

TRANSPORT PROCESSES
AND SEPARATION PROCESS PRINCIPLES
(INCLUDES UNIT OPERATIONS), 4E (PART 1)

传递过程与分离过程原理

(包括单元操作)(上册)

原 著

Christie John Geankoplis [美]

李 伟 刘 霞 译



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

传递过程与分离过程原理 (包括单元操作) (上册)

Transport Processes and Separation Process Principles
(Includes Unit Operations), 4E (PART 1)

原著: Christie John Geankoplis [美]

李 伟 刘 霞 译



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

本书为 Pearson Education Asia Ltd. 授权出版的独家简体中文译本，
翻印必究。

图书在版编目(CIP)数据

传递过程与分离过程原理(包括单元操作):上册/(美)吉科普利斯(Geankoplis, C. J.)
著;李伟,刘霞译. —上海:华东理工大学出版社,2007. 11
ISBN 978-7-5628-2195-3

I. 传... II. ①吉... ②李... ③刘... III. ①传递-化工过程 ②分离-化工过程
IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 122856 号

著作权合同登记号:“图字:09-2006-283 号”

**All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition
published by Prentice Hall PTR.**

传递过程与分离过程原理(包括单元操作)(上册)

Transport Processes and Separation Process Principles
(Includes Unit Operations), 4E (PART 1)

原著:Christie John Geankoplis [美]

翻 译 / 李 伟 刘 霞

责任编辑 / 钱四海

责任校对 / 李 晔 金慧娟

出版发行 / 华东理工大学出版社

地址:上海市梅陇路 130 号,200237

电话:(021)64250306(营销部)

传真:(021)64252707

网址:www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 上海长阳印刷厂

开 本 / 787mm×1092mm 1/16

印 张 / 29.5

字 数 / 740 千字

版 次 / 2007 年 11 月第 1 版

印 次 / 2007 年 11 月第 1 次

印 数 / 1—4000 册

书 号 / ISBN 978-7-5628-2195-3/TQ·122

定 价 / 88.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换。)

内容提要

本书以动量传递、热量传递、质量传递过程为基础,以化学工业及其他过程工业的单元操作为背景,叙述各单元操作的过程原理、计算方法和基本设备。全书分为上、下两册。

上册包括:工程原理和单位导论、动量传递原理和总衡算、动量传递原理及应用、定态传热的基本原理、非定态传热过程原理、传质过程原理、非定态对流传质原理;具体内容涉及流体流动、流动阻力计算、流量计、流体输送机械、搅拌、换热、辐射传热、生物制品的冷却和冷冻、边界层流动和传热、扩散和对流传质等等。

下册包括:蒸发、过程物料的干燥、级式和连续式气液分离过程、汽液分离过程、液-液和流-固分离过程、膜分离过程、物理-力学的分离过程;具体内容涉及固体干燥、食品消毒、吸收、精馏、吸附、离子交换、液-液萃取、液固浸取、结晶、膜渗透、反渗透、超滤、微滤、过滤、沉降和沉积、机械粉碎等等。

本书可作为理工科院校化工类及相关专业师生的教学参考书,也可供从事化工及其他过程工业的科技人员、设计和生产人员参考。

译者的话

传递过程和单元操作是化学工业生产和相关(如食品、环保等)行业生产的重要基础。随着学科理论和过程工业的发展,现今的单元操作与传统的单元操作相比,已有了很大的改进。进入新世纪以来,国内高等院校正在努力地进行着教学内容、课程体系的改革。跟踪学科发展、引进国外优秀教材已成为教学内容改革和课程建设工作的一个方面。为了促进国内相关专业教学内容的改革,华东理工大学出版社引进了这本 Geankoplis 的经典之作的版权,我们有幸为这本教材的翻译推广尽自己的微薄之力。

