

化学工程手册

3

化学工业出版社

化学工程手册

3

《化学工程手册》编辑委员会

化学工业出版社

内 容 提 要

《化学工程手册》共26篇，分6卷合订出版。

本卷包括传质、蒸馏、气体吸收、气液传质设备、萃取及浸取。主要介绍了传质的基本理论和其他有关内容；介绍了蒸馏的基础理论、计算过程和设备构造；围绕吸收过程的设计问题，扼要介绍了气体吸收的基本原理与计算方法；对各类气液传质设备的性能、流体力学特性、传质性能及设计计算方法作了系统的介绍；系统地介绍了萃取和浸取过程的基本原理、设备的设计计算方法，还广泛地收集了液液萃取平衡数据、萃取设备设计的实用数据与经验关联式。

本书供化工、石油及有关工业部门的设计、研究人员，工厂技术人员及有关院校师生参考。

化学工程手册

《化学工程手册》编辑委员会

化学工业出版社出版发行

(北京朝内大街七区十六号)

化学工业出版社印刷厂印刷

化工印刷厂装订

新华书店北京发行所经销

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 66 $\frac{1}{4}$ 字数 1,671 千字
1989年10月第1版 1989年10月北京第1次印刷

印数1—8,000

ISBN 7-5025-0594-6/TQ·351

定 价 31.00 元

《化学工程手册》编辑委员会

主任 冯伯华

副主任 陈自新 李步年 苏元复

汪家鼎 蔡剑秋

委员 (以姓氏笔划为序)

卢焕章 区灿棋 邓颂九 朱亚杰

朱自强 余国琮 时 钧 沈 复

吴锡军 林纪方 杨友麒 张洪沅

张剑秋 郑 焯 郭慕孙 傅举孚

萧成基

序

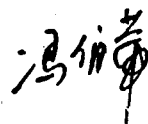
化学工程是以物理、化学、数学的原理为基础，研究化学工业和其他化学类型工业生产中物质的转化、改变物质的组成、性质和状态的一门工程学科。它出现于19世纪下半叶，至本世纪二十年代，从理论上分析和归纳了化学类型（化工、冶金、轻工、医药、核能……）工业生产的物理和化学变化过程，把复杂的工业生产过程归纳成为数不多的若干个单元操作，从而奠定了其科学基础。在以后的发展历程中，进而相继出现了化工热力学、化学反应工程、传递过程、化工系统工程、化工过程动态学和过程控制等新的分支，使化学工程这门工程学科具备更完整的系统性、统一性，成为化学类型工业生产发展的理论基础，是本世纪化学类型工业持续进展的重要因素。

工业的发展，只有建立在技术进步的基础上，才能有速度、质量和水平。四十年代初，¹ 流态化技术应用于石油催化裂化过程，促使石油工业的面貌发生了划时代的变化。用气体扩散法提取铀²³⁵，从核燃料中提取钚，用精密蒸馏方法从普通水中提取重水；用发酵罐深层培养法大规模生产青霉素；建立在现代化工技术基础上的石油化学工业的兴起等等，——这些使人类生活面貌发生了重大变化。六十年代以来，化工系统工程的形成，系统优化数学模型的建立和电子计算机的应用，为化工装置实现大型化和高度自动化，最合理地利用原料和能源创造了条件，使化学工业的科研、设计、设备制造、生产发展踏上了一个技术上的新台阶。化学工程在发展过程中，既不断丰富本学科的内容，又开发了相关的交叉学科。近年来，生物化学工程分支的发展，为重要的高科技部门生物工程的兴起创造了必要的条件。可见，化学工程学科对于化学类型工业和应用化工技术的部门的技术进步与发展，有着至为重要的作用。

由于化学工程学科对于化工类型生产、科研、设计和教育的普遍重要性，在案头备有一部这一领域得心应手的工具书，是广大化工技术人员众望所趋。1901年，世界上第一部《化学工程手册》在英国问世，引起了人们普遍关注。1934年，美国出版了《化学工程师手册》，此后屡次修订，至1984年已出版第六版，这是一部化学工程学科最有代表性的手册。我国从事化学工程的科技、教育专家们，在五十年代，就曾共商组织编纂我国化学工程手册大计，但由于种种原因，迁延至七十年代末中国化工学会重新恢复活动后方始着手。值得庆幸的是，荟集我国化学工程界专家共同编纂的这部重要巨著终于问世了。手册共分26篇，先分篇陆续印行，为方便读者使用，现合订成六卷出版。这部手册总结了我国化学工程学科在科研、设计和生产领域的成果，向读者提供理论知识、实用方法和数据，也介绍了国外先进技术和发展趋势。希望这部手册对广大化学工程界科技人员的工作和学习有所裨益，能成为读者的良师益友。我相信，该书在配合当前化学工业尽快克服工艺和工程放大设计方面的薄弱环节，尽快消化引进的先进技术，缩短科研成果转化为生产力的时间等方面将会起积极作用，促进化工的发展。

我作为这部手册编纂工作的主要支持者和组织者，谨向《手册》编委会的编委、承担编

写、审校任务的专家、化学工程设计技术中心站、出版社工作人员以及对《手册》编审、出版工作做出贡献的所有同志，致以衷心的感谢，并欢迎广大读者对《手册》的内容和编排提出意见和建议，供将来再版时参考。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '冯冰' (Feng Bing), written in a cursive style.

