

## 第九章 习题

### 相平衡

1. 总压为 101.3kPa 下, 用苯、甲苯的安托因方程 ( 见例 9-1 ), 求

(1) 温度为 108 及 81 时, 苯对甲苯的相对挥发度;

(2) 用上述计算的相对挥发度的平均值  $\bar{\alpha}$ , 计算苯 - 甲苯的汽液平衡数据, 并与书末附表所列的实验值作比较 ( 列表 )。

2. 乙苯、苯乙烯混合物是理想物系, 纯组分的蒸汽压为:

$$\text{乙苯} \quad \log P_A^0 = 6.08240 - \frac{1424.225}{213.206 + t}$$

$$\text{苯乙烯} \quad \log P_B^0 = 6.08232 - \frac{1445.58}{209.43 + t}$$

式中  $P^0$  的单位是 kPa,  $t$  为  $^{\circ}\text{C}$ 。

试求: (1) 塔顶总压为 8kPa 时, 组成为 0.595 ( 乙苯的摩尔分率 ) 的蒸汽的温度。

(2) 与上述汽相成平衡的液相组成。

3. 乙苯、苯乙烯精馏塔中部某一块塔板上总压为 13.6kPa, 液体组成为 0.144 ( 乙苯的摩尔分率 ) 试求:

(1) 板上液体的温度;

(2) 与此液体成平衡的汽相组成。

4. 总压为 303.9kPa ( 绝对 ) 下, 含丁烷 0.80、戊烷 0.20 ( 摩尔分率 ) 的混合蒸汽冷凝至 40  $^{\circ}\text{C}$ , 所得的液、汽两相成平衡。求液相和汽相数量 ( 摩尔 ) 之比。

已知丁烷 (A) 和戊烷 (B) 的混合物是理想物系, 40  $^{\circ}\text{C}$  下纯组分的饱和蒸汽压为:  $P_A^0=373.3\text{kPa}$ ;  $P_B^0=117.1\text{kPa}$ 。

5. 某二元混合液 100kmol, 其中含易挥发组分 0.40。在总压 101.3kPa 下作简单精馏。最终所得的液相产物中, 易挥发物为 0.30 ( 均为摩尔分率 )。试求:

(1) 所得汽相产物的数量和平均组成;

(2) 如改为平衡蒸馏, 所得汽相产物的数量和组成。

已知物系的相对挥发度为  $\alpha=3.0$ 。

### 物料衡算、热量衡算及操作线方程

6. 某混合液含易挥发组分 0.24, 在泡点状态下连续送入精馏塔。塔顶馏出液组成为 0.95, 釜液组成为 0.03 ( 均为易挥发组分的摩尔分率 )。试求:

(1) 塔顶产品的采出率  $D/F$ ;

(2) 采用回流比  $R=2$  时, 精馏段的液汽比  $L/V$  及提馏段的液汽比  $\bar{L}/\bar{V}$ ;

(3) 采用  $R=4$  时, 求  $L/V$  及  $\bar{L}/\bar{V}$ 。

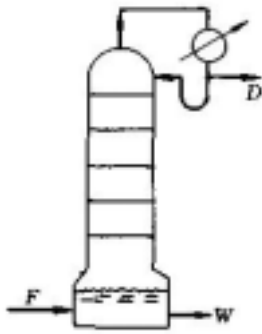
设混合物在塔内满足恒摩尔流条件。

7. 苯、甲苯混合液中含苯 30% ( 摩尔% ), 预热至 40  $^{\circ}\text{C}$  以 10kmol/h 的流量连续加入一精馏塔。塔的操作压强为 101.3kPa。塔顶馏出液中含苯 95%, 残液含苯 3%, 回流比  $R=3$ 。试求塔釜的蒸发量是多少?

