

# 單元操作問題詳解

附高普考及研究所考題

原著者：W. L. 麥克凱布 J. C. 史密斯

譯者：李順誠

曉園出版社  
世界圖書出版公司

## 单元操作问题详解

W. L. 麦克凯布 J. C. 史密斯著

李顺诚 译

\*

晓园出版社出版

北京世界图书出版公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

新燕印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1992 年 10 月第一版 开本: 850×1168 1/32

1992 年 10 月第一次印刷 印张: 12.5

印数: 0001-900

ISBN: 7-5062-1333-8/TQ·6

定价: 8.20 元 (W<sub>89</sub>20.1/32)

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向晓园出版社购得重印权

限国内发行

# 前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是該書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，晚園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。晚園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。

# 單元操作問題詳解

|       |                |     |
|-------|----------------|-----|
| 第一章   | 總論             | 1   |
| 第二章   | 靜態流體及其應用       | 11  |
| 第三章   | 流體流現象          | 19  |
| 第四章   | 流體流動的基本方程式     | 23  |
| 第五章   | 不可壓縮的流體在導管中的流動 | 29  |
| 第六章   | 可壓縮流體之流動       | 57  |
| 第七章   | 浸漬物體的流動        | 65  |
| 第八章   | 流體輸送與測量        | 83  |
| 第九章   | 液體之攪拌與混合       | 97  |
| 第十章   | 固體中的熱傳導        | 111 |
| 第十一章  | 流體中熱流動的原理      | 127 |
| 第十二章  | 無相變化之流體熱傳      | 139 |
| 第十三章  | 有相變化之流體傳熱      | 157 |
| 第十四章  | 輻射熱傳遞          | 167 |
| 第十五章  | 熱交換裝置          | 177 |
| 第十六章  | 蒸發             | 197 |
| 第十七章  | 平衡—階段操作        | 215 |
| 第十八章  | 蒸餾             | 219 |
| 第十九章  | 滲濾和萃取          | 251 |
| 第二十章  | 多成份蒸餾操作的簡介     | 265 |
| 第二十一章 | 擴散原理及質量傳遞      | 267 |
| 第二十二章 | 氣體吸收           | 279 |
| 第二十三章 | 增濕操作           | 299 |
| 第二十四章 | 吸附             | 311 |
| 第二十五章 | 乾燥固體           | 313 |
| 第二十六章 | 特殊固體之性質及處理     | 323 |
| 第二十七章 | 減積             | 327 |

|       |           |     |
|-------|-----------|-----|
| 第二十八章 | 結 晶       | 337 |
| 第二十九章 | 固體與糊狀物的混合 | 347 |
| 第三十章  | 機械分離      | 351 |
| 附 錄   |           | 369 |

# 第一章 總 論

1-1 利用質量、長度、時間以及溫度之定義常數與變算因數，求下列之變算因數：(a)馬力換到仟瓦，(b)呎-磅力換到仟瓦小時，(c)加侖 (1 gal = 231 in<sup>3</sup>) 換到升 (10<sup>3</sup> cm<sup>3</sup>)，(d)每磅莫耳之 Btu 換到每仟克莫耳之焦耳。

$$\begin{aligned}
 \text{解 (a) } 1 \text{ hp} &= 550 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}_f}{\text{sec}} \\
 &= 550 \frac{\text{ft}}{\text{sec}} \text{ lb}_m \cdot 32.2 \frac{\text{ft}}{\text{sec}^2} \\
 &= 550 \times 32.2 \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{sec}} \times 0.454 \text{ kg} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{sec}^2} \\
 &= 550 \times 32.2 \times 0.3048^2 \times 0.454 \frac{\text{J}}{\text{sec}} \\
 &= 746 \text{ watts} = 0.746 \text{ 仟瓦}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(b) } 1 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f &= \text{ft} \cdot \text{lb}_m \frac{\text{ft}}{\text{sec}^2} \times 32.2 \\
 &= 32.2 \times 0.3048^2 \times 0.454 \text{ J} \\
 &= 32.2 \times 0.3048^2 \times 0.454 \times \frac{1}{3600} \text{ watt} \cdot \text{hr} \\
 &= 3.77 \times 10^{-4} \text{ watt} \cdot \text{hr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(c) } 1 \text{ gal} &= 231 \text{ in}^3 = 231 \times (2.54 \text{ cm})^3 \\
 &= 3785 \text{ cm}^3 = 3.785 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(d) } 1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb-mole}} &= \frac{252 \text{ cal}}{0.454 \text{ kg-mole}} = \frac{252 \times 4.1855}{0.454} \frac{\text{J}}{\text{kg-mole}} \\
 &= 2323 \text{ joules/kg-mole}
 \end{aligned}$$

