

第 1 章 蒸发方案设计

1 设计方案的确

① 一般的加热蒸汽压强在 **0.5~0.8MPa** 范围内,此次选 **600 KPa**。 加热蒸汽的确定需要考虑加热蒸汽温度的上限和下限。被蒸发的溶液有一个最高的蒸发温度,超过此温度蒸发就物料就会变质,破坏和分解,这是确定加热蒸汽压强的一个依据通常所用饱和蒸汽的温度不超过 180°C , 超过时相应的压强就很高,这将增加加热的设备费和操作费。

②冷凝器的操作压强要**>80 KPa**, (真空度), 由于呼市当地大气压为 **100 KPa**, 所以本次选取冷凝器的操作压强为 **20KPa** 进入冷凝器冷凝需消耗大量冷却水, 而且溶液粘度大, 传热差。但对于那些热敏性物料的蒸发, 为充分利用热源还是经常采用。对混合式冷凝器, 其最大的真空度取决于冷凝器内的水温和真空装置的性能。若第一效用较高压强的加热蒸汽, 则末效可采用常压或真空蒸发, 此时末效产生的二次蒸汽具有较高的温度, 可以全部利用。而且各效操作温度高时, 溶液黏度低, 传热好。若一效加热蒸汽压强低, 末效应采用真空操作。此时各效二次蒸汽温度低, 所以此次选取冷凝器的操作压强为 **20KPa**。

③蒸发的类型: 本设计采用**中央循环管式蒸发器** 中央循环管式蒸发器结构紧凑, 制造方便, 操作可靠, 故在工业上应用广泛, 有所谓标准蒸发器。但设备的清洗和检修能保证较大的传热系数, 满足生产工艺的要求; 生产能力大, 能完善分离液沫, 尽量减慢传热面上垢层的生成;

④蒸发效数的确定: 本设计蒸发器效数采用**3 效**. 由于为充分利用热能, 为提高热能利用效率, 生产中一般采用多效蒸发, 但并不是效数越多越好, 效数的选择受经济上和技术上的限制。

经济上的限制是指效数超过一定数时经济上不合算。多效蒸发中，随效数的增加，总蒸发量相同时所需蒸汽量减少，使蒸汽用量减少，使操作费用降低。但随效数增加，设备费成倍增长，而所节省的蒸汽量愈来愈少，所以无限制增加效数已无实际意义，最适宜的效数应使设备费和操作费二者之和为最小。技术上的限制是指效数过多，蒸发操作难于进行。一般工业中加热蒸汽压强和冷凝器操作压强都有一定限制，因此在一定操作条件下，蒸发器的理论总温度差为一定值。在效数增加时，由于各效温差损失之和的增加，使总有效温差减小，分配到各效的有效温差小到无法保证各效发生正常的沸腾状态时，蒸发操作将无法进行下去。综合考虑经济上和技术上的限制，选择三效。

⑤蒸发流程的确定 本设计蒸发流程采用并流模式。并流法又称顺流法，其料液和蒸汽呈并流。并流蒸发的优点有：

(1) 溶液从压力和温度较高的蒸发器流向压力和温度较低的蒸发器，料液能自动从前效进入后效，可省去输料泵；

(2) 前效的温度高于后效，料液从前效进入后效时呈过热状态，可以产生自蒸发；

(3) 操作简便，工艺条件稳定。缺点：随着溶液从前一效逐效流向后面各效，其组成增高，而温度反而降低，致使溶液的黏度增加，蒸发器的传热系数下降，所以对于组成增加粘度变化很大的料液不宜采用并流。

逆流法溶液溶液的流向与蒸汽的流向相反，即加热蒸汽从第一效加入，料液从最后一效加入。逆流法的优点是：随溶液的组成沿着流动方向的增高，其温度也随之升高。因此因组成增高使黏度增大的影响大致与因温度升高使黏度降低的影响相抵，故各效溶液的黏度较为接近，各效的传热系数也大致相同。

