

# 蒸發裝置的原理

# 單元學習內容

- 蒸發的原理
- 蒸發溶液的特性
- 蒸發罐的評估
- 蒸發裝置的操作與維護
- 蒸發的質量均衡

# 蒸發的原理--1

- 利用加熱的方式使溶液達到沸騰的狀態，再將溶劑變成蒸氣趕走的操作，稱為**蒸發**。
- 蒸發的目的：濃縮溶液

# 蒸發的原理--2

## ■ 蒸發的要素

### ❖ 熱源的供應

- ★ 利用輻射供應熱

- ★ 由熱表面傳送熱

### ❖ 不斷的移走溶劑

- ★ 擴散

- ★ 冷凝

	相同處	相異處1	相異處2
蒸發	利用 <b>加熱</b> 的方式來分離液體混合物	殘餘物是液體	溶質為非揮發性為主，蒸氣為單成分蒸氣
乾燥		殘餘物是固體	—————
蒸餾		—————	溶質及溶劑皆為揮發性，其蒸氣為多成分蒸氣混合物

# 蒸發溶液的特性

- 沸點上升
- 密度加大
- 黏度增加
- 溫度的敏感性
- 泡沫的產生
- 結垢的產生
- 結晶的析出

# 沸點上升--1

- 溶液的沸點隨溶液的濃度增加而增加。
- 壓力增加時，溶劑的沸點也會隨著增加，其相對應的溶液的沸點也會增加。

# 沸點上升--2

## ■ 杜林 (Duhring) 法則

溶液的沸點隨濃度的上升而上升，且隨溶質沸點的上升而直線上升。

# 密度加大

- 溶液的濃度變大時，因溶液中的溶質增加，其溶液的密度也會增加。

# 黏度增加

- 溶液的濃度增加，其黏度亦會隨之增加。
- 溶液的黏度增加時，會使溶液的對流效果降低，其傳熱效率也會下降。
- 對高黏度液體的蒸發，為增加溶液產生激烈擾流，宜採用強制循環。

# 溫度的敏感性

- 對溫度敏感的物質(如食品及醫藥)，在高溫或長時間加熱會分解，所以需採用真空蒸發法來降低沸騰溫度。
- 改進對流方式，以提高加熱器的傳熱速率，來縮短加熱時間。

# 泡沫的產生

- 有些溶液在蒸發的過程中會產生泡沫，但這些泡沫會被蒸氣帶走而造成損失。

# 結垢產生

- 有些溶液加熱過程中在加熱表面形成一層鍋垢，而鍋垢會降低傳熱效率。

# 結垢的消除

- 機械處理：用鋼刷刷掉或砂磨機摩擦除垢，但宜避免傷到器壁。
- 藥品處理：添加腐蝕抑制劑溶掉。
- 溶劑如為硬水，則須先軟化。

# 結晶的析出

- 若溶液的溶質很容易析出晶體，將會在蒸發的過程中造成困擾。
- 防止法  
加入過量的溶劑，使原溶液變成不飽和溶液。

# 蒸發罐的評估

- 蒸發能力 (Capacity) :  $V$
- 蒸汽消耗量:  $m_s$   
(Steam consumption)
- 蒸發效率 (Economy) :  $\eta$

# 蒸發能力 (Capacity, V)

- 定義：單位時間蒸發罐所能去除的溶劑重。
- 蒸汽消耗量相同時，蒸發罐的蒸發能力愈大越好。

# 蒸汽消耗量: $m_s$ (Steam consumption)

- 定義：單位時間蒸發罐所消耗蒸汽的量。
- 蒸發能力相同時，蒸汽消耗量愈小愈好。

# 蒸發效率 (Economy, $\eta$ )

- 定義：蒸發能力與蒸汽消耗量的比。
- 單效蒸發時， $\eta < 1$ 。
- 多效蒸發時， $\eta > 1$ ，效數愈多，效率愈大。
- 效數愈多，熱損失愈大。
- 效數愈多，則每一效的沸點上升效應越嚴重，蒸發能力就降低。

# 蒸發裝置的操作與維護

- 蒸發量的控制
- 減少泡沫與霧沫的生成
- 蒸發罐污垢的去除

# 蒸發量的控制

- 蒸發的目的在於得到濃縮溶液。
- 蒸發罐的蒸發量與熱傳送率成正比。
- 影響熱傳送率的因素
  - 熱傳送面積
  - 總包熱傳送係數
  - 溫度差

# 減少泡沫與霧沫的生成

## ■ 防止法

- ❖ 在蒸發器內裝設檔板或霧沫分離器，使泡沫與檔板碰撞破裂而沈降。
- ❖ 在溶液中加入去沫劑，來抑制泡沫的產生。
- ❖ 減少溶液的蒸發量，來增加蒸氣空間，使泡沫有足夠的時間來破滅與沈降。

