

化工計算法

林紀方編著

商務印書館出版

化 工 計 算 法

林紀方編著



000028

176n

金(362100)

化 工 計 算 法

★ 版 權 所 有 ★

編 著 者	林 紀 方
出 版 者	商 務 印 書 館 上海河南中路二一一號
發 行 者	三聯中華書局開明書局聯合所經 中 國 圖 書 發 行 公 司 北京鐵觀胡同六十六號
發 行 所	北 京 上 海 天 津 各 地 分 公 司 三 聯 書 店 中 華 書 局 店 商 務 印 書 館 各 地 分 店
印 刷 者	商 務 印 書 館 印 刷 廠

1951年11月初版 定價人民幣16,000元

(京)1-2000

序

化學工業年來之突飛猛進，已遠非昔日之製造化學所可比擬。其重心漸由化學反應移向化工機械之設計與管理。所謂生產效率，熱量經濟，連續作業，自動管理均為新興化學工業之特色。是以今日而言化學工業，於明瞭各種工業化學之反應過程外，對化學工程之原理及化工機械之設計應同樣加以注意。然不論為工業化學反應問題，或為化學工程設計問題，如不由量的方面着手，其結果未有不流於膚淺者。

化工計算即為補充工業化學與化學工程兩學科之不足而設。第以化學工業之範圍至廣，而化學工程中各種單位操作亦多，若一一加以討論，殆非易事。

本書為適合化學系及化工系三、四年級學生已修畢工業化學與化學工程者而作，但另一方面亦可供工廠技術人員之參考。全書內容分上下二篇。上篇為“工業化學計算法”分六章：第一章說明工業計算問題與普通化學問題之不同，及演習之方法，主要例題為重量及組成之變化。第二章討論簡單之工業問題，包括三酸之製造及氣體體積問題。第三章為燃料及燃燒問題。第四章為發生爐煤氣之質量及熱量精算。第五、六兩章為第二章之續，但對各項問題之討論較為詳盡。

下篇爲“化學工程計算問題”，化學工程中單位操作雖有十餘種；但如材料輸送、混和、分離、壓碎研磨、過濾等均爲偏於機械性之工程，其計算比較簡單，而理論部分較少，故均略去。僅就特具重要性之問題，如工業傳熱、蒸發、乾燥、蒸餾等加以討論。

全書所選例題概爲最簡單而切實用者；每篇後並附有習題若干，附錄若干，皆爲便利學者演算練習之需。

關於工業化學及化工原理，國內不乏鉅著及譯本，惟化工計算則尙付缺如。不佞粗疏謫陋，執教之暇，撰述成此，恐多遺漏，甚望藉此拋磚引玉，得海內碩學有更詳盡之宏著繼出爲幸。

目 次

上篇 工業化學計算法

第一章 重量及組成	3
第一節 組成之變化	3
第二節 混和物組成之調節	6
第二章 化學量之計算	8
第一節 分子單位之應用	8
第二節 工業化學反應問題之特點	9
第三節 單生成物之反應	10
第四節 數種生成物之反應	12
第五節 氣體體積問題	14
第三章 燃料與燃燒	20
第一節 燃料之組成	20
第二節 工業反應之熱化學問題	23
第三節 燃料之發熱量	26
第四節 氣體之比熱	28
第五節 固體燃料之燃燒問題	29
第六節 液體燃料之燃燒問題	33
第七節 氣體燃料之燃燒問題	35

第四章 發生爐煤氣	38
第一節 各種氣體燃料之比較.....	38
第二節 發生爐煤氣之製造.....	40
第三節 發生爐煤氣之成分與空氣及水蒸氣消耗量之關係.....	41
第四節 發生爐之重量及熱量精算.....	43
第五章 酸鹼工業	51
第一節 硫酸.....	51
第二節 鹽酸.....	58
第三節 碳酸鈉與氫氧化鈉.....	59
第六章 石灰水泥及玻璃工業	63
第一節 石灰.....	63
第二節 水泥.....	65
第三節 玻璃.....	70
本篇習題	77

下篇 化學工程計算問題

第七章 工業傳熱	83
第一節 總說.....	83
第二節 傳導.....	84
第三節 對流.....	87
第四節 輻射.....	92
第八章 蒸發	95
第一節 蒸發裝置.....	95
第二節 蒸發器設計時應注意之事項.....	96
第三節 多效式蒸發器.....	102
第四節 多效式之蒸發能力.....	103
第九章 乾燥	108
第一節 溼度.....	108
第二節 溼度表及其應用.....	109

