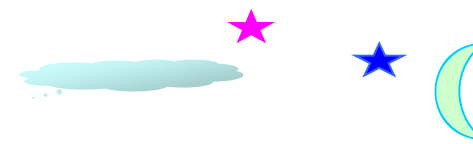


11 液液萃取



11.1 萃取过程概述

1. 萃取过程的原理

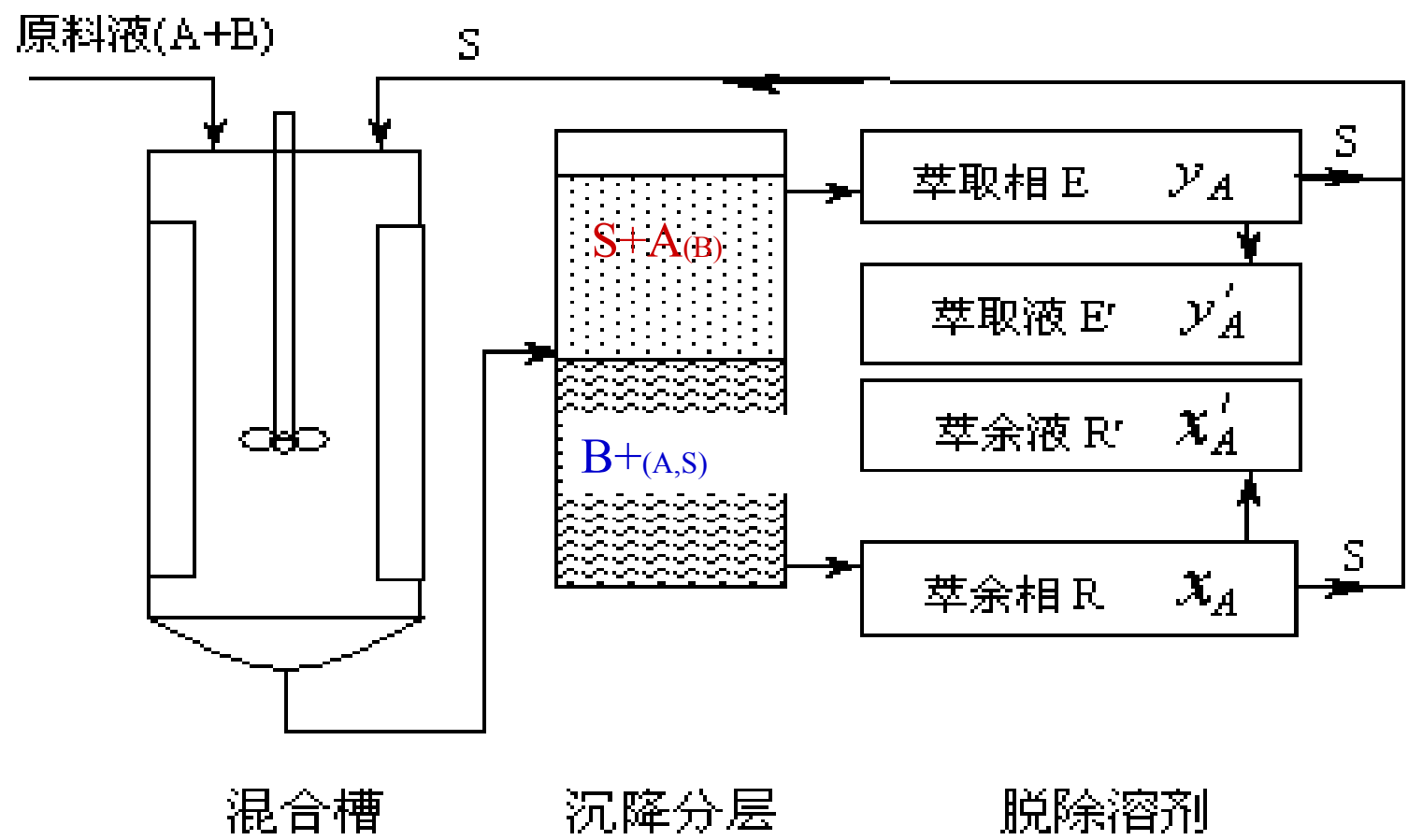
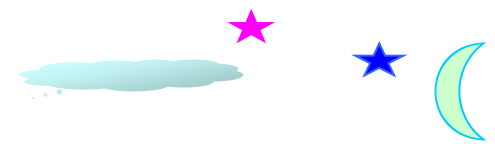
液体混合物
(A + B)

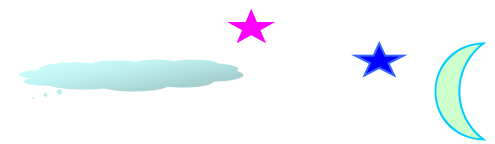
引入另一液相
(萃取剂S)

各组分在萃取剂
中溶解度不同

液相E (萃取相)
S + A(B)

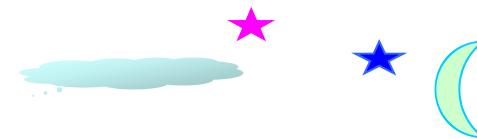
液相R (萃余相)
B + (A,S)








化工原理——萃取

11.1 萃取过程概述



2. 萃取过程的经济性

萃取操作应用场合:

-  相对挥发度 α 接近 1 或形成恒沸物的分离
-  产品浓度很低, 且为难挥发组分物系的分离
-  热敏性物系的分离

2. 萃取过程的经济性



过程的经济性在很大程度上取决于萃取剂的性质。

萃取剂的技术指标：

- (1) 溶解能力强；
- (2) 选择性高；
- (3) 与被分离组分 A 之间的相对挥发度要高；
- (4) 在混合液中的溶解度要小。

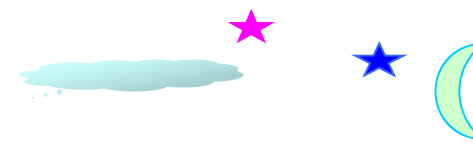
3. 两相的接触方式

(1) 微分接触



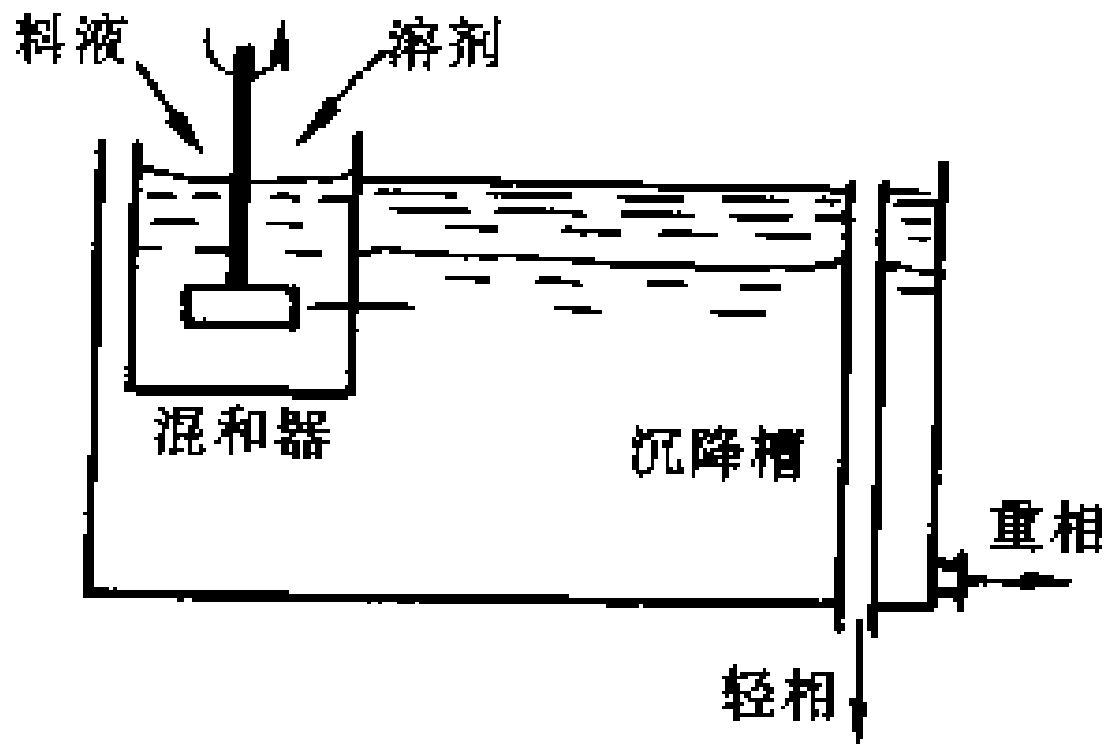
喷洒萃取塔

3. 两相的接触方式



(2) 级式接触

单级连续萃取

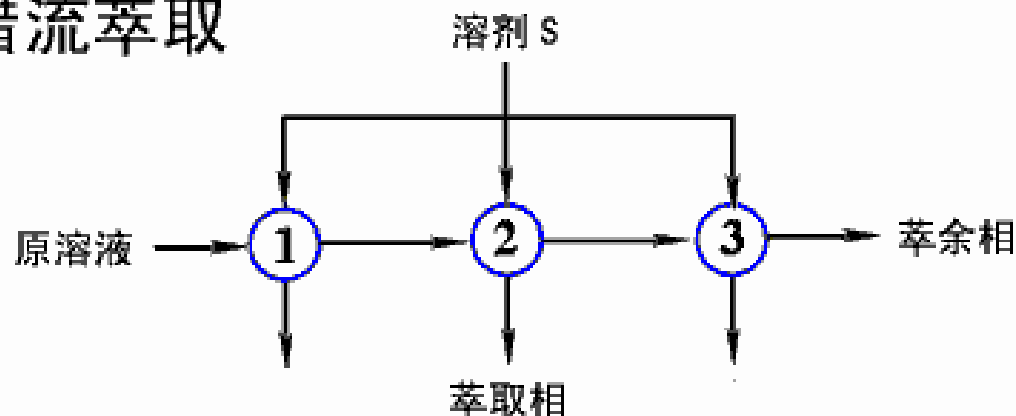


单级混合沉降槽

3. 两相的接触方式

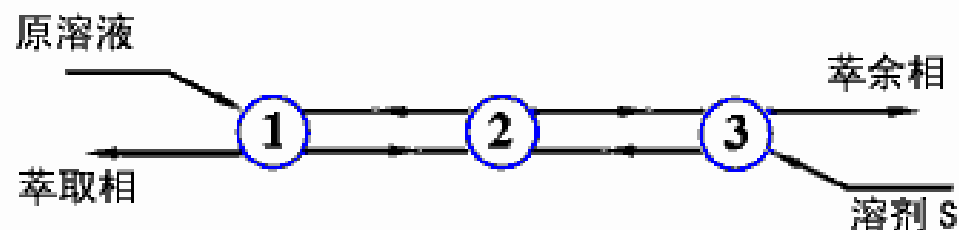


多级错流萃取



多级错流萃取

多级逆流萃取



多级逆流萃取

11.2 萃取过程的平衡关系

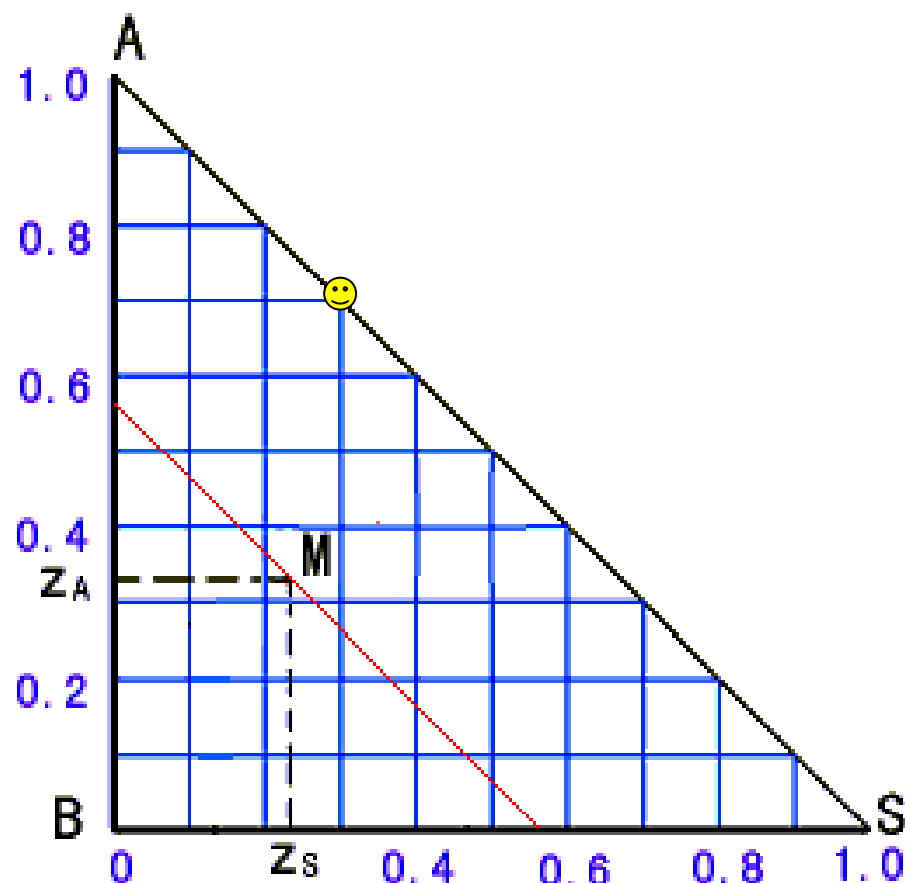
2.1 三角形相图

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

2. 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 $M(z_A, z_B, z_S)$ 。

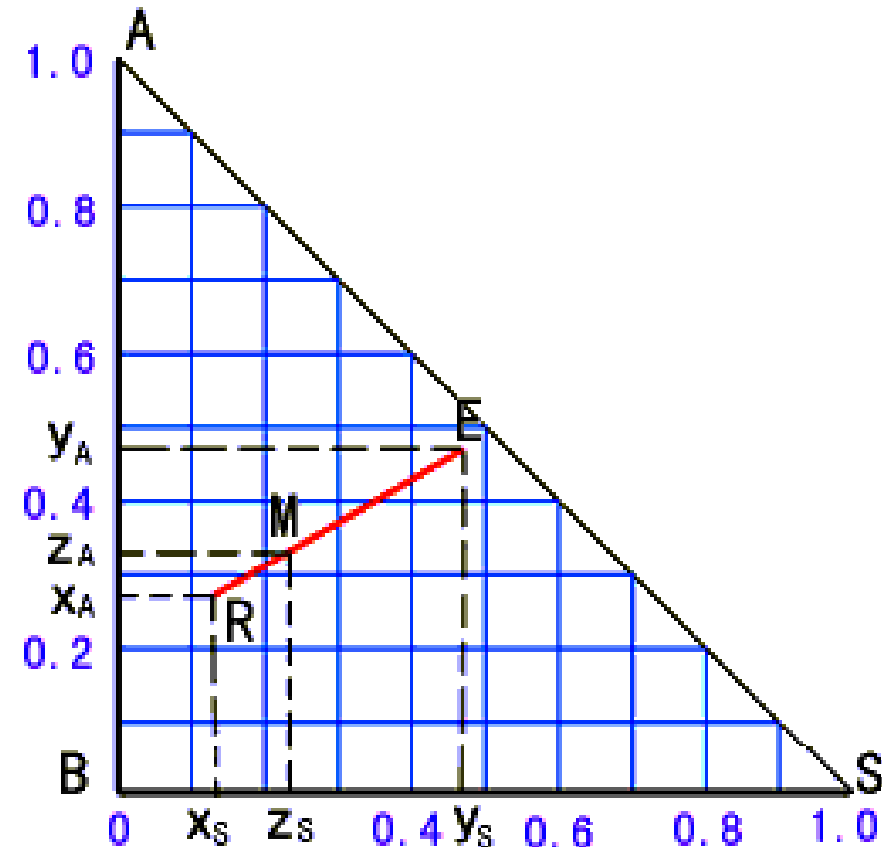
$$M = R + E$$

$$Mz_A = Rx_A + Ey_A$$

$$Mz_S = Rx_S + Ey_S$$

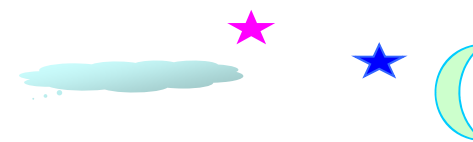
$$\therefore \frac{E}{R} = \frac{z_A - x_A}{y_A - z_A} = \frac{z_S - x_S}{y_S - z_S}$$

