

TRANSPORT PROCESSES
AND SEPARATION PROCESS PRINCIPLES
(INCLUDES UNIT OPERATIONS), 4E (PART 2)

传递过程与分离过程原理

(包括单元操作)(下册)

原著

Christie John Geankoplis [美]

齐鸣斋 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) (下册)

Transport Processes and Separation Process Principles
(Includes Unit Operations), 4E (PART 2)

原著: Christie John Geankoplis [美]

齐鸣斋 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): 下册/(美)吉科普利斯(Geankoplis, C. J.)
著; 齐鸣斋译. —上海: 华东理工大学出版社, 2007. 11
ISBN 978-7-5628-2197-7

I. 传… II. ①吉…②齐… 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 132293 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)(下册)

Transport Processes and Separation Process Principles

(Includes Unit Operations), 4E (PART 2)

原著: Christie John Geankoplis [美]

翻 译 / 齐鸣斋

责任编辑 / 钱四海

责任校对 / 张 波 李 晔

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 / 27.25

字 数 / 710 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 978-7-5628-2197-7/TQ·123

定 价 / 85.00 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

下册目录

第 8 章 蒸发	(457)
8.1 概述	(457)
8.1.1 目的	(457)
8.1.2 过程因素	(457)
8.2 蒸发器设备的类型和操作方式	(458)
8.2.1 蒸发器的一般类型	(458)
8.2.2 蒸发器的操作方式	(460)
8.3 蒸发器中的总传热系数	(461)
8.4 单效蒸发器的计算方法	(462)
8.4.1 蒸发器的热量和质量衡算	(462)
8.4.2 过程变量对蒸发器操作的影响	(464)
8.4.3 溶液的沸点升高	(465)
8.4.4 溶液的焓-浓图	(466)
8.5 多效蒸发器的计算方法	(468)
8.5.1 概述	(468)
8.5.2 多效蒸发器的温度差和处理能力	(468)
8.5.3 多效蒸发器的计算	(469)
8.5.4 三效蒸发器的逐步计算方法	(470)
8.6 蒸发器的冷凝器	(476)
8.6.1 概述	(476)
8.6.2 间壁式冷凝器	(476)
8.6.3 直接接触式冷凝器	(476)
8.7 生物物料的蒸发	(477)
8.7.1 概述及生物物料的性质	(477)
8.7.2 水果汁	(477)
8.7.3 糖溶液	(478)
8.7.4 纸浆废水	(478)
8.8 使用蒸气再压缩的蒸发	(478)
8.8.1 概述	(478)
8.8.2 机械式蒸气再压缩蒸发器	(478)
8.8.3 热动力蒸气再压缩蒸发器	(479)
习 题	(479)
参考文献	(481)

第 9 章 过程物料的干燥	(483)
9.1 干燥简介及干燥方法	(483)
9.1.1 干燥的目的	(483)
9.1.2 干燥的一般方法	(483)
9.2 干燥设备	(484)
9.2.1 厢式干燥器	(484)
9.2.2 真空架式间接干燥器	(484)
9.2.3 连续洞道干燥器	(484)
9.2.4 转筒干燥器	(485)
9.2.5 转鼓式干燥器	(486)
9.2.6 喷雾干燥器	(486)
9.2.7 农作物与谷物的干燥	(486)
9.3 水的蒸气压与湿度	(487)
9.3.1 水的蒸气压	(487)
9.3.2 湿度及湿度图	(487)
9.3.3 绝热饱和温度	(491)
9.3.4 湿球温度	(492)
9.4 物料的平衡含水量	(493)
9.4.1 概述	(493)
9.4.2 无机物及生物物料的平衡含水量的实验数据	(494)
9.4.3 固体中的结合水与非结合水	(495)
9.4.4 物料中的自由含水量和平衡含水量	(496)
9.5 干燥速率曲线	(496)
9.5.1 概述及实验方法	(496)
9.5.2 恒定干燥条件下的干燥速率曲线	(496)
9.5.3 恒速干燥阶段	(498)
9.5.4 降速干燥阶段	(498)
9.5.5 在降速干燥阶段固体中水分的移动	(499)
9.6 恒速干燥阶段的计算方法	(500)
9.6.1 应用实验干燥曲线的方法	(500)
9.6.2 利用预测的恒速阶段传递系数的方法	(501)
9.6.3 过程变量对恒速干燥阶段的影响	(504)
9.7 降速干燥阶段的计算方法	(504)
9.7.1 数值积分的方法	(504)
9.7.2 特殊情况下降速干燥阶段的计算方法	(506)
9.8 热对流、热辐射、热传导组合的恒速干燥阶段传热	(507)
9.8.1 概述	(507)
9.8.2 热对流、热传导、热辐射方程的推导	(507)
9.9 由扩散及毛细管流引起的降速阶段的干燥	(510)

