

目录

第十二章 萃取（液液萃取）

第一节 概述

- 一、什么是液液萃取
- 二、萃取流程
- 三、萃取剂的选择

第二节 液液相平衡关系及相图

- 一、三角形相图及其应用
- 二、萃取过程中的相平衡关系

目录

第三节 分级萃取计算 ▶

一、单级萃取的流程及计算

习题课

二、多级错流萃取

习题课

三、多级逆流萃取

习题课

第四节 萃取设备 ▶

第十二章 小结 ▶

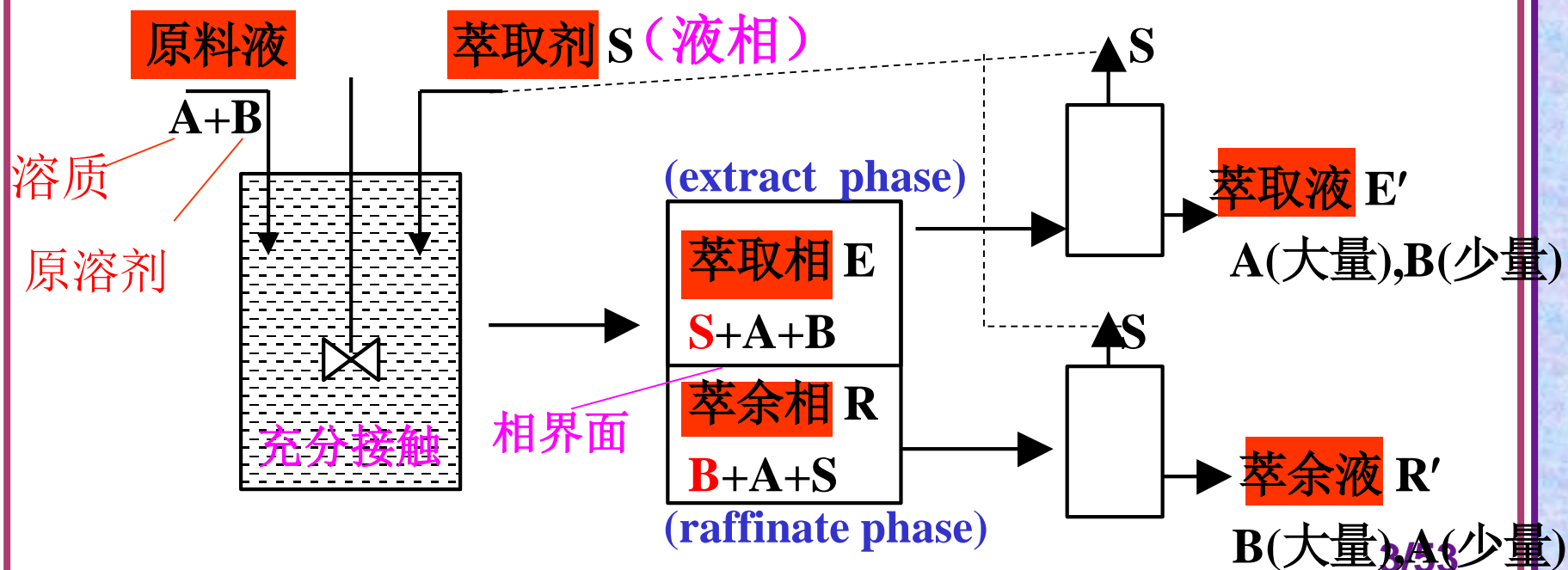
第十二章 液液萃取

第一节 概述

与吸收相似

一、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~。外加溶剂称为萃取剂。

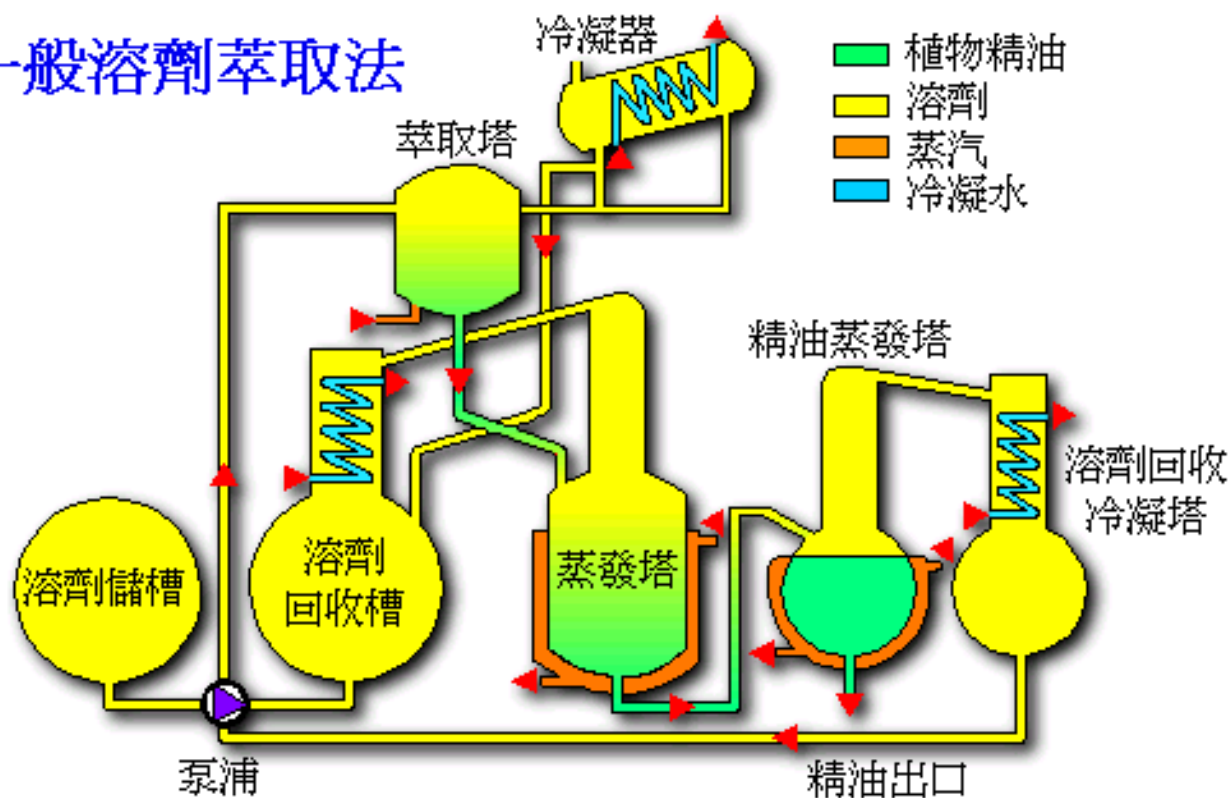


第十二章 液液萃取

第一节 概述

二、萃取流程

一般溶劑萃取法



欲萃取之植物放置於萃取塔內,與溶劑接觸,被萃取出來後進入蒸發塔,經加熱將沸點較低之溶劑蒸發後,進入精油蒸發塔將殘餘溶劑蒸出後即可得純精油。

第一节 概述

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？

精馏——需汽化

萃取——常温操作

◆稀溶液：

溶质是易挥发组分 -----精馏或萃取

溶质是难挥发组分 -----萃取

◆ $\alpha=1$ 或 $\alpha \rightarrow 1$ 的体系： -----萃取或特殊精馏

◆热敏性溶液： -----萃取

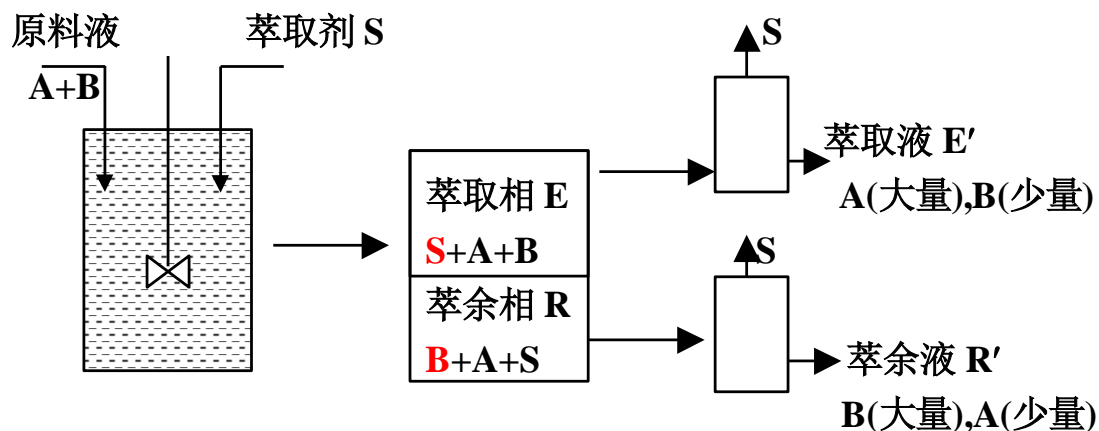
◆其他 -----精馏

第一节 概述

三、萃取剂的选择

要求：

- 1、对溶质溶解性大
- 2、选择性好
- 3、B与S互溶度越小越好
- 4、萃取剂易于回收
- 5、萃取相与萃余相密度差异大



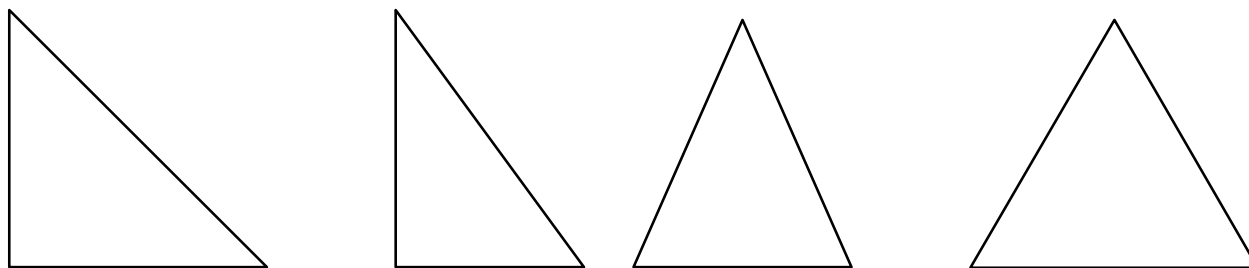
[返回目录](#)

第二节 液液相平衡关系及相图

一、三角形相图及其应用

液液萃取过程涉及三元体系的相平衡，此时用直角坐标系就不方便了，因此要用到三角形相图。

常用的三角形相图有如下几种，原理均相同。



一、三角形相图及其应用

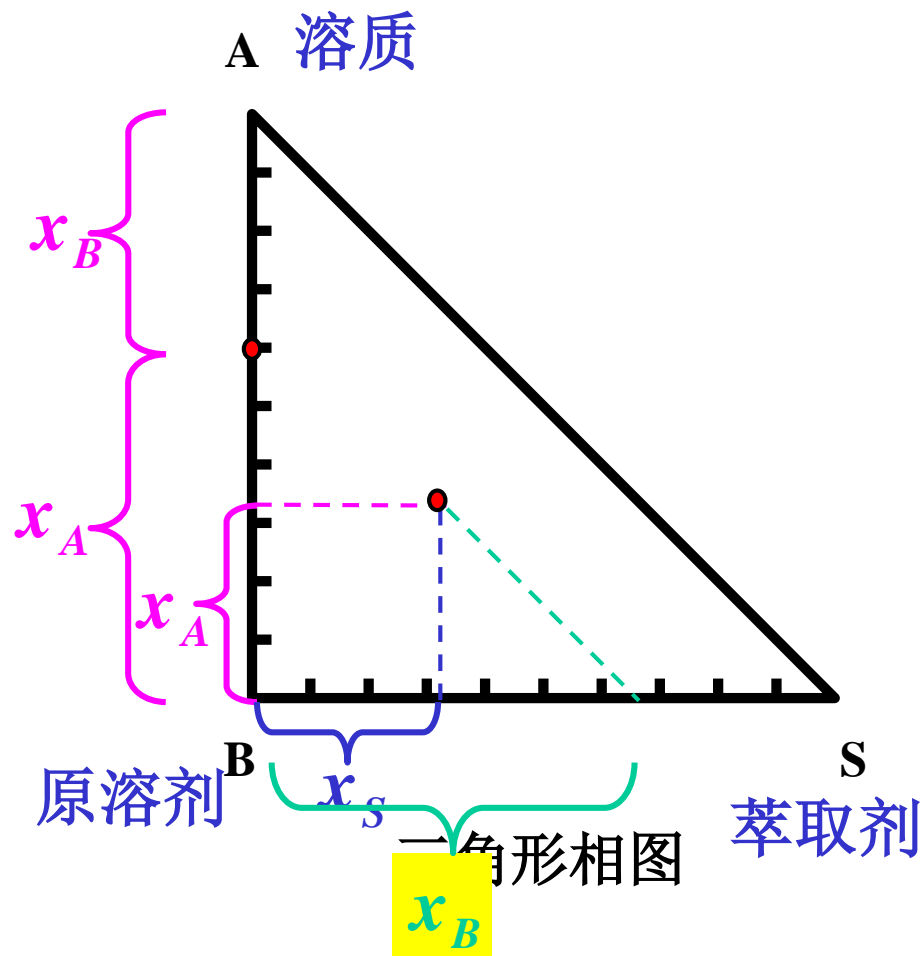
①顶点代表纯组分

②每条边代表二元溶液

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

③相图中的点代表三元溶液

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



三角形相图的应用:

◆表示混合、分离等过程;

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


萃余液 R'

B(大量),A(少量)

一、三角形相图及其应用

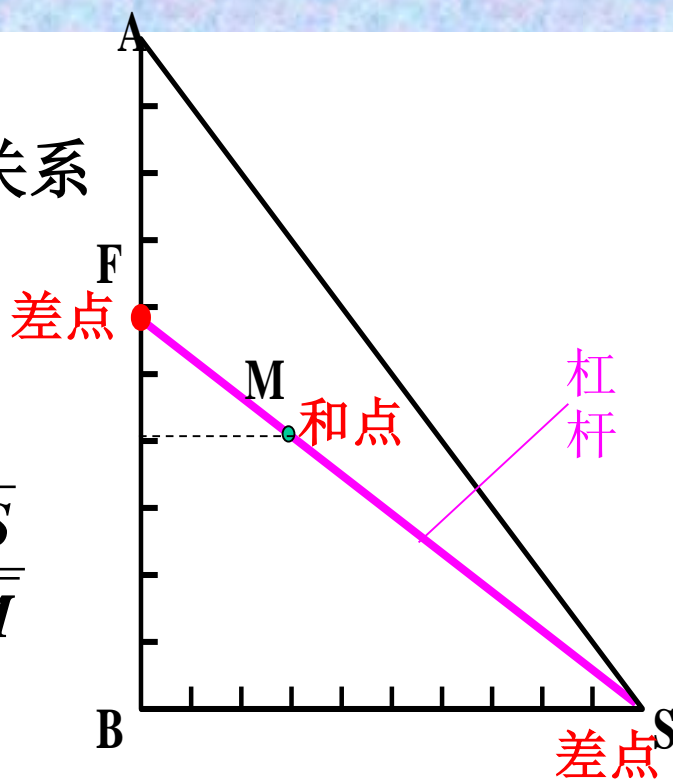
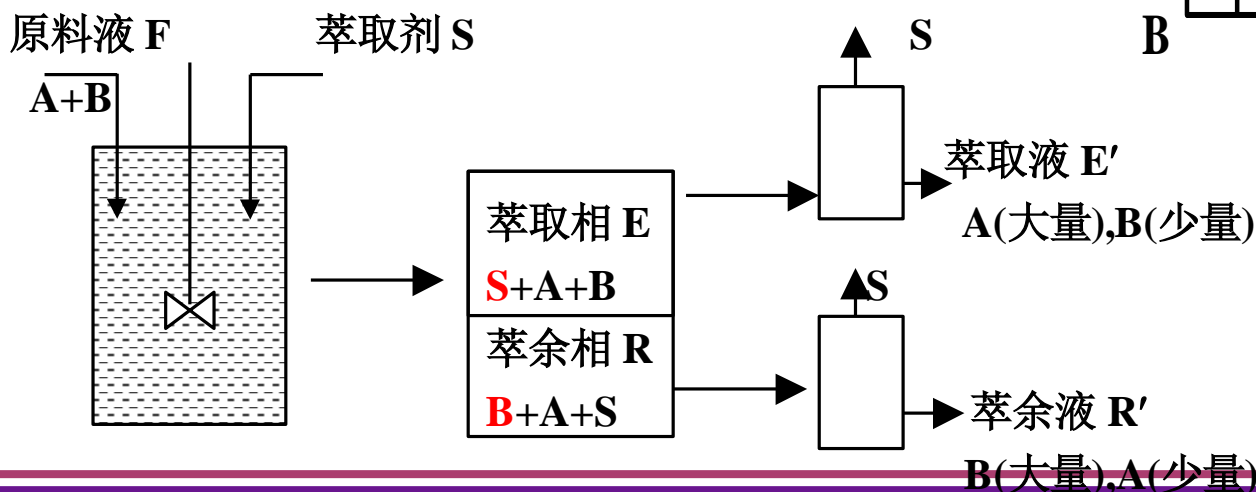
如何证明上述杠杆原理成立？

