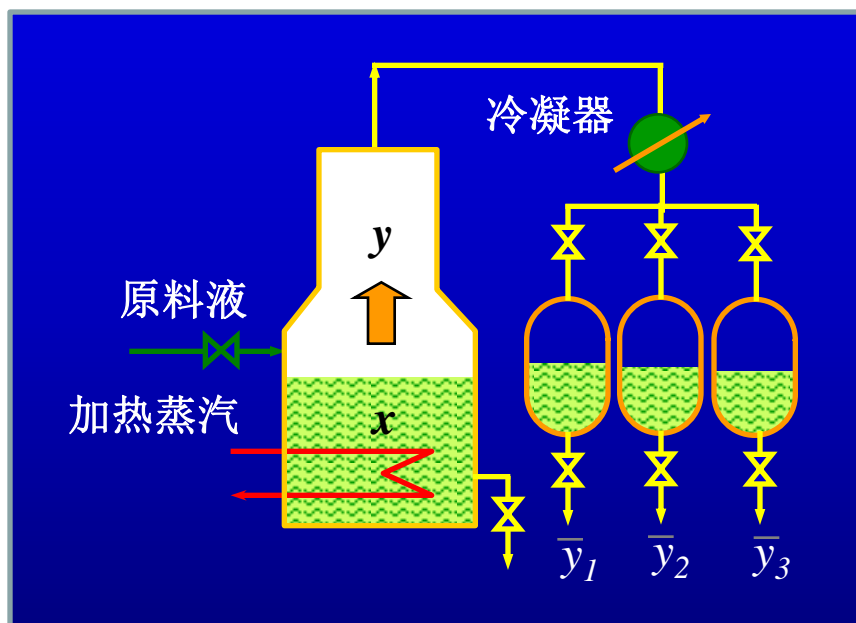


## 简单蒸馏

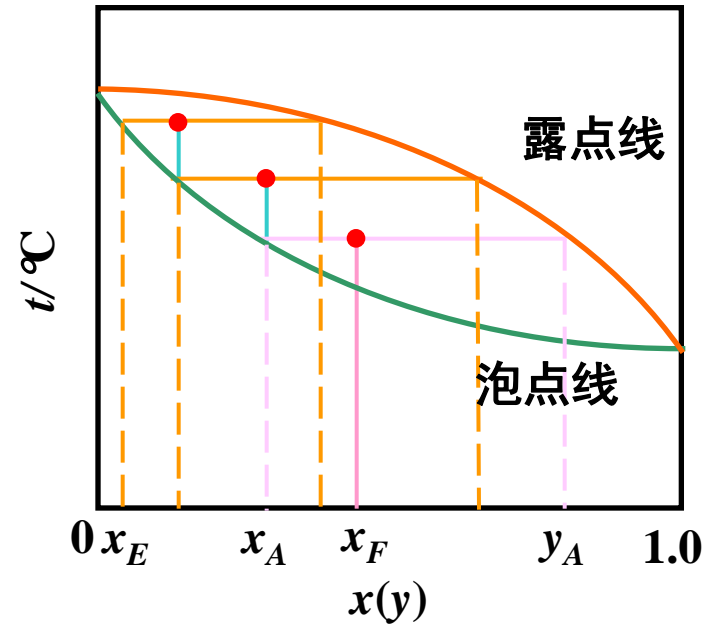
简单蒸馏也称微分蒸馏，为间歇**非稳态操作**（unsteady batch operation）。加入蒸馏釜的原料液持续吸热沸腾汽化，产生的蒸汽由釜顶连续进入冷凝器得馏出液产品。



**特点：**釜内任一时刻的汽、液两相组成互成平衡。蒸馏过程中系统的温度和汽、液相组成均**随时间改变**。

# 简单蒸馏

任一时刻，易挥发组分在蒸汽中的含量  $y$  始终大于剩余在釜内的液相中的含量  $x$ ，釜内组分含量  $x$  由原料的初始组成  $x_F$  沿泡点线不断下降直至组成  $x_E$  终止，釜内溶液的沸点温度不断升高，蒸汽相组成  $y$  也随之沿露点线不断降低。



