

# 蒸發工程及裝備

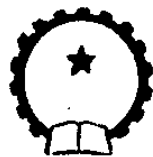
宮崎好文著 裴敬譯



機械工業出版社

# 蒸發工程及裝備

宮崎好文著  
裴敬譯



機械工業出版社

1953

---

## 出版者的話

蒸發操作是化學製造工程最廣泛採用的一項作業，因此蒸發裝置在化學工業中佔很重要的位置，它的性能直接影響化學工廠的生產能力和製品的品質。

本書譯自日文‘化學工學講座’第7卷的‘蒸發’部分。原書著者宮崎好文對於蒸發裝置的製作有多年的經驗，在本書中除闡述蒸發作業的一般理論和裝置之外，更特別着重敘述真空蒸發罐的設計；其中設計部分並經譯者加以補充（第7章第10、11節及第8章第3節）。

本書是化學工程技術人員的參考讀物。

---

本書根據日本化學工學講座第七冊‘濾過・蒸發’（宮崎好文著，共立社1959年第一版）一書‘蒸發’部分譯出

\* \* \*

著者：宮崎好文 譯者：龔 敏 文字編輯：高曉楓 責任校對：應鴻祥

---

1953年1月發排 1953年9月初版 1—5,500冊

書號0164-0.59 31×45<sup>1</sup>/<sub>25</sub> 108千字 63印刷頁 定價10.000元（甲）

機械工業出版社（北京盔甲廠17號）出版

機械工業出版社印刷廠（北京泡子河甲1號）印刷

中國圖書發行公司發行

# 目次

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 第一章 蒸發 .....                                                                                                                        | 1  |
| 1 蒸發——2 蒸發裝置——3 比重計——4 需要的蒸發量——5 溶液的飽和點——6 熱源——7 傳熱                                                                                 |    |
| 第二章 熱的傳導 .....                                                                                                                      | 5  |
| 1 熱的傳達——2 熱的傳導係數——3 導體串連時的熱傳導係數——4 平均溫度差                                                                                            |    |
| 第三章 用高溫液體加熱的蒸發 .....                                                                                                                | 14 |
| 1 用高溫液體加熱蒸發——2 傳熱係數——3 傳熱面積——4 熱液需要量——5 加熱蛇管的直徑及長度                                                                                  |    |
| 第四章 使用蒸汽加熱蛇管的蒸發 .....                                                                                                               | 16 |
| 1 傳熱係數——2 傳熱面積——3 管徑與長度的比率——4 蒸汽的速度                                                                                                 |    |
| 第五章 夾層鍋 .....                                                                                                                       | 20 |
| 1 用夾層鍋蒸發——2 夾層鍋的傳熱量                                                                                                                 |    |
| 第六章 真空中的蒸發 .....                                                                                                                    | 22 |
| 1 真空蒸發裝置——2 真空蒸發的優點——3 真空罐內的熱傳導                                                                                                     |    |
| 第七章 多效蒸發罐 .....                                                                                                                     | 25 |
| 1 多效蒸發的原理——2 熱的交換——3 瑞勞第一原則——4 郝斯布蘭得圖解——5 例題(1)——6 逆流四效蒸發罐——7 例題(2)——8 順流供液與逆流供液——9 剩餘蒸汽的利用——10 斯託讓多效蒸發罐設計法——11 多效罐加熱面積和蒸汽消耗量的迅速估算法 |    |
| 第八章 加壓式蒸發罐 .....                                                                                                                    | 65 |
| 1 加壓式蒸發罐——2 壓縮蒸汽所需的功——3 噴射式壓縮機                                                                                                      |    |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| <b>第九章 標準型真空蒸發罐</b> .....            | 71  |
| 1 標準型真空蒸發罐——2 加熱室——3 加熱室中不凝縮氣體的聚積——  |     |
| 4 加熱室中的蒸汽流動——5 帶沫作用——6 捕汁器——7 蒸發汽管   |     |
| <b>第十章 溶液的循環</b> .....               | 86  |
| 1 溶液的自然循環——2 溶液的強制循環                 |     |
| <b>第十一章 供液方式</b> .....               | 89  |
| 1 供液方式                               |     |
| <b>第十二章 蒸發罐的類型</b> .....             | 94  |
| 1 夾層底鍋——2 夾層底真空蒸發罐——3 標準型真空蒸發罐——4 籠筐 |     |
| 型蒸發罐——5 開司特納型蒸發罐——6 勃夫勞瓦克式蒸發罐——7 水平  |     |
| 式蒸發罐——8 黎理式蒸發罐——9 威爾式蒸發罐             |     |
| <b>第十三章 冷凝器</b> .....                | 110 |
| 1 冷凝器的機能及種類——2 冷却水的需要量——3 噴射式冷凝器——   |     |
| 4 高水位噴射式冷凝器——5 由冷凝器排除空氣的量            |     |
| <b>中外名詞對照表</b> .....                 | 120 |

