

化工操作原理与設備

(上 冊)

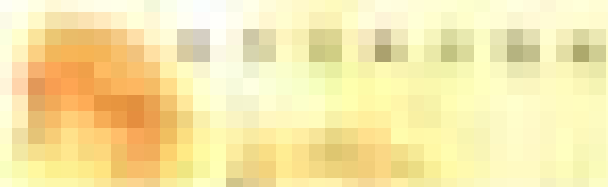
丁 緒 淮	張 洪 沅
張 震 旦	顧 毓 珍
編	著

科 学 技 術 出 版 社

化工操作规范与案例

作者：[作者姓名]

ISBN: [ISBN号]
[出版社名称]



81.17

153

1:2

化工操作原理与設備

(上 冊)

丁緒淮 張洪沅 編著
張震旦 顧毓珍

科 學 技 術 出 版 社

內 容 提 要

本書旨在闡明化學工業中的基本操作原理與設備，全書分為上、下兩冊。上冊敘述流體力學與流量的測定、流体輸送、沉降和過濾、熱的傳遞等各項操作方法與機械設備。每章均有例題，說明基本原理的實際應用。

本書除可供大專學校作為數學參考用書外，亦可供從事化工生產者自學及參考之用。

化工操作原理與設備

(上 冊)

編著者 丁緒淮 張洪沅
張震旦 顧毓珍

*

科學技術出版社出版

(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可証出○七九號

中科藝文聯合印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：15119·246

(原中科版印2,000冊)

開本 850×1168 紙 1/32 · 印張 9 5/8 · 插頁1 · 字數 208,000

一九五六年六月新一版

一九五六年九月第二次印刷 · 印數 2,001—3,500

定價：(10)一元七角

序 言

“化工操作原理與設備”乃化學工業基本生產過程和機器設備的簡稱。這門課程以往在我國稱為化學工程學，或更普遍地稱為化工原理。在蘇聯則稱為化學工業基本過程和設備，蓋因這門課程的學習要求，除了必須學會化工生產過程的基本操作原理，還須明瞭其中有關的機器設備。這種要求，正體現了理論與實際相結合的精神，而課程的命名，也恰如其份，稱得起是名符其實。

這門課程的知識，萌芽於二十世紀初葉，而在偉大的十月社會主義革命後，蘇聯學者們在這一方面更作出卓越的貢獻。但在我國，以往學習化學工程者，其基礎知識的泉源大都限於美國教材，如華克等四氏及倍開兩氏的課本，而不知或無法獲得蘇聯關於化工方面的先進科學技術知識。直到解放之後，大家才開始有了向蘇聯學習的機會。

1953年，大連工學院化工原理組研究生已將蘇聯卡薩特金教授的傑作“化學工業基本過程和設備”翻譯出來，為大家創造了可以學習蘇聯先進經驗的條件。此書在思想性、系統性、和理論聯系實際方面都有很大的優點，確是這門學科的一本巨著。惟書中應用數學之處較多，常用三向來導出公式，對於我國初學者以及對於數學修養較為不夠的實際工作者，都似嫌過於深奧，難以領會。至於這門學科的中文參考書籍，則到目前為止，還是相當缺乏。這樣，就使我國初學者和從事實際工作者，在學習化學工業的生產知識和吸取蘇聯的先進經驗之時，仍然感覺到困難。

00352

我們有鑒於此，乃編著本書，試圖在簡明易讀的原則下，儘量採取卡薩特金書中的精神，儘少利用高深的數學，以闡明各種化工操作的基本原理，並根據這些原理，適當地說明典型的化工設備，俾供初學者或從事實際工作者的參考。

本書分爲上、下兩冊，共計十四章，每章附有例題與練習題。上冊內容有流體力學，流體輸送，沉降與過濾，熱傳導與熱輻射，對流傳熱和傳熱設備六章。下冊內容有蒸發，結晶，擴散原理，吸收，蒸餾，乾燥，冷凍和固體粉碎八章。由於各章係由編著者分別執筆，故文章體裁，未盡一致。符號亦略有出入，好在章末都附有符號的說明，不致混淆。