本书的早年版本曾经是国内优秀《化工原理》教材的重要参考书,其中有不少内容已被国内同类教材所吸收。这次第4版又增添了许多新的内容,预计中文版出版后,又将被国内同行广泛引用和参考。本书中的某些特色,尤其是有关生物制品加工的内容,如生物制品的冷却和冷冻,生物物料的冷冻干燥、食品加热消毒,以及常见生物物料的物性数据等等,在国内同类教材中尚未见阐述。另外,本书所涉及的内容既有一定的广度,重要之处又很有深度,不失为一本优秀的参考书,可供理工院校化工类及相关专业师生、化工及其他过程工业的科技人员、设计和生产技术人员参考。

本书上册第1章到第4章由李伟翻译,第5章到第7章由刘霞翻译,下册各章均由齐鸣斋翻译;齐鸣斋对全书译稿作了统稿。由于本书涉及内容范围很广,既有传统的化工领域,又有生物化学、环境工程、材料学科等领域的内容,而译者对这些领域的研究侧重点各不相同,所译术语和译文难免会有不尽确切之处,恳请同行不吝指正。

译者

2007年9月于华东理工大学

序

本书原名《传递过程和单元操作》，现改为《传递过程和分离过程原理(包括单元操作)》。之所以这样修改是因为“单元操作”这一术语已被“分离过程”一词所替代，而后者能更好地表现所使用的现代化术语。

第四版中主要的标题和版式都与第三版相同。在动量传递的各章节，特别是在流化床、流量计、混合和非牛顿型流体等章节中进行了较大的扩充。在质量传递的各章节中，增添了一些资料。吸收、精馏和液-液萃取这几章也进行了内容的扩充。在离子交换和结晶的章节中添加了许多新的材料。在膜分离过程一章中，特别是在气体膜理论方面作了很大扩展。

包含有机物和无机物，在某种程度上也包含生物物质的物理、物理-化学变化的化学工程领域，正在越来越多地与陶瓷工程、冶金过程、农业食品工程、废水处理(市政)工程和生物工程等过程工程相互交叉。动量、热量和质量传递过程和分离过程的机理广泛地应用于这些过程领域。

各领域的工程师都学过动量传递和热量传递的基本原理，而关于质量传递的学习研究则主要限于化学工程师。但是，其他领域的工程师对气体、液体和固体中的质量传递也表现出浓厚的兴趣。

因为现今化学工程和其他工程的学生必须研究如此多的课题，所以这里提供的是对动量、热量和质量传递过程以及它们在分离工程中的应用的更统一化的介绍。本书首先论述传递过程的基本原理，然后阐述分离过程(单元操作)。为此，本书内容分成两个主要篇章。

上篇：传递过程：动量、热量和质量

本篇论述基本原理，包括下面各章：1. 工程原理和单位导论；2. 动量传递原理和总衡算；3. 动量传递原理及其应用；4. 定态传热基本原理；5. 非定态传热基本原理；6. 传质过程原理；7. 非定态和对流传质基本原理。

下篇：分离过程原理(包括单元操作)

本篇阐述各类应用，包括下列分离过程：8. 蒸发；9. 过程物料的干燥；10. 级式和连续气-液分离过程(增湿、吸收)；11. 气-液分离过程(精馏)；12. 液-液和流体-固体分离过程(吸附、离子交换、萃取、浸取、结晶)；13. 膜分离过程(渗析、气体分离、反渗透、超滤、微滤)；14. 物理-力学分离过程(过滤、沉淀、离心分离、机械粉碎)。

在第1章中，先复习数学和图解方法、化学和物理基本定理、物料衡算和热量衡算的基本原理和要点。许多读者，特别是化学工程师，可能对这些原理的大部分是熟悉的，因此对这一章的部分内容或全部内容可略去不读。

读者或教师可以斟酌是否省略不读少数几个论题，主要是那些关于生物物质加工的过程；包括 5.5、6.4、8.7、9.11 和 9.12 几节。本书包含了 240 个例题和实例，以及关于所有论

题的 550 道习题,并为那些对生物领域特别感兴趣的读者,提供了某些涉及生物系统的课外习题。

本书可适用于下面推荐的五种教学方案的课程学习。在所有这些教学方案中,可以包括也可不包括第 1 章。

1. 动量、热量和质量传递过程与分离过程的学习。在这一教学方案中,包括整个教科书的绝大部分内容,包括上篇中的传递过程的基本原理和下篇中的分离过程。这一方案可能主要适用于化学工程,也适合于其他的过程工程领域,大学三年级和/或大学四年级学生一年半的课程学习。