9.9.1 概述	(510)
9.9.2 干燥过程中水分的液相扩散	(510)
9.9.3 干燥过程中水分的毛细管运动	(512)
9.9.4 液相扩散与毛细管流的比较	(513)
9.10 各种类型干燥器的方程	(514)
9.10.1 填充床中的穿流气流干燥	(514)
9.10.2 变化的空气条件下的盘式干燥	(518)
9.10.3 连续干燥器的物料衡算和热量衡算	(519)
9.10.4 连续逆流干燥	(521)
9.11 生物物料的冷冻干燥	(523)
9.11.1 概述	(523)
9.11.2 冷冻干燥方程的推导	(524)
9.12 非定态的热处理过程及生物物料的消毒	(526)
9.12.1 概述	(526)
9.12.2 微生物热死速率的动力学	(527)
9.12.3 消毒的热处理时间的确定	(528)
9.12.4 采用其他设计标准的消毒方法	(531)
9.12.5 巴氏灭菌法	(531)
9.12.6 热处理对食品组分的影响	(532)
习 题	(533)
参考文献	(537)
第 10 章 级式和连续式气液分离过程	(539)
10.1 分离过程的类型和方法	(539)
10.1.1 概述	(539)
10.1.2 分离过程的类型	(539)
10.1.3 过程方法	(540)
10.2 相与相之间的平衡关系	(540)
10.2.1 相律和平衡	(540)
10.2.2 气-液平衡	(541)
10.3 单级和多级平衡接触	(542)
10.3.1 单级平衡接触	(542)
10.3.2 气-液体系的单级平衡接触	(542)
10.3.3 逆流多级接触	(543)
10.3.4 逆流多级接触的解析方程	(546)
10.4 相际质量传递	(548)
10.4.1 概述及平衡关系	(548)
10.4.2 相际质量传递的浓度分布	(548)
10.4.3 用传质系数和界面浓度确定传质速率	(549)
10.4.4 总传质系数和推动力	(552)

10.5	连续增湿过程	(555)
10.5.1	增湿设备概述和类型	(555)
10.5.2	冷却塔的理论 and 计算	(556)
10.5.3	使用膜传质系数设计热水冷却塔	(558)
10.5.4	使用总传质系数的水冷却塔的设计	(559)
10.5.5	空气流量的最小值	(561)
10.5.6	使用传递单元高度设计水冷却塔	(561)
10.5.7	塔中空气流的温度和湿度	(562)
10.5.8	减湿塔	(562)
10.6	在板式塔和填料塔中的吸收	(562)
10.6.1	吸收的概述	(562)
10.6.2	吸收和蒸馏的设备	(562)
10.6.3	填料塔的压降和液泛	(565)
10.6.4	板式吸收塔的设计	(569)
10.6.5	填料吸收塔的设计	(570)
10.6.6	填料塔中低浓度气体混合物的简化设计方法	(575)
10.6.7	用传递单元法设计填料塔	(580)
10.7	填料塔中高浓度混合物的吸收	(584)
10.8	填料塔中传质系数的计算	(587)
10.8.1	实验确定膜系数	(587)
10.8.2	膜系数的关联式	(587)
10.8.3	计算传质膜系数	(588)
10.9	吸收过程中的热效应和温度变化	(590)
10.9.1	吸收过程中的热效应	(590)
10.9.2	简化的设计方法	(590)
	习 题	(592)
	参考文献	(595)
第 11 章	汽-液分离过程	(597)
11.1	汽液平衡	(597)
11.1.1	相律和拉乌尔定律	(597)
11.1.2	沸点图和 $x-y$ 图	(597)
11.2	单级汽液平衡接触	(599)
11.3	简单蒸馏方法	(600)
11.3.1	概述	(600)
11.3.2	汽液系统的相对挥发度	(600)
11.3.3	平衡蒸馏或闪蒸	(601)
11.3.4	简单间歇或微分蒸馏	(601)
11.3.5	简单水蒸气蒸馏	(603)
11.4	带回流的蒸馏和 McCabe-Thiele 方法	(604)

