

中央人民政府高等教育部推薦

高等學校教材試用本

化工原理

下 冊

A. Γ. 卡薩特金 著

大連工學院化工原理組研究生合譯

重工業出版社出版

1 9 5 3

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本

化 工 原 理

下 冊

A. П. 卡薩特金 著

大連工學院化工原理組研究生合譯

重工業出版社出版

本書係根據 1950 年蘇聯國家化學科學技術書籍出版局 (государственное научно-техническое издательство химической литературы) 出版的卡薩特金 (А. Г. Касаткин) 著 [化工原理] (Основные процессы и аппараты химической технологии) 第五版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為化工學院及化工系教科書。

本書共十八章分上下兩冊出版。

擔任本書翻譯工作者為大連工學院化工原理組研究生(以姓氏筆劃為序): 王紹亭、李寶鈺、侯香模、袁孝鵠、葉振華、劉中正。擔任本書部分校對者: 丁惠華、袁霽、譚天恩。

本書翻譯工作承華東化工學院顧振軍教授協助, 而將其所譯本書第四版 (1948年) 原稿寄來供譯者參考。

本書譯者係在蘇聯專家龔却林科 (Г. К. Гончаренко) 副教授教導下學完該課程; 翻譯期間又蒙蘇聯專家斯特洛姆 (Д. А. Стром) 副教授及米哈依洛夫 (В. В. Михайлов) 副教授予以指導, 特致謝忱。

化 工 原 理

下 冊

大連工學院化工原理組研究生合譯

★ 版 權 所 有 ★

重 工 業 出 版 社 出 版
中 國 圖 書 發 行 公 司 發 行
旅 大 人 民 印 刷 第 二 廠 印 刷

1953年12月第一版 1—8,000冊

定 價 26,000元

中央人民政府高等教育部推薦 高等學校教材試用本的說明

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國高等學校院系調整後的一項重大工作。在我國高等學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的教材，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

一九五二年九月二十四日人民日報社論已經指出：‘蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯繫實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。’我們現在就是本着這種認識來組織人力，依照需要的緩急，有計劃地大量翻譯蘇聯高等學校的各科教材，並將陸續向全國推薦，作為現階段我國高等學校教材的試用本。

我們希望：使用這一試用本及今後由我們繼續推薦的每一種試用本的教師和同學們，特別是各有關教研組的同志們，在教學過程中，對譯本的內容和譯文廣泛地認真地提出修正意見，作為該書再版時的參考。我們並希望各有關教研組在此基礎上逐步加以改進，使能結合中國實際，最後能編出完全適合我國需要的新教材來。