1989年5月

前 言

化学工程是研究化工类型生产过程共性规律的一门技术科学，是化工类型生产重要的技术和理论基础。化学工程学科的内容主要包括：传递过程原理及化工单元操作，化学反应工程；化工热力学及化工基础数据；化工系统工程学等。研究和掌握化学工程，对于提高化工生产效率和经济效益，加速新技术的开发，提高科研、设计和生产技术水平，有着十分重要的作用。因此，对化学工业来说，化学工程是涉及提高技术水平的主要环节之一。

建国以来，我国的化学工程技术工作逐步发展，已经初步具有一定的基础，并取得了一定的成果。但是，目前国内还缺少一套较为完整实用的化学工程参考资料。编辑出版一套适合国内需要的，具有一定水平的《化学工程手册》，是化工技术工作者多年来的宿愿。早在五十年和六十年代，国内的化学工程专家就曾酝酿和筹备组织编写《化学工程手册》，一九七五年化学工程设计技术中心站又曾组织讨论过编写计划。今天，在党中央提出加快实现四个现代化宏伟目标的鼓舞下，在化学工业部和中国化工学会的领导下，于一九七八年正式组成《化学工程手册》编委会，经过化工界许多同志的共同努力，《化学工程手册》终于与广大读者见面了。

希望这部手册的出版，将有助于国内的化工技术人员在工作中掌握和运用化学工程的科学技术原理，更好地处理和解决设计、科研和生产中遇到的化工技术问题。

本手册是一本通用性的工作手册。内容以实用为主，兼顾理论；读者对象为具有一定化工专业基础知识的工程技术人员和教学人员；内容取材注意了结合国内的情况和需要，并反映国内工作已取得的成果；对于国外有关的技术及数据，也尽量予以吸收。

根据当前国内的实际情况，计量单位一律采用“米-公斤(力)-秒”工程制(MKfS制)。但是考虑到我国将逐步过渡到采用国际单位制(SI)，除了在第一篇中列出详细的单位换算表外，并在每篇之末加列简明的MKfS制-SI换算表。

参加本手册编写工作的，有全国各有关的设计、科研和高等院校等共二十多个单位，近二百人。此外，还有其它许多单位和人员提供资料或间接参与手册的有关工作。《化学工程手册》编辑委员会负责指导手册工作的开展，研究和确定编审工作中一些原则问题，并负责书稿的最后审定工作。手册编写的日常组织工作，由化工部化学工程设计技术中心站负责。

本手册系按篇分册陆续出版，今后还将定期修订再版并出版合订本。希望广大读者对本手册提出宝贵意见，以便再版时改进。

《化学工程手册》编辑委员会

1979年7月

编辑说明

一、《化学工程手册》共26篇，原按篇分册印行，现分为六卷合订出版。

二、《化学工程手册》分篇单行本的编写工作始于1978年，1980年后陆续出版发行，1989年出齐。这次分卷合订本是利用原有纸型进行印刷的，对出版较早的篇章只能进行一定程度的修订，限于增补最必要的新内容，对近期出版的单行本只进行一些涉及技术内容的订正和印刷错误的勘正工作。

三、由于本手册着手编纂和出版时间较早，全书应用的是工程单位制，利用原纸型再印不能作全面修改，特在每卷附我国法定单位换算表，供读者查用。本手册修订再版时将采用法定计量单位。

四、本手册是中国化工学会、化学工业部化学工程设计技术中心和化学工业出版社共同组织的。参加手册编写和审稿工作的，有全国各有关的设计、科研和高等院校等二十多个单位，近二百位专家。此外还有其它许多单位和人员提供资料和间接参与手册的工作。

五、囿于条件，本手册中所采用的名词术语和符号可能有不尽统一之处，内容上也可能有重复、遗漏、甚至错误的地方，印刷、装帧等方面也不尽如人意，欢迎读者提出改进意见，在修订时一一予以考虑，以使本手册更臻完善。