----杠杆原理本质上就是物料衡算关系

物料衡算： $F + S = M$

$$Fx_F + S \cdot 0 = Mx_M$$

$$Fx_F = (F + S)x_M \Rightarrow \frac{F}{S} = \frac{x_M - 0}{x_F - x_M} = \frac{MS}{FM}$$



二、萃取过程中的相平衡关系

通常由实验测定。

下面，定性推出相平衡关系曲线的形状。

1、B与S部分互溶时

假设在B、S溶液中加入溶质A，且加入A的量逐渐增大，则其过程可以表示如图。

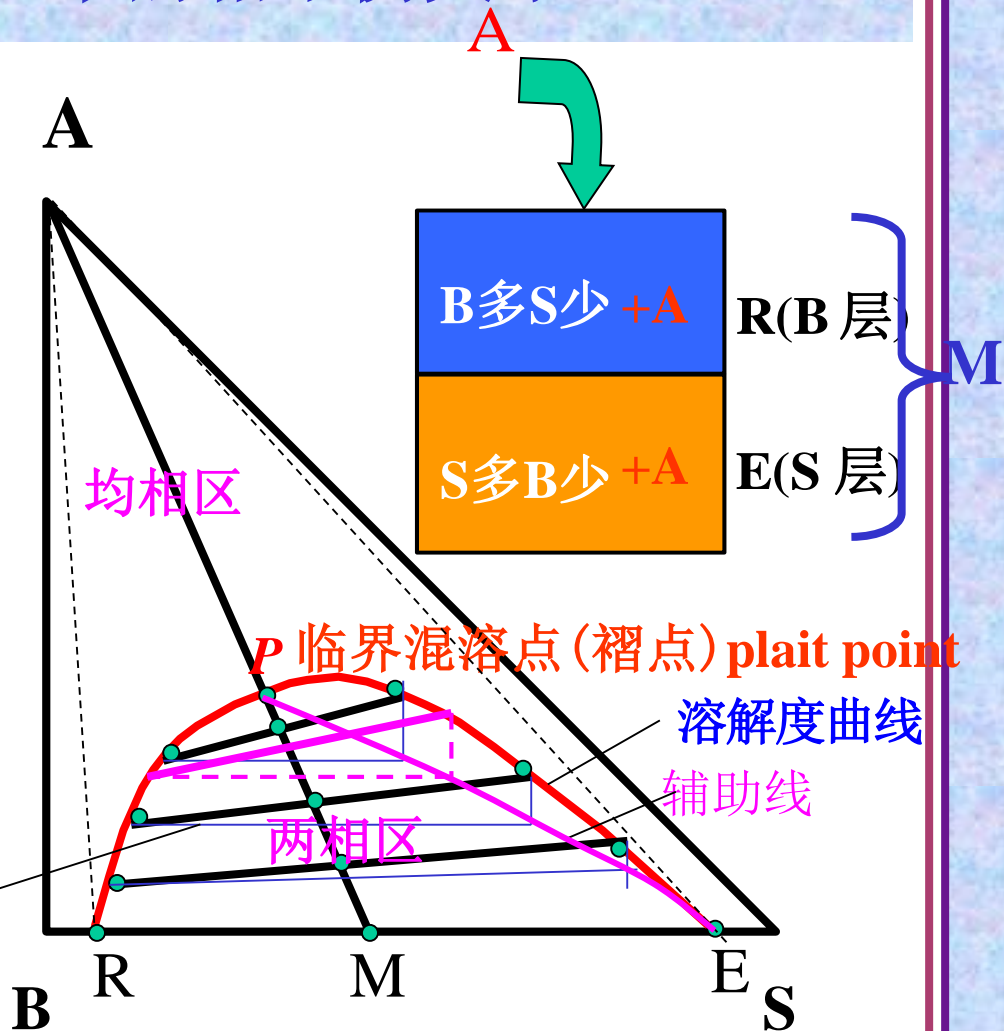
相平衡关系包含：

溶解度曲线

共轭线

辅助线

共轭线（联结线）
Tie line



B、S部分互溶时

1、B与S部分互溶时

思考:

1、加入溶质A后，B、S互溶度如何变化？

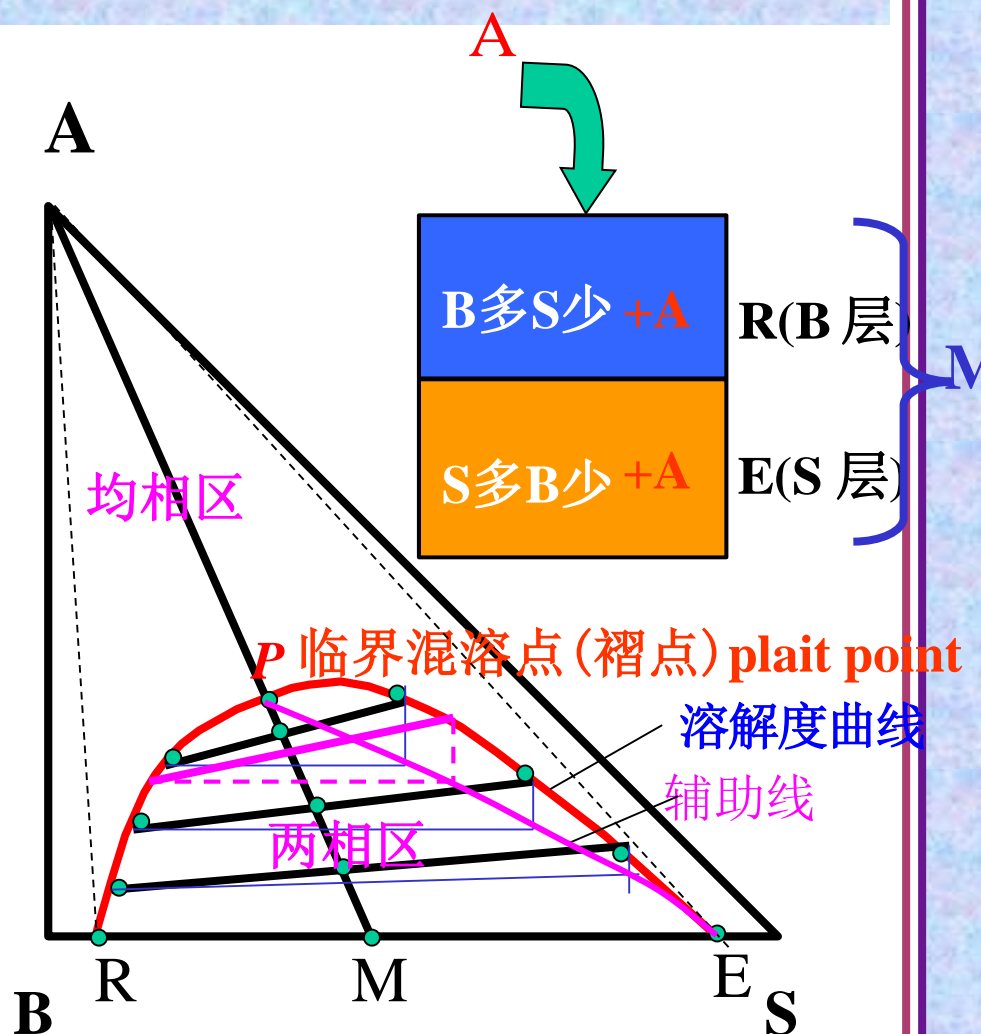
B、S互溶度变大

2、B、S互溶度变大，则两相区范围如何变化？

两相区范围变小

3、温度升高，对两相区范围有何影响？

互溶度增大，两相区范围变小

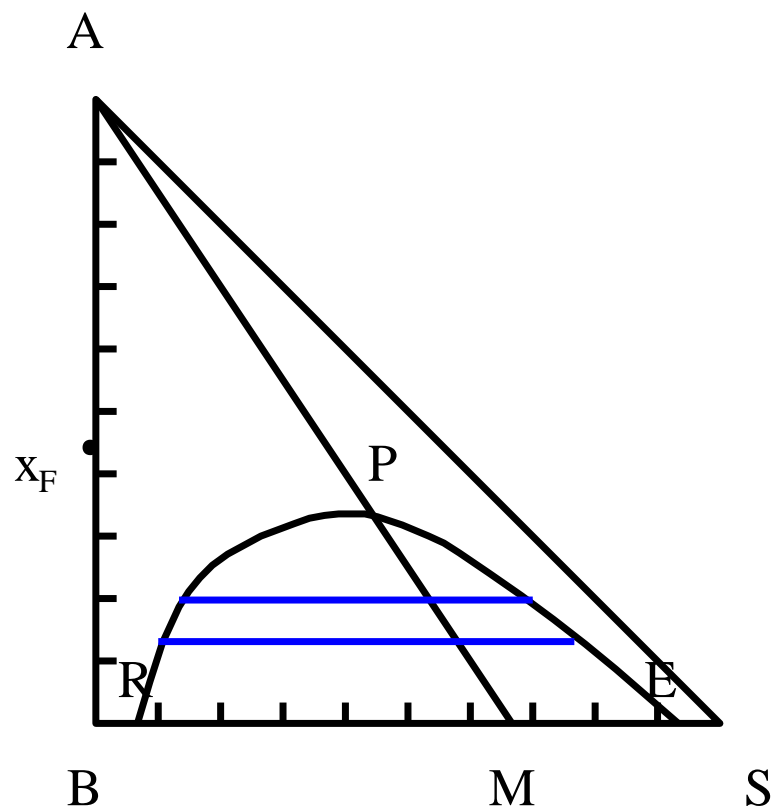
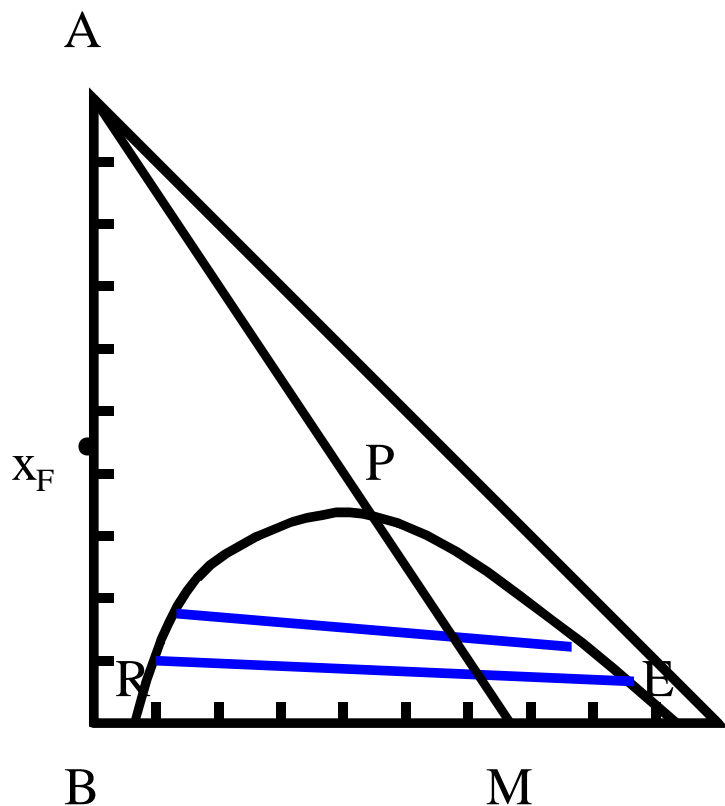


B、S部分互溶时

12/53

1、B与S部分互溶时

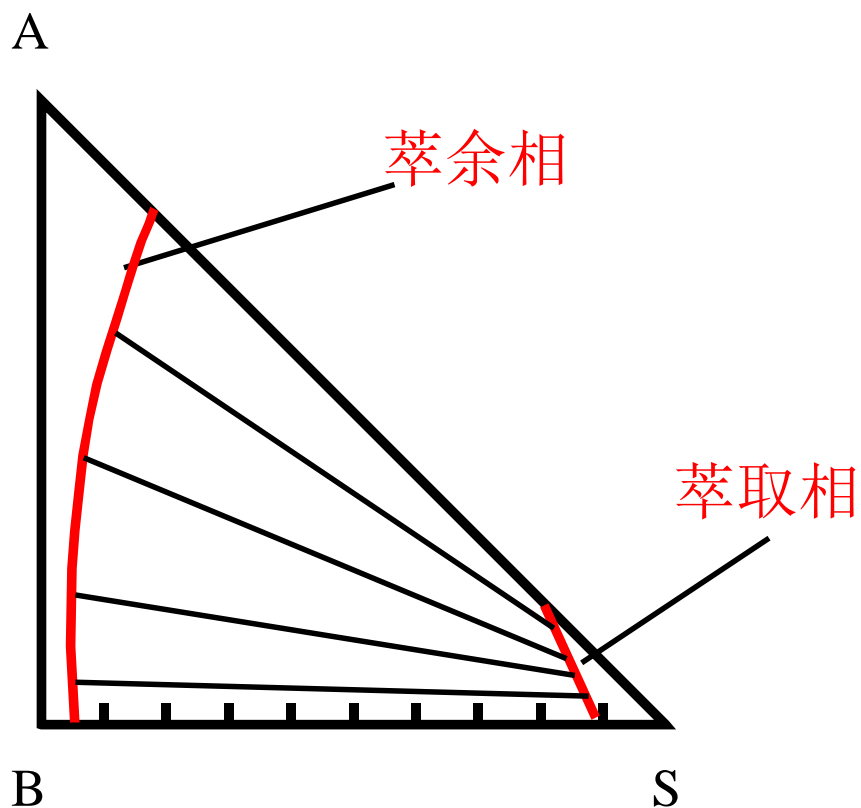
共轭线还有以下两种情形：



B、S部分互溶时

二、 萃取过程中的相平衡关系

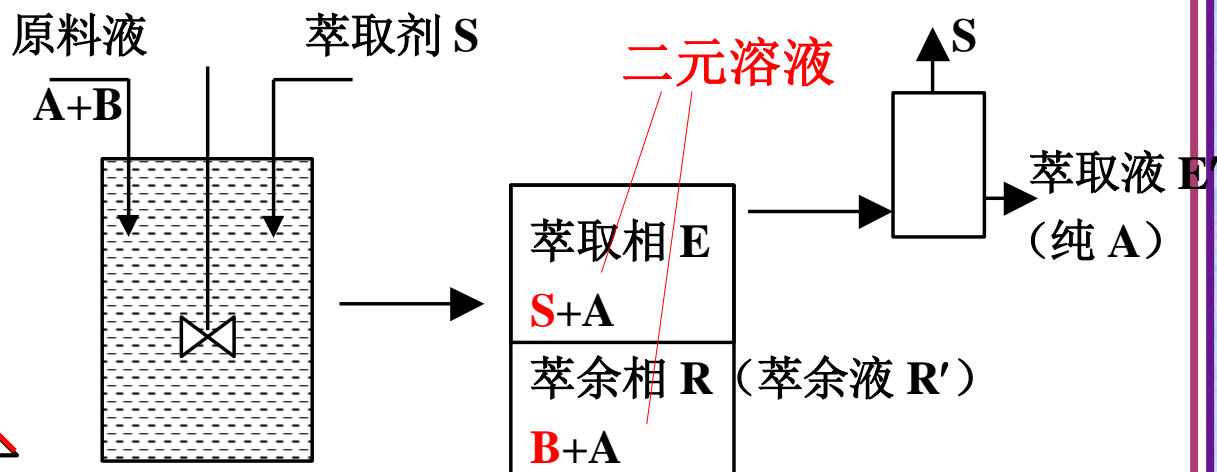
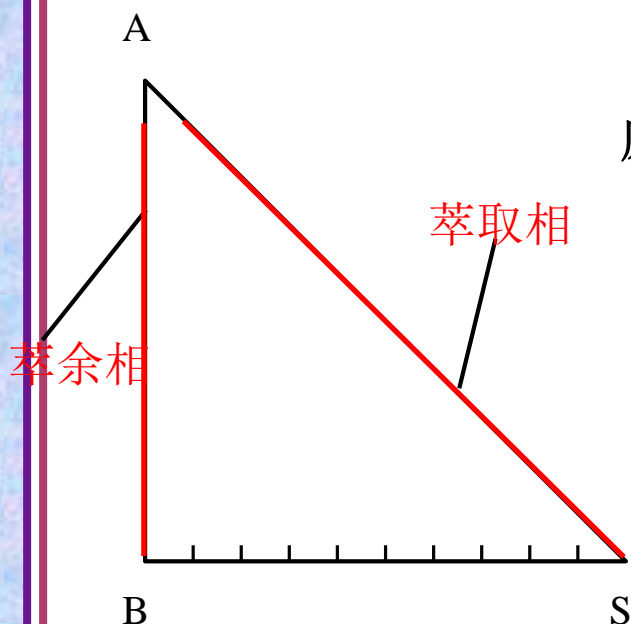
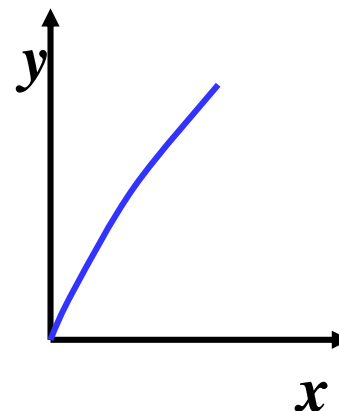
2、 B、S部分互溶 A、S部分互溶时