## 第一章 蒸 發

**1 蒸發** 用加熱的方法使液體所含的水分一部分氣化,因而把它濃縮,這種物理操作稱為蒸發。

用加熱、吸收或機械的操作,除去固體所含的水分,通稱乾燥。所以從除去水分的觀點上看,蒸發可以成為乾燥的一部門。本書專門研究水溶液的蒸發問題,他種溶液的蒸發則不論及。

**2 蒸發裝置** 蒸發操作使用的機器稱為蒸發裝置。蒸發裝置在化學工業中佔很重要的位置,它的性能好壞,對於化學工場的生產能力、製品品質甚至經營成績都有影響,所以很早就有許多技術家和學者在進行蒸發裝置的研究工作。

蒸發裝置為了適應它所處理液體的性狀,設計時需考慮到原液的性狀,如流動性、粘度、濃度、沸點、沸騰時起泡與否、溶液蒸濃後析出結晶快慢、加熱後是否易被污損或堆積鍋垢等問題;以及溶液的化學性質是酸性、中性或鹼性。根據上面各點設計它的構造,並選擇它的構成材料。因此,蒸發罐的型式也就各不相同了。

**3 比重計** 蒸發裝置是用來蒸濃稀薄溶液的,所以需要測定濃度的器具。測定濃度使用浮秤比重計。

浮秤比重計是密閉的玻璃管,在管上刻着刻度,它的下端成直徑稍大的球,內盛鐵砂。把它放在預備測比重的液體裏,重球部分向下,玻璃管則垂直地浮游在液體中,液體的比重即由浮現在液面的刻度數字表出。

比重計有種種不同的刻度,普通常用的二、三種列舉如下:

(a) 波美 (Baumé) 比重計——這種比重計本是用於測食鹽水的,它的刻度和鹽水中含鹽百分率的數值相同。它和比重的關係如下式:

$$\text{波美度數} = 145 - \frac{145}{\text{比重}}$$

上面的波美度數用來表示比水重的液體。測定比水輕的液體也製成一種波美比重表，它的度數和比重的關係用下式表示：

$$\text{波美度數} = \frac{140}{\text{比重}} - 130$$

(b) 白利 (Brix) 比重計——白利比重計的刻度是蔗糖溶液含糖百分率的數值。譬如，含蔗糖 16% 的糖液，它的濃度用白利比重計表示時，為 16 度。

(c) 特瓦得爾 (Twaddell) 比重計——這是各種工業上常用的比重計，適用於比水重的液體。它的刻度是以液體比重數值為基礎而做成的，是取液體的比重數值小數點以下的兩位數二倍後得到的數值，這數值就是特瓦得爾的度數。例如，液體比重為 1.23 時，特瓦得爾的度數即為 46。

正確地用浮秤比重計測定比重時，必須在一定溫度之下。通常標準溫度用  $17.5^{\circ}\text{C}$ ，即  $63.5^{\circ}\text{F}$ 。

