

第11章 液液萃取

11.1 概述

11.2 液液相平衡

一、三角形坐标图及杠杆原则

二、三角形相图

11.3 萃取过程计算

一、单级萃取的计算

二、多级错流萃取的计算

三、多级逆流萃取的计算

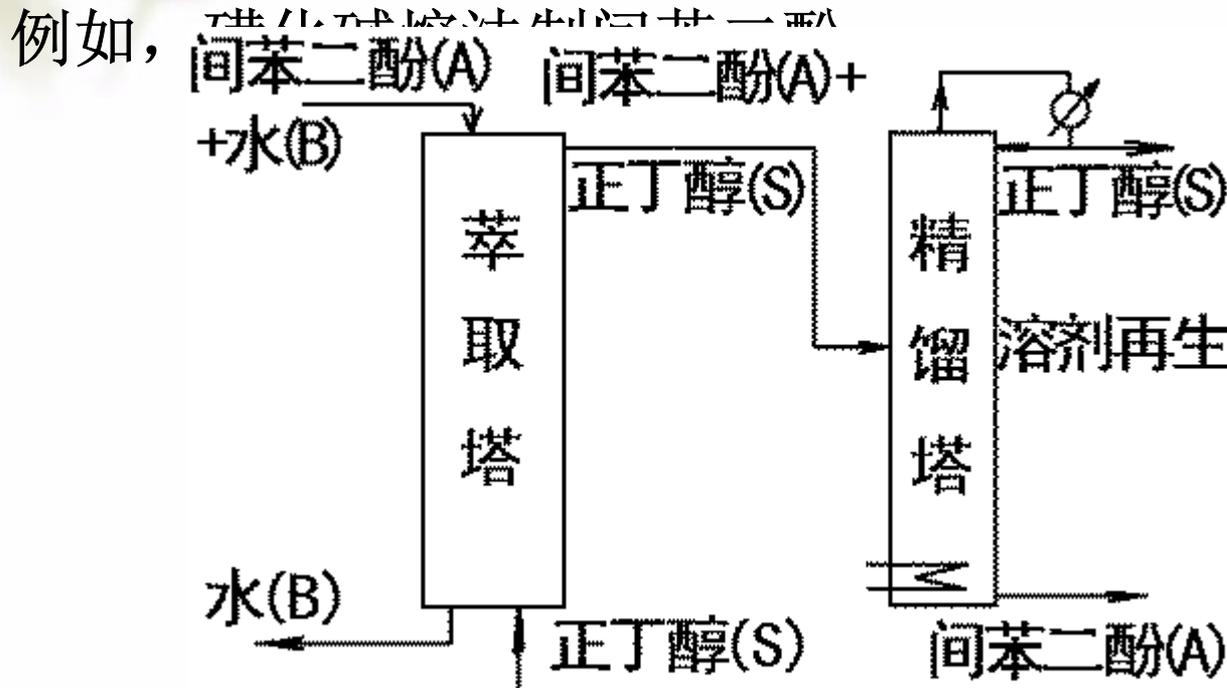
11.4 萃取设备

重点掌握：萃取操作原理及流程、三元体系的相平衡关系、萃取过程计算、萃取设备的特性等。

11.1 概述

一、过程目的—液液混合物的分离

二、工业背景



- 乙酸乙酯溶剂萃取石油馏分氧化所得的稀醋酸-水溶液；
- 以SO₂为溶剂从煤油中除去芳香烃等

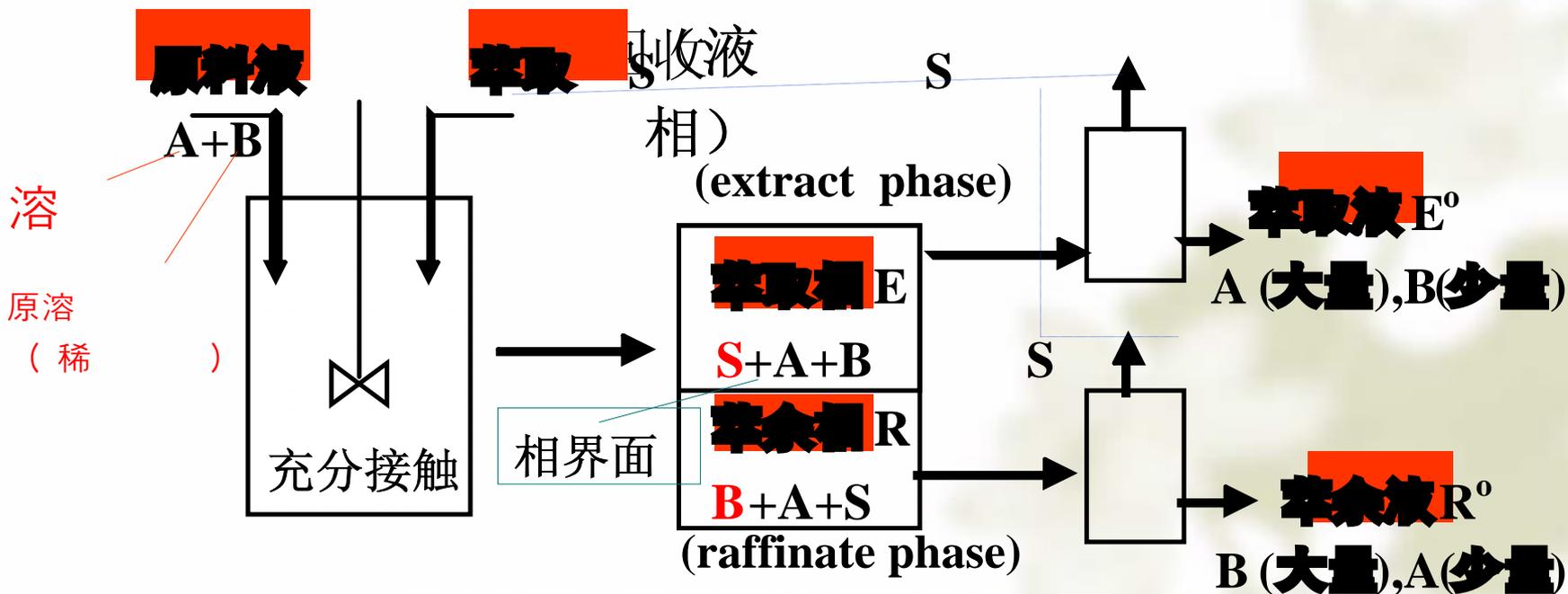
三、基本依据—溶解度的差异 (选择性的溶解度)

溶剂S的必要条件

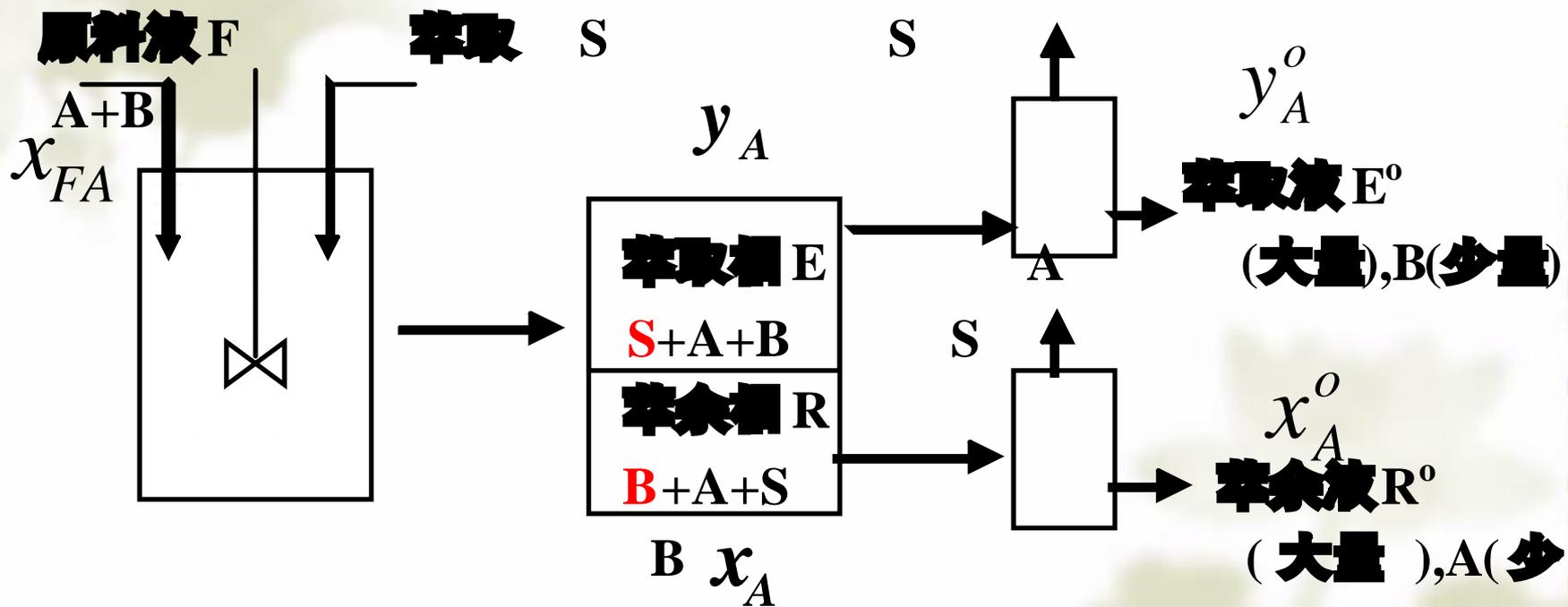
(1) 与B相不完全互溶

(2) 对A有选择性的溶解度

四、实施方法—液液充分接触传质、分相，



正丁醇萃取稀间苯二酚水溶液中的间苯二酚；



五. 萃取分离适用场合

思考：精馏和萃取都是用来分离液相均相混合物的，什么场合用精馏？什么场合用萃取？

◆恒沸物(或 $\alpha < 1.05$)体系： -----萃取或特殊精馏

◆稀溶液：

溶质是难挥发组分

-----萃取

-----萃取

◆热敏性溶液：

主要操作费—溶剂再生

六、萃取剂的选择(过程优劣的主要因素)

- (1)A在S中溶解度大
- (2)选择性高
- (3)A与S之间的相对挥发度高
- (4)S在B中的溶解度小

七、与吸收、精馏比较

(1)加入萃取剂建立两相体系，萃取剂与原料液只能部分互溶，或完全不互溶。

—过程复杂性

(2)液液系统，比气液系统小

—设备的复杂性

(3)流动方式

气液—并流 逆流

三元至多元物系的相平衡关系更为复杂，根据组分B、S的互溶度采用多种方式描述相平衡，其中三角形相图应用较为普遍。

11.2 液-液相平衡

液-液相平衡 系：萃取 程 力学基

萃取 程 算和分析影 因素的基本依据之一

根据 分 互溶度, 混和液分 :

① 第一 物系 :

- 部分互溶物系, A、B, A、S 完全互溶, 而B、S部分互溶 ;
- 完全不互溶物系, A、B, A、S 完全互溶, 而B、S完全不互溶。

如：丙 (A) - 水(B) - 甲基 丁基 (S)、丙 (A) - (B) - 水 (S)

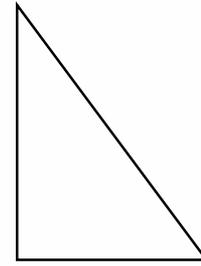
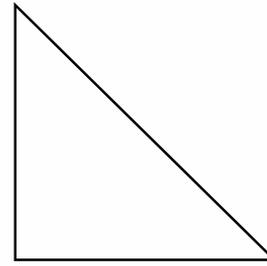
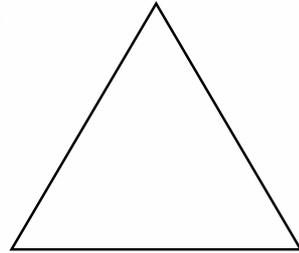
② 第二 物系 :

具有 部分互溶物的物系, A、B 完全互溶, A、S, B、S部分互溶。如：甲基 己 (A) - 正庚 (B) - (S)

11.2.1 三角形相图

(1) 液相组成在三角形相图上的表示方法

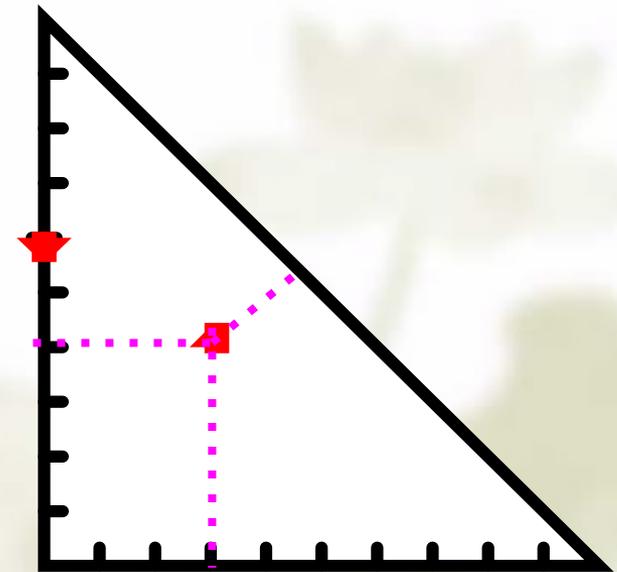
三元混合液
的表示方法：



A 溶质

- ① 点代表 分
- ② 每条 代表二元溶液
- ③ 相 中的点代表三元溶液

$\%A$ $\%B$ $\%S$ 100%



注意：组成的归一性，即 $x_i = 1$

B 原溶剂 S 萃取剂

三角形相

(2) 物料衡算与杠杆定律

物料衡算:

$$\begin{array}{ccc}
 F & S & M \\
 Fx_{FA} & S & 0 & Mz_A
 \end{array}
 \rightarrow$$

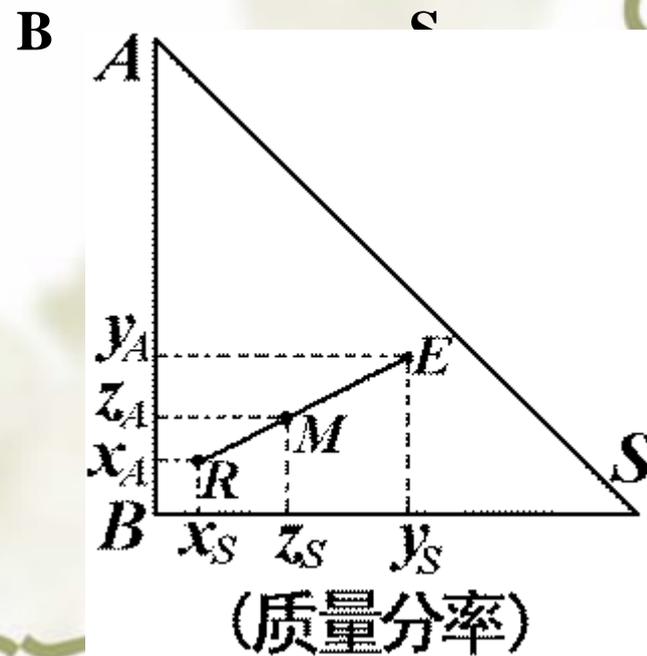
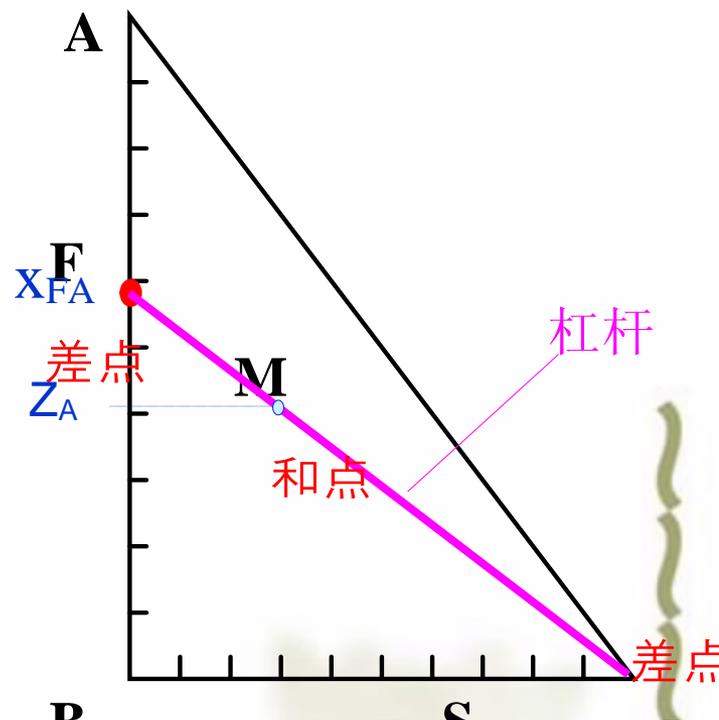
$$\begin{array}{ccc}
 Fx_{FA} & F & S & z_A & \rightarrow & \frac{F}{S} & \frac{z_A}{x_{FA}} & \frac{0}{z_A} & \frac{\overline{MS}}{\overline{FM}}
 \end{array}$$

$$\boxed{M \quad R \quad E}$$

$$\boxed{Mz_A \quad Rx_A \quad Ey_A}$$

$$Mz_S \quad Rx_S \quad Ey_S$$

$$\begin{array}{c}
 \overline{E} \\
 \frac{z_A}{y_A} \quad \frac{x_A}{z_A} \\
 \overline{R}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \frac{z_S}{y_S} \quad \frac{x_S}{z_S} \\
 \overline{EM}
 \end{array}$$



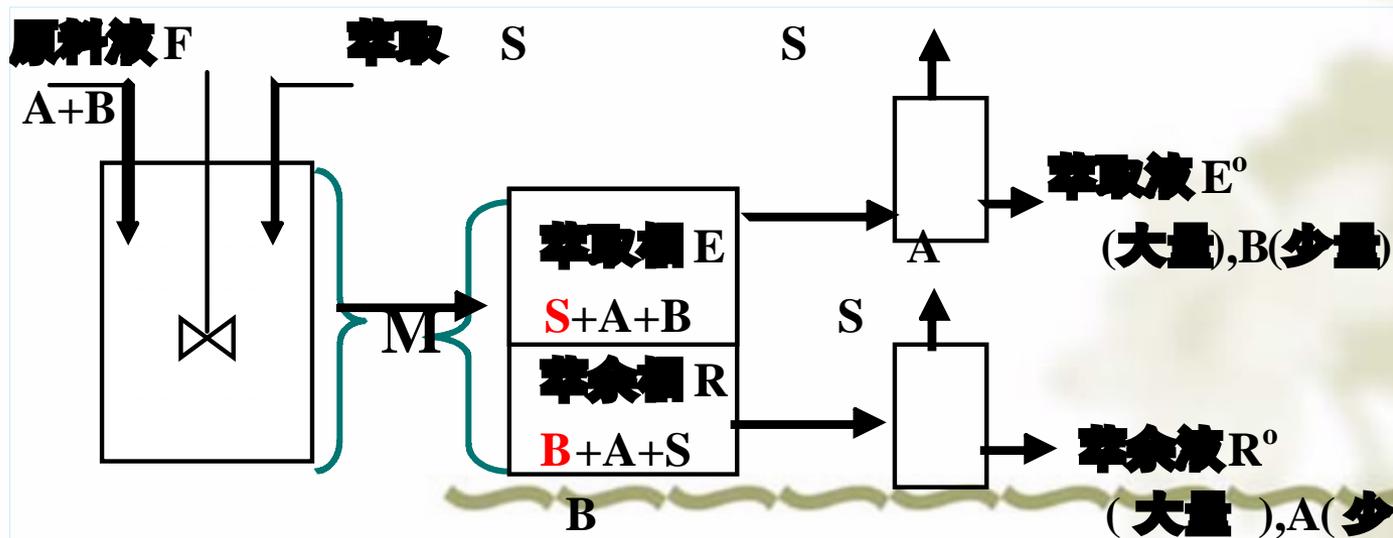
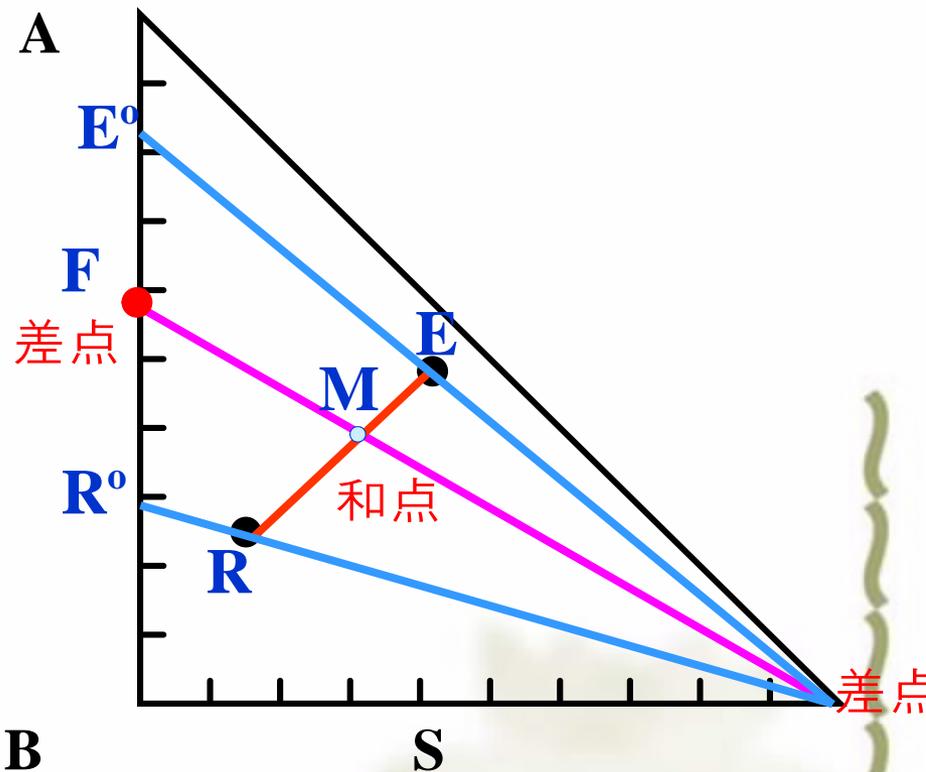
(3) 三角形坐标图的应用:

- ① 取 度 ;
- ② 表示混合、分 等 程 ;