2. 动量、热量和质量传递过程与选择的分离过程的学习。这一教学方案仅包含上篇的基本章节(基本原理各章——第 2、第 3、第 4、第 5、第 6 和第 7 章),加上从下篇中选出的,适用于特定领域的分离工程专题,在两个学期或一个半学期的课程中完成。环境工程、食品加工工程和过程冶金专业的学生可按这一方案学习。

3. 动量、热量和质量传递过程的学习。这一教学方案的目的是通过半年或两个学期的课程学习,获得对动量、热量、质量传递过程的基本理解。这包括基本原理章节的学习——上篇中的第 2、第 3、第 4、第 5、第 6 和第 7 章,略去下篇关于分离过程的应用的章节。

4. 分离过程的学习。如果读者已经学了动量、热量和质量传递的课程,则第 2~第 7 章的内容可省略,而仅通过一学期的课程,学习下篇中的分离过程各章节。这一教学方案可用于化工的和特定的其他工程师的学习。

5. 质量传递的学习。对那些已经有了动量和热量传递课程的化学和机械工程师,或那些仅希望在半学期或一学期的课程中获得一些关于质量传递的专业背景的学生,应当学习第 6、第 7 和第 10 章。并根据读者的需要,可选择第 9、第 11、第 12 和第 13 章。

不同的学校和不同的教师在工程课程中使用计算机的情况各不相同。本书中的全部方程式和习题都可使用普通的手提电脑求解。但是,对涉及数值积分、有限差分计算、定态和非定态二维扩散和传导等等更复杂的问题,可很容易地通过电子制表软件用计算机进行求解。几乎所有的本科生都精通这些工具的使用。

SI(国际单位制)单位制已被科学界采用。由于这一原因,本教科书在方程、例题和习题中都已采用 SI 单位制。但是,在本教科书的最重要的方程的推导中,当 SI 制和英制两个单位制不同时,同时给出了两个单位制的结果。许多例题和课外习题也用英制单位给出。

Christie John Geankoplis

上册目录

第 1 章 工程原理和单位导论	(3)
1.1 传递过程和分离过程(单元操作)的分类	(3)
1.1.1 概述	(3)
1.1.2 基本的传递过程	(3)
1.1.3 分离过程的分类	(3)
1.1.4 上篇和下篇的编排	(4)
1.2 本书中使用的 SI 基本单位制和其他单位制	(4)
1.2.1 SI 单位制	(5)
1.2.2 厘米-克-秒单位制	(5)
1.2.3 英尺-磅-秒单位制	(6)
1.2.4 量纲均一方程和一致单位	(6)
1.3 温度和组成的表示方法	(6)
1.3.1 温度	(6)
1.3.2 摩尔单位,重量和质量单位	(7)
1.3.3 液体的浓度单位	(8)
1.4 气体定律和蒸气压	(8)
1.4.1 压力	(8)
1.4.2 理想气体定律	(8)
1.4.3 理想气体混合物	(9)
1.4.4 液体的蒸气压和沸点	(10)
1.5 质量守恒和物料衡算	(10)
1.5.1 质量守恒	(10)
1.5.2 简单物料衡算	(11)
1.5.3 物料衡算和循环	(12)
1.5.4 物料衡算和化学反应	(13)
1.6 能量和热量单位	(14)
1.6.1 焦耳、卡和 Btu(英热单位)	(14)
1.6.2 比热容	(15)
1.6.3 潜热和蒸气表	(17)
1.6.4 反应热	(18)
1.7 能量守恒和热量衡算	(19)
1.7.1 能量守恒	(19)
1.7.2 热量衡算	(19)