中央人民政府高等教育部

下 冊 目 錄

第三篇 擴 散 過 程

第十章 相平衡和擴散的基本定律..... 359

66. 相律及單組份系統..... 359

基本定義

相 律

單組份系統

表示各相成分之方式

67. 擴散的基本定律..... 365

擴散之概念

在運動介質中濃度分配微分方程式

68. 擴散之相似..... 368

第十一章 乾 燥..... 373

69. 基本概念..... 373

去濕方法和乾燥種類

乾燥操作的靜力學和動力學

(甲) 乾燥靜力學..... 374

70. 蒸氣和氣體的混合物..... 374

概 論

氣體之絕對濕度

氣體之相對濕度

氣體之濕含量

濕氣體的熱含量

露 點

濕球溫度

濕空氣 $I-x$ 圖

71. 空氣乾燥器之物料平衡及熱量平衡..... 379

空氣乾燥器之操作原理

空氣乾燥器之物料平衡

空氣消耗量

空氣乾燥器之熱量平衡

理論乾燥器

用 $I-x$ 圖表以計算乾燥器

72. 乾燥操作之各種方式..... 388

在乾燥室中加熱空氣的乾燥方式

中間加熱空氣之乾燥方式

廢氣循環之乾燥方式

乾燥操作之其他方式

使用煙道氣的乾燥方式

(乙) 乾燥動力學..... 393

73. 乾燥速度..... 393

物料中水份的狀態

乾燥速度

當乾燥介質之濕含量不變時的乾燥速度

乾燥介質之濕含量變動時的乾燥速度

74. 乾燥器的構造..... 403

乾燥器的分類

連續式常壓乾燥器

間歇式常壓乾燥器

真空乾燥器之構造

間歇式真空乾燥器

連續式真空乾燥器

第十二章 液體蒸餾..... 421

75. 液體混合物之相平衡原理..... 422

雙組份混合液之分類

可以任何比例互溶的液體

部份互溶之液體

互不溶解之液體

76. 簡單蒸餾..... 429

77. 水蒸汽蒸餾..... 431

78. 精 餾..... 433

精餾原理

間歇精餾

連續精餾

79. 精餾塔操作的計算..... 436

塔之精餾段操作線方程式

塔之提餾段操作線方程式

操作線之應用

操作線之作法

回流比、塔板數與加熱蒸汽消耗量間的關係	
80. 確定分離雙組份混合物精餾塔塔板數之圖解法	441
連續式精餾塔	
間歇式精餾塔	
81. 分離多組份混合物之精餾塔塔板數的測定	447
82. 用熱圖計算精餾塔	450
83. 蒸餾裝置的熱平衡	452
簡單蒸餾	
間歇精餾	
連續精餾	
84. 特殊方法蒸餾	454
浸取蒸餾和恒沸蒸餾	
分子蒸餾	
85. 蒸餾及精餾的設備	456
蒸餾釜	
塔的構造	
泡蓋塔	
泡蓋塔某些構造上的尺寸	
篩板塔	
填料塔	
填料塔之液泛及其最適宜操作條件	
填 料	
填料塔內之流體阻力	
填料之高度	
膜式離心精餾器	
第十三章 氣體混合物之吸取分離法	477
86. 吸收之理論	478
氣體在液體中的溶解度	
吸收過程之機理	
吸收方程式	
87. 吸收器之構造與吸收設備流程	485
表面吸收器	
填料式吸收塔	
鼓泡式吸收器	
噴洒吸收器	
吸收器的比較	
解吸(餾出)	

吸收設備流程	
88. 吸收器之計算	491
物料平衡	
吸收液體（吸收劑）之單位消耗量	
吸收塔主要尺寸之計算	
泡蓋式吸收塔之計算	
吸收劑蒸氣壓之影響	
不等溫之吸收作用	
化學吸收	
吸收係數	
89. 氣體的乾燥及增濕	502
總 論	
物質傳遞係數	
物料平衡及熱量平衡	
利用 $I-x$ 曲線圖之圖解計算法	
圖解積分計算法	
90. 吸 附	508
吸附操作的理論	
吸附速度	
吸附劑的靜活性與動活性	
吸附劑的選擇性能	
用吸附法分離氣體混合物之應用範圍	
吸附劑的解吸	
吸附操作的流程及器械	
吸附器械的計算	
第十四章 浸 取	516
91. 操作之物理基礎	515
物質分配定律	
92. 固體之浸取	517
浸取裝置之流程	
浸取器械容積的計算	
浸取器械之構造	
93. 液體之浸取	521
浸取裝置流程	
逆流塔式浸取器之計算	

第四篇 熱 力 過 程

第十五章 氣體之壓縮	527
94. 基本概念	527
絕熱、等溫與多變壓縮和減壓	
機械之分類	
95. 往復壓縮機	530
操作原理	
壓縮機的理論功圖與示功圖	
多段壓縮	
壓縮機的生產能力	
壓縮機的功率	
96. 往復壓縮機的構造	538
往復壓縮機之分類	
單段壓縮機	
雙段與多段壓縮機	
往復壓縮機之活門	
往復真空泵	
旋轉壓縮機和鼓風機	
旋轉真空泵	
往復壓縮機和真空泵的裝置	
97. 渦輪鼓風機與渦輪壓縮機	548
操作原理和分類	
渦輪機的基本方程式	
實際壓頭	
功率與效率	
渦輪鼓風機與渦輪壓縮機的構造	
98. 氣體噴射泵及壓縮器	553
蒸汽噴射泵及壓縮器	
噴水泵	
99. 送風機	558
離心式送風機	
軸向式（旋槳式）送風機	
自然通風	
100. 氣 櫃	562
濕式低壓氣櫃	
乾式低壓氣櫃	