⑥进料温度的确定 采用沸点进料。采用沸点进料，操作简单，计算简便。这样也会降低操作成本。

多效蒸发的操作流程根据加热蒸汽与料液的流向不同，可分为并流、逆流、平流及错流四种。

并流法又称顺流法，其料液和蒸汽呈并流。并流蒸发的优点有：

(1) 溶液从压力和温度较高的蒸发器流向压力和温度较低的蒸发器，料液能自动从前效进入后效，可省去输料泵；

(2) 前效的温度高于后效，料液从前效进入后效时呈过渡热状态，可以产生自蒸发；

第 2 章 蒸发过程工艺计算

计算的基本依据是物料衡算，热量衡算，传热速率方程三个基本关系。计算常采用逐次逼近的方法，其计算步骤如下：

- (1) 假设冷凝水在饱和温度下排出，无额外蒸汽引出。
- (2) 根据生产经验算据，初步估计各效蒸发量和各效完成液的浓度；
- (3) 根据经验假设蒸汽通过各效的压强降相等，估算各效溶液沸点和有效总温差；
- (4) 根据蒸发器的焓衡算，求各效的蒸发量和传热量；
- (5) 根据传热速率方程计算各效的传热面积。

若得的各效传热面积不相等则应按下面介绍的方法重新分配有效温度差，重复 (3) ~ (5)，直到所求得的各效传热面积满足要求为止。

2.1 各效蒸发量和完成液组成的估算

本设计的操作条件是：

- (1) NaOH 水溶液处理量 50kt/a ，蒸发前 NaOH 溶液浓度为 10%，温度 30°C 。完成液含 NaOH 浓度为 32%；用三效并流蒸发装置。
- (2) 加热蒸汽压强为 600kPa ，冷凝器的压强为 20kPa 。
- (3) 各效蒸发器的总传热系数： $K_1=1350\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ ， $K_2=1000\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ ， $K_3=400\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ 。

2.1.1 各效蒸发量和完成液浓度的估算：

总 蒸 发 量 :

$$W = F \times \left(1 - \frac{x_0}{x_n} \right)$$

(2-1)

W : 蒸发出的水量， F 原料液流量， x_0 原料液初始浓度， x_n 完成液浓度。

采用三效蒸发： $n=3$

$$F = \frac{50 \times 10^6}{8000} = 6250 \text{ kg/h}$$

$$W = F(1 - x_0 / x_n) = 6250 \times \left(1 - \frac{10\%}{32\%}\right) = 4300 \text{ kg/h}$$

假设各效蒸发量相等, 即 $W_1 : W_2 : W_3 = 1 : 1 : 1$

$$W_i = \frac{W}{n} = 4300/3 = 1430 \text{ kg/h}$$

因而初估各效完成液的浓度为:

$$x_i = \frac{Fx_0}{F - W_1 - W_2 - \dots - W_i} \quad (2-2)$$

$$\text{第 I 效完成液的浓度: } x_1 = \frac{Fx_0}{F - W_1} = \frac{6250 \times 0.10}{6250 - 1430} = 0.13 = 13\% ;$$

$$\text{第 II 效完成液的浓度: } x_2 = \frac{Fx_0}{F - W_1 - W_2} = \frac{6250 \times 0.10}{6250 - 1430 \times 2} = 0.18 = 18\%$$

$$\text{第 III 效完成液的浓度: } x_3 = 32\%。$$

2.1.2 估算各效二次蒸汽温度 T'_i

为求各效溶液沸点,需假定压强。一般加热蒸汽压强 p_i 和冷凝器操作压强 p'_n 是已知的, 其他各效二次蒸汽的压强可按各效间蒸汽压强降相等的假设来确定, 即各效加热蒸汽压强与二次蒸汽压强之差 Δp 为:

$$\Delta p = \frac{p_1 - p'_n}{n} \quad (2-3)$$

故第 i 效二次蒸汽压强:

$$p'_i = p_1 - i\Delta p \quad (2-4)$$

$$\Delta p = \frac{600 - 20}{3} \text{ kPa} = 193 \text{ kPa} ;$$

$$p'_1 = p_1 - \Delta p = 600 - 193 \text{ kPa} = 407 \text{ kPa} ;$$

$$p'_2 = p_1 - 2\Delta p = 600 - 2 \times 193 \text{ kPa} = 214 \text{ kPa} ;$$

$$p'_3 = p_1 - 3\Delta p = 600 - 3 \times 190 \text{ kPa} = 21 \text{ kPa}。$$

将各效二次蒸汽的压力、附录中查到相应的二次蒸汽的温度和二次蒸汽的汽化潜热列于下表中:

各效二次蒸汽的压力、二次蒸汽的温度和二次蒸汽的汽化潜热^[1]如下表

效次	I	II	III
二次蒸汽的压力 p'_i , kPa	407	214	21
二次蒸汽的温度 T' , $^{\circ}C$ (即下一效蒸汽的温度)	144	122.16	61.2
二次蒸汽的汽化潜热 r'_i , kJ/kg (即 下一效加热蒸汽的汽化潜热)	2136.7	2199.2	2859.2

2.1.3 计算各效传热温度差 Δt_i

各效传热温度差计算式为： $\Delta t_i = T'_{i-1} - t_i$ ， $t_i = T'_i + \Delta_i$
(2-5)

式中 T'_{i-1} 为前一效二次蒸汽温度（即第 i 效加热蒸汽温度）， t_i 为第 i 效溶液沸点， T'_i 为第 i 效二次蒸汽温度， Δ_i 为第 i 效温差损失。

各效温差损失：

$$\Delta_i = \Delta'_i + \Delta''_i + \Delta'''_i \quad (2-6)$$

(1) 由于溶液中含有不挥发溶质所引起的沸点升高 Δ'_i ： $\Delta'_i = t_{bi} - T'_i$

式中： T'_i 为与溶液压力相等时水的沸点， t_{bi} 为第 i 效溶液的沸点。

(2) 由于液柱静压头引起的沸点升高 Δ''_i

某些蒸发器操作时，器内需维持一定液位，因而溶液内部压强大于液面压强，致使实际沸点较液面为高，两者之差即为因溶液静压强一起的温差损失 Δ''_i 。

为简便计算溶液内部沸点升高按液面与底层的平均压强 p_m 下水的沸点和二次蒸汽压强 p' 下水的沸点差估算。

平均压强按静力学方程式计算： $p_m = p' + \frac{\rho g L}{2}$ ，则：

$$\Delta''_i = t_{pm} - t'_p \quad (2-7)$$

式中： p_m 为蒸发器中液面与底层的平均压强， kPa ；

t_{pm} 为对应 p_m 下水的沸点， $^{\circ}C$ ；

p' 为二次蒸汽（即液面处）的压强， kPa ；

t'_p 为对应 p' 下水的沸点， $^{\circ}C$ ；

ρ 为溶液的平均密度， kg/m^3 ；

L 为液层高度, m 。

(3) 由于管道流动阻力产生的沸点升高 Δ'''

在多数蒸发中, 各效二次蒸汽流到下一效加热室时, 由于管道阻力使其压强降低, 致使蒸汽的饱和温度相应降低, 由此引起的温差损失即为 Δ''' 。根据经验, 一般取 $\Delta'''=1^\circ\text{C}$ 。

2.2 计算过程

2.2.1 各效二次蒸汽温度 T_i'

查 NaOH 水溶液浓度和密度表得各效蒸发器中溶液的平均密度见下表:

表 2-2 各效二次蒸发器中溶液的平均密度^[2]

效次	I	II	III
溶液的浓度	13%	18%	32%
溶液的密度 $\times 10^3 \text{kg/m}^3$	1.014	1.060	1.239

