

化工原理《蒸馏》习题及答案

1. 单位换算

(1) 乙醇-水恒沸物中乙醇的摩尔分数为 0.894，其质量分数为多少？

(2) 苯-甲苯混合液中，苯的质量分数为 0.21，其摩尔分数为多少？

大气中 O_2 含量为 0.21， N_2 含量为 0.79 (均为体积分率)，试求在标准大气压下， O_2 和 N_2 的分压为多少？ O_2 和 N_2 的质量分数为多少？

解：(1) 质量分数

$$a_A = \frac{M_A x_A}{M_A x_A + M_B x_B} = \frac{46 \cdot 0.894}{46 \cdot 0.894 + 18 \cdot 0.106} = 0.956$$

(2) 摩尔分数

(苯分子量：78；甲苯分子量：92)

$$x_A = \frac{a_A / M_A}{a_A / M_A + a_B / M_B} = \frac{0.21 / 78}{0.21 / 78 + 0.79 / 92} = 0.239$$

(3)

$$\begin{array}{l} P_0 \\ P_N \end{array} \begin{array}{l} P \\ 1 \end{array} \begin{array}{l} y_0 \\ P_0 \end{array} \begin{array}{l} 0.21 \\ 0.79 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} a_0 \\ a_N \end{array} \frac{M_0 x_0}{M_0 x_0 + M_N x_N} = \frac{32 \cdot 0.21}{32 \cdot 0.21 + 28 \cdot 0.79} = 0.233$$

2. 正庚烷和正辛烷在 110℃ 时的饱和蒸气压分别为 140kPa 和 64.5kPa。试计算混合液由正庚烷 0.4 和正辛烷 0.6 (均为摩尔分数) 组成时，在 110℃ 下各组分的平衡分压、系统总压及平衡蒸气组成。(此溶液为理想溶液)

解：

$$\begin{aligned}
P_A &= P_A^0 x_A = 140 \cdot 0.4 = 56 \text{ kPa} \\
P_B &= P_B^0 x_B = 64.5 \cdot 0.6 = 38.7 \text{ kPa} \\
P &= P_A + P_B = 56 + 38.7 = 94.7 \text{ kPa} \\
y_A &= \frac{P_A}{P} = \frac{56}{94.7} = 0.591 \\
y_B &= 1 - y_A = 1 - 0.591 = 0.409
\end{aligned}$$

3. 试计算压力为 101.3 kPa 时，苯-甲苯混合液在 96°C 时的气液平衡组成。已知 96°C 时， $p_A^0=160.52 \text{ kPa}$ ， $p_B^0=65.66 \text{ kPa}$ 。

解：液相苯的分率： $x_A = \frac{P - P_B^0}{P_A^0 - P_B^0} = \frac{101.3 - 65.66}{160.52 - 65.66} = 0.376$

气相苯的分率： $y_A = \frac{P_A^0 x_A}{P} = \frac{160.52 \cdot 0.376}{101.3} = 0.596$

4. 在 101.3 kPa 时正庚烷和正辛烷的平衡数据如下：

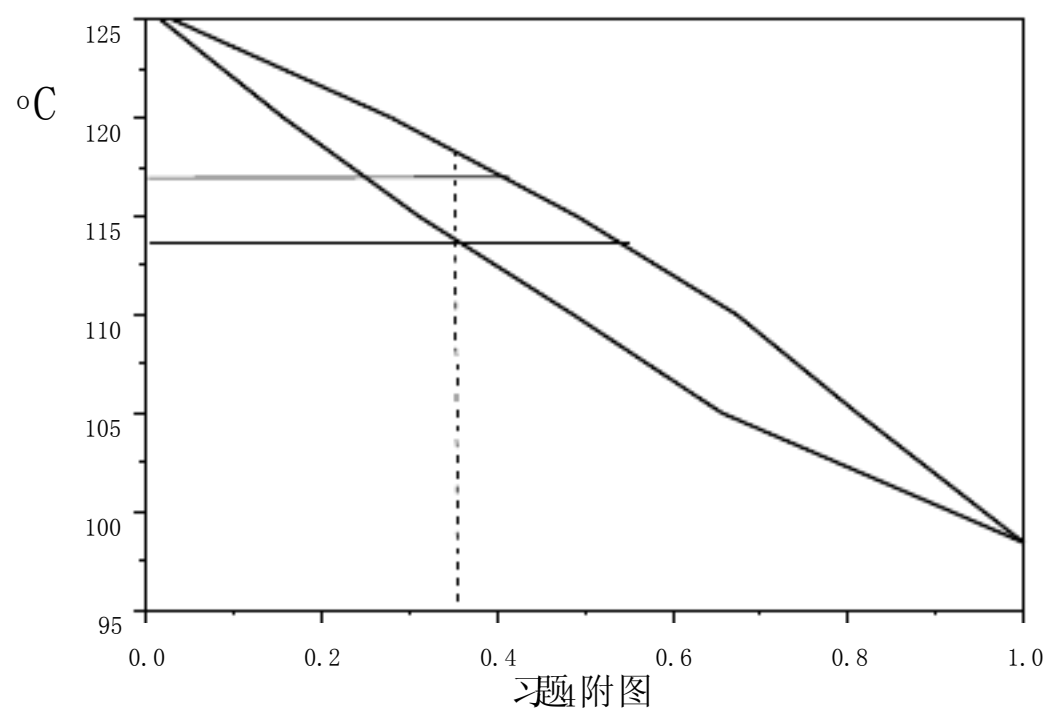
温度/°C	液相中正庚烷的摩尔分数	气相中正庚烷的摩尔分数
98.4	1.0	1.0
105	0.656	0.81
110	0.487	0.673
115	0.311	0.491
120	0.157	0.280
125.6	0	0