1-2 貝替 - 布李曼方程式用以描述真實氣體之著名狀態方程式，其可寫成下列形式：

$$p = \frac{RT [1 - (c/vT^3)]}{v^2} [v + B_0(1 - \frac{b}{v})] - \frac{A_0}{v^2} (1 - \frac{a}{v})$$

其中  $a$ ,  $A_0$ ,  $b$ ,  $B_0$  以及  $c$  皆為實驗常數，而  $v$  為莫耳體積，以  $1/g$  mol 表示。(a) 試證明此式可寫成 (1-44) 式之形式，並導出以 (1-49) 式中常數表示之維里常數  $B$ ,  $C$  及  $D$  之式子。(b) 對於空氣，各常數為  $a = 0.01931$ ,  $A_0 = 1.3012$ ,  $b = -0.01101$ ,  $B_0 = 0.04611$ ,  $c \times 10^{-4} = 66.00$ ，均以 cgs 單位 (atm, l, g mol, K, 及  $R = 0.08206$ ) 表示，試計算空氣之維里係數之數值，並以 SI 單位表示之。(c) 試計算空氣在 300 K 之溫度及  $0.200 \text{ m}^3/\text{kg mol}$  之莫耳體積時之  $z$  值。

解 (a) Beattie-Bridgeman equation

$$\begin{aligned} p &= \frac{RT [1 - (c/vT^3)]}{v^2} [v + B_0(1 - \frac{b}{v})] - \frac{A_0}{v^2} (1 - \frac{a}{v}) \\ &= \frac{RT}{v^2} [v + B_0(1 - \frac{b}{v}) - \frac{c}{T^3} - \frac{B_0 c}{v T^3} (1 - \frac{b}{v})] - \frac{A_0}{v^2} (1 - \frac{a}{v}) \\ &= \frac{RT}{v} + \frac{B_0 RT}{v^2} - \frac{B_0 b RT}{v^3} - \frac{c RT}{v^2 T^3} - \frac{B_0 c RT}{v^3 T^3} + \frac{B_0 c b RT}{v^4 T^3} \\ &\quad - \frac{A_0}{v^2} + \frac{A_0 a}{v^3} \\ &= \frac{RT}{v} + (B_0 RT - A_0 - \frac{Rc}{T^2}) \frac{1}{v^2} + (A_0 a + RT B_0 b - \frac{B_0 Rc}{T^2}) \frac{1}{v^3} + (\frac{RB_0 bc}{T^2}) \frac{1}{v^4} \\ &= \rho RT + (B_0 RT - A_0 - \frac{Rc}{T^2}) \times \rho^2 + (A_0 a + RT B_0 b - \frac{B_0 Rc}{T^2}) \rho^3 + (\frac{RB_0 bc}{T^2}) \rho^4 \\ \therefore z &= \frac{p}{\rho RT} = 1 + (B_0 - \frac{A_0}{RT} - \frac{c}{T^3}) \rho \\ &\quad + (\frac{A_0 a}{RT} - B_0 b - \frac{B_0 c}{T^3}) \rho^2 + (\frac{B_0 bc}{T^3}) \rho^3 \\ &= 1 + \rho B(T) + \rho^2 C(T) + \rho^3 D(T) \end{aligned}$$

