

81.18055
952
C3

高等学校教学用书

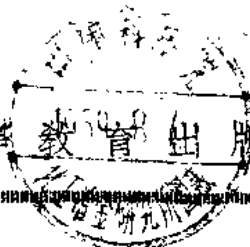


化工过程及设备例题和习题

И. И. 罗曼科夫主编
潘 天 鐸 译

zk230/02

高等教育出版社



本書系根據蘇聯國立化學科技書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство химической литературы) 出版的羅曼科夫(И. Г. Романков)教授主編, 巴甫洛夫(Н. Ф. Павлов), 羅曼科夫和諾斯科夫(А. А. Носков)合著“化工過程及設備例題和習題”(Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии) 1955 年第三版增訂版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等化工學校教學參考書。本書可與卡薩特金(А. Г. Касаткин)教授著“化工過程及設備”(Основные процессы и аппараты химической технологии)配合用。亦可供課程設計時作參考。

本書共分下述八章: 流體力學, 泵、鼓風機、壓縮機, 水力機械分離法、液態介質中的攪拌, 化工設備中的傳熱, 蒸發和結晶, 干燥, 蒸餾、精餾、吸收, 以及冷凍和深度冷凍。為了配合本課程的理論部分, 在每一章前都有解題需用的基本計算公式的簡要敘述。在書末附有許多參考數據、圖表和算圖。

原書 1950 年第二版中譯本名為“化工原理習題”, 於 1953 年 11 月初版, 由商務印書館出版。自 1956 年 12 月起原書第三版中譯本改由本社出版。

化工过程及设备例题和习题

И. Г. 罗曼科夫主編

潘天鐸譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內大街 25 號
(北京市書刊出版業營業許可證出字第 054 號)

上海市印刷三廠印刷 新华書店發行

統一書號: 5016·252 開本 850×1168 1/32 印張 17 10/16
字數 475,000 印數 6,761-8,200 定價 (4) 元 2.40
1956 年 12 月第 1 版 1959 年 2 月上海第 3 次印刷

原 序

苏联化学工業及其技術的迅速发展，就要求對於有关化学工厂設計、建筑和操作等的为数極多、且各式各样的問題加以科学的解决。在負有解决这类問題的使命的科学中，化工过程及設備就是其中重要的一門科学，它的数据不僅廣泛地应用於化学工業，亦应用於与其相近的其它國民經濟部門（化学制藥業、食品工業、輕工業等等）。

在學習化工过程及設備這一課程时，必須大大地注意使學生能獲得解决工程問題的技能；为此，在高等化工学校及化工系的教学大綱內規定該課程的計算部分要有習題課。列寧格勒連索維特工学院化工过程及設備教研組編輯本書的目的，就是在於供學生在課堂學習时作为教学参考書。

在准备本書第三版的时候，曾根据化学技術部門及与其相近的知識部門的最近的科学研究工作，將許多計算公式和参考数据予以審查修正。其中，“化工設備中的傳热”及“蒸餾、精餾、吸收”二章修改得最多。

几乎每章都增添了新的例題和習題，並糾正了已經發現的第二版中所存在的缺点。書末附有补充参考数据和求解習題时所必需的最常用的計算圖表。

在本書中仍然像第二版一样對學生的獨立工作給予了很大注意（習題答案）。这些習題答案均附於書末。

本書系用作學習化工过程及設備這一課程时的教学参考書，但不應看作是参考手冊。大部分習題都是典型性的，而習題的分

量則符合於課堂學習之用。

大部分例題和習題由 И. Г. 罗曼科夫和 А. А. 諾斯科夫所編。第一章內的一部分例題和習題由 К. Ф. 巴甫洛夫所編；而第七章和第八章內的一部分例題和習題由 М. И. 馬爾科夫所編。

本書各章原稿承列寧格勒連索維特工学院化工过程及設備教研組下列同志作了校對並提出了補充意見，著者特在此表示謝意：Н. С. 帕夫路辛科、И. А. 雅布龍斯基、Н. В. 拉什科夫斯卡婭、М. И. 庫羅契金娜、В. Н. 列比玲、А. В. 柯洛特金、Л. И. 德米特連科、Н. В. 特凡爾特雪娃。