试求：(1) 在压力 101.3 kPa 下，溶液中含正庚烷为 0.35 (摩尔分数) 时的泡点及平衡蒸汽的瞬间组成？

(2) 在压力 101.3 kPa 下被加热到 117°C 时溶液处于什么状态？各相的组成为多少？

(3) 溶液被加热到什么温度时全部气化为饱和蒸汽？

解：t-x-y 图



由 t-x-y 图可知

- (1) 泡点为 114°C，平衡蒸汽的组成为 0.54 (摩尔分数)；
- (2) 溶液处于汽液混合状态，液相组成为 0.24 (摩尔分数)，气相组成为 0.42 (摩尔分数)；
- (3) 溶液加热到 119°C 时全部汽化为饱和蒸汽。

5. 根据某理想物系的平衡数据，试计算出相对挥发度并写出相平衡方程式。

温度/°C	p_A^0/kPa	p_B^0/kPa
70	123.3	31.2
80	180.4	47.6
90	252.6	70.1
100	349.8	101.3

解：

温度/°C	70	80	90	100
$\frac{P_A^0}{P_B^0}$	3.952	3.790	3.603	3.453

$$(1) \quad m = \frac{3.952 \quad 3.790 \quad 3.603 \quad 3.453}{4} \quad 3.70$$

$$(2) \quad y = \frac{3.7x}{1 - 2.7x}$$

6. 在一连续操作的精馏塔中, 某混合液流量为 5000kg/h, 其中轻组分含量为 0.3(摩尔分数, 下同), 要求馏出液轻组分回收率为 0.88, 釜液中轻组分含量不高于 0.05, 试求塔顶馏出液的摩尔流量和摩尔分数。已知 $M_A=114\text{kg/kmol}$, $M_B=128\text{kg/kmol}$ 。

解: 进料混合物的平均摩尔质量:

$$M = M_A x_A + M_B x_B = 114 \times 0.3 + 128 \times 0.7 = 123.8\text{kg/kmol}$$

进料混合液的摩尔流量: $F = \frac{5000}{123.8} = 40.39\text{kmol/h}$

物料衡算:

$$F = D + W$$

$$F x_F = D x_D + W x_W$$

则:

$$40.39 = D + W$$

$$40.39 \times 0.3 = D \times 0.88 + W \times 0.05$$

联立求解得: $W = 29.1\text{ kmol/h}$

$$D = 11.31\text{ kmol/h}$$

塔顶馏出液摩尔分数: $x_D = \frac{F x_F}{D} = \frac{40.39 \times 0.3 \times 0.88}{11.31} = 0.943$

7. 在一连续精馏塔中分离苯-氯仿混合液, 要求馏出液中轻组分含量为 0.96(摩尔分数, 下同)的苯。进料量为 75kmol/h, 进料中苯含量为 0.45, 残液中苯含量为 0.1, 回流比为 3.0, 泡点进料。试求: (1) 从冷凝器回流至塔顶的回流液量和自塔釜上升的蒸气摩尔流量; (2) 写出精馏段、提馏段操作线方程。

解: 物料衡算:

$$F = D + W$$

$$F x_F = D x_D + W x_W$$

则:

$$75 = D + W$$

$$75 \times 0.45 = D \times 0.96 + W \times 0.1$$

联立求解得: $D = \frac{F(x_F - x_W)}{x_D - x_W} = \frac{75(0.45 - 0.1)}{0.96 - 0.1} = 30.52\text{kmol/h}$

$$W = F - D = 75 - 30.52 = 44.48\text{ kmol/h}$$

(1) 从冷凝器回流至塔顶的回流液量: $L = R D = 3 \times 30.52 = 91.56\text{kmol/h}$

自塔釜上升的蒸气的摩尔流量: $V = V' + (R + 1)D = (3 + 1) \times 30.52 = 122.1\text{kmol/h}$

(2) 精馏段操作线方程:

$$y_{n-1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1} = \frac{3}{3+1} x_n + \frac{0.96}{3+1} = 0.75x_n + 0.24$$