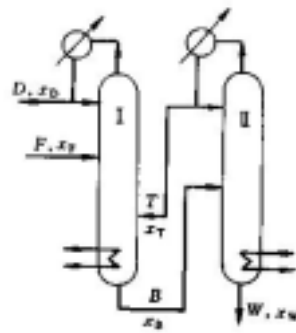
\*8. 某混合物含易挥发组分 0.10 ( 摩尔分率, 下同 ), 以饱和蒸汽状态连续加入精馏塔的塔釜。加料量为 10kmol/h, 塔顶产品组成为 0.90, 塔釜排出的残液组成为 0.05。试求:

(1) 塔顶全凝器的蒸汽冷凝量;

(2) 回流比  $R$  及塔内的液气比  $L/V$ 。



习题 8 附图



习题 9 附图

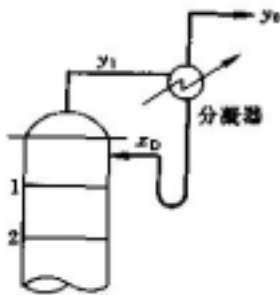
9. 有如图的精馏流程，以回收两元理想混合物中的易挥发组分 A。塔 I 和塔 II 的回流比都是 3，加料、回流均为饱和液体。

已知： $x_F=0.6$ ， $x_D=0.9$ ， $x_B=0.3$ ， $x_T=0.5$ （均为摩尔分率）， $F=100\text{kmol/h}$ 。整个流程可使易挥发组分 A 的回收率达 90%。试求：

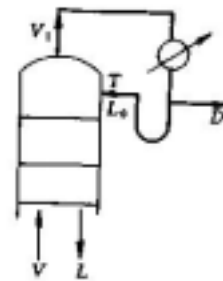
- (1) 塔 I 的塔釜蒸发量；
- (2) 写出塔 I 中间段（F 和 T 之间）的操作线方程。

\*10. 某塔顶蒸汽在冷凝器中作部分冷凝，所得的汽、液两相互成平衡。汽相作产品，液相作回流，参见附图。设该系统符合恒摩尔流的假定，试推导此时的精馏段操作线方程。

如该塔的塔顶采用的是全凝器，馏出液组成  $x_D$  与上述采用冷凝器时的汽相产品组成相同，试比较采用分凝器与全凝器两种情况下的操作线方程。



习题 10 附图



习题 11 附图

\*11. 如图所示。某精馏塔顶采用的是冷回流（即回流液的温度低于泡点温度），其回流比为  $R' = L_0/D$ （摩尔比，下同），而塔顶第一块板下方的回流比即为塔内实际回流比  $R$ （内回流）， $R=L/D$ ，试证明：

$$(1) \quad R = R' \left[ \frac{\gamma + C_p(T_s - T)}{\gamma} \right]$$

(2) 冷回流时精馏段的操作线方程形式不变，即

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

式中  $\gamma$ 、 $C_p$ 、 $T_s$ 、 $T$  分别为摩尔汽化潜热，摩尔比热，回流液的泡点及回流液入塔温度。

### 精馏设计型计算

12. 欲设计一连续精馏塔用以分离含苯与甲苯各 50% 的料液，要求馏出液中含苯 96%，残液中含苯不高于 5%

(以上均为 mol%)。泡点进料,选用的回流比是最小回流比的 1.2 倍,物系的相对挥发度为 2.5。

试用逐板计算法求取所需的理论板数及加料板位置。

13. 设计一连续精馏塔,在常压下分离甲醇-水溶液 15kmol/h。原料含甲醇 35%,塔顶产品含甲醇 95%,釜液含甲醇 4% (均为 mol%)。设计选用回流比为 1.5,泡点加料。间接蒸汽加热。用作图法求所需的理论板数、塔釜蒸发量及甲醇回收率。设没有热损失,物系满足恒摩尔流假定。

\*14. 上题改用直接饱和蒸汽加热,保持上述  $x_D$ 、 $x_w$ 、 $R$  不变,求理论板数、蒸汽消耗量、甲醇的回收率。

15. 试用捷算法计算环氧乙烷和环氧丙烷系统的连续精馏塔理论板数。

已知:  $x_0=0.98$ ,  $x_f=0.60$ ,  $x_w=0.05$  (以上均为以环氧乙烷表示的摩尔分率)。取回流比为最小回流比的 1.5 倍。常压下系统的相对挥发度为 2.47,饱和液体进料。