目 录

10. 传 质

10.1 概 论.....	10-1	(1) 分析解.....	10-51
10.1.1 传质与扩散.....	10-1	(2) 一些简单形体的浓度-时间图	
10.1.2 传质过程分类.....	10-2	.....	10-58
(1) 两个互不相溶的相直接		(3) 非稳态分子扩散的图解法	
接触.....	10-2	.....	10-63
(2) 用膜分隔着的两个相.....	10-4	参考文献.....	10-65
(3) 互溶的两相直接接触.....	10-6	10.3 分子扩散系数.....	10-66
(4) 利用表面张力的变化而产生		10.3.1 扩散系数实测数据.....	10-66
的传质分离.....	10-6	10.3.2 气体扩散系数的推算.....	10-66
10.1.3 一个简化的化工生产流程.....	10-6	(1) 常压下的气体扩散.....	10-66
10.1.4 传质过程的操作方法.....	10-8	(2) 计算气体扩散系数的经验关联	
(1) 稳态操作.....	10-8	.....	10-83
(2) 非稳态操作.....	10-8	(3) 浓气体中的扩散.....	10-84
(3) 级式操作.....	10-8	(4) 多组份气体的扩散系数	
(4) 连续接触操作.....	10-8	.....	10-85
(5) 流动方向.....	10-9	10.3.3 液相中的扩散系数.....	10-88
10.1.5 两种解题的基本模型.....	10-9	(1) 液态扩散理论.....	10-88
10.1.6 本书的内容.....	10-11	(2) 液相扩散系数的估算.....	10-89
参考文献.....	10-12	10.3.4 固体中的扩散.....	10-99
10.2 分子扩散.....	10-13	(1) 固体中扩散系数典型数据	
10.2.1 浓度、速度与通量.....	10-13	.....	10-99
(1) 浓度.....	10-13	(2) 晶格内的扩散.....	10-100
(2) 速度.....	10-16	(3) 金属扩散系数的估算.....	10-100
(3) 通量.....	10-18	10.3.5 多孔固体中的扩散.....	10-101
10.2.2 Fick扩散定律.....	10-21	(1) 符合Fick定律型的微孔扩散	
10.2.3 传质的连续性方程.....	10-24	.....	10-101
10.2.4 扩散方程.....	10-27	(2) 气体的Knudsen扩散.....	10-103
10.2.5 常见的边界条件.....	10-28	(3) 过渡型扩散.....	10-104
10.2.6 稳态分子扩散.....	10-29	(4) 在毛细管中气体扩散的通量	
(1) 一维无化学反应的稳定传质		比.....	10-106
.....	10-29	(5) 表面扩散.....	10-107
(2) 具有化学反应的一维体系		10.3.6 高分子膜中的扩散.....	10-107
.....	10-36	(1) 通过固体膜的扩散.....	10-107
(3) 二维体系的稳态分子扩		(2) 扩散系数与温度的关系	
散.....	10-44	.....	10-109
10.2.7 非稳态分子扩散.....	10-50	参考文献.....	10-110

10.4 传质系数	10-111
10.4.1 传质系数的定义	10-111
10.4.2 传质系数与扩散系数	10-113
10.4.3 传质系数的不同表示方法	10-115
10.4.4 流体界面上传质的理论模型	10-118
(1) 膜理论	10-118
(2) 渗透理论	10-119
(3) 表面更新理论	10-120
10.4.5 传质系数的实验测定	10-121
10.4.6 对流传质	10-123
10.4.7 因次分析	10-124
10.4.8 质量、热量和动量传递的相似性	10-126
10.4.9 对流传质关系式	10-129
参考文献	10-137

10.5 相间传质	10-139
10.5.1 相平衡	10-139
10.5.2 两相界面	10-141
10.5.3 相间扩散	10-142
(1) 双阻理论	10-142
(2) 总传质系数	10-143
10.5.4 工业装置中的传质	10-149
(1) 有效相间传质面积“ a ”及容量传质系数	10-149
(2) 等摩尔相对扩散的传质装置计算	10-150
(3) 扩散通过静止膜的传质装置的计算	10-151
(4) 求取传质单元数的代数法	10-153
参考文献	10-154

11. 蒸 馏

11.1 概述	11-1
11.1.1 基本概念	11-1
11.1.2 蒸馏过程的分类	11-1
(1) 平衡蒸馏	11-1
(2) 间歇蒸馏	11-1
(3) 连续蒸馏	11-1
11.2 汽液平衡	11-2
11.2.1 平衡常数与相对挥发度	11-2
(1) 平衡关系的表达	11-2
(2) 平衡常数的搜编	11-3
11.2.2 相平衡关系的热力学	11-3
(1) 逸度	11-3
(2) 理想溶液	11-3
11.2.3 高压汽液平衡的计算	11-5
(1) R-K方程	11-5
(2) S-R-K方程	11-9
(3) Z-R-K方程	11-11
(4) P-R方程	11-12
(5) B-W-R方程	11-14
(6) B-W-R-S方程	11-17
11.2.4 非理想溶液的汽液平衡计算	11-21
(1) 标准态的选择	11-21