本書係利用假期和課餘時間編就，而由於編著者分散三地，通信討論，諸多不便，更限於編著者的政治與業務水平，故謬誤之處，在所難免。希望讀者多多予以批評和指正，以便改進。

編著者

1955年2月

目 錄

上 冊

序言	1-2
----	-----

緒論	1-7
----	-----

研究化學工程的目的	1	基本概念	3
化工基本操作分類	1	單位制度及物理量因次	6
簡明歷史	2		

✓第一章 流體力學與流量的測定	8-73
-----------------	------

1-1 目的和要求	8	速度分佈的關係	39
I. 流體靜力學的應用	9	1-17 非圓形管的摩擦阻力	41
1-2 基本定義	9	1-18 局部摩擦阻力的計算	42
1-3 靜力學基本方程式	11	1-19 流體在過程中所需的總功	
1-4 液柱壓力計	12	率	45
II. 流體動力學基礎	14	1-20 已知管路兩端壓力降時的	
1-5 流速與流量率	14	流量計算	49
1-6 流體的連續性方程式	14	1-21 並聯管流系統流量的計算	52
1-7 黏度與動力黏度	15	III. 管路中流速和流量的測	
1-8 流體的流動類型	17	定	53
1-9 導管截面質點的速度分佈	19	1-22 測定方法的分類	53
1-10 柏努利方程式	24	1-23 直接變位法的流量計	54
1-11 柏努利方程式的應用	27	1-24 孔流速計	56
1-12 摩擦阻力計算一般方程式	29	1-25 文德利流速計	58
1-13 滯流時的摩擦阻力	32	1-26 畢託管	59
1-14 湍流時的摩擦阻力	35	1-27 轉子流速計	61
1-15 粗糙管在湍流時的摩擦阻		1-28 堰或壩	64
力	37	1-29 電阻流量計	66
1-16 摩擦系數及 Re 數與質點		1-30 稀釋法	67

第二章 流體的輸送.....74-123

I. 管, 管件及閥.....74	2-16 噴射泵..... 101
2-1 管及管的標準.....74	2-17 空氣升液器..... 102
2-2 管件的種類及其功用.....77	III. 氣體的輸送與壓縮..... 105
2-3 活門或閥.....79	2-18 氣體壓縮的操作過程..... 105
II. 液體的輸送.....83	2-19 氣體壓縮機的生產能力, 功率與效率..... 106
(甲) 往復泵.....83	(甲) 往復壓縮機..... 110
2-4 往復泵的一般原理.....83	2-20 往復式壓縮機..... 110
2-5 泵的流量曲線.....84	(乙) 旋轉壓縮機和鼓風機..... 112
2-6 往復泵的吸入高度.....86	2-21 旋轉壓縮機..... 112
2-7 隔膜泵.....89	2-22 擺旋鼓風機..... 112
(乙) 旋轉泵.....90	2-23 液環壓氣機..... 113
2-8 旋轉泵.....90	(丙) 離心鼓風機, 離心壓縮機 和送風機..... 114
(丙) 離心泵.....91	2-24 離心鼓風機與壓縮機..... 114
2-9 離心泵的基本原理.....91	2-25 送風機..... 115
2-10 自引法的離心泵.....94	(丁) 氣體噴射器及其他..... 117
2-11 離心泵的吸入高度.....95	2-26 氣體噴射泵..... 117
2-12 離心泵的示性曲線.....96	2-27 氣體輸送機的使用範圍.. 119
2-13 往復泵與離心泵的比較... 98	2-28 泵或運氣體的構造材料.. 120
(丁) 酸蛋及其他.....99	
2-14 虹吸.....99	
2-15 酸蛋..... 100	