对于 NaOH 水溶液可采用杜林经验公式计算 Δ'_i :

$$\Delta'_i = t'_A - t'_w = t'_w (k-1) + m = 0.142 x_i t'_w + 150.75 x_i^2 - 2.71 x_i \quad (2-8)$$

x_i —各效完成液浓度。

所以得出:

$$\Delta'_1 = t'_A - t'_w = t'_w (k-1) + m = 0.142 x_1 t'_w + 150.75 x_1^2 -$$

$$2.71 x_1 = 0.142 \times 13\% \times 144 + 150.75 \times 13\% \times 13\% - 2.71 \times 13\% = 4.85^\circ\text{C};$$

同理:

$$\Delta'_2 = t'_A - t'_w = t'_w (k-1) + m = 0.142 x_2 t'_w + 150.75 x_2^2 -$$

$$2.71 x_2 = 0.142 \times 18\% \times 122.16 + 150.75 \times 18\% \times 18\% - 2.71 \times 18\% = 7.5685^\circ\text{C},$$

$$\Delta'_3 = t'_A - t'_w = t'_w (k-1) + m = 0.142 x_3 t'_w + 150.75 x_3^2 -$$

$$2.71 x_3 = 0.142 \times 32\% \times 122.16 + 150.75 \times 32\% \times 32\% - 2.71 \times 32\% = 17.3236^\circ\text{C}。$$

计算由于蒸发器中溶液静压强引起的温度差损失 Δ''_i

$$\Delta''_i = t_{pmi} - t'_p, \quad p_m = p'_i + \frac{\rho_i g L}{2}$$

(2-9)

查表得出在各个状态下溶液的平均密度为 $\rho_1 = 1.014 \text{g/cm}^3$, $\rho_2 = 1.060 \text{g/cm}^3$, $\rho_3 = 1.239 \text{g/cm}^3$ 。

$$\text{得出: } p_{m1} = p'_1 + \frac{\rho_1 g L}{2} = 407 + \frac{1.014 \times 9.81 \times 2.5}{2} \text{kPa} = 419 \text{kPa};$$

$$p_{m2} = p'_2 + \frac{\rho_2 g L}{2} = 214 + \frac{1.060 \times 9.81 \times 2.5}{2} \text{ kPa} = 227 \text{ kPa};$$

$$p_{m3} = p'_3 + \frac{\rho_3 g L}{2} = 21 + \frac{1.239 \times 9.81 \times 2.5}{2} \text{ kPa} = 36 \text{ kPa}。$$

对应的 $t_{pm1} = 145^\circ\text{C}$, $t_{pm2} = 124^\circ\text{C}$, $t_{pm3} = 67^\circ\text{C}$

所以 $\Delta''_1 = t_{pm1} - t'_{p1} = 145 - 144 = 1^\circ\text{C}$, $\Delta''_2 = t_{pm2} - t'_{p2} = 124 - 122 = 2^\circ\text{C}$,

$\Delta''_3 = t_{pm3} - t'_{p3} = 67 - 61.2 = 5.81^\circ\text{C}$ 。

故 $\Delta_1 = \Delta'_1 + \Delta''_1 + \Delta'''_1 = 4.85 + 1 + 1 = 6.85^\circ\text{C}$;

$\Delta_2 = \Delta'_2 + \Delta''_2 + \Delta'''_2 = 7.57 + 2 + 1 = 10.57^\circ\text{C}$;

$\Delta_3 = \Delta'_3 + \Delta''_3 + \Delta'''_3 = 17.32 + 5.81 + 1 = 24.13^\circ\text{C}$ 。

2.2.2 计算传热温度差 Δt_i

各效传热温度差计算式为

$$\Delta t_i = T'_{i-1} - t_i, \quad t_i = T'_i + \Delta_i$$

(2-10)