1.8 积分的数值方法	(23)
1.8.1 数值积分法概述	(23)
1.8.2 数值积分和辛普森法	(23)
习 题	(24)
参考文献	(28)
第2章 动量传递原理和总衡算	(29)
2.1 概述	(29)
2.2 流体静力学	(29)
2.2.1 力、单位和量纲	(29)
2.2.2 流体中的压力	(31)
2.2.3 流体的压头	(32)
2.2.4 测定压力和压差的装置	(33)
2.3 动量、热量和质量传递的分子传递通式	(36)
2.3.1 分子传递通用方程和通用性质衡算式	(36)
2.3.2 分子传递概述	(39)
2.4 流体的黏度	(40)
2.4.1 牛顿定律和黏度	(40)
2.4.2 流体中的动量传递	(42)
2.4.3 牛顿流体的黏度	(42)
2.5 流体流动的类型及雷诺数	(43)
2.5.1 流体流动类型概述	(43)
2.5.2 层流和湍流	(43)
2.5.3 雷诺数	(45)
2.6 总质量衡算和连续方程	(46)
2.6.1 概述和简单的质量衡算	(46)
2.6.2 衡算的控制体积	(47)
2.6.3 总质量衡算方程	(48)
2.6.4 用于总质量衡算的平均速度	(51)
2.7 总能量衡算	(52)
2.7.1 概述	(52)
2.7.2 总能量衡算方程的推导	(52)
2.7.3 定态流动系统的总能量衡算	(53)
2.7.4 动能速率校正因子 α	(54)
2.7.5 总能量衡算方程的应用	(55)
2.7.6 总机械能衡算	(58)
2.7.7 机械能衡算的伯努利方程	(61)
2.8 总动量衡算	(63)
2.8.1 通用方程的推导	(63)
2.8.2 一维流动系统的总动量衡算	(65)

2.8.3 二维总动量衡算	(67)
2.8.4 自由射流撞击固定翼的总动量衡算	(69)
2.9 层流薄层的动量衡算和速度分布	(70)
2.9.1 概述	(70)
2.9.2 管内薄层的动量衡算	(70)
2.9.3 降膜薄层的动量衡算	(73)
2.10 管内层流和湍流的设计方程	(75)
2.10.1 管内的速度分布	(75)
2.10.2 层流中的压降和摩擦损失	(76)
2.10.3 湍流的压降和摩擦因子	(79)
2.10.4 气体流动的压降和摩擦因子	(82)
2.10.5 热量传递对摩擦因子的影响	(83)
2.10.6 膨胀、收缩和管路配件中的摩擦损失	(83)
2.10.7 非圆形管道的摩擦损失	(89)
2.10.8 管子的进口段	(90)
2.10.9 管子尺寸的选择	(91)
2.11 气体的可压缩流动	(91)
2.11.1 概述和管内流动基本方程	(91)
2.11.2 等温可压缩流动	(92)
2.11.3 绝热可压缩流动	(93)
习 题	(94)
参考文献	(101)
第3章 动量传递原理及应用	(102)
3.1 通过浸没物体、填充床、流化床的流动	(102)
3.1.1 通过浸没物体流动的曳力系数定义	(102)
3.1.2 绕过圆球、长圆柱和圆盘的流体流动	(104)
3.1.3 填充床中的流动	(105)
3.1.4 流化床内的流动	(110)
3.2 流体流动的测定	(115)
3.2.1 毕托管	(115)
3.2.2 文丘里管流量计	(117)
3.2.3 孔板流量计	(118)
3.2.4 测流嘴流量计	(120)
3.2.5 可变截面流量计(转子流量计)	(121)
3.2.6 其他类型的流量计	(121)
3.2.7 敞开流道中的流体流动及堰式流量计	(122)
3.3 泵和气体输送设备	(123)
3.3.1 概述	(123)
3.3.2 泵	(123)