第三章 沉降與過濾..... 124-168

✓ 3-1 懸浮液的懸浮濃度和黏度 124	3-9 濾餅洗滌及洗液的處理.. 143
I. 沉降..... 125	3-10 過濾的基本方程式..... 143
3-2 沉降的基本原理..... 125	3-11 過濾的計算..... 146
3-3 自由沉降與干擾沉降..... 130	III. 過濾設備..... 152
3-4 沉降器的生產能力..... 133	3-12 板框式壓濾機..... 153
3-5 沉降器的分類及其構造.. 135	3-13 葉濾機..... 156
3-6 沉澱的洗滌..... 139	3-14 多孔陶瓷介質過濾機.. 158
✓ II. 過濾..... 140	3-15 迴轉真空過濾機..... 160
3-7 過濾的一般原理..... 140	3-16 鏈帶式真空過濾機..... 162
3-8 生產能力及過濾速度.... 143	3-17 加壓式連續過濾機..... 163

第四章 熱傳導與熱輻射..... 169-207

4-1 傳熱的方式..... 169

I. 熱傳導 170

4-2 富理埃定律及導熱係數.. 170

4-3 多層平面壁的熱傳導.... 174

4-4 圓筒壁的熱傳導及對數
均值..... 1764-5 中空球壁的熱傳導及幾
何均值..... 1784-6 不穩態熱傳導的一般微
分式及導溫係數..... 1804-7 不穩態熱傳導的簡單特
例..... 183

II. 熱輻射 188

4-8 基本概念..... 188

4-9 黑體的輻射——斯蒂芬·
波爾茨曼定律..... 193

4-10 二固體面間的輻射授受.. 195

4-11 氣體輻射..... 200

4-12 高溫測定中的輻射誤差.. 203

第五章 對流傳熱..... 208-280

5-1 緒言..... 208

5-2 強制對流傳熱的溫度梯
度..... 209

5-3 給熱係數和傳熱係數.... 210

5-4 平均溫度差..... 215

5-5 流體流動方向的選擇.... 225

5-6 給熱係數的推求..... 228

5-7 熱相似..... 237

5-8 推求給熱係數的方程式.. 239

5-9 影響給熱係數的諸因素泛
論..... 257

5-10 對流傳熱例題..... 261

第六章 傳熱設備..... 281-295

I. 間接的傳熱設備 281

6-1 套鍋..... 282

6-2 蛇管傳熱器..... 284

6-3 水淋冷却器..... 285

6-4 套管換熱器..... 286

6-5 列管換熱器..... 287

6-6 螺旋換熱器..... 291

6-7 柵管加熱器..... 292

6-8 翅管加熱器..... 293

II. 直接的加熱設備 294

6-9 直接蒸汽加熱..... 294

附錄..... 297-300

1. 液體黏度與溫度的關係圖.... 297

2. 氣體黏度與溫度的關係圖.... 298

3. 無縫鋼管公制標準..... 298 後面

4. 鋼管公制標準..... 299

5. 水和煤氣管的尺寸和重量.... 300

緒 論

研究化學工程的目的

“化工操作原理與設備”乃化學工業基本生產過程及機器設備的簡稱，以往在我國稱為化學工程學或化工原理。任何綜錯複雜的化工生產過程，倘若加以分析和整理，可以歸納成為比較少數的操作類，稱為單元操作。每類操作或單元操作有其共同的基本原理，根據這些共同的基本原理，每類操作自有其特殊的機械設備，還可根據這些原理深入研究，來設計或改進其機械設備，以應工業發展的需要。要把我國建設成為一個社會主義國家，化學工程必須遵循我國當前的政治及經濟任務而發展，主要地是實現國家的社會主義工業化，逐步過渡到社會主義社會。依據我國在過渡時期的總路綫，要大力發展重工業，相應地發展輕工業，而化學工程這門科學，不論在重工業或輕工業中，都是一樣地重要。很顯明地，我們一方面要改進舊的製造過程，改善勞動條件，加強生產能力，充分利用副產品及廢料，並使工作的全面機械化，生產管理的自動化，一方面還須運用新的製造過程和設計新的設備。因此，我們可以看到“化工操作原理與設備”這門課程在我國目前過渡時期中的重要性。在本課程中要用唯物辯證的觀點和方法來研究化工生產過程的理論與實際，要熟悉計算方法以及操作時所採用的化工機械。