許多高等化工學校及多科性工学院的化工过程及設備教研組所提出的關於本書內容的寶貴的批評和意見，我們已經盡量地考慮到了。作者非常感謝這些教研組的下列負責人和同志的幫助：А. Г. 卡薩特金、А. И. 普蘭諾夫斯基、Н. И. 蓋爾彼爾玲、К. Н. 沙巴玲、А. А. 特魯法諾夫、Л. М. 布拉涅斯、Ю. Н. 斯拉維揚諾夫、В. О. 庫爾巴赫、О. И. 波德加也茨卡婭、Л. Л. 多布羅謝爾多夫、Н. Н. 諾爾金。

И. 罗曼科夫

主 要 符 号

		常用單位
重量	G	[千克]
分子量	M	
重度	γ	[千克/米 ³]
空气的湿含量	x	[千克/千克]
空气的相对湿度	φ	
物料的湿含量(以总重量計)	w	[千克/千克]
物料的湿含量(以絕對干燥物料計)	w'	[千克/千克]
時間	τ	[秒], [小时]
高度	H, h	[米]
动力粘度	μ	[千克·秒/米 ²]
运动粘度	ν	[米 ² /秒]
压力	P, p	[千克/米 ²], [大气压]
混合气体的总压力	Π	[千克/米 ²], [大气压]
压力差	Δp	[千克/米 ²], [大气压]
直徑	D, d	[米]
擴散系数	D	[米 ² /小时]
長度	L, l	[米]
在液体中的分子分数	x	
在蒸汽中的分子分数	y	
濃度	x	[千克/千克], [千克/米 ³]

气膜傳質系数	k_{ax}	$\left[\frac{\text{千克}}{\text{小时} \cdot \text{米}^2 \cdot \text{千克/千克}} \right]$
液膜傳質系数	k_{ay}	$\left[\frac{\text{千克}}{\text{小时} \cdot \text{米}^2 \cdot \text{千克/千克}} \right]$
傳質系数	K_{Ax}	$\left[\frac{\text{千克}}{\text{小时} \cdot \text{米}^2 \cdot \Delta x = 1} \right]$
傳質系数	K_{Ay}	$\left[\frac{\text{千克}}{\text{小时} \cdot \text{米}^2 \cdot \Delta y = 1} \right]$
局部阻力系数	ζ	
功率	N	[千瓦]
压头損失(因摩擦和局部阻力而引 起的)	$h_{阻}$	[米]
速度头	$h_{速度}$	[米]
靜压头	$h_{靜}$	[米]
容積(体積)	V	[米 ³]
比容	v	[米 ³ /千克]
体積膨脹系数	β	1/°C
加热蒸汽消耗量	D	[千克/小时]
周边	H	[米]
密度	ρ	[千克·秒 ² /米 ⁴]
沉降面積	F_{π}	[米 ²]
橫断面積	f	[米 ²]
表面積	F	[米 ²]
送气系数	λ	
干燥位	z	°C
泵或送風机的生產能力	Q	[米 ³ /小时]
半徑	R, r	[米]
水力半徑	$r_{水力}$	[米]

容(体)积流量	$V_{\text{体}}$	[米 ³ /秒]
重量流量	$G_{\text{重}}$	[千克/秒]
流量系数	α	
收缩系数(液流和气流)	ε	
速度系数	φ	
平均流速	w	[米/秒]
沉降速度	$w_{\text{沉}}$	[米/秒]
虚速度	$w_{\text{虚}}$	[米 ³ /米 ² ·秒]
角速度	ω	[1/秒]
阻力	R	
总和	Σ	
温度	T, t, θ	°C
绝对温度	T'	°K
温度差	Δt	
导热系数	a	[米 ² /小时]
热消耗量	Q	[千卡/小时]
恒压比热	c_p	[千卡/千克·°C]
恒容比热	c_v	[千卡/千克·°C]
传热率	q	[千卡/米 ² ·小时]
给热系数	α	[千卡/米 ² ·小时·°C]
传热系数	K	[千卡/米 ² ·小时·°C]
导热系数	λ	[千卡/米·小时·°C]
摩擦系数	λ	
回流比	R	
冷冻系数	ε	
宽度	B, b	[米]
热含量(焓)	I, i	[千卡/千克]