(2) 超额自由焓及活度系数的表达函数	11-22
(3) Van Laar方程, Margules方程及Wohi模型	11-23
(4) 溶解度参数法	11-25
(5) Wilson方程	11-28
(6) NRTL方程	11-29
(7) UNIQUAC模型	11-30
(8) UNIFAC模型	11-31
(9) 含有缔合组分的汽液平衡计算	11-43
(10) 部分互溶溶液的活度系数关系	11-45
(11) 汽液平衡关系的热力学一致性检验	11-46
参考文献	11-47

11.3 蒸馏过程计算中的独立变量问题

11.3.1 相律、自由度、变量	11-49
(1) 相律	11-49
(2) 分离系统的自由度	11-49
(3) 变量 N_c	11-49
(4) 约束条件 N_e	11-50
11.3.2 蒸馏系统的变量分析	11-50

(1) 普通蒸馏塔	11-50	(1) 关键组分	11-72
(2) 复杂蒸馏塔	11-51	(2) 成分分布	11-72
参考文献	11-51	11.6.4 最小回流比及最少理论板数	11-73
11.4 单级平衡计算	11-53	(1) Fenske法求最少理论板数 N_M	11-73
11.4.1 多元汽液平衡系统的定义域	11-53	(2) Underwood法求最小回流比 R_M	11-73
11.4.2 泡点及露点计算	11-53	(3) Colburn法求 R_M	11-74
11.4.3 部分汽化或冷凝过程	11-54	11.6.5 简捷法计算	11-76
11.4.4 液-液部分互溶系统的分层计算	11-55	(1) 计算步骤	11-76
参考文献	11-55	(2) 例题	11-76
11.5 二元连续精馏	11-56	(3) 多侧线塔	11-79
11.5.1 概述	11-56	11.6.6 逐板法计算	11-80
11.5.2 物料衡算及操作线方程	11-56	(1) Lewis-Matheson法	11-80
11.5.3 M. T. 图解法	11-57	(2) Thiele-Geddes法	11-83
(1) M. T. 图	11-57	11.6.7 三对角矩阵法	11-87
(2) 不同精馏情况在M. T. 图上的表达	11-58	11.6.8 其它方法	11-90
11.5.4 解析法计算	11-61	参考文献	11-90
(1) 简捷法	11-61	11.7 萃取蒸馏及恒沸蒸馏	11-91
(2) 精确法	11-63	11.7.1 概述	11-91
11.5.5 焓-浓图法	11-64	11.7.2 萃取蒸馏过程	11-91
(1) 焓-浓图	11-64	(1) 流程	11-91
(2) 热平衡、极点、操作线	11-66	(2) 溶剂与相对挥发度	11-91
(3) 焓-浓图上的精馏过程计算	11-68	(3) 塔内的流量分布与溶剂浓度分布	11-94
(4) 焓-浓图上所表示的其它涵义	11-68	11.7.3 萃取蒸馏过程的计算	11-97
11.5.6 精馏过程的传质单元数	11-68	(1) 简化法	11-97
(1) 传质单元数	11-68	(2) 逐板法	11-101
(2) 图解积分法	11-69	(3) 萃取精馏塔设计特点	11-101
(3) 梯级近似法	11-69	11.7.4 恒沸蒸馏系统	11-102
(4) 解析法	11-69	(1) 流程	11-102
参考文献	11-70	(2) 恒沸蒸馏的分离剂	11-103
11.6 多元连续精馏	11-71	11.7.5 恒沸蒸馏过程的计算	11-103
11.6.1 概述	11-71	(1) 恒沸组成的计算	11-103
11.6.2 物料衡算及热量衡算	11-71	(2) 二元非均相恒沸蒸馏系统的计算	11-105
(1) 物料衡算	11-71	(3) 三元恒沸蒸馏系统的计算	11-106
(2) 热量衡算	11-72	参考文献	11-108
11.6.3 关键组分及成分分布	11-72	11.8 连续馏分的蒸馏	11-110
		11.8.1 多组分系统的计算方法	11-110
		(1) 基本公式	11-110