This is a fourth order virial form with virial coefficients

$$B(T) = B_0 - \frac{A_0}{RT} - \frac{c}{T^3}$$

$$C(T) = \frac{A_0 a}{RT} - B_0 b - \frac{B_0 c}{T^3}$$

$$D(T) = \frac{B_0 b c}{T^3}$$

(b) For  $T = 300^\circ\text{K}$

$$B = 0.04611 - \frac{1.3012}{0.082 \times 300} - \frac{6.6 \times 10^5}{300^3}$$

$$= -3.12 \times 10^{-2} \frac{1}{\text{g-mole}}$$

$$= -3.12 \times 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{kg-mole}}$$

$$C = \frac{1.3012 \times 0.01931}{0.082 \times 300} - 0.04611 \times (-0.01101) -$$

$$\frac{0.04611 \times 6.6 \times 10^5}{300^3}$$

$$= 4.02 \times 10^{-4} \left( \frac{1}{\text{g-mole}} \right)^2 = 4.02 \times 10^{-4} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg-mole}} \right)^2$$

$$D = \frac{0.04611 \times (-0.01101) \times 6.6 \times 10^5}{300^3}$$

$$= -1.24 \times 10^{-5} \left( \frac{1}{\text{g-mole}} \right)^3 = -1.24 \times 10^{-5} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg-mole}} \right)^3$$

$$(c) \quad z = \frac{1 + (-3.12 \times 10^{-2})}{0.2} + \frac{4.02 \times 10^{-4}}{0.2^2} + \frac{-1.24 \times 10^{-5}}{0.2^3}$$

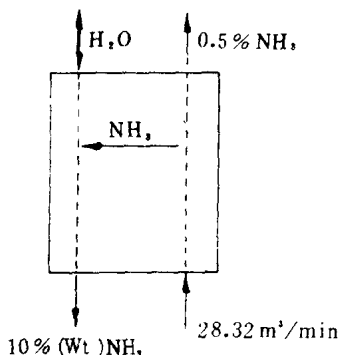
$$= 0.8525$$

1-3 一含有 25% 氨氣及 75% 空氣 (乾燥基準) 之混合物往上流過一垂直洗氣塔且水被泵至塔頂。經洗滌過含有 0.5% 之氣體, 自塔頂流出, 而含有重量百分比 10% 氨之水溶液則由塔底離去。進入與離去之氣流二者皆為水蒸氣所飽和。氣體在  $37.8^\circ\text{C}$  下進入塔內且在  $21.1^\circ\text{C}$  下離去。兩股流之壓力及整個塔之壓力為  $1.02\text{atm}$  (計示壓力)。空氣-氨之混合

#### 4 單元操作問題詳解

物以  $28.32 \text{ m}^3/\text{min}$  之速率流入塔內，其係以  $15.6^\circ\text{C}$  及  $1 \text{ atm}$  下之乾燥氣體來測量。進入塔中之氨有若干百分率不被水吸收？每小時有若干立方米之水泵送至塔之頂部？

關 進入空氣濕度 =  $0.044 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg Air}$   
 離去空氣濕度 =  $0.016 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg Air}$



$$PV = nRT$$

$$1 \times 28.32 \times 60 = n_r \times 0.082 \times 288.6$$

$$n_r = 71.8 \text{ kmol/hr} = 17.9 \text{ kmole 氨} + 53.9 \text{ kmole 空氣}$$

$$\text{進入之 } \text{H}_2\text{O} = 53.9 \times 29 \times 0.044 = 68.7 \text{ kg}$$

$$\text{離去之 } \text{H}_2\text{O} = 53.9 \times 29 \times 0.016 = 21.8 \text{ kg}$$

$$\text{剩餘之氨} = \frac{53.9}{0.995} - 53.9 = 0.27 \text{ kmole} = 4.6 \text{ kg}$$

$$\text{吸收之 } \text{NH}_3 = 17.9 \times 17 - 4.6 = 299.7 \text{ kg}$$

$$\text{萃取液中水量} = \frac{0.9}{0.1} \times 299.7 = 2697 \text{ kg}$$

$$\text{不吸收之 } \text{NH}_3 = \frac{4.6}{17.9 \times 17} \times 100\% = 1.5\%$$

$$\text{進入之水量} = 2697 + 21.8 - 68.7 = 2650 \text{ kg}$$

$$\text{設水之密度} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\therefore \text{進入水之體積} = \frac{2650}{1000} = 2.65 \text{ m}^3/\text{h}$$