引 言

習題課的目的是用研究例題和求解習題的方法以教會學生計算和設計化工設備。

設計包括設備類型與構造的選擇及其尺寸的計算。

量與因次

化工設備是要根據在化工各部門內生產過程中所特有的理化數據來設計的。

在計算化工設備的時候，要應用到各種數量的相互關係和物質的物理性質（如：重量、密度、粘度、長度、速度、功率、傳熱系數等等）的各種數據。所有這些量，都可以量度出來並以某種單位表示之。

目前對於基本量採用有幾種基本單位制，一切的量度單位都歸納在這些單位制里。以下舉物理單位制及常用的工業單位制為例來說明。

物理單位制 CGSe 和 CGSm。在 CGSe 制里，基本單位及符號如下：長度(l)的單位為厘米；質量(m)的單位為克；時間(τ)的單位為秒；溫度(T)的單位為絕對百分溫標度及介電常數(ϵ)的單位為真空介電常數。CGSm 制與 CGSe 制所不同的，系將介電常數代以磁導率(μ)，其單位為真空磁導率。

工業單位制。此單位制的基本單位為：長度(米)、時間(秒)、力(千克)^①、熱量單位(千卡)、溫度單位($^{\circ}\text{C}$)。此單位制中的時

① 在化工過程及設備的文獻中常用[千克(KF)]來表示[千克-力(KF-GMIA)]。

間單位常不採用秒，而採用小時，此時這單位制叫做實用單位制。

某些物理量只以一種單位來測定（例如：時間、長度、重度）；但大部分情況下，物理量要更加複雜些，而用幾個量度單位來測定。

為了表示這些量的性質以及沒有錯誤地應用它們，就要使用因次。因次本身是一個規定的符號，這符號表示量度某種量所用的各基本單位之間的關係，例如：壓力——[千克/厘米²]；重度——[千克/米³]；密度——[克(質量)/厘米³]。

因次這一術語必須與大小分別清楚。

普通將因次用方括號標示出來，如：重度 $[\gamma] = [\text{千克}/\text{米}^3]$ ；比容 $[v] = [\text{米}^3/\text{千克}]$ 。

準確而又迅速的計算的最重要條件系靈活無誤地掌握和運用各基本量的因次。經驗表明，學生在解算課程習題時，大部分的錯誤是在因次上面。這個問題必須在開始上習題課時就解釋明白，此後還必須反復說明。

因次的確定必須依據相當的代數表示式。

例 1. 粘度的因次可以從下面的牛頓-彼特羅夫方程式 (уравнение Ньютона-Петрова) ① 導出：

$$P = \pm \mu F \frac{dw}{dy},$$

式中：P—摩擦力，[達因]；

μ —動力粘度；

F—摩擦面積，[厘米²]；

$\frac{dw}{dy}$ —速度梯度， $\left[\frac{\text{厘米}}{\text{秒}} \cdot \frac{1}{\text{厘米}}\right]$ 。

由上式求得 μ 的因次如下：

① 牛頓假設已被著名的俄國科學家 Н. П. 彼特羅夫 (潤滑流體動力學原理的創造者) 予以實驗證明。

$$[\mu] = \left[\frac{Pdy}{Fdw} \right] = \left[\frac{\text{达因} \cdot \text{秒} \cdot \text{厘米}}{\text{厘米}^2 \cdot \text{厘米}} \right];$$

消去相同的單位后,即得粘度在 CGS 制中的因次:

$$[\mu] = \left[\frac{\text{达因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2} \right] = [\text{克(質量)}/\text{厘米} \cdot \text{秒}] \text{或} [\text{泊}].$$

同理,可以求得粘度在工業單位制中的因次:

$$[\mu] = [\text{千克} \cdot \text{秒}/\text{米}^2].$$

例 2. 可以用与上述相似的方法,根据下面的热通过平壁的傳遞方程式求出導热系数 λ 的因次:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F(t_1 - t_2)\tau,$$

式中: Q —热量, [千卡];

δ —壁厚, [米];

F —傳热面積, [米²];

$(t_1 - t_2)$ —温度差, °C;

τ —操作時間, [小时].