高壓氣櫃

第十六章 冷 凍	567
101. 操作之物理基礎.....	567
102. 冷 凍.....	568
冷凍係數	
103. 壓縮蒸氣冷凍機.....	569
操作原理	
冷凍係數	
實際壓縮冷凍機	
乾法操作及濕法操作	
過 冷	
冷凍劑	
冷凍能力	
雙段壓縮	
104. 壓縮冷凍機的組成部份.....	578
壓縮機	
冷凝器	
蒸發器	
冷凍鹽水	
105. 空氣、吸收及蒸氣噴射式汽化冷凍機.....	581
空氣冷凍機	
吸收冷凍機	
蒸氣噴射式汽化冷凍機	
106. 應用冷凍的方法使氣體液化.....	584
基本概念	
採用冷凍方法液化過程的計算	
第十七章 深度冷凍	587
107. 節流效應.....	587
基本概念	
節流效應的熱力學公式	
節流效應的物理意義	
轉化溫度	
氣體作外功之膨脹	
空氣的 $T-S$ 圖	
108. 氣體液化的最小功.....	592
109. 不作外功的氣體膨脹循環.....	595

簡單林德循環	
高壓林德循環	
氨預冷之高壓林德循環	
110. 對外作功的氣體膨脹循環	600
附有膨脹機的中壓循環	
111. 複合循環	602
附有膨脹機的高壓循環	
氣體液化方法的經濟比較	
逐級氣體液化	
112. 氣體混合物之分離方法	605
部分冷凝	
精 餾	

第五篇 機 械 操 作

第十八章 固體之粉碎、過篩與加料	611
I. 粉 碎	611
113. 粉碎原理	611
基本概念	
動能消耗量	
粉碎的基本原理與粉碎機的分類	
(甲) 粗碎(預碎)	614
114. 顎式壓碎機	614
壓碎機的構造	
柑 角	
轉 數	
生產能力	
所需之動力	
115. 錐形軋碎機	618
懸軸式錐形軋碎機	
立軸不動之錐形軋碎機	
懸托立軸錐形軋碎機	
錐形軋碎機之評價	
圓盤軋碎機	
(乙) 中碎與細碎	621
116. 滾碎機(壓碎滾)	621
操作原理	
柑角	

生產能力	
所需的功率	
滾碎機的構造	
117. 盤 磨.....	623
操作原理	
柑 角	
生產能力與所需的動力	
盤磨之構造	
118. 離心錐擊式粉碎機.....	626
錘磨機	
盤擊式破碎機	
(丙) 磨 碎.....	628
粉碎流程	
119. 球磨與棒磨.....	629
操作原理	
圓筒之轉數	
球之大小	
生產能力	
所需的功率	
球磨之構造	
棒 磨	
120. 環滾研磨機.....	635
擺輪研磨機	
彈簧轉滾研磨機	
離心圓球研磨機	
三滾環滾研磨機	
121. 膠體磨.....	637
濕法膠體磨	
乾法膠體磨	
122. 空氣離析器.....	639
I. 篩 析.....	640
123. 篩.....	640
124. 篩的構造.....	643
固定篩	
運動篩	
電磁離析器	
II. 固體之加料法.....	647
125. 加料器.....	647

螺旋加料器
圓筒加料器
扇形加料器
滾輪加料器
圓盤加料器
搖動（框板）加料器
彈簧加料器
犁狀加料器
震動加料器

第三篇·擴散過程

第十章

相平衡和擴散的基本定律

66. 相律及單組份系統

基本定義 物質的物態，為最重要的一種物理特性。我們都知道，物質能以三種物態存在：氣態、液態和固態。當物質由一種物態轉變到另一種物態時，由於溫度、壓力不同，在一定的情況下一種物質可以同時具有兩種或三種物態（例如冰、水及水蒸汽），而且在這種情況下每一種物態的存在和其他的物態無關。