3.3.3	气体输送机械	(127)
3.3.4	气体压缩方程	(129)
3.4	流体的搅拌和混合及其动力设备	(131)
3.4.1	搅拌的目的	(131)
3.4.2	搅拌设备	(131)
3.4.3	搅拌中的流型	(134)
3.4.4	涡流的典型“标准”设计	(134)
3.4.5	用于搅拌的功率	(134)
3.4.6	搅拌器的放大	(137)
3.4.7	互溶液体的混合时间	(139)
3.4.8	搅拌的流动数群和循环流率	(142)
3.4.9	特殊搅拌系统	(142)
3.4.10	粉末、黏性物质和糊状物的混合	(143)
3.5	非牛顿流体	(144)
3.5.1	非牛顿流体的类型	(144)
3.5.2	黏性不随时间变化的流体	(145)
3.5.3	时变性流体	(145)
3.5.4	黏弹性流体	(146)
3.5.5	非时变性非牛顿流体的层流流动	(146)
3.5.6	层流流动的收缩、膨胀和管件中的摩擦损失	(149)
3.5.7	湍流和通用摩擦因子	(149)
3.5.8	非牛顿流体的速度分布	(151)
3.5.9	用旋转黏度计确定非牛顿流体的流动性质	(154)
3.5.10	非牛顿流体搅拌和混合中要求的动力	(155)
3.6	连续性微分方程	(156)
3.6.1	概述	(156)
3.6.2	各种类型的时间导数关系及向量符号	(157)
3.6.3	连续性微分方程	(158)
3.7	动量传递或运动微分方程	(161)
3.7.1	动量传递方程的推导	(161)
3.7.2	密度和黏度变化的牛顿流体的运动方程	(163)
3.7.3	密度和黏度恒定的牛顿流体的运动方程	(164)
3.8	连续性和运动微分方程的应用	(165)
3.8.1	概述	(165)
3.8.2	平行板间流体流动的连续性和运动微分方程	(166)
3.8.3	静止和旋转圆筒中流体流动的连续性和运动微分方程	(168)
3.9	求解运动方程的其他方法	(173)
3.9.1	概述	(173)
3.9.2	流线函数	(173)

3.9.3 理想流体(非黏性流动)的运动微分方程	(174)
3.9.4 势流和速度势	(174)
3.9.5 爬流的运动微分方程	(178)
3.10 边界层流动及湍流	(179)
3.10.1 边界层流动	(179)
3.10.2 边界层分离和尾迹的形成	(179)
3.10.3 层流和边界层理论	(180)
3.10.4 湍流的特性和强度	(182)
3.10.5 湍流剪切或雷诺应力	(183)
3.10.6 Prandtl 混合长度	(184)
3.10.7 湍流中的通用速度分布	(185)
3.10.8 边界层分析的积分动量衡算	(187)
3.11 动量传递中的量纲分析	(189)
3.11.1 微分方程的量纲分析	(189)
3.11.2 利用 Buckingham 方法的量纲分析	(190)
习 题	(192)
参考文献	(198)
第 4 章 定态传热的基本原理	(201)
4.1 传热的概述及机理	(201)
4.1.1 定态传热的概述	(201)
4.1.2 传热的基本机理	(202)
4.1.3 热传导的傅里叶定律	(202)
4.1.4 导热系数	(203)
4.1.5 对流传热系数	(205)
4.2 传导传热	(205)
4.2.1 通过平板或壁的传导	(205)
4.2.2 通过中空圆柱的传导	(206)
4.2.3 通过中空球的传导	(208)
4.3 通过串联固体壁的传导	(208)
4.3.1 串联的平壁	(208)
4.3.2 多层圆筒	(210)
4.3.3 通过并联材料的传导	(211)
4.3.4 对流和传导相结合的过程及总系数	(212)
4.3.5 有内部生成热的传导过程	(214)
4.3.6 圆柱保温层的临界厚度	(216)
4.3.7 界面上的接触阻力	(217)
4.4 定态传导及形状因子	(218)
4.4.1 二维传导的概述及图解方法	(218)
4.4.2 传导中的形状因子	(219)