將上式对 λ 求解,並將各个量的相应的因次代入,則得:

$$[\lambda] = \left[\frac{Q\delta}{F\tau(t_1 - t_2)} \right] = [\text{千卡} \cdot \text{米}/\text{米}^2 \cdot \text{小时} \cdot \text{°C}].$$

各种量度單位間的关系的确定及量度單位的換算

1. 試求粘度在工業單位制和在 CGS 制中的量度單位之間的关系。

先列出 μ 的量度單位的因次:

$$\left[\frac{\text{千克} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} \right]_{\text{工}} = \frac{981,000}{10,000} \left[\frac{\text{达因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2} \right] = 98.1 \left[\frac{\text{达因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2} \right]_{\text{CGS}},$$

这就是說,工業單位制的量度單位为物理單位制的 98.1 倍大。因

此, 工業單位制中粘度的數值總是為物理單位制中所得的 $\frac{1}{98.1}$ 。这里, 与其它量度單位 (如長度單位) 的情況完全类似。在工業單位制中, 長度的單位為 [米], 而在物理單位制中則為 [厘米]。單位 [米] 為單位 [厘米] 的 100 倍。因此, 要將 [厘米] 換算成 [米], 必須除以 100。例如, $5 \text{ [厘米]} = \frac{5}{100} = 0.05 \text{ [米]}$ 。用类似的方法, 要把以 [厘泊] 為單位的粘度換算成工業單位制的單位, 必須將 [厘泊] 除以 100, 即換算至 [泊], 然后再除以 98.1。

例如, 某流體的粘度等於 2 [厘泊], 那末它在工業單位制中則為:

$$\mu = \frac{2}{100 \times 98.1} = 0.000204 = 2.04 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{千克} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} \right]。$$

因此可知, 粘度在工業單位制中的單位等於 9810 [厘泊], 或近於 10^4 [厘泊]。

2. 試比較工業單位制和 CGS 制中的體積比熱的量度單位:

$$\begin{aligned} \left[\frac{\text{千卡}}{\text{米}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right]_{\text{工}} &= \frac{10^3}{10^6} \left[\frac{\text{卡}}{\text{厘米}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right] = 10^{-3} \left[\frac{\text{卡}}{\text{厘米}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right] = \\ &= \frac{1}{1,000} \left[\frac{\text{卡}}{\text{厘米}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right]_{\text{CGS}}。 \end{aligned}$$

說明 分子中的熱量並沒有改變, 但所用 [千卡] 卻以 [卡] 代之; 分母也作了类似的代替。因而, 量度比熱的單位 [千卡/米³·°C] 僅為 [卡/厘米³·°C] 的 $\frac{1}{1,000}$, 故同一比熱以 [卡/厘米³·°C] 表示時, 其數值要減小到 $\frac{1}{1,000}$ 。例如, 空氣的體積比熱在工業單位制中為 0.3 [千卡/米³·°C], 而在 CGS 制中卻為 0.0003 [卡/厘米³·°C]。

3. 試確定各種單位制中導熱系數的量度單位之間的关系:

$$\begin{aligned} [\lambda]_{\text{工}} &= \left[\frac{\text{卡} \cdot \text{厘米}}{\text{厘米}^2 \cdot \text{秒} \cdot ^\circ\text{C}} \right]; [\lambda]_{\text{工}} = \left[\frac{\text{千卡} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot \text{秒} \cdot ^\circ\text{C}} \right]; \\ [\lambda]_{\text{CGS}} &= \left[\frac{\text{千卡} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{C}} \right]。 \end{aligned}$$

由这些公式中,很明顯地可以看出各量度單位間的关系如下:

$$[\lambda]_* = \left[\frac{\text{千卡} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot 3,600 \text{ 秒} \cdot ^\circ\text{C}} \right] = \frac{1}{3,600} [\lambda]_x =$$

$$= \left[\frac{1,000 \text{ 卡} \cdot 100 \text{ 厘米}}{10,000 \text{ 厘米}^2 \cdot 3,600 \text{ 秒} \cdot ^\circ\text{C}} \right] = \frac{1}{360} [\lambda]_{\text{CGS}},$$