- 1-4 含有 75% 空氣與 25% 氨蒸氣之乾燥氣體，進入一直徑 2 ft 之圓柱形填充吸收塔之底部。在塔頂處之噴嘴配水於填充物上。氨之水溶液自塔之底部抽出，而被洗滌過之氣體由塔頂流出。氣體在  $80^\circ\text{F}$  與  $760 \text{ mmHg}$  之壓力下流入，而在  $60^\circ\text{F}$  與  $730 \text{ mm}$  下離去。離去之氣體含有 1.0% 氨（以乾燥基準表示）。(a) 若進入之氣體以  $1.5 \text{ ft/s}$  之平均速度流過塔

之空底部，則每小時處理若干立方呎之進入氣體？(b)每小時吸收若干磅之氨？

$$\text{解 (a)} \quad A = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 2^2 = 3.14 \text{ ft}^2$$

$$Q = U \times A = 1.5 \times 3.14 \times 3600 = 16956 \text{ ft}^3/\text{hr}$$

$$(b) \quad PV = n_r RT$$

$$\therefore n_r = \frac{PV}{RT} = \frac{1 \times 16956}{0.73 \times 540} = 43 \text{ lb-mole/hr}$$

$$n_{\text{air}} = 43 \times 0.75 = 32.25 \text{ lb-mole/hr}$$

$$n_{\text{NH}_3} = 43 \times 0.25 = 10.75 \text{ lb-mole/hr}$$

$$\therefore \text{出來之氨量} \quad 32.25 \times \frac{1}{99} = 0.326 \text{ lb-mole}$$

$$\text{吸收 NH}_3 \text{ 之莫耳數} = 10.75 - 0.326 = 10.424 \text{ lb-mole/hr}$$

$$\text{被吸收氨之速率} = 10.424 \times 17 = 1.77 \times 10^2 \text{ lb/hr}$$

1-5 設將含有 10% NaOH, 10% NaCl 及 80% H<sub>2</sub>O 之溶液以 25 (公噸)/h 之速率連續輸入一蒸發器內。在蒸發期間，水被蒸發掉，鹽則以結晶狀態沉澱出來，晶體沉降並由殘留之溶液取出。離開蒸發器之濃溶液含有 50% NaOH, 2% NaCl 及 48% H<sub>2</sub>O。

計算(a)每小時蒸發掉水之仟克數，(b)每小時沉澱出鹽之仟克數，及(c)每小時產生濃溶液之仟克數。

$$\text{解} \quad 25 \frac{\text{公噸}}{\text{小時}} \times 0.1 = 2.5 \frac{\text{公噸}}{\text{小時}} = \text{NaOH 進量} = \text{NaCl 進量}$$

$$25 \frac{\text{公噸}}{\text{小時}} \times 0.8 = 20 \frac{\text{公噸}}{\text{小時}} = \text{H}_2\text{O 進量}$$

(a) 利用 NaOH 之量不變

$$\text{濃溶液中 NaOH 之量} = 2.5 \frac{\text{公噸}}{\text{小時}} \quad (\text{佔 } 50\%)$$

$$\therefore \text{濃溶液} = \frac{2.5}{50\%} = 5 \frac{\text{公噸}}{\text{小時}} = 5000 \text{ kg/h}$$

$$\text{濃溶液中 H}_2\text{O 之量} = 5000 \times 0.48 = 2400 \text{ kg/h}$$

$$\therefore \text{每小時蒸發掉水之仟克數} = 20 \times 10^3 - 2400$$

$$= 17600 \text{ kg/h}$$

$$(b) \text{ 每小時沈澱出鹽之仟克數} = 2.5 \times 10^3 - 5000 \times 0.02$$

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

$$(c) \text{ 每小時產生濃溶液之仟克數} = 5 \text{ 公噸/小時} = 5000 \text{ kg/h}$$

1-6 設空氣穩定地流過一水平加熱管。空氣在  $40^\circ\text{F}$  下以  $50 \text{ ft/s}$  之速度進入。其在  $140^\circ\text{F}$  下以  $75 \text{ ft/s}$  之速度離去。空氣之平均比熱為  $0.24 \text{ Btu/lb}\cdot^\circ\text{F}$ ，試問每磅空氣有若干 Btu 之熱經管壁傳出。