二、 萃取过程中的相平衡关系

3、 B、 S完全不互溶 -----相平衡关系曲线一般用分配曲线表示

思考：若B与S完全不互溶，则在三角形相图中溶解度曲线 如何画？



B、S完全不互溶时

二、 萃取过程中的相平衡关系

4、分配系数 k_i 、选择性系数 β

相平衡关系除用图形表示外，还可以用下式计算：

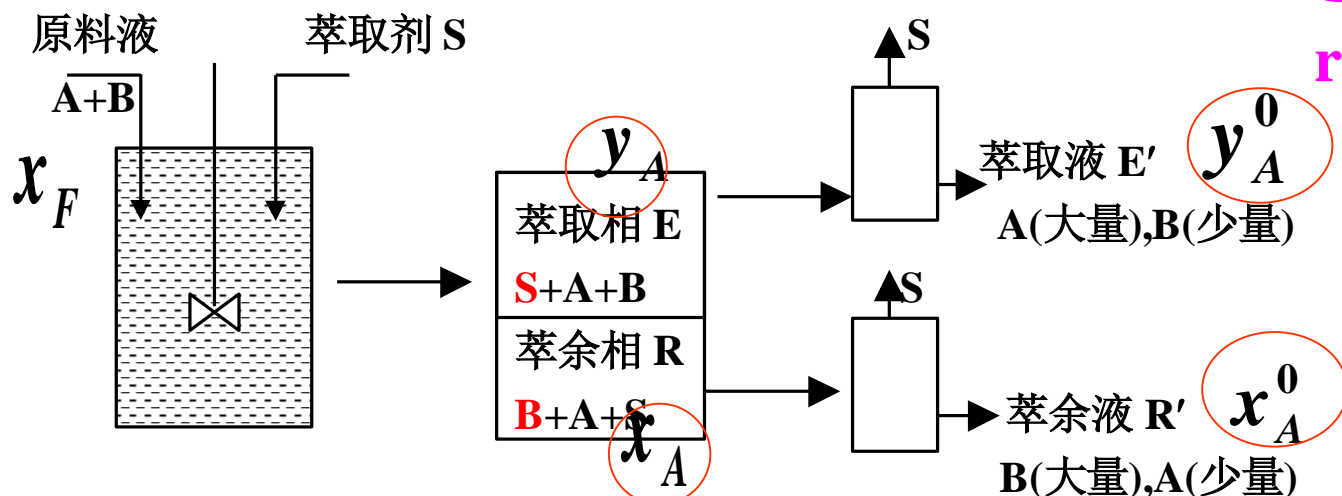
$$k_A = \frac{y_A}{x_A} \quad k_B = \frac{y_B}{x_B} \quad \text{-----分配系数}$$

distribution coefficient

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

-----选择性系数

relative selectivity



二、萃取过程中的相平衡关系

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

对照：

$$\alpha = \frac{v_A}{v_B} = \frac{p_A/x_A}{p_B/x_B} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$$

意义相同

萃取要求：

$$\beta \neq 1,$$

k_A 越大越好， k_B 越小越好。

返回目录

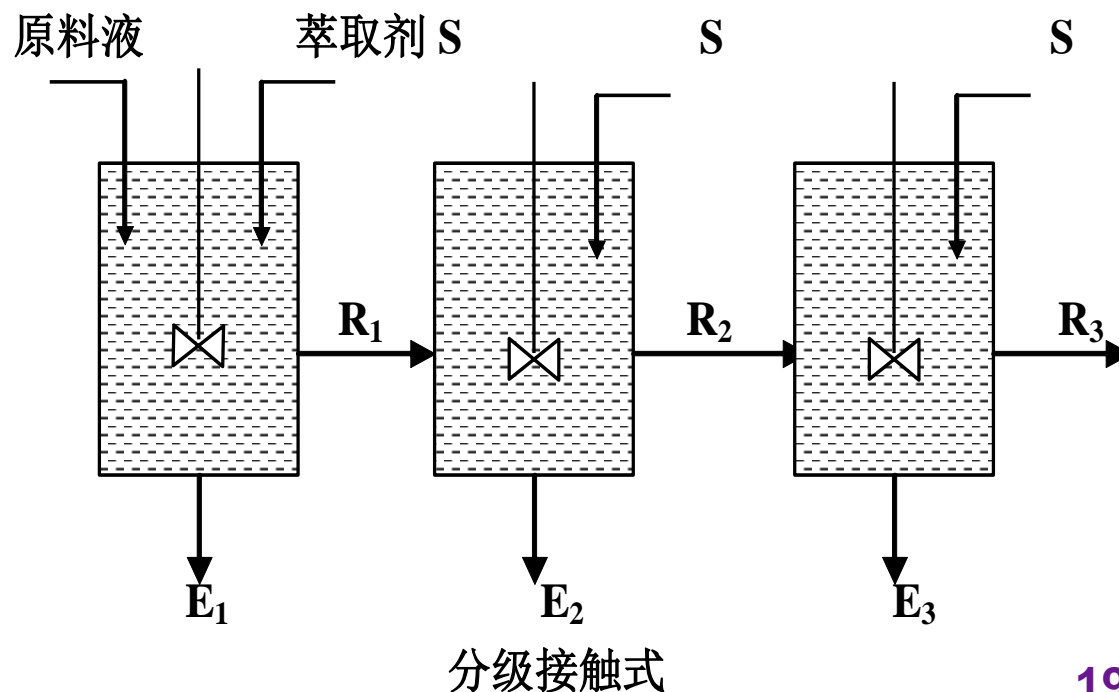
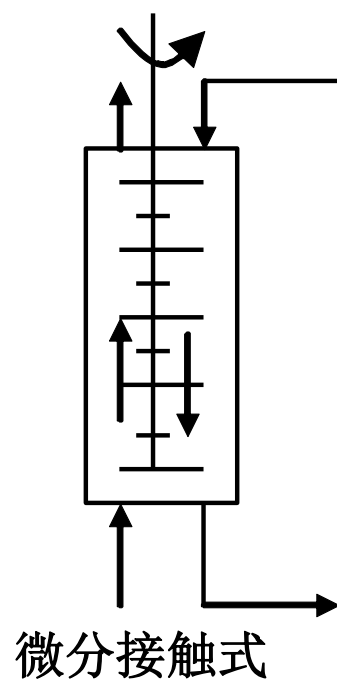
第三节 分级萃取计算

{ 物理萃取
化学萃取

{ 二元萃取
多元萃取

{ 微分连续接触式
分级接触式

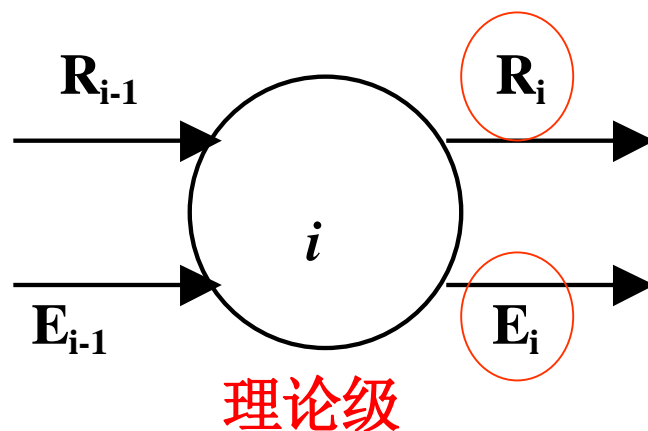
本节要讨论的



第三节 分级萃取计算

计算前提-----理论级假定

离开的两相 R_i 、 E_i 呈相平衡关系



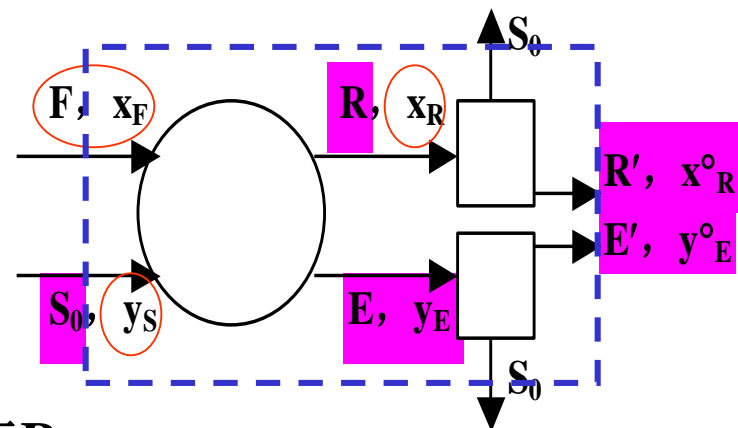
一、单级萃取的流程及计算

(一) B、S部分互溶时——图解法

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

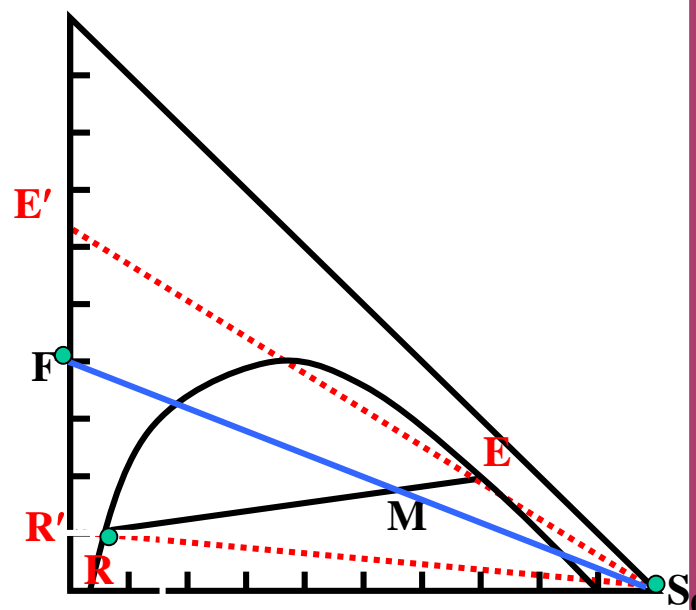
求: S_0 、 R 、 E 、另一相浓度

根据已知条件确定点 F 、 S (或 S_0)、点 R 或 R' ，通过相平衡关系作联结线找到点 E ，再作图得到和点 M 。然后，利用杠杆原理求各量。



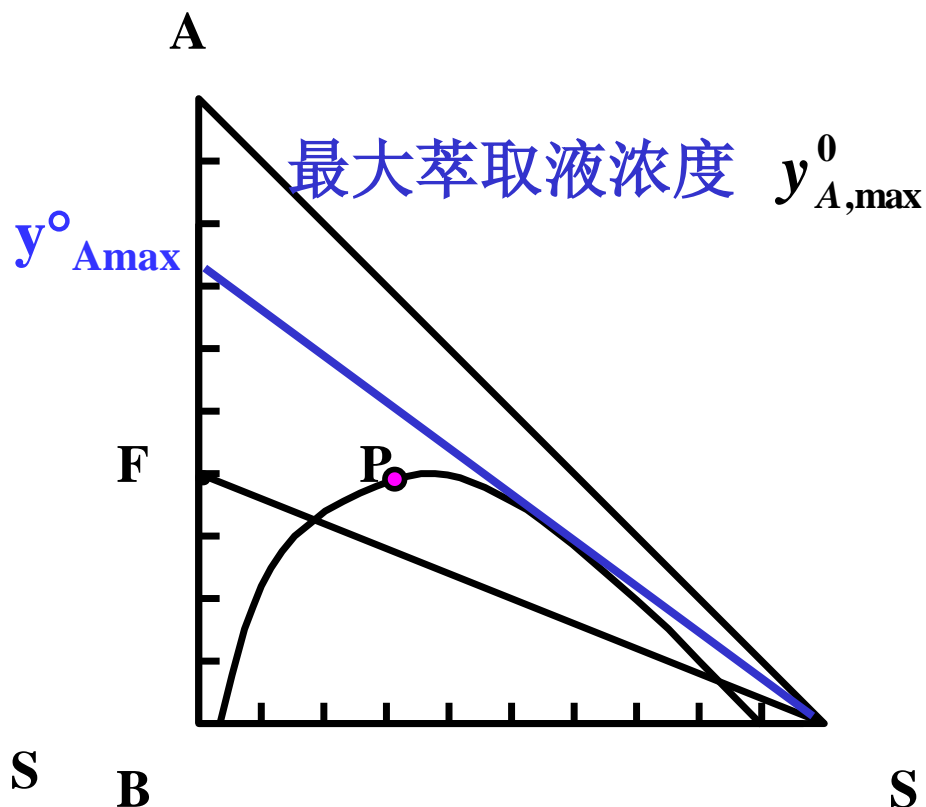
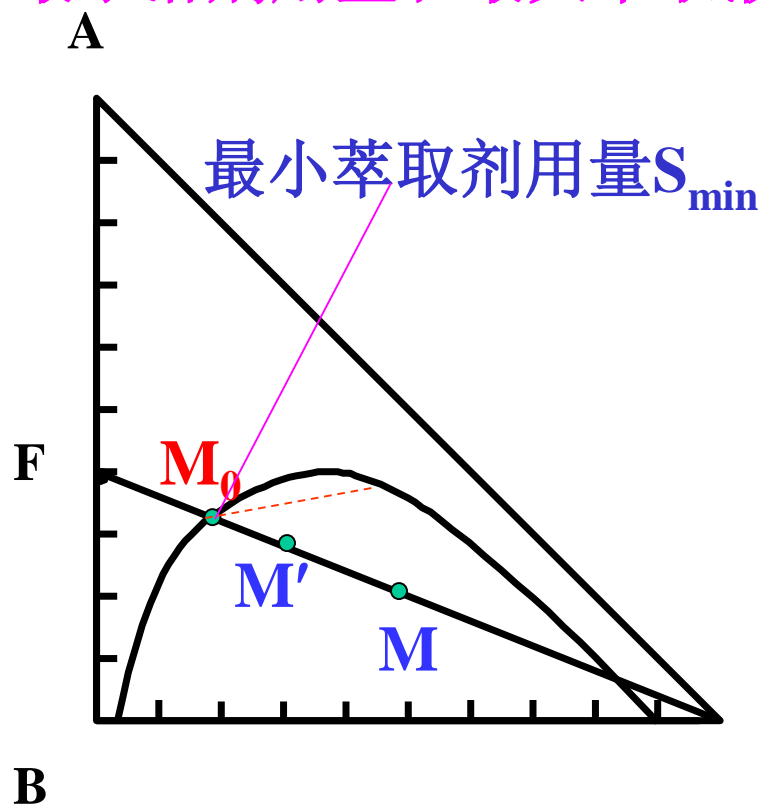
$$\frac{S_0}{F} = \frac{\overline{FM}}{\overline{MS}}$$

$$\begin{cases} \frac{R}{E} = \frac{\overline{ME}}{\overline{RM}} \\ R + E = F + S_0 \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{R'}{E'} = \frac{\overline{FE'}}{\overline{R'F}} \\ R' + E' = F \end{cases}$$