第三節 空氣之調節	114
第四節 乾燥理論及計算	117
第十章 蒸餾	123
第一節 蒸餾理論	123
第二節 蒸餾方法	125
第三節 氣液兩相之平衡關係	127
第四節 平衡蒸餾與微分蒸餾之計算	130
第五節 精餾塔層數之計算	133
第六節 論回流比	141
第七節 水蒸氣蒸餾	144
本篇習題	147

附 錄

甲 單位換算表	153
乙、水蒸氣壓力表	157
丙 氣體比熱表	158
丁 熱量傳導率	159
戊 總括傳熱係數 U 之範圍	161
己 氣液兩相平衡數值	162
庚 萬國原子量表	164
譯名索引	165

上篇 工業化學計算法

第一章 重量及組成

§1. 組成之變化 化學工業常遇之問題爲由一混和物或溶液中減少或增加某一成分。由於此一成分之減少或增加遂令混和物之組成發生變化。例如蒸發工程，由於溶劑之減少，溶液之組成發生變化。又如乾燥，由於液體揮發物之除去，混和物之組成亦發生變化。其他如晶析，抽出，蒸餾，氣體吸收等作業，或爲溶質之除去，或爲揮發成分之逐出，或爲可溶性成分之減少，皆使原有之混和物組成發生變化。不但如此，各種原料在貯藏期間，或是水分被蒸發，或是揮發成分之逸去，皆容易發生組成之變化。

關於組成變化之計算問題可分三類討論：

- (1) 已知混和物最初之組成及重量，要求增加或減少某一成分後之組成及重量。
- (2) 已知混和物最初及最後之組成及重量，欲求除去物或增加物之組成及重量。
- (3) 已知混和物最初及最後之組成，除去物或增加物之組成及重量亦爲已知，欲求混和物最初及最後之重量。

例一 某工廠購入紙漿一批，含水率爲71%，經乾燥過程後，已知紙漿中全部水分有60%被除去，問最後乾紙漿之重量及組成為如

何？

在解決一化工計算問題之先，須選擇一計算基準[●]。通常以成分不大變易之物質為最相宜，重量則以 1,100，或 1,000 等整數為便利。

解 計算基準： 100 磅之溼紙漿。

最初含水量……………71 磅。

絕對乾燥紙漿量……………29 磅。

乾燥時除去水分量…………… $71 \times \frac{60}{100} = 42.6$ 磅。

最後剩餘之水分量…………… $71 - 42.6 = 28.4$ 磅。

乾燥後紙漿重量…………… $29 - 28.4 = 57.4$ 磅。

乾燥後紙漿含水率…………… $\frac{28.4}{57.4} \times 100 = 49.5\%$ 。

例一為第一類問題，初學者每易發生下列錯誤，即紙漿中最初之含水率為 71%，乾燥時除去水分 60%，故最後之含水率為 (71 - 60) 或 11%，此種錯誤略加思索便可免去。蓋 71% 係指紙漿之含水率，而 60% 係指紙漿中全部水分之百分率，不可混為一談也。

例二 某工廠以人民幣 12,750,000 元購煤一批，計重 85 噸，購入時水分為 7.9%。一月後再加分析，水分變為 4%。問重量減少若干，此時每噸價格若干元？

解 計算基準： 絕對乾燥之煤—W 噸。

$$W = 85 \times \frac{(100 - 7.9)}{100} = 78.3 \text{ 噸。}$$

一月後煤之重量…………… $78.3 \times \frac{100}{(100 - 4)} = 81.5$ 噸。

重量之減少…………… $85 - 81.5 = 3.5$ 噸。

此時之煤價…………… $\frac{12,750,000}{81.5} = 156,443$ 元/噸。

例二屬於第二類問題。

● basis of calculation.

