

理论板和板效率概念

汽、液两相在板上充分接触混合，离开塔板的汽、液两相达平衡，即离开**理论板**的两相温度相等，组成互成平衡。其温度和汽、液组成可直接由相平衡关系描述，如 $t-x(y)$ 相图、泡点方程或露点方程。

实际塔板上气液两相难以达到平衡，且传递过程与物系的性质、操作条件以及塔板结构和安装状况等因素有关，很难简单地确定离开实际塔板的汽、液两相温度和组成关系。

设计中，**为了避免寻求这种难以确定的关系**，一般是**首先**根据分离任务计算所需理论板数，**然后**根据所选塔板类型以塔效率进行修正，**最后**确定所需实际塔板数。

对一定的分离任务，**所需理论板数目**只取决于物系的相平衡以及塔内汽、液两相的摩尔流率，与物系的其它性质、两相传质传热情况及塔板的结构形式等复杂因素无关。

理论板数目代表了分离任务的难易程度。

板效率

塔板效率（板效率） 是实际塔板的分离效果接近理论板的程度。单板效率与全塔板效率是常用的两种表示方法。

单板效率 E_m 又称默弗里（Murphree）板效率，可用气相单板效率 E_{mV} 或液相单板效率 E_{mL} 表示，其定义分别为

$$E_{mV} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} \quad x_n, y_n \text{ —— 离开第 } n \text{ 板的液相与汽相的实际组成；}$$
$$E_{mL} = \frac{x_{n-1} - x_n}{x_{n-1} - x_n^*} \quad y_n^*, x_n^* \text{ —— 与离开第 } n \text{ 板的液(汽)相组成 } x_n \text{ (} y_n \text{) 成平衡的汽(液)相组成；}$$