(3) 提馏段操作线方程:

提馏段下降液体组成: L L F 91.56 75 166.56

$$y_{m-1} = \frac{L'}{V'} x_m + \frac{W}{V'} x_w = \frac{166.56}{122.1} x_m + \frac{44.48 - 0.1}{122.1} = 1.36x_m + 0.0364$$

8. 某连续精馏塔, 泡点进料, 已知操作线方程如下:

精馏段: $y=0.8x+0.172$

提馏段: $y=1.3x-0.018$

试求: 原料液、馏出液、釜液组成及回流比。

解: 精馏段操作线的斜率为:

$$\frac{R}{R+1} = 0.8 \quad R = 4$$

由精馏段操作线的截距:

$$\frac{x_D}{R+1} = 0.172 \quad \text{塔顶馏出液组成 } x_D = 0.86$$

提馏段操作线在对角线上的坐标为 (x_w, x_w) , 则

$$\begin{aligned} y_w &= x_w \\ x_w &= 1.3x_w - 0.018 \\ x_w &= 0.06 \end{aligned}$$

由于泡点进料, q 线为垂直线。精馏段与提馏段操作线交点的横坐标为 x_F :

$$\begin{aligned} y &= 0.8x_F + 0.172 \\ y &= 1.3x_F - 0.018 \\ x_F &= 0.38 \end{aligned}$$

9. 采用常压精馏塔分离某理想混合液。进料中含轻组分 0.815 (摩尔分数, 下同), 饱和液体进料, 塔顶为全凝器, 塔釜间接蒸气加热。要求塔顶产品含轻组分 0.95 塔釜产品含轻组分 0.05, 此物系的相对挥发度为 2.0, 回流比为 4.0。试用: (1) 逐板算法; (2) 图解法分别求出所需的理论塔板数和加料板位置。

解: 物料衡算:

$$F = D + W$$

$$Fx_F = Dx_D + Wx_W$$

则：

$$F = 0.815D + 0.05W$$

联立求解得：

$$D = \frac{F(x_F - x_W)}{x_D - x_W} = \frac{F(0.815 - 0.05)}{0.95 - 0.05} = 0.85F \text{ kmol/h}$$

$$W = F - D = 0.15F \text{ kmol/h}$$

提馏段下降液体组成：L = L' + F = RD + F = 4 + 0.85F = 4.4F

自塔釜上生成蒸汽的摩尔流量：V = V' + (R + 1)D = (4 + 1) * 0.85F = 4.25F

精馏段操作线方程：

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1} = \frac{4}{4+1}x_n + \frac{0.95}{4+1} = 0.8x_n + 0.19$$

提馏段操作线方程：

$$y_{m+1} = \frac{L'}{V'}x_m + \frac{W}{V'}x_w = \frac{4.4F}{4.25F}x_m + \frac{0.15F * 0.05}{4.25F} = 1.04x_m + 0.0018$$