11.4.1	精馏(带回流的蒸馏)概述	(604)
11.4.2	计算理论级数的 McCabe-Thiele 方法	(605)
11.4.3	McCabe-Thiele 方法的全回流和最小回流比	(611)
11.4.4	用 McCabe-Thiele 方法计算精馏的特殊情况	(613)
11.5	板式塔和填料塔的精馏和吸收效率	(618)
11.5.1	板效率	(618)
11.5.2	板效率的种类	(618)
11.5.3	板效率之间的关系	(619)
11.5.4	乱堆填料和整砌填料塔的效率	(620)
11.5.5	板式塔和填料塔的效率计算	(620)
11.5.6	液泛速率和板式塔直径	(622)
11.6	使用焓-浓度的方法计算精馏过程	(623)
11.6.1	焓-浓度数据	(623)
11.6.2	精馏塔的精馏段	(626)
11.6.3	精馏塔的提馏段	(627)
11.7	多组分混合物的精馏	(631)
11.7.1	多组分精馏概述	(631)
11.7.2	多组分精馏的平衡数据	(632)
11.7.3	沸点、露点和闪蒸	(632)
11.7.4	多组分精馏的关键组分	(634)
11.7.5	多组分精馏的全回流	(635)
11.7.5	多组分精馏最小回流比的简捷计算方法	(638)
11.7.6	在操作回流比下理论级数的简捷计算方法	(638)
习 题		(640)
参考文献		(646)
第 12 章	液-液和流-固分离过程	(647)
12.1	吸附过程概述	(647)
12.1.1	概述	(647)
12.1.2	吸附剂的物理性质	(647)
12.1.3	吸附剂的平衡关系	(648)
12.2	间歇吸附	(649)
12.3	固定床吸附塔的设计	(650)
12.3.1	概述和浓度波	(650)
12.3.2	浓度的透过曲线	(651)
12.3.3	传质区	(652)
12.3.4	塔的容量和放大设计方法	(652)
12.3.5	计算吸附的基本方法	(655)
12.3.6	过程变量与吸附循环	(656)
12.4	离子交换过程	(656)

12.4.1	概述和离子交换材料	(656)
12.4.2	离子交换中的平衡关系	(657)
12.4.3	平衡关系的使用和相对摩尔选择性系数	(657)
12.4.4	浓度波和透过曲线	(659)
12.4.5	床层的容量和放大设计方法	(660)
12.5	单级液-液萃取过程	(661)
12.5.1	萃取过程概述	(661)
12.5.2	萃取的平衡关系	(662)
12.5.3	单级平衡萃取	(664)
12.6	液-液萃取设备的类型和设计	(666)
12.6.1	概述和设备类型	(666)
12.6.2	混合-澄清萃取器	(666)
12.6.3	喷洒萃取塔	(666)
12.6.4	填料萃取塔	(667)
12.6.5	孔板(筛板)萃取塔	(671)
12.6.6	脉冲填料和脉冲筛板塔	(671)
12.6.7	机械搅拌的萃取塔	(672)
12.7	连续多级逆流萃取	(673)
12.7.1	概述	(673)
12.7.2	连续多级逆流萃取	(673)
12.7.3	不互溶液体的逆流级式萃取	(676)
12.7.4	萃取塔的设计	(678)
12.7.5	用传质系数设计计算填料萃取塔	(680)
12.8	液-固浸取介绍和设备	(682)
12.8.1	浸取过程	(682)
12.8.2	浸取固体的制备	(683)
12.8.3	浸取的速率	(683)
12.8.4	浸取设备的种类	(686)
12.9	平衡关系和单级浸取	(687)
12.9.1	浸取的平衡关系	(687)
12.9.2	单级浸取	(689)
12.10	逆流多级浸取	(690)
12.10.1	概述和逆流浸取操作线	(690)
12.10.2	逆流多级浸取的变底流	(691)
12.10.3	恒底流的多级逆流浸取	(694)
12.11	结晶概述和结晶设备	(694)
12.11.1	结晶和晶体的种类	(694)
12.11.2	结晶的平衡溶解度	(695)
12.11.3	结晶的产量和热量衡算、物料衡算	(696)