例三 送人一蒸發器中溶液最初之濃度爲 20%，經蒸發後之濃度爲 28%，並知蒸發時除去之水分爲 120 磅。問最初之溶液共有若干磅？

解 計算基準： 全部固體溶質之重量 = W 磅。

最初溶液量..... $\frac{100}{20} \times W$ 磅。

蒸發後溶液量..... $\frac{100}{28} \times W$ 磅。

蒸發時逐去之水分量..... 120 磅。

由 $\left(\frac{W}{20} - \frac{W}{28}\right) \times 100 = 120$ 。

解得 $W = 84$ 磅。

最初溶液量..... $\frac{100}{20} \times 84 = 420$ 磅。

例三屬於第三類問題。

例四 某工廠運入鐵礦樣品 1,000 磅。在貯藏時期中由於水分之蒸發，失去重量 50 磅。經空氣乾燥後之鐵礦分析其成分爲：

$\left\{ \begin{array}{l} \text{水分} \cdots \cdots \cdots 3\%, \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdots \cdots \cdots 88\%, \\ \text{SiO}_2 \text{等} \cdots \cdots \cdots 9\% \end{array} \right.$

問鐵礦樣品運入時立即加以分析，其成分應爲如何？

解 計算基準： 100 磅之原樣品。

經空氣乾燥後之重量..... 95 磅。

Fe_2O_3 之重量..... $95 \times \frac{88}{100} = 83.6$ 磅。

SiO_2 等之重量..... $95 \times \frac{9}{100} = 8.55$ 磅。

原樣品之成分：
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdots \cdots \cdots 83.6\%, \\ \text{SiO}_2 \text{等} \cdots \cdots \cdots 8.55\%, \\ \text{水分} \cdots \cdots \cdots 7.85\% \end{array} \right.$

§2. 混和物組成之調節 化學工廠中之稀酸、廢酸、或其他混和物欲再度利用時，必需加入濃酸、新酸、或其他純化合物以調節其組成。在此類問題中，皆以物質不滅定律為計算基礎。亦即兩混和液重量之總和應等於最後所得混和物之重量，又兩混和物中所含每一純物質之量總和後亦應等於最後所得混和物中所含此物質之量。關於操作前後各成分重量之收支平衡計算謂之質量精算[⊙]。

例五 某工廠之廢酸槽中有 100 磅之稀鹽酸，其成分為 18% HCl。今欲提高其濃度至 28%，問須加入若干磅之濃鹽酸(40% HCl)?

解 計算基準： 100 磅之 28% 鹽酸。

假定配合成 100 磅之 28% 鹽酸時所用之稀酸量為 x 磅(18%)，又濃酸量為 y 磅(40%)，則由質量精算，得下列關係：

$$\begin{array}{ll} \text{全重量} & x + y = 100 \\ \text{純 HCl 之量} & 0.18x + 0.40y = 28 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{解得} & x = 54.5 \text{ 磅} \\ & y = 45.5 \text{ 磅} \end{array}$$

令 z 表 100 磅稀酸(18%)中應加入之濃酸(40%)量。則由

$$45.5 : 54.5 = z : 100$$

$$\text{得} \quad z = 83.5 \text{ 磅}$$

含有三成分之混和物配合時，組成之計算自較複雜，但實用例甚多，例如硝化工程[⊕]所用之混酸[⊖]為一三成分系之混和物即



硝化工程完成後所得之廢酸，因為硝酸成分減低，同時水分增多，若重行加以利用，則濃度有調整之必要。通常加入濃硫酸及濃硝酸，其配合量之計算略同於例五。又如完全肥料中含有氮、磷及鉀三主要成分，由各種單純肥料配合時，其計算亦同。

例六 某硝化棉製造工廠之廢酸成分為： $\text{HNO}_3 = 23\%$

⊙ weight balance; ⊕ nitrating process; ⊖ mixed acid.

$\text{H}_2\text{SO}_4 = 57\%$, $\text{H}_2\text{O} = 20\%$ 。但硝化作業時需用之混酸組成爲：
 $\text{HNO}_3 = 27\%$, $\text{H}_2\text{SO}_4 = 60\%$, $\text{H}_2\text{O} = 13\%$ 。問由廢酸配製新混酸時，
 若用 93% 之濃硫酸，90% 之濃硝酸，則每 1,000 磅之新混酸所需廢
 酸及濃硫酸，濃硝酸量各爲若干磅？