相平衡方程：

$$y = \frac{2.0x}{1-x} \quad x = \frac{y}{2+y}$$

(1) 逐板计算法

因为：y₁ = x_D = 0.95

由相平衡方程得：

$$x_1 = \frac{y_1}{2+y_1} = \frac{0.95}{2+0.95} = 0.905$$

由精馏段操作线方程：

$$y_2 = 0.8x_1 + 0.19 = 0.8 * 0.905 + 0.19 = 0.914$$

交替使用相平衡方程和精馏段操作线方程至 x < x_F 后，交替使用相平衡方程和提馏段操作线方程至 x < x_W。

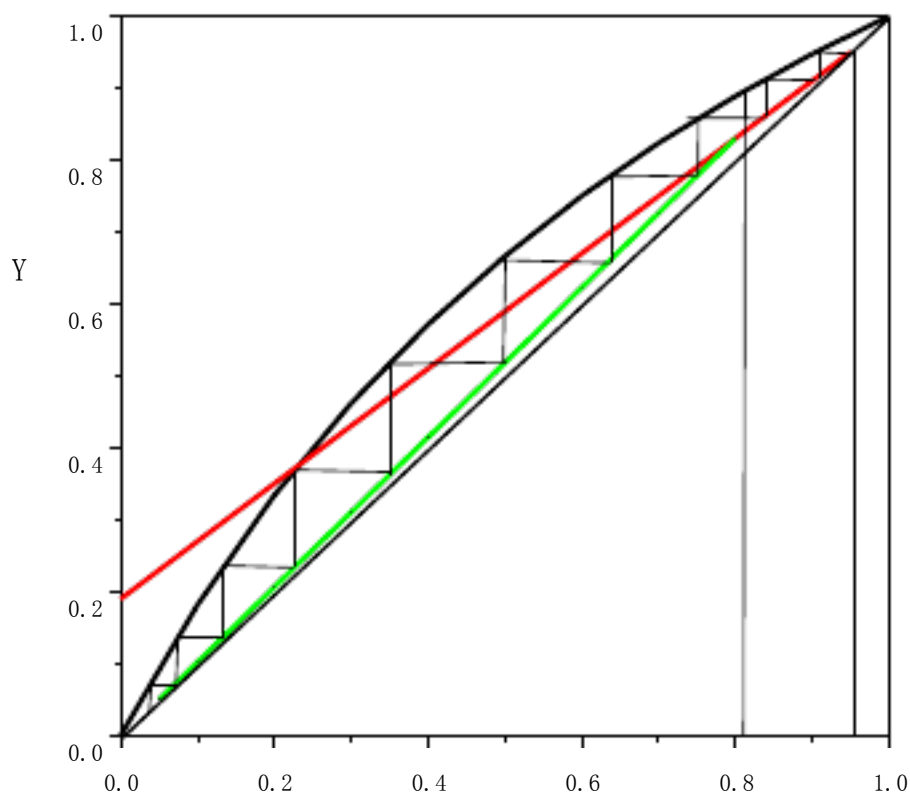
各板上的汽液相组成

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y	0.95	0.914	0.863	0.788	0.674	0.527	0.370	0.234	0.136	0.074
x	0.905	0.841	0.759	0.650	0.508	0.357	0.227	0.133	0.073	0.039

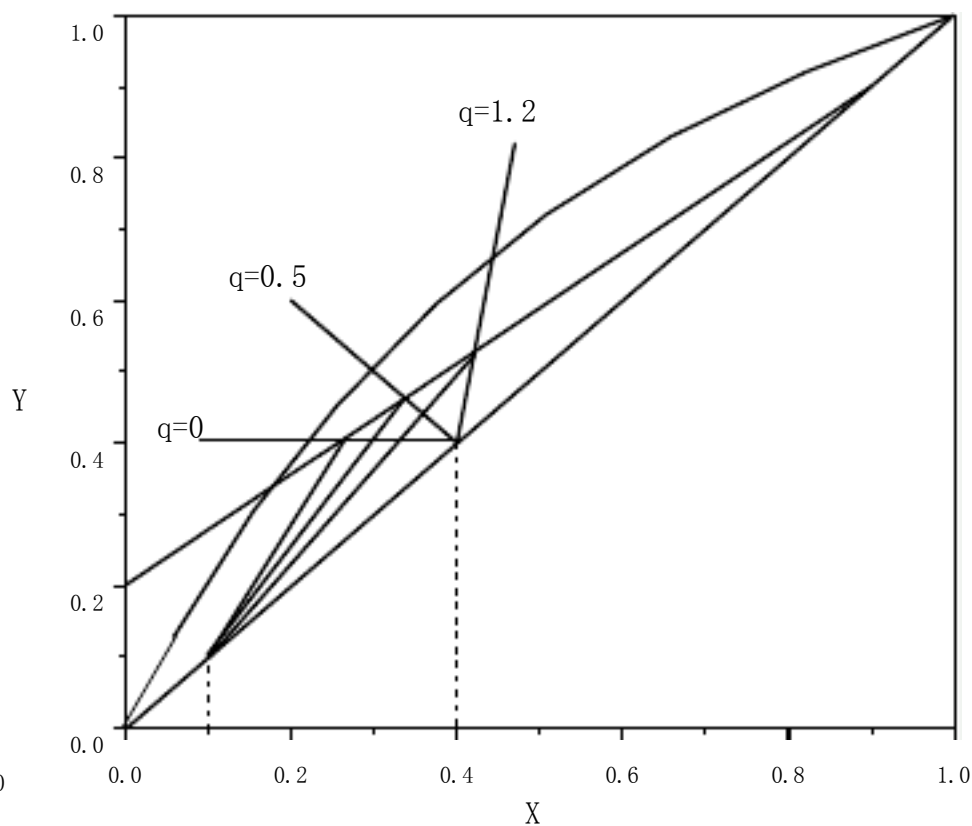
第三块板为进料板，理论板数为 10 块。

(2) 图解法

交替在相平衡方程和精馏段操作线方程之间作梯级，至 x < x_F 后，交替在相平衡方程和提馏



习题 9 附图



习题 10 附图

段操作线方程作梯级至 $x < x_w$ 。

10. 在一常压连续精馏塔中分离苯-甲苯混合液。已知原料液中含苯 0.4(摩尔分率,下同),要求塔顶产品组成含苯 0.90,塔釜残液组成含苯 0.1,操作回流比为 3.5,试绘出下列进料状况下的精馏段、提馏段操作线方程。(1) $q=1.2$; (2) 气液混合进料,汽化率为 0.5; (3) 饱和蒸汽进料。