杠杆原理:

$$\frac{F}{S} = \frac{\overline{MS}}{\overline{FM}}$$

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

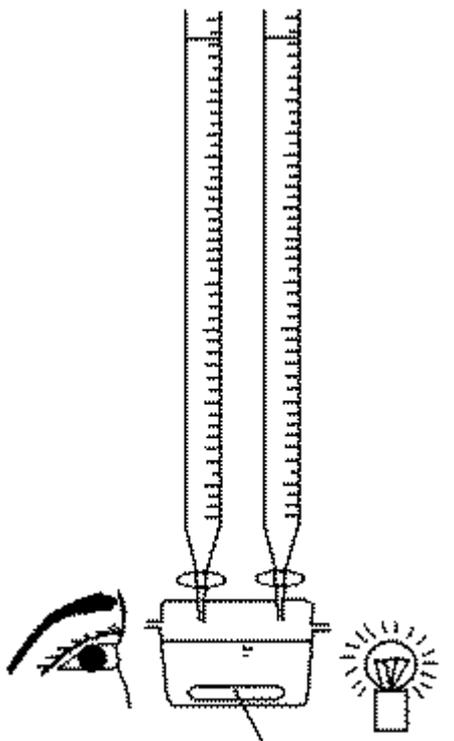


11.2.2 液-液相平衡关系

液-液相平衡关系是萃取设计、计算的基本条件，相平衡数据来自实验或由热力学关系推算。

讨论的前提：各组分不发生化学反应。

(1) 溶解度曲线

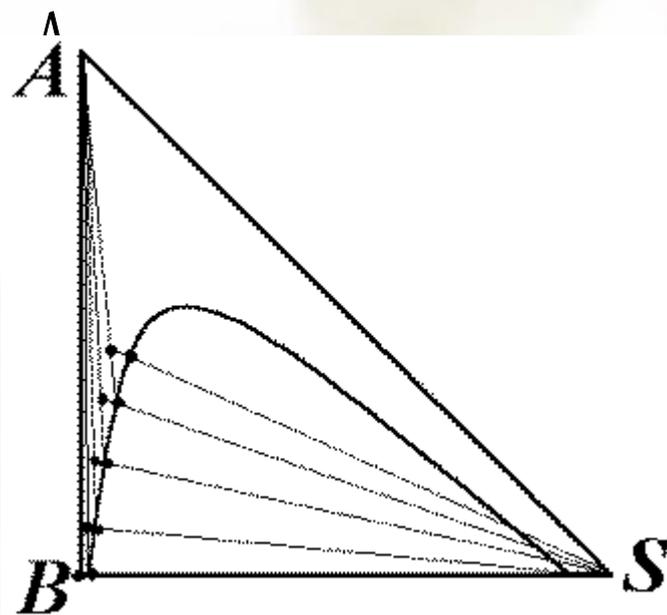


电磁搅拌子

观察刚出现浑浊时的数据

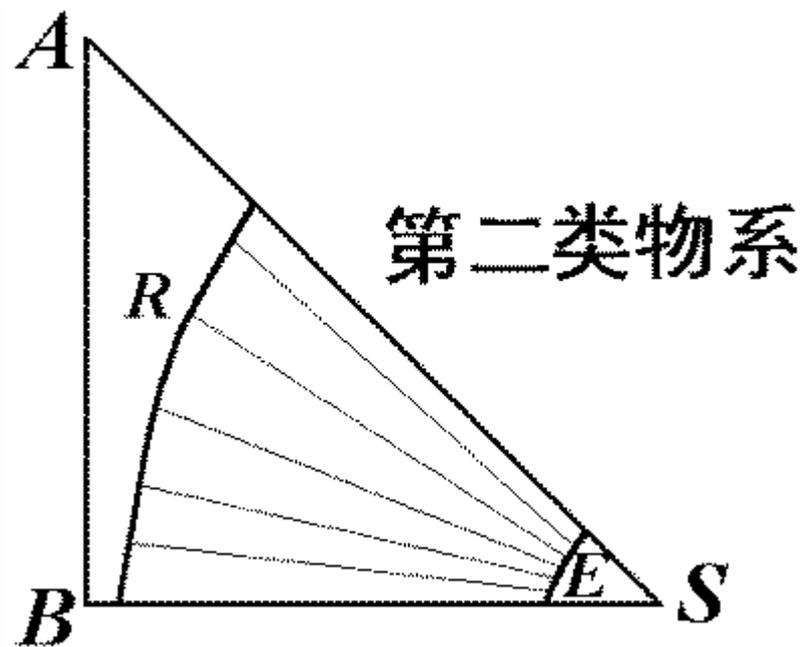
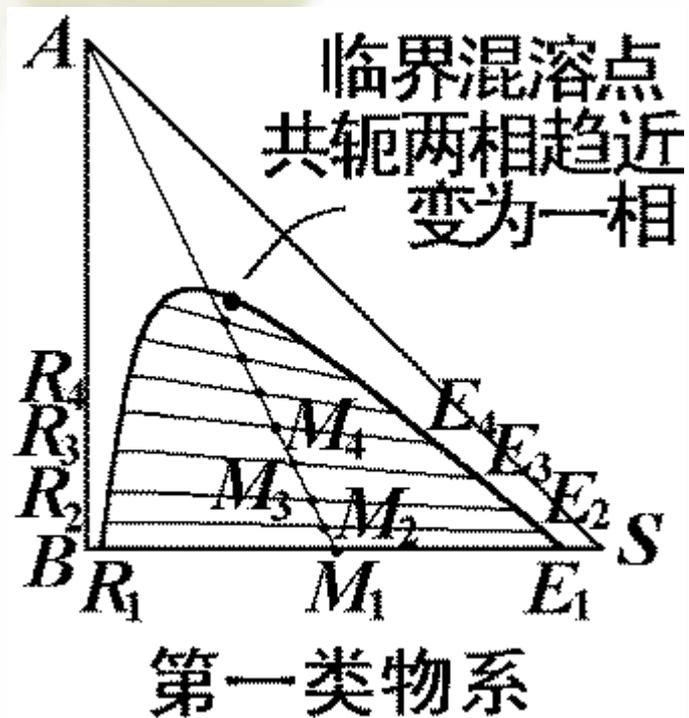
先放B， 轮流加S、A

先放S， 轮流加B、A



(2) 平衡联结线和共轭相

先放B+S (M_1 点), 逐渐加A



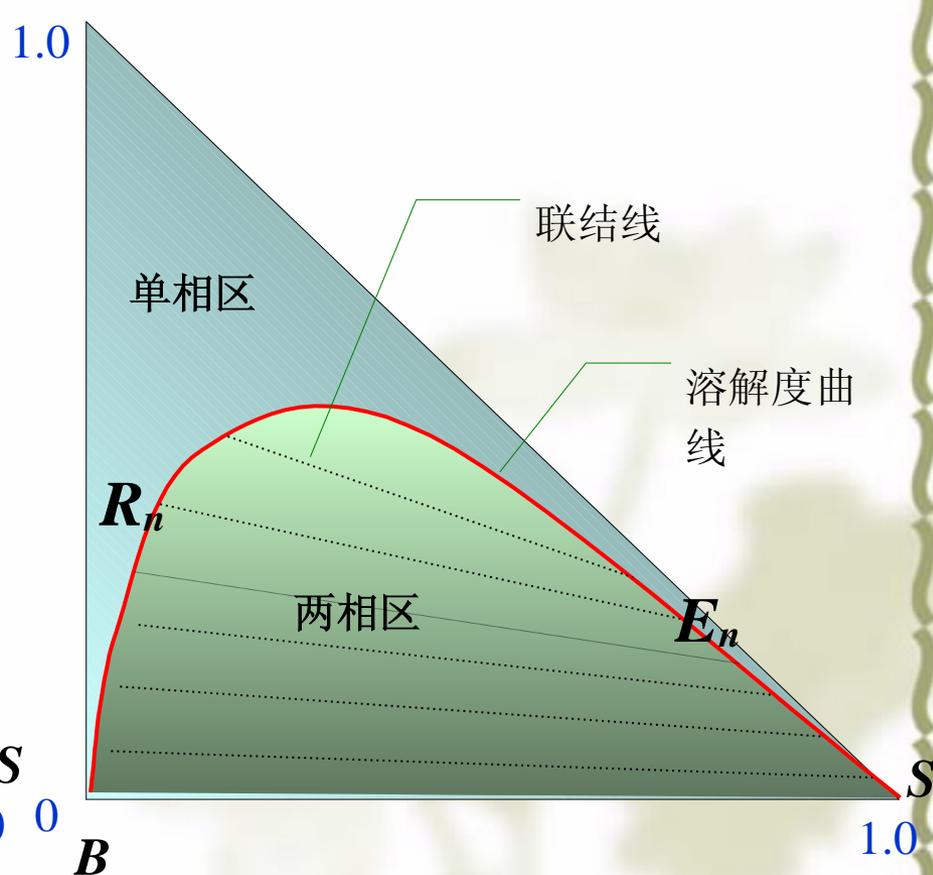
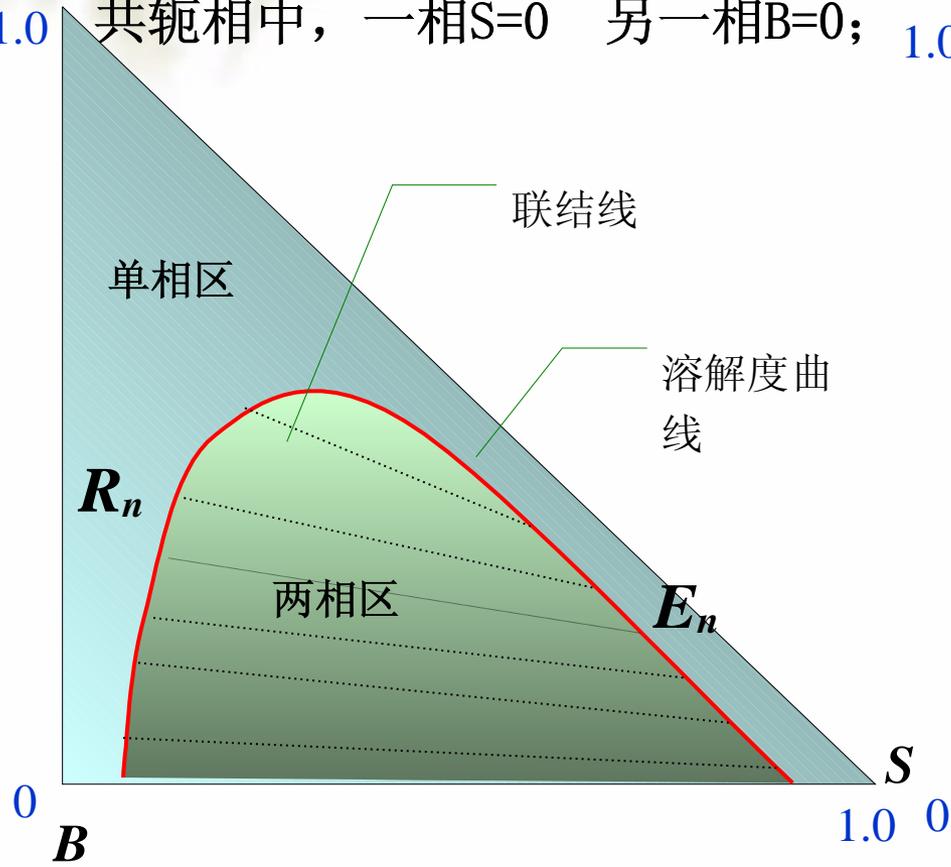
临界混溶点不一定在最高处

几类物系的相图

① 第一类物系:

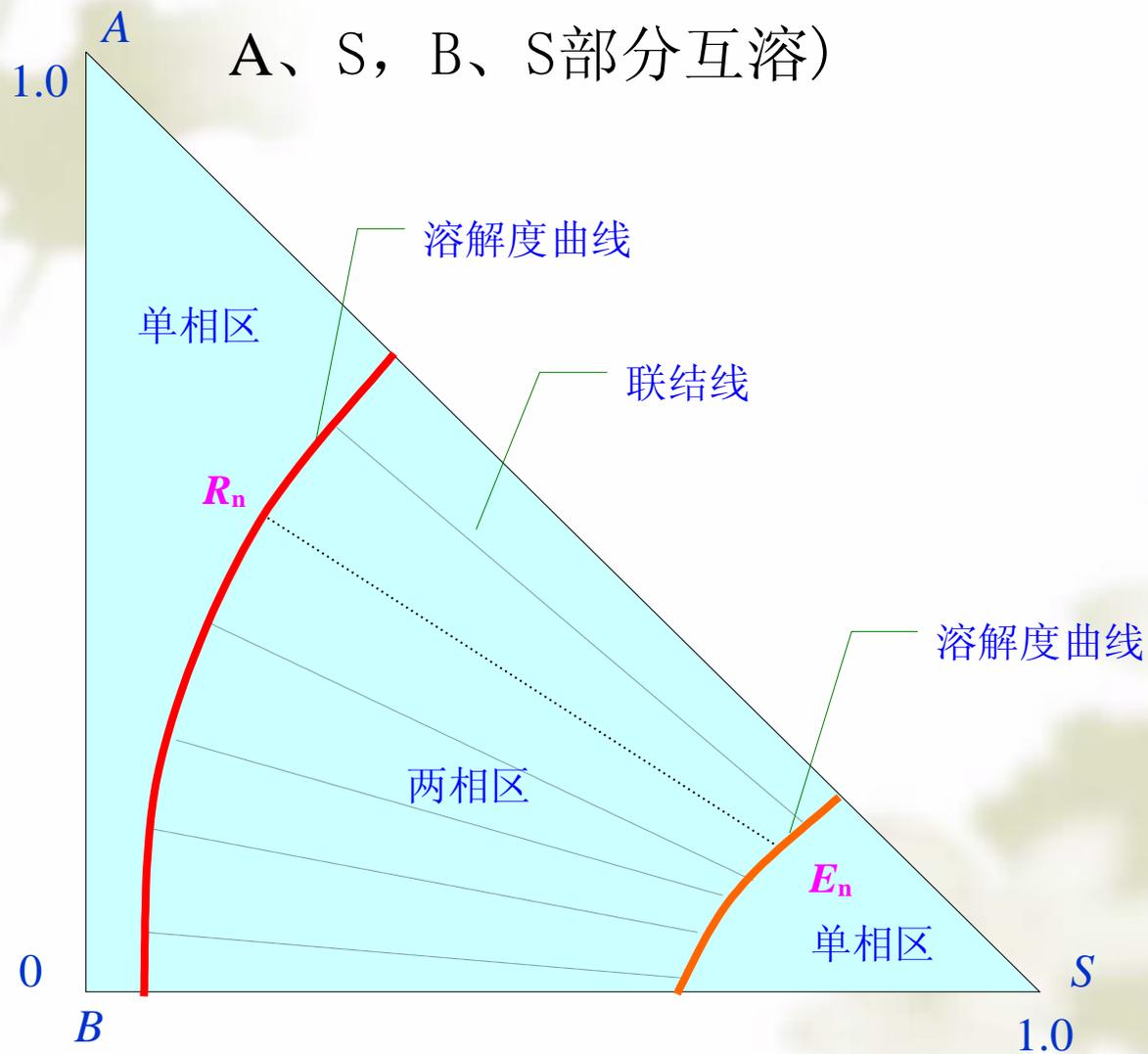
- 部分互溶物系, A、B, A、S 完全互溶, 而B、S部分互溶;
- 完全不互溶物系, A、B, A、S 完全互溶, 而B、S完全不互溶。

1.0 共轭相中, 一相S=0 另一相B=0; 1.0



三角形相图

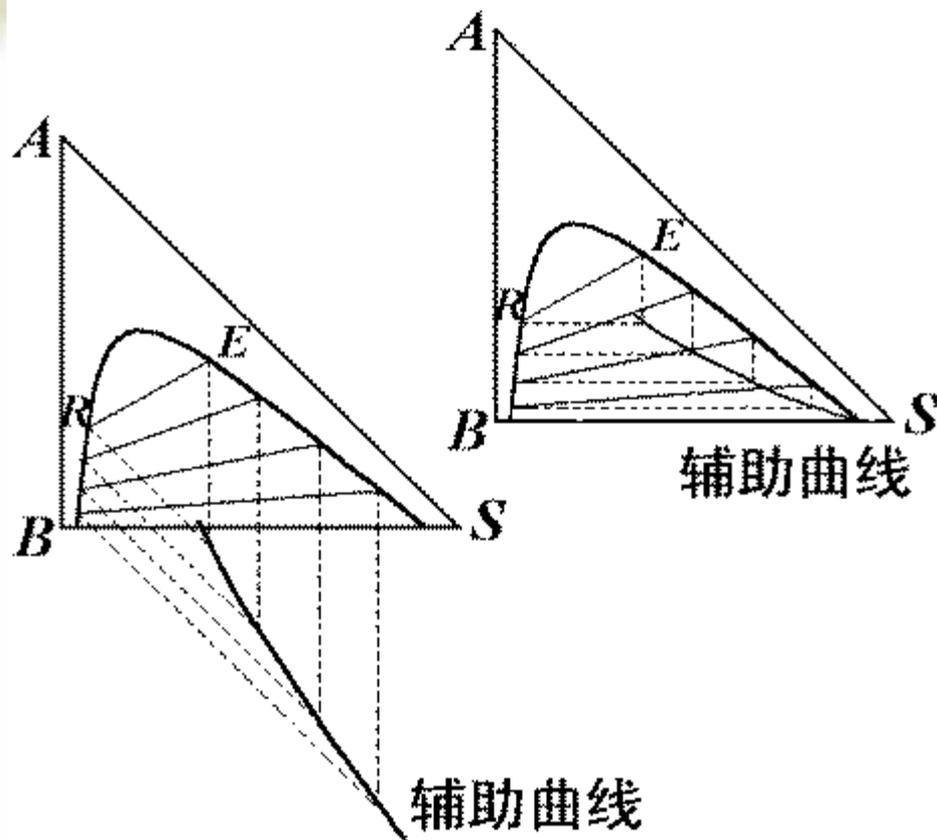
② 第二类物系 (具有两对部分互溶物的物系, A、B 完全互溶,



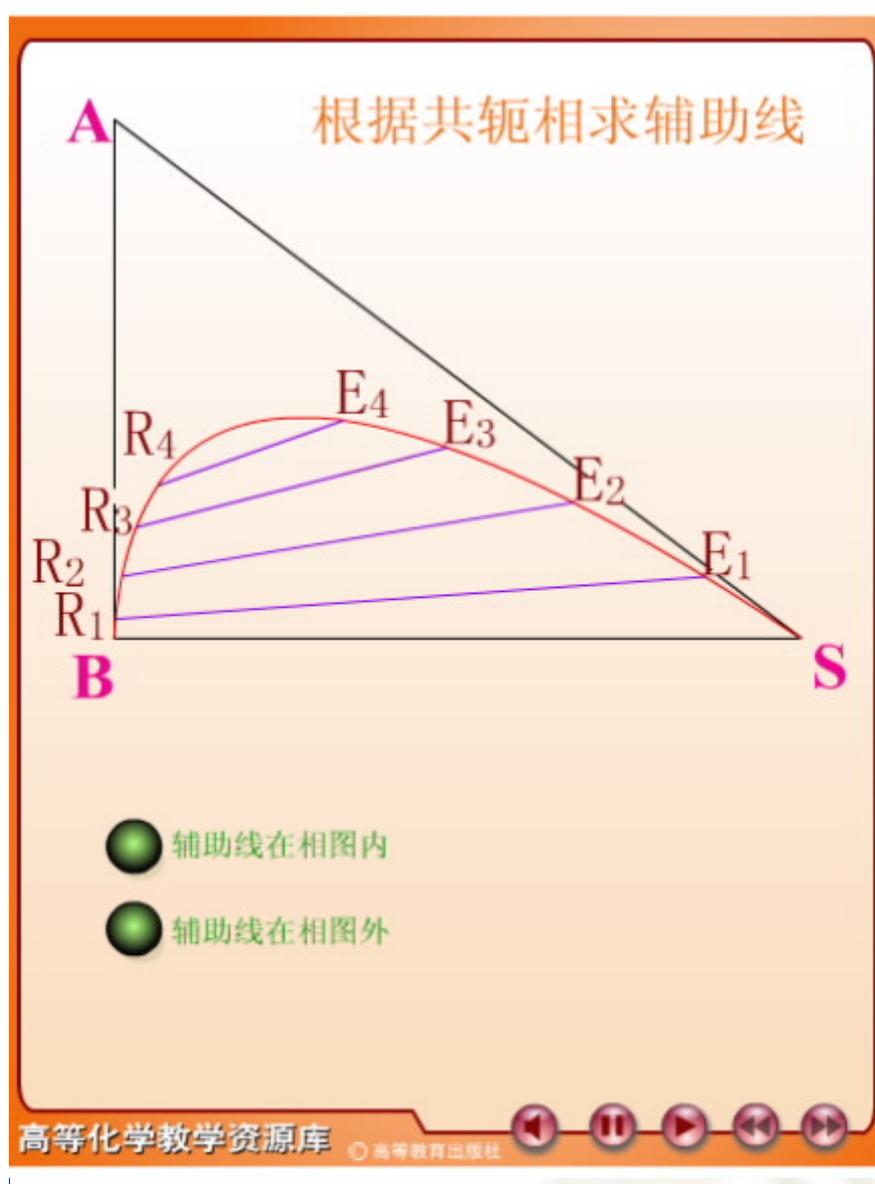
第二类物系三角形相图

(3) 平衡联结线如何内插？

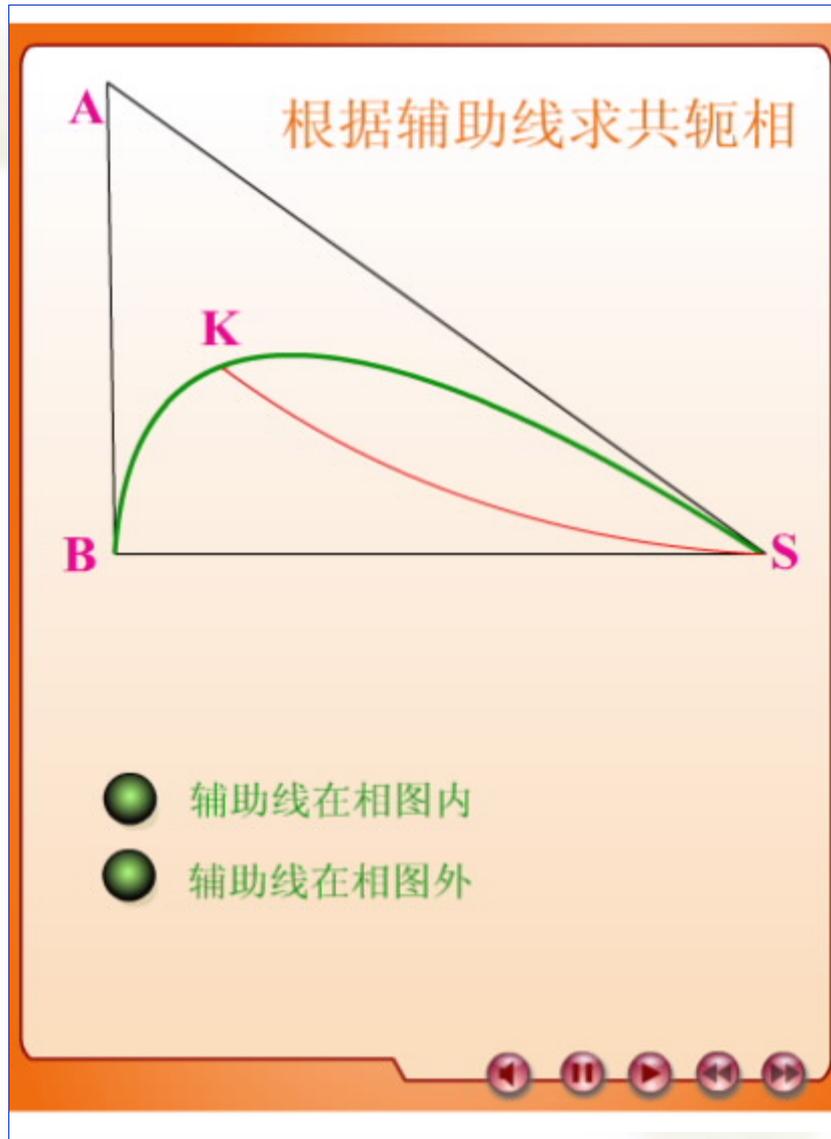
辅助曲线——由平行于两三角形边的
的直线相交所得



辅助曲线作法：



利用辅助曲线求取共轭相组成



(3) 相平衡关系的数学描述

① 分配曲线

A组分在两相中的分配系数 (**distribution coefficient**)

$$k_A = \frac{\text{溶} \quad A \text{在} E \text{相中的} \quad \text{成}}{\text{溶} \quad A \text{在} R \text{相中的} \quad \text{成}} = \frac{y_A}{x_A}$$

$$\text{即：} \quad y_A = k_A x_A$$

说明： k_A 和温度有关，温度升高， k_A 下降；

同时与浓度有关，溶质浓度升高， k_A 下降。

但浓度较低时， k_A 可视为常数（恒温、恒压）。

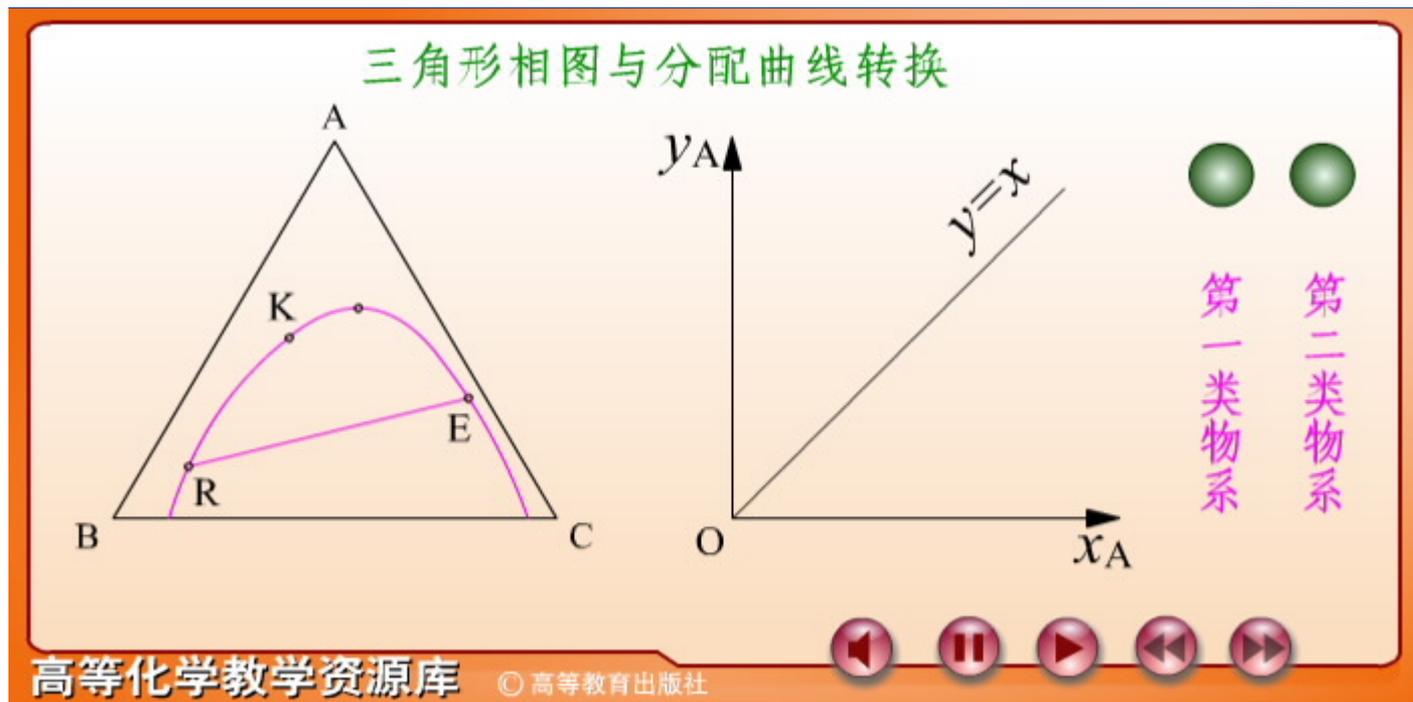
$$\text{原溶剂的分配系数：} \quad k_B = \frac{y_B}{x_B}$$