解 由 Bernolli Equation (白努力方程式)

$$\dot{m} \left[ \frac{\Delta u^2}{2g_c J} + \frac{g \Delta Z}{g_c J} + \Delta H \right] = Q - W,$$

作功  $W_s = 0$  水平管  $\Delta Z = 0$

$$u_1 = 50 \text{ ft/s} \quad u_2 = 75 \text{ ft/s}$$

$$\Delta H = C_p(T_2 - T_1) = 0.24(140 - 40) = 24 \text{ Btu/lb}$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{Q}{\dot{m}} \left( \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \right) &= \Delta H + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2 \times g_c \times J} \\ &= 24 + \frac{75^2 - 50^2}{2 \times 32.2 \times 778} \\ &= 24.06 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

### 本章重要題目

(一) 解釋名詞：

1 穩定狀態 (Steady state)

流體流動之性質不隨時間而改變時，亦即單位時間流進系統之質量與能量等於流出系統之質量與能量而不隨時間長短而起變化稱“穩定狀態”。

2 理想氣體定律 (ideal gas law)

將分子之體積視為零，分子間視為無引力之氣體，稱為理想氣體，此時符合  $PV = nRT$  方程式，當定量定溫時（即  $n, T$  為常數）則  $PV = K$  稱“

波義耳定律”當定量定壓時（ $n, P$  為常數）則  $\frac{V}{T} = K'$  稱“查理定律”當

定壓定溫時 ( $P, T$  為常數) 則  $\frac{V}{n} = K$  稱“亞佛加德羅定律”。

### 3 無因次方程式 (dimensionless equation)

在一式方程式中每一項之因式相同時，則各項以其本身之因次相除便得無因次關係式，此方程式稱之無因次方程式，又稱因次均衡式。例如  $S' =$

$U_0 t + \frac{1}{2} g t^2$  ( $S$  表距離  $U_0$  表初速,  $t$  表時間), 各項之因次皆為  $L$ ,

故稱:  $S = U_0 t + \frac{1}{2} g t^2$  為無因次方程式。

(一) 必須熟記之單位換算:

(密度)  $\rho$ :  $1 \text{ lb/ft}^3 = 62.4 \text{ g/cm}^3$

(熱)  $Q$ :  $1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 778 \text{ ft-lbf}$

(長度)  $L$ :  $1 \text{ ft} = 12 \text{ in} = 30.48 \text{ cm}$

(質量)  $m$ :  $1 \text{ lb} = 454 \text{ g}$

(壓力)  $P$ :  $1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psia} (1 \text{ lbf/in}^2) = 760 \text{ mm Hg}$   
 $= 29.92 \text{ in Hg}$

(比熱)  $C_p$ :  $1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

(體積)  $V$ :  $1 \text{ liter} = 1000 \text{ cm}^3$

$1 \text{ ft}^3 = 7.48 \text{ gal} = 28.3 \text{ liter}$

(熱功)  $J$ :  $1 \text{ Btu} = 778 \text{ ft-lbf}$

$1 \text{ cal} = 4.2 \text{ joule}$

$1 \text{ joule} = 10^7 \text{ erg}, 1 \text{ hp} = 550 \text{ ft-lbf/sec}$

$= 0.7455 \text{ kW} (\text{仟瓦})$

(二) 試就能量不滅定律導證

$$(a) \Delta H + \frac{\Delta \bar{u}^2}{2g_c} + \frac{\Delta zg}{g_c} = \frac{q}{m} - \frac{w_c}{m}$$

(b) Bernolli equation

圖 系統內單位質量流體之總能  $E_T$  (total energy) 為內能  $E$  (internal energy) 與外能  $E_r$  (external energy) 之和即

$$E_T = E + E_r = E + \frac{\bar{u}^2}{2g_c} + \frac{zg}{g_c}$$

故流體進出口兩點之總能差為  $\Delta E_T = E_{T2} - E_{T1}$

$$\therefore \Delta E_r = \Delta E + \frac{\Delta u^2}{2g_c} + \frac{\Delta zg}{g_c}$$

若有外界功來往，則外界功率  $\dot{W} = \dot{W}_s + \Delta(PV)$

若有外界熱量來往，則外界單位時間之熱量為  $q$  (ft-lbf/sec)