物質的每一種物態為系統的一個均一部分，這種具有分界面而可用機械方法分開的均一部分叫做相(фаза)。

相有三種：氣相、液相與固相。

相在物理上是均一的，其組成可以是一個，也可以是複雜而含幾個組份 (компонент) 的，例如任一系統中的氣相，可以僅包含一種氣體，也可以包含互相溶解的多種氣體而形成均一的混合物。

在比較複雜的系統中可能同時存在一種物態的兩個相。例如當兩種不互溶的液體被置於同一容器內時，便同時出現兩個液相，彼此之間有顯明的分界面，而且每一個相中可以由一種純粹的液體組成，也可以由多種組份組成。

系統中的組份並非存在於系統中的化學元素或其化合物，而是系統中可獨立改變其在該系統不同相中之濃度的那些組成部分。

理論上可以存在下列諸相系。

- 1) 氣體—氣體, 2) 氣體—液體, 3) 氣體—固體, 4) 液體—氣體, 5) 液體—液體,
- 6) 液體—固體, 7) 固體—氣體, 8) 固體—液體和 9) 固體—固體。

假如在一系統中由於互相溶解而只得出一個相，則這種系統便稱為均一系統或單相系統。

如一系統由幾個相所組成，則該系統稱為非均一系統或多相系統。在非均一系統中諸相中的一相稱為分散物質或分散內相，這種相通常以微粒的（分散的）狀態存在。而圍繞在分散物質諸質點周圍的另一相便稱為分散媒或分散外相。分散媒是一種介質，在此介質中分佈着分散物質的質點。

區分均一系統和非均一系統是相對的，事實上在以上兩種系統中都有分散媒與分散物質，其差異僅在於分散物質粒子之大小而已。在均一系統中，構成分散內相的微粒可

以像分子和原子一樣小。

各種擴散操作（乾燥、蒸餾、吸取及其他操作）的特點便是物質在各相之間的轉移。欲明瞭這些操作的本質，便必須知道相與相之間的關係，而這些關係便由所謂相律來決定。

相律 在均一系統或非均一系統中，一定的相只在一定的條件下才能存在。如果這些條件有所改變，系統的平衡便被破壞，而發生相的移動或物質由一種狀態轉入另一種狀態。

相與其他各相成平衡狀態存在的可能性由相律（правило фаз）決定。

影響系統內各相之間平衡狀態的諸條件可以變化，因而同一系統便可以在不同的溫度、壓力、液體和蒸氣的濃度等條件下存在。

各變化條件又可區分為系統中的獨立變量或變數及非獨立變量或變數。變量或變數為全系統的或系統中個別相的某些物理特性而與相之數目無關。對以後諸操作，僅討論三個變數：溫度、壓力、與濃度。

如各變數在變化時，不會使系統中原有的相消失，也不會產生新的相，則這些變數便稱為自由度。

令

C ——系統中之組份數；

P ——系統中之相數；

V ——自由度數。

則相律可用下式表示

$$C + 2 = P + V. \quad (1)$$

試觀察水、水和水蒸汽所組成的單組份系統。在此系統中組份數 $C=1$ ，相數 $P=3$ 。按照相律則該系統之自由度數為

$$V = C + 2 - P = 1 + 2 - 3 = 0,$$

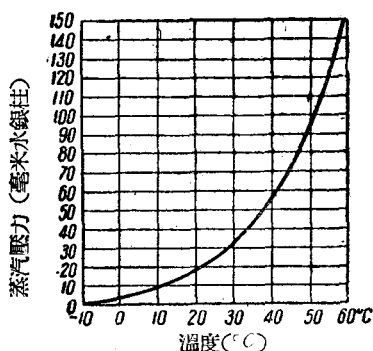
所得結果指出，該系統沒有自由度，或者說該系統為無變量系統，即只有在溫度與壓力都完全確定的條件下，三個相才能同時穩定存在，溫度或壓力有任何改變都將使其中一相消失。