即量度 λ 的实用單位僅为工業單位的 $\frac{1}{3,600}$,或为CGS制單位的 $\frac{1}{360}$ 。因此,在实用單位制中, λ 的数值为工業單位制中的3,600倍(因为在实用單位制中, λ 是以[小时]來表示的,而在工業單位制中則以[秒]來表示),或为CGS制中的360倍。

所以要將 λ 以实用單位換算为工業單位,必須除以3,600。例如,在实用單位制中,水的 $\lambda \approx 0.5$ [千卡/米·小时·°C]。在工業單位制中,它的 $\lambda = \frac{0.5}{3,600} = 0.000139$ [千卡/米·秒·°C]。若將CGS制中的 λ 数值換算为实用單位,必須乘以360。例如,在CGS制中,水的 $\lambda = 0.00139$ [卡/厘米·秒·°C]。因而,在实用單位制中, $\lambda = 0.00139 \times 360 = 0.5$ [千卡/米·小时·°C]。

4. 已知1 [英磅] 等於 0.454 [千克], $1^\circ\text{C} = 1.8 [^\circ\text{F}]$, 試确定[BTU] (英热單位) 和[千卡]之关系。

1[BTU]为加热1 [英磅] 水升高 1°F 所消耗的热量,因而,

$$1[\text{BTU}] = 1 \times 0.454 \times \frac{1}{1.8} = 0.252 [\text{千卡}].$$

5. 設以英制單位表示的傳热系数为:

$$50 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{呎}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{F}} \right] = 50 \left[\frac{\text{英热單位}}{\text{呎}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{F}} \right].$$

試將此傳热系数換算为实用制單位,即以[千卡/米²·小时·°C]來表示。

已知:

$$1[\text{BTU}] = 0.252 [\text{千卡}]; 1[\text{呎}] = 0.3048 [\text{米}];$$

$$1^{\circ}\text{F}=0.56^{\circ}\text{C}。$$

那末，

$$50 \times \frac{0.252 \text{ 千卡}}{0.56 \times 0.3048^2 \text{ 米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^{\circ}\text{C}} = 50 \times 4.88 = \\ = 244 [\text{千卡}/\text{米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^{\circ}\text{C}]。$$

因此，要將以英制單位（在英美書中採用的）表示的傳熱系數換算成實用單位，必須乘以 4.88。

6. 水从湿物料表面汽化的速度可按下式計算：

$$G_{\kappa} = 2.45 w^{0.8} \Delta p \left[\frac{\text{磅}}{\text{小时} \cdot \text{呎}^2} \right]，$$

式中： w —空气流速，[呎/秒]；

Δp —在空气温度下的饱和水蒸汽压与空气中的水蒸汽分压之差，[大气压]。

如果 G_{κ} 的因次为 [千克/米²·小时]， w 的为 [米/秒] 及 Δp 的为 [毫米] 汞柱，試換算此公式：

$$G_{\kappa} = 2.45 w^{0.8} \Delta p; \quad \frac{G_{\kappa}}{w^{0.8} \Delta p} = 2.45。$$

如果把方程式左边的因次改变，那末其右边必須乘一系数 K_1 。

方程式左边原来的因次为：

$$\left[\frac{\text{磅} \cdot \text{秒}^{0.8}}{\text{呎}^2 \cdot \text{小时} \cdot \text{呎}^{0.8} \cdot \text{大气压}} \right] = \\ = \left[\frac{0.454 \text{ 千克} \cdot \text{秒}^{0.8}}{0.3048^{2.8} \text{ 米}^{2.8} \cdot \text{小时} \cdot 760 \text{ 毫米汞柱}} \right]。$$