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



溶液组成的表示方法

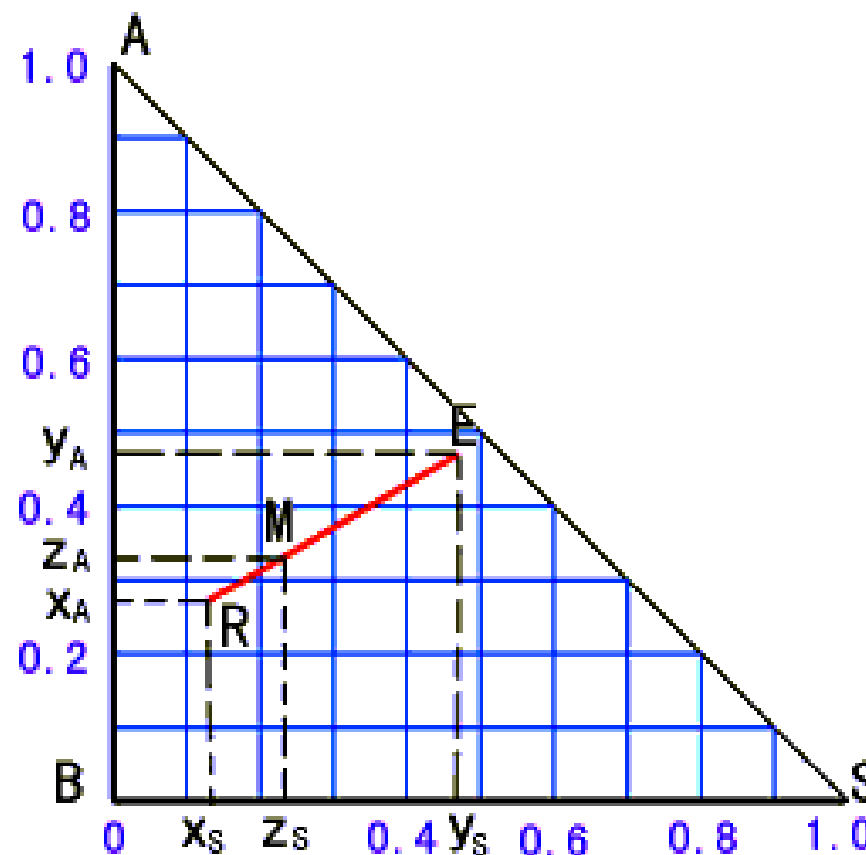
2.1 三角形相图



3. 混合物的和点与差点

M 为 R 与 E 的和点，
R 为 M 与 E 的差点，
E 为 M 与 R 的差点。

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



溶液组成的表示方法

2.1 三角形相图



3. 混合物的和点与差点

AP线：

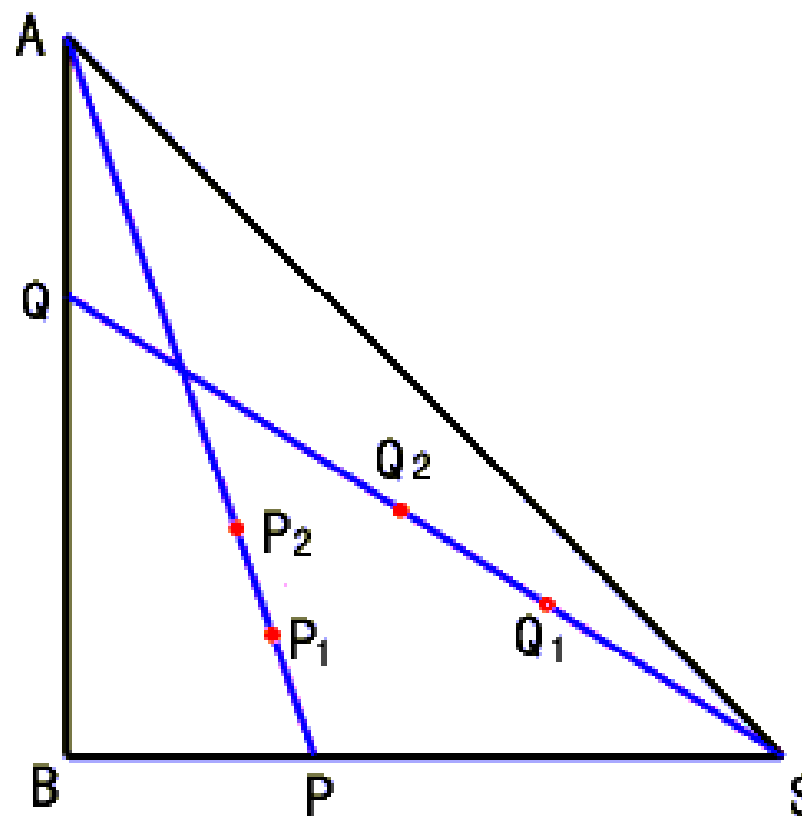
B、S 的相对比值相同。

P_1 、 P_2 均为A与P的和点。

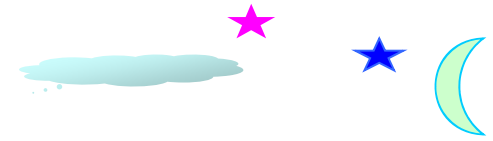
SQ线：

A、B 的相对比值相同。

Q_2 、Q 均为 Q_1 的差点。



混合液的和点与差点



2.2 平衡相图——溶解度曲线

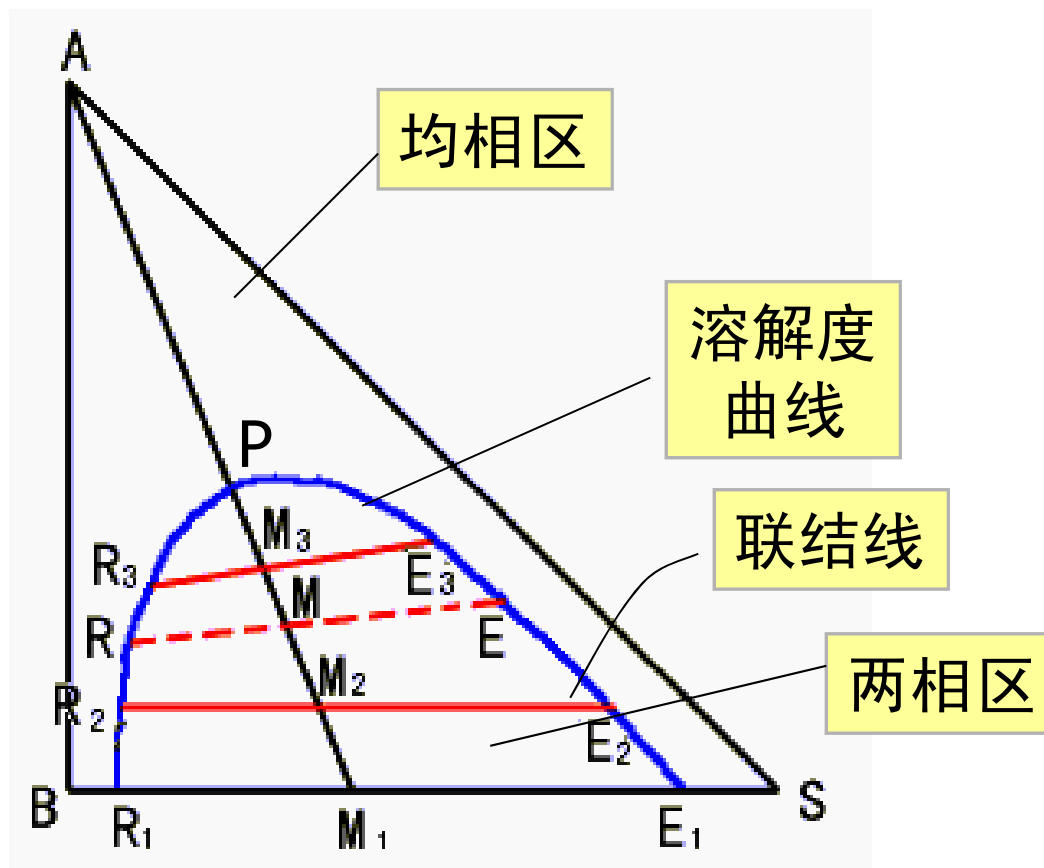
根据萃取操作中各组分的互溶性，将混合液分成两类：

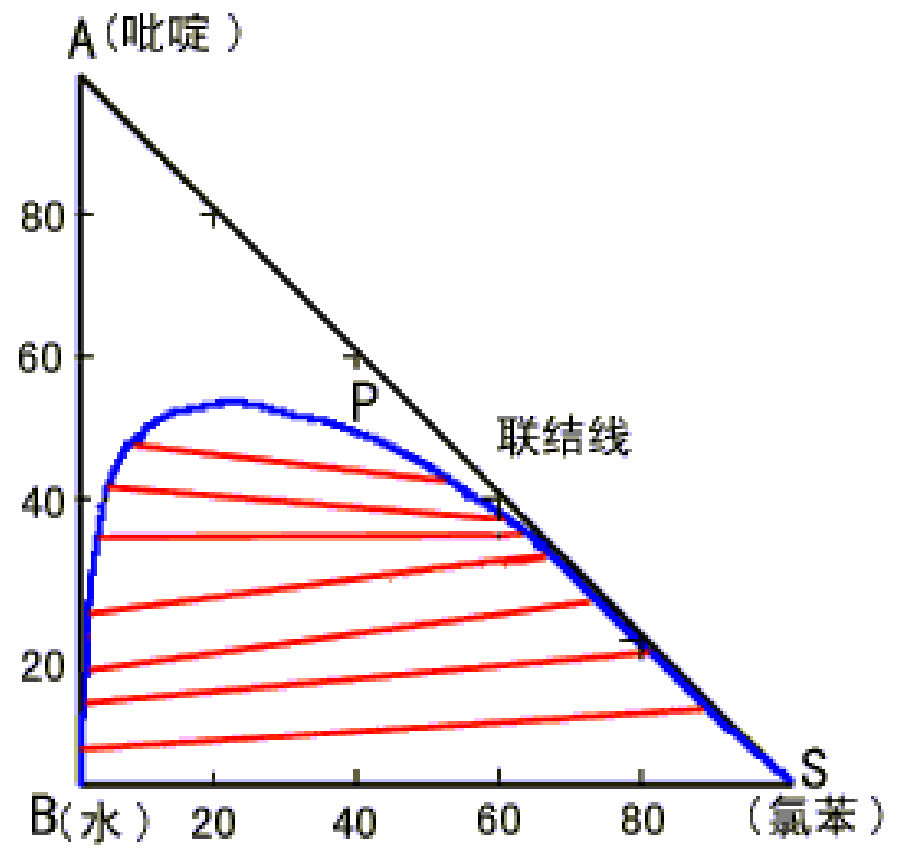
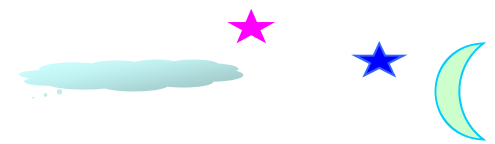
- | | |
|-------------------------------|-----------|
| ① A完全溶于B及S， B与S不互溶
B与S部分互溶 | } I 类物系 ✓ |
| ② A完全溶于B， A与S部分互溶
B与S部分互溶 | } II 类物系 |

1. 溶解度曲线与平衡连接线

临界混溶点 (P) :