所以相律不僅決定了諸相存在的條件，同時也指出了該系統中相數變化的可能範圍。

單組份系統 如一系統由一個組份及一個相所組成，則根據相律該系統之自由度等於二，也即是說該系統為雙變量系統，如果有兩個相，則該系統便成為單變量系統。

由此可知，在任何純粹液體及其飽和蒸氣所形成的單組份系統中，兩相同時存在時，該系統之自由度等於一，即對於純粹液體的飽和蒸氣而言，每一個確定的溫度相當於一定的蒸氣壓力，或者反過來說，每一種壓力相當於一定的溫度。

因此，對於每種液體都可以繪出所謂蒸氣壓力曲線，如第 292 圖所示，即為水蒸汽之壓力曲線。



第292圖 蒸汽壓力曲線

在計算均一混合物之分離時，必須知道組成混合物之各種純粹液體的蒸氣壓力曲線。通常這些曲線係根據實驗數據描出，而很多液體的這種實驗數字可從物理化學數字手冊中查出。

當沒有實驗數據時，便只有從理論上或用一些間接的方法來計算純粹液體之蒸氣壓力。

理論上蒸氣壓力與溫度的關係可用克勞齊烏斯—克萊普朗公式 (уравнение Клаузиуса-Клапейрона) 表示。

$$\frac{dP}{dT} = \frac{r}{A(V - V_0)T}$$

式中 P ——蒸氣壓力 (仟克/米²)；

r ——每仟克分子液體之氣化潛熱 (仟卡/仟克分子)；

$A = \frac{1}{427}$ ——熱功當量 (仟卡/仟克米)；

T ——蒸氣之絕對溫度 (°K)；

V ——仟克分子蒸氣之體積 (米³)；

V_0 ——仟克分子液體之體積 (米³)。

在溫度變化不大的範圍內氣化潛熱 r 可當作常數，而容積差 $V - V_0$ 可取其等於 V ，因為通常和蒸氣容積 V 比較起來，液體之體積 V_0 很小，可以略去。此外溫度變化不大的範圍內對於一仟克分子氣體可用下式