简单蒸馏的分离效果有限，工业生产中一般用于混合液的初步分离或除去混合液中不挥发的杂质。

**简单蒸馏的过程特征：任一瞬时釜内的汽、液相互成平衡**  
以物料衡算式、热量衡算式以及相平衡关系作为过程计算的基本依据。

**操作为非稳态，需在微元时间段  $d\tau$  内进行衡算。**

## 简单蒸馏

➤对理想溶液， $\alpha$ 为常数，其相平衡关系为  $y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$

积分得：
$$\ln \frac{F}{W} = \frac{1}{\alpha - 1} \left[ \ln \frac{x_F}{x_2} + \alpha \ln \frac{1 - x_2}{1 - x_F} \right]$$

➤当溶液的相平衡关系符合  $y = mx + b$  时

$$\ln \frac{F}{W} = \frac{1}{m - 1} \ln \frac{(m - 1)x_F + b}{(m - 1)x_2 + b} \xrightarrow{\text{当 } y = mx} \ln \frac{F}{W} = \frac{1}{m - 1} \ln \frac{x_F}{x_2}$$

➤若相平衡关系不能用简单的数学式表示时，则用图解积分或数值积分求解。

➤可根据整个过程的物料衡算求得馏出液的平均组成。

$$\left. \begin{array}{l} \text{总物料} \quad D = F - W \\ \text{易挥发组分} \quad D\bar{y} = Fx_F - Wx_2 \end{array} \right\} \bar{y} = \frac{Fx_F - Wx_2}{F - W} = x_F + \frac{W}{D}(x_F - x_2)$$