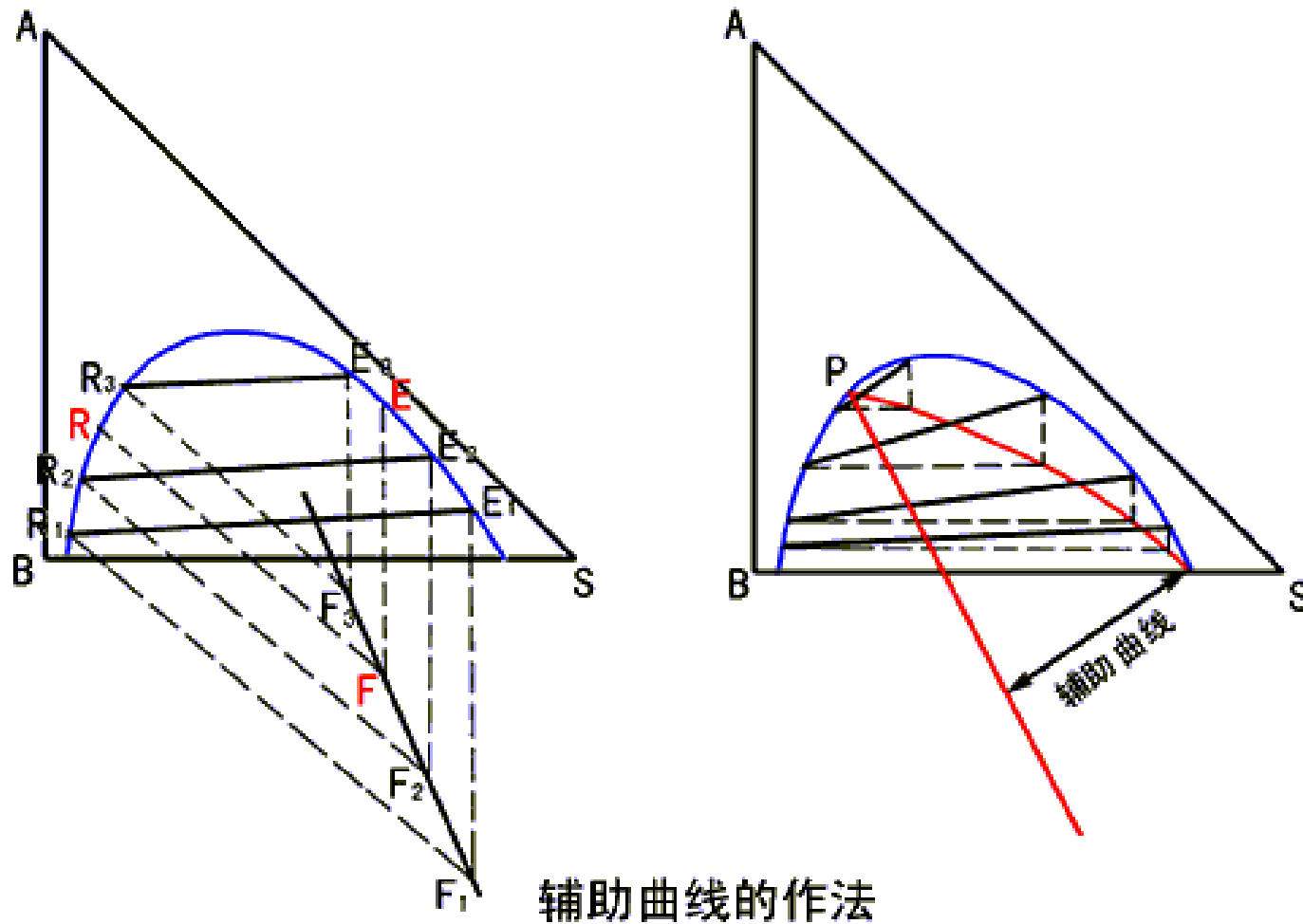
两共轭相的组成无限趋近而变为一相，表示这一组成的点。





吡啶-氯苯-水系统的平衡联结线

2. 平衡连接线的内插



3. 分配系数和分配曲线



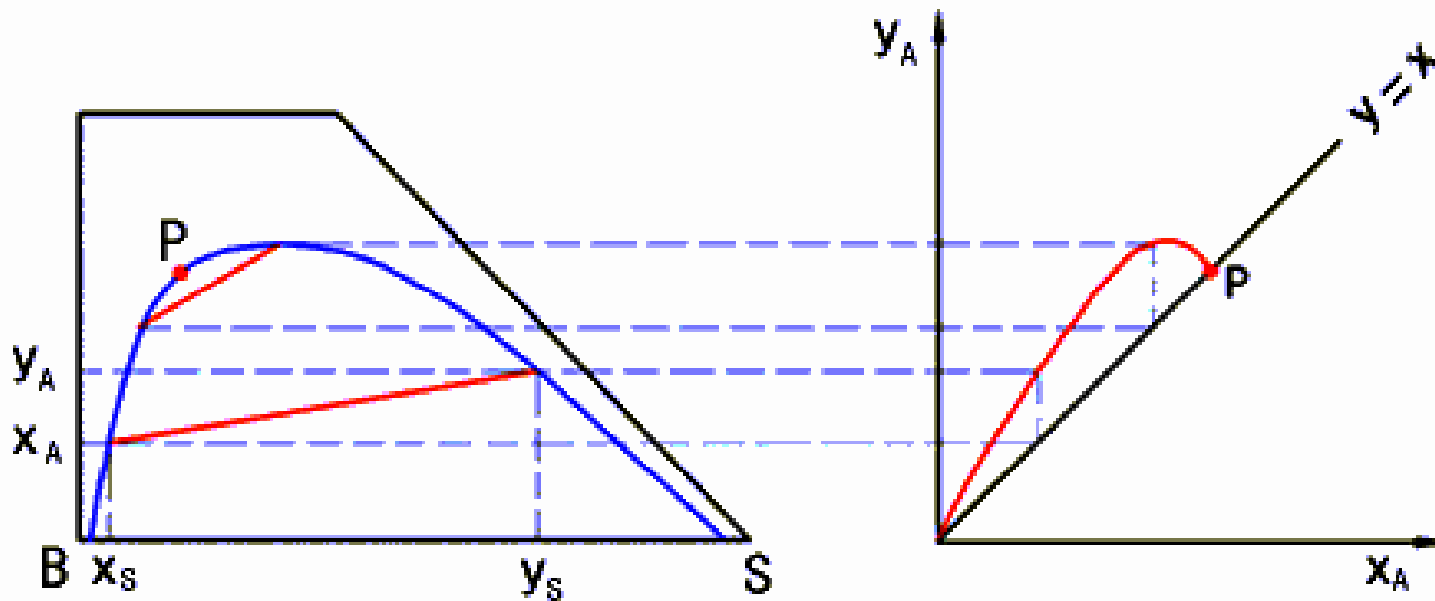
(1) 分配系数

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

- 随体系的温度、浓度而变化，其数值需通过实验测定；
- $k_A \uparrow$ ，萃取效果 \uparrow ，需S量 \downarrow 。

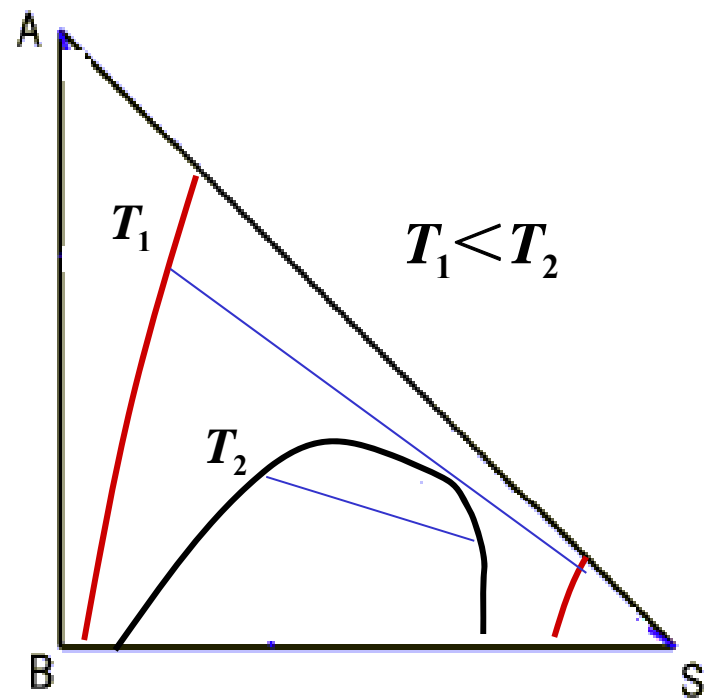
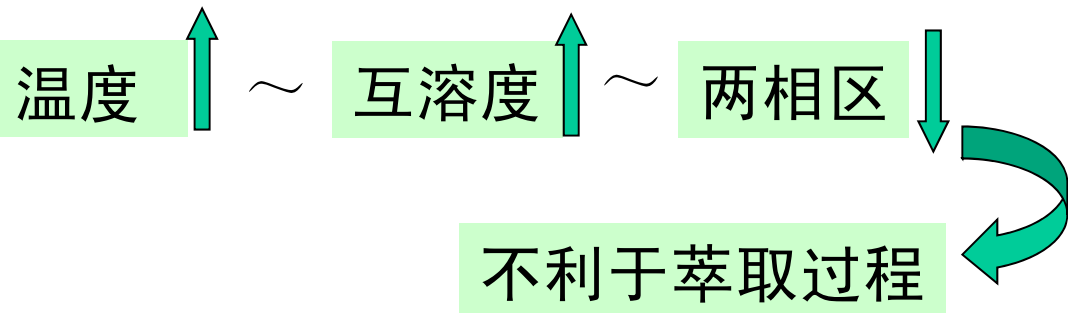
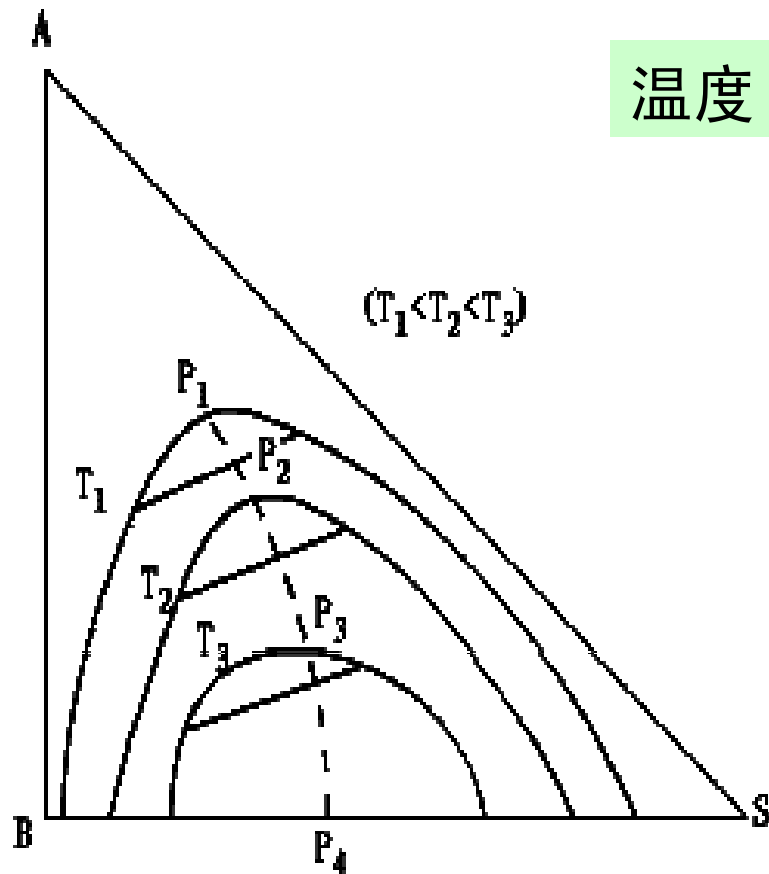
3. 分配系数和分配曲线

(2) 分配曲线



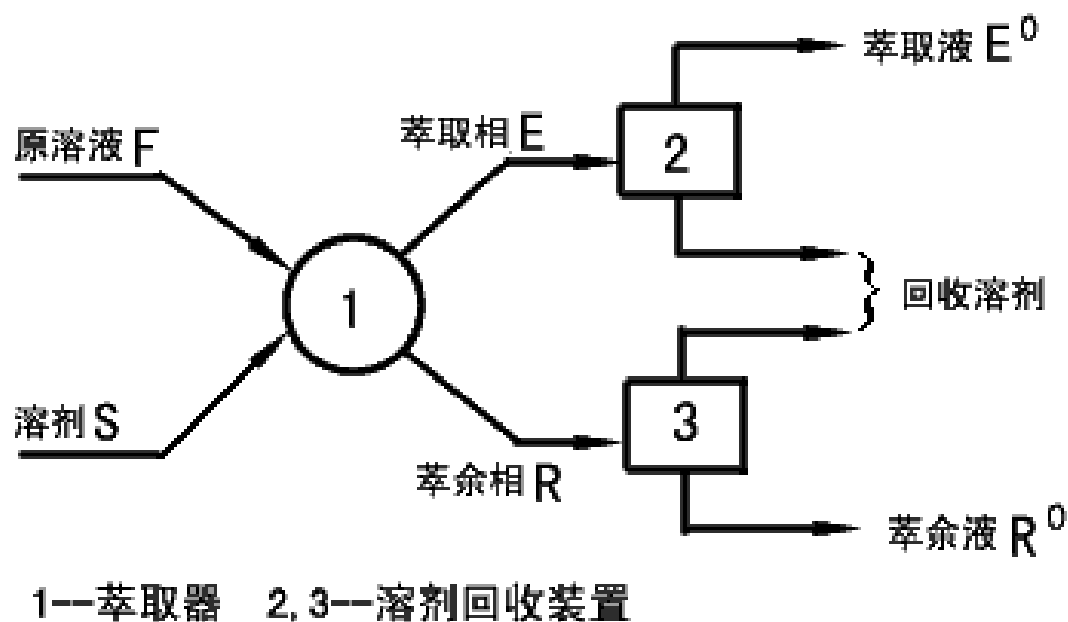
分配曲线与平衡联结线的关系 ($k > 1$)