4.5 管内的强制对流传热	(220)
4.5.1 概述及无量纲特征数	(220)
4.5.2 管内层流的传热系数	(221)
4.5.3 管内湍流的传热系数	(222)
4.5.4 管内过渡流的传热系数	(224)
4.5.5 非圆管的传热系数	(224)
4.5.6 进口区对传热系数的影响	(226)
4.5.7 液体金属传热系数	(226)
4.5.8 对数平均温差及变化的温降	(227)
4.6 强制对流中各种几何体外部的传热	(231)
4.6.1 概述	(231)
4.6.2 平行于平板的流动	(231)
4.6.3 轴线垂直于流体流动方向的圆筒	(232)
4.6.4 绕过单个球的流动	(233)
4.6.5 绕过列管或圆柱的流动	(233)
4.6.6 填充床中流动流体的热量传递	(236)
4.7 自然对流传热	(236)
4.7.1 概述	(236)
4.7.2 由各种几何体的自然对流	(237)
4.8 沸腾和冷凝	(242)
4.8.1 沸腾	(242)
4.8.2 冷凝	(245)
4.9 换热器	(249)
4.9.1 换热器的类型	(249)
4.9.2 对数平均温差关联因子	(250)
4.9.3 换热器效率	(253)
4.9.4 污垢因子及典型的总 U 值	(256)
4.10 辐射传热概述	(257)
4.10.1 辐射概述及基本方程	(257)
4.10.2 从周围环境到小物体上的辐射	(259)
4.10.3 辐射和对流结合的热量传递过程	(260)
4.10.4 辐射对气体温度测定的影响	(262)
4.11 近代辐射传热原理	(263)
4.11.1 概述及辐射频谱	(263)
4.11.2 各种几何体辐射角系数的推导	(265)
4.11.3 表面与再反射壁连接时的角系数	(272)
4.11.4 角系数和灰体	(272)
4.11.5 吸收气体中的辐射	(274)
4.12 非牛顿流体的热量传递	(277)

4.12.1 概述	(277)
4.12.2 管内的传热	(277)
4.12.3 自然对流	(279)
4.13 特殊的传热系数	(279)
4.13.1 搅拌槽中的传热	(279)
4.13.2 刮擦表面换热器	(282)
4.13.3 扩展表面或翅片换热器	(283)
4.14 传热过程的量纲分析	(287)
4.14.1 概述	(287)
4.14.2 Buckingham 法	(287)
4.15 二维定态热传导的数值方法	(289)
4.15.1 热传导的解析方程	(289)
4.15.2 有限差分数值方法	(290)
习 题	(295)
参考文献	(303)
第 5 章 非定态传热过程原理	(305)
5.1 基本方程的推导	(305)
5.1.1 概述	(305)
5.1.2 非定态热传导方程	(305)
5.2 内部传热阻力可忽略的系统	(306)
5.2.1 基本方程	(306)
5.2.2 用于不同几何结构的传热方程	(307)
5.2.3 总传热量	(308)
5.3 各种几何形状物体中的非定态热传导	(309)
5.3.1 概述与分析方法	(309)
5.3.2 半无限固体中的非定态热传导过程	(310)
5.3.3 大平板中的非定态热传导过程	(312)
5.3.4 长圆柱体中的非定态热传导过程	(316)
5.3.5 球体中的非定态热传导过程	(319)
5.3.6 二维和三维系统中的非定态传热过程	(319)
5.3.7 表面阻力可忽略时平板、圆柱和球体中的平均温度算图	(323)
5.4 数值有限差分法求解非定态热传导问题	(324)
5.4.1 平板中的非定态热传导	(324)
5.4.2 适用于平板数值解的边界条件	(326)
5.4.3 其他用于非定态热传导计算的数值方法	(332)
5.5 食品和生物物质的冷却与冷冻	(333)
5.5.1 概述	(333)
5.5.2 食品和生物制品的冷却	(334)
5.5.3 食品和生物制品的冷冻	(336)