因而，

$$K_1 = \frac{0.454}{0.3048^{2.8} \times 760}。$$

在下面的方程式中

$$G_{\kappa} = K w^{0.8} \Delta p，$$

在所要求的因次之下未知数 K 的数值为:

$$K = \frac{2.45 \times 0.454}{0.3048^{2.8} \times 760}.$$

此式用計算尺計算所得的結果不太准确($K=0.0405$)。因此就用对数表計算, 結果得 $K=0.04075$ 。故在採用实用因次的情況下, 公式为:

$$G_{\pi} = 0.04075 w^{0.8} \Delta p [\text{千克/米}^2 \cdot \text{小时}],$$

式中: $[w] = [\text{米/秒}]; [\Delta p] = [\text{毫米}]\text{汞柱}。$

解題注意事項

着手解題时, 首先必須画出設備簡圖, 註明所有的尺寸和物理量, 以箭头註明运动方向, 並了解清楚設備的操作条件。

其次將題目中的全部数据列出, 並檢查这些数据是否系用的同一种單位制。寫出基本的計算公式, 並定出求解的途徑, 將題目分成一些小的問題。再次將必需的常数寫出。

將数值代入公式以后, 必須校对所代入的数值是否正确, 只有在此以后才开始数字計算。

必須檢查所得的数值, 看是否与所計算的設備的实际操作条件相符合, 借以判断答案是否正确。

將題目所給条件中的这些或那些因素的影响闡明, 然后以一般的形式解題並对結果加以研究, 这样作是有好处的。

計算草稿应寫在作習題用的練習簿的左边。

詳細的分析、有系統的計算途徑、准确的記錄——这些都是使学生和教师減少時間浪費的条件。

培养進行計算的技巧是本課程重要目的之一。一般工程上計算誤差为 5%。

必須备有計算尺。

在課堂上學習时, 学生必須学会运用重要的手册[化学手册、工程百科全书理化和工程数据手册、K. Ф. 巴甫洛夫和 B. A. 西蒙諾夫(B. A. Симонов)兩氏所作的化工設備算圖集、化学工厂机械師手册]以及國定全苏标准和各

种目錄。手册中含有大批研究者和設計者的經驗記錄。

学生必須学会从参考書和手册中找到各种常数和各种量，並能將它們与其它数据比較(例如，手册中的空气的粘度和算圖中的空气的粘度)。

最后，必須学会由算圖上取得数值，和在給定的坐标系中分析过程的進程(例如： $I-x$ 圖上的干燥过程， $T-S$ 圖上的冷冻循环等等)。

为了能更整齐地進行本課程起見，每一个学生必須备有兩本練習簿(其中一本是在課堂用的，另一本是課外独立工作时用的)，以解答題目和描繪主要設備和零件的簡圖之用。最好空出二至三頁來抄錄常常見到的符号(w —流速； d —管子直徑； τ —時間等等)和最重要的必須記住的計算公式(流体流量方程式： $V_g = fw$ ；流体运輸能量公式： $N = \frac{V_g \cdot \Delta p}{102\eta}$ ；傳热方程式： $F = \frac{Q}{K\Delta t}$ 等等)。

目 錄

原序	8
主要符号	10
引言	13
第一章 流体力学	21
計算公式	21
例題	41
習題	78
第二章 泵, 送風机, 压缩机	85
計算公式	85
例題	94
習題	114
第三章 水力机械分离法, 液态介質中的攪拌	119
計算公式	119
沉降法	119
過濾	126
离心分离	130
液态介質中的攪拌	133
例題	135
沉降法	135
過濾	143
离心分离	152
液态介質中的攪拌	158
習題	166
淨除气体中的塵灰的泡沫濺气器的計算实例①	171
第四章 化工設備中的傳热	177
計算公式	177
对流給热	181

物态没有发生变化的给热	182
强制流动时的给热	182
自由流动时的给热	191
物态发生变化的给热	193
液体沸腾时的给热	193
蒸汽冷凝时的给热	197
物流直接接触时的给热	200
固体热辐射时的给热	202
非稳定流时的传热	204
例题	205
习题	237
换热器计算举例	244
第五章 蒸发、结晶	256
计算公式	256
例题	264
习题	279
三效蒸发器计算举例	285
第六章 干燥	293
计算公式	293
例题	298
习题	325
干燥器计算举例	328
第七章 蒸馏、精馏、吸收	363
计算公式	363
例题	383
习题	421
泡板精馏塔计算举例	427
第八章 冷冻与深度冷冻	434
计算公式	434
例题	443
习题	470
参考书刊	476
习题答案	480
附录	487