由熱力學第一定律  $\Delta E_r = q - w$

$$\therefore \Delta E + \frac{\Delta u^2}{2g_c} + \frac{\Delta zg}{g_c} = \frac{q}{m} - \frac{\Delta(PV)}{m} - \frac{w_s}{m} = \frac{q}{m} - \frac{w_s}{m} - \Delta(PV)$$

$$\therefore (\Delta E + \Delta(PV)) + \frac{\Delta u^2}{2g_c} + \frac{\Delta zg}{g_c} = \frac{q}{m} - \frac{w_s}{m} \dots\dots\dots(a)$$

$$\text{又 } \Delta H = \Delta E + \Delta(PV) = \Delta E + P\Delta v + v\Delta P = T \times \Delta S + v\Delta P$$

$$= \frac{q}{m} + h_f + v\Delta P$$

(其中  $T\Delta S = \Delta E + P\Delta V$ ) 代入(a)得

$$v\Delta p + \frac{\Delta u^2}{2g_c} + \frac{\Delta zg}{g_c} = -h_f - \frac{w_s}{m}$$

$$\therefore \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta u^2}{2g_c} + \frac{\Delta zg}{g_c} + \frac{w_s}{m} = -h_f \dots\dots\dots(b)$$

#### (四) 計算題

空氣沿  $Z''$  鋼管內流動，於某一切面測得平均流速為 100 m/sec 壓力 2.0 atm，溫度為  $27^\circ\text{C}$ ，若測得下游某一切面壓力為 1 atm，試求此點之空氣溫度？假設從鐵管無熱量之損失空氣平均比熱為  $0.24 \text{ k cal/kg}^\circ\text{C}$ 。

解 設  $m=1$  又  $Q=0$   $w_s=0$   $Z_1=Z_2$

$$\therefore \frac{U_b^2 - U_a^2}{2g_c} = -(H_b - H_a) = -C_p(T_b - T_a)$$

$$\bar{U}_b = \bar{U}_a \left( \frac{\rho_a}{\rho_b} \right) = \bar{U}_a \cdot \frac{P_a}{P_b} \cdot \frac{T_b}{T_a} = 100 \times \frac{2}{1} \times \frac{T_b}{300} = \frac{2}{3} T_b$$

$$\therefore \frac{4}{9} \cdot T_b^2 - 100^2 = -2 \times 9.8 \times 0.24 (T_b - 300) \times 427$$

$$\therefore T_b = 285^\circ\text{K} = 13^\circ\text{C}$$

其中  $427 \text{ kg} \cdot \text{m/k cal}$  為熱功。

#### (五) 單元操作之項目

解 單元操作可分為下列四大部份：

## (1) 固體處理

- ① 減積 (Size reduction) 即顆粒之壓碎與研磨
- ② 篩選 (Screening) 把顆粒大小用篩子分開
- ③ 摻和 (Blending) 不同固體混合
- ④ 固體傳送 (Transportation of solid)

## (2) 流動的流體

- ① 流體的傳送 (Transportation of fluid)
- ② 流體化 (Fluidization) 利用方法使固體能如流體般連續不斷傳送。
- ③ 過濾 (Filtration) 利用濾布使固體與液體分離。
- ④ 離心 (Centrifugation) 利用離心力不同使固體與液體分離。
- ⑤ 水析 (Classification) 利用液體流速不同而把不同密度之固體分離。
- ⑥ 沉析 (Sedimentation) 利用浮力不同而把不同固體分離。
- ⑦ 混合 (mixing) 包括固、液混合及液、液混合。

## (3) 熱傳送：

- ① 加熱冷卻與絕緣。
- ② 蒸發：加熱把溶劑蒸去，使液體濃度增濃。
- ③ 冷凍 (Refrigeration) 移去熱量，使液體凍結為固體。

## (4) 質量傳送：

- ① 蒸餾 (Distillation) 利用沸點不同，把不同成分分離。
- ② 萃取 (Extraction) 加入一溶劑將另一成份溶解分離。
- ③ 吸收與吸附 (Absorption and adsorption) 利用一種溶劑把某溶液吸進或吸附於其表面上。
- ④ 空氣調理 (Air condition) 包括增溫及減濕調整所需要空氣之濕度。
- ⑤ 乾燥 (Drying) 把固體所含之水分去掉。
- ⑥ 結晶 (Crystallization) 從飽和溶液中，使固體析出。
- ⑦ 昇華 (Sublimation) 固體直接變成氣體之現象。