12.11.4 结晶设备	(698)
12.12 结晶理论	(699)
12.12.1 概述	(699)
12.12.2 成核理论	(700)
12.12.3 晶体成长速率和 ΔL 定律	(700)
12.12.4 晶体的颗粒尺寸分布	(701)
12.12.5 混合悬浮-混合产品产出结晶器的模型	(702)
习 题	(706)
参考文献	(710)
第 13 章 膜分离过程	(713)
13.1 概述和膜分离过程的类型	(713)
13.1.1 概述	(713)
13.1.2 膜过程的分类	(713)
13.2 液体渗透膜过程或渗析	(714)
13.2.1 膜过程的串联阻力	(714)
13.2.2 渗析过程	(716)
13.2.3 渗析设备的种类	(716)
13.2.4 人工肾中的血液渗析	(716)
13.3 渗透膜过程	(717)
13.3.1 膜过程中的串联阻力	(717)
13.3.2 分离气体的膜的种类与渗透度	(718)
13.3.3 气体渗透膜过程设备的种类	(719)
13.3.4 气体渗透流动类型的概述	(720)
13.4 气体膜分离的完全混合模型	(721)
13.4.1 使用的基本方程	(721)
13.4.2 完全混合情况设计的方程解	(723)
13.4.3 排出流的最小浓度	(725)
13.5 多组分混合物的完全混合模型	(726)
13.5.1 方程的导出	(726)
13.5.2 多组分混合物的迭代求解过程	(727)
13.6 气体膜分离器的错流模型	(729)
13.6.1 基本方程的导出	(729)
13.6.2 错流膜分离器设计的程序	(730)
13.7 气体膜分离逆流流动和并流流动模型的方程推导	(733)
13.7.1 膜中的浓度梯度	(733)
13.7.2 稠相对称膜逆流流动模型的方程推导	(733)
13.7.3 稠相对称膜逆流流动模型的解	(736)
13.7.4 不对称膜逆流流动模型的方程推导	(736)
13.7.5 不对称膜并流流动模型的方程推导	(737)

13.7.6	过程变量对气体分离的影响	(738)
13.8	不对称膜有限差分数值方法的推导	(740)
13.8.1	逆流流动	(740)
13.8.2	简捷数值计算	(741)
13.8.3	有限差分数值计算机程序的使用	(746)
13.8.4	压力降对渗透的影响的计算	(749)
13.9	反渗透膜过程	(750)
13.9.1	概述	(750)
13.9.2	反渗透的通量方程	(751)
13.10	反渗透的应用、设备和模型	(754)
13.10.1	操作变量的影响	(754)
13.10.2	反渗透扩散模型中的浓差极化	(755)
13.10.3	反渗透的渗透度常数	(756)
13.10.4	反渗透设备的类型	(756)
13.10.5	反渗透的完全混合模型	(756)
13.11	超滤膜分离过程	(757)
13.11.1	概述	(757)
13.11.2	超滤设备的类型	(758)
13.11.3	超滤的通量方程	(758)
13.11.4	超滤中过程变量的影响	(760)
13.12	微滤膜分离过程	(760)
13.12.1	概述	(760)
13.12.2	微滤的模型	(761)
	习 题	(762)
	参考文献	(765)
第 14 章	物理-力学的分离过程	(767)
14.1	物理-力学分离过程的概述和分类	(767)
14.1.1	概述	(767)
14.1.2	物理-力学分离过程的分类	(767)
14.2	液-固分离中的过滤	(768)
14.2.1	概述	(768)
14.2.2	过滤设备的类型	(768)
14.2.3	过滤介质和助滤剂	(771)
14.2.4	过滤的基本理论	(771)
14.2.5	恒压过滤的过滤方程	(774)
14.2.6	恒速过滤的过滤方程	(778)
14.3	流体与固体分离中的沉降与沉积	(779)
14.3.1	概述	(779)
14.3.2	颗粒通过流体运动的理论	(779)