解: 精馏段操作线方程:

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1} = \frac{3.5}{3.5+1}x_n + \frac{0.90}{3.5+1} = 0.778x_n + 0.20$$

(1) $q = 1.2$

$$y = \frac{q}{q-1}x + \frac{x_F}{q-1} = \frac{1.2}{1.2-1}x + \frac{0.4}{1.2-1} = 6x + 2$$

(2) 汽液混合进料,汽化率为 0.5

$$q = 0.5$$

$$y = \frac{q}{q-1}x + \frac{x_F}{q-1} = \frac{0.5}{0.5-1}x + \frac{0.4}{0.5-1} = -x + 0.8$$

(3) $q = 0, y = x_F$

在 x-y 图上分别作出上述三种情况下的精馏段操作线和 q 线，由其交点作出提馏段操作线。

11. 在连续精馏塔中分离含甲醇 0.3 (摩尔分数, 下同) 的水溶液, 以便得到含甲醇 0.95 的馏出液和 0.03 的釜液。操作压力为常压, 回流比为 1.0, 泡点进料, 试求: (1) 理论板数及加料板位置; (2) 从第二块理论板上升的蒸气组成。

习题 3-11附表 常压下甲醇-水的平衡数据

温度/°C	液相中甲醇的 摩尔百分数	气相中甲醇的 摩尔百分数	温度/°C	液相中甲醇的 摩尔百分数	气相中甲醇的 摩尔百分数
100	0.0	0.0	75.3	40.0	72.9
96.4	2.0	13.4	73.1	50.0	77.9
93.5	4.0	23.4	71.2	60.0	82.5
91.2	6.0	30.4	69.3	70.0	87.0
89.3	8.0	36.5	67.6	80.0	91.5
87.7	10.	41.8	66.0	90.0	95.8
84.4	15.0	51.7	65.0	95.0	97.9
81.7	20.0	57.9	64.5	100	100.0
78.0	30.0	66.5			

解: 由 $x=x_D=0.95, y=y_D=0.95$ 在 x-y 图上

得 a 点

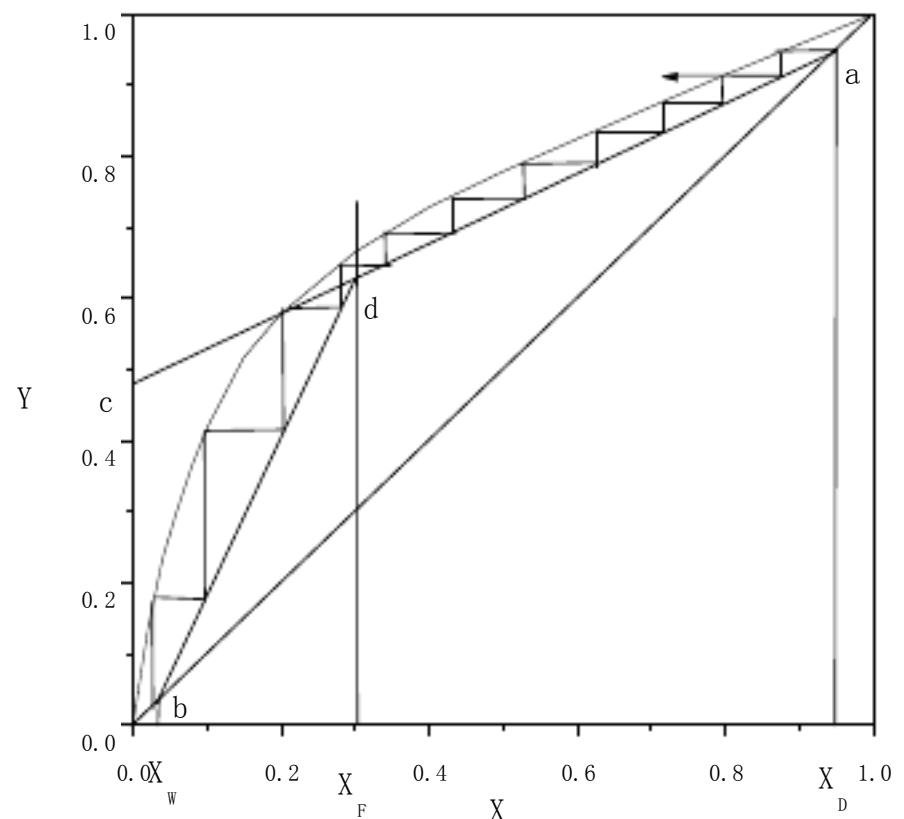
精馏段截距: $\frac{x_D}{R+1} = \frac{0.95}{1+1} = 0.475$ 在