分配曲线:

$$y_A = f(x_A)$$

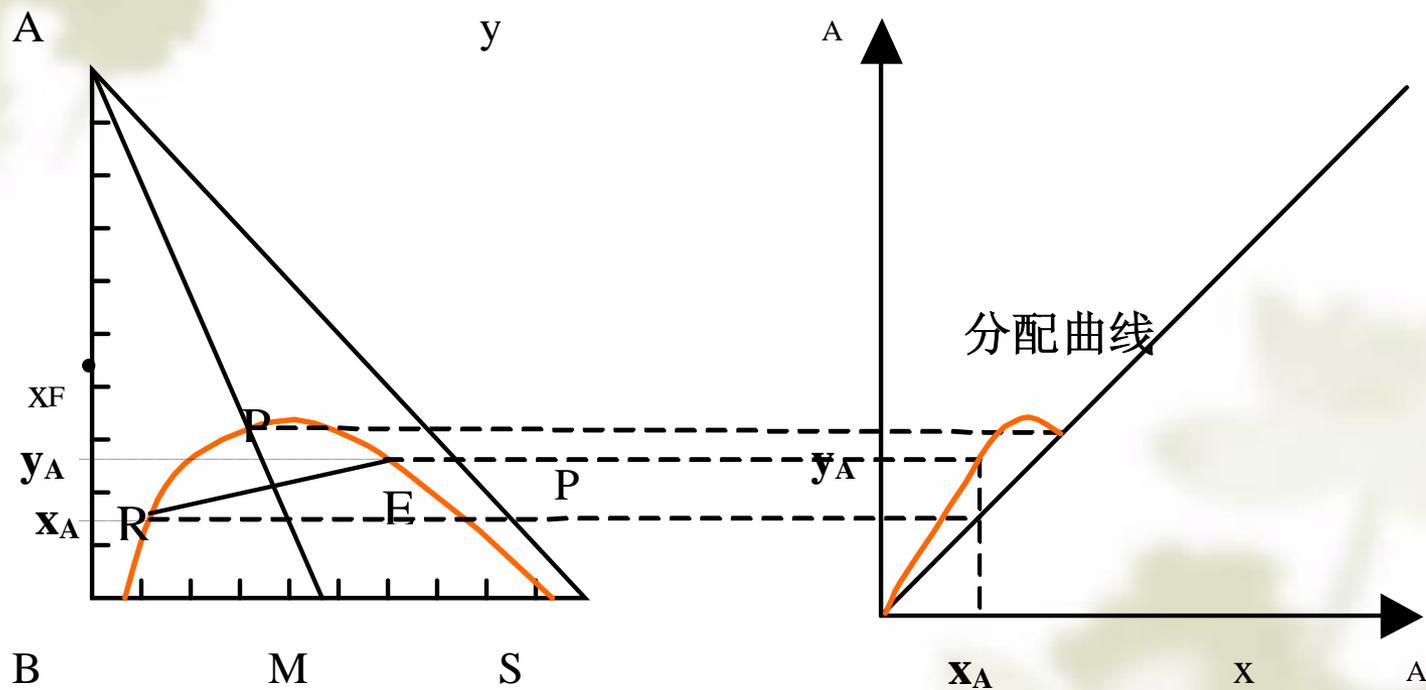
共轭相组成转换到直角坐标中得到的曲线称为分配曲线。

(可由三角形相图转换)。



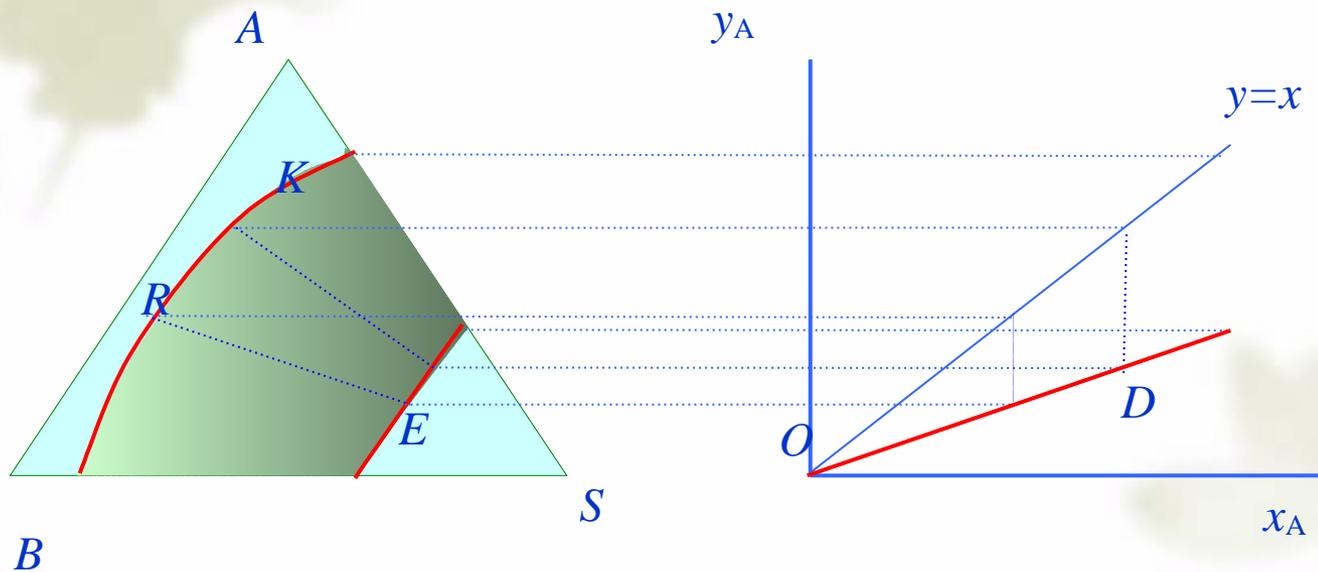
相平衡关系曲线——分配曲线

第一类物系



B、S 部分互溶

第二类物系



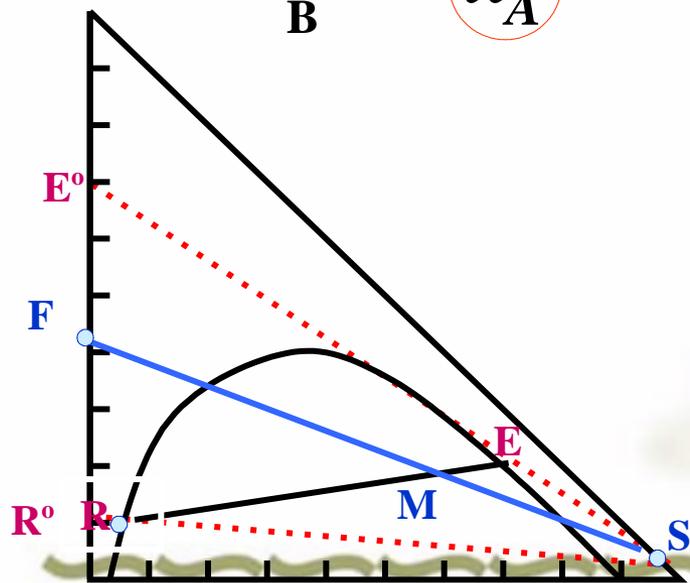
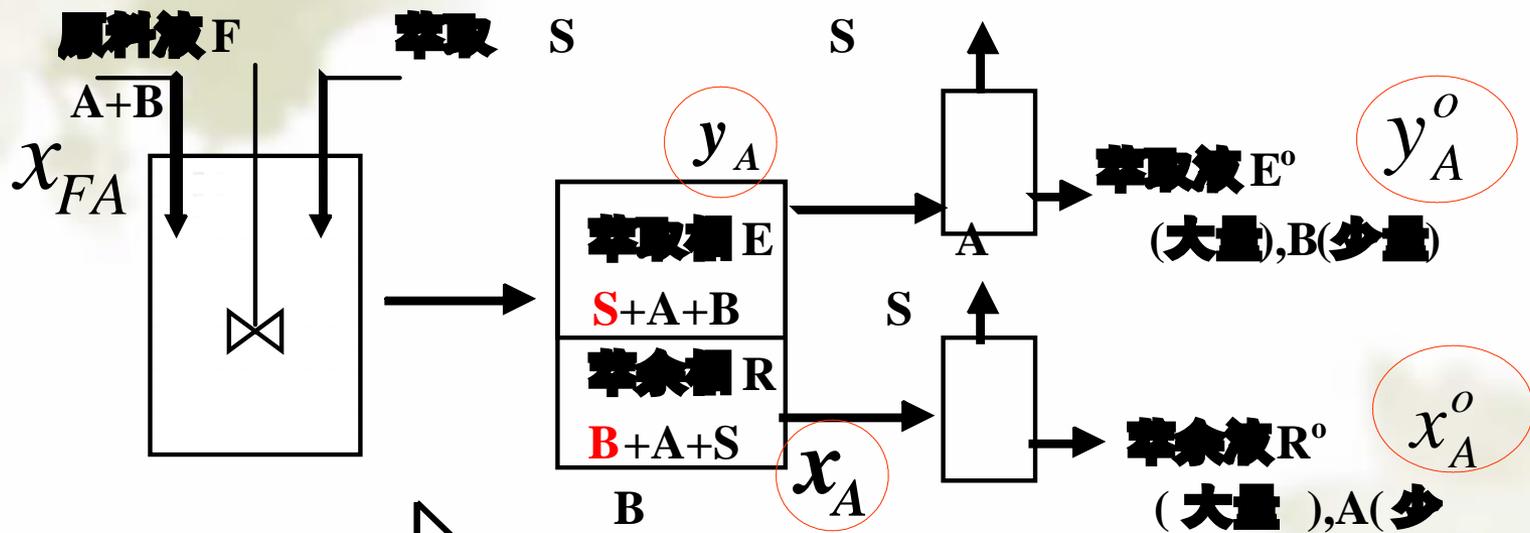
第二类物系的分配曲线

$$k_A \frac{y_A}{x_A}$$

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

11.2.3 液液相平衡与萃取操作的关系

(1) 级式萃取过程



$$k_A = \frac{y_A}{x_A}$$

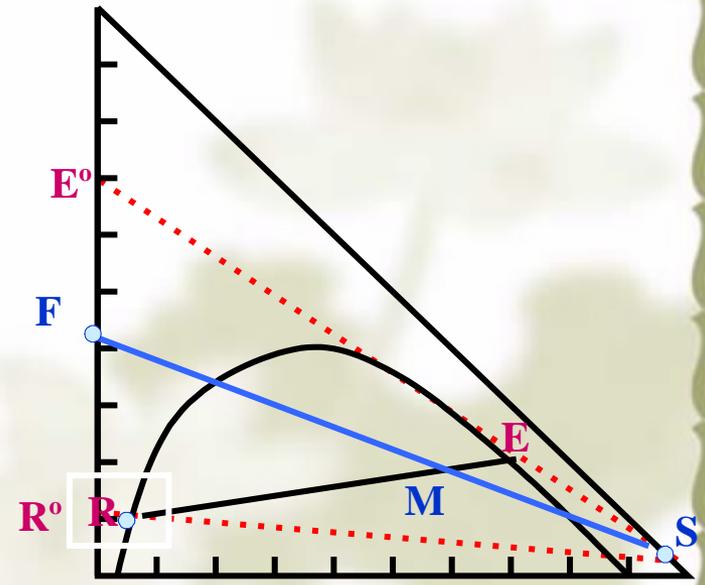
$$k_B = \frac{y_B}{x_B}$$

(2) 溶剂的选择性系数 (relative selectivity)

$$\frac{k_A}{k_B} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{y_A^o/x_A^o}{y_B^o/x_B^o} = \frac{y_A^o/x_A^o}{1} \cdot \frac{1}{y_B^o/x_B^o}$$

思考：萃取条件 K 1? 1?

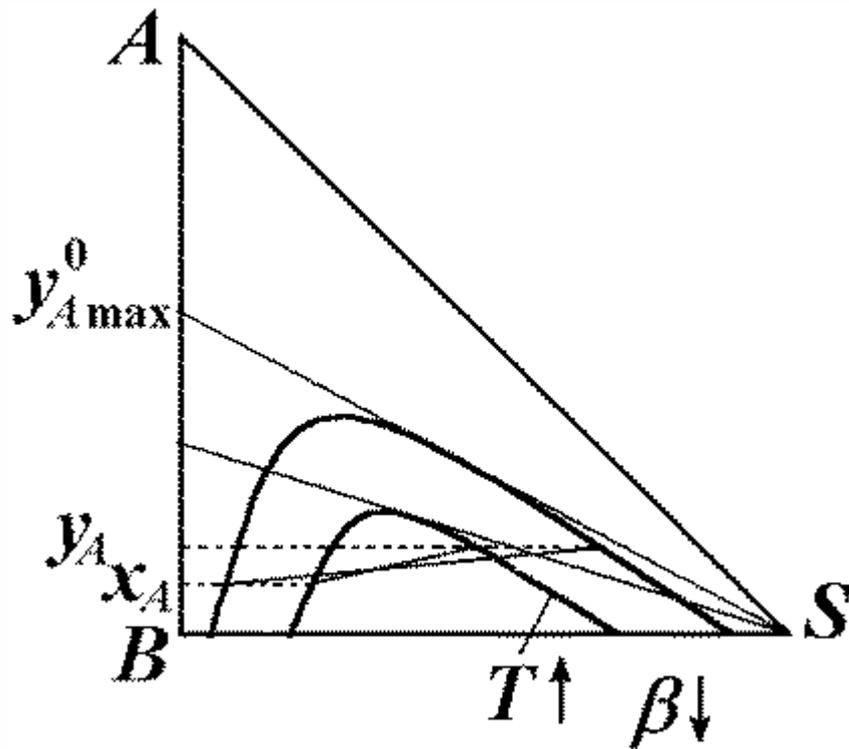
要求：1,
 k_A 越大越好 k_B 越小越好。



(3) 温度、压力对相平衡的影响

压力对液液相平衡影响可忽略

温度 \uparrow ，互溶度 \uparrow ，萃取操作范围 \downarrow ， $y_A^{0\max} \downarrow$



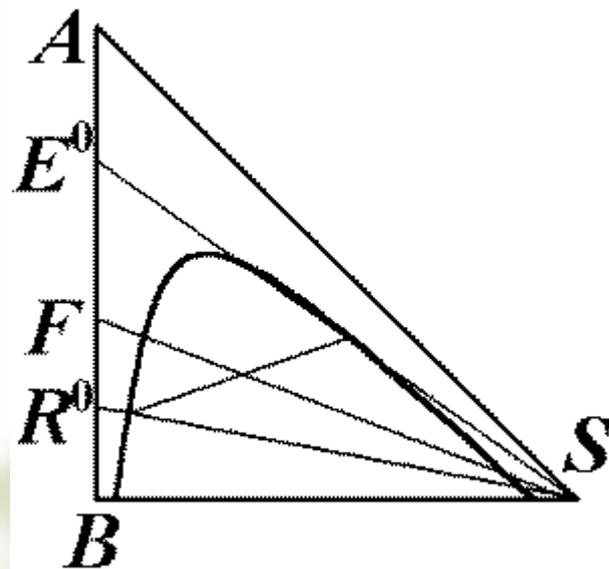
例1 在B-S部分互溶的单级萃取中，料液量为100kg，含溶质A为40kg，其余为稀释剂B。用纯溶剂萃取，溶剂比(S/F)为1。脱溶剂后，萃余液浓度 $x_A^0 = 0.3$ (质量分率)，选择性系数 $\beta = 8$ 。

解： $x_{FA} = 0.4$, $x_{FS} = 0$, $z_A = 0$, $F = 100\text{kg}$
 试求：萃取液量 E^0 为多少kg?

$$\frac{y_A^0 / (1 - y_A^0)}{x_A^0 / (1 - x_A^0)}$$

$$y_A^0 = \frac{x_A^0}{1 + (\beta - 1)x_A^0} = \frac{0.3}{1 + (8 - 1) \cdot 0.3} = 0.226$$

$$E^0 = F \frac{x_{FA} - x_A^0}{y_A^0 - x_A^0} = 100 \frac{0.4 - 0.3}{0.226 - 0.3} = 21\text{kg}$$

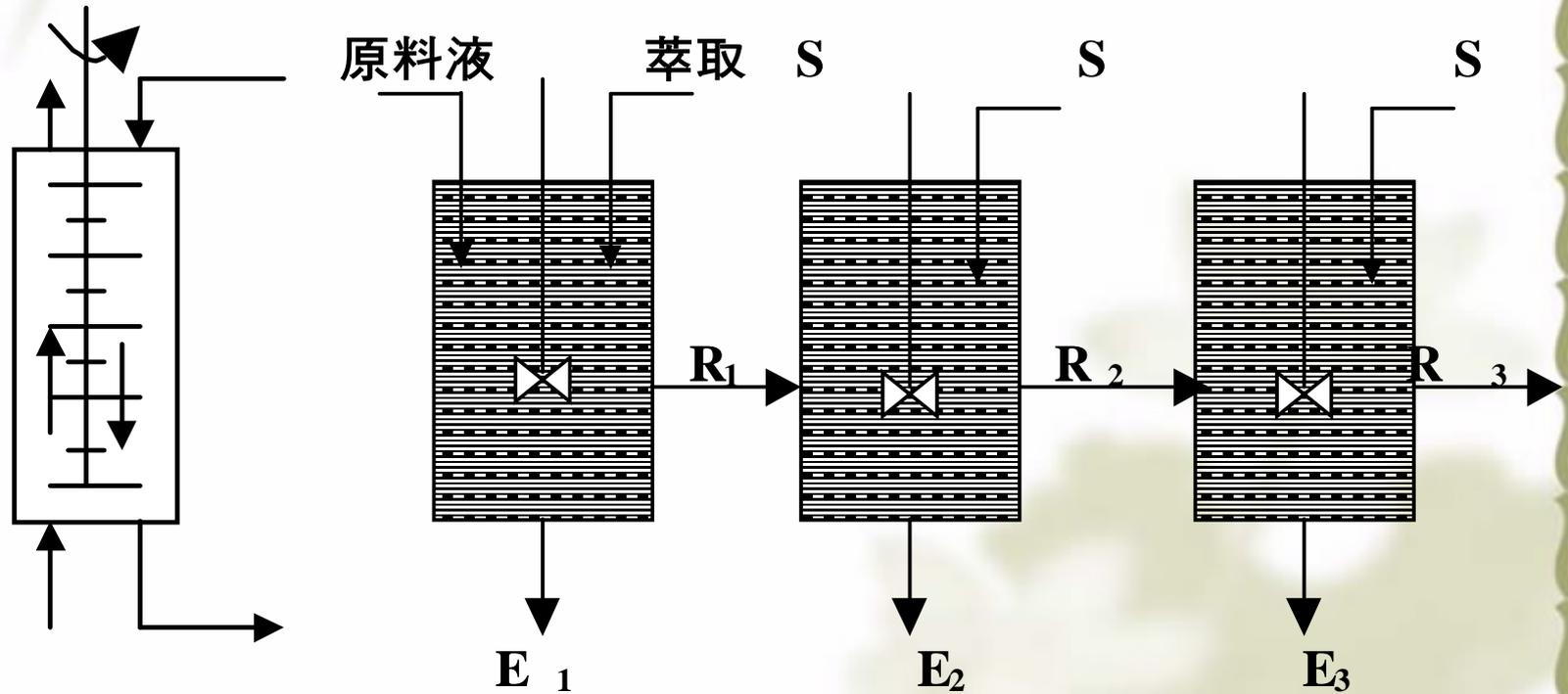


11.3 液 - 液萃取过程计算

物理萃取
化学萃取

二元萃取
多元萃取

微分接触式
分接触式



微分接触式

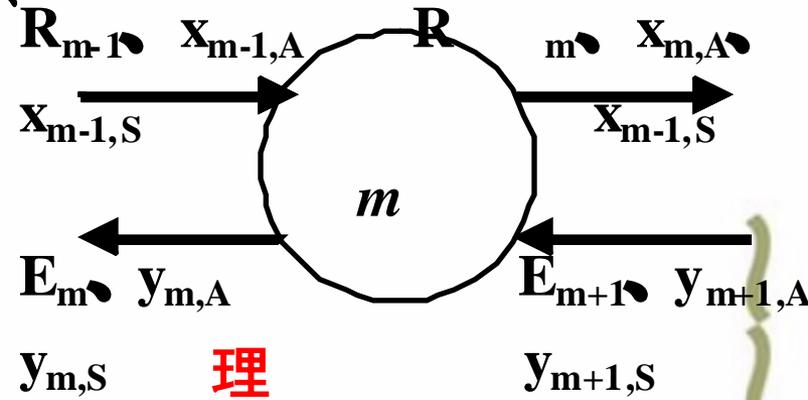
分接触式

理论级假定:

离开两相 R_m 、 E_m 呈相平衡关系

传质过程特征方程

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



物料衡算:

$$R_{m-1} + E_{m-1} = R_m + E_m \quad (11-14)$$

溶质A衡算:

$$R_{m-1}x_{m-1,A} + E_{m-1}y_{m-1,A} = R_mx_{m,A} + E_my_{m,A} \quad (11-15)$$

溶质S衡算:

$$R_{m-1}x_{m-1,S} + E_{m-1}y_{m-1,S} = R_mx_{m,S} + E_my_{m,S} \quad (11-16)$$

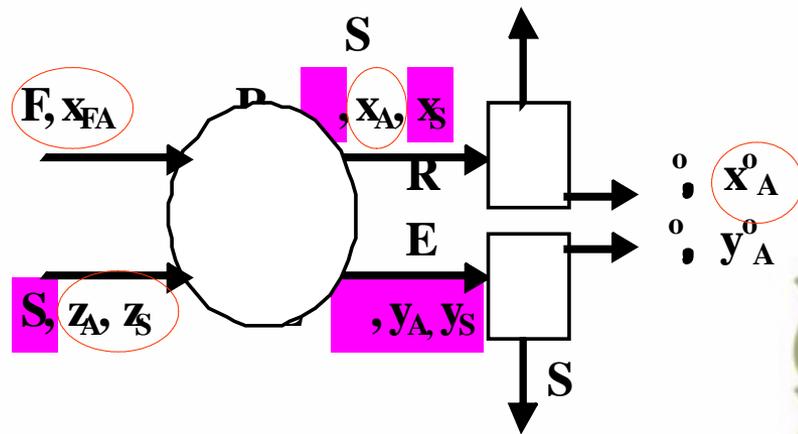
11.3.2 单级萃取的计算

已知：F、 x_{FA} 、 z_s (z_A)、 x_A (或 x_A^o)、
相平衡系。

求：S、R、E、 y_A 、 y_S 、 x_S

当B、S部分互溶时，图解法

(1) 解法:

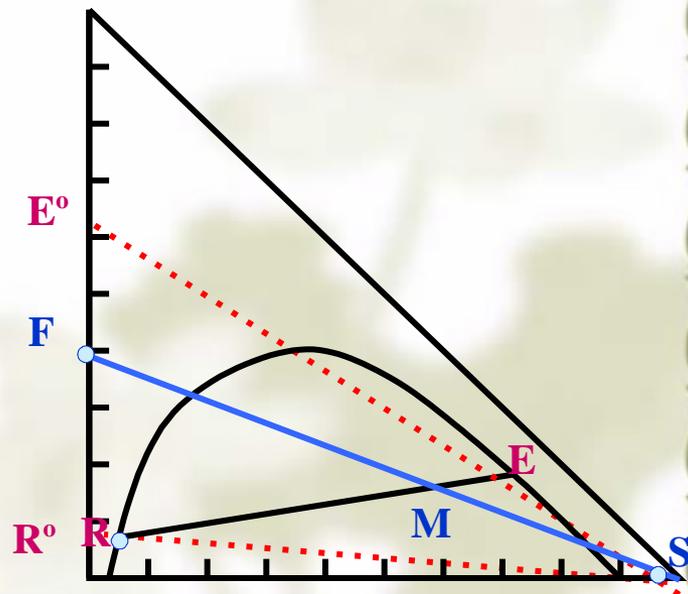


确定点F、S、点R或 R^o ，点E，作联结线，
找到点M，利用杠杆原理求各量。

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

$$\frac{R^o}{E^o} = \frac{\overline{FE^o}}{\overline{R^oF}}$$

$$R^o \quad E^o \quad F$$



(2) 解析法

： F S R E

溶 A : Fx_{FA} Sz_A Rx_A Ey_A

萃取 S : 0 Sz_S Rx_S Ey_S

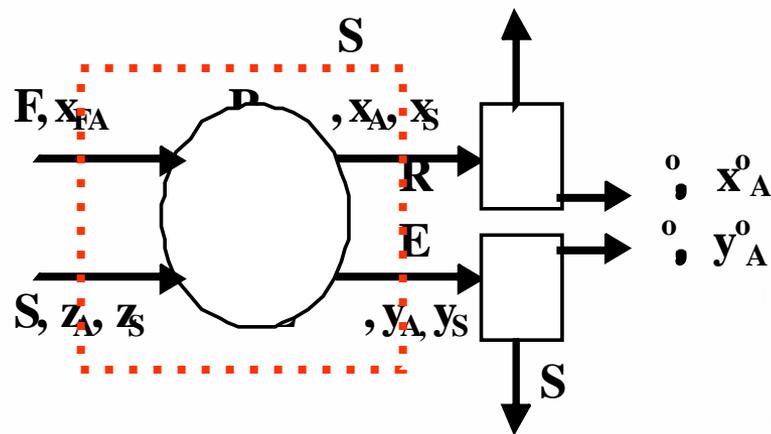
相平衡方程：

$$y_A = f(x_A)$$

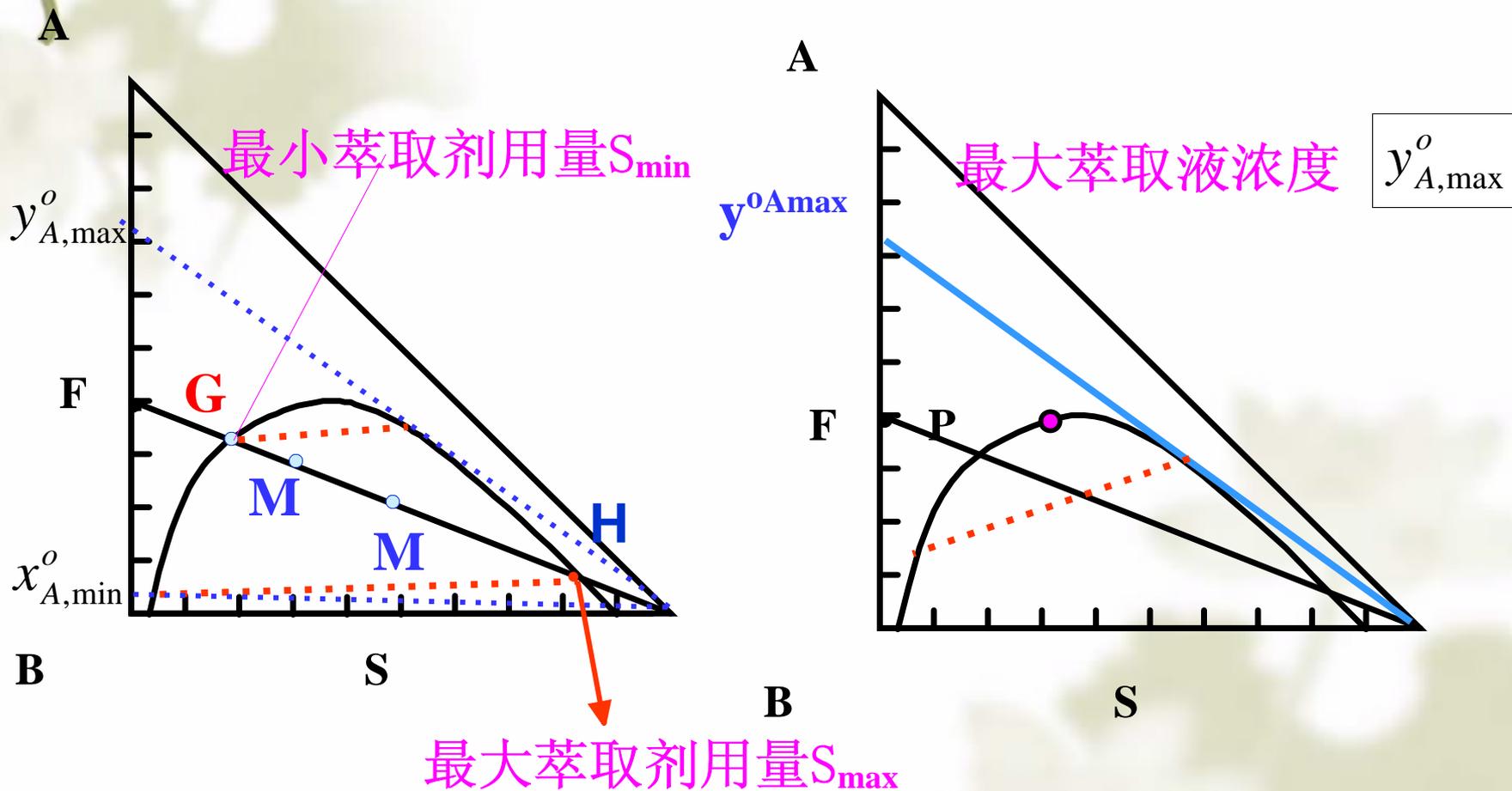
$$y_S = (y_A)$$

$$x_S = (x_A)$$

六个方程、六个未知数



(3) 最小溶剂用量和最大溶剂用量

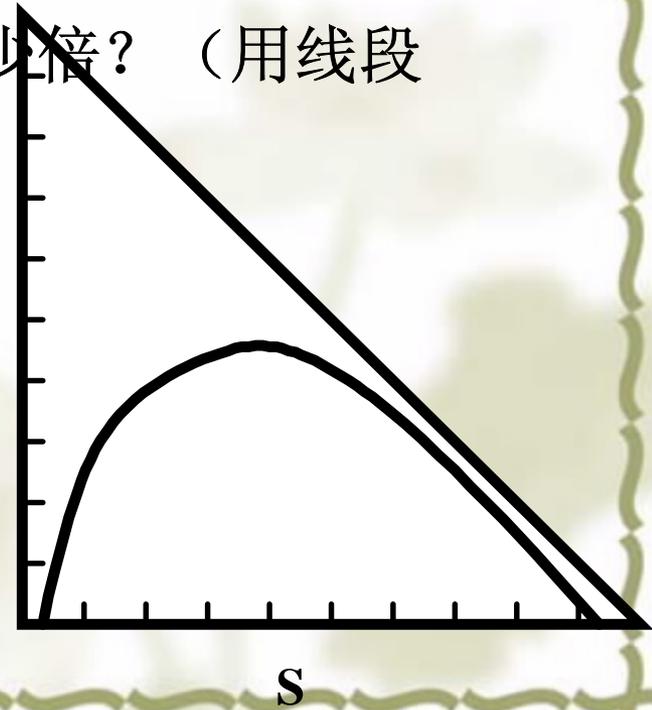
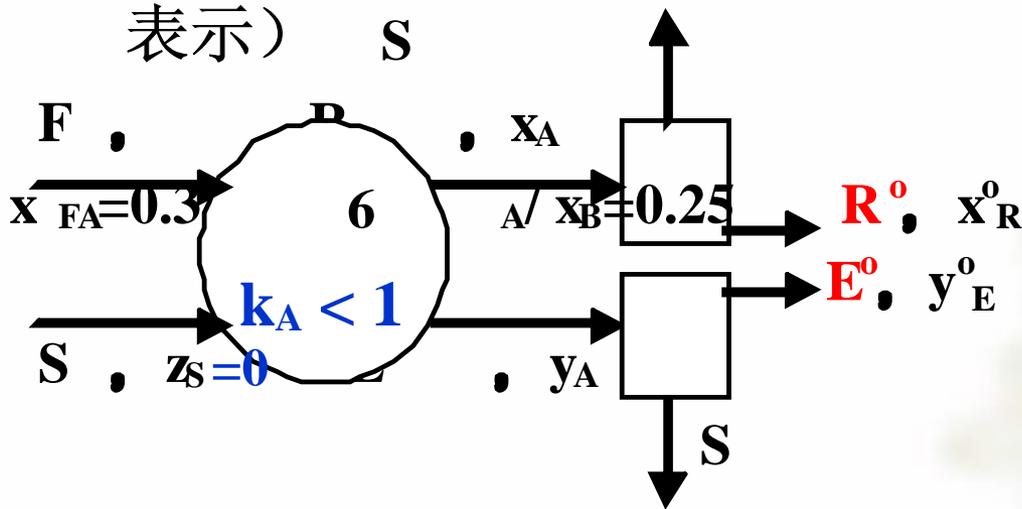


思考：最大萃取剂用量如何确定？

例2 单级萃取

采用纯溶剂进行单级萃取。已知料液组成 $x_{FA}=0.3$ (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 $(S/F)_{\min}$ 多少倍? (用线段表示)



解：（1）萃取液量与萃余液量的比值

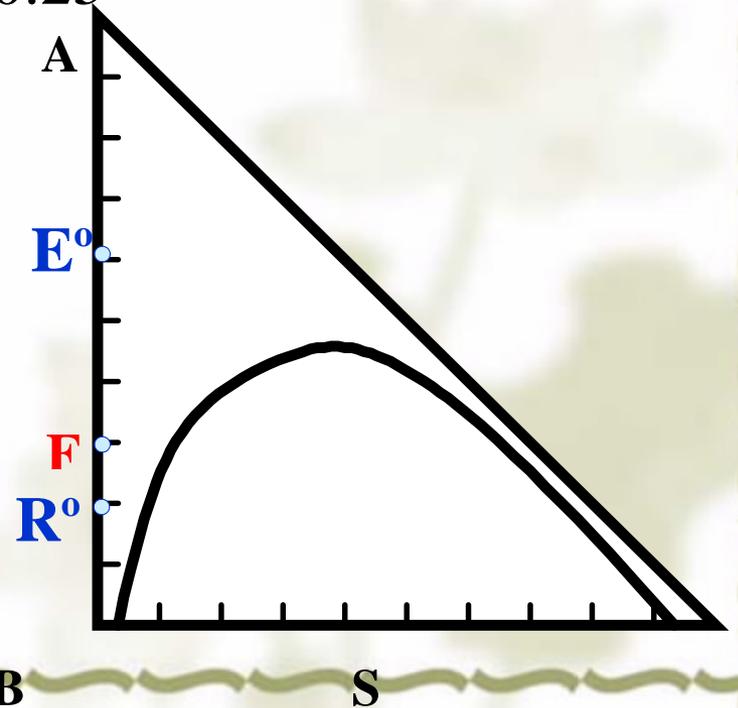
图解法：找到点F、E°、R°，然后应用杠杆原理求E°、R°的大小。

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

$$\frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{y_A^o/x_A}{(1 - y_A^o)/x_B} = \frac{y_A^o}{1 - y_A^o} = \frac{1}{0.25} = 6$$

$$y_A^o = 0.6$$

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



纯溶剂, $x_{FA}=0.3$, 选择性系数为6, $k_A < 1$

x_A/x_B	0.25
-----------	-------------

解: (1) 萃取液量与萃余液量的比值

解析

$$R^o \quad E^o \quad F$$

法:

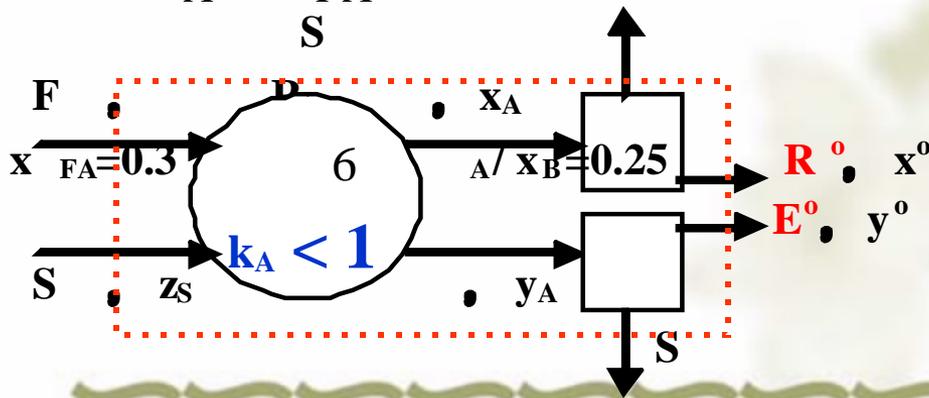
$$R^o x_A^o \quad E^o y_A^o \quad F x_{FA}$$

$$x_A^o \quad 0.2$$

$$y_A^o \quad 0.6$$

→

E^o	x_{FA}	x_A^o	0.3	0.2	1
R^o	y_A^o	x_{FA}	0.6	0.3	3

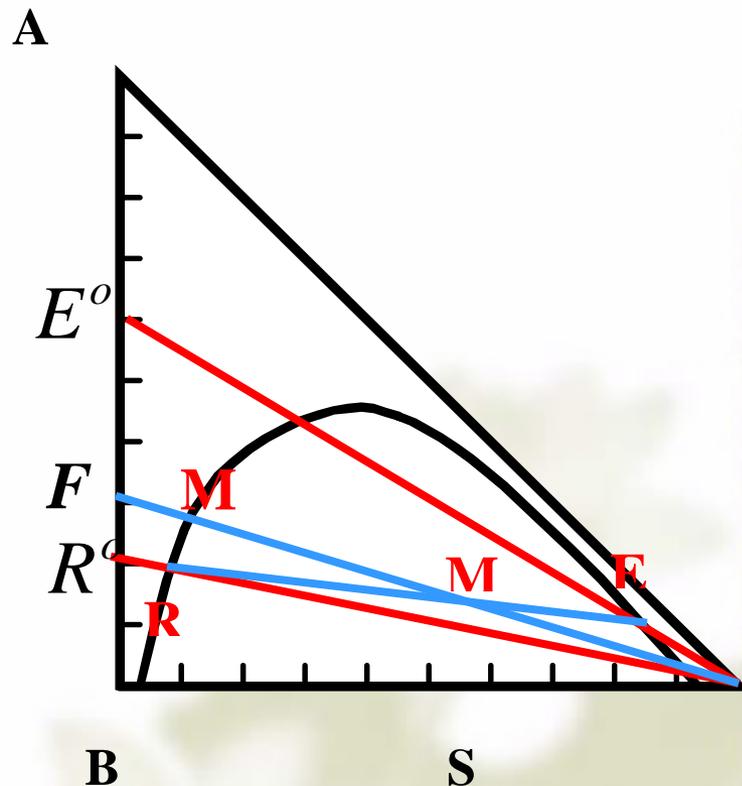


(2) 溶剂比S/F是最小溶剂比 $(S/F)_{\min}$ 多少倍? (用线段表示)

图解法:

$$\frac{S/F}{(S/F)_{\min}} = \frac{\overline{MF} / \overline{MS}}{\overline{MF} / \overline{MS}}$$