解 計算基準： 1,000 磅之新混酸。

假定廢酸所需量爲 x 磅。

濃硫酸所需量爲 y 磅。

濃硝酸所需量爲 z 磅。

則由總重量，得 $x + y + z = 1,000$ 。

純 H_2SO_4 之量 $0.57x + 0.93y = 0.60 \times 1,000$ 。

純 HNO_3 之量 $0.23x + 0.90z = 0.27 \times 1,000$ 。

用行列式法解上列聯立方程式，得：

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0.57 & 0.93 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.9 \end{vmatrix} = 0.837 - 0.2139 - 0.513$$

$$= 0.1101$$

$$x = \frac{\begin{vmatrix} 1,000 & 1 & 1 \\ 600 & 0.93 & 0 \\ 270 & 0 & 0.9 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{45.9}{0.1101} = 417 \text{ 磅。}$$

$$y = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1,000 & 1 \\ 0.57 & 600 & 0 \\ 0.23 & 270 & 0.9 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{42.9}{0.1101} = 390 \text{ 磅。}$$

$$z = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1,000 \\ 0.57 & 0.93 & 600 \\ 0.23 & 0 & 270 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{21.3}{0.1101} = 193 \text{ 磅。}$$

第二章 化學量之計算[●]

§1. 分子單位之應用 通常所謂原子量，並非實指某一單原子之質量，而為各種元素單原子質量之比值。例如氫為 1，氧為 16，蓋指氧原子之質量較氫原子者大 16 倍。在萬國原子量表中所列各種元素之原子量，皆由同一數量之各種原子重量比較而得。

各種原子量若冠以克單位，則謂之克原子[⊖]。每一克原子皆含有 6.06×10^{23} 個原子，此數字為吾人所熟知之數。

分子量是根據分子式所含各類原子之個數及其原子量而得，若以克單位表之，則為克分子量[⊖] 簡寫作“克分子”[⊖]。

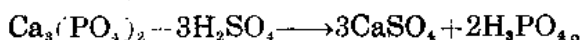
在化工計算問題中常用之單位為磅-分子，千克-分子，及磅-原子，千克-原子[⊖] 等。其便利為任何單位所不及。因為化學反應中皆為分子與分子，原子與原子或原子與分子間之結合或變化。故言若干磅之某一物質與若干磅之另一物質化合，遠不若一磅-分子與另一磅-分子化合為清楚明瞭也。用分子單位討論問題，可使各種化學反應中之重量關係簡單化；此外，化學上各種常數，例如蒸發熱[⊕]，融化

● Stoichiometric Calculations; ⊖ gram-atom; ⊖ gram-molecular weight; ⊕ gr-mol; ⊕ lb-mol, kg-mol, lb-atom, kg-atom. ⊕ heat of vaporization.

熱[⊕]，熱容量[⊖]，氣體體積等，皆與分子單位有直接關係，故計算時便利之處極多。

例一 製造磷酸 (H_3PO_4) 時，假定用理論上所需之硫酸量處理磷酸鈣 ($Ca_3(PO_4)_2$) 礦。問每 100 磅之 H_2SO_4 可得若干磅之磷酸。

解 理論上之反應可用下式表示，



計算基準：100 磅之 H_2SO_4 。

$$H_2SO_4 \text{ 量} \dots\dots\dots \frac{100}{98} = 1.02 \text{ 磅-分子。}$$

$$Ca_3(PO_4)_2 \text{ 量} \dots\dots\dots 1.02 \times \frac{1}{3} = 0.34 \text{ 磅-分子。}$$

$$H_3PO_4 \text{ 生成量} \dots\dots\dots 1.02 \times \frac{2}{3} = 0.68 \text{ 磅-分子。}$$

$$H_3PO_4 \text{ 生成量} \dots\dots\dots 0.68 \times 98 = 66 \text{ 磅。}$$

$$Ca_3(PO_4)_2 \text{ 量} \dots\dots\dots 0.34 \times 310 = 105 \text{ 磅。}$$

$$CaSO_4 \text{ 生成量} \dots\dots\dots 1.02 \times 136 = 139 \text{ 磅。}$$

重量精算：

$$\text{反應物之總量，} \quad 100 + 105 = 205 \text{ 磅。}$$

$$\text{生成物之總量，} \quad 139 + 66 = 205 \text{ 磅。}$$

§2. 工業化學反應問題之特點 在工業上之各種化學反應，每每反應物與生成物之重量，並不與理論上之反應式所示者相同。往往在各種反應物中，總有一個或數個為過量者。例如燃燒反應中所供給之氧氣或空氣常多於完全燃燒時所需要之量。但生成物重量之計算常以反應物中非過量之物質為計算之標準。在工業計算上此種過量皆用百分率表示，謂之百分率過量[⊗]。

此外，在工業計算問題中更有所謂“反應完全度”[Ⓔ]者。亦即工業

⊕ heat of fusion; ⊖ heat capacity. ⊗ percentage excess; Ⓔ degree of completeness.