**4 需要的蒸發量** 加熱蒸發某種稀薄溶液，使它濃縮到一定的濃度，這時常常發生究需由原液蒸去百分之多少的水分的問題。解決這個問題，我們用溶液中含有固體成分的重量百分率來代替溶液的比重，這樣較為便利。溶液的比重和所含固體的重量百分率在許多化學參考書上都有記載，可以查出。

例如，溶液的濃度用固體含量表示為  $a\%$ ，若要濃縮到固體含量為  $b\%$  時，需蒸去水量多少？

取溶液 100 份，其中含有的固體為  $a$  份，蒸去的水分為  $x\%$ ，結果濃液的成分為  $b\%$ ，可得下式：

$$\frac{a}{100 - x} = \frac{b}{100}$$

$$\text{即 } x = 100 \times \frac{b - a}{b} \dots\dots\dots (1)$$

**例 1** 某一溶液含有 15% 的固體，若濃縮成含固體 60% 的溶液時，應蒸去水分若干？

$$\frac{60 - 15}{60} = 0.75$$

應蒸去 75% 的水分。

**例 2** 溶液為糖汁時也同樣可以計算。

$W$  = 由原溶液蒸去水分的重量 (公斤);

$G$  = 原液 (稀薄糖汁) 的重量 (公斤);

$B_1$  = 原液 (稀薄糖汁) 的濃度 (白利);

$B_2$  = 濃縮糖液的濃度 (白利)。

$$\text{應蒸去水分的重量 } W = G \left( 1 - \frac{B_1}{B_2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

**5 溶液的飽和點** 溶液在蒸發時, 水分漸次消失, 等濃縮到一定的程度, 結晶就要分離出來, 這個濃度就是飽和點, 超過飽和點再繼續蒸發時, 結晶即漸次析出, 液體的濃度則停止在一定的程度上, 再不增加, 所以就不能適用上面部分蒸發的濃度公式 (1) 及 (2)。

物質的溶解度通常隨溫度而變化, 即溫度增高時, 溶解度增大, 溶解度又因物質的種類不同相差很大。

前面雖然說過溶解度常因溫度的增高而增大, 但有的物質並不按溫度上昇的比例增加, 在一定限度內, 溶解度雖然隨之增高, 但超過這一限度, 溶解度有的反而減少了。

假若水中以不同比例溶解着幾種不同的物質, 則溶解度、飽和點、溫度等的關係, 就更為複雜了。

**6 熱源** 蒸發是需要熱能的, 熱能的來源可利用太陽熱、電熱、燃燒熱、化學反應熱及蒸汽等的熱能, 有時也利用由機械能變成的熱能。

本書主要敘述用蒸汽為熱源的蒸發,

**7 傳熱** 由熱源把熱傳給溶液, 使溶液含有的水分蒸發, 其傳達的方法有兩種:

(a) 液體直接曝露給熱源;

(b) 通過固體壁, 把熱由熱源間接地傳送給液體。

用 (b) 方法的蒸發裝置又可分類如下:

- (1) 用直接火加熱的蒸發裝置;
- (2) 用夾層底即蒸汽夾層加熱的蒸發裝置;
- (3) 配備着蒸汽加熱管的蒸發罐:
  - (甲) 水平加熱管式
    - (i) 蒸汽通過管的內側的
    - (ii) 蒸汽接觸管的外側的
  - (乙) 直立加熱管式
    - (i) 標準型
    - (ii) 籠筐型
    - (iii) 長管傳熱型
    - (iv) 強制循環型
  - (丙) 斜管式
  - (丁) 曲管式

