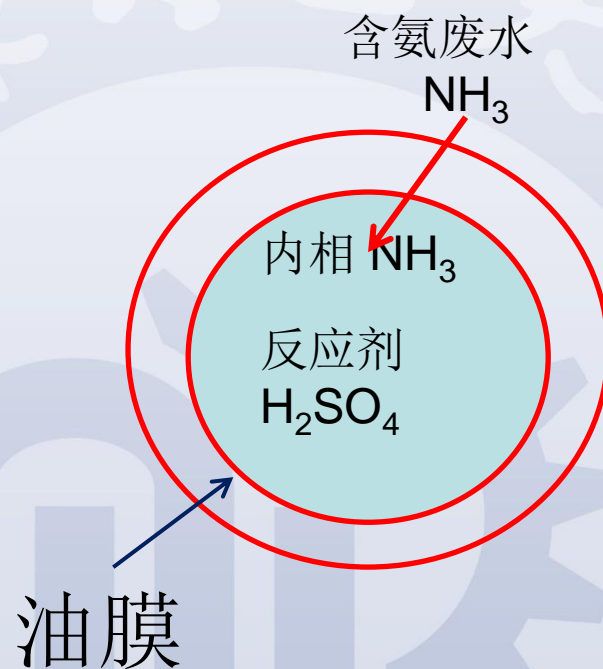
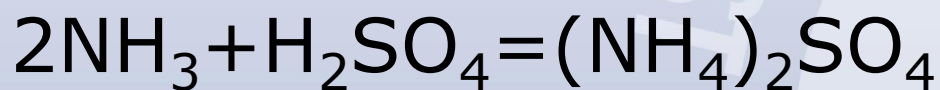
吸附完成后，分离出包裹内相的乳化层，破乳后，所吸附的物质就转移到内相溶液中实现分离。

液膜萃取除去废水中的氨

外相：含氨废水

内相：反应剂 H_2SO_4

W/O/W 系统



$x_{fA}=0.4$ ， A、B混合液，纯溶剂S 单级萃取。

求：（1）萃取液组成70%， 每Kg 原料需加多少Kg纯溶剂？

（2）该过程萃余相可能得到最低浓度为多少？ $S/F=?$

在**B-S**部分互溶的单级萃取中，
A=40 Kg，**B=60 Kg**，**纯S=200 Kg**，
S/F=1， **$x_A^0=0.3$** ， **$\beta=8$** 。
求 **$E^0=?$**

以纯溶剂作单级萃取，已知萃取相中浓度比 $y_A/y_B=7/3$ ，萃余相中浓度比 $x_A/x_B=1/4$ ，原料液浓度 $x_f=0.4$ ，原料液量为100Kg， $K_A > 1$ ，求：

- 1、萃取液与萃余液的量
- 2、 β
- 3、 S/F