4. 温度对溶解度曲线的影响



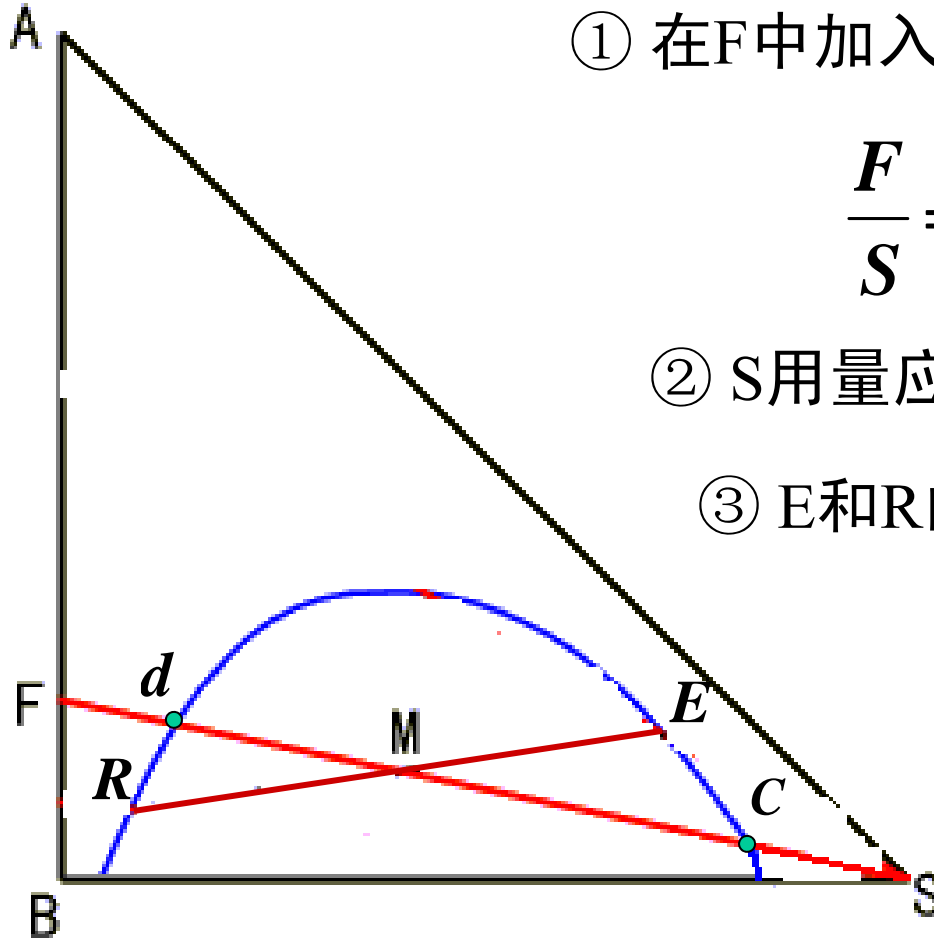
2.3 相平衡与萃取操作的关系

2.3.1 级式萃取过程的图示



单级萃取过程

2.3 相平衡与萃取操作的关系



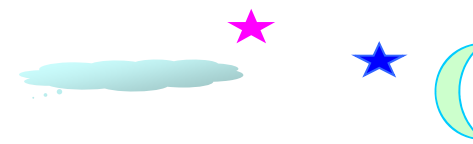
① 在F中加入S，和点M由杠杆规则定。

$$\frac{F}{S} = \frac{\overline{SM}}{\overline{FM}} \quad M = F + S$$

② S用量应使M在d与c之间

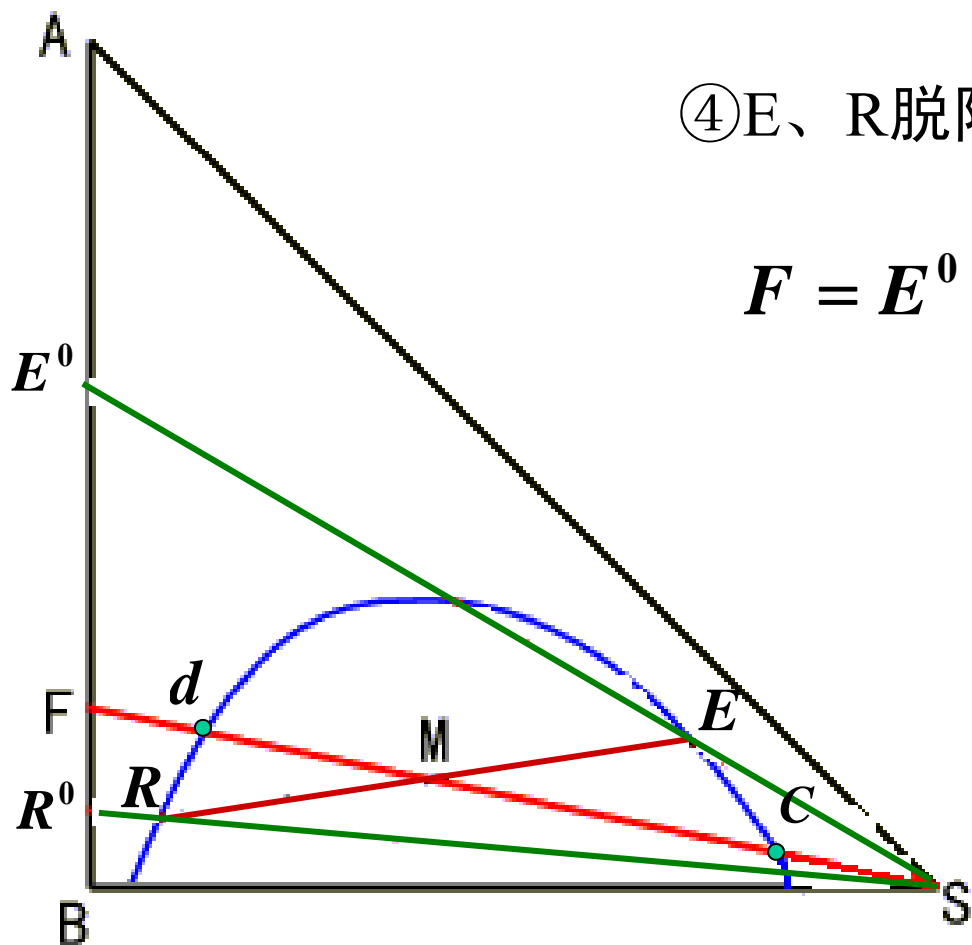
③ E和R的位置由辅助曲线试差得到

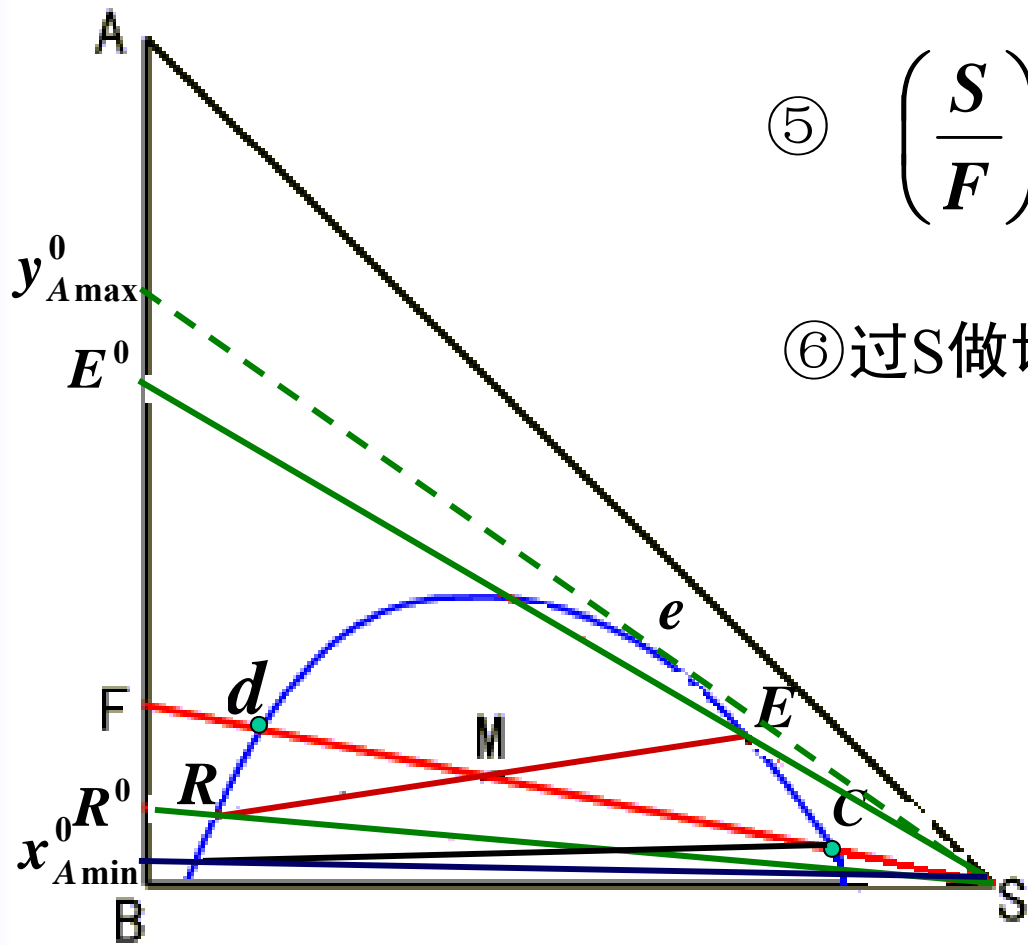
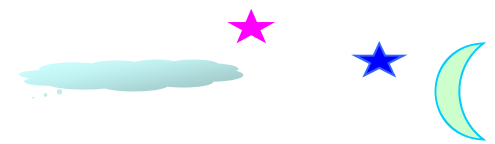
$$\frac{E}{M} = \frac{\overline{RM}}{\overline{RE}} \quad R = M - E$$



④E、R脱除溶剂得E⁰、R⁰

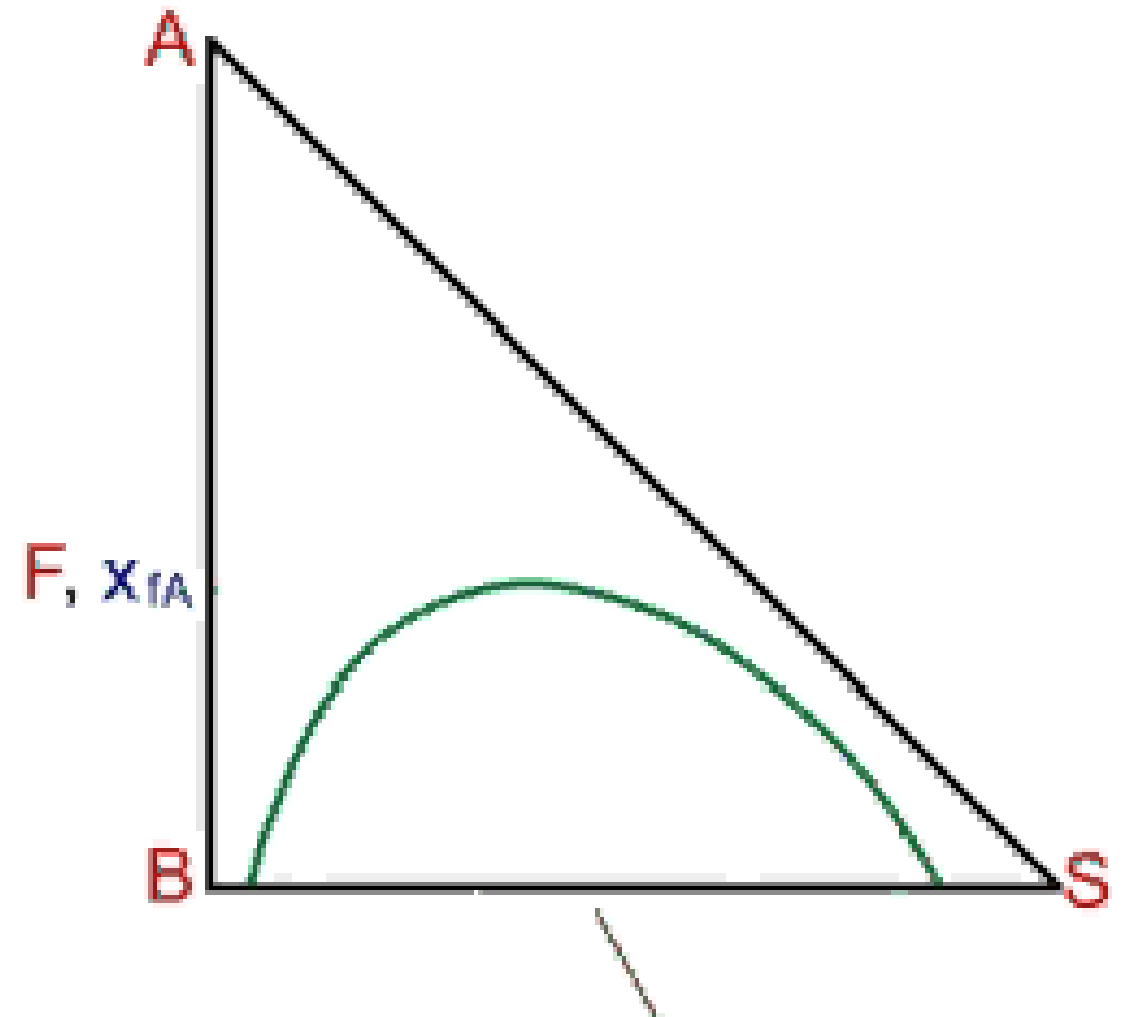
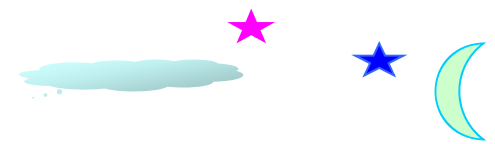
$$F = E^0 + R^0 \quad \frac{E^0}{F} = \frac{\overline{FR^0}}{\overline{R^0E^0}}$$

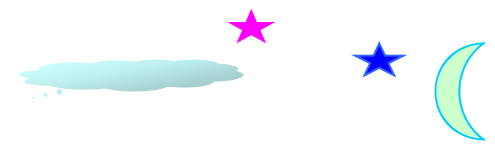




⑤ $\left(\frac{S}{F}\right)_{\max} = \frac{\overline{FC}}{\overline{SC}} \Rightarrow x_{A\min}^0$