## 第二章 熱的傳導

**1 熱的傳達** 熱是由溫度高的物體流向溫度低的物體的。熱的傳達方法有三種，即：(1)熱的傳導，(2)熱的對流，(3)熱的輻射。蒸發裝置主要利用(1)和(2)的方法，至於熱的移動則三個方法必然同時進行。

(1) 熱的傳導——熱由物體的高溫部向低溫部流過時，物體本身的物質分子並不移動，只把熱傳過去，這就叫做熱的傳導。

(2) 熱的對流——對流是液體或氣體加熱時所起的現象。液體或氣體的部分分子受熱後，溫度增高，即向低溫部分流去，低溫部分的分子則向可以受熱的部分流去，這種由於物質內部分子移動，把熱傳播到液體或氣體的全部的現象，稱為熱的對流。

(3) 熱的輻射——熱隨着以太的波動由高溫物體傳向低溫物體的現象稱為輻射。太陽的熱傳向地球，即是利用這種作用。

**2 熱的傳導係數** 熱在質地均勻的導體上流動時，依據下列的公理：

(a) 流過的熱量與導體的斷面積成正比例。

(b) 流過的熱量與導體的長度成反比例。

(c) 流過的熱量與導體兩端的溫度差成正比例。

以公式表示如下：

$$Q = \frac{\lambda a (t_2 - t_1)}{L} \dots\dots\dots (3)$$

$Q$  = 流過的熱量；

$a$  = 導體的斷面積；

$t_2$  = 導體一端（高溫部）的溫度；

$t_1$  = 導體一端（低溫部）的溫度；

$L$  = 導體的長度；

$\lambda$  = 導體的熱傳導係數,

設本公式中  $a, t_2 - t_1$  及  $L$  的數值皆為 1, 流過的熱量  $Q$  則與  $\lambda$  的數值相等, 這時的  $\lambda$  稱為導體的熱傳導係數。工程上的熱傳導係數是以  $1^\circ\text{C}$  的溫度差, 每小時通過長 1 公尺、斷面 1 平方公尺的導體的熱量仟卡數值來表示。

理化學上使用的熱傳導係數, 則以導體斷面 1 平方公分、長 1 公分的導體在溫度差為  $1^\circ\text{C}$  時, 每秒流過的熱量仟卡數字來表示。

(工程上的熱傳導係數欲換算成理化學上的熱傳導係數時, 將前者用 360 除之即得)

表 1 A 固體的熱傳導係數 (仟卡/公尺  $\times$  小時  $\times$   $^\circ\text{C}$ )

|                                  | 溫度 $0^\circ\text{C}$ | $21^\circ\text{C}$ | $100^\circ\text{C}$ |
|----------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| 銅                                | 175                  | 175                | 108                 |
| 黃銅 (70~30)                       | 90                   | 94                 | 180                 |
| 黃銅 (普通)                          |                      | 71~94              |                     |
| 砲金 (Cu 85.7%, Zn 7.15%, Sn 6.4%) | 47                   | 50.6               | 61                  |
| 銅                                | 342                  | 358                | 397                 |
| 含矽耐酸鐵                            |                      | 44.7               |                     |
| 熟鐵                               | 52.1                 | 52.1               | 52.1                |
| 生鐵                               |                      | 32.7~53.6          |                     |
| 蒙耐合金                             |                      | 22.3               |                     |
| 鎳                                | 50.6                 | 50.6               | 50.6                |
| 銀                                | 353                  | 355                | 357                 |
| 鋼 (C 0.1%)                       | 39                   | 38.8               | 38.4                |
| 錫                                | 57.3                 | 57.3               | 50.6                |
| 銻                                | 97.5                 | 97.5               | 93.8                |
| 玻璃                               |                      | 0.387~0.818        |                     |
| 硬橡                               |                      | 0.031              |                     |
| 陶器                               |                      | 0.89               |                     |