分子代表经过一块板后组成的实际变化

分母则为将该板视为理论板时的组成变化

单板效率通常由实验测定。

全塔板效率

全塔板效率 E （总板效率）为完成一定分离任务所需的理论塔板数 N_T 和实际塔板数 N_P 之比

$$E = \frac{N_T}{N_P}$$

E 代表了全塔各层塔板的平均效率，其值恒小于1.0

一般由实验确定或用经验公式计算。

对一定结构形式的板式塔，若已知某操作条件下的全塔效率，便可由理论板数求得实际板数。

恒摩尔流假定

为了简化精馏计算，引入恒摩尔流假设：

- ①两组分的摩尔汽化潜热相等；
- ②汽液两相接触时，因两相温度不同而交换的显热可忽略；
- ③塔设备保温良好，热损失可以忽略。

塔内的恒摩尔流假设包括

恒摩尔气流

恒摩尔液流

精馏段 $V_1 = V_2 = \dots = V_{m-1} = V$ $L_1 = L_2 = \dots = L_{m-1} = L$

提馏段 $V'_1 = V'_2 = \dots = V'_N = V'$ $L'_1 = L'_2 = \dots = L'_N = L'$

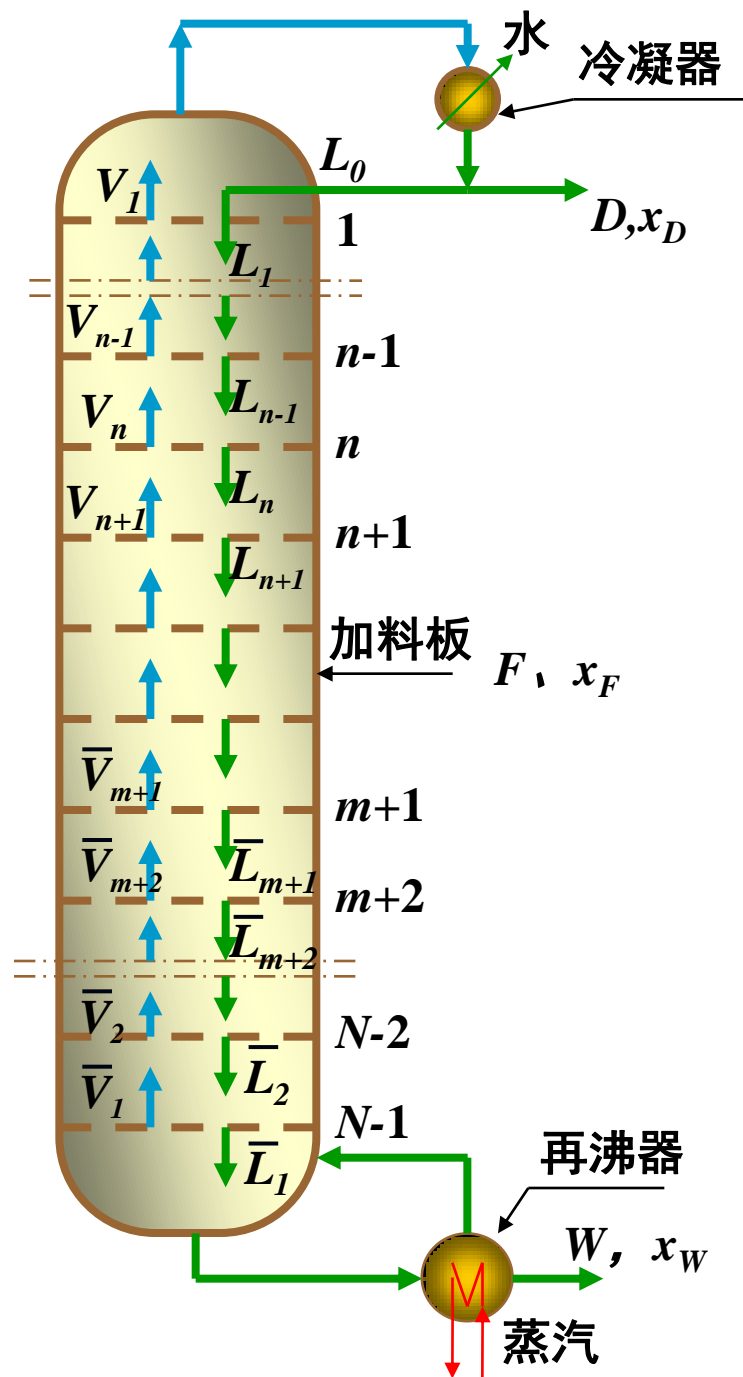
由于加料的差异，精馏段和提馏段的摩尔流量不一定相等

服从恒摩尔流假定的精馏过程，塔板上汽液两相接触时，有多少摩尔的蒸汽冷凝，相应就有多少摩尔的液体汽化。该精馏过程属等摩尔反向扩散传质过程。

恒摩尔流假设只适用于被分离组分的沸点和汽化潜热相近的情况。

因显热与潜热相比其影响一般要小很多，通常只要被分离组分的汽化潜热接近，就可认为恒摩尔流假定成立。

引入恒摩尔流假定，使得连续精馏过程基本计算式中的变量减少，所需方程数随之减少，大大简化了计算过程。



物料衡算与操作线方程

全塔物料衡算

对连续精馏塔操作，产品和原料的流量、组成之间的关系由全塔物料衡算决定。

总物料衡算 $F = D + W$

易挥发组分物料衡算

$$Fx_F = Dx_D + Wx_W$$

采出率

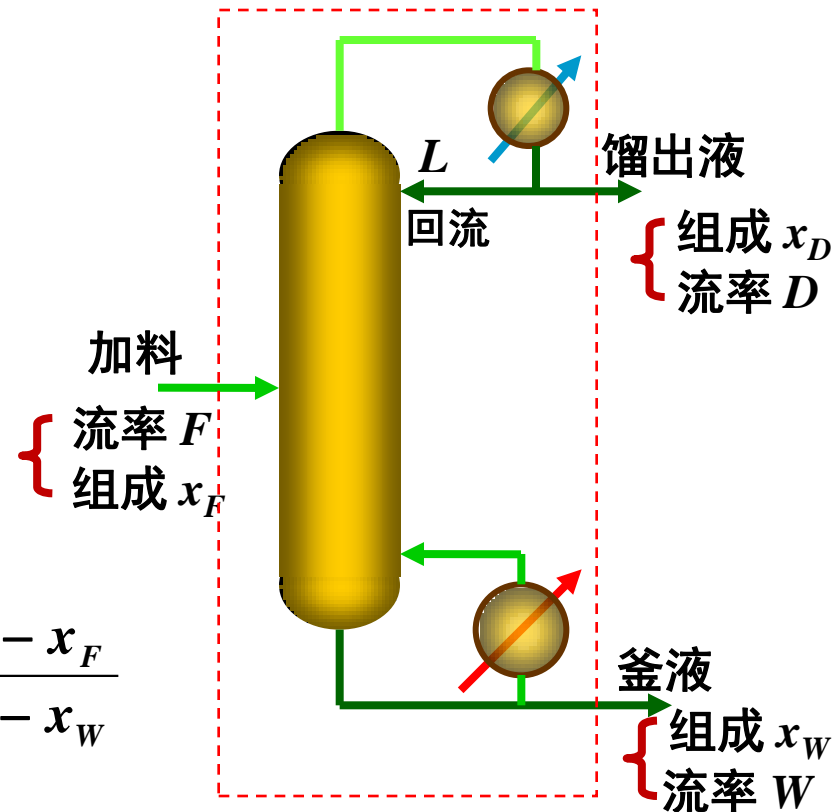
$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_W}{x_D - x_W} \quad \frac{W}{F} = 1 - \frac{D}{F} = \frac{x_D - x_F}{x_D - x_W}$$