式中: T'_i —第 i 效二次蒸汽的温度;

t_i —第 i 效溶液的沸点。

$t_1 = T'_1 + \Delta_1 = 144 + 6.85 = 150.85^\circ\text{C}$, $\Delta t_1 = T - t_1 = 158.7 - 150.85 = 7.85^\circ\text{C}$;

$^\circ\text{C}$, $\Delta t_2 = T_1 - t_2 = 144 - 132.73 = 11.27^\circ\text{C}$;

$t_2 = T'_2 + \Delta_2 = 122 + 10.57 = 132.73^\circ\text{C}$, $t_3 = T'_3 + \Delta_3 = 61.2 + 24.13 = 85.33^\circ\text{C}$,

$\Delta t_3 = T_2 - t_3 = 123 - 91.39 = 36.83^\circ\text{C}$

将各效溶液的沸点列于下表中:

表 2-3 各效溶液沸点

效次	I	II	III
溶液 (温度) 沸点, $^\circ\text{C}$	150.85	132.73	85.33

2.2.3 求各效蒸汽用量及各效蒸发量

考虑溶液的稀释热,引入热利用系数 η_i

$$\eta_i = 0.98 - 0.7\Delta x \quad (2-11)$$

第Ⅰ效:

因沸点进料, 故 $t_0 = t_1$

热利用系数 $\eta_1 = 0.98 - 0.7\Delta x_1 = 0.98 - 0.7(13\% - 10\%) = 0.959$

查水蒸气表得: 压力为 600KPa 的加热蒸汽的汽化热 $r_1 = 2091.1 \text{ kJ/kg}$, $t_1 = 150.85^\circ\text{C}$ 的二次蒸汽的汽化热 $r'_1 = 2136.7 \text{ kJ/kg}$ 。

$$\text{则 } W_1 = \eta_1 D_1 \frac{r_1}{r'_1} = 0.959 \times \frac{2091.1}{2136.7} D_1 = 0.94 D_1 \quad (1)$$

第Ⅱ效:

引入热利用系数 η_i :

热利用系数 $\eta_2 = 0.98 - 0.7\Delta x_2 = 0.98 - 0.7(18\% - 13\%) = 0.945$

第Ⅱ效中溶液沸点 $t_2 = 132.73^\circ\text{C}$ 的二次蒸汽的汽化热 $r'_2 = 2199.22 \text{ kJ/kg}$, 无额外蒸汽引出, $r_2 \approx r'_1 = 2136.7 \text{ kJ/kg}$, 已知 $c_{p0} = 3.7 \text{ kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$, $c_{pw} = 4.187 \text{ kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ 。

$$\begin{aligned} \text{则: } W_2 &= \eta_2 [W_1 \frac{r_2}{r'_2} + (Fc_{p0} - W_1 c_{pw}) \frac{t_1 - t_2}{r'_2}] \\ &= 0.945 [W_1 \frac{2136.7}{2199.2} + (6250 \times 3.7 - 4.187 W_1) \frac{150.85 - 132.73}{2199.2}] \\ &= 0.937 W_1 + 183 \end{aligned} \quad (2)$$

第Ⅲ效:

热利用系数 $\eta_3 = 0.98 - 0.7\Delta x_3 = 0.98 - 0.7(32\% - 18\%) = 0.882$

第Ⅲ效中溶液沸点 $t_3 = 85.33^\circ\text{C}$ 的二次蒸汽的汽化热 $r'_3 = 2859.2 \text{ kJ/kg}$, 无额外蒸汽引出, $r_3 \approx r'_2 = 2199.22 \text{ kJ/kg}$, 则

$$\begin{aligned} W_3 &= \eta_3 [W_2 \frac{r_3}{r'_3} + (Fc_{p0} - W_1 c_{pw} - W_2 c_{pw}) \frac{t_2 - t_3}{r'_3}] \\ &= 0.882 [W_2 \frac{2199.2}{2859.2} + (6250 \times 3.7 - 4.187 W_1 - 4.187 W_2) \frac{132.73 - 85.33}{2859.2}] \\ &= 0.6169 W_2 - 0.06 W_1 + 338 \end{aligned} \quad (3)$$