(2) 设计步骤.....11-112	(2) 数学模型.....11-141
11.8.2 其它问题.....11-112	(3) 实验结果与发展动向.....11-142
参考文献.....11-112	参考文献.....11-142
11.9 精密精馏..... 11-113	11.11 盐溶蒸馏..... 11-144
11.9.1 难分离物系及其相对挥发度.....11-113	11.11.1 盐溶效应..... 11-144
11.9.2 精密精馏过程计算.....11-113	11.11.2 盐溶蒸馏过程的应用..... 11-144
(1) 全回流操作与最少理论板数.....11-114	参考文献.....11-144
(2) 最小回流比与最宜回流比.....11-115	11.12 反应蒸馏.....11-145
(3) 回流比一定时所需的理论板数.....11-116	11.12.1 特点及应用..... 11-145
(4) 达到稳态操作所需要的时间.....11-122	11.12.2 反应蒸馏过程..... 11-145
11.9.3 用于精密精馏塔的高效填料.....11-123	参考文献.....11-146
参考文献.....11-125	11.13 分子蒸馏.....11-147
11.10 精馏不穩态过程..... 11-126	11.13.1 概述..... 11-147
11.10.1 概述..... 11-126	11.13.2 分子蒸馏的原理..... 11-147
11.10.2 数学模型及开工过程的求解.....11-126	(1) 分子蒸馏过程及特点.....11-147
(1) 数学模型及边界条件.....11-126	(2) 分子平均自由程.....11-148
(2) 精馏开工过程的求解.....11-127	(3) 分子蒸馏速度.....11-149
(3) 影响因素与实验结果.....11-130	(4) 分离因数.....11-149
11.10.3 间歇精馏..... 11-131	(5) 抽馱曲线.....11-150
(1) 存料可忽略时的间歇精馏.....11-132	11.13.3 分子蒸馏装置及设计原则.....11-150
(2) 存料不可忽略的间歇精馏.....11-134	(1) 流程及附属设备.....11-150
(3) 操作方式的选择.....11-135	(2) 分子蒸馏器.....11-152
(4) 投料量与操作周期的选择.....11-137	(3) 各种分子蒸馏装置的设计原则.....11-155
(5) 计算机在间歇精馏上的应用.....11-139	参考文献.....11-155
11.10.4 控制循环过程..... 11-140	11.14 蒸馏过程的热力学分析.....11-157
(1) 概述.....11-140	11.14.1 概述..... 11-157
	11.14.2 蒸馏过程的净功耗及过程的不可逆程度.....11-159
	11.14.3 提高热力学效率、降低能耗的途径.....11-160
	参考文献.....11-163

12. 气体吸收

12.1 引言.....12-1	(1) Bunsen系数或吸收系数 (a).....12-3
12.1.1 物理吸收.....12-2	(2) Ostwald系数 (L) 12-3
12.1.2 化学吸收.....12-2	(3) 亨利 (Henry) 定律常数 (E 、 H 及 K 或 m) 12-3
12.2 气体溶解度..... 12-3	
12.2.1 气体溶解度的表示方法.....12-3	

12.2.2 各种气体在水中的溶解度数值.....12-4	12.3.10 伴有化学反应的扩散 12-28
(1) 遵循亨利定律的情况.....12-4	12.3.11 具有一级反应的吸收 12-28
(2) 不遵循亨利定律的情况.....12-4	12.3.12 具有二级反应的吸收 12-29
12.2.3 有机液体蒸汽在水中的溶解度.....12-8	12.3.13 两种反应气体的吸收 12-30
12.2.4 气体在非水纯液体中的溶解度.....12-8	12.3.14 相际传质.....12-30
12.2.5 碳氢化合物在油中的溶解度.....12-9	12.3.15 传质单元高度 (H. T. U.) 12-34
12.2.6 气体在盐类水溶液中的溶解度.....12-9	12.3.16 等板高度 (H. E. T. P.) 12-35
12.2.7 各种溶剂中乙醚蒸汽的溶解度 12-11	参考文献..... 12-35
12.2.8 二氧化碳与硫化氢在氨水中 的溶解度..... 12-11	12.4 扩散系数..... 12-37
12.2.9 酸性气体在烷基醇胺类溶液 中的溶解度..... 12-12	12.4.1 扩散系数数据..... 12-37
12.2.10 二氧化碳在碳酸盐溶液中的 溶解度..... 12-17	12.4.2 扩散系数的实验测定..... 12-42
12.2.11 二氧化硫在碱溶液中的溶解 度..... 12-17	12.4.3 气体扩散系数的估算..... 12-42
12.2.12 烯烃在亚铜盐溶液中的溶 解度..... 12-18	12.4.4 自扩散系数..... 12-44
参考文献..... 12-19	12.4.5 液体中的扩散系数..... 12-45
12.3 传质基础..... 12-20	(1) 非电解质溶液..... 12-45
12.3.1 均相扩散..... 12-20	(2) 电解质溶液..... 12-47
12.3.2 稳态下的分子扩散..... 12-20	参考文献..... 12-50
(1) 等分子相向扩散..... 12-21	12.5 设计计算..... 12-51
(2) 一组分扩散通过另一静止组 分..... 12-21	12.5.1 一般设计项目..... 12-51
(3) 一个组分通过另一静止的多 组分混合物的稳定扩散 12-22	(1) 溶剂选择..... 12-51
12.3.3 液体中的分子扩散..... 12-23	(2) 溶解度数据或汽液平衡数据 的选取..... 12-51
12.3.4 不稳定扩散..... 12-23	(3) 液气比..... 12-52
12.3.5 流动时的扩散..... 12-24	(4) 设备的选择..... 12-52
12.3.6 层流流动, 均匀的速度 12-24	(5) 塔径..... 12-52
12.3.7 层流流动, 抛物线速度分布 12-24	(6) 压力降..... 12-53
12.3.8 湍流流动..... 12-25	(7) 塔高..... 12-53
12.3.9 流体在填料表面的流动..... 12-27	12.5.2 塔高的计算..... 12-53
	(1) 基本表达式与一般计算法 12-53
	(2) 低浓度气体吸收用的简化 计算法..... 12-55
	(3) 传质单元数的计算..... 12-56
	(4) 传质单元数的图解..... 12-58
	(5) 理论板数的图解..... 12-59
	(6) 理论板数的计算..... 12-59
	参考文献..... 12-60