化工基本操作分類

根據化工生產過程的基本規律，蘇聯卡薩特金教授採取下列的分類法，每類中包括重要的幾個單元操作。

I. 流體動力過程 有遵循流體動力學規律的流體輸送，氣體淨製，液體非均一系分離中的沉降與過濾以及物料的攪拌等操作。

II. 傳熱過程 有遵循傳熱學規律的傳導，輻射和對流傳熱諸過程以及蒸發與結晶兩重要操作。

III. 擴散過程 有遵循擴散原理的吸收、蒸餾、乾燥、萃取(浸取)等操作。

IV. 熱力過程 有遵循熱力學規律的氣體壓縮和冷凍操作。

V. 機械操作 有遵循固體力學諸法則的固體粉碎與篩析。

此外還有遵循化學反應諸法則的化學變化操作，則屬於專業的研討範圍。

本書則選擇上列諸過程中重要的十幾個操作，分章加以探討，藉以明瞭此類操作中的基本原理和機械設備。

簡明歷史

化工操作及設備之成爲一門獨立課程，開始於二十世紀初期。早在 1909 年蘇聯 A.K. 克魯普斯基教授於“化工設計初篇”的論文中，首先確定了化工過程及機械的重要概念。1912 年，И.А. 吉辛科將“化工過程及機械”作爲一門獨立的課程，在莫斯科高等工業學校化工系開始講授。此後則由蘇聯許多學者發表重要的有關論文及書籍。特別在偉大的十月社會主義革命後，蘇聯學者們更在

這方面作出巨大的貢獻。1930年後，蘇聯A.Γ.卡薩特金教授編著“化工生產過程及設備”一書，於1935年出第一版，屢經改編，到1950年已出到第五版。

長時期地處於封建社會及半殖民地社會的中國，科學與工程都得不到發展和重視，化學工程方面也不是例外。勞動人民對於化工方面的成就，肯定的說是有的，可是由於過去社會中輕視“雕蟲小技”的思想，很少被寫歷史者記載下來，以致失傳而不可考。關於化工方面成就的記載，明朝宋應星所著“天工開物”一書及清朝“圖書集成”中工藝類內有一些。我國古時關於液體輸送設備的創製，遺傳至今的有農民灌溉用的水車以及四川自流井利用竹管以輸送鹽水的設備。關於氣體輸送的設備，遺傳至今的有手拉的風箱。由於釀造技術的進展，我國以往對於蒸餾原理和操作，亦有相當成就。近三十餘年來，中國科學工作者對於化學工程方面，雖然有了一些貢獻（初步可參考顧毓珍：“中國化學家對於化學工程的貢獻”，化學世界第8卷第10期，1953年10月），但基本上是很有局限的，主要原因還是在解放以前的社會制度中，化學工程與其他科學或工程一樣，是得不到發展和重視的。

在解放後的新中國，尤其在進行大規模工業建設期間，人民的勞動成果，科學研究和技術改進已獲得無比的重視，工人的智慧正在迅速地發揮出來。加以學習蘇聯先進經驗後，對於化學工程方面的成就，必可與其他科學或工程一樣地會繼續不斷的猛進，而開闢了中國化學工程發展的新時代。在我國過渡到社會主義社會過程中，將要發生巨大的作用，這就需要化工同志們的努力學習蘇聯和刻苦鑽研化工技術。

基本概念

1. 物料及能量衡算 根據物質不滅與能量不滅的基本定律，在化工過程中要常常應用物料與能量的衡算來求出損失。如被處理物料的重量為 G_1 ，經製造過程後獲得的重量為 G_2 ，其中物料損失即為 G_3 ，如下式所示：

$$G_1 = G_2 + G_3$$

G_2 與 G_1 之比，以百分率表示之，稱為成品率，以 η 表示之。即

$$\eta = \frac{G_2}{G_1} \cdot 100$$

在化工過程中，物料之處理與能量（熱能、機械能、電能等）之消耗，有着連帶的關係。按能量不滅定律，在理論上引入操作能量之和，應等於操作完畢後所得之能量。實際上，在任何生產操作中，不可能避免有能量損失存在，故必須考慮在衡算等式內，其間單位必須相同。即以熱能為例，