表 1 B 水的熱傳導係數 (仟卡/公尺 × 小時 × °C)

| 溫 度<br>°C | $\lambda$ | 溫 度<br>°C | $\lambda$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0         | 0.478     | 54        | 0.555     |
| 2         | 0.479     | 57        | 0.560     |
| 4         | 0.484     | 60        | 0.563     |
| 7         | 0.488     | 63        | 0.567     |
| 10        | 0.491     | 66        | 0.570     |
| 13        | 0.496     | 68        | 0.575     |
| 16        | 0.500     | 71        | 0.579     |
| 19        | 0.503     | 74        | 0.582     |
| 21        | 0.508     | 77        | 0.586     |
| 24        | 0.511     | 80        | 0.591     |
| 27        | 0.515     | 82        | 0.594     |
| 30        | 0.519     | 85        | 0.598     |
| 33        | 0.522     | 88        | 0.603     |
| 35        | 0.527     | 91        | 0.606     |
| 38        | 0.531     | 93        | 0.610     |
| 41        | 0.534     | 96        | 0.615     |
| 43        | 0.539     | 99        | 0.619     |
| 46        | 0.543     | 100       | 0.621     |
| 49        | 0.548     | 102       | 0.624     |
| 52        | 0.552     |           |           |

表 1 C 氣體的熱傳導係數 (仟卡/公尺 × 小時 × °C)

|      | °C     | 100 °C |
|------|--------|--------|
| 空氣   | 0.0205 | 0.0259 |
| 氮    | 0.0165 | 0.0256 |
| 二氧化碳 | 0.0122 | 0.0177 |
| 氫    | 0.144  | 0.1831 |
| 甲烷   | 0.0262 | —      |
| 氦    | 0.0204 | 0.0258 |
| 氧    | 0.0205 | 0.0259 |

上面 C 表中氣體熱傳導係數的數值並無用處，因為氣體的熱傳導主要是依靠對流和輻射的作用。

**3 導體串連時的熱傳導係數** 許多導體重疊起來成層狀時，若求得它的熱傳導係數，就可以用前式計算出單位時間內流過的熱量。

熱傳導係數  $\lambda$  可以適用電學上導電率與比電阻的關係，即導體串連時，其總電阻與各部電阻之和相等，即：

$$R = r_1 + r_2 + r_3$$

導體並列時，導體的總傳導率等於各部傳導率之和：

$$\frac{\lambda}{L} = \frac{\lambda_1}{L_1} + \frac{\lambda_2}{L_2} + \frac{\lambda_3}{L_3}$$

這樣關係可以應用在熱傳導係數方面

$$r_1 = \frac{L_1}{\lambda_1} \quad r_2 = \frac{L_2}{\lambda_2} \quad r_3 = \frac{L_3}{\lambda_3}$$

$r_1, r_2, r_3$  為各層對熱的抵抗；

$L_1, L_2, L_3$  為各層的厚度；

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  為各層的熱傳導係數，

$$\text{綜合傳導度 } U = \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{1}{\frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3}} \dots (4)$$

又導體成並列狀態時，綜合傳導度為：

$$U = K_1 + K_2 + K_3$$

$$\text{但 } K_1 = \frac{\lambda_1}{L_1} \quad K_2 = \frac{\lambda_2}{L_2} \quad K_3 = \frac{\lambda_3}{L_3}$$

$$\text{所以 } U = \frac{\lambda}{L} = \frac{\lambda_1}{L_1} + \frac{\lambda_2}{L_2} + \frac{\lambda_3}{L_3} \dots \dots \dots (5)$$

**例** 幾個導體串連成層狀時的情形。

有厚 3 公厘的銅板，一側有厚 0.3 公厘的水層，另一側有厚 0.4 公厘的空氣層（見圖 1）。假定水層及空氣層的傳熱，只是依靠傳導的作用。試計算總傳熱量是多少，但溫度約為  $100^\circ\text{C}$ ，三層的兩端溫度差為  $1^\circ\text{C}$ 。