$$APV = RT,$$

式中 $R = 1.99$ 仟卡/仟克分子 °K

採用這些近似方法時，克勞齊烏斯—克萊普朗公式便成如下之形式

$$\frac{dP}{dT} = \frac{r}{RT^2} \frac{P}{P}$$

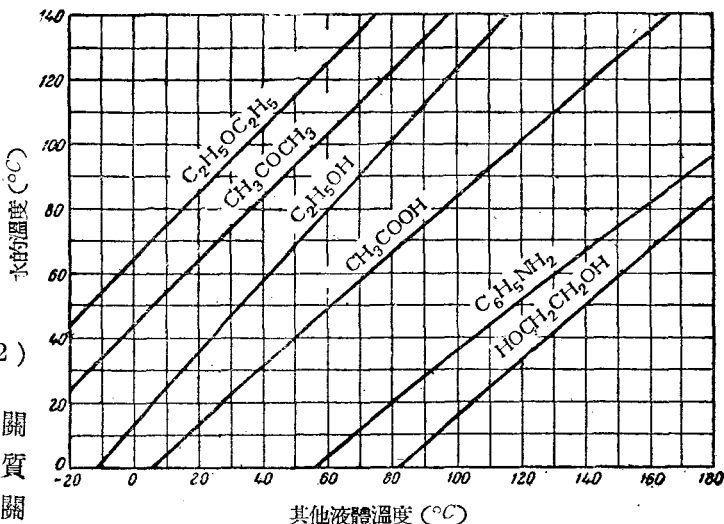
或

$$\frac{dP}{P} = \frac{r}{R} \left(\frac{dT}{T^2} \right)$$

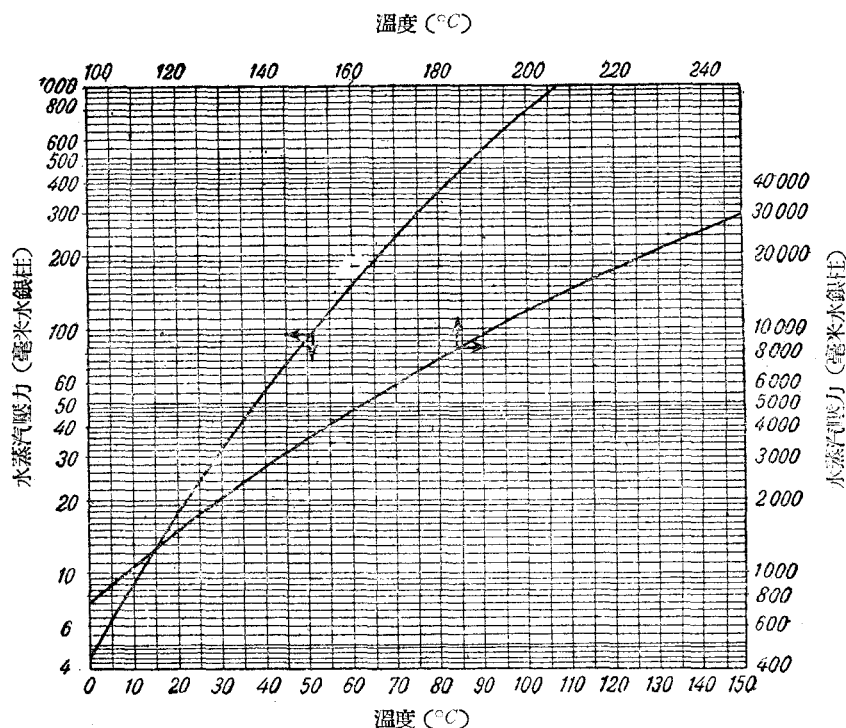
將上式在已知的 P_1, P_2 與 T_1, T_2 之範圍內積分得

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{r}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2)$$

根據化工函數直線之關係，可製出表示某種標準物質蒸氣壓與任何物質蒸氣壓的關係圖。

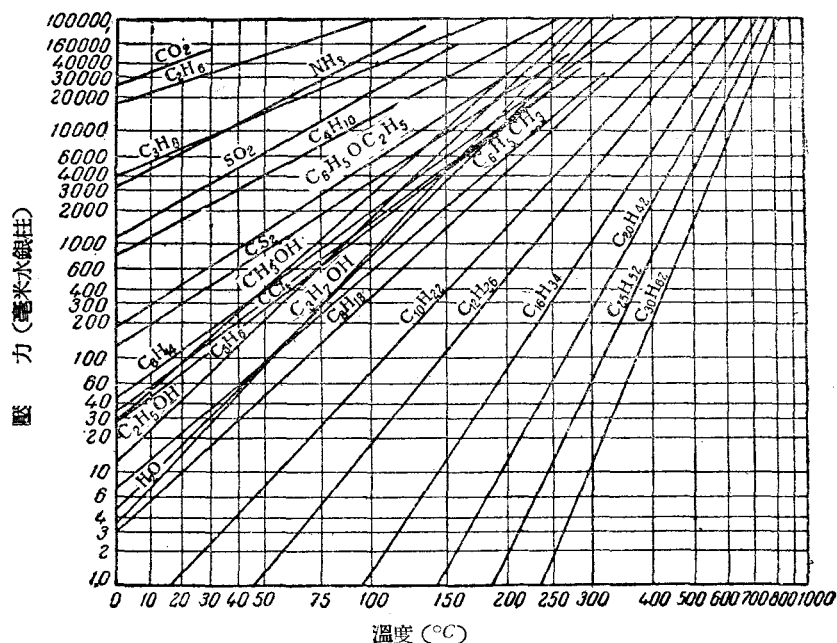


第293圖 根據溫度以決定各種不同物質蒸汽壓力之圖表



第 294 圖 水蒸汽之溫度與壓力關係曲線

在第 293 圖上，縱軸表示標準物質（水）之沸點，而橫軸則表示當各種不同物質的蒸汽壓與標準物質的蒸汽壓相同時，該物質的沸點。圖表上所得出的等壓線均為直線。這些直線上的各點即為其他各物質與標準物質具有相同之蒸汽壓力時，相當於標準物質



第 295 圖 各種不同物質的蒸汽壓力與溫度之關係