易挥发组分的回收率

$$\eta_D = \frac{Dx_D}{Fx_F} \times 100\%$$

难挥发组分的回收率

$$\eta_W = \frac{W(1 - x_W)}{F(1 - x_F)} \times 100\%$$



$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_W}{x_D - x_W} \qquad \frac{W}{F} = 1 - \frac{D}{F} = \frac{x_D - x_F}{x_D - x_W}$$

- 当进料 F 和 x_F 以及釜液 x_W 一定时，若要求塔顶馏出液 x_D 越高，馏出液的流率 D 就越小。
- 塔釜产品的流率和组成之间也存在类似关系。
- 当塔顶、塔底组成 x_D 、 x_W 已定，产品的采出率 D/F 和 W/F 亦随之确定。
- 对进料浓度一定的精馏过程，提高产品品质是以降低产品产率为代价的。

$$x_D \leq \frac{Fx_F}{D}$$

【例8-3】将5000kg/h含苯0.45（质量分数）的苯-甲苯混合溶液在连续精馏塔中分离，要求馏出液中苯的回收率为98%，釜液中苯含量不高于2%，试求馏出液与釜液的流量与组成。

苯的分子量为78，甲苯的分子量为92，则进料组成 $x_F = \frac{45/78}{45/78 + 55/92} = 0.491$

釜液组成 $x_W = \frac{2/78}{2/78 + 98/92} = 0.0235$

原料液的平均分子量为 $M_F = 78 \times 0.491 + 92 \times (1 - 0.491) = 85.1$

原料液流量 $F = \frac{5000}{85.1} = 58.75 \text{ kmol/h}$

由题意知 $Dx_D / Fx_F = 0.98$

所以 $Dx_D = 0.98 \times 58.75 \times 0.491 = 28.27$ (a)

全塔物料衡算 $D + W = F = 58.75$ (b)

$Dx_D + Wx_W = Fx_F = 58.75 \times 0.491 = 28.85$ (c)

联立式a、b、c，解得 $D=34.07 \text{ kmol/h}$ $W=24.68 \text{ kmol/h}$ $x_D=0.830$