x-y 图上得 c 点

过 $x=x_F=0.3$ 作垂直线与精馏段操作线交与 d 点;

过 $x=x_W=0.03$ 作垂直线与对角线交于 b 点, 连接 db 为提馏段操作线。

在平衡线与操作线之间作梯级, 塔内理论板数为 10 块, 第 11 块为塔釜, 第 8



块为加料板。

(2) 由习题 11 附图可得, 从第二块理论板上升的蒸汽组成为 0.92

12. 用一连续精馏塔分离苯-甲苯混合液, 原料中含苯 0.4 (摩尔分数, 下同), 要求塔顶馏出液中含苯 0.97, 釜液中含苯 0.02。若原料液温度为 25°C, 求进料热状况参数 q 为多少? 若原料为气液混合物, 气液比为 3:4, q 值为多少?

习题 3-12附表 常压下苯-甲苯的平衡数据

温度/°C	液相中苯的摩尔百分数	气相中苯的摩尔百分数	温度/°C	液相中苯的摩尔百分数	气相中苯的摩尔百分数
80.2	1	1	100	0.256067	0.452824
84.1	0.822807	0.922359	104	0.155186	0.305256
88.0	0.658917	0.829677	108	0.058149	0.126931
92.0	0.50778	0.720202	110.4	0	0
96.0	0.376028	0.595677			

解: 由附图所示的苯-甲苯 t-x-y 图得泡点温度为 94.5°C。

查得: $r_{\text{苯}} = r_{\text{甲苯}} = 31018.3 \text{ kJ/kmol}$,

平均温度 $t = (25 + 94.5) / 2 = 59.75^\circ\text{C}$

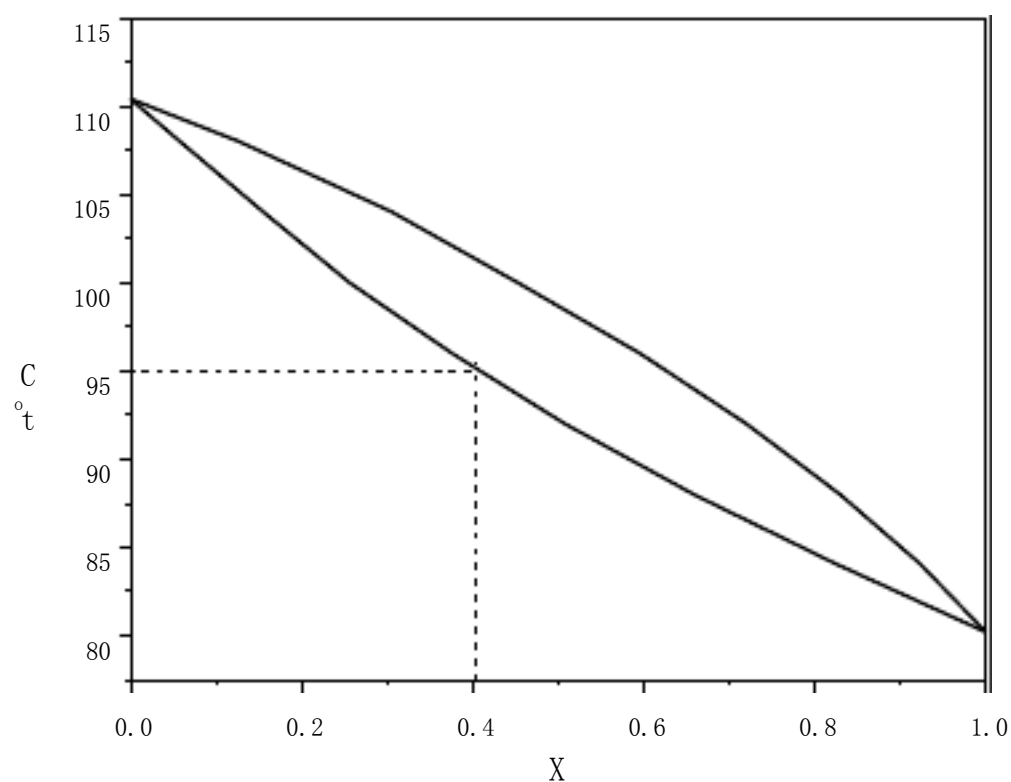
苯的比热容: $c_p = 143.7 \text{ kJ/kmol K}$

甲苯的比热容: $c_p = 169.5 \text{ kJ/kmol K}$

原料液的平均比热容: $c_{pm} = 143.7 \times 0.44 + 169.5 \times 0.56 = 159.18 \text{ kJ/(kmol K)}$