⑥ 过S做切线Se得 $y_{A\max}^0$



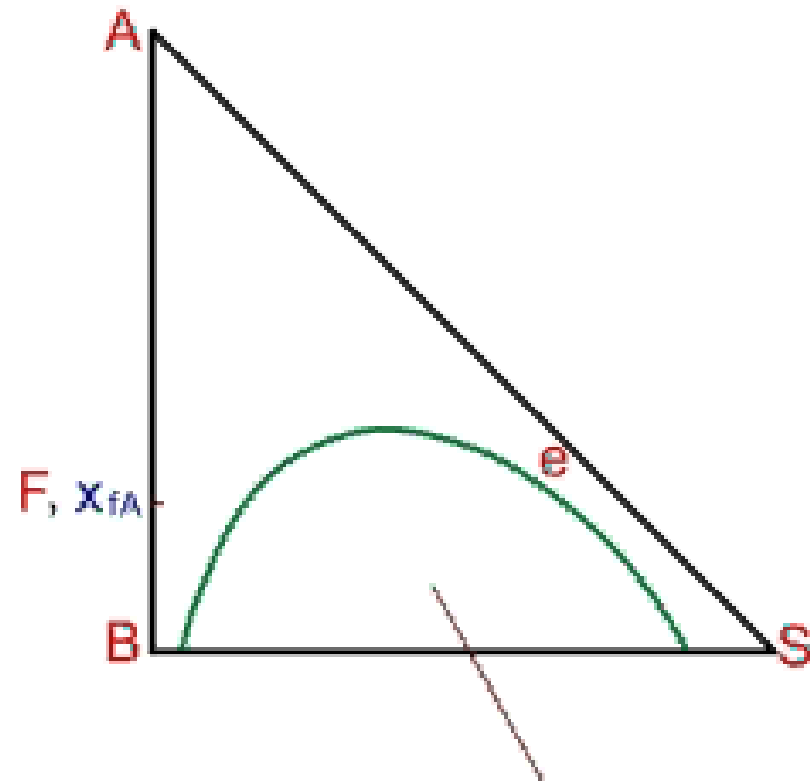


当 x_{fA} 较低、 k_A 较小时，
单级萃取无法实现 E 相组成
到达切点 e， $S \downarrow$ ， $y_A \uparrow$ 。

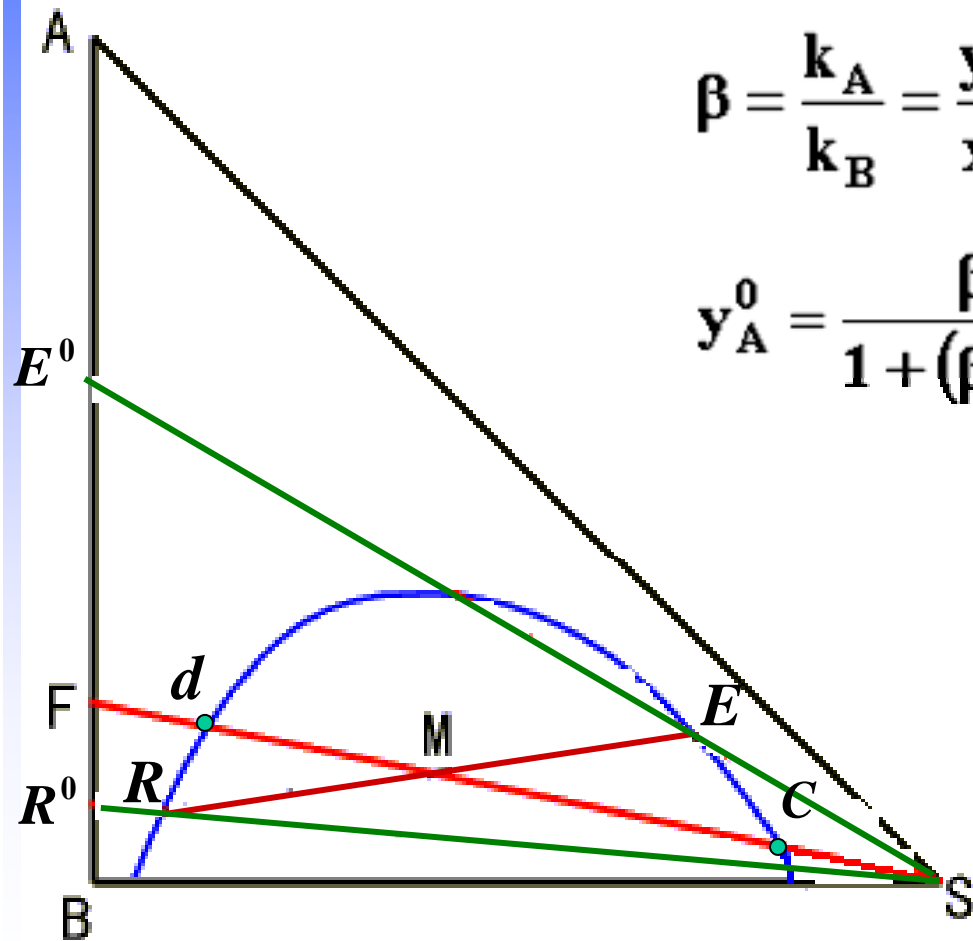
$$\left(\frac{S}{F}\right)_{\min} = \frac{\overline{Fd}}{\overline{Sd}}$$

过 d 作平衡联结线 \overline{dg} ，

由 \overline{sg} 得 $y_{A,\max}^0$ 。

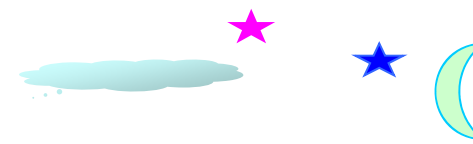


2.4 萃取剂的选择性系数



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

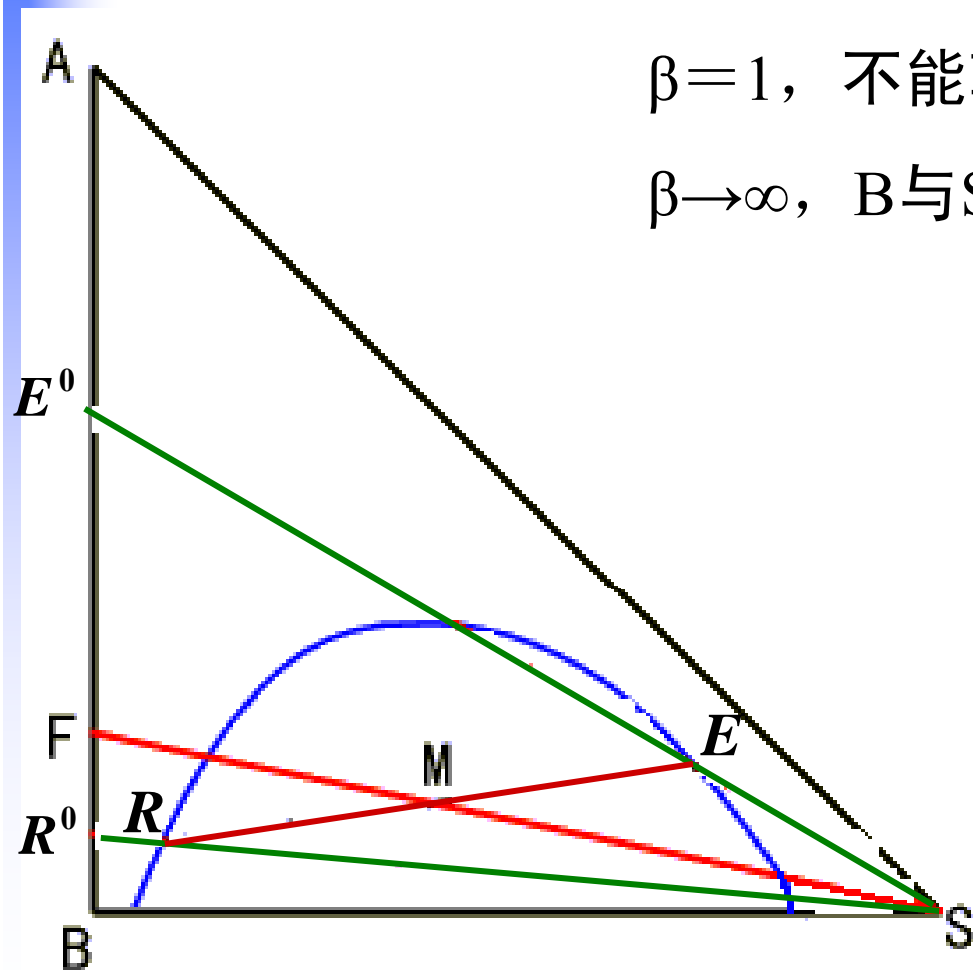
$$y_A^0 = \frac{\beta x_A^0}{1 + (\beta - 1)x_A^0}$$



$\beta > 1$, 能萃取分离, 且愈大分离愈容易

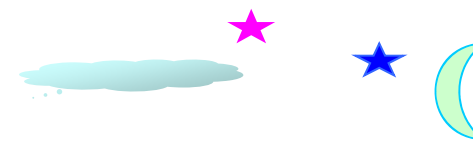
$\beta = 1$, 不能萃取分离

$\beta \rightarrow \infty$, B与S不互溶

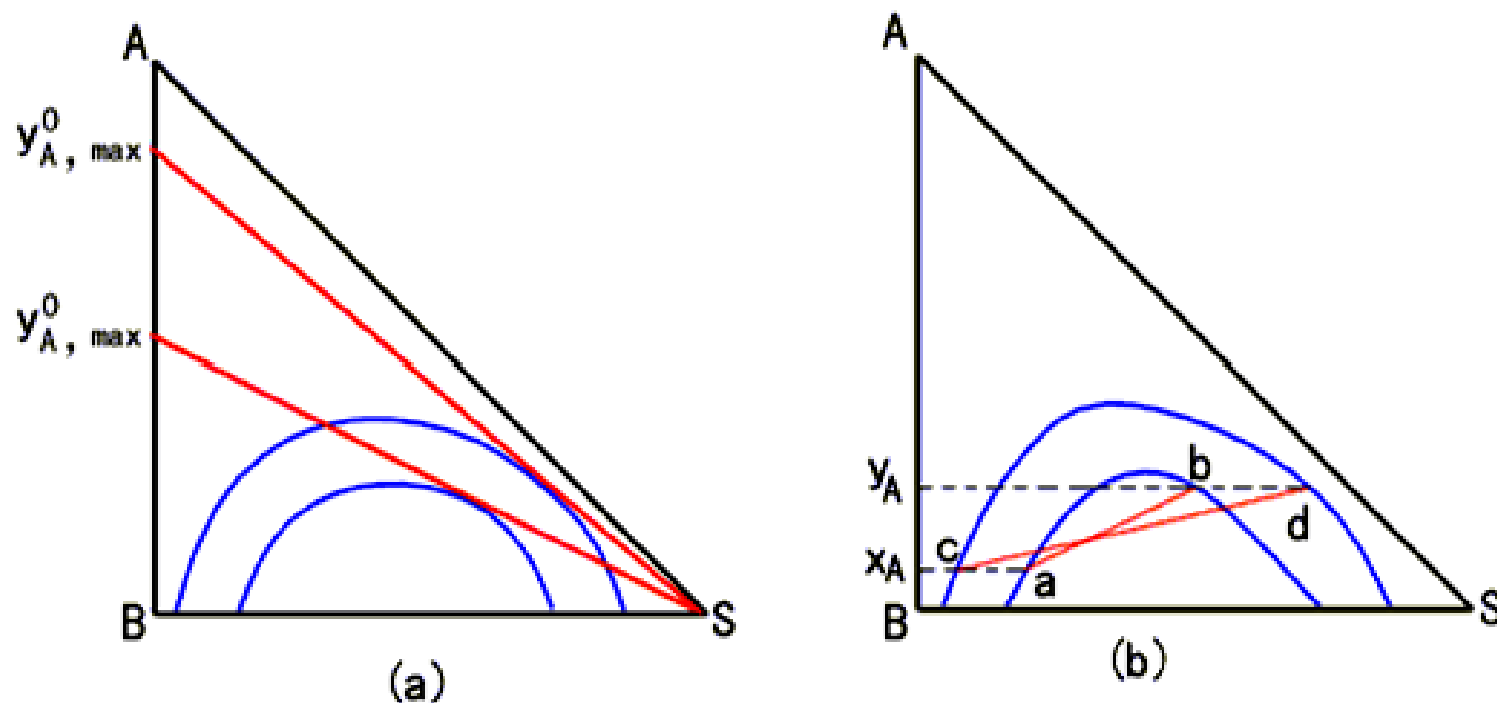


与分配系数的区别 ?

2.5 互溶度的影响



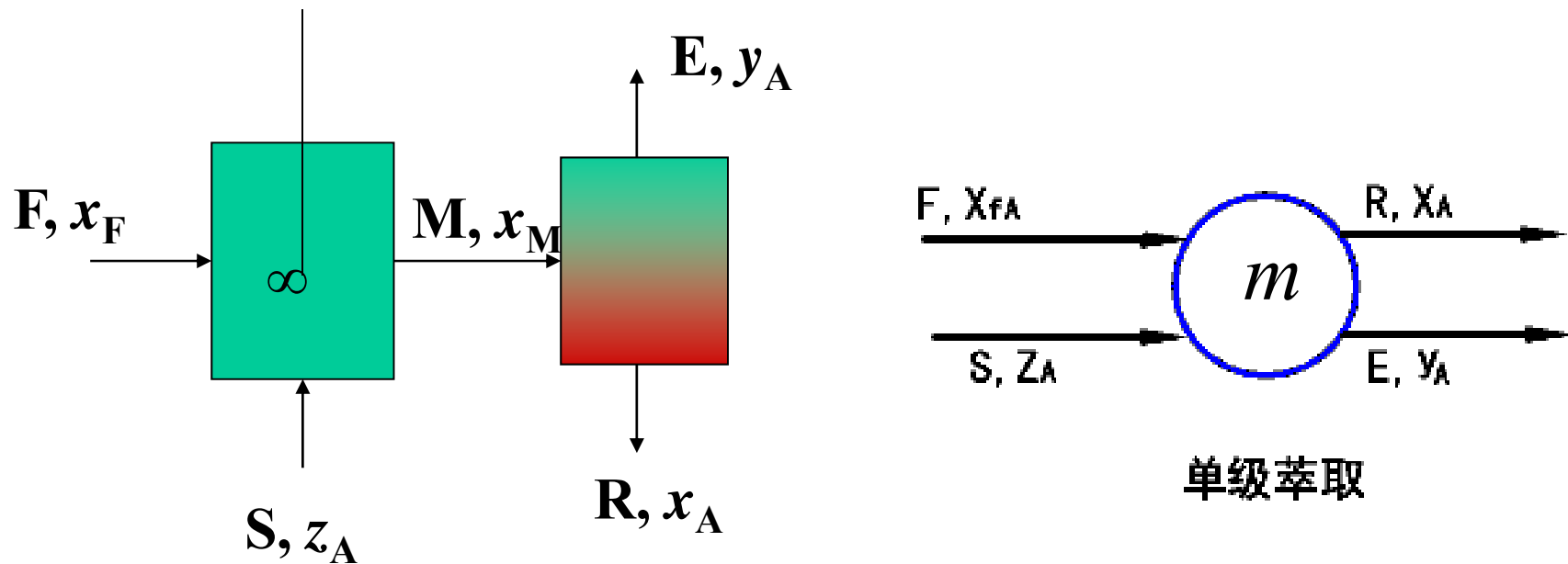
互溶度越小，萃取的操作范围越大， $y_{A,\max}^0$ 越高。



互溶度对萃取过程的影响

11.3 萃取过程的计算

3.1 理论级和级效率



理论级：离开的R与E达到平衡

级效率：实际萃取级和理论级分离能力的差异。

11.3 萃取过程的计算

3.2 单级萃取的计算

1. 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 ;