一、单级萃取的流程及计算

最小溶剂用量和最大萃取液浓度



思考：最大萃取剂用量如何确定？

一、单级萃取的流程及计算

(二) B、S完全不互溶时 ——解析法

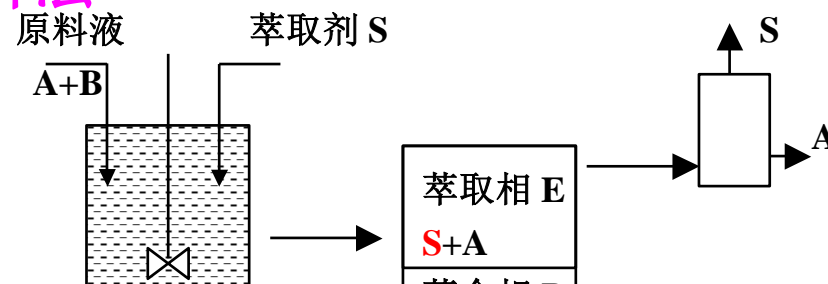
物料衡算:

$$BX_F + SY_S = BX_R + SY_E$$

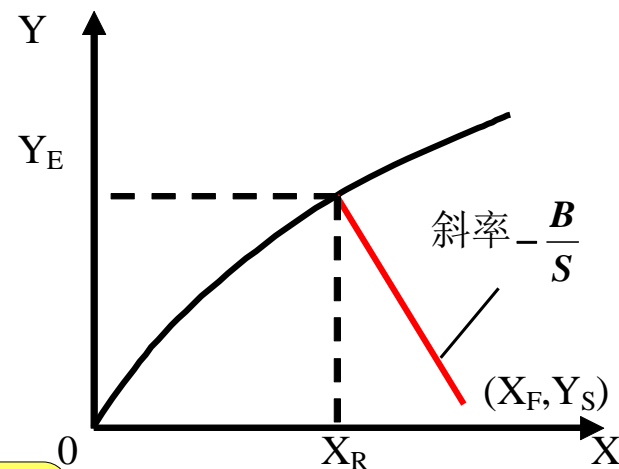
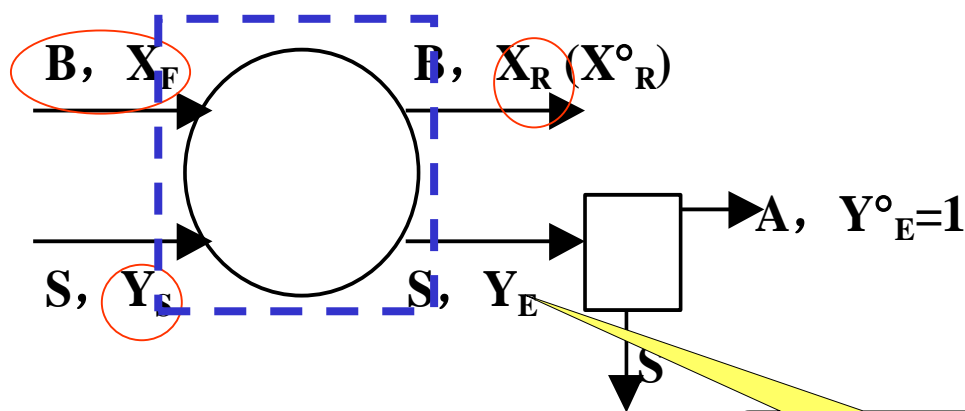
$$\rightarrow Y_E = -\frac{B}{S}(X_R - X_F) + Y_S$$

相平衡关系: $Y_E = f(X_R)$

解两个未知数



操作线 过点 (X_F, Y_S) , (X_R, Y_E)



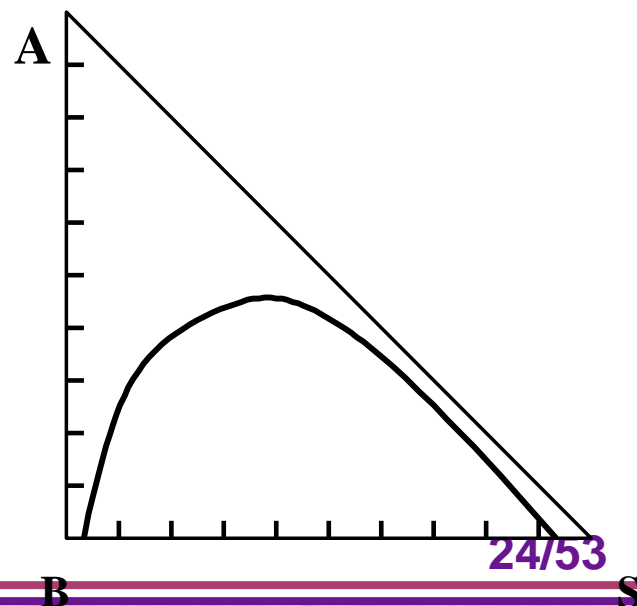
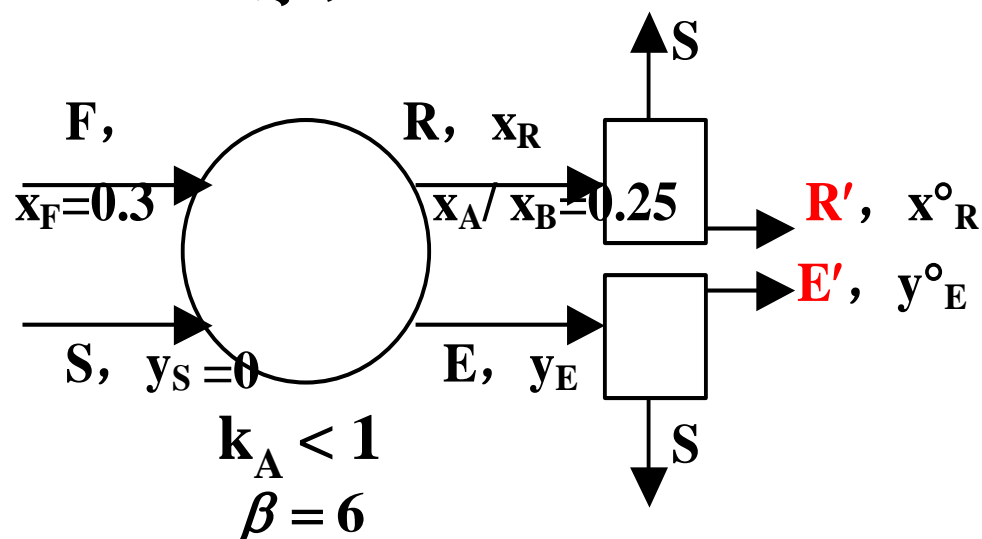
浓度用质量比更方便

习题课

【例1】单级萃取

采用纯溶剂进行单级萃取。已知料液组成 $x_F=0.3$ （质量分数，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）



习题课

【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。

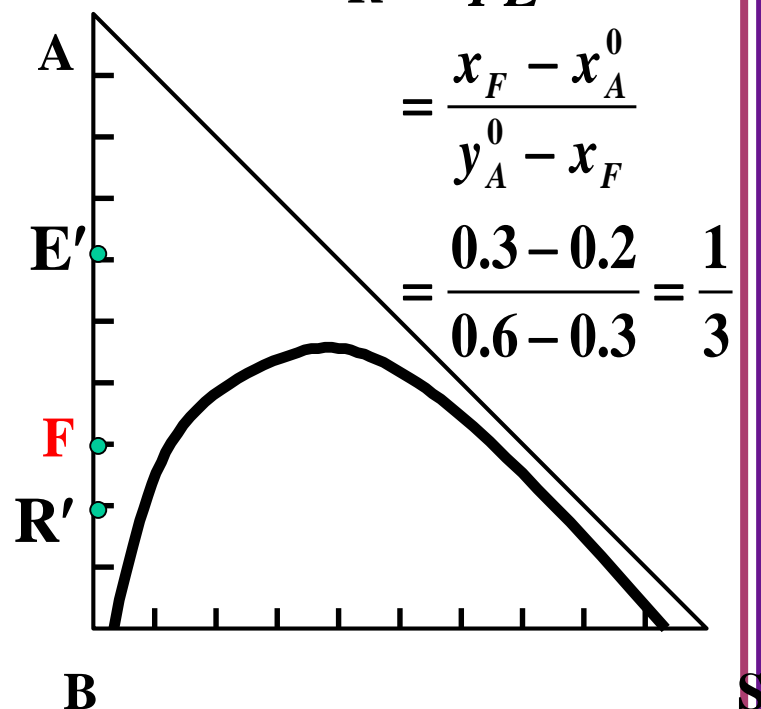
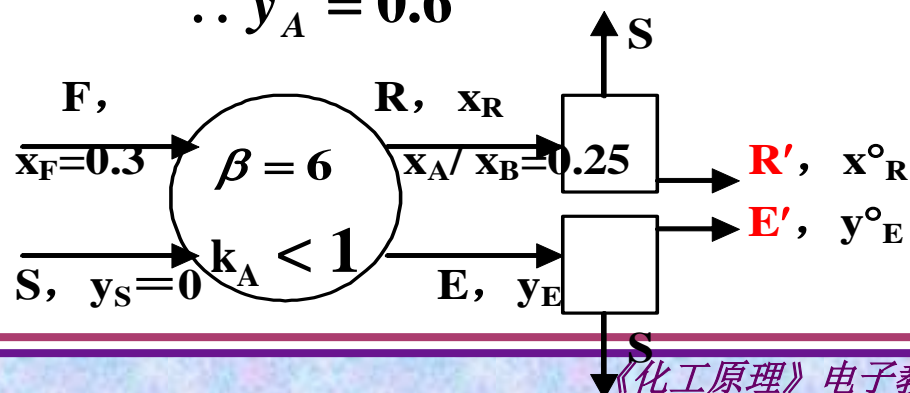
$$\frac{x_A}{x_B} = \frac{x_A^0}{1 - x_A^0} = 0.25 \quad \therefore x_A^0 = 0.2$$

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

$$= \frac{y_A^0}{1 - y_A^0} \times \frac{1}{0.25} = 6$$

$$\therefore y_A^0 = 0.6$$

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

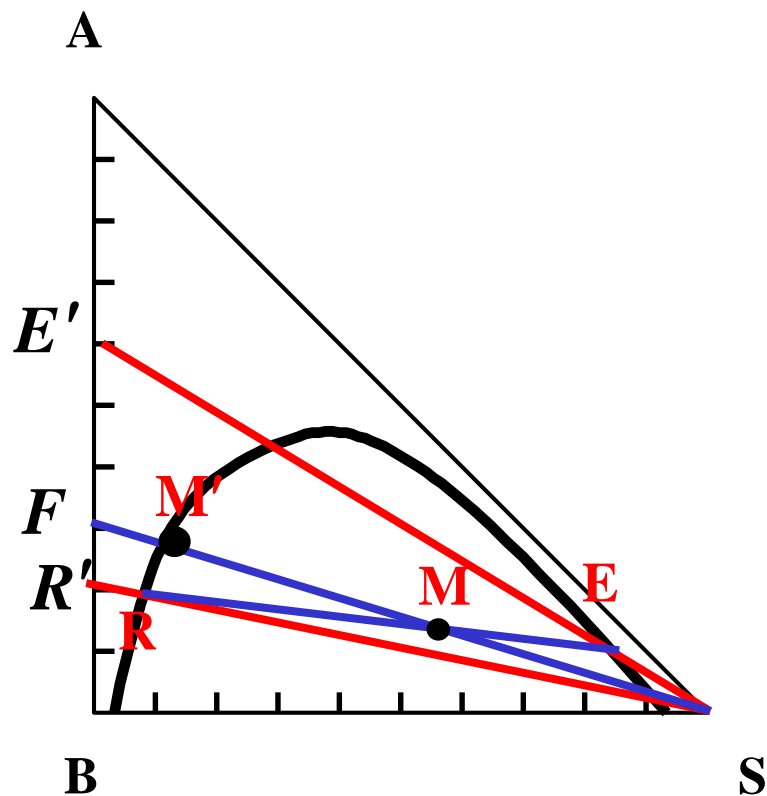
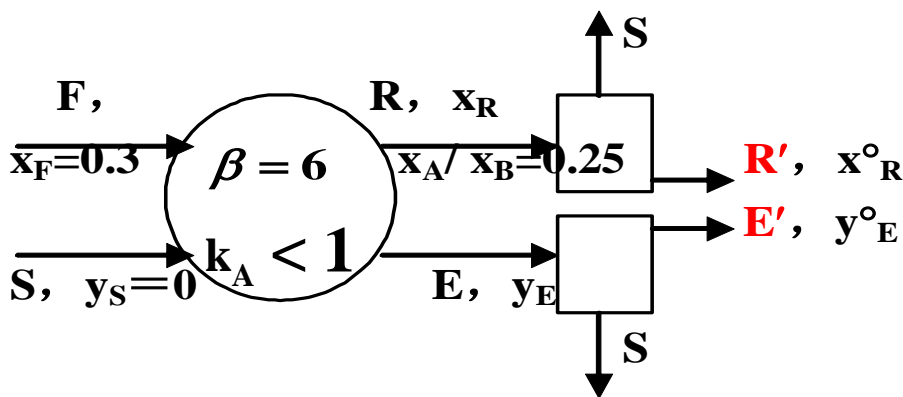


习题课

(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:

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

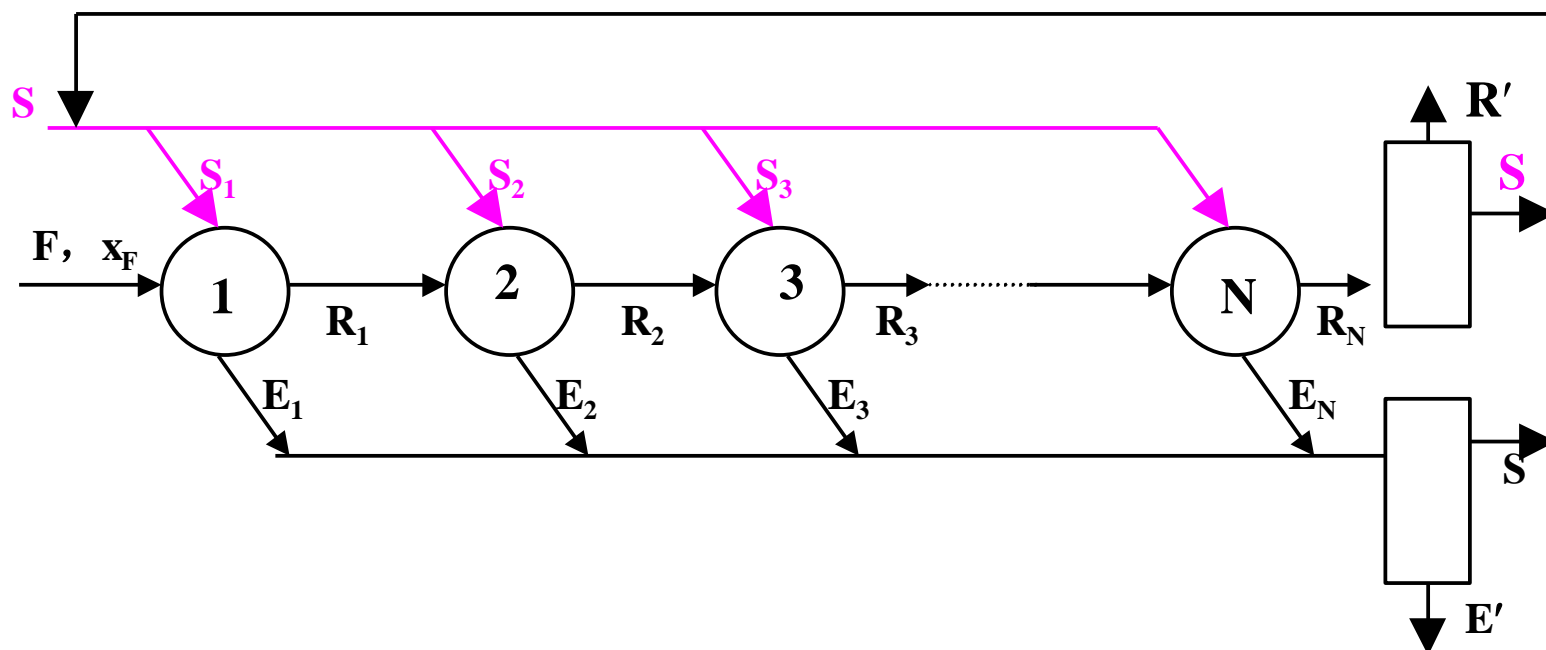


作业:

二、多级错流萃取

1、流程及特点

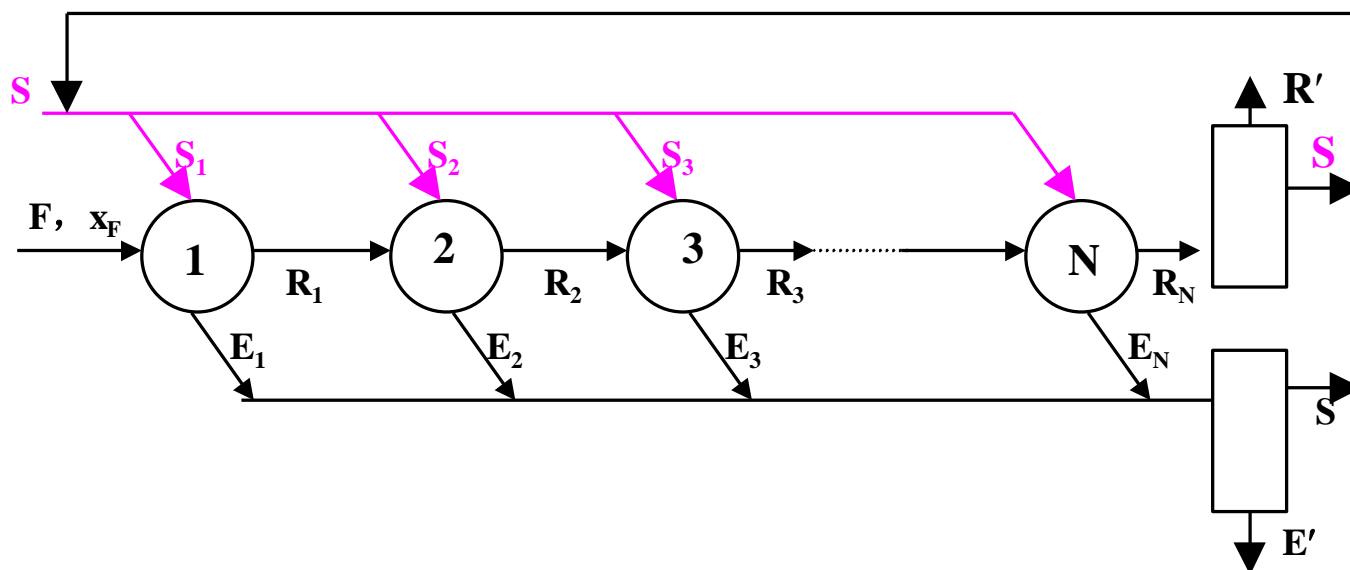
特点：①每一级均用新鲜萃取剂，故传质推动力较大；
②萃取剂用量大，操作费用高。



二、多级错流萃取

2、计算 -----求级数N

{ 图解法
~~解析法~~



二、多级错流萃取_A

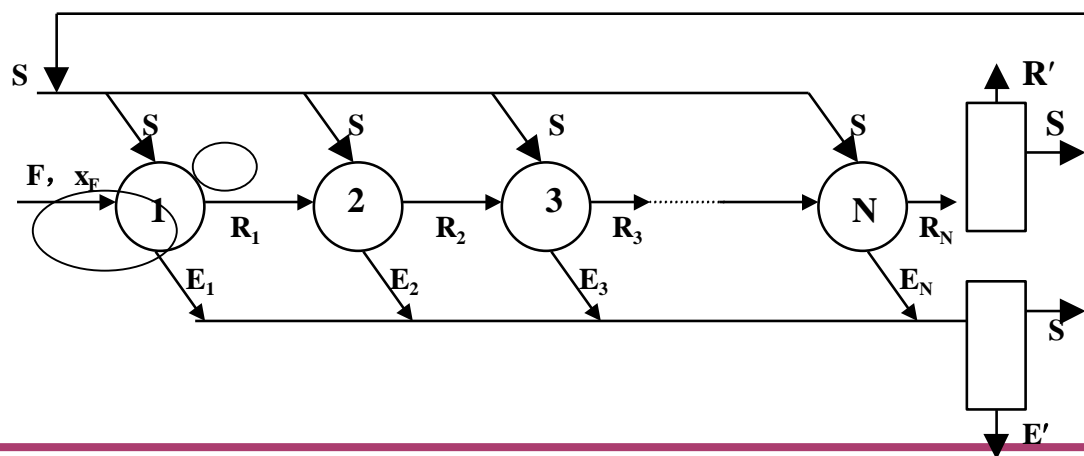
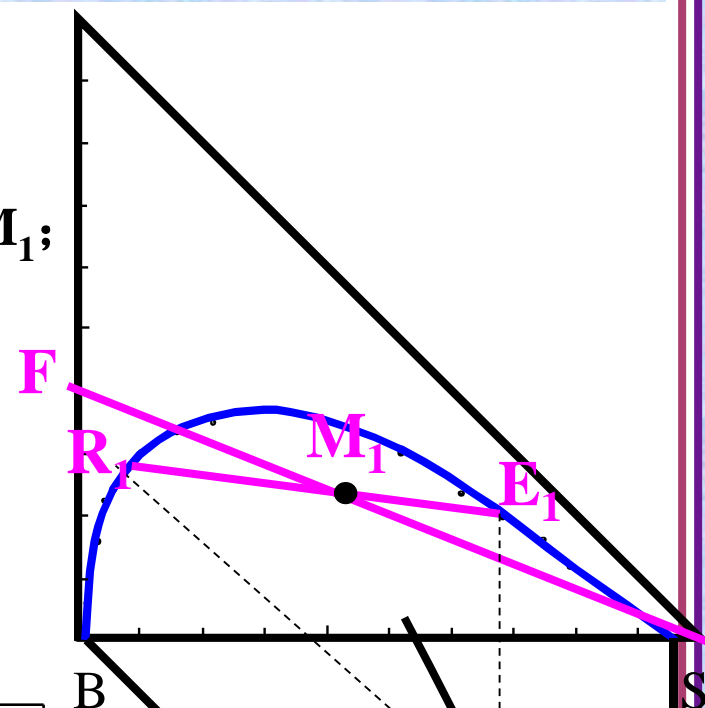
(1) 当B、S部分互溶时 ——图解法

作图步骤:

①连点F、S，由F、S大小和杠杆原理定和点M₁；

②过M₁作共轭线，定点R₁、E₁及其大小；

$$\begin{cases} F + S = R_1 + E_1 \\ \frac{R_1}{E_1} = \frac{\overline{M_1 E_1}}{\overline{R_1 M_1}} \end{cases}$$

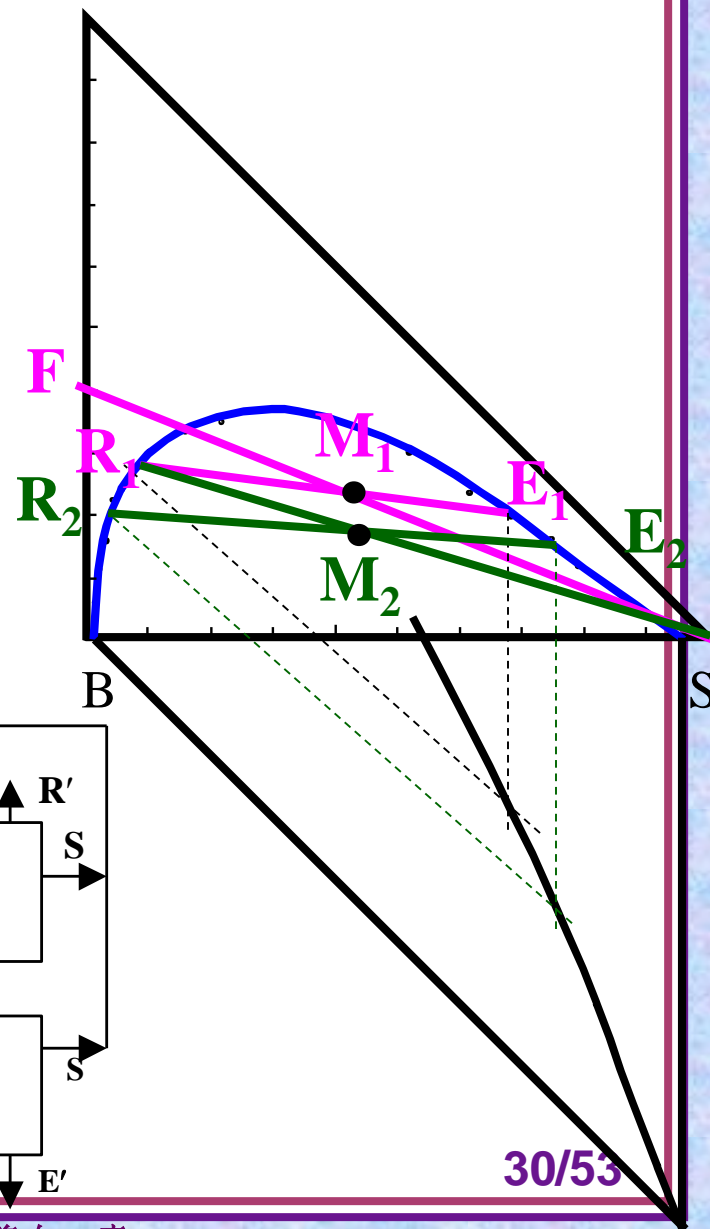
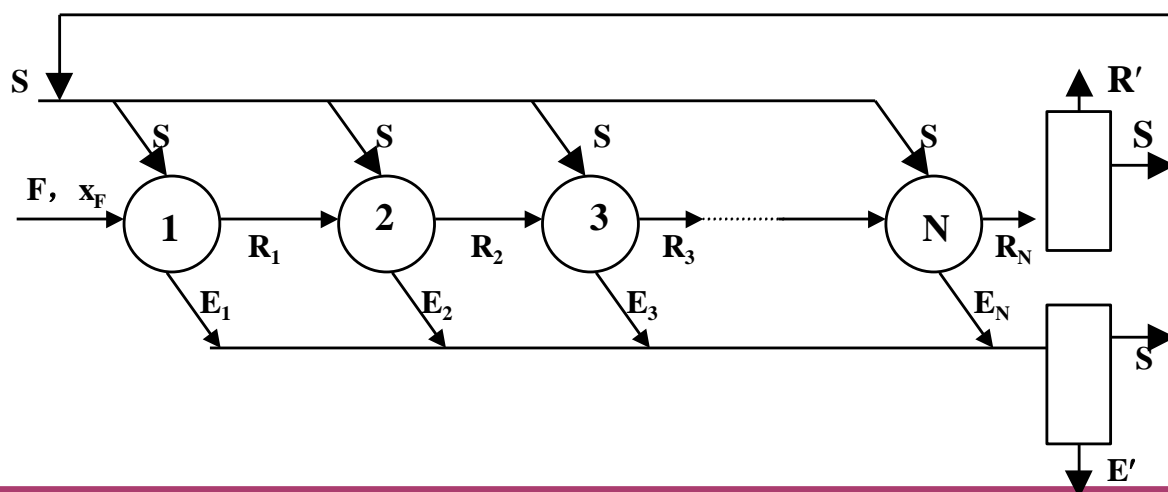


③连点 R_1 、 S ，由 R_1 、 S 大小和杠杆原理定和点 M_2 ；

④过 M_2 作共轭线，定点 R_2 、 E_2 及其大小；

$$\begin{cases} R_1 + S = R_2 + E_2 \\ \frac{R_2}{E_2} = \frac{M_2 E_2}{R_2 M_2} \end{cases}$$

⑤如此反复，直至 $x_N \leq x_R$ （指定）为止，共轭线的个数即为理论级数。



二、多级错流萃取

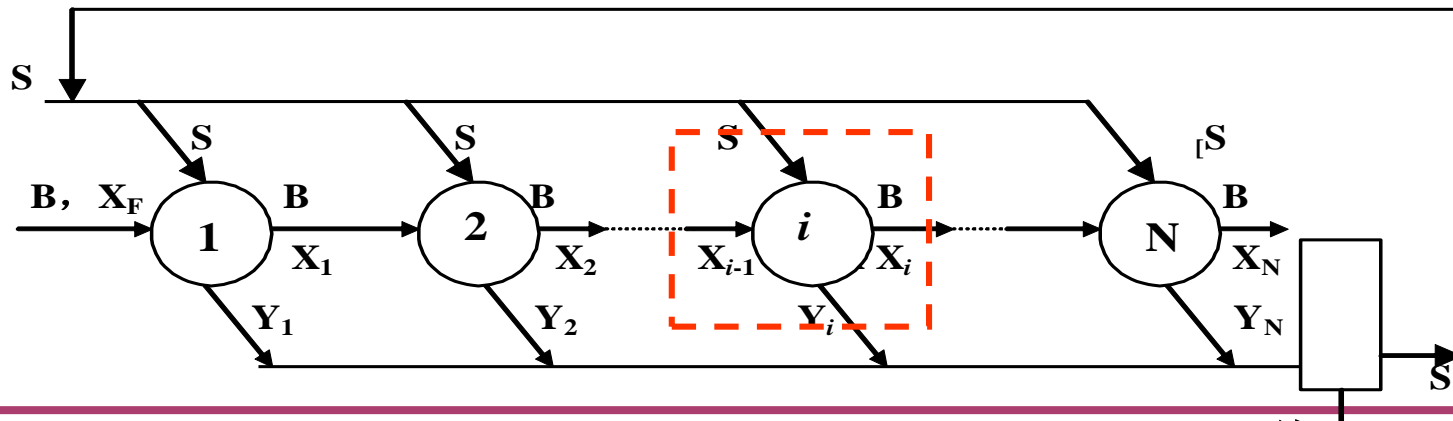
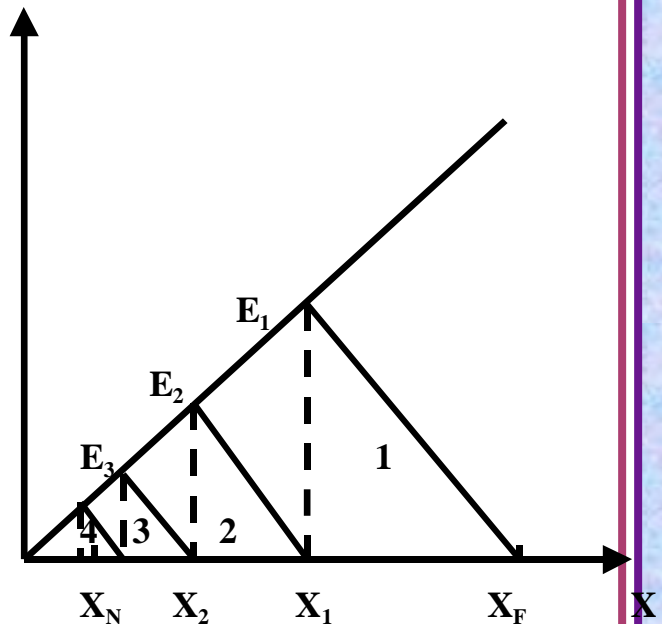
(2) 当B、S完全不互溶时 ——图解法

$$Y_i = -\frac{B}{S}(X_i - X_{i-1}) \text{ ----- 操作线方程:}$$

过点 $(X_{i-1}, 0)$,
 (X_i, Y_i)

例如第一级: $Y_1 = -\frac{B}{S}(X_1 - X_F)$

过点 $(X_F, 0)$, (X_1, Y_1)