$$\frac{\overline{MF}}{\overline{MS}} = \frac{\overline{MF}}{\overline{MS}}$$

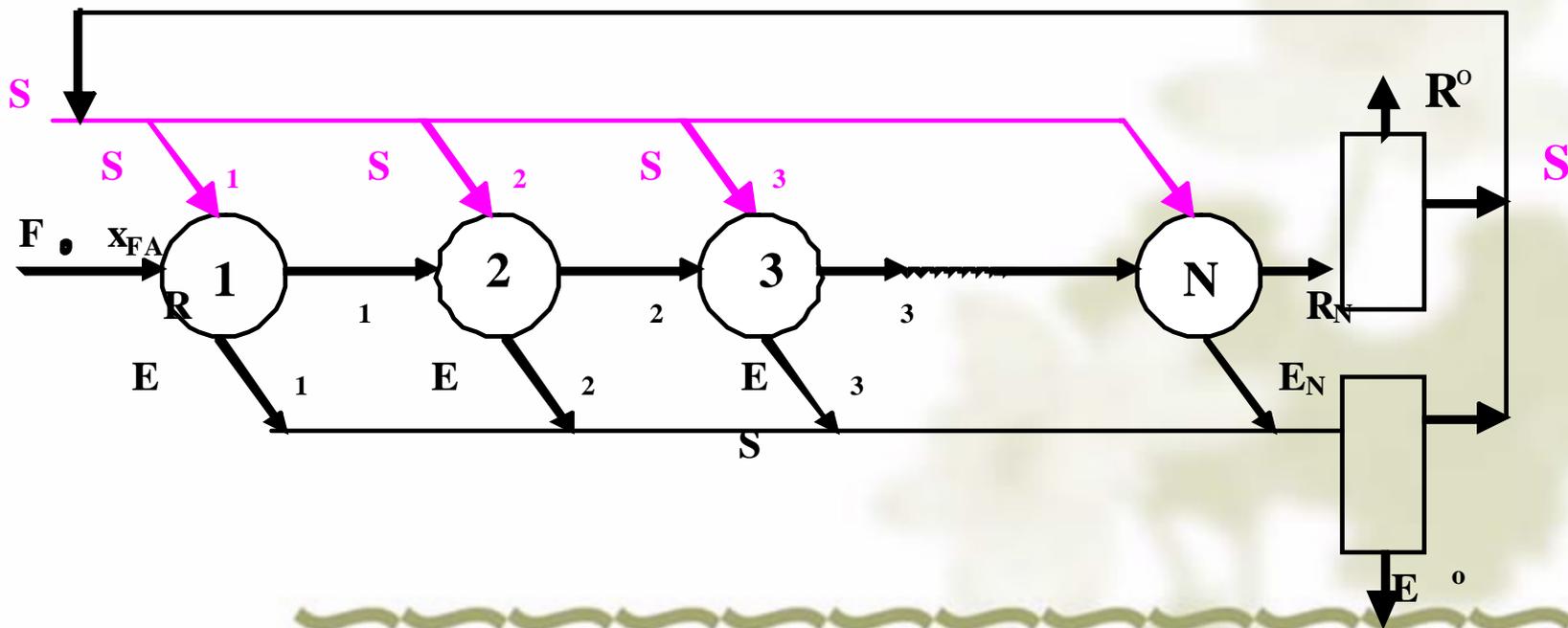


11.3.3 多级错流萃取

(1) 流程及特点

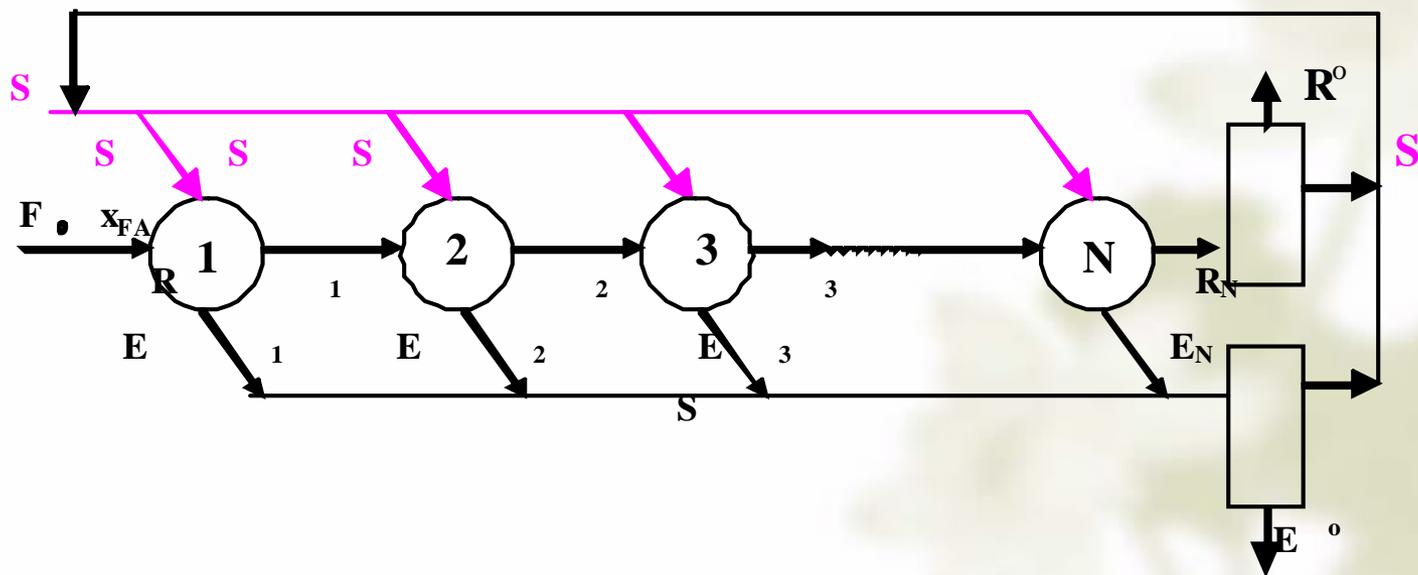
特点：①每一级均用新鲜萃取剂，故推动力大；
②萃取剂用量大，操作费用高。

可以证明，若相平衡系统为理想溶液，B与S不互溶，当
 $S_1 = S_2 = S_3 = \dots = S_N = S$ ，溶剂回收率最大。



(2) 计算 —— 求级数N

解法
解析法



A

(1) 当B、S部分互溶时，图解法

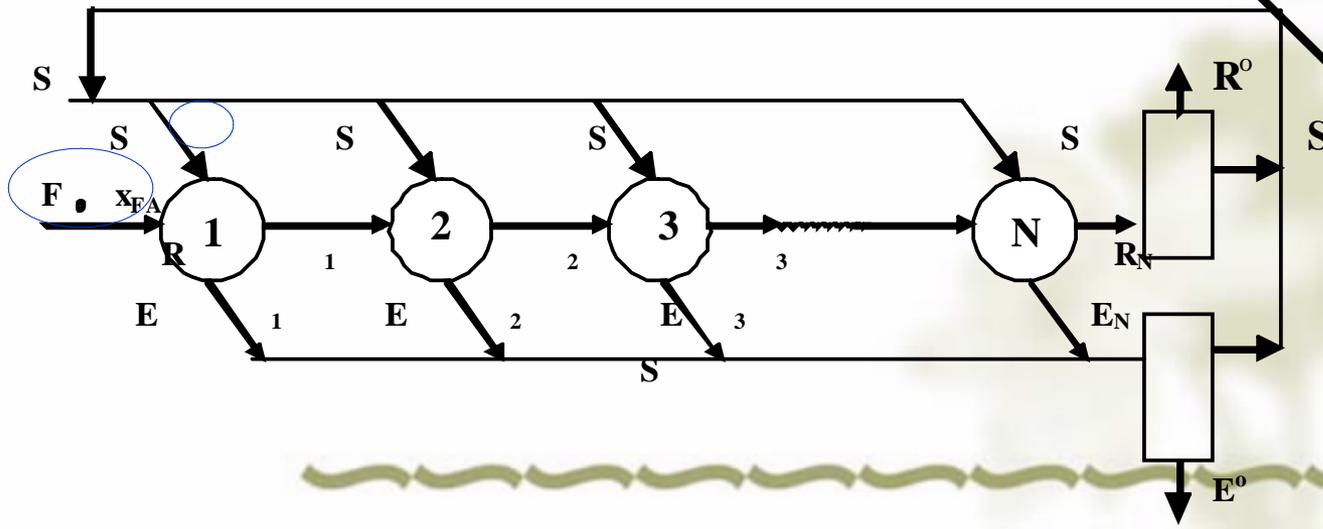
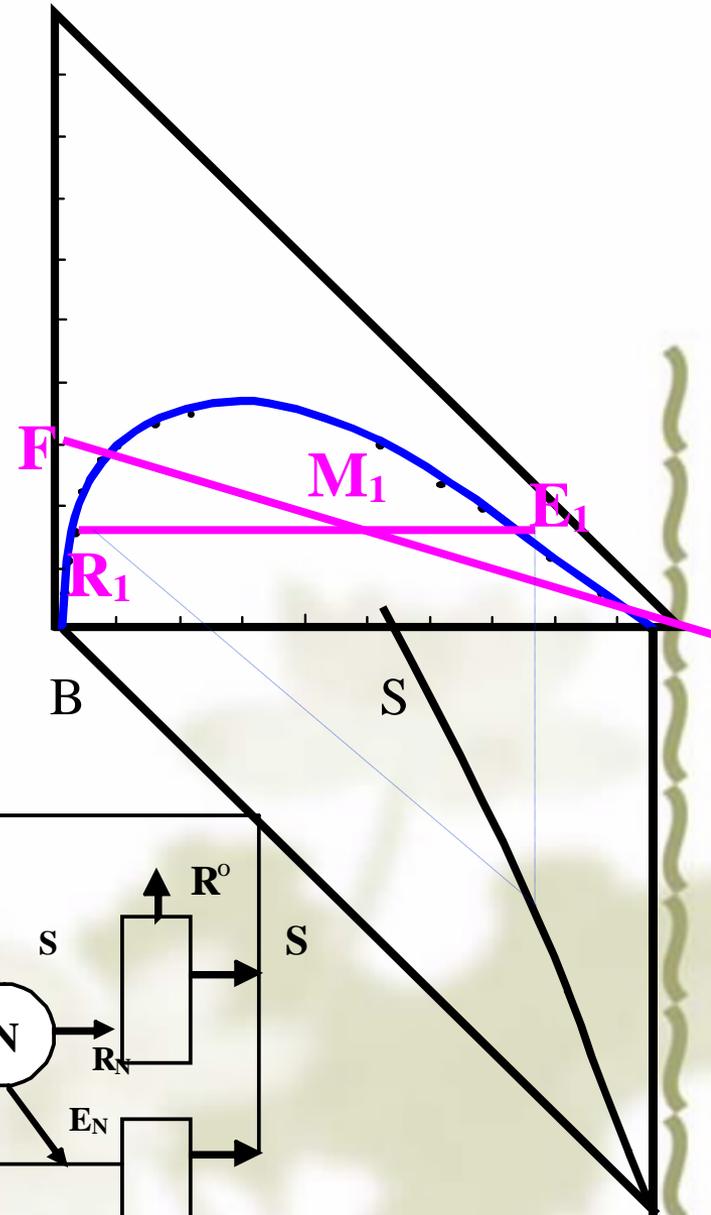
作 步 ：

① 点 F、S，由 F、S 大小和
杠杆原理定和点 M_1 ；

② M_1 作共 ， 定点 R_1 、 E_1
及其大小；

$$\frac{F}{S} = \frac{R_1}{E_1}$$

$$\frac{R_1}{E_1} = \frac{M_1 E_1}{R_1 M_1}$$



③ 点 R_1 、 S ，由 R_1 、 S 大小和杠杆原理定和点 M_2 ；

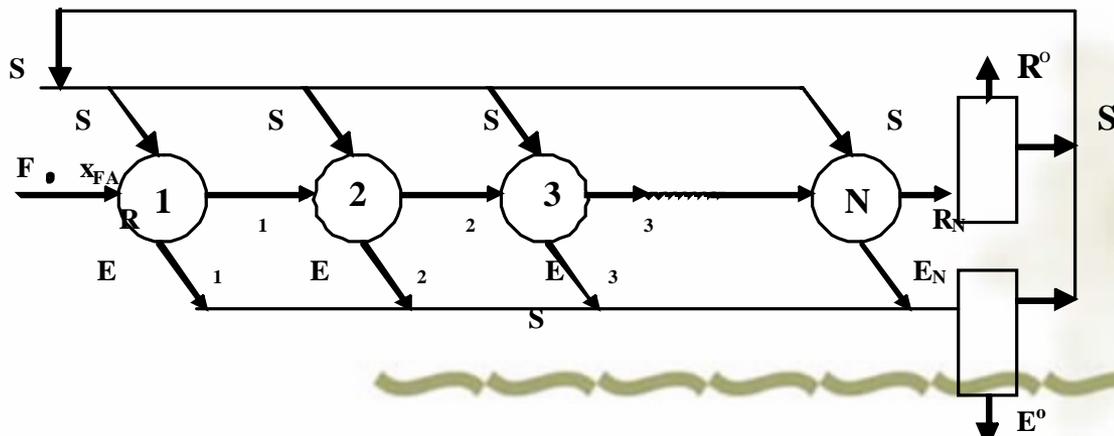
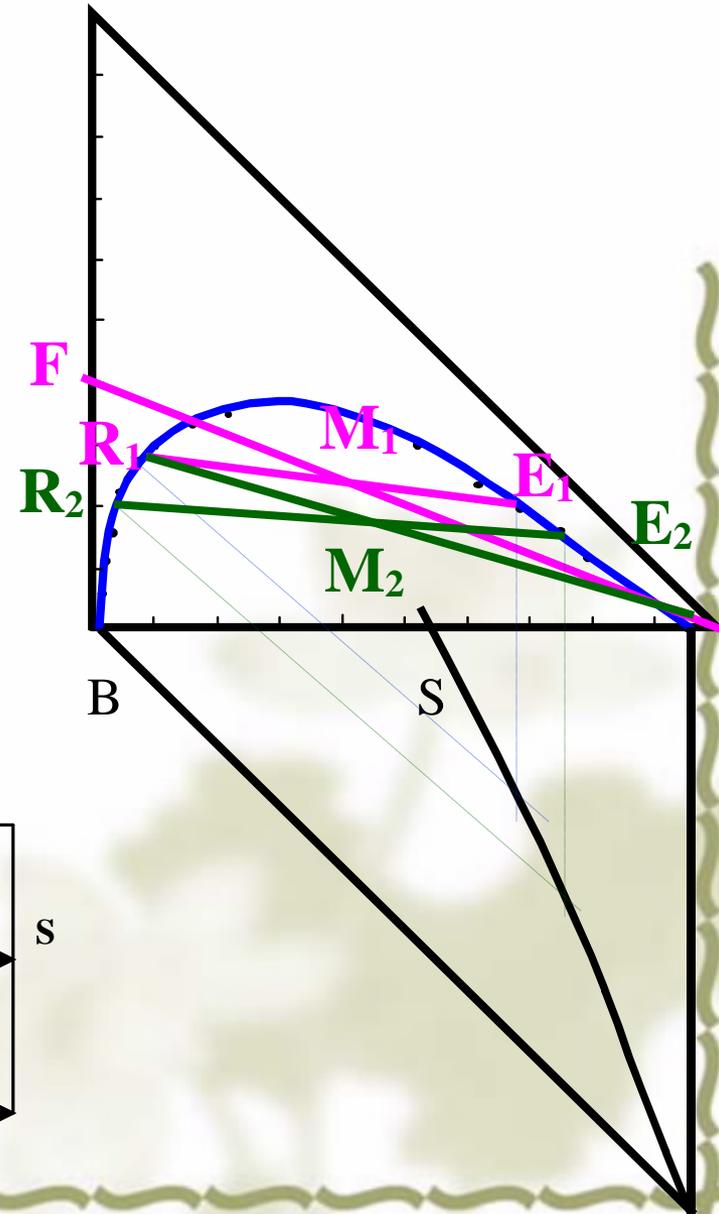
④ M_2 作共...，定点 R_2 、 E_2 及其大小；

$$R_1 \quad S \quad R_2 \quad E_2$$

$$\frac{R_2}{E_2} = \frac{M_2 E_2}{R_2 M_2}$$

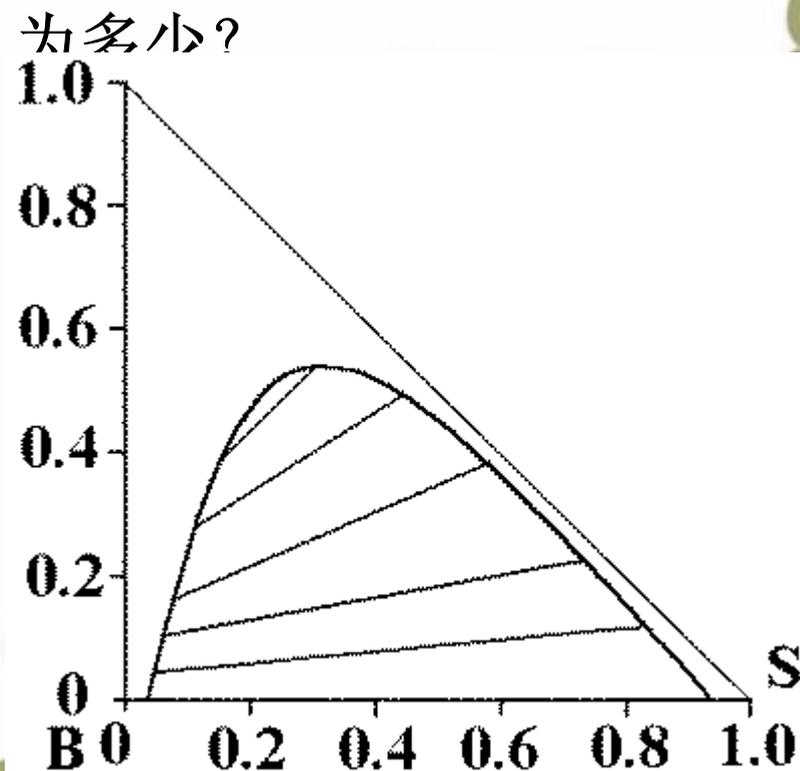
⑤ 如此反...，直至 x_N x_R (指定) 止，共...的个数即...理...数。

A



例3 三元物系的溶解度曲线与平衡联结线如图所示。用31kg纯溶剂对100kg进料进行两级错流萃取， $x_{FA}=0.3$ (质量分率)， $x_{FS}=0$ ，试求：

- (1) 萃余相的量和 $\frac{R_n x_{An}}{F x_{FA}}$ 多少？
 (2) 萃余百分数为多少？



解：(1)31kg溶剂分两次，
每次15.5kg，作FS线，取线段比

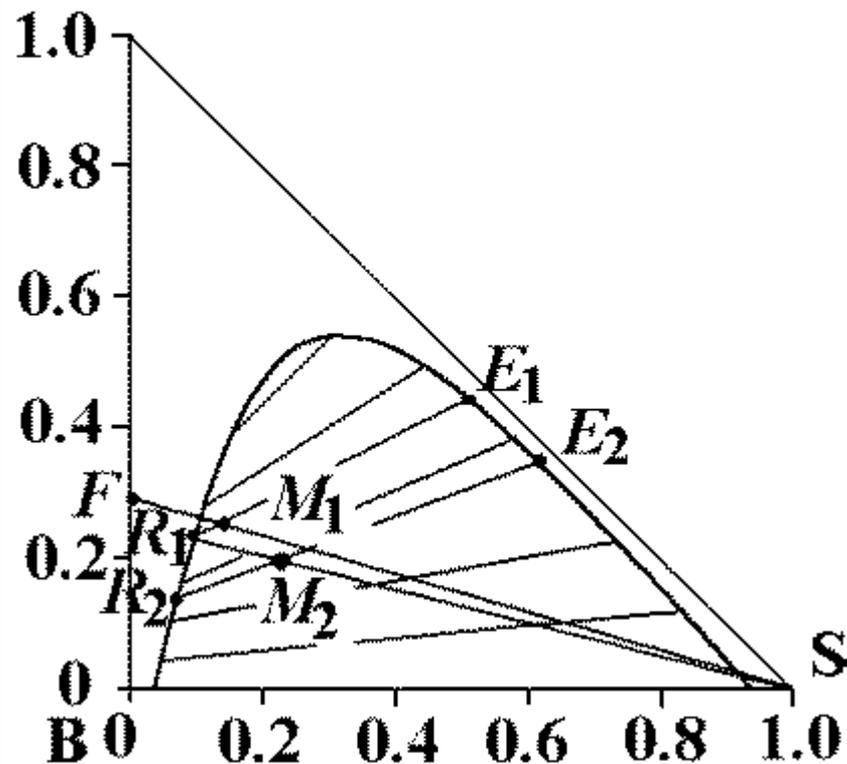
$\frac{FM_1}{FS}$	$\frac{S_1}{F S_1}$	$\frac{15.5}{115.5}$	0.134
-------------------	---------------------	----------------------	-------

定M₁点；

R_1	M_1	$\frac{M_1 E_1}{R_1 E_1}$	115.5	$\frac{133}{153}$	100.4kg
-------	-------	---------------------------	-------	-------------------	---------

作R₁S线，取线段比

$\frac{R_1 M_2}{R_1 S}$	$\frac{S_2}{R_1 S_2}$	$\frac{15.5}{115.9}$	0.134
-------------------------	-----------------------	----------------------	-------



定M₂点

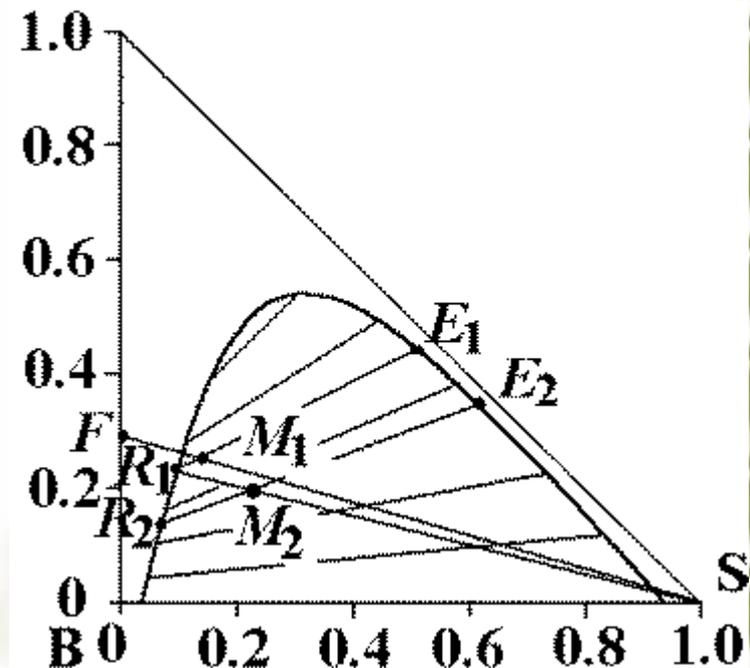
$$R_2 = M_2 \frac{M_2 E_2}{R_2 E_2}$$

$$115.9 \quad \frac{141}{199} \quad 82.1kg$$

图中读得 $x_{A2} = 0.13$

(2) 萃余百分数

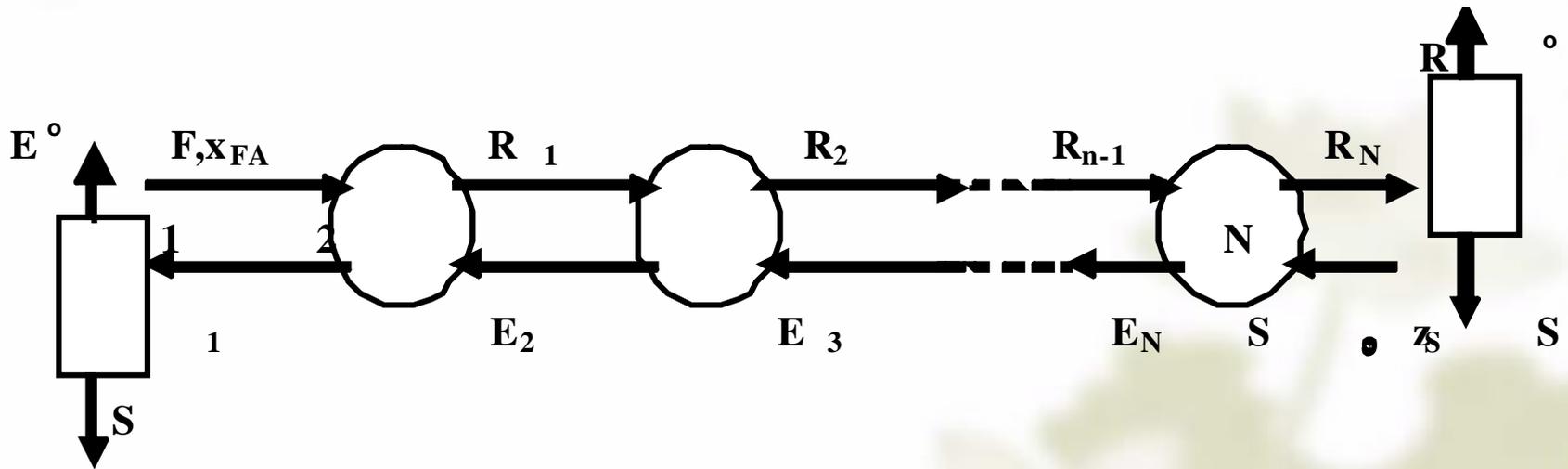
$$\frac{R_2 x_{A2}}{F x_{FA}} = \frac{82.1 \quad 0.13}{100 \quad 0.3} = 0.35$$



11.3.4 多级逆流萃取

一、流程及特点

特点：传质推动力较为均匀，分离效率高，溶剂用量少。



二、计算

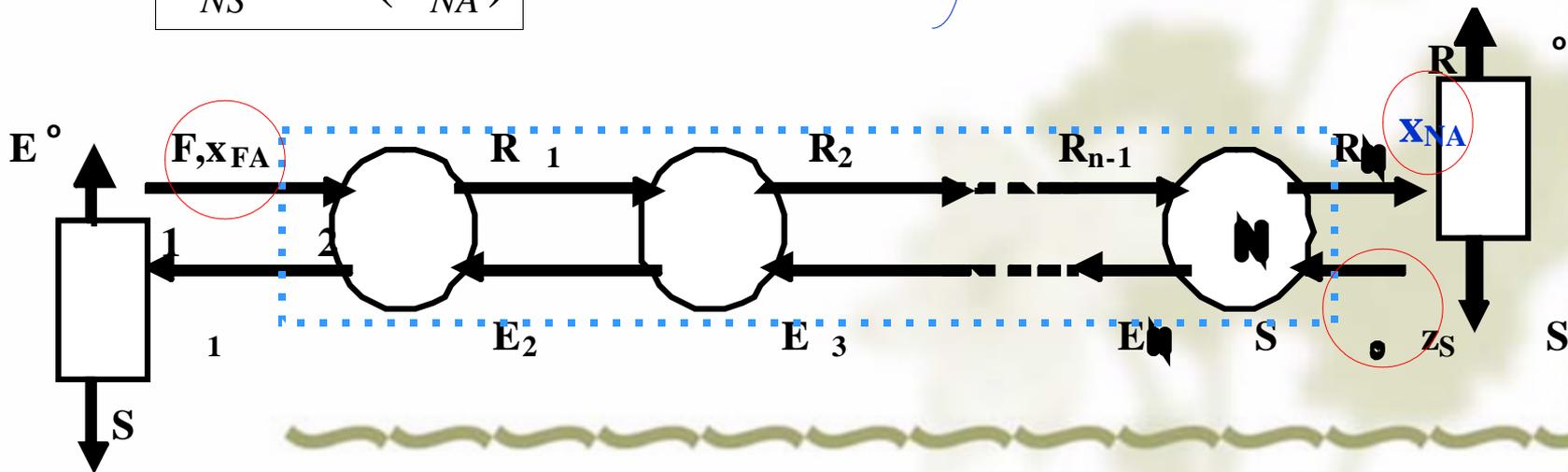
当B、S部分互溶时

~~解法~~
解析法

$$\begin{array}{l}
 \text{溶} \quad \text{A} : Fx_{FA} \quad Sz_A \quad R_N x_{NA} \quad E_1 y_{1A} \\
 \text{萃取} \quad \text{S} : Fx_{FS} \quad Sz_S \quad R_N x_{NS} \quad E_1 y_{1S}
 \end{array}$$

$y_{1S} \quad (y_{1A})$
 $x_{NS} \quad (x_{NA})$

五个方程
五个未知数



第一级：

$$: F \quad E_2 \quad R_1 \quad E_1$$

溶 A : $Fx_{FA} \quad E_2y_{2A} \quad R_1x_{1A} \quad E_1y_{1A}$

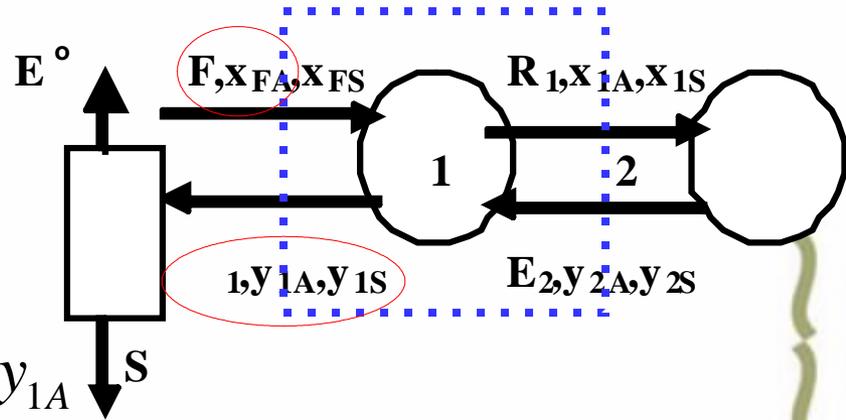
萃取 S : $Fx_{FS} \quad E_2y_{2S} \quad R_1x_{1S} \quad E_1y_{1S}$