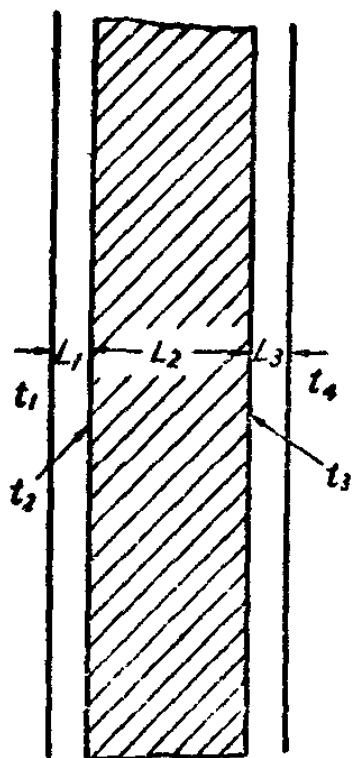


圖 1

就 1 平方公尺的面積考慮時，

水 層  $\lambda_1 = 0.622$

$L_1 = 0.3$  公厘  $= 0.0003$  公尺

銅 板  $\lambda_2 = 328$

$L_2 = 3$  公厘  $= 0.003$  公尺

空氣層  $\lambda_3 = 0.0259$

$L_3 = 0.4$  公厘  $= 0.0004$  公尺

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3}} \\
 &= \frac{1}{\frac{0.0003}{0.622} + \frac{0.003}{328} + \frac{0.0004}{0.0259}} \\
 &= 62.8 \text{ 仟卡/平方公尺} \times \text{小時} \times ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

例 經過複合抵抗以後，溫度的下降問題，

前例題中當熱流通過銅板所接的水與空氣的薄膜時，薄膜兩側發生了溫度差。這溫度差可以算出。設  $t_1, t_2, t_3, t_4$  各為水層外面、水與銅板接觸面、銅板與空氣層的接觸面、及空氣層外面的溫度，若以熱通過的面積為 1 平方公尺計算時：

$$Q = \frac{\lambda_1 (t_1 - t_2)}{L_1} = \frac{\lambda_2 (t_2 - t_3)}{L_2} = \frac{\lambda_3 (t_3 - t_4)}{L_3}$$

$$\theta_1 = t_1 - t_2, \quad \theta_2 = t_2 - t_3, \quad \theta_3 = t_3 - t_4$$

$$\theta_1 = \frac{Q L_1}{\lambda_1}, \quad \theta_2 = \frac{Q L_2}{\lambda_2}, \quad \theta_3 = \frac{Q L_3}{\lambda_3}$$

假設  $Q=1$

$$\theta_1 = \frac{L_1}{\lambda_1}, \quad \theta_2 = \frac{L_2}{\lambda_2}, \quad \theta_3 = \frac{L_3}{\lambda_3}$$

故 
$$\theta_1 = \frac{L_1}{\lambda_1} = \frac{0.0003}{0.622} = 0.000482$$

$$\theta_2 = \frac{L_2}{\lambda_2} = \frac{0.003}{328} = 0.00000915$$

$$\theta_3 = \frac{L_3}{\lambda_3} = \frac{0.0004}{0.0259} = 0.015444$$

$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 0.015935$$

但因全溫度差  $t_1 - t_4 = 1^\circ\text{C}$

$$\theta_1 = \frac{482}{15935} = 0.03025^\circ\text{C} = t_1 - t_2$$

$$\theta_2 = \frac{9}{15935} = 0.00057^\circ\text{C} = t_2 - t_3$$

$$\theta_3 = \frac{15444}{15935} = 0.96918^\circ\text{C} = t_3 - t_4$$

**4 平均溫度差** 在熱傳導的公式(3)中, 有熱傳導係數( $\lambda$ )與溫度差( $t_2 - t_1$ )兩項。關於 $\lambda$ 前面已經說明了。溫度差需再加以研究。前面各節假定了熱在通過固體壁時, 由高溫部向低溫部流動, 高溫度的面和低溫度的面各面上溫度平均, 常保持一定的溫度, 但實際上在很多情況下, 溫度保持全面均勻的時候很少, 即壁面溫度多有隨着它的部位溫度發生差異, 現在分成四種情形說明如下。