## 平衡蒸馏的计算

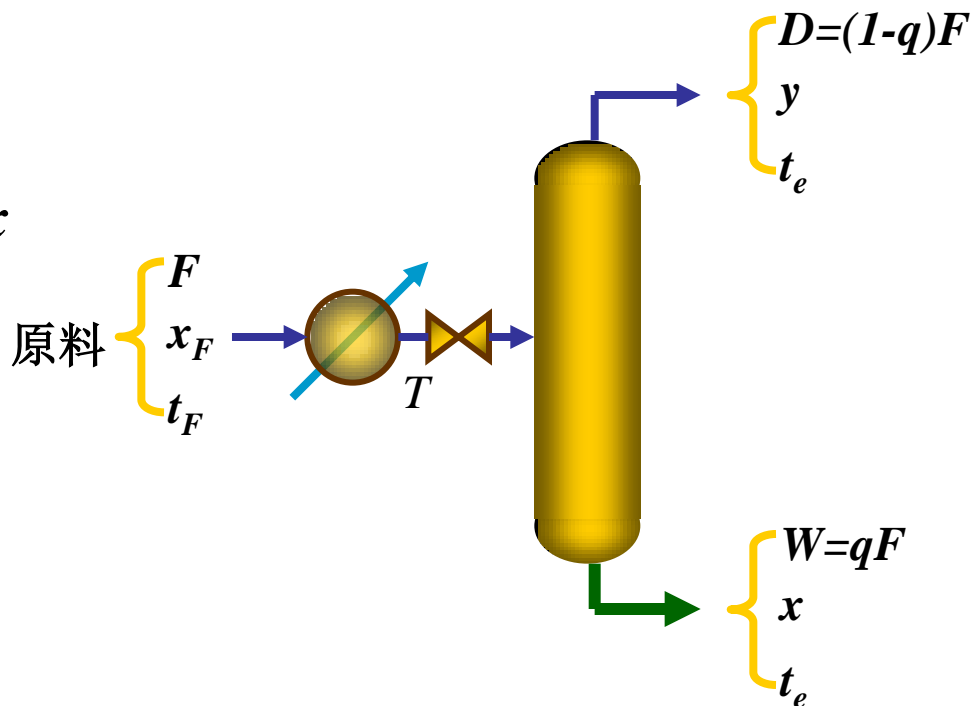
通过物料衡算、热量衡算以及相平衡数据建立起相关量之间的联系，从而求解所需参数。

以双组分混合液连续稳定闪蒸过程为例给予说明。

总物料衡算  $F = D + W$

易挥发组分的物料衡算  $Fx_F = Dy + Wx$

两式联立得  $\frac{D}{F} = \frac{x_F - x}{y - x}$



$F$ 、 $D$ 、 $W$ ——分别为原料流率和出塔汽、液相产物的流率， $\text{kmol/s}$   
 $x_F$ 、 $y$ 、 $x$ ——分别为原料液组成以及出塔汽、液相产物的摩尔分数

## 平衡蒸馏

**物料衡算** 设液相产物占总加料量的分率为  $q$ ，即  $W/F=q$ ，则汽化率为  $D/F=(1-q)$ ，代入上式整理可得

$$y = \frac{qx}{q-1} - \frac{x_F}{q-1} \quad \text{汽化率与汽、液相组成的关系}$$

当  $q$  为定值时，该式在  $x \sim y$  图上为直线方程，是通过点  $(x_F, x_F)$ ，斜率为  $q/(q-1)$  的直线。

## 平衡蒸馏

**热量衡算** 料液由进料温度  $t_F$  升至  $T$  需供给的热量  $Q$  为

$$Q = FC_{pm}(T - t_F)$$

**闪蒸后**，料液温度由  $T$  降至平衡温度  $t_e$ ，若不计热损失，则料液放出的显热全部用于料液的部分汽化，即

$$FC_{pm}(T - t_e) = (1 - q)Fr$$

式中： $C_{pm}$  —— 混合液的平均摩尔比热， $\text{kJ}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$   
 $r$  —— 平均摩尔汽化热， $\text{kJ}/\text{kmol}$

由上式可得 
$$T = t_e + (1 - q)\frac{r}{C_{pm}}$$

若  $q$  为已知，由物料衡算求得汽、液两相组成  $y, x$  后，可由平衡关系（如温度-组成相图）求得  $t_e$ ，进而求得  $T$ 。  
汽化量大，闪蒸前料液温度需加热至更高的  $T$  值。

**【例】**常压下分别用简单蒸馏和平衡蒸馏分离含苯摩尔分数为0.5的苯-甲苯混合物。已知原料处理量为100kmol，物系的平均相对挥发度为2.5，气化率为0.4，试计算：①平衡蒸馏的汽液相组成；②简单蒸馏的馏出液量及平均组成。

### 平衡蒸馏

由题意知，液化率为  $q=1-0.4=0.6$

物料衡算式为

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{1}{q-1}x_F = \frac{0.6}{0.6-1}x - \frac{0.5}{0.6-1} = 1.25 - 1.5x$$

相平衡方程式为

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} = \frac{2.5x}{1 + 1.5x}$$

联立上面两式可解得

$$x=0.410$$

$$y=0.635$$

### 简单蒸馏

由题意知，馏出液的量为

$$D=0.4F=0.4 \times 100=40\text{kmol}$$

则  $W=F-D=100-40=60\text{kmol}$

$$\ln \frac{F}{W} = \frac{1}{\alpha - 1} \left[ \ln \frac{x_F}{x_2} + \alpha \ln \frac{1 - x_2}{1 - x_F} \right]$$

$$\ln \frac{100}{60} = \frac{1}{2.5 - 1} \times \left[ \ln \frac{0.5}{x_2} + 2.5 \times \ln \frac{1 - x_2}{1 - 0.5} \right]$$

可解得  $x_2=0.387$

馏出液的平均组成

$$\begin{aligned} \bar{y} &= x_F + \frac{W}{D} (x_F - x_2) = 0.5 + \frac{60}{40} (0.5 - 0.387) \\ &= 0.6695 \end{aligned}$$

可见，在相同的汽化率条件下，简单蒸馏较平衡蒸馏可获得更好的分离效果。