- 12.6 多组分吸收.....12-61
- 12.6.1 操作分析..... 12-61
- 12.6.2 设计变量的规定..... 12-61
- (1) 变量数与约束数..... 12-62
- (2) 平衡级的设计变数..... 12-62
- (3) 板式吸收塔的设计变量..... 12-33
- 12.6.3 简捷计算..... 12-64
- 12.6.4 严格计算..... 12-77
- (1) 吸收塔模型..... 12-77
- (2) 求解策略..... 12-78
- (3) 计算步骤..... 12-81
- 参考文献..... 12-84
- 12.7 不等温吸收.....12-85
- 12.7.1 热效应的考虑..... 12-85
- 12.7.2 热效应小的吸收..... 12-86
- 12.7.3 热效应大的吸收..... 12-88
- 参考文献..... 12-88
- 12.8 化学吸收.....12-89
- 12.8.1 化学应对吸收速率的影响
..... 12-89
- 12.8.2 化学吸收计算..... 12-89
- (1) 利用理论公式计算..... 12-89
- (2) 利用吸收系数的经验数据或
关联式计算..... 12-95
- (3) 化学吸收系数的直接测定... 12-98
- 参考文献..... 12-98
- 12.9 吸收系统的经济设计..... 12-99
- 12.9.1 填充塔与板式塔比较..... 12-99
- 12.9.2 塔身与填料..... 12-99
- 12.9.3 液气比..... 12-99
- 12.9.4 塔径(或气速).....12-101
- 12.9.5 塔高(或出口气体浓度)
.....12-101
- 12.9.6 蒸馏塔液体出口最宜的浓度
.....12-101
- 12.9.7 塔压.....12-102
- 12.9.8 吸收塔入塔溶剂的温度
.....12-102
- 12.9.9 多组分体系的最宜条件
.....12-102
- 10.10 气体吸收速率数据..... 12-103
- 12.10.1 填充塔传质系数通用关联式
.....12-103
- (1) Sherwood和Holloway的关联
式.....12-103
- (2) Cornell、Knapp和Fair的关
联式.....12-105
- (3) Shulman等人的关联式.....12-107
- (4) Onda(恩田)等人的关联式
.....12-112
- 12.10.2 填充塔用于不同吸收体系
的经验关系.....12-114
- (1) 氨-空气-水体系.....12-114
- (2) 二氧化硫-空气-水体系
.....12-115
- (3) 二氧化碳-空气-水体系
.....12-116
- (4) 二氧化碳的化学吸收.....11-116
- 12.10.3 板式塔..... 12-122
- 12.10.4 喷洒塔..... 12-125
- 12.10.5 湿壁塔..... 12-126
- 参考文献.....12-127

13. 气液传质设备

- 13.1 气液传质设备概述.....13-1
- 13.1.1 气液传质设备的
主要类型.....13-1
- 13.1.2 塔型的选用原则.....13-2
- 参考文献.....13-2
- 13.2 填料塔(一)——拉西环
及其衍生型..... 13-3
- 13.2.1 概述.....13-3
- 13.2.2 拉西环及填料塔的
一般特性和设计.....13-4
- (1) 基本特性数据.....13-4
- (2) 泛点.....13-5
- (3) 填料层阻力.....13-8
- (4) 持液量..... 13-13
- (5) 传质及塔高计算..... 13-13
- (6) 填料塔的附属结构..... 13-29
- (7) 填料塔的设计..... 13-35
- 13.2.3 拉西环的衍生型..... 13-38
- (1) θ 环.....13-38
- (2) 十字环..... 13-38