5.6 能量变化方程的推导	(338)
5.6.1 概述	(338)
5.6.2 能量变化微分方程的推导	(338)
5.6.3 能量变化方程的几种特殊形式	(340)
5.6.4 能量变化方程的应用	(341)
5.7 传热过程中的边界层理论及湍流流动	(343)
5.7.1 传热过程中的层流和边界层理论	(343)
5.7.2 传热边界层的近似积分解析法	(345)
5.7.3 Prandtl 混合长度与涡流热扩散系数	(346)
习 题	(347)
参考文献	(351)
第6章 传质过程原理	(352)
6.1 质量传递与扩散过程导论	(352)
6.1.1 质量传递、热量传递和动量传递过程的相似性	(352)
6.1.2 传质过程实例	(353)
6.1.3 分子扩散的费克定律	(354)
6.1.4 对流传质系数	(355)
6.2 气体中的分子扩散过程	(356)
6.2.1 气体中的等分子反向扩散过程	(356)
6.2.2 气体 A 和 B 的分子扩散与对流传质叠加时的一般情况	(357)
6.2.3 A 在惰性组分 B 中的扩散过程	(358)
6.2.4 横截面积发生变化时的扩散过程	(361)
6.2.5 气体的扩散系数	(363)
6.3 液体中的分子扩散过程	(368)
6.3.1 引言	(368)
6.3.2 液体中的分子扩散方程	(368)
6.3.3 液体的扩散系数	(370)
6.3.4 液体中扩散系数的推算	(371)
6.3.5 电解质在液体中扩散系数的推算	(373)
6.4 生物溶液和凝胶中的分子扩散过程	(375)
6.4.1 生物物质在液体中的扩散	(375)
6.4.2 生物凝胶中的扩散过程	(378)
6.5 固体中的分子扩散过程	(379)
6.5.1 固体中分子扩散的类型	(379)
6.5.2 固体中服从费克定律的扩散过程	(379)
6.5.3 与结构有关的多孔性固体中的扩散过程	(383)
6.6 二维定态分子扩散的数值计算法	(384)
6.6.1 数值计算方程的推导	(384)
6.6.2 特殊的边界条件方程	(385)

习 题	(389)
参考文献	(393)
第 7 章 非定态对流传质原理	(396)
7.1 非定态扩散过程	(396)
7.1.1 基本方程的推导	(396)
7.1.2 表面阻力可忽略时平板中的扩散过程	(397)
7.1.3 各种几何构型体系中的非定态扩散过程	(398)
7.2 对流传质系数	(401)
7.2.1 对流传质过程概述	(401)
7.2.2 各种传质系数	(402)
7.2.3 有效膜理论在对流传质过程中的应用	(406)
7.2.4 传质速率很高时的传质系数	(406)
7.2.5 实验法测定传质系数	(408)
7.3 各种几何结构中的传质系数	(408)
7.3.1 用于关联数据的无量纲准数	(408)
7.3.2 传质、传热和动量传递过程的类比	(409)
7.3.3 层流流动中传质系数的推导	(411)
7.3.4 管内流动时的传质过程	(413)
7.3.5 流体流过固体外表面时的传质过程	(414)
7.4 微粒悬浮体系的传质过程	(420)
7.4.1 概述	(420)
7.4.2 流体对小颗粒的传质速率方程	(421)
7.5 分子扩散与对流传质和化学反应同时发生的情况	(423)
7.5.1 各种传质速率与费克定律	(423)
7.5.2 二元系统的连续性方程	(424)
7.5.3 特殊情况下的连续性方程	(425)
7.5.4 定态条件下通用扩散速率方程的特例	(426)
7.5.5 半无限介质中的非定态扩散过程与化学反应	(429)
7.5.6 气体的多组分扩散过程	(430)
7.6 气体在多孔性固体和毛细管中的扩散过程	(431)
7.6.1 概述	(431)
7.6.2 气体的努森(Knudsen)扩散	(432)
7.6.3 气体的分子扩散	(433)
7.6.4 气体的过渡区扩散	(434)
7.6.5 毛细管中气体的扩散速率比	(435)
7.6.6 气体在多孔性固体中的扩散过程	(437)
7.7 非定态分子扩散的数值算法	(438)
7.7.1 概述	(438)
7.7.2 非定态扩散过程的数值算法	(438)

7.7.3 数值法计算平板中扩散过程时的边界条件	(439)
7.8 传质过程中的量纲分析	(443)
7.8.1 概述	(443)
7.8.2 对流传质过程的量纲分析	(443)
7.9 传质过程中的边界层流动和湍流流动	(444)
7.9.1 传质过程中的层流及边界层理论	(444)
7.9.2 Prandtl 混合长与湍流涡流扩散系数	(446)
7.9.3 传质系数模型	(447)
习 题	(448)
参考文献	(453)