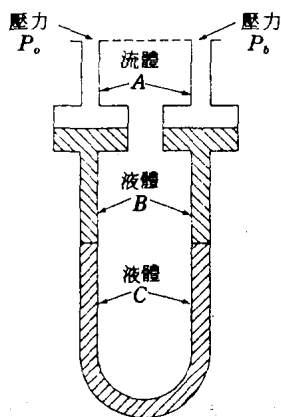
## 第二章 靜態流體及其應用

- 2-1. 將一U管液體壓力計裝於一孔口流量計上。此壓力計充有汞（比重＝13.6），且汞上方之液體為四氯化碳（比重＝1.6）。壓力計之讀數為200mm。壓力計上之壓力差為若干 $\text{N/m}^2$ ？

解 由(2-10)式

$$\begin{aligned}
 P_a - P_b &= \frac{g}{g_c} R_m (\rho_A - \rho_B) \quad 1 \text{ kgwt} = 9.8 \text{ N} \\
 \Delta P &= \frac{9.8 \text{ m/s}^2}{9.8} \times 0.2 \text{ m} \times (13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 - 16 \\
 &\quad \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \\
 &= 2.4 \times 10^3 \text{ kgwt/m}^2 = 2.4 \times 9.8 \times 10^3 \text{ N/m}^2 \\
 &= 2.35 \times 10^4 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

- 2-2 圖2-8中所示之示差壓力計有時用來測定小量之壓力差。當讀數為零時，二儲器之液位相等。假設流體A為在大氣壓力及 $60^\circ\text{F}$ 下之甲烷，儲



器中之液體  $B$  為煤油 (比重 = 0.815) 及  $U$  管中之液體  $C$  為水。儲器與  $U$  管之內徑分別為 2.0 in. 與 1/4 in.。若壓力計之讀數為 5.72 in., 則儀器上之壓力差為若干吋水柱高? (a) 儲器中之液位變化可予以忽略? (b) 儲器中之液位變化須列入考慮? 試問與 (a) 部份答案之百分誤差為若干?

$$\text{解 (a)} \quad (-\Delta P) = R_m (\rho_c - \rho_b) \frac{g}{g_c} = 5.72 \times (1.00 - 0.815) \\ = 5.72 \times 0.185 = 1.06 \text{ in H}_2\text{O}$$

(b) 考慮儲器之液位變化

$$\frac{1}{4} \pi D^2 x = \frac{1}{4} \pi D'^2 x' \\ \therefore x' = \frac{D^2}{D'^2} x = \frac{\left(\frac{1}{4}\right)^2 \times 5.72}{2^2} = \frac{5.72}{64} = 0.0894 \text{ in} = R'_m \\ (-\Delta P) = R_m (\rho_c - \rho_b) + R'_m (\rho_b - \rho_a) \\ = 5.72(1 - 0.815) + 0.0894 \times 0.815 \times 2 \\ = 1.06 \text{ in H}_2\text{O} + 0.073 \text{ in} \times 2 \\ = 1.203 \text{ in} (\rho_a \text{ 太小不計}) \\ \% \text{ error} = \frac{1.203 - 1.06}{1.203} \times 100\% = 12.54\%$$

2-3 在地球表面上, 每升高 1,000 m, 地球之大氣溫度約降低  $5^\circ\text{C}$ 。若地面上之空氣溫度為  $15^\circ\text{C}$  及壓力為 760 mm Hg, 則壓力為 380 mm Hg 之高度為若干? 設空氣為一理想氣體。

$$\text{解} \quad dp + \frac{g}{g_c} \rho dz = 0 \quad \rho = \frac{PM}{RT} \\ \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} + \frac{gM}{g_c R} \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{T} = 0 \\ T = \left(15 - \frac{5z}{1000}\right) + 273 = 288 - \frac{5z}{1000} \\ \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} + \frac{9.8 \times 29 \times 10^{-3}}{8.314} \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{288 - \frac{5z}{1000}} = 0$$