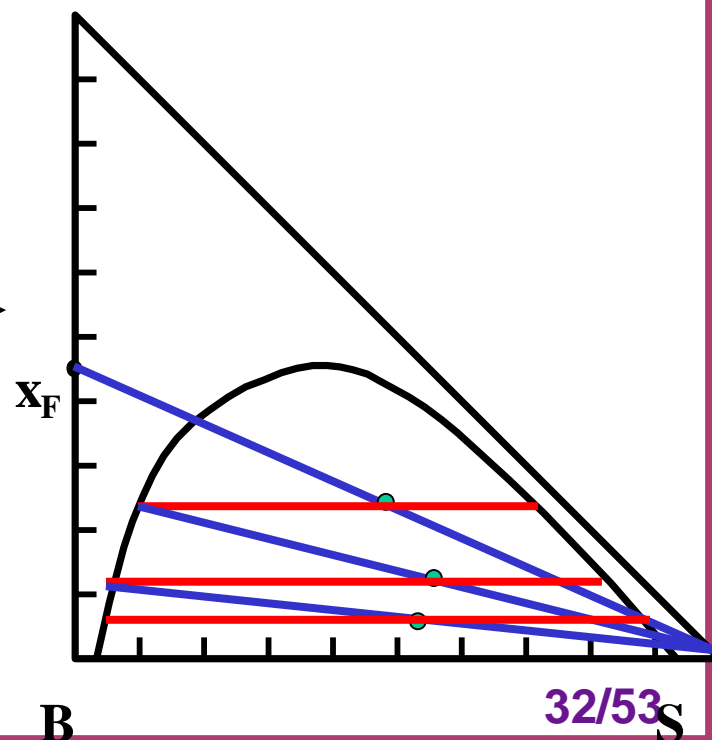
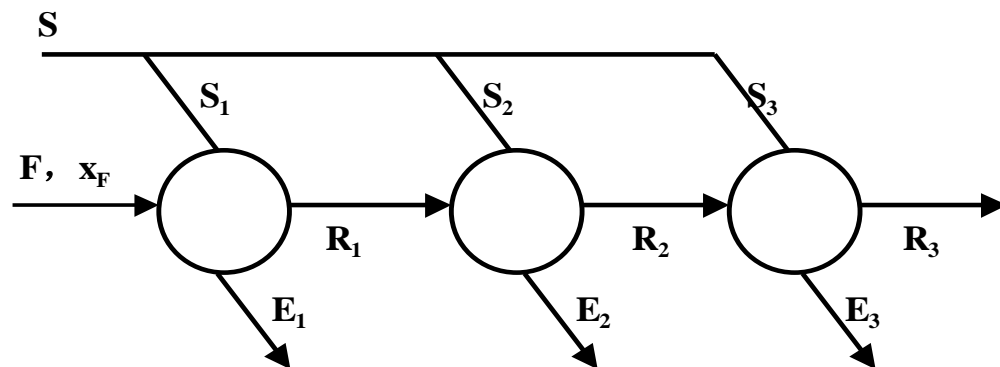


习题课

【例2】多级错流萃取

三级错流萃取如图所示。已知 x_F ，各级分配系数 k_A 为1，各级的溶剂比： $S_1/F = S_2/R_1 = S_3/R_2 = 1$

使用纯溶剂，溶解度曲线如图所示。试在相图中表示三级错流过程。

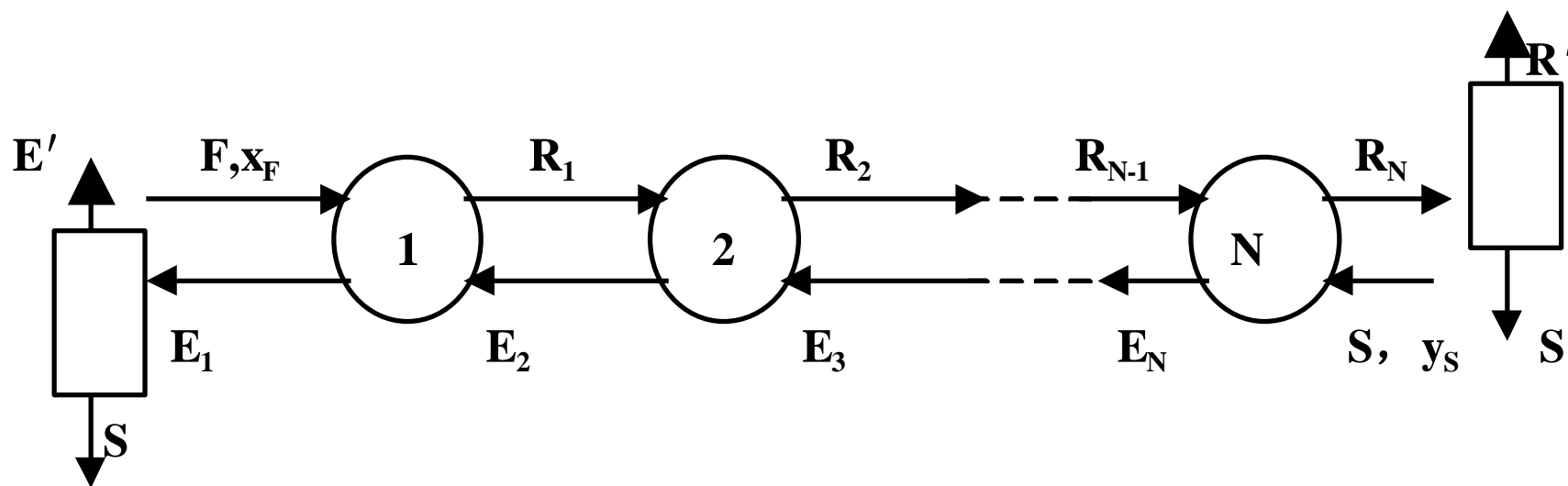


作业：

三、多级逆流萃取

1. 流程及特点

特点：传质推动力较为均匀



三、多级逆流萃取

2、计算级数

(1) 当B、S部分互溶时

图解法
解析法

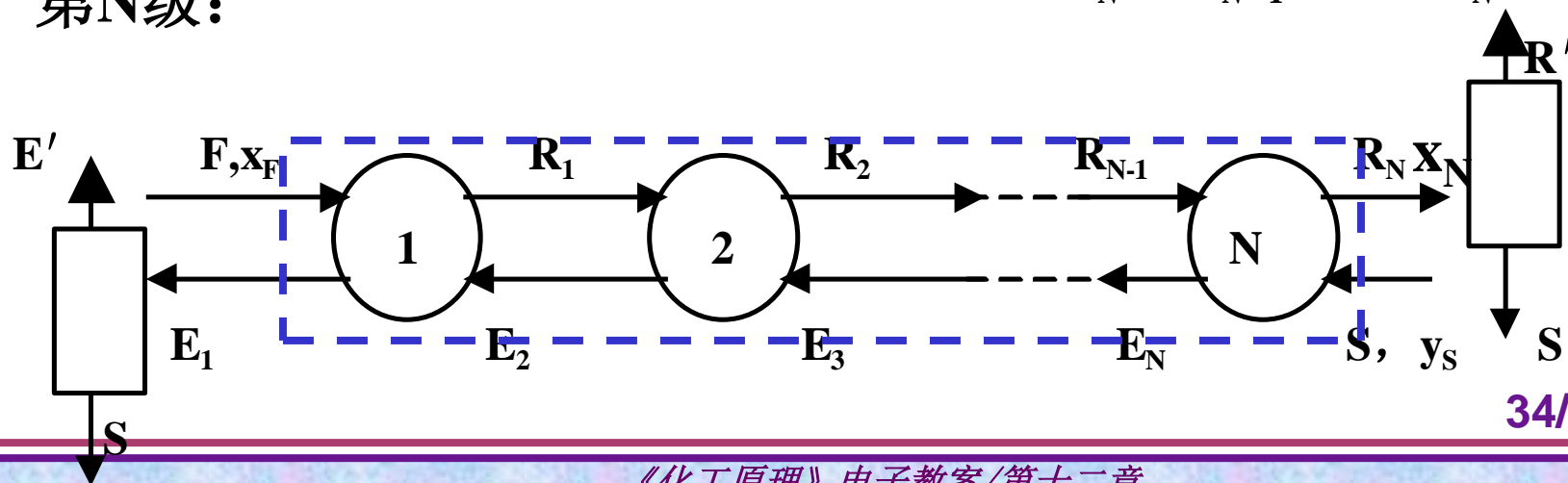
总物料衡算: $F + S = R_N + E_1 \longrightarrow S - R_N = E_1 - F$ ———— 净流量

第1级: $F + E_2 = R_1 + E_1 \longrightarrow E_1 - F = E_2 - R_1$

第2级: $E_2 - R_1 = E_3 - R_2$

.....

第N级: $E_N - R_{N-1} = S - R_N$



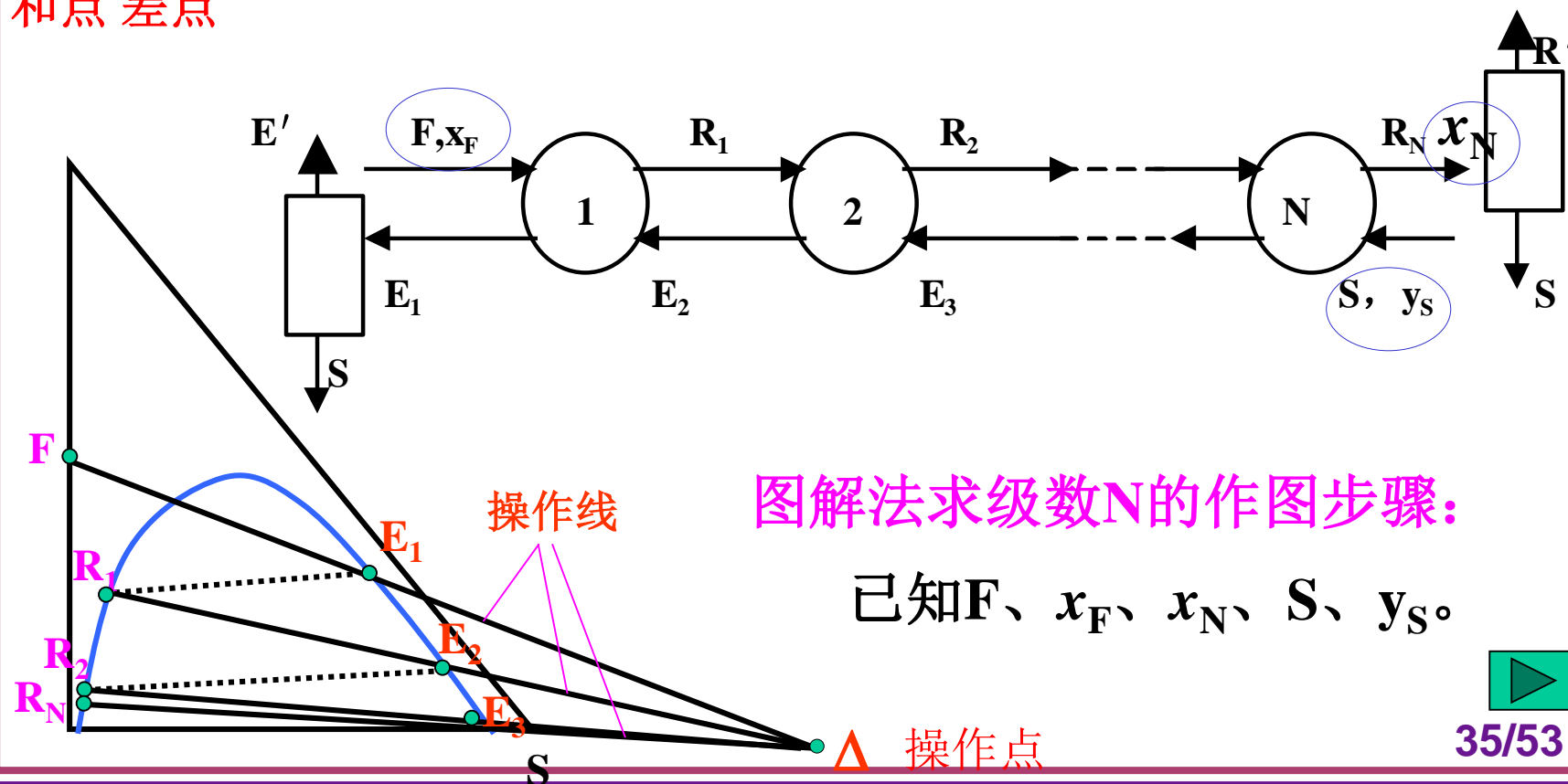
2、计算级数

(1) 当B、S部分互溶时

$$E_1 - F = E_2 - R_1 = E_3 - R_2 = \dots = E_N - R_{N-1} = S - R_N = \Delta$$

和点 差点

---操作线方程



2、计算级数

图解法求级数N的作图步骤：

①确定点F、S、 R_N ；

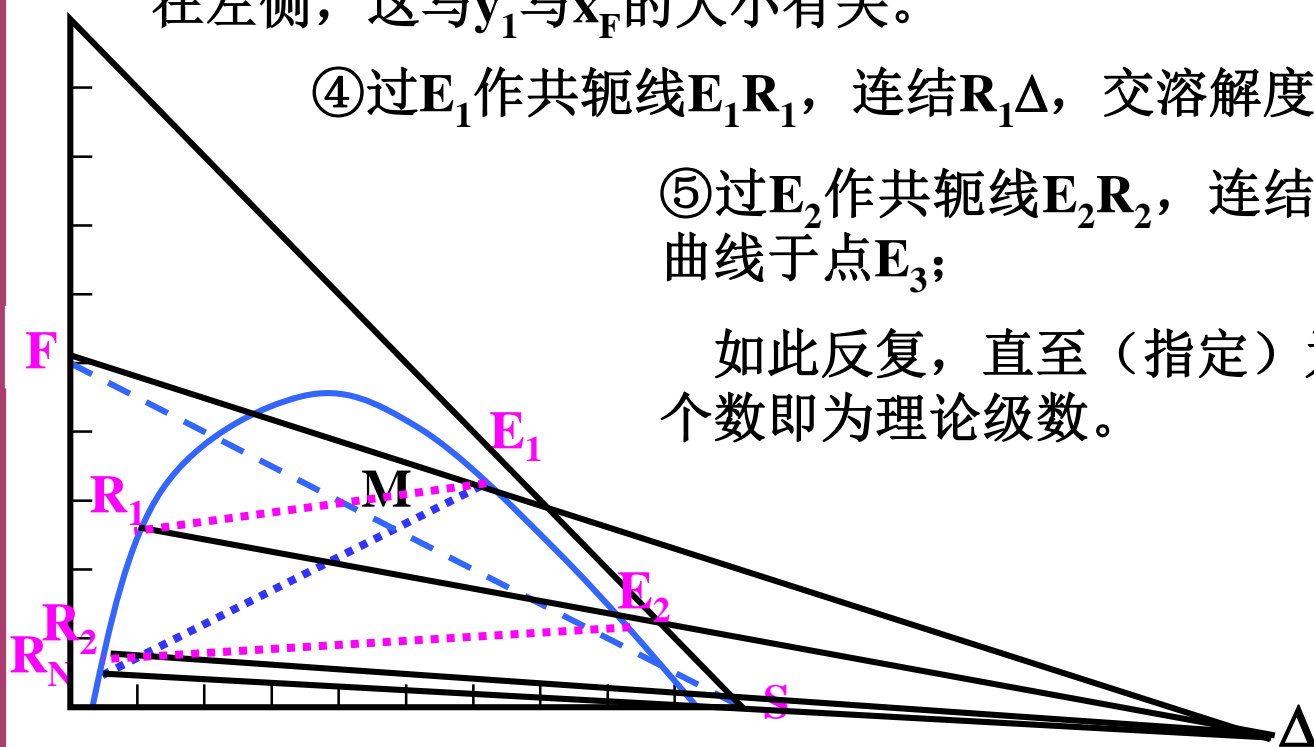
②由F、S量的大小确定点M，连结 R_N 、M，并延长得点 E_1 ；

③连点F、 E_1 ， R_N 、S，并延长得点 Δ ；注意， Δ 可能在图的右侧，也可能在左侧，这与 y_1 与 x_F 的大小有关。

④过 E_1 作共轭线 E_1R_1 ，连结 $R_1\Delta$ ，交溶解度曲线于点 E_2 ；

⑤过 E_2 作共轭线 E_2R_2 ，连结 $R_2\Delta$ ，交溶解度曲线于点 E_3 ；

如此反复，直至（指定）为止，共轭线的个数即为理论级数。



$$E_1 - F = E_2 - R_1 = E_3 - R_2 = \cdots = E_N - R_{N-1} = S - R_N = \Delta \quad \text{--- 操作线方程}$$