(1) 高溫部的溫度不變, 低溫部的溫度變化, 如管內有水流動, 管外有一定壓力的蒸汽包圍, 用這蒸汽以加熱管內的水,

(2) 低溫部溫度保持一定, 高溫部的溫度變化, 如煙管鍋爐, 管的外側與溫度相同的水接觸, 管的內側有燃燒氣體通過。在入口處的燃燒氣體溫度高, 通過管中的時候失掉了熱, 所以到出口處溫度就漸低,

(3) 高溫部與低溫部的溫度都有變化的情形, 譬如由裝置入口走向出口時, 高溫部漸次失掉熱而溫度降下, 低溫部則接受了熱, 溫度上昇。

(4) 與上述(3)同屬高低溫部都有變化的, 但在入口處高低溫部的溫度都是高的, 而走向出口處時, 二者溫度又都降低。

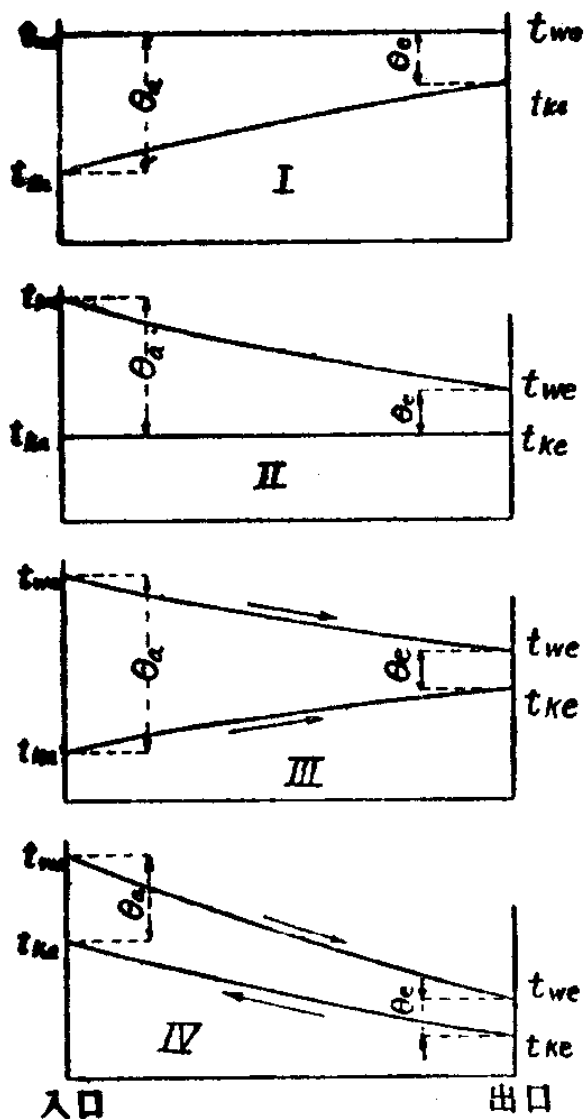


圖 2 熱交換器傳熱曲綫圖

如圖中表示的，高溫部和低溫部溫度都發生變化時，則傳熱的關係成曲綫而不成直綫。所以溫度差的平均值並非單單的算術平均值，即並不是  $\frac{\theta_a + \theta_e}{2}$ ，而成如下式的對數平均值：

$$\theta_m = \frac{\theta_a - \theta_e}{\log e \frac{\theta_a}{\theta_e}} \dots \dots \dots (6)$$

$$= \frac{\theta_a - \theta_e}{2.3 \log \frac{\theta_a}{\theta_e}} \dots \dots \dots (6')$$

例 冷液體進入逆流熱交換器時，初溫為  $10^{\circ}\text{C}$ ，流出時為  $80^{\circ}\text{C}$ 。熱液最初進來的溫度為  $100^{\circ}\text{C}$ ，降低到  $60^{\circ}\text{C}$  後流出器外。問逆流熱交