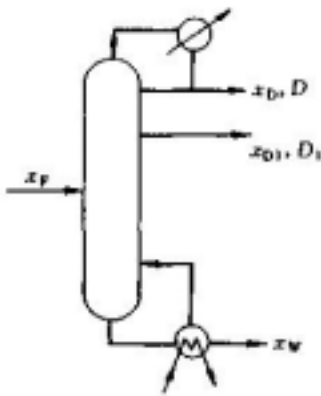
16. 含易挥发组分 42% (摩尔%) 的双组分混合液在泡点状态下连续加入精馏塔塔顶,釜液组成保持 2%。物系的相对挥发度为 2.5,塔顶不回流。试求:

- (1) 欲得塔顶产物的组成为 60% 时所需的理论板数;
- (2) 在设计条件下若板数不限,塔顶产物可能达到的最高浓度  $x_{Dmax}$ 。

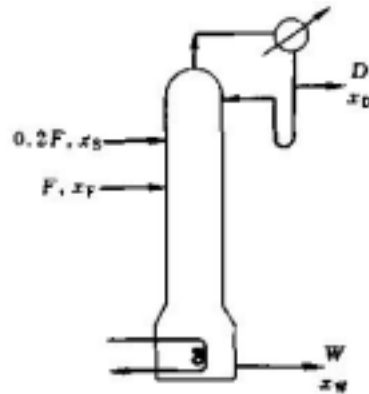
\*17. 今用连续精馏塔同时取得两种产品,浓度浓者取自塔顶  $x_D=0.9$  (摩尔分率,下同),淡者取自塔侧(液相抽出)  $x_{D1}=0.7$  (如图示)。

已知:  $x_f=0.4$ ,  $x_w=0.1$ ,  $q=1.05$ ,  $R=2$ , 系统  $\alpha=2.4$ ,  $D/D_1=2$  (摩尔比)

试求所需的理论板数。



习题 17 附图



习题 18 附图

\*18. 图示为两股组成不同的原料液分别预热至泡点,从塔的不同部位连续加入精馏塔内。已知:  $x_0=0.98$ ,  $x_s=0.56$ ,  $x_f=0.35$ ,  $x_w=0.02$  (以上均为易挥发组分表示的摩尔分率)。系统的  $\alpha=2.4$ , 较浓的原料液加入量为  $0.2F$ , 试求:

- (1) 塔顶易挥发组分回收率;
- (2) 为达到上述分离要求所需的最小回流比。

### 操作型计算

19. 一精馏塔有五块理论板(包括塔釜),含苯 50% (mol%) 的苯-甲苯混合液预热至泡点,连续加入塔的第二块板上。采用回流比  $R=3$ ,塔顶产品的采出率  $D/F=0.44$ 。物系的相对挥发度  $\alpha=2.47$ 。求操作可得的塔顶、塔底产品组成  $x_D$ 、 $x_w$ 。

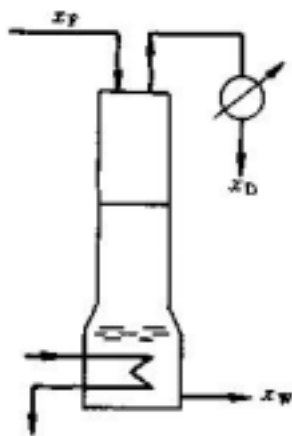
(提示:可设  $x_w=0.194$  作为试差初值)

\*20. 将上题的加料口向上移动一块板,即第二块板上加料,求操作可得的  $x_D$ 、 $x_w$ ,并与上题结果作比较。(提示:可设  $x_w=0.207$  作试差初值)。

\*21. 某精馏塔共有 3 块理论板,原料中易挥发组分的摩尔分率为 0.002,预热至饱和蒸汽连续送入精馏塔的塔釜。操作时的回流比为  $R=4.0$ ,物系的平衡关系为  $y=6.4x$ 。

求塔顶、塔底产物中的易挥发组分含量。

\*22. 如图示的精馏塔具有一块实际板及一只蒸馏釜, 原料预热至泡点, 由塔顶连续加入,  $x_F=0.20$  (摩尔分率, 下同), 今测得塔顶产品能回收原料液中易挥发组分的 80%, 且  $x_D=0.28$ , 系统的相对挥发度  $\alpha=2.5$ 。试求残液组成  $x_W$  及该块塔板的板效率。设蒸馏釜可视为一个理论板。