相平衡方程 : $y_{1A} \quad f(x_{1A})$

$$y_{2S} \quad (y_{2A})$$

$$x_{1S} \quad (x_{1A})$$

六个方程、六个未知数

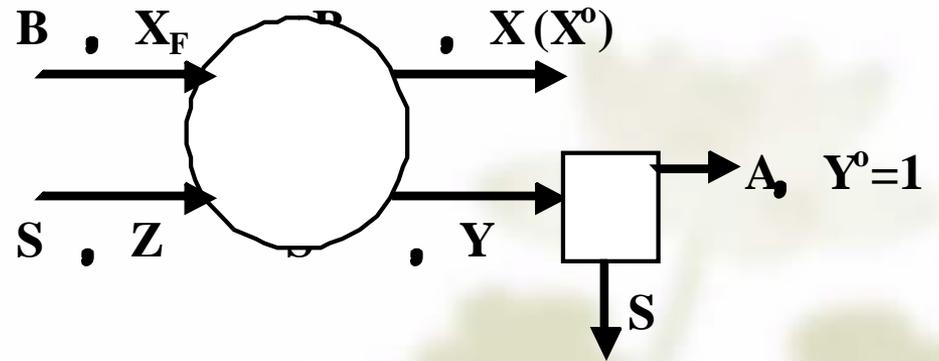


11.3.5 B、S完全不互溶物系萃取过程计算

对于完全不互溶物系，浓度常用比质量分数 X 、 Y 表示。

$$X = \frac{x_A}{x_B} \left[\frac{\text{kgA}}{\text{kgB}} \right]$$

$$Y = \frac{y_A}{y_S} \left[\frac{\text{kgA}}{\text{kgS}} \right]$$



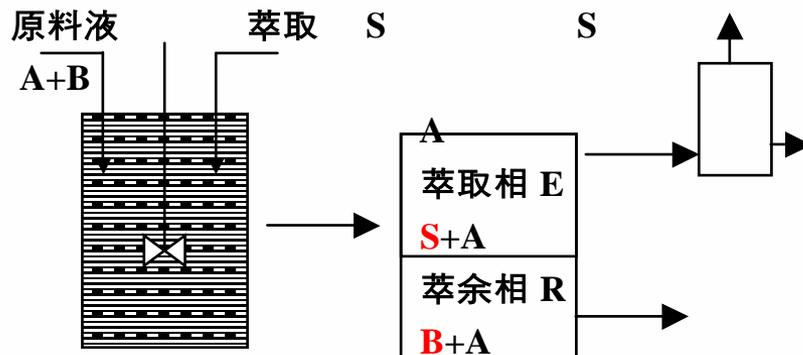
一、单级萃取

物料衡算：

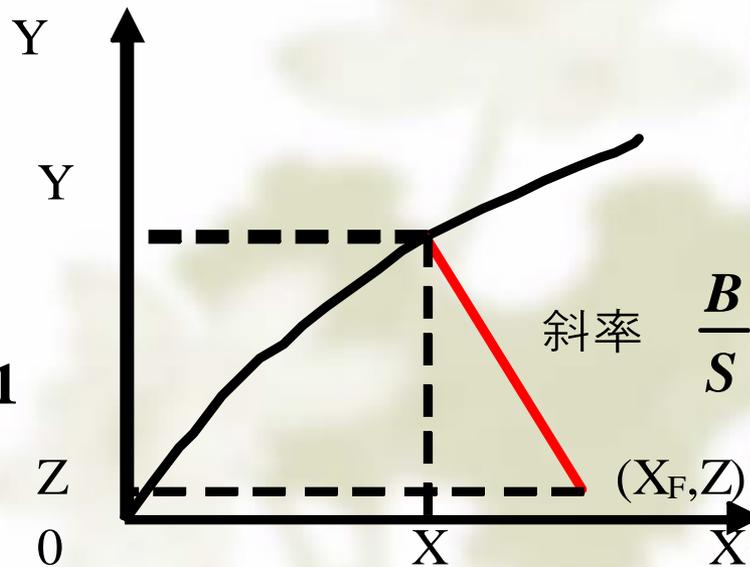
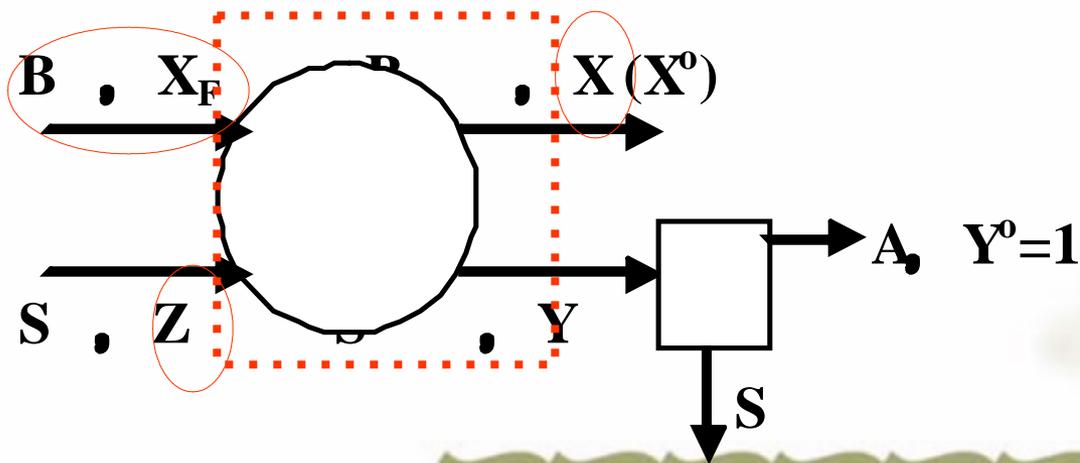
$$BX_F \quad SZ \quad BX \quad SY$$

$$\rightarrow Y \quad \frac{B}{S} X \quad X_F \quad Z$$

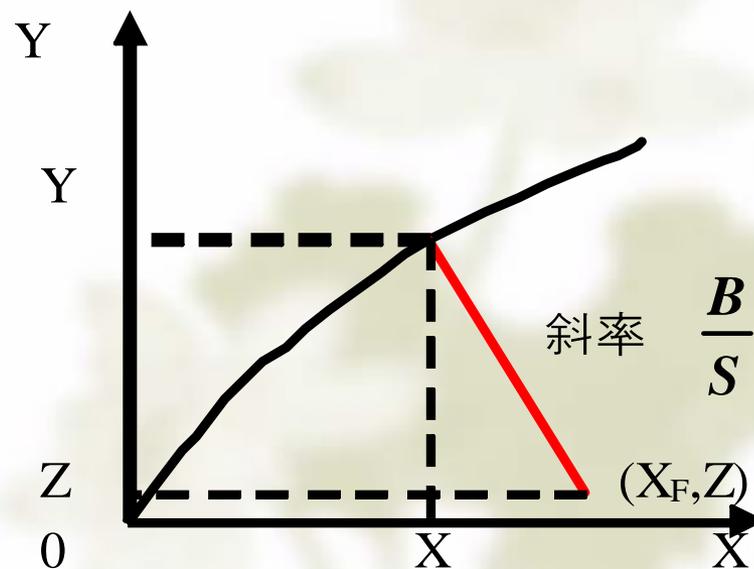
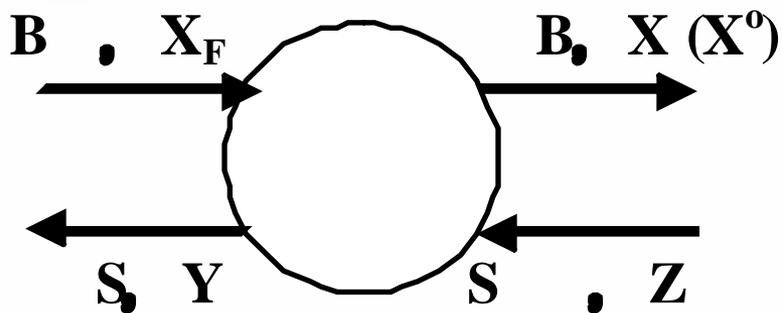
相平衡系： $Y = f(X)$



操作点 (X_F, Z) , (X, Y)



思考：若流程如图所示，逆流流动， 则操作线又如何？



二、多级错流萃取

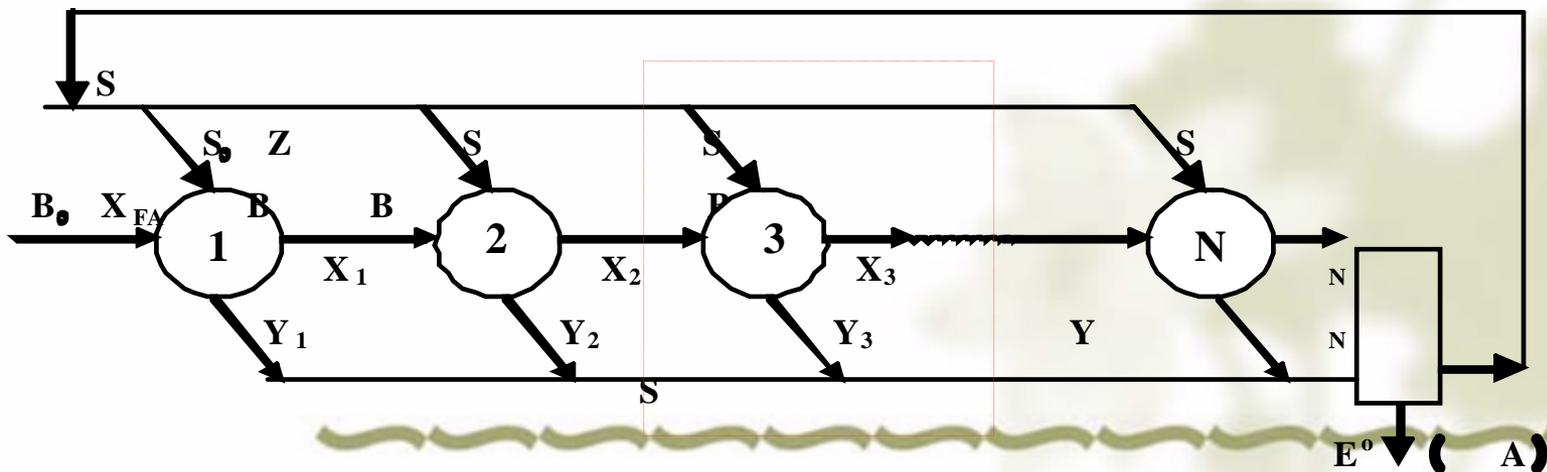
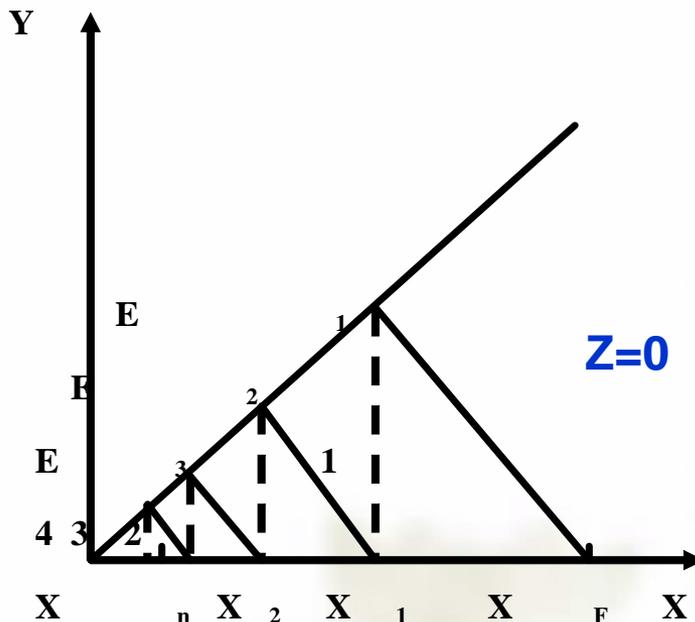
操作 方程：

$$Y_m = \frac{B}{S} X_m + X_{m-1} + Z$$

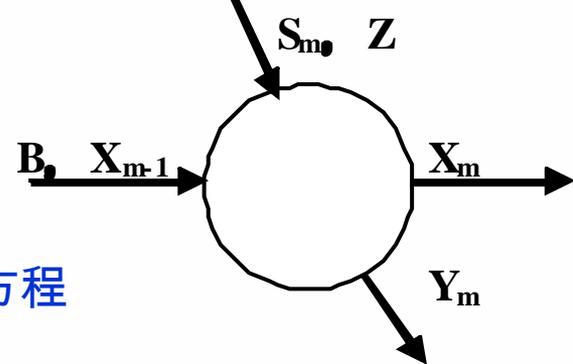
过点 $(X_{m-1}, 0)$, (X_m, Y_m)

例如第一 : $Y_1 = \frac{B}{S} X_1 + X_F + Z$

过点 $(X_F, 0)$, (X_1, Y_1)



解析法(Z=0)



$$\begin{cases} B(X_{m-1} - X_m) = S_m Y_m \\ Y_m = K X_m \end{cases}$$

操作线方程

平衡线方程

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

$$\frac{1}{A_m} = K \frac{S_m}{B} \text{ — 萃取因子}$$

若 $X_0 = X_F, X_N = \frac{X_F}{(1 + \frac{1}{A_m})^N}$

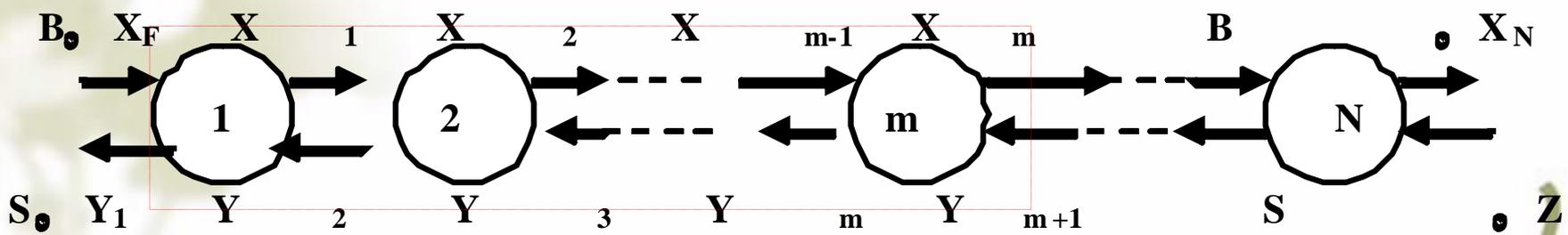
$$N = \frac{\log[\frac{X_F}{X_N}]}{\log(1 + \frac{1}{A})}$$

N , 萃余百分数 $\frac{B X_N}{B X_F} = 1 / (1 + \frac{1}{A})^N$

解法

解析法

三、多级逆流萃取

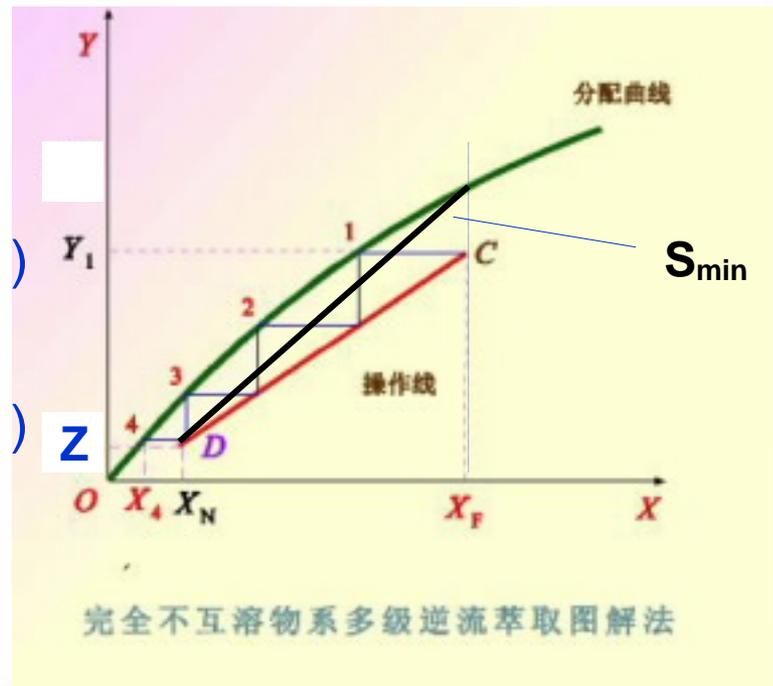


(1) 作图法求级数N

第 1 ~m 作物料衡算：

$$B X_F + X_m = S Y_1 + Y_{m-1} \quad (11-45)$$

$$Y_{m-1} = \frac{B}{S} X_m + \left(Y_1 - \frac{B}{S} X_F \right) \quad (11-46)$$



-----操作线方程，过点 (X_N, Z) (X_F, Y_1)

思考： $S_{min}=?$

X_F, Z 操 Y_1 相 X_1 操 Y_2 相 X_2 X_N X_R

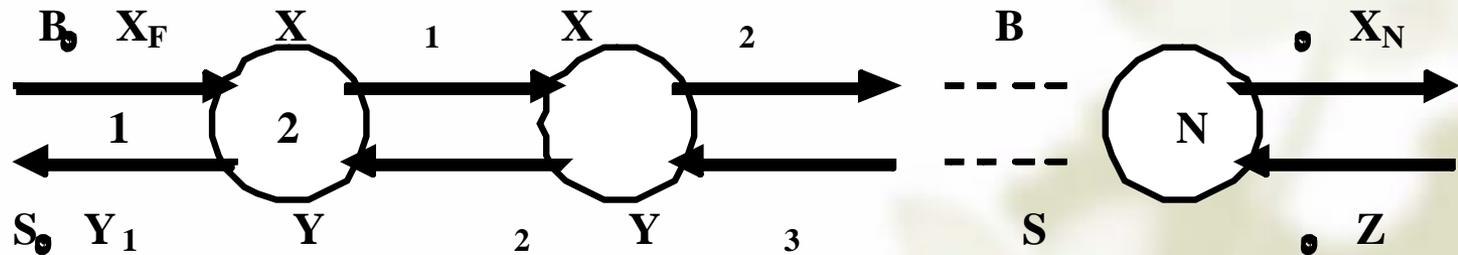
(2) 解析法求级数N

当平衡线为直线时，即 $Y = mX$ 可证明

$$N = \frac{1}{\ln\left(\frac{1}{A}\right)} \ln\left[\left(1 - A\right) \frac{X_F \frac{Z}{K}}{X_N \frac{Z}{K}} + A\right] \quad (11-47)$$

式中 $\frac{1}{A} = K \frac{S}{B}$ ----- 萃取因子

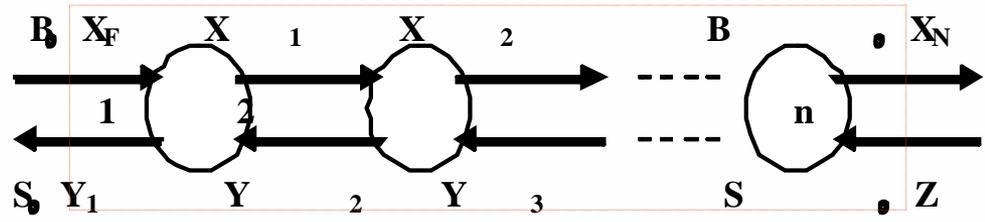
例4 在多级逆流接触式萃取器中，每小时用40kg纯溶剂S对某A、B两组分混合液进行萃取分离。在操作条件下，B与S完全不互溶，以质量比表示的分配系数为1.5。已知原溶剂B的流量为30kg/h，原料液中A的质量比组成 $X_F=0.3\text{kgA/kgB}$ ，要求最终萃余相质量比 $X_N=0.05\text{ kgA/kgB}$ 。试求：完成分离任务所需的理论级数。



$S=40\text{kg/h}$ 纯溶剂, B与S完全不互溶,
 $k_A=Y_A/X_A=1.5$, $B=30\text{kg/h}$,
 $X_F=0.3\text{kgA/kgB}$, $X_N=0.05\text{ kgA/kgB}$ 。

试求: 完成分离任务所需的理论级数。

解一:
 逐算



$$BX_F + SZ = SY_1 + BX_N \quad \Rightarrow \quad Y_1 = \frac{30}{40} (0.3 - 0.05) + 0 = 0.1875$$

$$\Rightarrow X_1 = Y_1 / k_A = 0.125 \quad \Rightarrow \quad Y_2 = B/S (X_1 - X_N) + Z = 0.05625$$

$$\Rightarrow X_2 = 0.0375 \quad X_N = 0.05 \quad \text{共需 2 个理}$$

解二：

$$Y = 1.5X$$

$$A_m = \frac{B}{KS} = \frac{30}{1.5 \times 40} = \frac{1}{2}$$

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

$$\Rightarrow N = \frac{1}{\ln 2} \ln \left[\left(1 - \frac{1}{2} \right) \frac{0.3}{0.05} \frac{1}{2} \right]$$

$$\Rightarrow N = 1.8$$

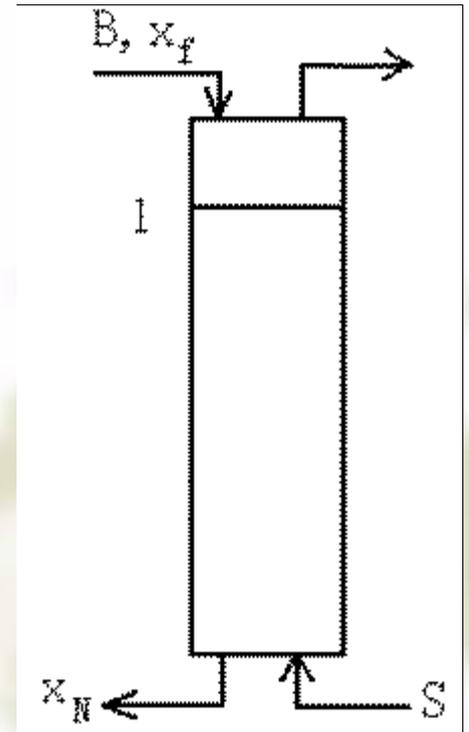
共需 2 个理

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

例5、用纯溶剂对AB混合液作逆流萃取，溶剂S与稀释剂B完全不互溶。原料液中含A20%（质量），要求最终萃余相的溶质浓度不高于 0.02kgA/kgB 。A在平衡两相中的分配 $Y_A/X_A=2$ ，溶剂用量为最少用量的1.5倍。

求：① 实际溶剂比S/B；

② 求离开第一理论级的萃余相组成 x_1 。



解：

$$X_F = \frac{0.2}{0.8} = 0.25 \text{ kgA/kgB}$$

$$X_N = 0.02 \text{ kgA/kgB}$$

① **Z=0 (纯溶剂)**

$$\left(\frac{S}{B}\right)_{\min} = \frac{X_F}{KX_F} \frac{X_N}{Z} = \frac{0.25}{2} \frac{0.02}{0.25} = 0.46$$

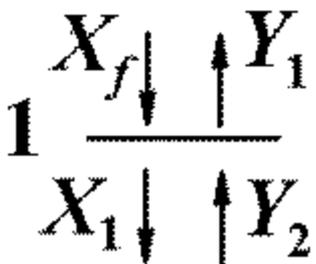
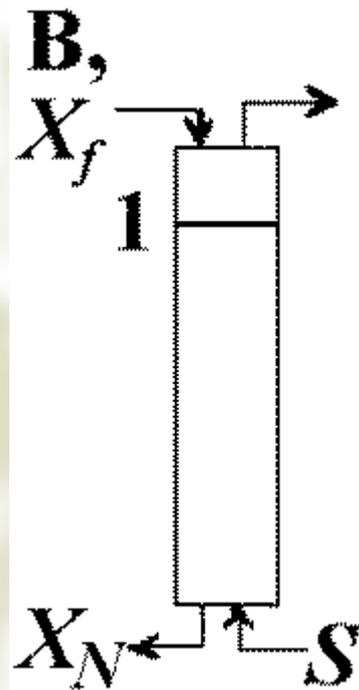
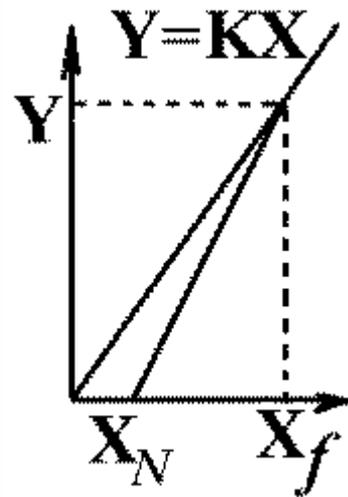
$$\frac{S}{B} = 1.5 \left(\frac{S}{B}\right)_{\min} = 1.5 \times 0.46 = 0.69$$