- (3) 螺旋环..... 13-38
- 参考文献..... 13-39
- 13.3 填料塔(二)——鲍尔环**
- 及鞍形填料**.....13-41
- 13.3.1 鲍尔环..... 13-41
- (1) 概述..... 13-41
- (2) 标准规格..... 13-42
- (3) 基本特性数据..... 13-43
- (4) 液泛点及阻力..... 13-43
- (5) 传质计算..... 13-43
- (6) 设计问题..... 13-50
- 13.3.2 阶梯环..... 13-51
- (1) 概述..... 13-51
- (2) 特性数据..... 13-52
- (3) 流体力学性能..... 13-52
- (4) 传质性能..... 13-53
- 13.3.3 矩鞍形填料..... 13-54
- (1) 概述..... 13-54
- (2) 标准规格..... 13-54
- (3) 特性数据..... 13-54
- (4) 流体力学性能..... 13-54
- (5) 传质性能..... 13-56
- (6) 设计问题..... 13-56
- 13.3.4 弧鞍形填料..... 13-58
- 参考文献..... 13-59
- 13.4 填料塔(三)——丝网填料**..... 13-60
- 13.4.1 概述..... 13-60
- 13.4.2 波纹网填料..... 13-60
- (1) 波纹网填料特点..... 13-60
- (2) 特性参数..... 13-62
- (3) 流体力学特性..... 13-63
- (4) 传质性能..... 13-65
- (5) 液体喷淋及液体再分布器、
支承栅板..... 13-67
- (6) 设计问题..... 13-67
- 13.4.3 θ 网环.....13-68
- (1) 特性..... 13-68
- (2) θ 网环的流体力学特性.....13-69
- (3) 填料效率..... 13-71
- 13.4.4 双层 θ 网环.....13-72
- (1) 概述..... 13-72
- (2) 压降..... 13-72
- (3) 等板高度..... 13-72
- 13.4.5 压延孔环..... 13-73
- (1) 概述..... 13-73
- (2) 流体力学特性..... 13-74
- (3) 等板高度..... 13-75
- 13.4.6 鞍型网..... 13-76
- (1) 概述..... 13-76
- (2) 流体力学特性..... 13-77
- (3) 传质性能..... 13-77
- 参考文献..... 13-78
- 13.5 填料塔(四)——栅条填料**
- 及实体波纹填料**..... 13-79
- 13.5.1 栅条填料..... 13-79
- (1) 栅条填料的特性数据..... 13-79
- (2) 流体力学计算..... 13-79
- (3) 传质计算..... 13-80
- 13.5.2 波纹板填料..... 13-80
- (1) 概述..... 13-80
- (2) 特性参数..... 13-81
- (3) 流体力学特性..... 13-81
- (4) 传质效率..... 13-84
- 参考文献..... 13-86
- 13.6 填料塔(五)——特种塔型**
- 13-87
- 13.6.1 湍球塔..... 13-87
- (1) 填料参数和流体力学计算
..... 13-87
- (2) 辅助结构..... 13-92
- (3) 湍球塔的传质..... 13-93
- 13.6.2 多管塔..... 13-96
- (1) 多管塔结构..... 13-96
- (2) 多管塔的应用.....13-102
- 13.6.3 乳化塔.....13-103
- (1) 乳化塔的特点.....13-103
- (2) 乳化塔的流体力学性能.....13-104
- (3) 乳化塔的主要结构参数
.....13-104
- 参考文献.....13-105
- 13.7 板式塔**..... 13-106
- 13.7.1 综述.....13-106
- 13.7.2 板型.....13-106
- (1) 有降液管式塔板.....13-106
- (2) 穿流式塔板.....13-107
- (3) 其它型式塔板.....13-107

- 13.7.3 有降液管板式塔的结构
.....13-108
- (1) 流动型式.....13-108
- (2) 降液管及溢流堰.....13-108
- (3) 塔板结构参数的系列化
.....13-113
- 13.7.4 有降液管板式塔的流体
力学计算.....13-117
- (1) 堰上的液流高度.....13-117
- (2) 液体抛出距离.....13-120
- (3) 降液管内液面高度.....13-120
- 13.7.5 负荷性能图.....13-121
- 参考文献.....13-123
- 13.8 筛板塔**..... 13-124
- 13.8.1 概述.....13-124
- 13.8.2 主要结构参数.....13-124
- (1) 筛孔.....13-124
- (2) 塔板布置.....13-126
- 13.8.3 流体力学计算.....13-127
- (1) 压降.....13-127
- (2) 漏液点.....13-129
- (3) 液面梯度.....13-130
- (4) 雾沫夹带.....13-130
- 13.8.4 设计程序.....13-133
- (1) 塔径初选.....13-133
- (2) 塔径核算.....13-133
- (3) 计算步骤.....13-134
- (4) 筛板的水平度要求.....13-135
- 13.8.5 负荷性能图.....13-135
- 13.8.6 计算示例.....13-136
- 参考文献.....13-141
- 13.9 浮阀塔板**..... 13-142
- 13.9.1 概述.....13-142
- 13.9.2 主要结构参数.....13-142
- (1) 浮阀型式.....13-142
- (2) 阀的配置.....13-144
- (3) 溢流堰及降液管.....13-145
- 13.9.3 流体力学计算.....13-145
- (1) 气相压降.....13-145
- (2) 泄漏.....13-145
- (3) 液面梯度.....13-146
- (4) 负荷上限计算.....13-146
- 13.9.4 设计程序.....13-147
- 13.9.5 负荷性能图.....13-148
- 13.9.6 计算示例.....13-148
- 参考文献.....13-151
- 13.10 泡罩塔**..... 13-152
- 13.10.1 概述..... 13-152
- 13.10.2 主要结构参数..... 13-152
- (1) 泡罩.....13-152
- (2) 溢流堰及降液管等
板面布置.....13-153
- (3) 排液孔.....13-155
- 13.10.3 流体力学计算.....13-156
- (1) 齿缝开度.....13-156
- (2) 塔板压降 h_p13-157
- (3) 液面梯度.....13-158
- (4) 雾沫夹带.....13-159
- 13.10.4 设计程序.....13-160
- (1) 已知工艺条件.....13-160
- (2) 塔径初估.....13-160
- (3) 板面布置.....13-161
- (4) 塔板压降 h_p13-161
- (5) 校核液泛情况.....13-161
- (6) 雾沫夹带量校核.....13-161
- (7) 确定操作负荷的允许
上、下限.....13-161
- (8) 确定泪孔数.....13-161
- 13.10.5 负荷性能图..... 13-162
- 13.10.6 计算示例..... 13-162
- 参考文献.....13-167
- 13.11 导向筛板及多降液管塔板**
.....13-168
- 13.11.1 导向筛板.....13-168
- (1) 概述.....13-168
- (2) 结构参数.....13-168
- (3) 流体力学特性.....13-169
- (4) 传质性能.....13-170
- 13.11.2 多降液管塔板.....13-171
- (1) 概述.....13-171
- (2) 结构参数.....13-172
- (3) 流体力学特性.....13-174
- (4) 负荷性能图.....13-174
- (5) 传质性能.....13-174
- 参考文献.....13-174
- 13.12 几种斜喷型塔板**.....13-175