$W_1 + W_2 + W_3 = W = 4300$, 联立①②③得出:

$D_1 = 1553.8 \text{ kg/h}$, $W_1 = 1460.6 \text{ kg/h}$, $W_2 = 1551.58 \text{ kg/h}$, $W_3 = 1207.535 \text{ kg/h}$ 。

则各效传热量分别为:

$$Q_1 = D_1 r_1 = 1553.8 \times 2091.1 = 3.249 \times 10^9 \text{ J/h}$$

$$Q_2 = D_2 r_2 = W_1 r_1' = 2136.7 \times 1460.6 = 3.12 \times 10^9 \text{ J/h}$$

$$Q_3 = D_3 r_3 = W_2 r_2' = 1551.58 \times 2199.22 = 3.412 \times 10^9 \text{ J/h}$$

2.2.4 计算传热面积

$$\Delta t_1 = T_1 - t_1 = 158.7 - 150.85 = 7.85^\circ\text{C}$$

$$\therefore S_1 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1} = \frac{3.249 \times 10^9}{1350 \times 7.85 \times 3600} = 76.645 \text{ m}^2$$

$$\Delta t_2 = T_2 - t_2 = 144 - 132.73 = 11.27^\circ\text{C}$$

$$\therefore S_2 = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2} = \frac{3.12 \times 10^9}{1000 \times 11.27 \times 3600} = 76.9 \text{ m}^2$$

$$\Delta t_3 = T_3 - t_3 = 122.16 - 85.33 = 36.83^\circ\text{C}$$

$$\therefore S_3 = \frac{Q_3}{K_3 \Delta t_3} = \frac{3.412 \times 10^9}{400 \times 36.83 \times 3600} = 42.86 \text{ m}^2$$

$(S_3 - S_2)/S_3 = 76.9 - 42.86/76.9 = 0.44 > 4\%$ ，误差过大，所以调整各效的有效温度差，重复上述计算过程。

2.3 重新计算过程

2.3.1 有效温度差的重新分配

$$S = \frac{S_1 \Delta t_1 + S_2 \Delta t_2 + S_3 \Delta t_3}{\Sigma \Delta t_m} = \frac{76.645 \times 7.85 + 76.9 \times 11.27 + 42.86 \times 36.83}{7.85 + 11.27 + 36.83} = 54.6 \text{ m}^2$$

$$\Delta t_1' = \frac{S_1}{S} \Delta t_1 = 76.645 \times 7.85 / 54.6 = 11^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2' = \frac{S_2}{S} \Delta t_2 = \frac{76.9}{54.6} \times 11.27 = 16^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_3' = \frac{S_3}{S} \Delta t_3 = \frac{42.86}{54.6} \times 36.83 = 29^\circ\text{C}$$

重复上述计算过程：

各效蒸发量： $W_1 = 1460.6 \text{ kg/h}$ $W_2 = 1551.6 \text{ kg/h}$ $W_3 = 1207.5 \text{ kg/h}$

由于要完成指定的任务所以 x_3 不变，所以有以下的计算过程:

$$x_1 = \frac{Fx_0}{F - W_1} = \frac{6250 \times 10\%}{6250 - 1460.6} = 12\%$$

$$x_2 = \frac{Fx_0}{F - W_1 - W_2} = \frac{6250 \times 10\%}{6250 - 1460.6 - 1551.82} = 18\%$$

$$x_3 = 32\%$$

2.3.2 重新求算各效溶液沸点

由于第三效溶液的沸点：冷凝器的压力和完成液的组成均不变所以有， $\Delta_3 =$

$$\Delta'_3 + \Delta''_3 + \Delta''' = 17.3236 + 5.81 + 1 = 24.13^\circ\text{C}$$

$$T'_2 = t_3 + \Delta t'_3 = 85.33 + 29 = 114.33^\circ\text{C}$$

第二效溶液的沸点:

$$T'_2 = 114.33^\circ\text{C} \text{ 查表可知}$$

$$p'_2 = 164 \text{ kpa} \quad r'_2 = 2221.6 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta'_2 = (k-1) t'_w + m$$

$$K = 1 + 0.142 \times 0.18 = 1.02556$$

$$M = 150.75 \times 0.18 \times 0.18 - 2.71 \times 0.18 = 4.3965$$

$$\Delta'_2 = 0.02556 \times 114.3 + 4.3965 = 7.32^\circ\text{C}$$

$$\Delta''_2 = t_{pm} - t'_p$$

$$p_{m2} = p'_2 + \frac{\rho_2 g L}{2} = 164 + 1.060 \times 9.81 \times 2.5 / 2 = 177 \text{ kpa}$$

$$t_{pm} = 116.06^\circ\text{C} \quad t'_p = 114.3^\circ\text{C}$$

$$\Delta''_2 = 116.06 - 114.3 = 1.76^\circ\text{C}$$

$$\Delta'''_2 = 1^\circ\text{C}$$

$$t_2 = T'_2 + \Delta_2 = 114.3 + 10.08 = 124.38^\circ\text{C}$$

第二效加热蒸汽的温度：

$$T_2 = T'_1 = t_2 + \Delta t'_2 = 124.38 + 16 = 140.38^\circ\text{C}$$

由 $T'_1 = 140.38^\circ\text{C}$ 查表 $p'_1 = 361.47 \text{ kpa}$ $r'_1 = 2148.7 \text{ kj/kg}$

$$\Delta'_1 = t'_A - t'_w = t'_w (k-1) + m = (0.142 \times 0.12) \times 140.38 + 150.75 \times 0.12 \times 0.12 - 2.71 \times 0.12 = 4.2^\circ\text{C}$$

$$\Delta''_1 = t_{pm1} - t'_{p1}$$

$$p_{m1} = p'_1 + \frac{\rho_1 g L}{2} = 361.47 + 1.014 \times 9.81 \times 2.5 / 2 = 374 \text{ kpa}$$

查表 $t_{pm1} = 141^\circ\text{C}$

$$\Delta''_1 = t_{pm1} - t'_{p1} = 141 - 140.38 = 0.628^\circ\text{C}$$

$$\Delta'''_1 = 1^\circ\text{C}$$

$$\Delta_1 = \Delta'_1 + \Delta''_1 + \Delta'''_1 = 4.24 + 0.628 + 1 = 5.868^\circ\text{C}$$

则第一效液相沸点： $t_1 = T'_1 + \Delta_1 = 140.38 + 5.868 = 146.248^\circ\text{C}$

$$\Delta t_1 = T_1 - t_1 = 158.7 - 146.248 = 12.452^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = T_2 - t_2 = 140.38 - 124.38 = 16^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_3 = T_3 - t_3 = 114.3 - 85.33 = 28.97^\circ\text{C}$$

核算 W_i

$$\text{热利用系数 } \eta_1 = 0.98 - 0.7 \Delta x_1 = 0.98 - 0.7 (12\% - 10\%) = 0.966$$

$$W_1 = \eta_1 D_1 \frac{r_1}{r'_1} = 0.966 \times D_1 \times 2091.1 / 2148.7 = 0.94 D_1$$

$$\text{热利用系数 } \eta_2 = 0.98 - 0.7 \Delta x_2 = 0.98 - 0.7 (18\% - 13\%) = 0.945$$

$$W_2 = \eta_2 [W_1 \frac{r_2}{r'_2} + (Fc_{p0} - W_1 c_{pw}) \frac{t_1 - t_2}{r'_2}] = 0.938 [W_1 \frac{2148.7}{2221.6} + (6250 \times 3.7 - 4.187$$

$$W_1) \frac{21.868}{2221.6}]$$

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/075324232111012004>