②

$$Y_1 = \frac{B}{S} (X_F + X_N)$$

$$= \frac{0.25 + 0.02}{0.69} = \frac{1}{3}$$

$$X_1 = \frac{Y_1}{2} = 0.167 \text{ kgA/kgB}$$



11.4 萃取设备

液液传质的特点：

- (1)液液两相密度差异小；
- (2)液体表面张力较大，液滴易于合并而难于破裂；靠自身的重力来分散液滴往往不够，还常需外界提供能量以分散液滴，如加搅拌、振动脉冲等。
- (3)易于产生返混现象，而使传质推动力下降。

萃取设备分类：

(1) 是否输入机械能

无外加能量的萃取：

填料塔

特点：填料起了分散液体的作用，并相的返混。

适用 合：不适用于有固体 浮物的溶液

板塔

特点：同上

适用 合：同上

有外加能量的萃取：

混合澄清器、塔等

在萃取中，分散相的形成可借助些作用来 到？

重力、心、或脉冲的作用

(2) 两相接触方式

逐级接触式和微分接触式

混合澄清槽

筛板塔

逐级接触式

振动筛板塔

转盘塔

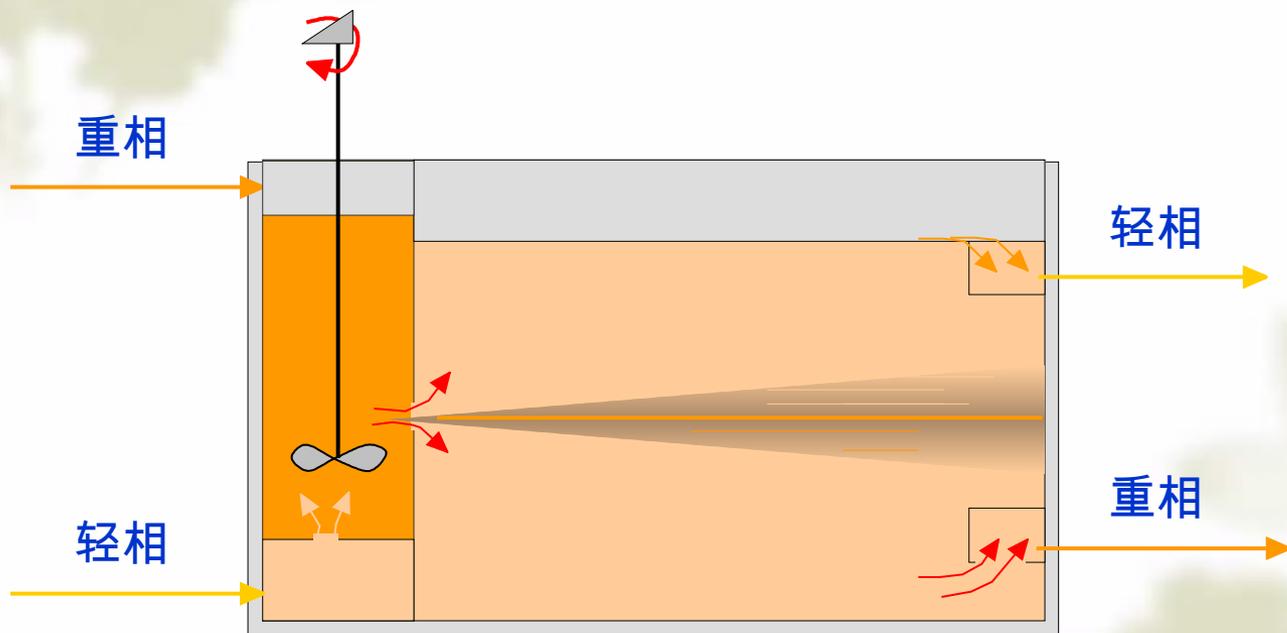
翻斗式萃取器

微分接触式

静态混合器

一、逐级接触式——混合澄清槽

(1) 结构



混合—澄清器

(2) 优点

- ① 处理量大，级效率高；
- ② 结构简单，容易放大和操作；
- ③ 两相流量比范围大，运转稳定可靠，易于开、停工；
对物系的适应性好，对含有少量悬浮固体的物料也能处理；
- ④ 易实现多级连续操作，便于调节级数。不需高大的厂房和复杂的辅助设备。

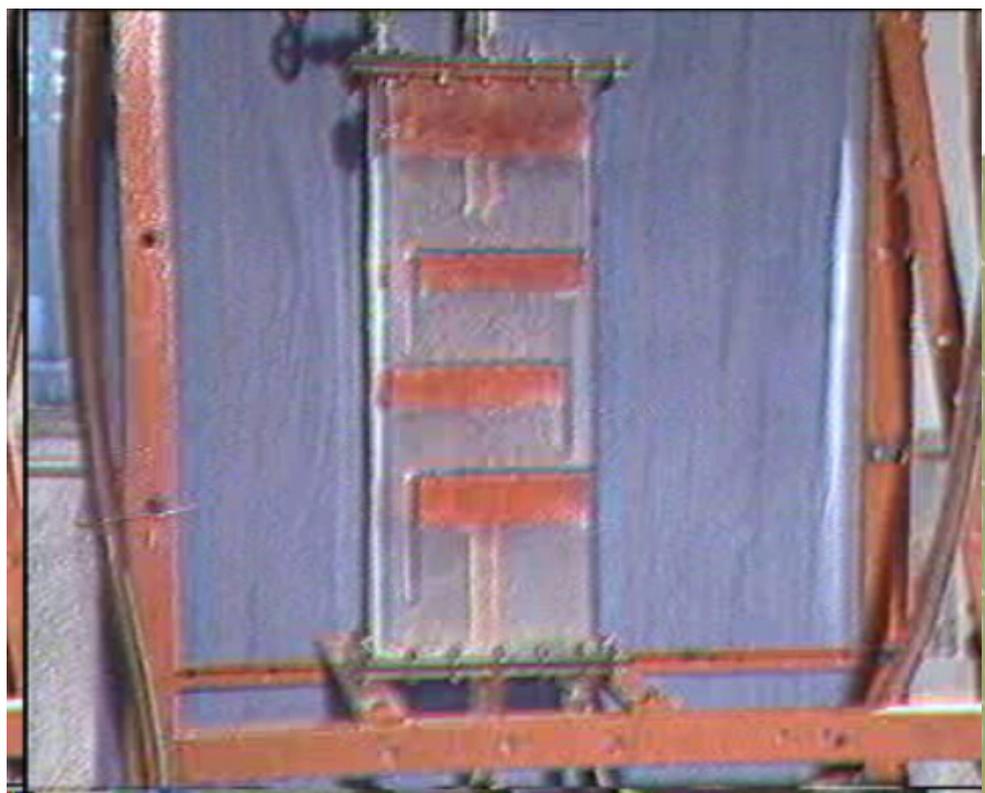
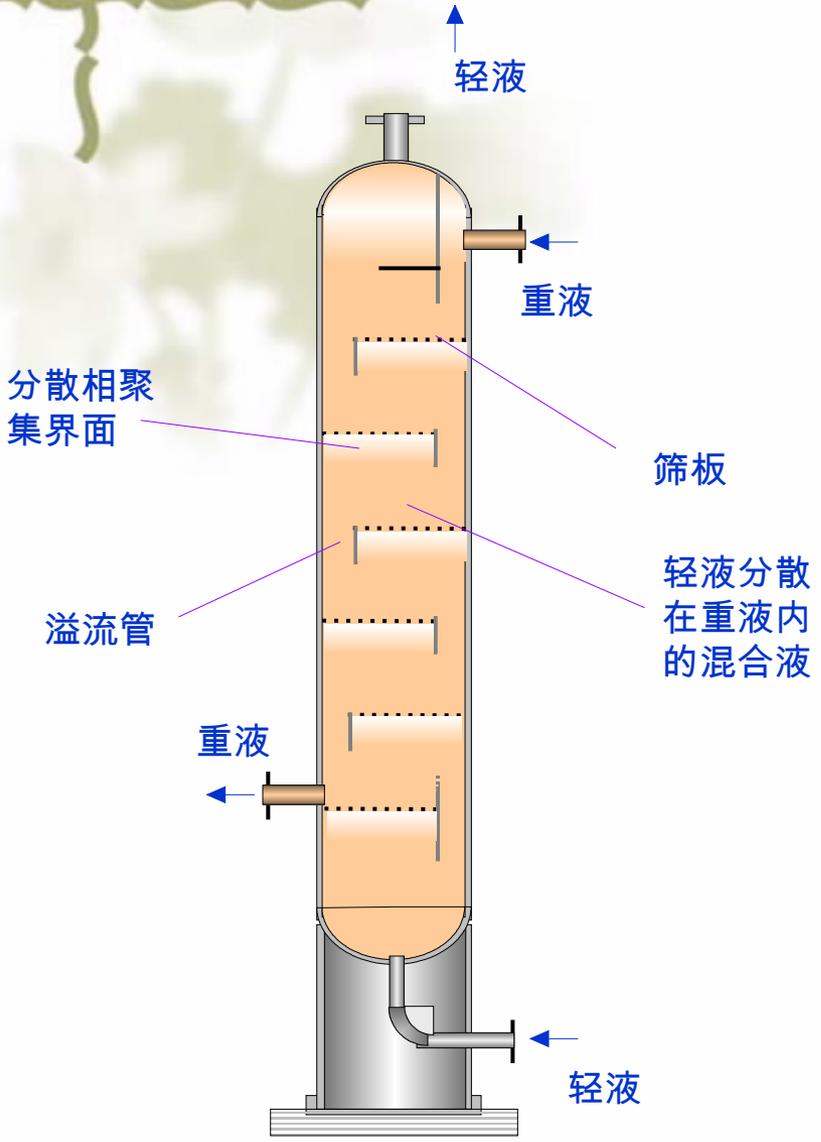
(3) 缺点

- ① 占地大，溶剂储量大。
- ② 需要动力搅拌和级间物流输送设备，设备费和操作费较高。

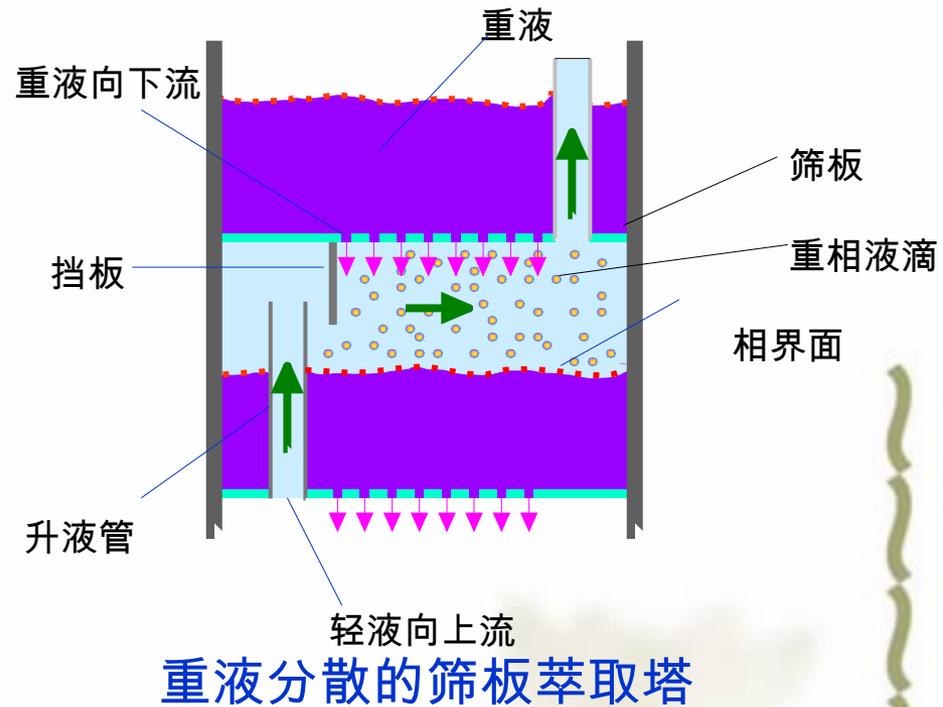
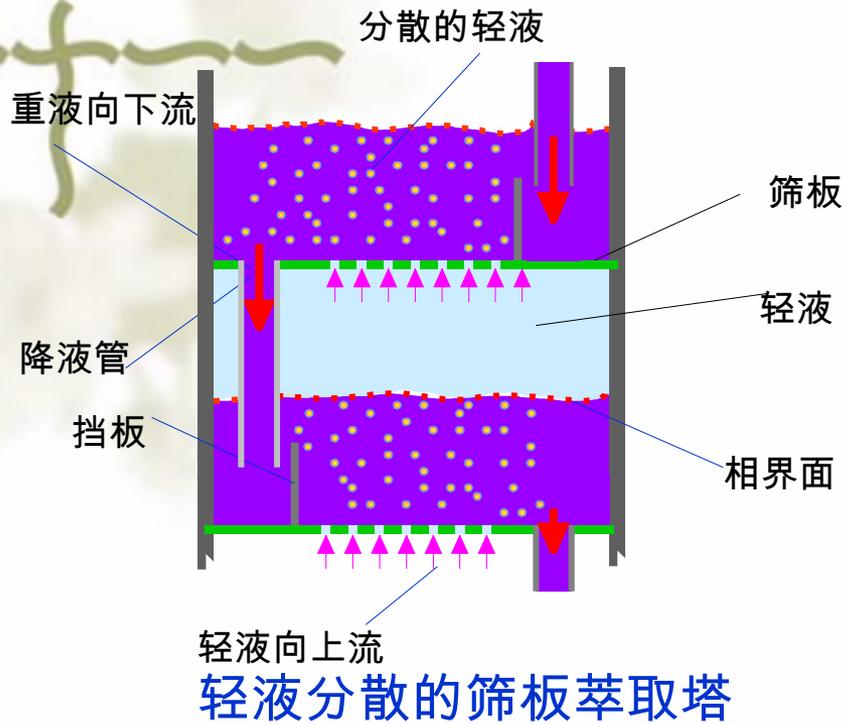
(4) 应用

适用于所需级数少、处理量大的场合。

一、逐级接触式——筛板萃取塔



萃取过程中的筛板塔



塔板上两相流动情况：

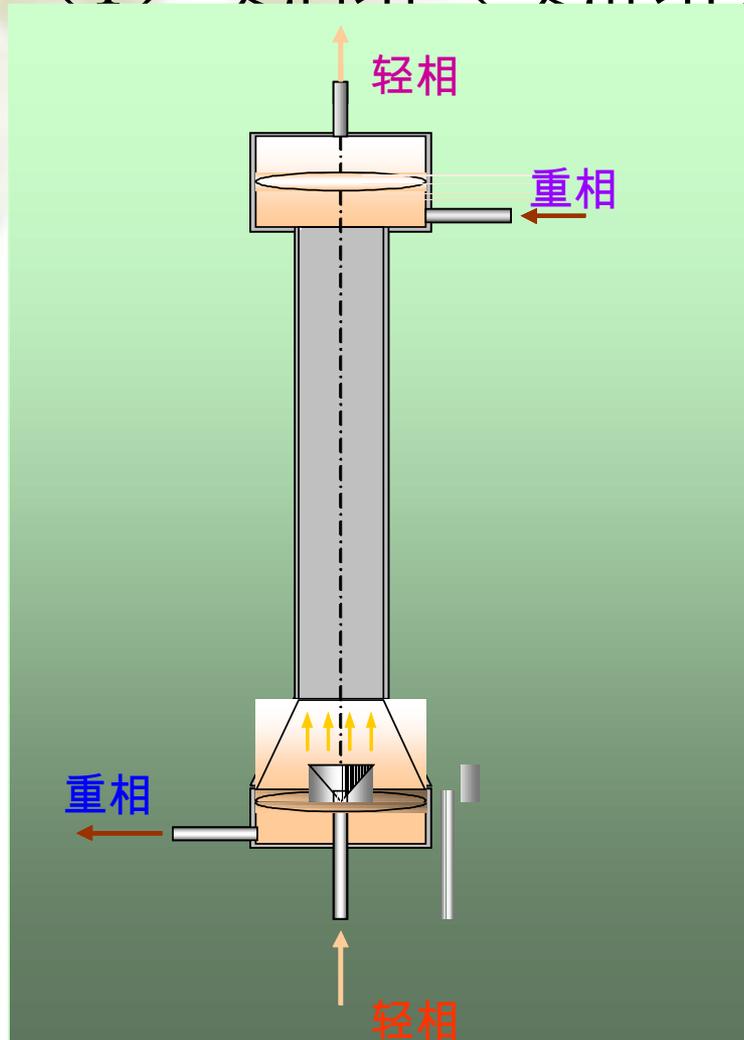
为保证筛板塔正常操作，应考虑以下几点：

- ① 分散相应均匀地通过全部筛孔，防止连续相短路而降低分离效率
- ② 两相在板间分层明显，而且要有一定高度的分散相累积层。



二、微分接触式

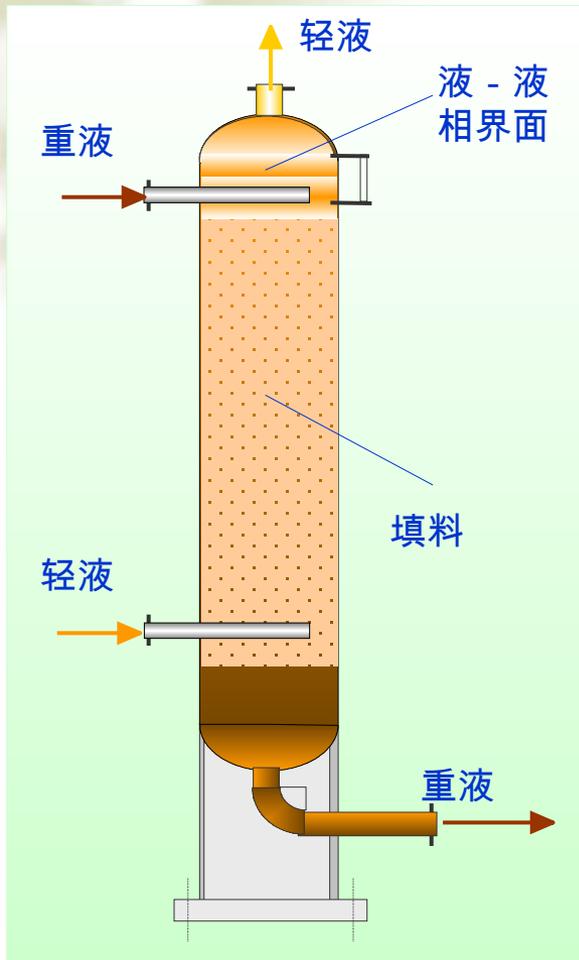
(1) 喷洒塔（喷淋塔）



特点：无塔内件，阻力小，结构简单，投资少易维护。但两相很难均匀分布，轴向反混严重，理论级数不超过1~2级，传质系数小。

Elgin型喷淋萃取塔

(2) 填料萃取塔

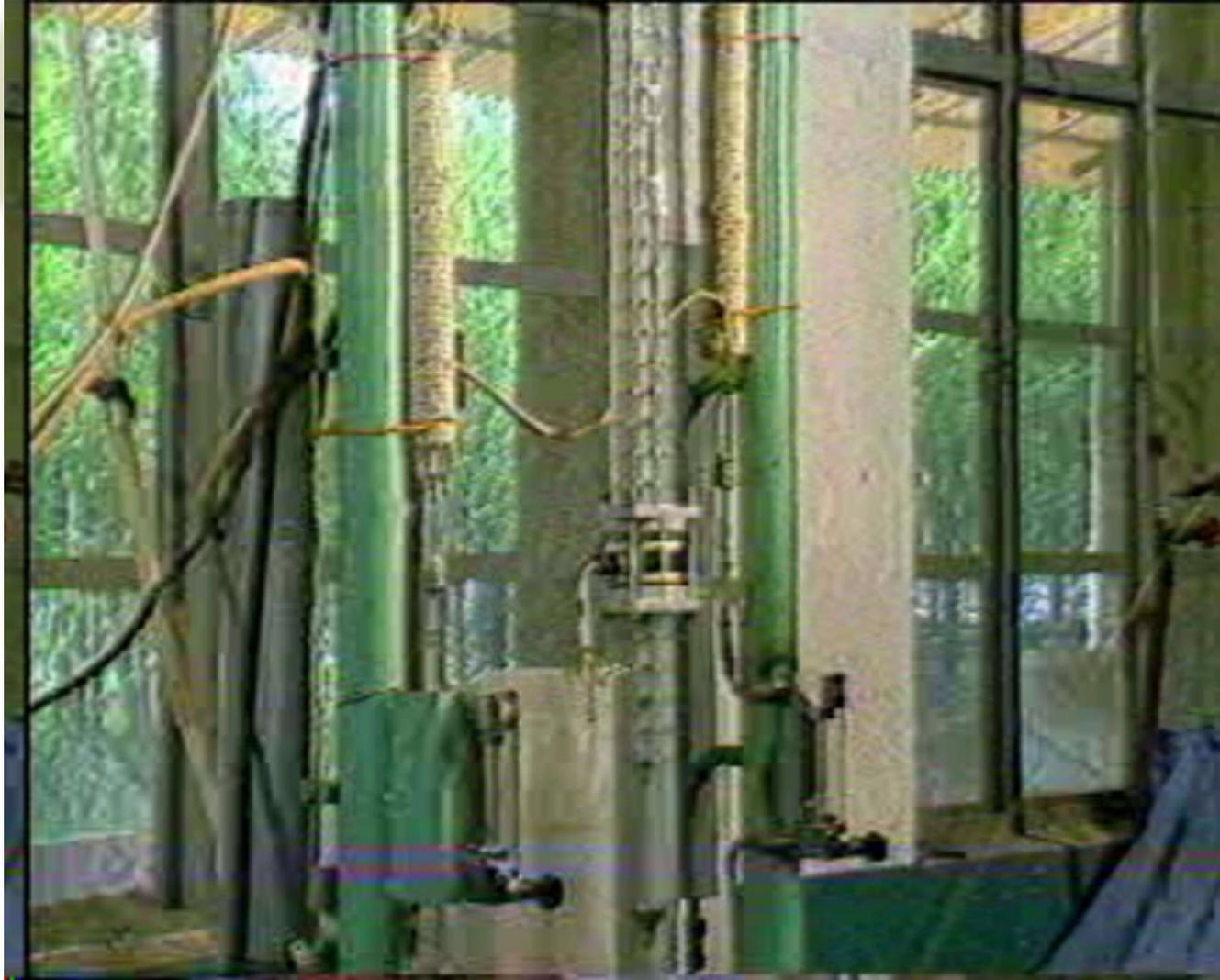


填料萃取塔

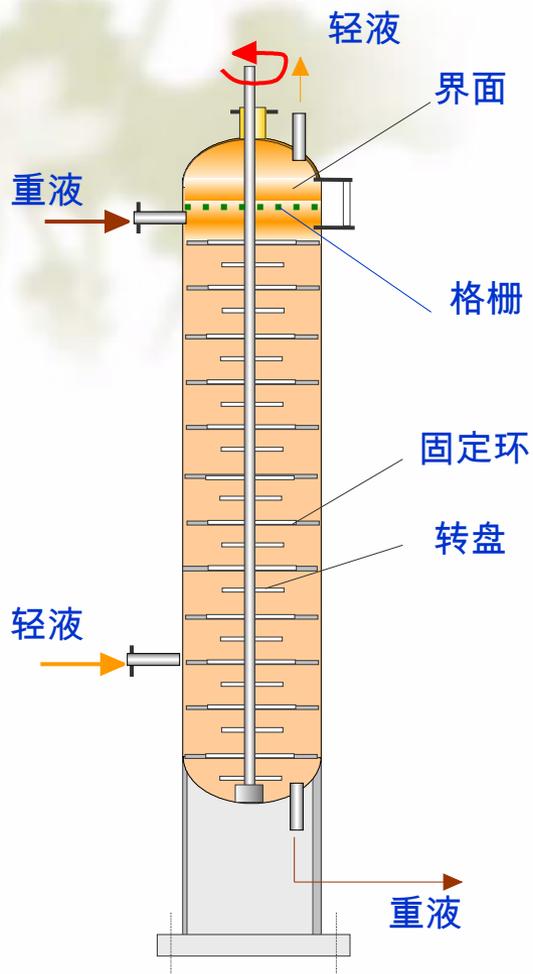
特点：填料萃取塔结构简单，造价低廉，操作方便，级效率较低，在工艺要求的理论级小于3，处理量较小时可考虑采用。