現在假想一種熱交換器，它是由一個粗管中插入許多細管而構成的。流體在粗管和細管中流過，(3) 是內管和外管的液體以同方向平行流動，(4) 是二者成相反方向流過的。圖 2 表示四種傳熱方法，圖中水平距離表示熱交換管的長度，縱軸表示溫度。

圖中的符號如下：

- $t_{ka}$  = 低溫部管的入口溫度；
- $t_{ke}$  = 低溫部管的出口溫度；
- $t_{wa}$  = 高溫部管的入口溫度；
- $t_{we}$  = 高溫部管的出口溫度；
- $\theta_a$  = 管的入口處，兩流體的溫度差；
- $\theta_e$  = 管的出口處，兩流體的溫度差；

因為傳熱量和溫度差成正比，

### 換器的平均溫度差如何?

$$60^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$$

初溫度差  $\theta_a$

$$100^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C} = 20^{\circ}\text{C}$$

終溫度差  $\theta_e$

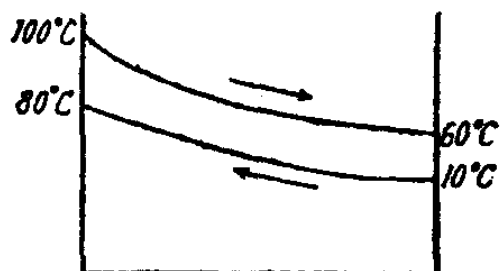


圖 3

$$\begin{aligned}\theta_m &= \frac{\theta_a - \theta_e}{2.3 \log \frac{\theta_a}{\theta_e}} = \frac{50 - 20}{2.3 \log \frac{50}{20}} \\ &= \frac{30}{2.3 \log 2.5} = 32.8^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

算術平均值為  $\frac{50 + 20}{2} = \frac{70}{2} = 35^{\circ}\text{C}$

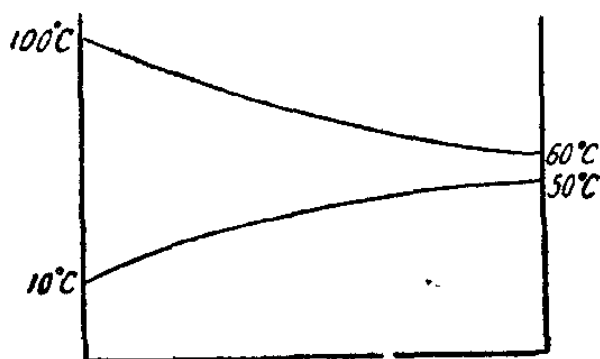


圖 4

例 冷熱液體同方向流動的熱交換器, 其冷液體的最初溫度為  $10^{\circ}\text{C}$ , 最終溫度為  $50^{\circ}\text{C}$ , 熱液體的最初溫度為  $100^{\circ}\text{C}$ , 最終溫度為  $60^{\circ}\text{C}$ , 求它的平均溫度差 (圖 4)。

最初溫度差  $100^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 90^{\circ}\text{C} \dots \theta_a$

最終溫度差  $60^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C} = 10^{\circ}\text{C} \dots \theta_e$

$$\begin{aligned}\theta_m &= \frac{\theta_a - \theta_e}{2.3 \log \frac{\theta_a}{\theta_e}} = \frac{90 - 10}{2.3 \log \frac{90}{10}} \\ &= \frac{80}{2.3 \log 9} = 36.45^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

算術平均值  $= \frac{90 + 10}{2} = \frac{100}{2} = 50^{\circ}\text{C}$

圖 5 為平均溫度差圖, 用這種圖就不必用下式計算, 也能很容易求

$$\theta_m = \frac{\theta_a - \theta_e}{2.3 \log \frac{\theta_a}{\theta_e}}$$