$$q = \frac{H_f}{H} = \frac{h_f}{h} + \frac{r}{r} \frac{c_p (t_b - t)}{r} = \frac{31018.3 + 159.18 (93.5 - 25)}{31018.3} = 1.35$$

汽液混合物: $q = \frac{4}{3 + 4} = 0.57$



习题 12 附图

13. 续习题 11, 若原料液温度为 40°C , 其他条件相同, 求所需理论板数及加料板位置。并与习题 11 结果比较。

解: 由习题 11 所示的甲醇-水平衡数据得泡点温度为 78°C 。

查得: $r_{\text{甲醇}} = 36167 \text{ kJ/kmol}$, $r_{\text{谁}} = 41592 \text{ kJ/kmol}$,

原料液平均汽化热: $r_m = 36167 \cdot 0.3 + 41592 \cdot 0.7 = 39965 \text{ kJ/kmol}$

平均温度 $t = (40 + 78) / 2 = 59^{\circ}\text{C}$

水的比热容: $c_p = 4.187 \text{ kJ/kg K}$ 75.37 kJ/kmol K

甲醇的比热容: $c_p = 85.75 \text{ kJ/kmol K}$

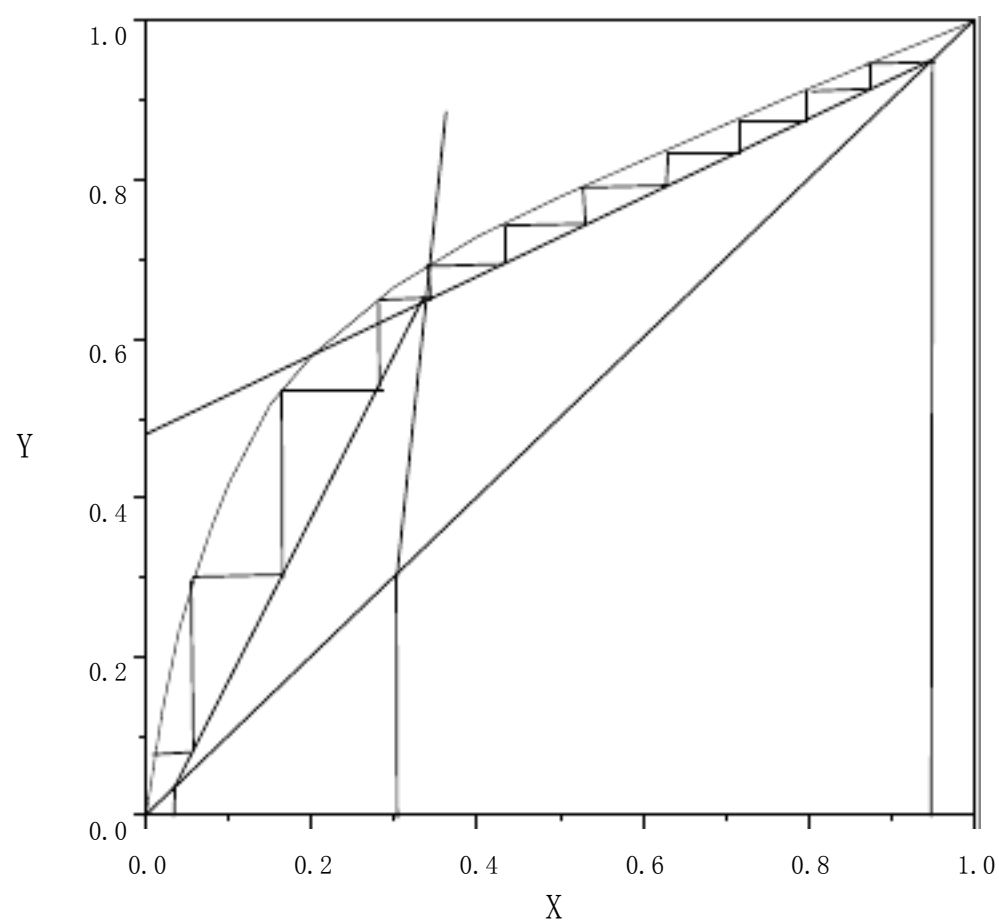
原料液的平均比热容: $c_{pm} = 85.75 \cdot 0.3 + 75.37 \cdot 0.7 = 78.48 \text{ kJ/kmol K}$

$$q = \frac{H_f}{H} = \frac{r + c_p(t - t_b)}{r} = \frac{39965 + 78.48(78 - 40)}{39965} = 1.075$$

q 线方程:

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1} = \frac{1.075}{1.075-1}x - \frac{0.3}{1.075-1} = 14.33x - 4.0$$

作 q 线, 由 q 线与精馏段操作线的交点做提馏段操作线。在平衡线与操作线之间作梯级, 塔内理论板数为 10 块, 第 11 块为塔釜, 第 7 块为加料板。比习题 11 的塔板数略有减少。)



习题 13 附图

14. 用一连续操作的精馏塔分离丙烯-丙烷混合液，进料含丙烯 0.8（摩尔分数，下同），常压操作，泡点进料，要使塔顶产品含丙烯 0.95，塔釜产品含丙烷 0.95，物系的相对挥发度为 1.16，试计算：（1）最小回流比；（2）所需的最少理论塔板数。

解：（1）泡点进料， $q=1$ 则 $x_q=x_F=0.8$

$$y_q = \frac{x_q}{1 - (1 - \alpha) \frac{x_q}{x_q}} = \frac{1.16 \cdot 0.8}{1 - 0.16 \cdot \frac{0.8}{0.8}} = 0.823$$

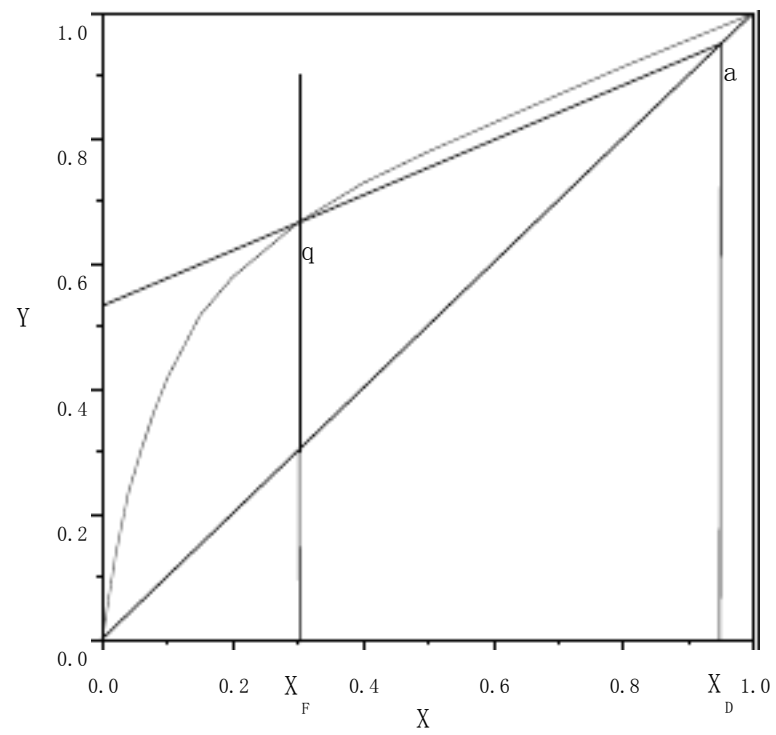
$$R_{\min} = \frac{x_D}{y_q} \frac{y_q}{x_q} = \frac{0.95}{0.823} \frac{0.823}{0.8} = 5.52$$

（2）全回流时的最小理论板数

$$N_{\min} = \frac{\lg\left[\left(\frac{x_D}{1-x_D}\right)\left(\frac{1-x_W}{x_W}\right)\right]}{\lg \alpha} = \frac{\lg\left[\left(\frac{0.95}{0.05}\right)\left(\frac{0.95}{0.05}\right)\right]}{\lg 1.16} = 38.7 \text{ (不包括再沸器)}$$

15. 求习题 11 的最小回流比 R_{\min} 。

解：



习题 15 附图

方法一：

由 x_F 作 q 线与平衡线相交与 q 点，连接 aq 延长至纵轴，得截距：

$$\frac{x_D}{R_{\min} + 1} = 0.53 \quad R_{\min} = 0.79$$

方法二：

由图读出 q 点坐标 $(0.3, 0.67)$ ，带入 R_{\min} 的计算式

$$R_{\min} = \frac{x_D}{y_q} \frac{y_q}{x_q} = \frac{0.95}{0.67} \frac{0.67}{0.3} = 0.76$$

16. 求习题 12 的最小回流比 R_{\min} 。

解：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/275213343242012004>