- 13.12.1 斜孔板13-175
- (1) 概述13-175
 - (2) 结构13-175
 - (3) 流体力学特性13-176
 - (4) 传质性能13-176
- 13.12.2 舌形板13-177
- (1) 概述13-177
 - (2) 结构及流体力学特性13-177
 - (3) 塔板设计及
负荷性能图的分析13-180
- 13.12.3 浮舌塔板13-182
- (1) 概述13-182
 - (2) 结构及流体力学特性13-182
 - (3) 浮舌塔的设计13-184
- 13.12.4 浮动喷射塔13-185
- (1) 概述13-185
 - (2) 结构尺寸13-185
 - (3) 流体力学性能13-187
 - (4) 设计计算13-189
- 参考文献13-191
- 13.13 穿流栅孔板塔** 13-192
- 13.13.1 概述13-192
- 13.13.2 塔板结构13-192
- (1) 塔板13-192
 - (2) 栅缝及筛孔13-193
 - (3) 自由截面率13-193
 - (4) 塔板间距13-193
- 13.13.3 流体力学计算13-194
- (1) 塔径的确定13-194
 - (2) 塔板的压降计算13-196
 - (3) 塔板间距 H_L 13-198
 - (4) 雾沫夹带量 c_v 13-199
- 13.13.4 不均匀分布开孔及
双孔径穿流板13-199
- (1) 双孔径问题13-199
 - (2) 非均匀分布开孔问题13-199
- 13.13.5 波楞穿流板13-202
- 13.13.6 均匀开孔穿流筛板塔
计算示例13-202
- 参考文献13-205
- 13.14 旋流板塔** 13-206
- 13.14.1 概述13-206
- 13.14.2 结构参数13-206
- (1) 叶片的外端直径13-206
 - (2) 盲板区直径13-206
 - (3) 仰角 α 13-207
 - (4) 径向角 β 13-207
 - (5) 开孔率13-207
 - (6) 罩筒13-208
 - (7) 塔径13-208
- 13.14.3 设计计算13-208
- (1) 降液装置13-208
 - (2) 塔板间距13-209
 - (3) 压降13-209
 - (4) 顶段13-210
 - (5) 底段13-210
- 13.14.4 效率13-210
- 13.14.5 在除雾及除尘上
的应用13-210
- 13.14.6 计算示例13-210
- 参考文献13-211
- 13.15 其他塔型** 13-212
- 13.15.1 并流喷射塔13-212
- (1) 概述13-212
 - (2) 喷杯13-212
 - (3) 流体力学特性13-212
 - (4) 喷射塔的传质传热过程
.....13-215
- 13.15.2 角钢板13-217
- (1) 概述13-217
 - (2) 流体力学特性13-217
 - (3) 效率13-220
- 13.15.3 钢板网塔板13-220
- (1) 概述13-220
 - (2) 流体力学特性13-223
- 13.15.4 浮动筛板13-224
- (1) 结构13-224
 - (2) 流体力学特性13-225
- 参考文献13-226
- 13.16 塔板效率计算** 13-227
- 13.16.1 概述13-227
- 13.16.2 板式塔的效率13-227
- (1) 几种效率的定义13-227
 - (2) 点效率与传质单元数
的关系13-229
 - (3) 点效率与板效率