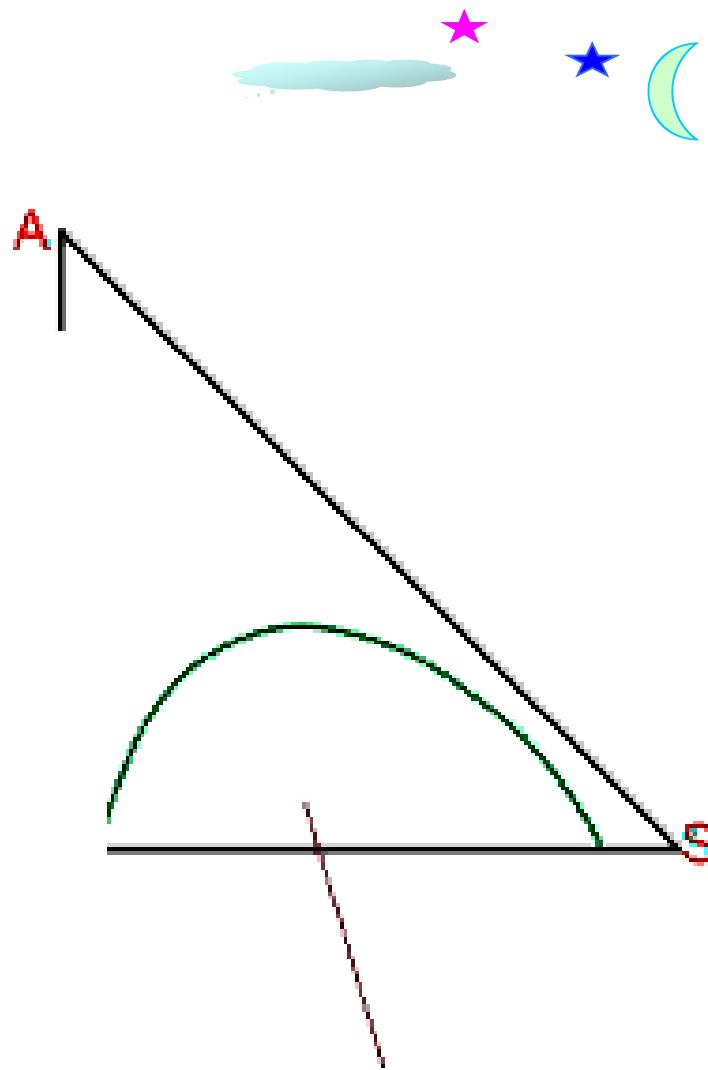
选择 z_A, z_S ,

求: S, E, y_A, y_S, R, x_S 。

2. 操作型问题

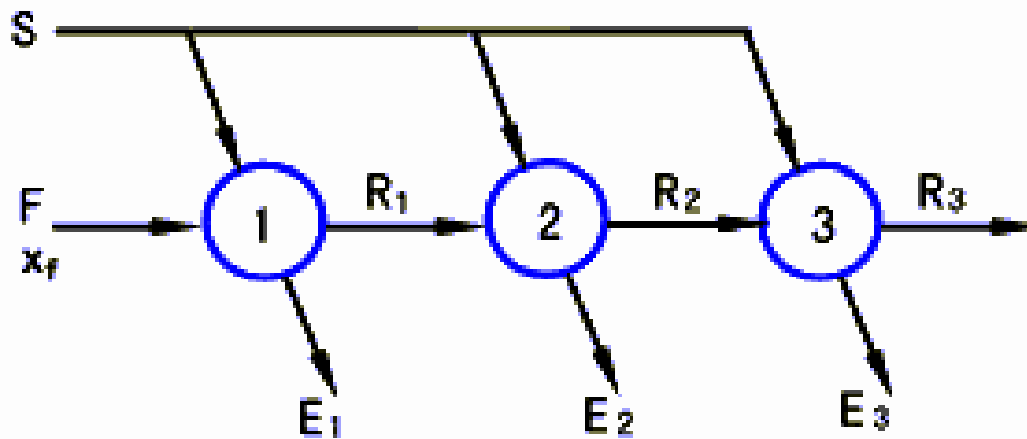
已知: $F, S, x_{fA}, x_{fS}, z_A, z_S$,

求: E, R, y_A, y_S, x_A, x_S 。

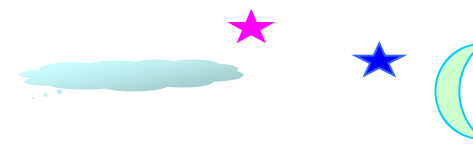


3.3 多级萃取

1. 多级错流萃取



多级错流萃取的总溶剂用量为各级溶剂用量之和，原则上，各级溶剂用量可以相等也可以不等。当各级溶剂用量相等时，达到一定的分离程度所需的总溶剂用量最少。



3.3 多级萃取

1. 多级错流萃取

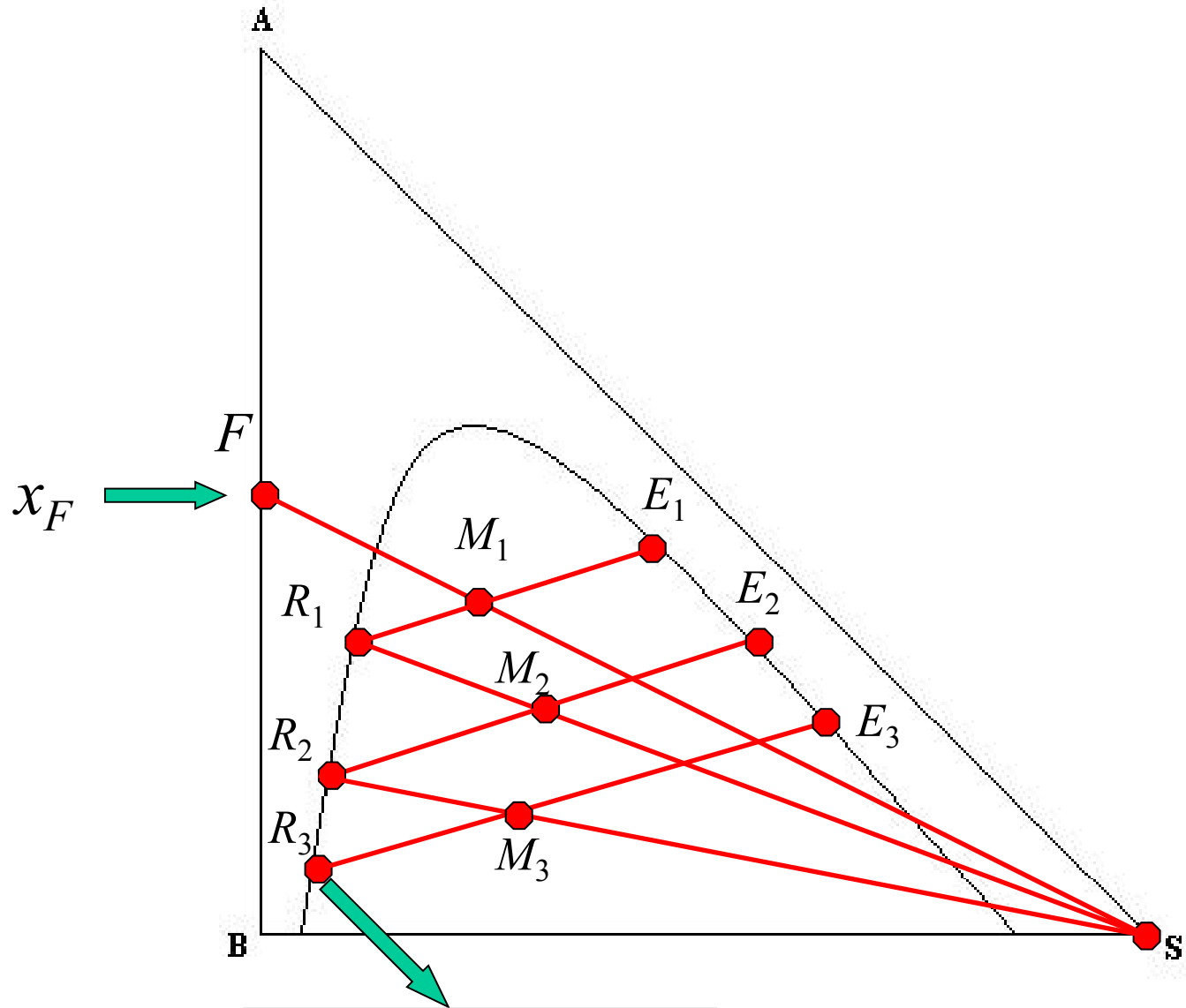
B与S部分互溶物系的计算

已知：原料量 F 、原料组成 x_F

各级萃取剂用量 S_i

规定：最终萃余相组成 x_n

计算：萃取级数 n



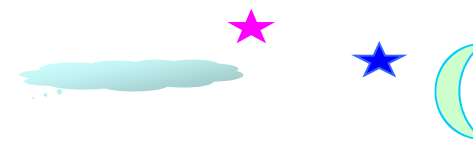
多级错流萃取
三角形相
图图解计算

S_1
 S_2
 S_3

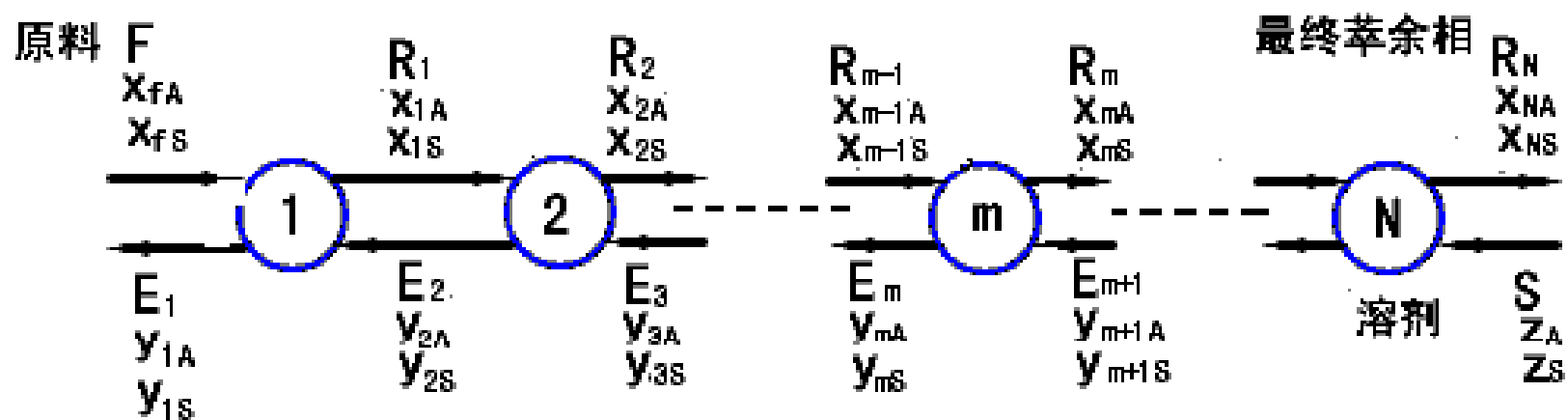
$x_{n\text{计算}} \leq x_{n\text{规定}}$ \longrightarrow $n=3$

化工原理——萃取

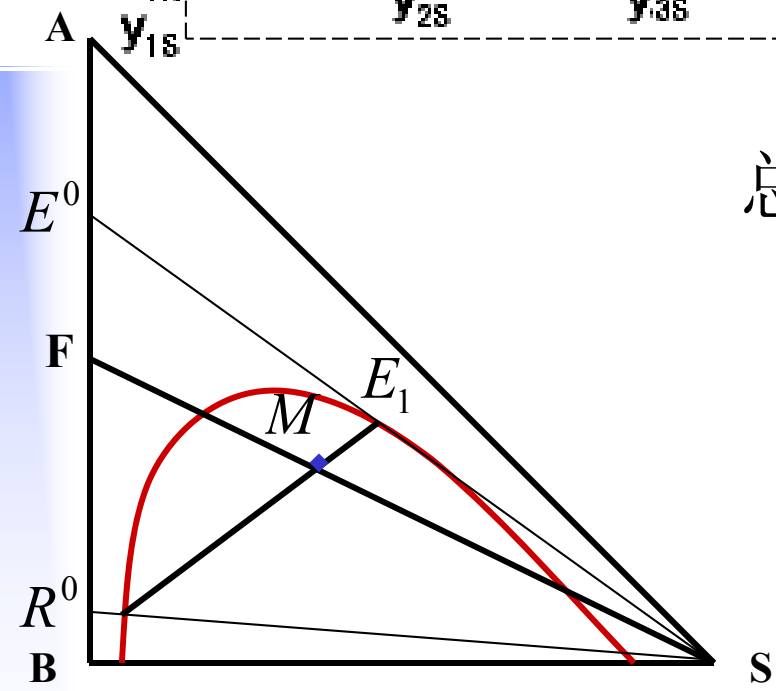
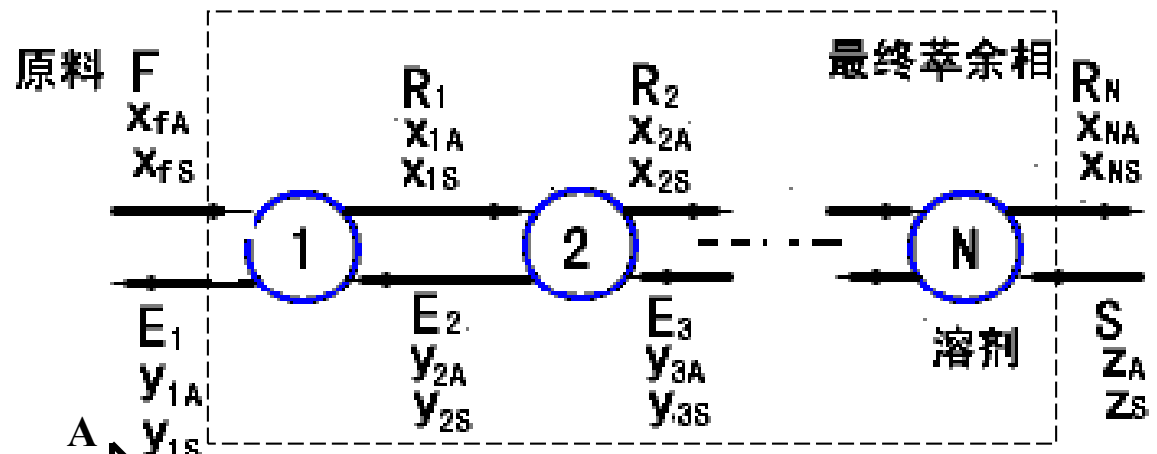
3.3 多级萃取