连续相对填料的润湿性能好

(3) 振动筛板塔:

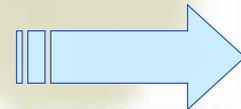


(4) 转盘萃取塔

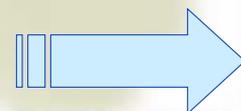
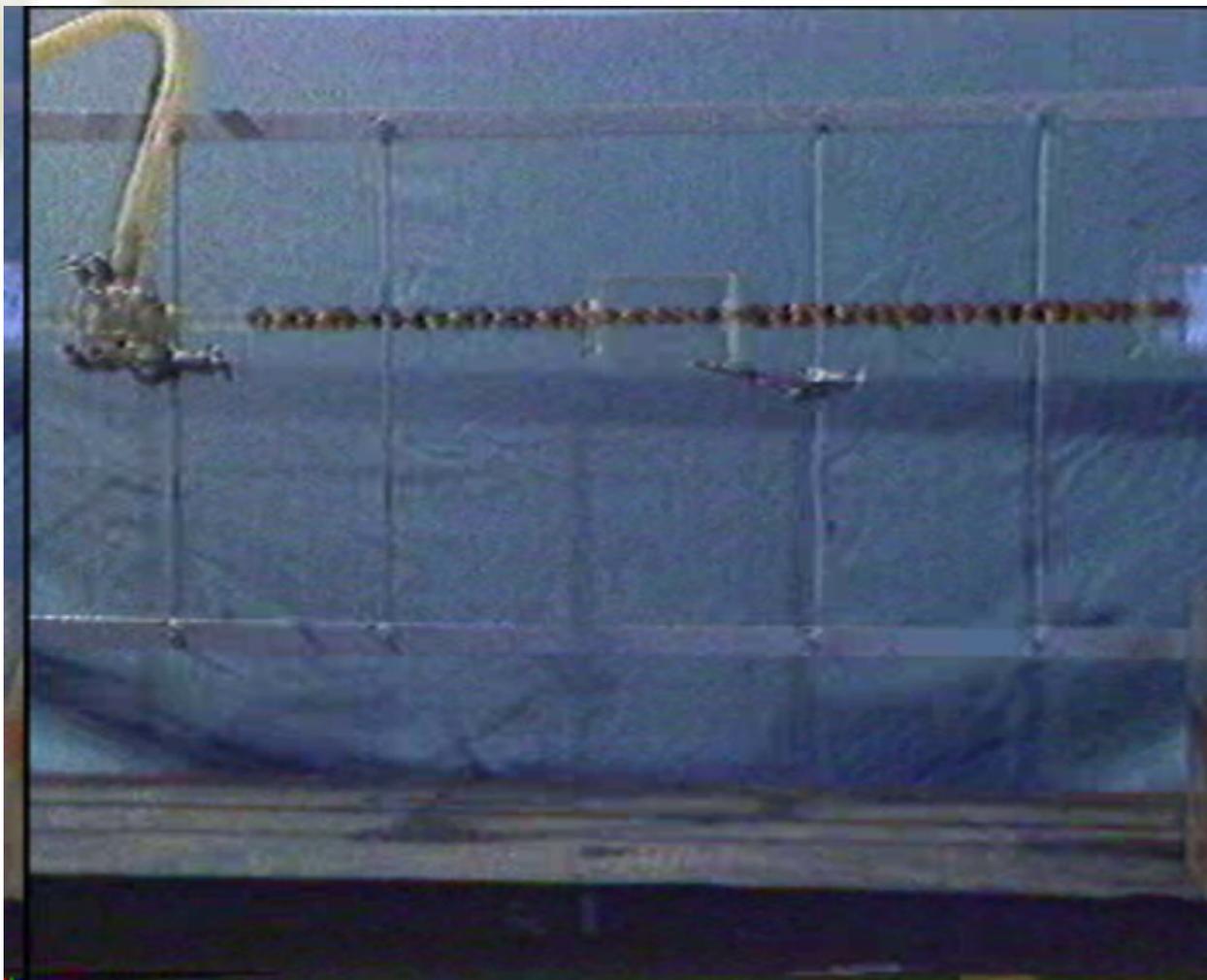


转盘萃取塔

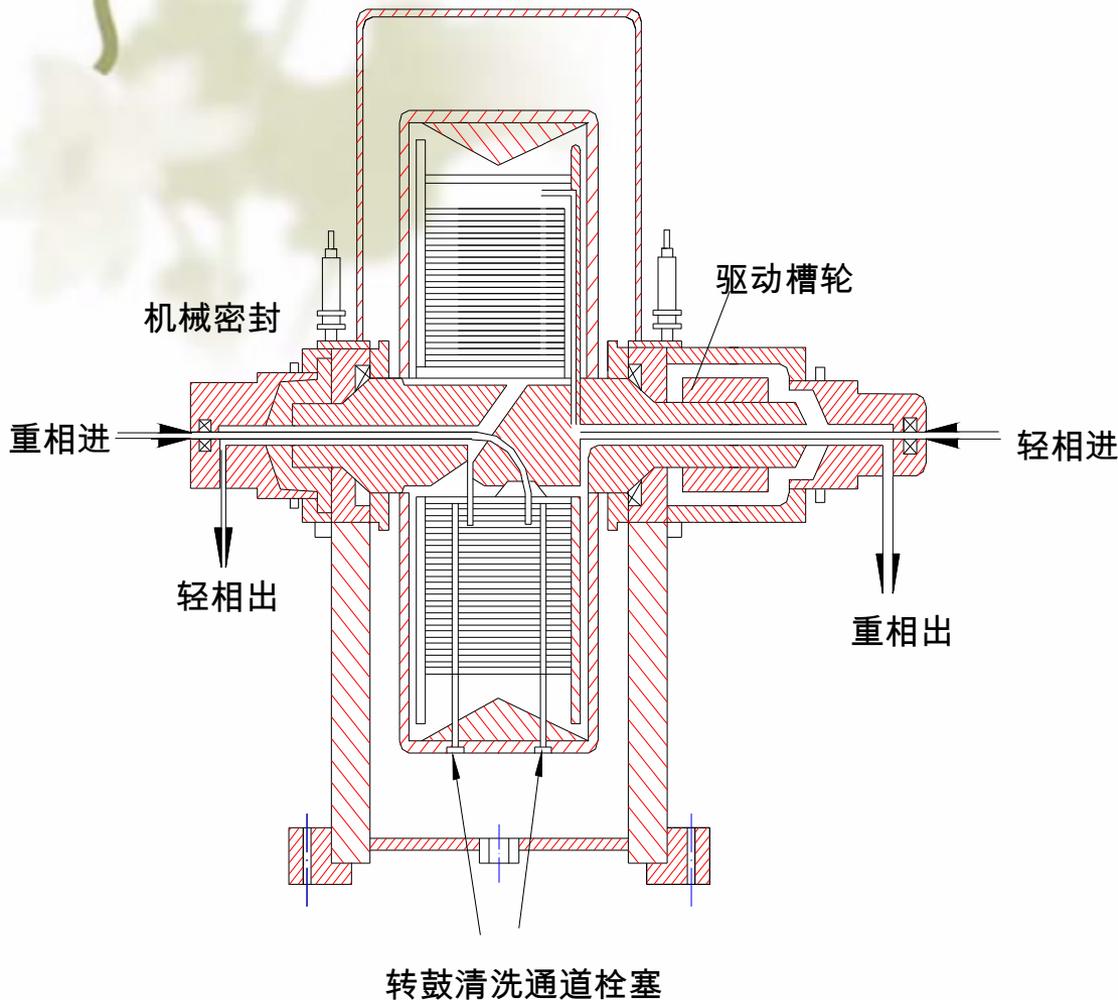
特点：结构简单，造价低廉，
维修方便，操作弹性和通量较
大，应用较广。



静态混合器:



(6) 离心萃取器



波德式离心萃取器示意图

优点：处理量大，效率较高，提供较多理论级3 - 12，结构紧凑，占地面积小，应用广泛。

缺点：能耗大，结构复杂，设备及维修费用高。

应用：适用于要求接触时间短，物流滞留量低，易乳化，难分相的物系。

11.4.2 液液传质设备的液泛与两相极限速率

(1) 液液传质设备的特性速度

u_D — 分散相空塔速度

u_C — 相空塔速度

滞液率 $D = \frac{V_D}{V_C + V_D}$

物性: μ 、 ρ 、 σ
 液滴尺寸: d_p
 设备类型 如孔板个数、振动幅度等

液泛现象(录像)

(2) 临界滞液量

d_p 一定, u_D , 液滴数量增加, D 选大流量做分散相, 利于传质
 u_D 一定, 增加多孔板的 率或振幅, d_p , D

界滞液量: D_{DF} 【取决于 u_D 、 u_C (11-60式)】
 D_{DF} u_{DF} 和 u_{CF} D

11.4.3 液液传质设备中的传质速率

影响因素：

- (1) 分散相液滴尺寸 d_p ;
- (2) 液滴内环流;
- (3) 界面骚动现象;
- (4) 液滴的凝聚和分散;

界面现象(录像)。

界面现象决定 d_p 的大小，进行界面现象的研究可决定分散相和连续相溶剂。

11.4.4 萃取设备的选择

选择原则：

(1) 稳定性及停留时间

稳定性差 — 停留时间尽可能短 — 离心萃取器；

伴有较慢的化学反应时 — 停留时间长 — 混合-澄清槽。

(2) 所需理论级数

需理论级数少 (2~3级) — 各种萃取设备；

需理论级数4~5级 — 转盘塔、脉冲塔和振动筛板塔；

需理论级更多 — 离心萃取器或多级混合-澄清槽。

(3) 物系的分散与凝聚特性

物系易乳化，不易分相 — 离心萃取器；

物系界面张力较小，或两相密度差较大 — 重力流动式。

(4) 生产能力

生产处理量小 — 填料塔或脉冲塔；

生产处理量大 — 筛板塔，转盘塔，混合-澄清槽等。

(5) 防腐蚀及防污染要求

具有腐蚀性 — 结构简单的填料塔；

具有污染性 — 屏蔽性能良好的脉冲塔。

(6) 建筑物场地要求

空间高度有限 — 混合-澄清槽；

占地面积有限 — 塔式萃取设备。

11.5 其他萃取技术简介

一、超临界萃取

定义： 利用超过临界温度、临界压力状态下的气体具有的特异溶解能力，选择性地溶解混合液体或固体中的溶质。

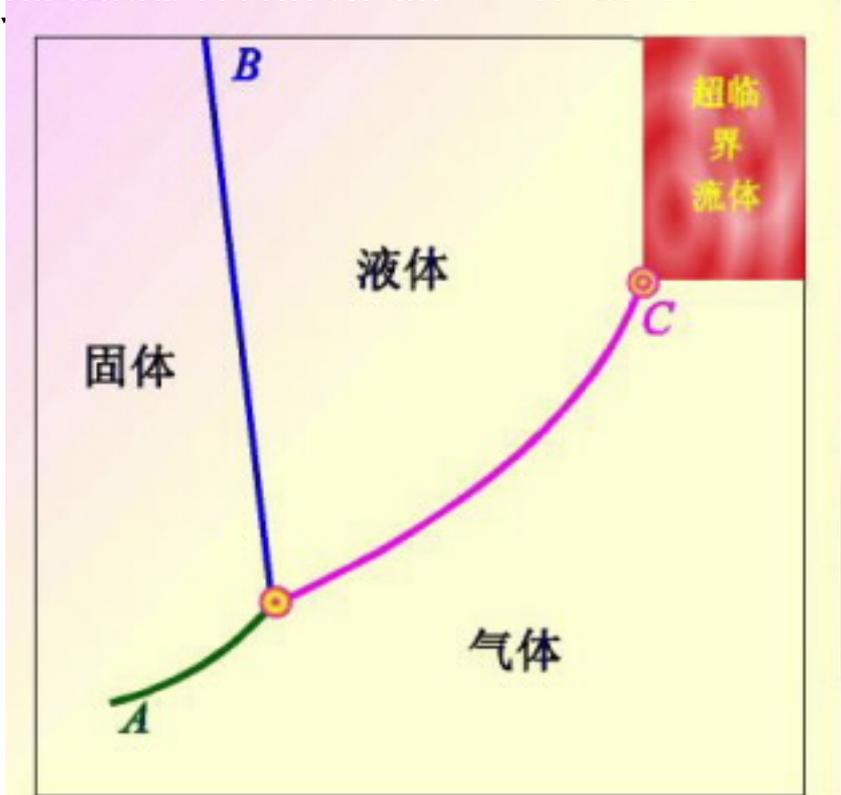
或固体混合物的单元操作。

(1) 超临界萃取基本原理

C点：体系的界面消失，成为均相体系，称为临界点

对应的温度——临界温度

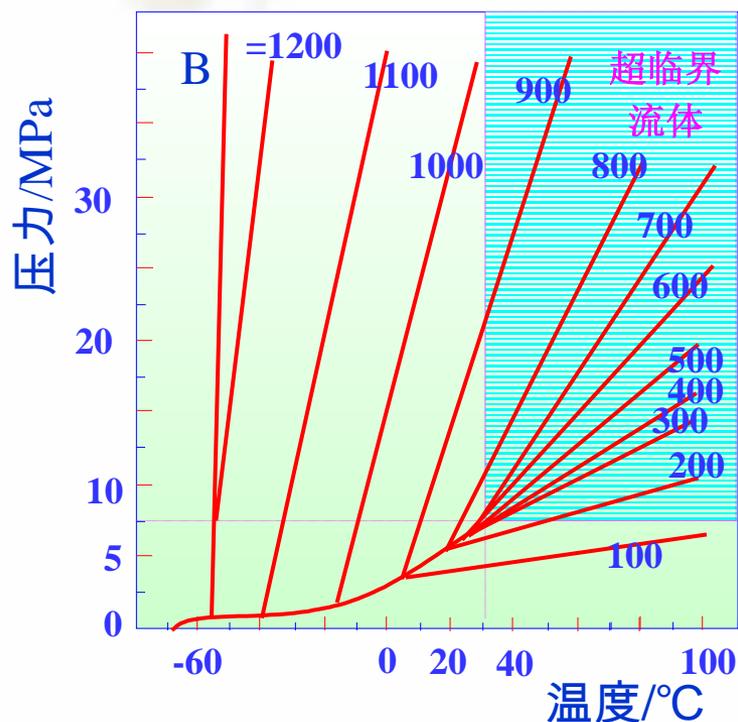
对应的压力——临界压力



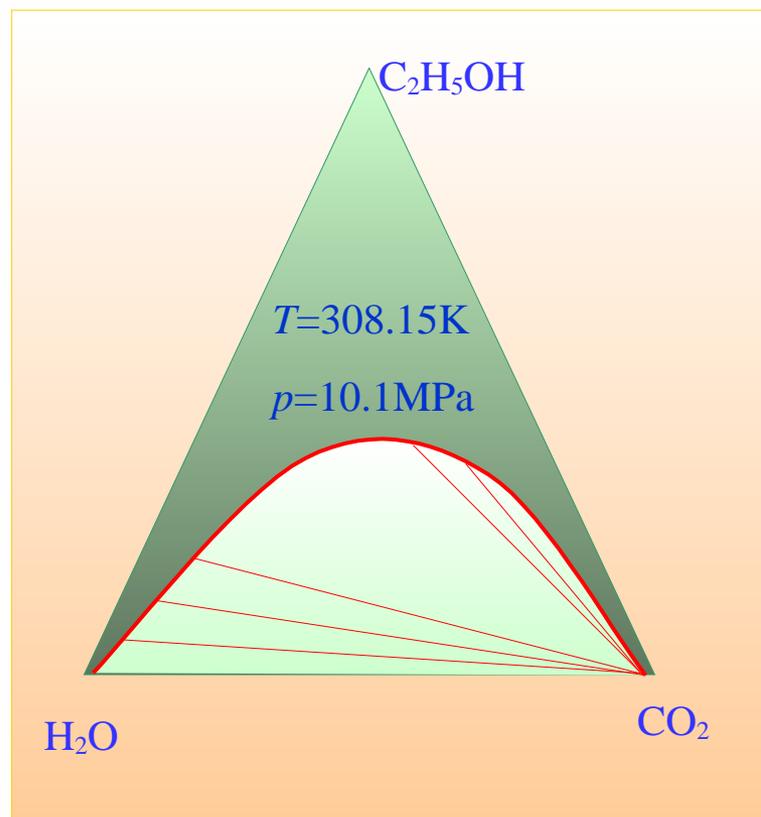
超临界萃取纯物质状态图

超临界状态下体系的特点：既非气体，亦非液体，却既具有近似气体的粘度和渗透能力，又具有接近液体的密度和溶解能力。

常用的超临界萃取溶剂 —— CO_2



纯 CO_2 温度、压力和密度关系



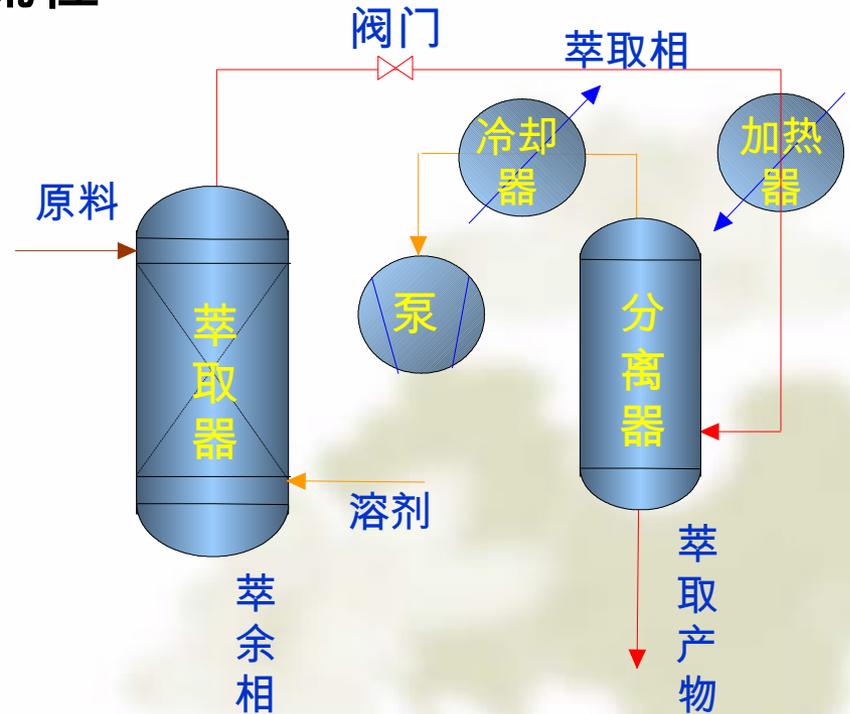
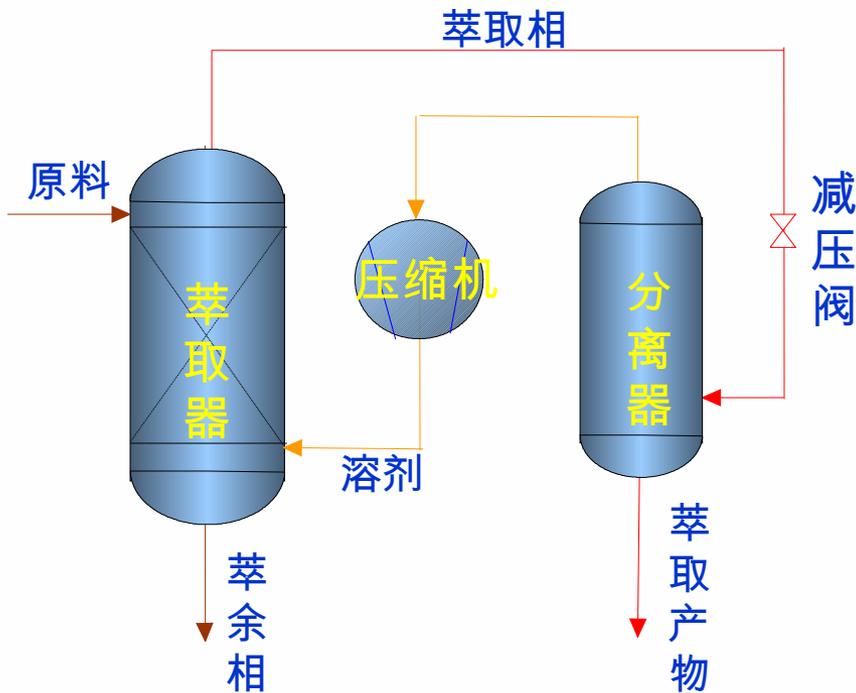
二氧化碳 - 乙醇 - 水体系相平衡图

(2) 超临界萃取的原则流程

流程主要分为两部分：

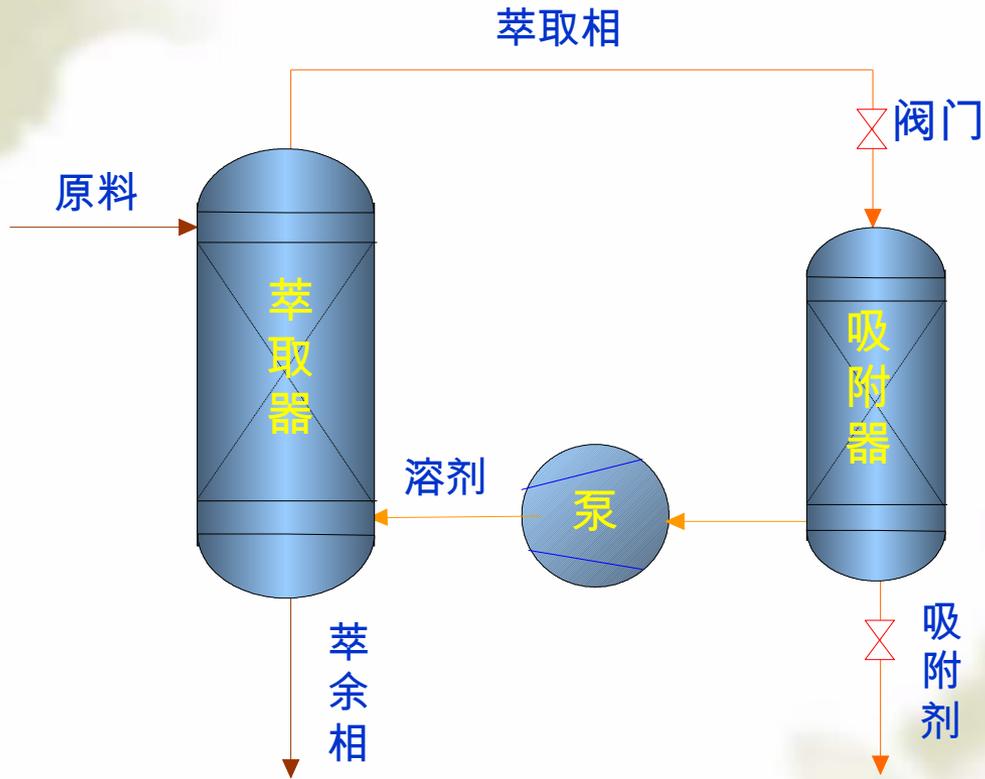
- ① 在超临界状态下，溶剂气体与原料接触进行萃取获得萃取相；
- ② 将萃取相进行分离，脱除溶质，再生溶剂。

改变压力或温度的超临界萃取流程



改变压力和温度的超临界萃取流程

采用吸附分离的超临界萃取流程：



采用吸附分离的超临界萃取流程

超临界萃取的特点：

- ① 操作温度一般较低，接近室温；
- ② 过程易于调节；
- ③ 分离工艺流程简单；
- ④ 萃取效率一般高于液体萃取，不会引起被萃取物质的污染且不进行溶剂蒸馏；
- ⑤ 体系的沸点和溶解度与溶剂和溶质的种类有关；
- ⑥ 萃取过程在高压下进行，设备及工艺技术要求较高，投资大。
- ⑦ 间歇操作，无法连续操作。

(3) 超临界流体萃取的应用

化学工业：废水中微量有机物的去除、共沸物的分离等；

医药工业：药品有效成分的萃取、脂肪质的分离精制等；

食品工业：植物油的萃取、咖啡和茶的脱咖啡因等。