如 Q_1 = 隨物料引入操作中之熱量；

Q_2 = 從外界引入操作中之熱量；

Q_3 = 經操作後放出之熱量；

Q_4 = 隨着物料從操作中引出之熱量；

Q_5 = 損失於外界之熱量。

則 $Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5$ 。

2. 生產能力及操作強度 生產能力為機器與設備的主要性能，可以單位時間內，進入製造物料之數量表示之，或以單位時間內，經製造後所得成品之數量表示之。當所有其他條件都相同時，生產能力與機器設備的大小成正比例。亦與其中進行之速度有關，一般說來亦成正比例。

凡足以表示機器性能之基本單位的生產能力，稱為操作強度。譬如蒸發器之操作強度以每小時每平方米傳熱面積所能蒸發之水份數量來表示。生產操作強度的增加，可使同一機械或裝置在同一單位時間及在同樣勞動力情況下，獲得產品數量的提高。

3. 功率及效率 除了生產能力外，機器設備本身的性能通常以功率表示之，即係單位時間內機器本身獲得或消耗之功。功的單位如用 [仟克^①·米] 或 [公斤·公尺]，則功率可用仟瓦或馬力，其換算如下：

$$1 \text{ 仟瓦} = 102 [\text{仟克}^{\text{①}} \cdot \text{米/秒}],$$

$$1 \text{ 馬力} = 75 [\text{仟克}^{\text{①}} \cdot \text{米/秒}].$$

實際上，有效功率將永遠小於實際上所需消耗的功率，因在發動機本身及其各輸送機件上都有能量損失。有效功率 N 及實際所需功率 N_e 之比，稱為機器的效率，亦以 η 表示之，則

$$\eta = \frac{N}{N_e}.$$

4. 平衡關係與反應速率 物系之自然發生變化或反應者，其變化必遵循一定方向進行着，若任其發展，結果必到達不起變化或停止發生反應的情況，稱為平衡狀態。例如在熱的傳導中，一塊熱的鐵和一塊冷的鐵，放在一起接觸，熱鐵會逐漸變冷，冷鐵會逐漸變熱，直到平衡狀態時，兩塊鐵的溫度相同。故平衡狀態乃物系變化或反應作用的終點，除非支配該物系的變化或反應作用的情況有變更，這些終點是不會變更的。

實際上，較平衡狀態顯得更重要的是反應作用以什麼速率趨向平衡的問題。這類速率稱為反應速率，一般地講，希望反應速率

① 仟克是力的單位

增加，就可獲得時間的節省，以提高機器的生產能力。在物系變化或反應作用中，有必要將支配反應速率的規律儘先的找尋出來。當這些規律還不十分清楚時，至少可以近似地應用推動力與阻力的概念來分析。即

$$\text{反應速率} = \frac{\text{推動力}}{\Sigma \text{阻力}}$$

如以 R 代表熱傳導中之阻力，很顯明地熱傳導中的推動力為兩端的溫度差 Δt ，故傳熱速率應為：

$$\frac{dQ}{d\tau} = \frac{\Delta t}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots} = \frac{\Delta t}{\Sigma R};$$

同樣地，流體輸送操作中的推動力為壓力差 Δp ，溶解或萃取中的推動力為濃度差 ΔC ，至其中阻力，則比較複雜，惟亦可按此一般概念分析出來。

單位制度及物理量因次

用一定單位制度為基礎，以表示某一定物理量者，稱為該物理量之因次。單位制度的建立，係從三個基本而且互相獨立的因次出發。在物理中的基本單位為長度(L)、質量(M)及時間(T)，在工程中的基本單位為長度(L)、重量或力(F)及時間(T)。各種物理性質如速度、密度、壓力等，都可以用基本單位表示之，稱為該物理性質之因次，一般以 [] 為記號。例如在物理中速度的因次為 $[LT^{-1}]$ ，速度在工程中的因次亦相同。密度在物理中的因次為 $[ML^{-3}]$ ，而在工程中的因次為 $[FT^2L^{-4}]$ 。故物理量之因次不僅與其性質有關，且與所採用之單位制度有關，即同一物理量在不同的單位制度中，可以具有不同的因次。在物理中凡採用厘米(L)、克