2. 多级逆流萃取



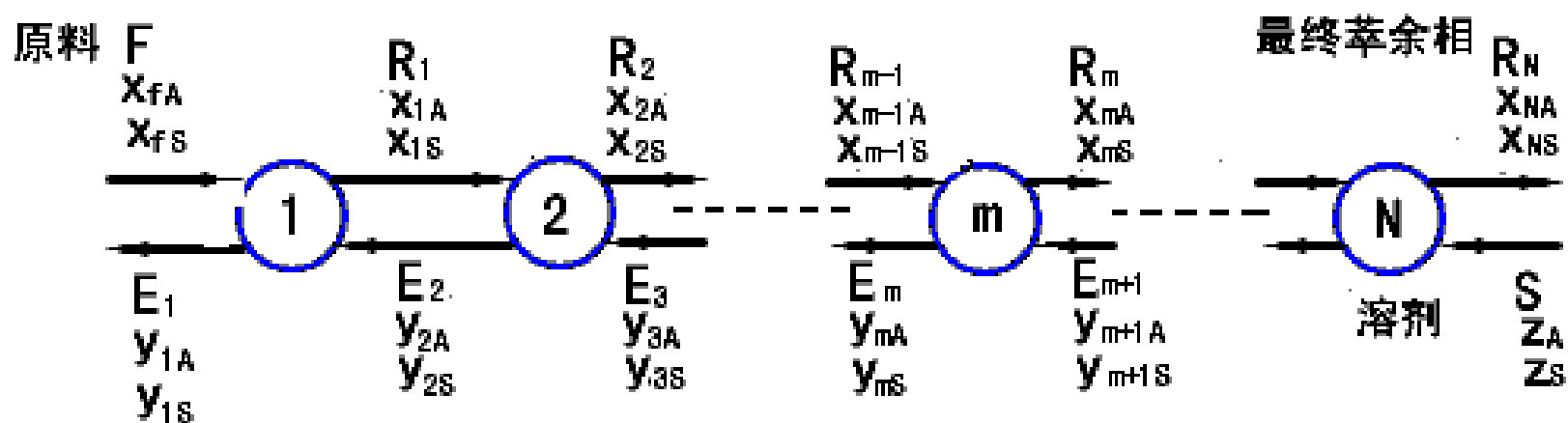
多级逆流萃取



总物衡: $F + S = E_1 + R_N = M$

可求S、 E_1 、 R_N 流量 (杠杆规则)

2. 多级逆流萃取

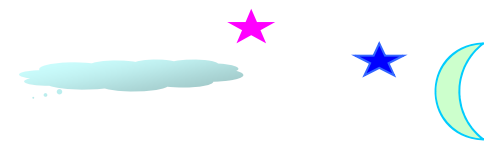


$$\text{第1级: } F + E_2 = R_1 + E_1$$

$$\text{即: } F - E_1 = R_1 - E_2$$

$$\text{第2级: } R_1 - E_2 = R_2 - E_3$$

$$\text{..... 第N级: } R_{N-1} - E_N = R_N - S$$

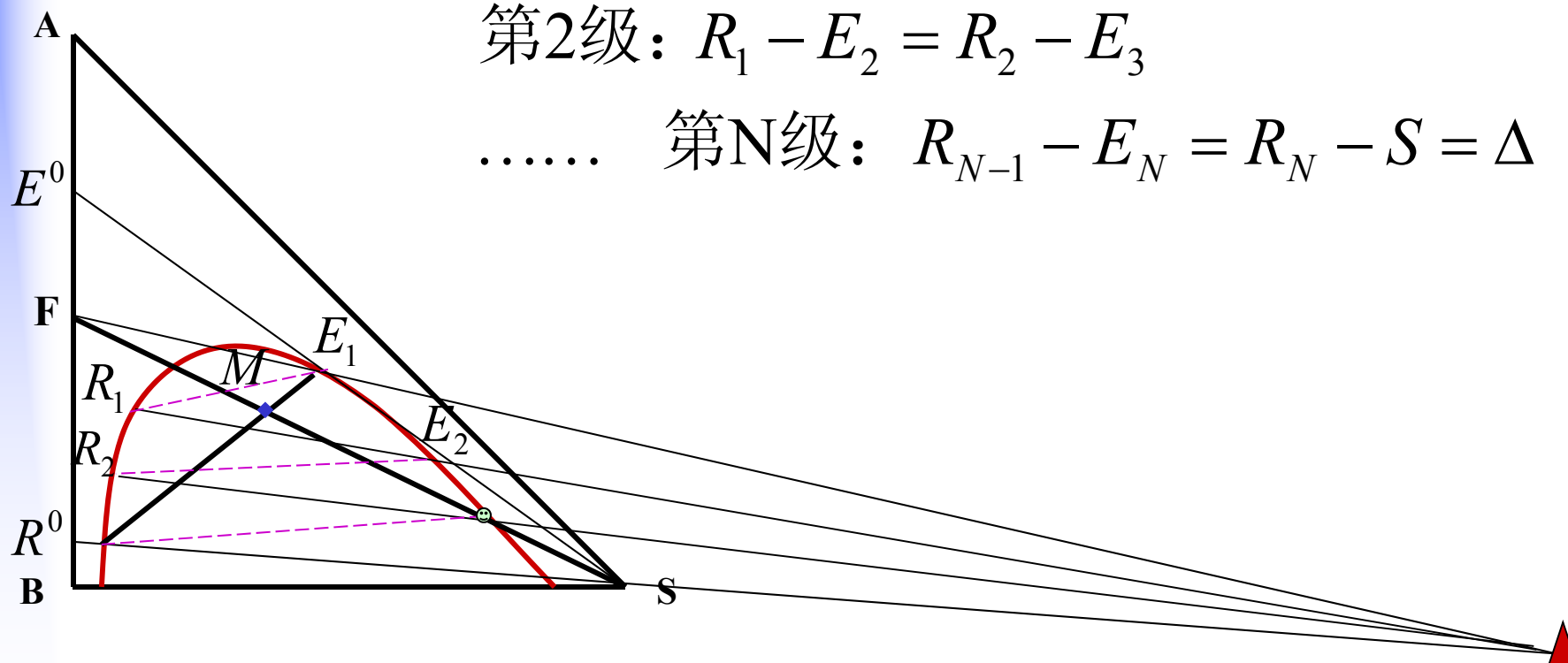


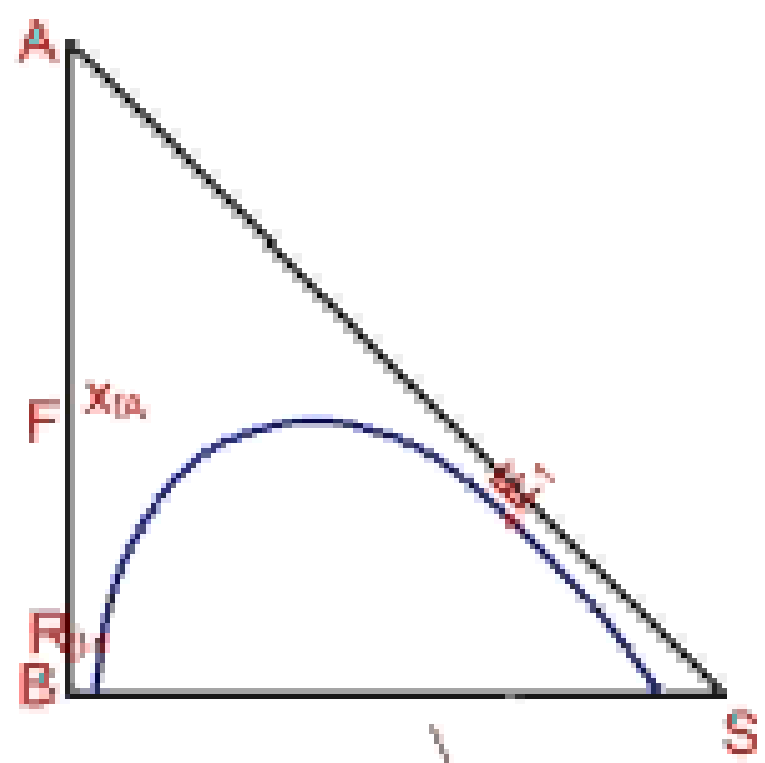
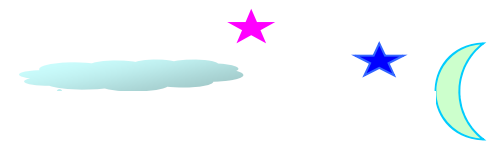
第1级: $F + E_2 = R_1 + E_1$

即: $F - E_1 = R_1 - E_2$

第2级: $R_1 - E_2 = R_2 - E_3$

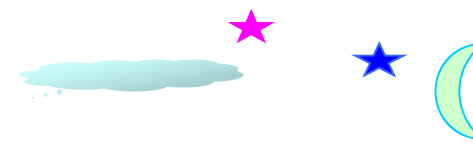
..... 第N级: $R_{N-1} - E_N = R_N - S = \Delta$



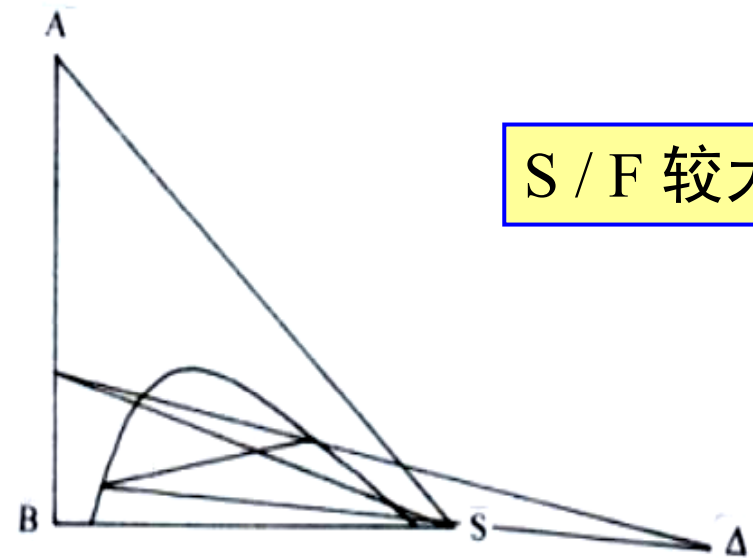
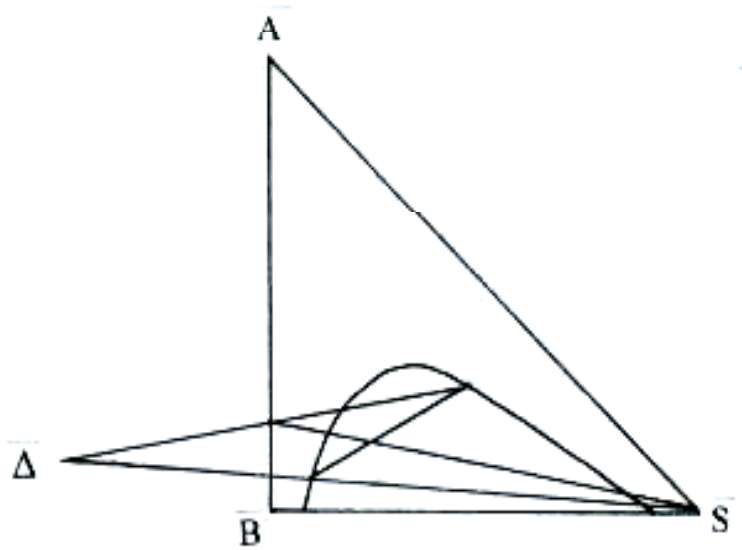