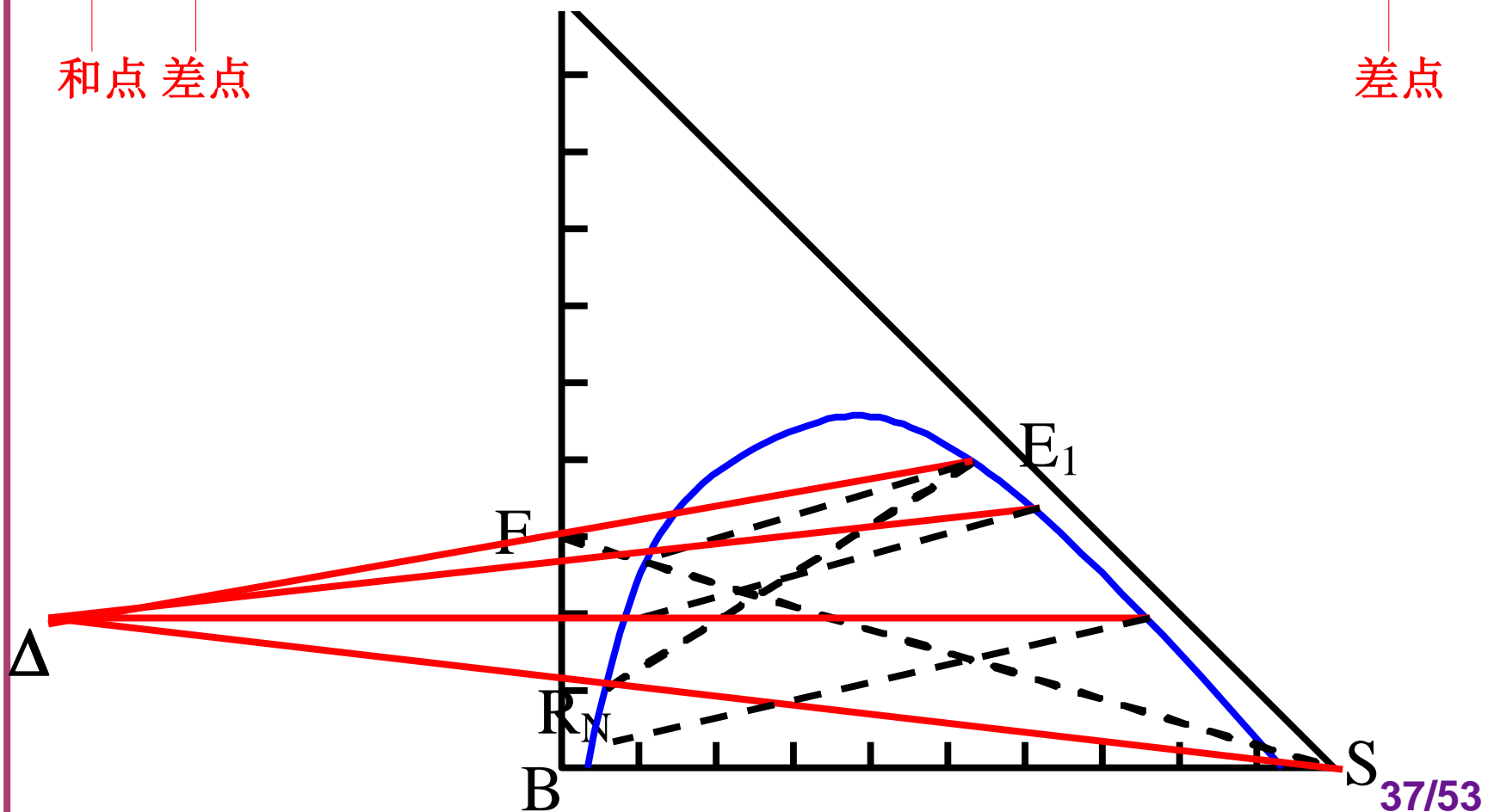
2、计算级数

若操作线形式为

$$\underset{\text{red}}{F} - \underset{\text{red}}{E_1} = R_1 - E_2 = R_2 - E_3 = \dots\dots\dots = R_{N-1} - E_N = R_N - \underset{\text{red}}{S} = \underset{\text{red}}{\Delta}$$

和点 差点

差点



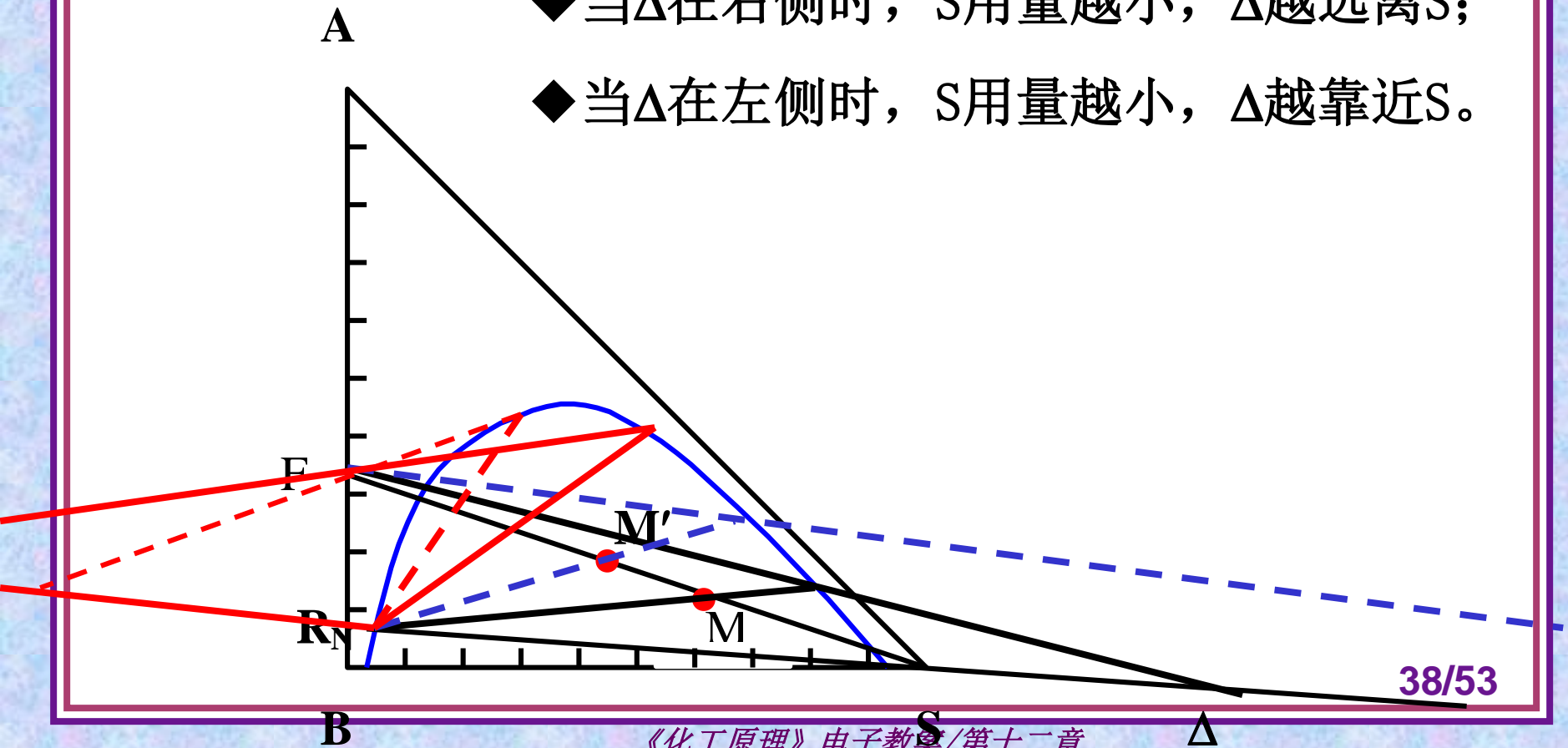
2、计算级数

溶剂比 S/F 对多级逆流萃取的影响：

❖ 对指定的分离要求 x_N ， S/F 大小直接影响到 Δ 的位置。

◆ 当 Δ 在右侧时， S 用量越小， Δ 越远离 S ；

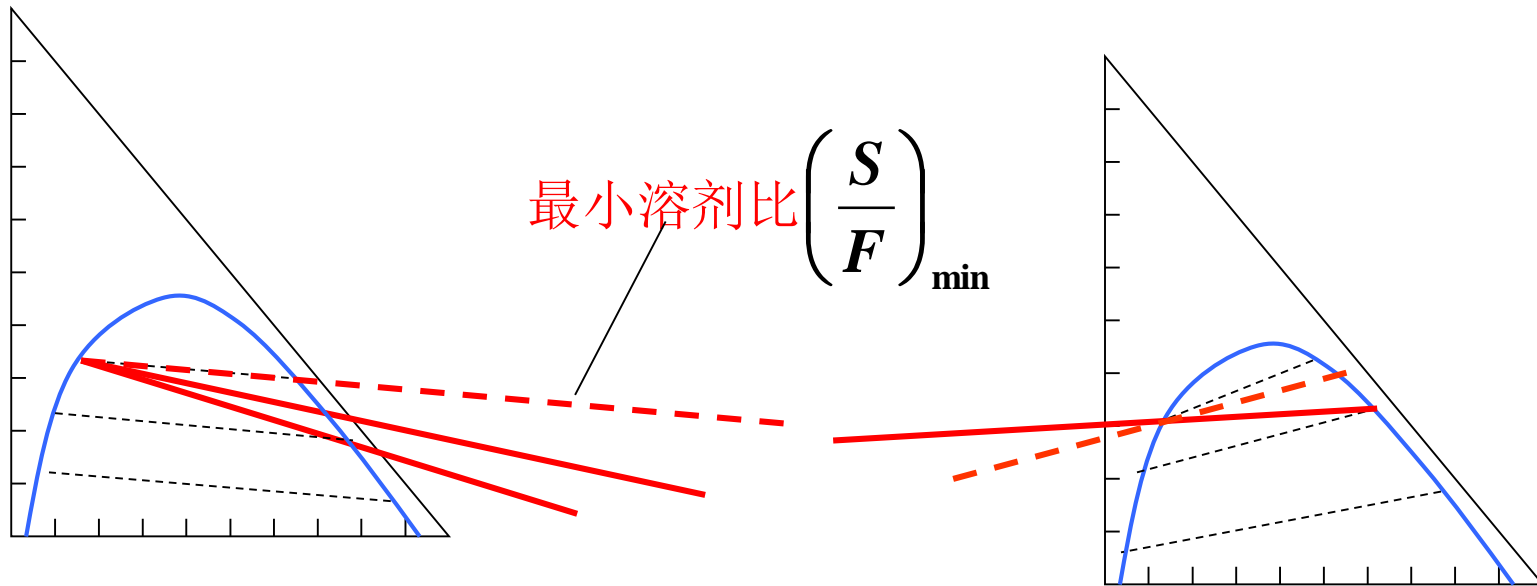
◆ 当 Δ 在左侧时， S 用量越小， Δ 越靠近 S 。



2、计算级数

溶剂比S/F对多级逆流萃取的影响：

❖ S用量越小，操作线斜率与联结线斜率越接近，每个理论级的分离程度越小。（与精馏、吸收相似）

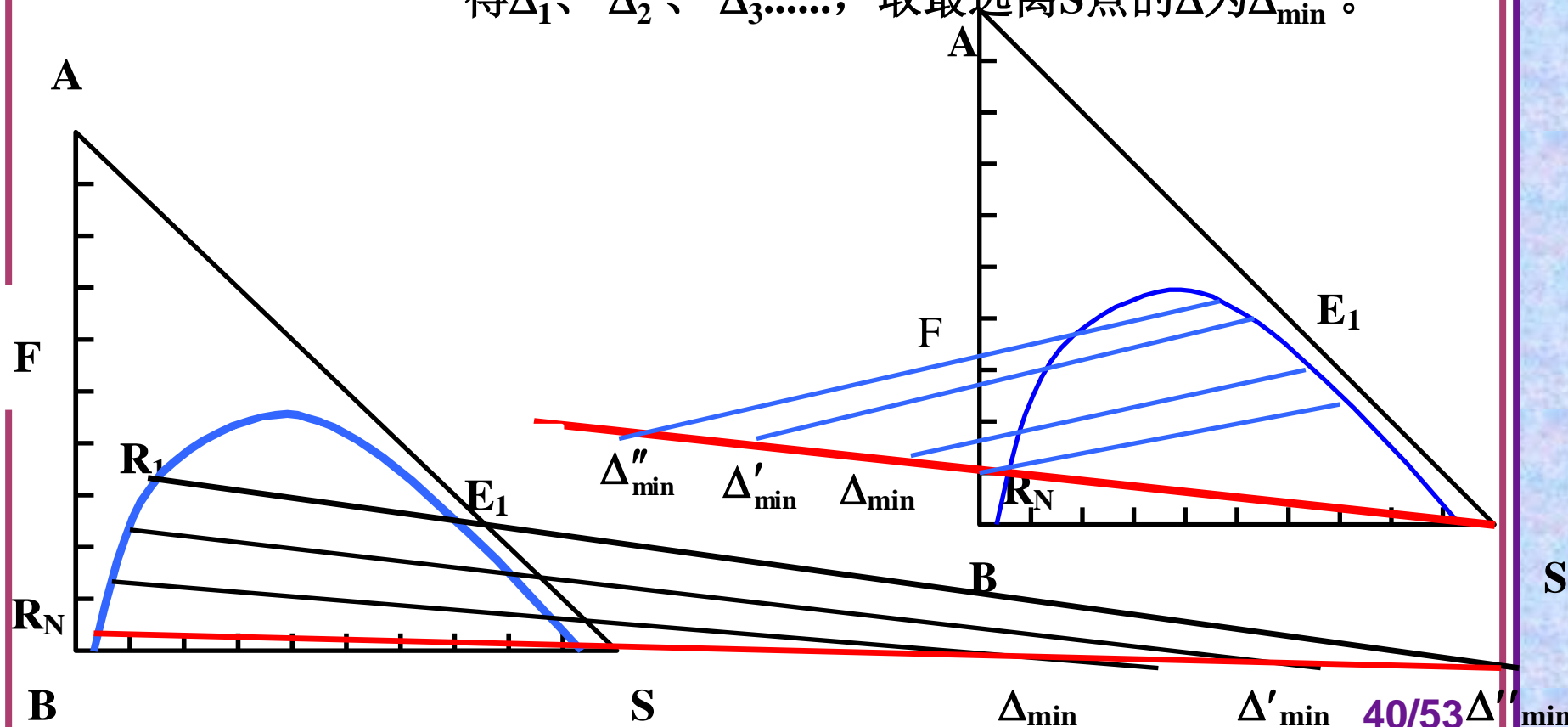


2、计算级数

作图法求 $\left(\frac{S}{F}\right)_{\min}$

当 Δ 在右侧时，延长所有的联结线与 SR_N 相交，得 Δ_1 、 Δ_2 、 Δ_3，取最靠近S点的 Δ 为 Δ_{\min} 。

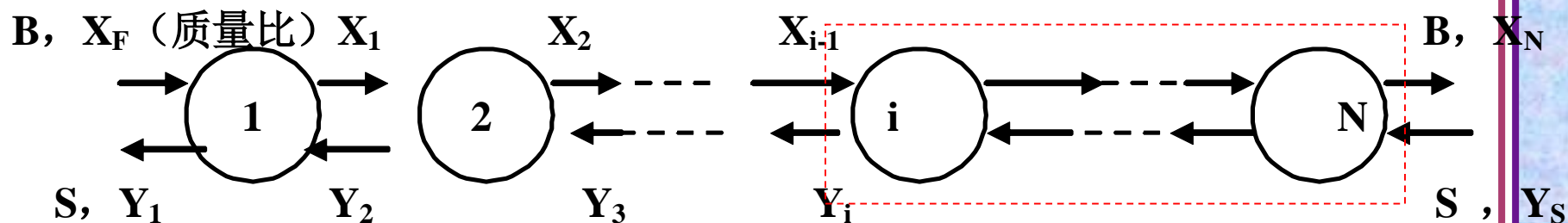
当 Δ 在左侧时，延长所有的联结线与 $R_N S$ 相交，得 Δ_1 、 Δ_2 、 Δ_3，取最远离S点的 Δ 为 Δ_{\min} 。