(M)及秒(T)為基本單位者,稱為 CGS 單位制度. 在工程中凡採用米或公尺(L)、仟克(力)或公斤(F)及秒(T)為基本單位者,稱為 MKS 單位制度. 必須指出,在 MKS 制中,仟克係力的單位,故嚴格地講,應當在仟克後加(力),以示與仟克質量有所區別. 目前在我國工廠中,有些已應用[公斤]為力的單位,則不妨就採用[公斤]為 MKS 制的力的單位. 長度的單位在 MKS 制中,亦可將[米]與[公尺]交換使用,看什麼時候方便. 不過在要使用毫米時,則在同一問題中,用厘米或米較為方便. 故一般可用米、仟克、秒制. 茲將兩種不同單位制度物理量的單位及其因次,錄入下表,以便比較. 凡長度、質量或力及時間三者稱為基本單位,其他各項物理量,則稱為誘導單位,蓋由表中可見誘導單位都可用基本單位的因次式來表示.

附表 兩種不同制度的力學量度單位

量別	單 位 制 度		因 次 式	
	厘米、克、秒(C.G.S.)	米、仟克(力)、秒(M.K.S.)	C.G.S.	M.K.S.
長度	1 厘米	1 米或 1 公尺	L	L
質量	1 克	$1 \frac{\text{仟克(力)}}{9.81}$ 或 $\frac{1 \text{ 公斤}}{9.81}$	M	FT^2L^{-1}
力	1 達因	1 仟克(力)或 1 公斤	LMT^{-2}	F
時間	1 秒	1 秒	T	T
速度	1 厘米/秒	1 米/秒	LT^{-1}	LT^{-1}
加速度	1 厘米/秒 ²	1 米/秒 ²	LT^{-2}	LT^{-2}
功	1 爾格 = 1 克·厘米 ² /秒 ²	1 仟克(力)·米; 1 公斤·公尺	L^2MT^{-2}	LF
功率	1 爾格/秒	1 仟克(力)·米/秒; 1 公斤·公尺/秒	L^2MT^{-3}	LFT^{-1}
壓力	1 巴 = 1 達因/厘米 ²	1 仟克(力)/米 ² ; 1 公斤/米 ²	$\text{L}^{-1}\text{MT}^{-2}$	L^{-2}F

第一章

流體力學與流量的測定

1-1 目的和要求 流體乃一種物質，其特徵在於其質點具有幾無極限的流動性，且可幾無阻力將其形狀分裂或改變。除了固體以外，液體與氣體統稱流體。氣體的流速，若未超過音速（在空氣中為每秒鐘 331 米），其運動法則與液體的相同，故統稱為流體力學。專門關於水的，稱為水力學，專門關於空氣的，稱為空氣力學。在流體力學中，同樣地在水力學或空氣力學中，可分為靜力學和動力學。在各項工程方面的應用，如水利工程與航空工程，動力學較靜力學尤為重要。

化學工業中遇見流體的範圍，至為廣泛，包括水及水以外的各種液體，如酸類、鹼類等，又包括空氣及空氣以外的各種氣體，如氫、氮、氨等。所幸對於這樣廣泛的流體範圍，都可應用流體力學中的法則來處理，所以為了解決化學工業中流體的輸送問題，首先要明瞭流體力學的基本原理。如是則可解決化學工業中流體輸送方面的兩個中心問題：

1. 決定輸送所需的動力，由此而決定輸送機械之大小和效率；
2. 測定流體量的各種方法，由此而決定流速計的種類和如何選擇。

此外，在傳熱過程與擴散過程中，幾乎沒有一處不牽涉到流體的操作，而流體的流動方式和速度，都將影響着這些過程的係數和操作效率。這就足夠說明為什麼把流體力學和流量測定放在本書的第