多級逆流萃取理論級的圖解法

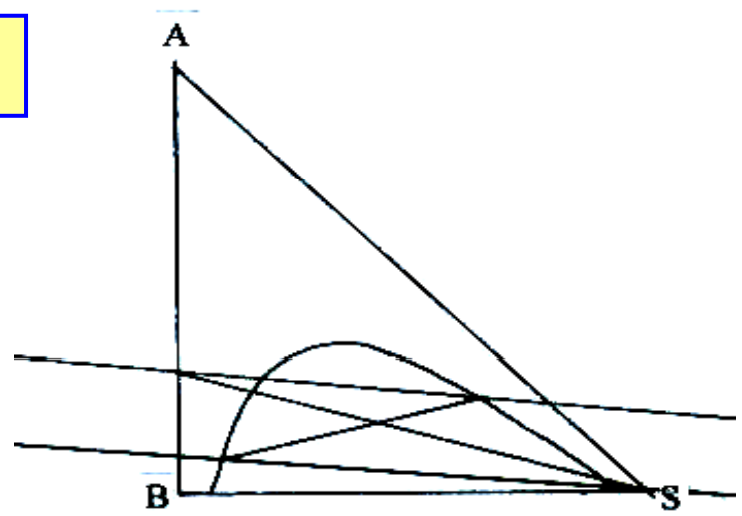
溶剂比的影响



S / F 较大



S / F 较小



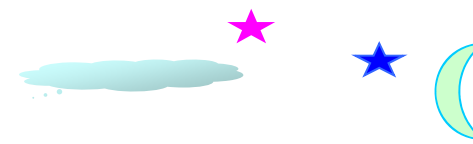
S / F 为某数值

11.4 萃取设备



4.1 萃取设备的基本要求

- 两相充分的接触并伴有较高程度的湍动。
- 有利于液体的分散与流动。
- 有利于两相液体的分层。

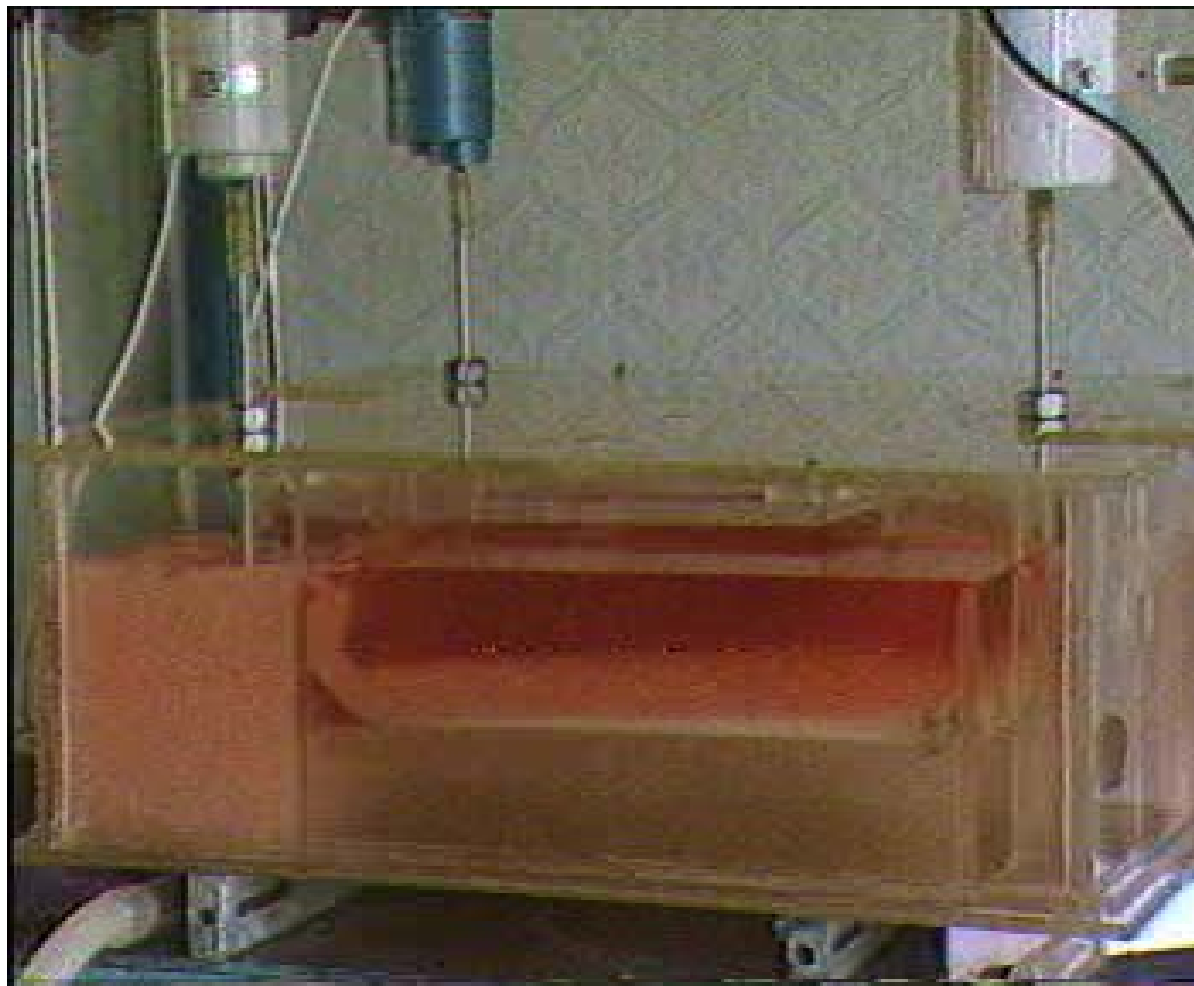


4.2 萃取设备的分类

项目		逐级接触式	微分接触式
无外加能量		筛板塔	喷洒塔
			填料塔
外加能量	脉冲	脉冲混合—澄清器	脉冲填料塔
			液体脉冲筛板塔
	旋转搅拌	混合澄清器 夏贝尔塔	转盘塔 (RDC)
			偏心转盘塔 (ARDC)
			库尼塔
往复搅拌		往复筛板塔	
离心力	卢威离心萃取机	POD离心萃取机	

4.3 萃取设备的主要类型

1. 混合澄清槽



2. 筛板塔

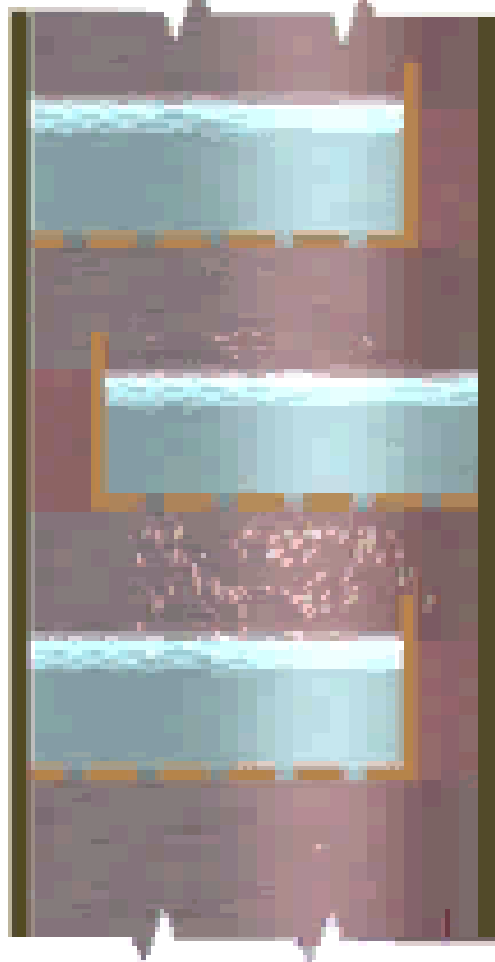
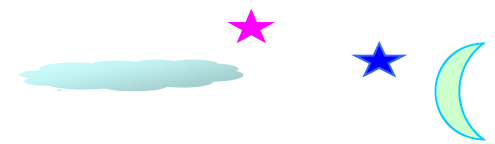
重相



轻相为分散相的筛板塔

轻相为分散相的筛板塔

化工原理——萃取



轻相

重相为分散相的筛板塔

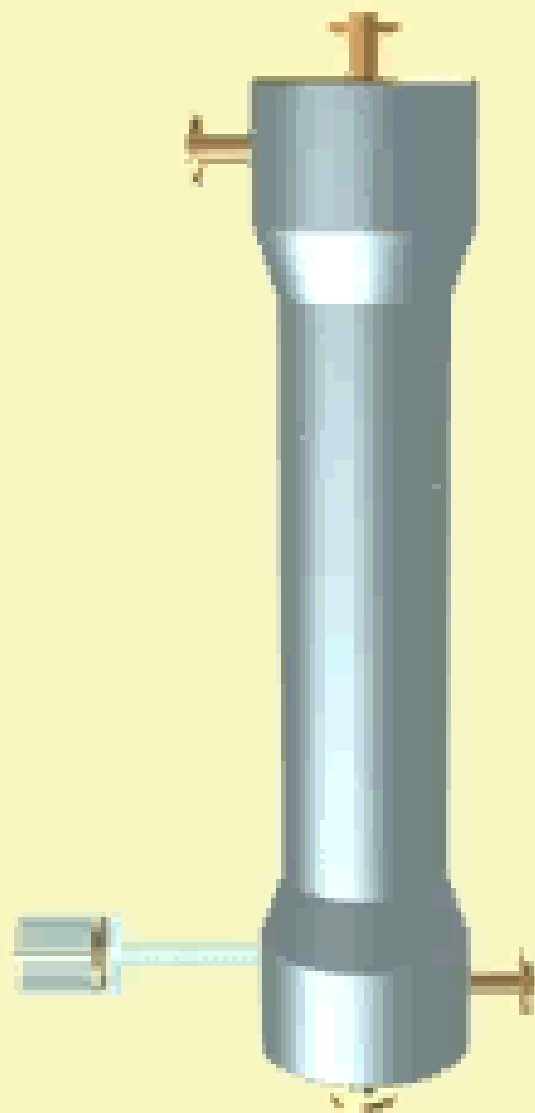
重相为分散相的筛板塔



化工原理——萃取

3 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。

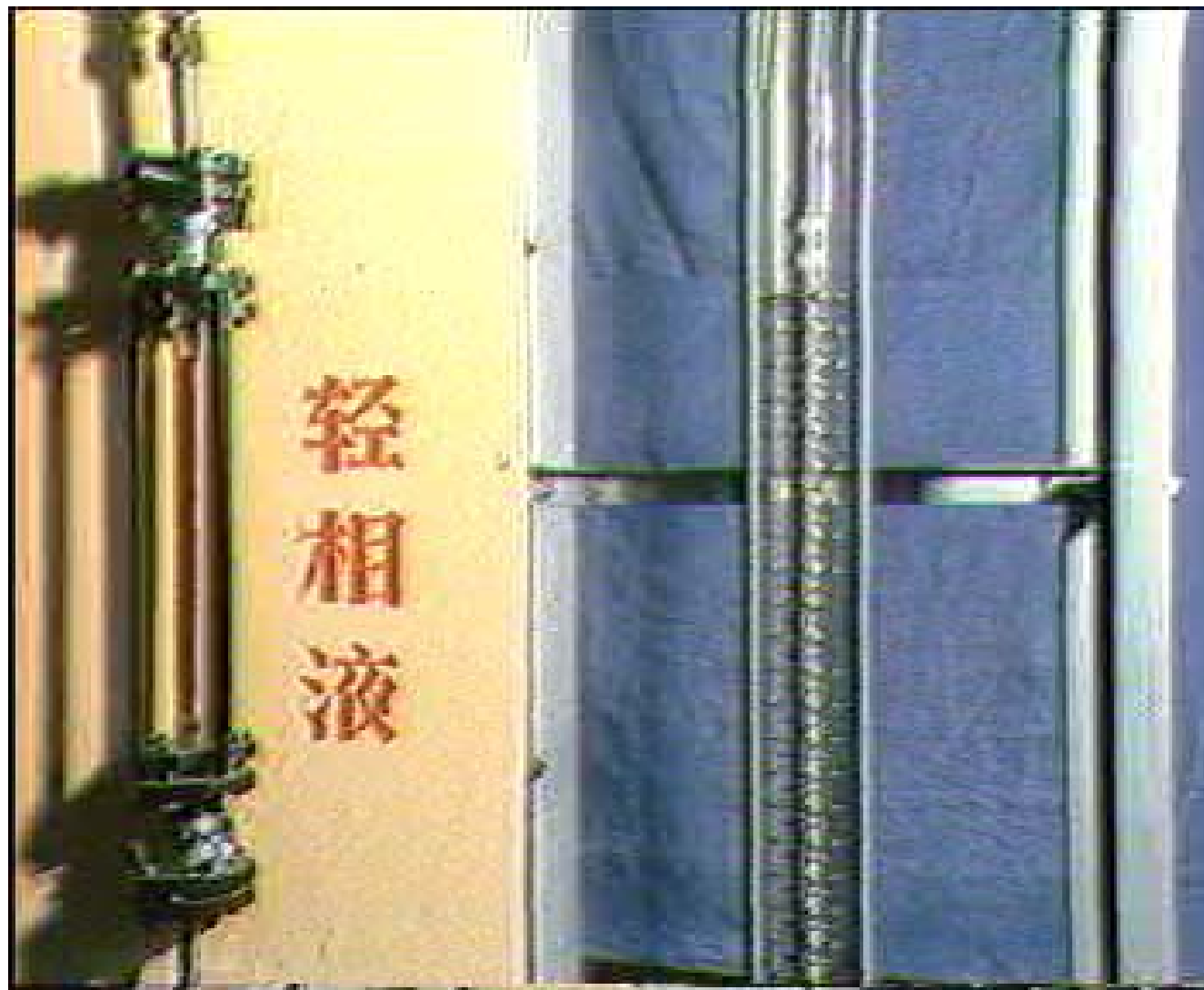


4 振动筛板塔



化工原理——萃取

5 转盘塔



化工原理——萃取

6 翻斗式萃取塔

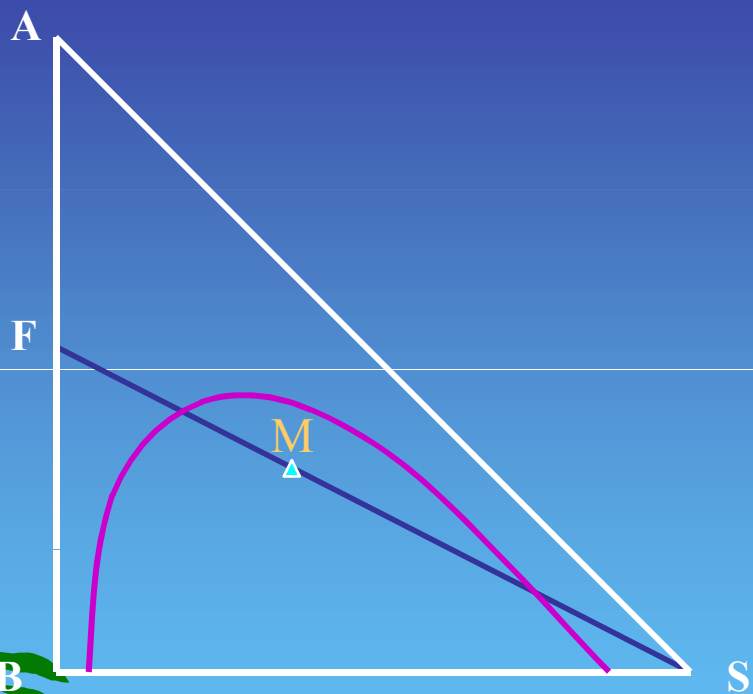




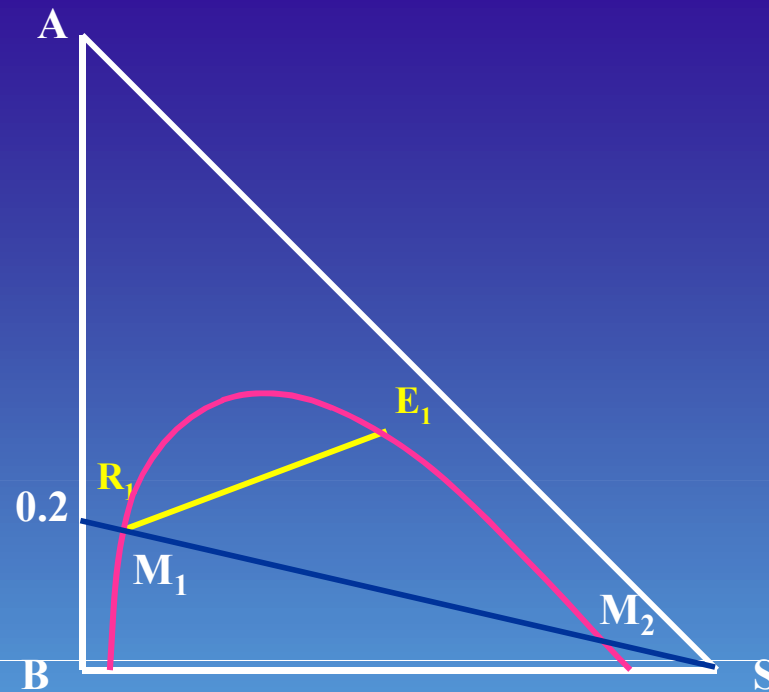
- (1) 有含A50%的AB原料液30kg及S15kg，将它们混合在一起，问①混合液是否分层？若不分层，用什么方法使其分层？若分层，用什么方法使其不分层？定量算出结果。
- (2) 用纯S萃取含A20%的AB原料， $F=100\text{kg/h}$ ，单级萃取时的 S_{\min} 为多少？此时E的量及组成？
- (3) 单级萃取，萃取液可能达到的最大浓度为多少？当进料分别为含A30%和10%时，是否都能使 E^0 的浓度达到最大值？所得萃取液浓度最大时S的用量？

例题

(1)



(2)



$$\frac{S_{\min}}{F} = \frac{\overline{FM_1}}{\overline{SM_1}}$$

E 的量为无限小, $R = F + S$