习题 22 附图

\*23. 某两组分混合液用精馏分离, 其进料浓度为 50% (摩尔%), 泡点进料, 系统的相对挥发度为 2, 塔顶出料量是进料量的 60% (摩尔%)。如果所采用的精馏塔的理论板数为无穷多块, 试计算:

- (1)  $R=0.8$  时, 塔顶与塔底的组成各为多少?
- (2)  $R=1.5$  时, 试绘出表示精馏段和提馏段操作线的示意图。

### 间歇精馏

\*24. 拟将 100kmol 乙醇的水溶液于常压下进行间歇精馏。料液组成含乙醇 0.4 (摩尔分率, 下同), 当釜内残液中乙醇的含量降到 0.04 时停止操作。每批操作所花时间为 6 小时, 若保持馏出液的组成恒定为 0.8, 操作终了时回流比为最小回流比的 2 倍。试求:

- (1) 理论板数;
- (2) 蒸馏釜每小时汽化的蒸汽量 (kmol/h);
- (3) 操作终了时釜内残液量和馏出液量。

### 多组分精馏

25. 已知总压 0.7MPa 下的混合气体组成为: 丙烷(A)0.490(摩尔分率, 下同), 正丁烷(B)0.343, 正戊烷(C)0.167, 试求露点及液相平衡组成。

26. 已知混合液体的组成为: 乙烷(A)0.08(摩尔分率, 下同), 丙烷(B)0.22, 正丁烷(C)0.53, 正戊烷(D)0.17, 试计算在 1.36MPa 总压下, 汽化率为 0.44 时的汽液相平衡组成。

27. 用连续操作精馏分离某混合液, 其组成为含苯  $x_{fA}=0.20$ , 甲苯  $x_{fB}=0.30$ , 二甲苯  $x_{fC}=0.35$ , 异丙基苯  $x_{fD}=0.15$  (均为摩尔分率)。工艺要求甲苯在塔顶产品中的回收率为 0.98, 二甲苯在塔底产品中的回收率为 0.99。操作条件下各组分的相对挥发度为  $\alpha_{AC}=6.82$ ,  $\alpha_{BC}=3.0$ ,  $\alpha_{CC}=1.00$ ,  $\alpha_{DC}=0.64$ 。试用全回流近似法求算塔顶、塔底产品的采出率及各组分浓度。

28. 由题 27 给出的四组分精馏, 进料为饱和液体, 回流比取最小回流比的 1.8 倍, 试用捷算法求取该塔所需的理论板数及加料位置。

## 思考题

1. 蒸馏的目的是什么? 蒸馏操作的基本依据是什么?
2. 蒸馏的主要操作费用花费在何处?
3. 双组份汽液两相平衡共存时自由度为多少?

4. 何谓泡点、露点？对于一定的组成和压力，两者大小关系如何？
5. 非理想物系何时出现最低恒沸点，何时出现最高恒沸点？
6. 常用的活度系数关联式有哪几个？
7. 总压对相对挥发度有何影响？
8. 为什么  $\alpha = 1$  时不能用普通精馏的方法分离混合物？
9. 平衡蒸馏与简单蒸馏有何不同？
10. 为什么说回流液的逐板下降和蒸汽逐板上升是实现精馏的必要条件？
11. 什么是理论板？默弗里板效率有什么含义？
12. 恒摩尔流假设指什么？其成立的主要条件是什么？
13.  $q$  值的含义是什么？根据  $q$  的取值范围，有哪几种加料热状态？
14. 建立操作线的依据是什么？操作线为直线的条件是什么？
15. 用芬斯克方程所求出的  $N$  是什么条件下的理论板数？
16. 何谓最小回流比？挟点恒浓区的特征是什么？
17. 最适宜回流比的选取须考虑哪些因素？
18. 精馏过程能否在填料塔内进行？
19. 何谓灵敏板？
20. 间歇精馏与连续精馏相比有何特点？适用于什么场合？
21. 恒沸精馏与萃取精馏的主要异同点是什么？
22. 如何选择多组分精馏的流程方案？
23. 何谓轻关键组分、重关键组分？何谓轻组分、重组分？
24. 清晰分割法、全回流近似法各有什么假定？
25. 芬斯克-恩德伍德-吉利兰捷算法的主要步骤有哪些？
26. 刘易士-麦提逊逐板计算法的主要步骤有哪些？