# 蒸發罐污垢的去除--1

- 蒸發罐產生污垢造成的影響
  - 增加熱傳阻力。
  - 降低蒸發罐的蒸發能力。

# 蒸發罐污垢的去除--2

## ■ 污垢去除的方法

- 水蒸汽法：通入水蒸汽將易溶於水的鹽結晶溶解。
- **pH**控制法：加酸或加鹼來降低蒸發溶液的**pH**值。
- 機械處理法：以人工用鋼刷或磨砂機刮除，因會損害容器表面宜避免。

# 蒸發的質量均衡

## ■ 蒸發罐在穩定狀況下

### ❖ 總物料結算

$$m_f = m_L + m_v$$

### ❖ 溶質的物料結算

$$m_f x_f = m_L x_L + m_v x_v$$

# 質量均衡的範例

- 有一**20%**的氫氧化鈉溶液以**4000kg/h**的流率流入一單效蒸發器，經蒸發後欲得濃度為**50%**的氫氧化鈉，求蒸發掉的水分為多少**kg/h**？

解： **$4000=L+V$**

**$4000 \times 0.2 = L \times 0.5 + V \times 0$**

**$\therefore L = 1600 \text{ kg/h}$**

**$V = 2400 \text{ kg/h}$**

# 蒸發的能量均衡--1

## ■ 單效蒸發在穩定操作且無熱損失時

➤ 蒸氣側的能量均衡

$$\dot{q}_s = \dot{m}_s (H_s - H_c) = \dot{m}_s \lambda_s$$

➤ 溶液側的能量均衡

$$\dot{q} = (\dot{m}_f - \dot{m}) H_v - \dot{m}_f H_f + \dot{m} H$$

➤ 蒸氣冷凝放出的熱量 = 溶液吸收的熱量

$$\dot{q} = \dot{m}_s (H_s - H_c) = (\dot{m}_f - \dot{m}) H_v - \dot{m}_f H_f + \dot{m} H$$

➤ 蒸氣不過熱，且冷凝液不過冷

$$\dot{q} = \dot{m}_s \lambda_s = \dot{m}_v H_v + \dot{m} H - \dot{m}_f H_f = UA(T_s - T)$$

# 蒸發的能量均衡--2

## ■ 溶液的濃縮熱可忽略

➤ 蒸氣冷凝放出的熱量 = 溶液吸收的熱量

$$\begin{aligned} q &= \dot{m}_s C_{pg} (T_{fi} - T_s) + \dot{m}_s \lambda_s + \dot{m}_s C_{pl} (T_s - T_{fo}) \\ &= \dot{m}_v h_v + \dot{m}_f C_{pf} (T - T_f) = UA(T_s - T) \end{aligned}$$

➤ 蒸氣不過熱，且冷凝液不過冷

$$q = \dot{m}_s \lambda_s = \dot{m}_v h_v + \dot{m}_f C_{pf} (T - T_f) = UA(T_s - T)$$

# 能量均衡的計算例題

- 一蒸發裝置欲將  $5400\text{kg/h}$  的  $10\%$  氫氧化鈉溶液 (比焓為  $100\text{KJ/kg}$ ) 濃縮至  $30\%$  氫氧化鈉溶液 (比焓為  $300\text{KJ/kg}$ )，使用  $120^\circ\text{C}$  的蒸汽加熱，其蒸汽的潛熱為  $2090\text{KJ/kg}$  (比焓為  $2600\text{KJ/kg}$ )，若蒸發罐內操作溫度為  $95^\circ\text{C}$ ，總包熱傳送係數為  $7200\text{KJ/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ ，則蒸發罐的熱傳面積為多少  $\text{m}^2$ ? 其蒸發效率又為何?

# 能量均衡的計算解答

$$\text{解: } 5400 \times 0.1 = L \times 0.3 \quad \therefore L = 1800 \text{ Kg/h}$$

$$5400 = 1800 + V \quad \therefore V = 3600 \text{ Kg/h}$$

$$q = 1800 \times 300 + 3600 \times 2600 - 5400 \times 100 \\ = 936 \times 10^4 \text{ KJ/h}$$

$$936 \times 10^4 = 7200 \times A \times (120 - 95)$$

$$\therefore A = 52 \text{ m}^2$$

$$936 \times 10^4 = m_s \times 2090$$

$$\therefore m_s = 4478 \text{ Kg/h}$$

$$\eta = 3600 / 4478 = 0.804$$