2、计算级数

(2) 当B、S完全不互溶时

图解法
解析法



解析法（逐级法）

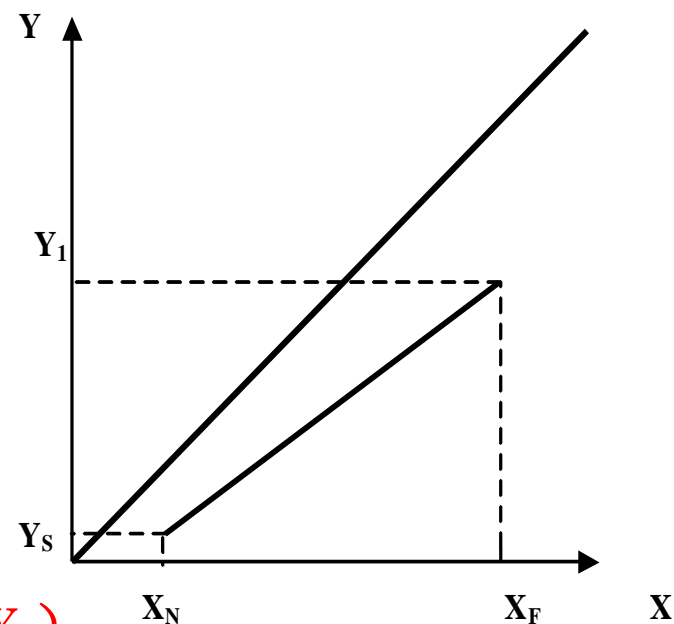
对第*i*级~*N*级作物料衡算：

$$B(X_{i-1} - X_N) = S(Y_i - Y_S)$$

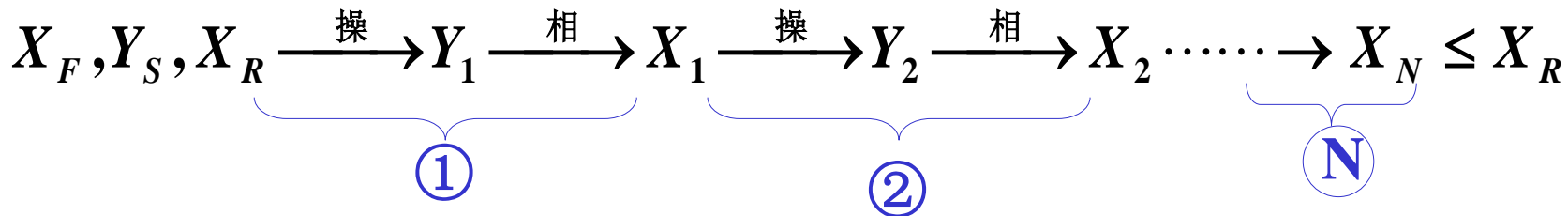
$$Y_i = \frac{B}{S}(X_{i-1} - X_N) + Y_S$$

-----操作线方程

过点 (X_N, Y_S) (X_F, Y_1)



解析法（逐级法）



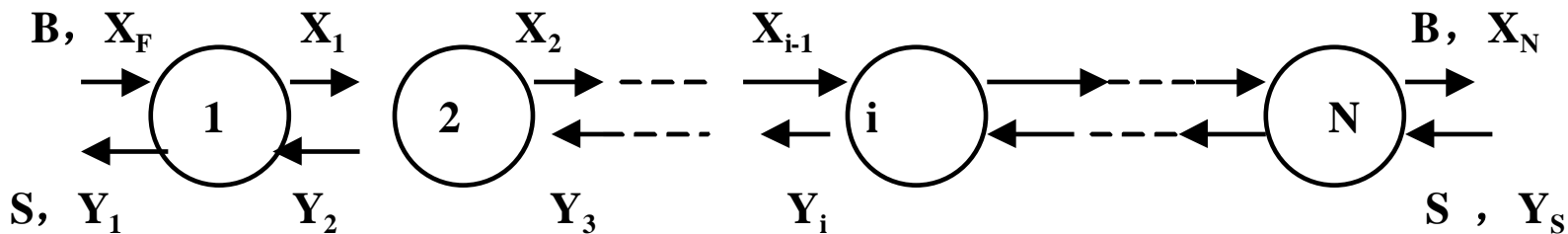
当平衡线为 $Y = k_A X$ 时，**纯溶剂萃取**，可证明：

$$\frac{X_F}{X_N} = \frac{b^{N+1} - 1}{b - 1}$$

对照:

式 (9-76), 形式相同

$$b = \frac{k_A S}{B} \text{ ----- 萃取因数}$$

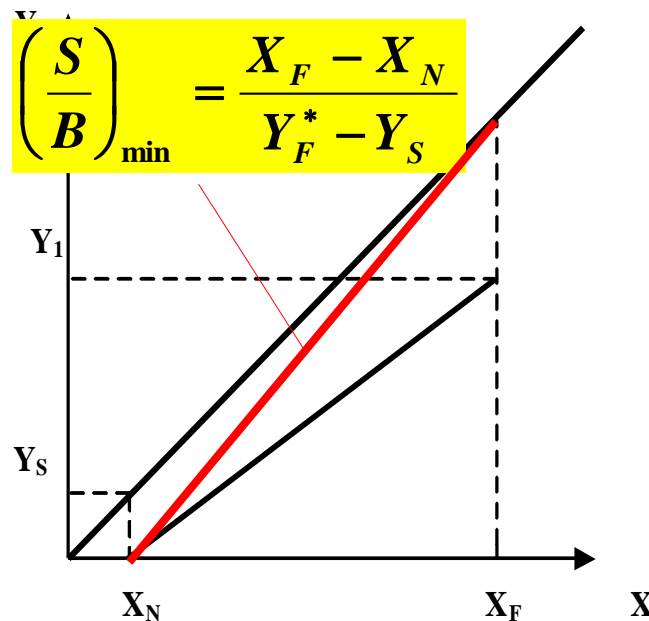


$$Y_i = \frac{B}{S}(X_{i-1} - X_N) + Y_S$$

-----操作线方程

(2) 当B、S完全不互溶时

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



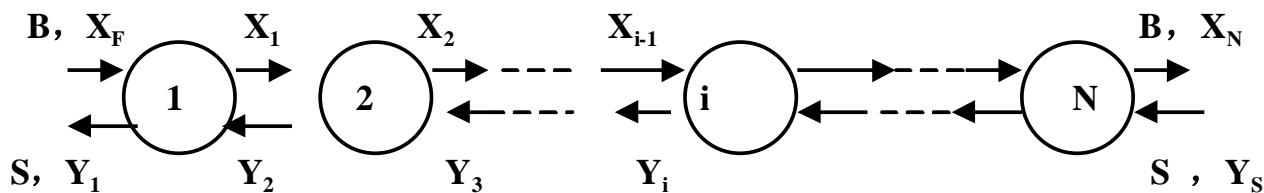
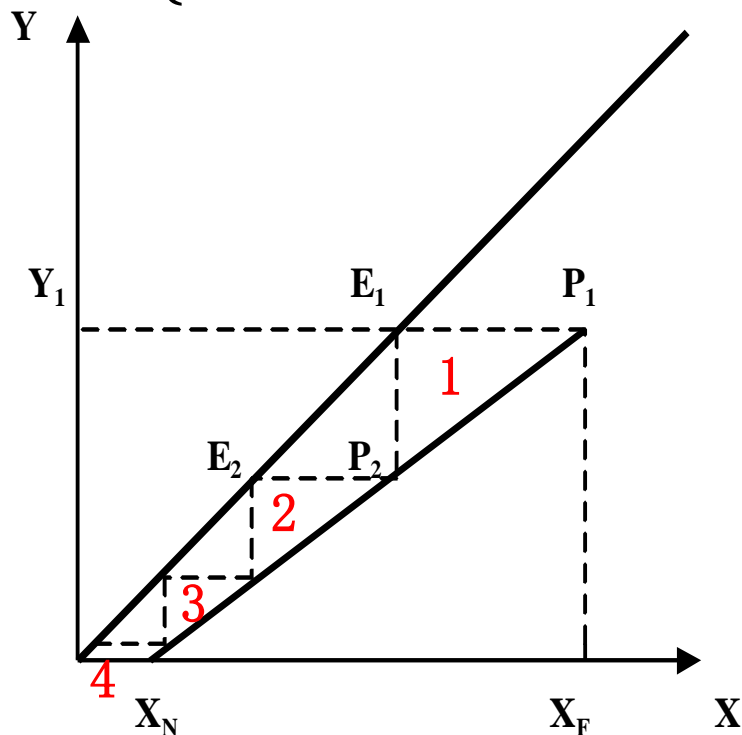
$$Y_i = \frac{B}{S}(X_{i-1} - X_N) + Y_S$$

2、计算级数

(2) 当B、S完全不互溶时

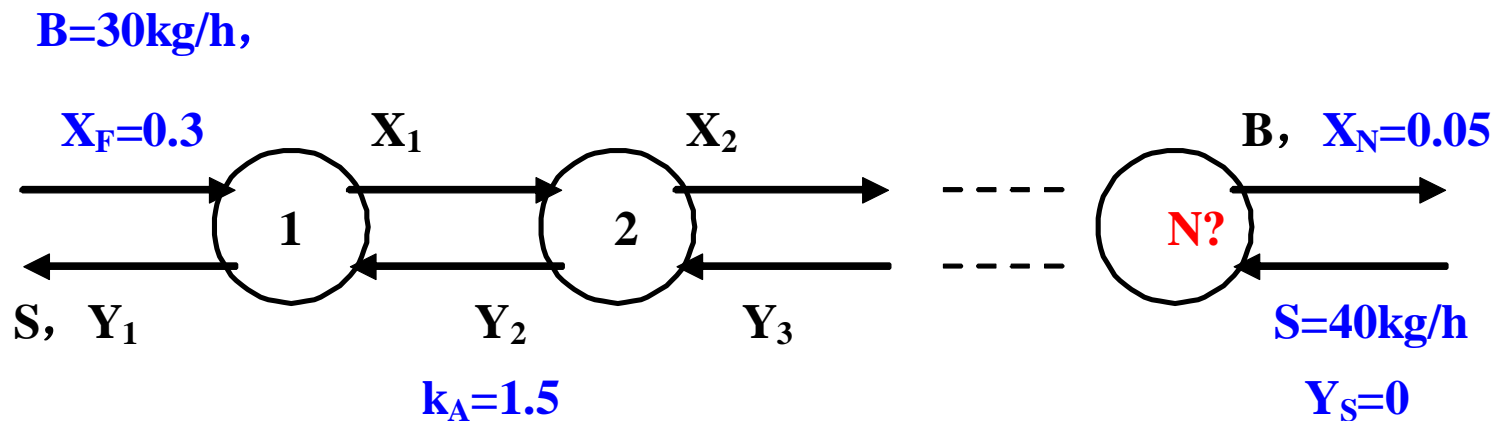
图解法
解析法

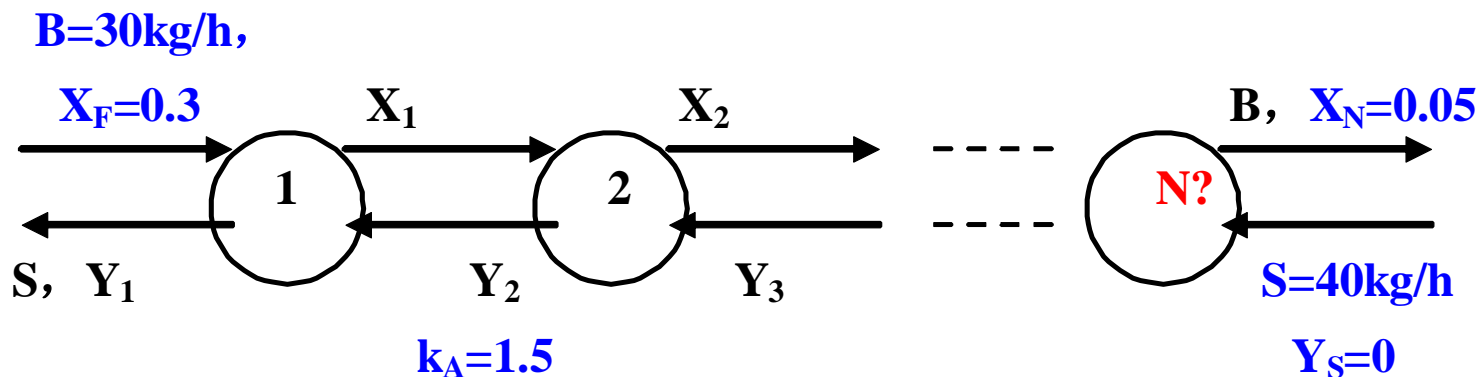
作图法求级数N:



习题课

【例3】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。已知稀释剂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。





【解一】逐级计算

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

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

$$\longrightarrow X_2 = 0.0375 < X_N = 0.05 \quad \therefore \text{共需 2 个理论级}$$

【解二】

$$Y = 1.5X$$

$$b = \frac{k_A S}{B} = \frac{1.5 \times 40}{30} = 2 \longrightarrow \frac{X_F}{X_N} = \frac{b^{N+1} - 1}{b - 1} \longrightarrow \frac{0.3}{0.05} = \frac{2^{N+1} - 1}{2 - 1} \longrightarrow N = 1.8$$

\therefore 共需 2 个理论级

作业：

[返回目录](#)

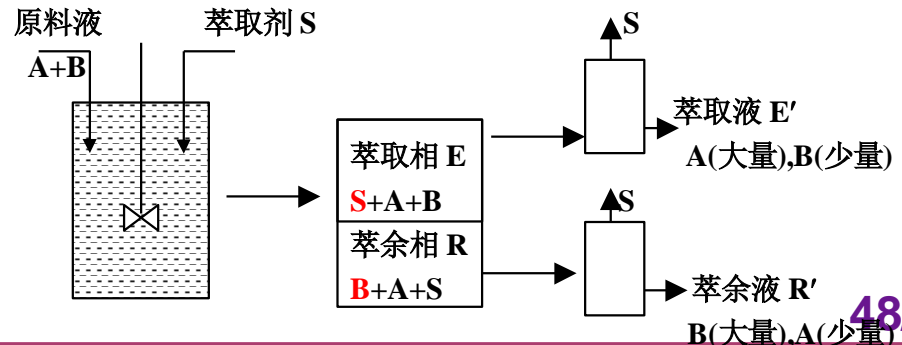
47/53

第四节 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。

液液传质设备：{ 无外加能量的萃取设备
 { 有外加能量的萃取设备



第四节 萃取设备

无外加能量的萃取设备：

填料塔

特点：填料起了分散液体的作用，并减轻连续相的返混。

适用场合：不适用于有固体悬浮物的溶液

筛板塔

特点：同上

适用场合：同上

第四节 萃取设备

有外加能量的萃取设备：

混合澄清器、转盘塔、脉冲塔、离心萃取机等



思考：在萃取设备中，分散相的形成可借助哪些作用来达到？

重力、离心力、搅动或脉冲的作用

[返回目录](#)

50/53

小结

1、三角形相图的结构、用途：

顶点、边、相点的意义、杠杆原理、和点、差点

2、单级萃取：

流程、计算 $\begin{cases} B \text{与} S \text{部分互溶时：图解法} \\ B \text{与} S \text{完全不互溶时：解析法} \end{cases}$

3、多级萃取：

流程、特点、求级数 N $\begin{cases} \text{多级错流：图解法} \\ \text{多级逆流：图解法，解析法} \end{cases}$

$$\text{当平衡线为直线时 } \frac{X_F}{X_N} = \frac{b^{N+1} - 1}{b - 1}$$

4、萃取设备：特点、用途

小结

5、基本概念:

萃取相

萃余液

临界混熔点（褶点）

理论级

萃余相

共轭线（联结线）

分配系数 k_i

溶剂比

萃取液

分配曲线

选择性系数 β

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

萃取因数 $e = \frac{mB}{S}$

操作点 Δ