14.3.3 干扰沉降	(783)
14.3.4 自由沉降的壁效应	(784)
14.3.5 分级中的微分沉降和固体分离	(784)
14.3.6 沉积和增稠	(787)
14.3.7 沉降和沉积的设备	(788)
14.4 离心分离过程	(790)
14.4.1 概述	(790)
14.4.2 离心分离中力的展开	(791)
14.4.3 离心机中沉降的速率方程	(793)
14.4.4 沉积的离心设备	(797)
14.4.5 离心过滤	(798)
14.4.6 气-固旋风分离器	(799)
14.5 机械粉碎	(800)
14.5.1 概述	(800)
14.5.2 颗粒粒度的测量	(801)
14.5.3 粉碎所需要的能量和功率	(801)
14.5.4 粉碎设备	(803)
习 题	(805)
参考文献	(808)
附录1 基本常数和换算因子	(810)
附录2 水的物理性质	(814)
附录3 无机的和有机的化合物的物理性质	(823)
附录4 食品和生物材料的物理性质	(842)
附录5 管子、管道和筛子的性质	(844)
符号说明	(847)
索引	(854)
作者简介	(875)

第 8 章 蒸 发

8.1 概述

8.1.1 目的

在 4.8 节中,讨论了沸腾给热的情况。工业过程中经常发生的此类传热的一个重要实例通常称为蒸发。在蒸发过程中,从沸腾液体中产生的蒸气被移出,留下的溶液被浓缩了。在大多情况下,这种称为蒸发的分离过程涉及从水溶液中除去水。

典型的蒸发的例子有糖、氯化钠、氢氧化钠、甘油、动物胶、牛奶、橙汁的水溶液的浓缩。在这些场合下,浓缩的溶液是所需的产品,而蒸出的水分通常是丢弃的。在少数场合,含有少量矿物的水被蒸发,蒸出得到的不含固体的水用作锅炉的给水,或其他的特殊化学过程,或其他的用途。蒸发过程也用于蒸发海水,以获得饮用水,这一过程已经工业化了。在某些场合,蒸发的初始目的是在冷却的条件下浓缩溶液,会从中析出结晶,得到分离。这种蒸发过程归为结晶过程,将在第 12 章中进行讨论。

8.1.2 过程因素

被浓缩的溶液和被除去的蒸气的物理化学性质会极大地影响蒸发器的选型以及过程的压力和温度。下面讨论一些对过程方法有影响的性质。

(1) 液体的浓度。通常,蒸发器的进料液体是比较稀的,它的黏度也就比较低,类似于水的黏度,因而可获得比较高的传热系数。随着蒸发的进行,溶液浓度变得很高,而且很黏,使传热系数明显下降。当循环量很大或湍流很强时,会出现传热系数变得很低的情况。

(2) 溶解度。当溶液被加热蒸发时,溶质或盐的浓度增加,溶液中的溶质浓度超过了溶解度,会形成晶体。这会使蒸发过程中溶液可达到的最高浓度受到限制。图 8.1-1 表示了一些典型盐在水中的溶解度。在大多数情况下,盐的溶解度随着温度的上升而增加。这意味着,当来自蒸发器的、热的、浓缩的溶液被冷却至常温时,会发生结晶过程。

(3) 物质的热敏性。许多产品,尤其是食品和其他生物制品,会对温度很敏感,在较高的温度或长时间加热下分解。这种产品包括药物

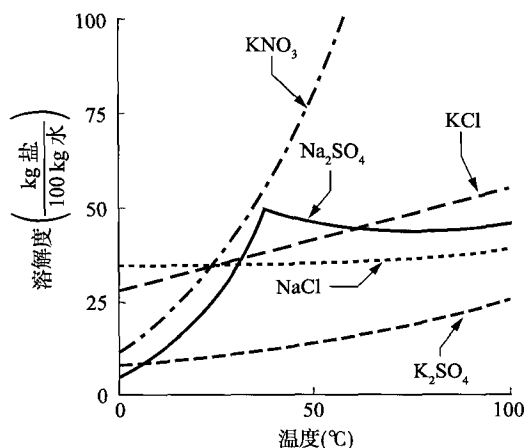


图 8.1-1 一些典型盐类在水中的溶解度

产品、食品(如牛奶、橙汁、蔬菜萃取物)和精细有机产品。分解的量是温度和时间的函数。

(4) 发泡或泡沫。在有些场合,物质由碱性的溶液组成,食品溶液(如脱脂牛奶)、某些脂肪酸溶液,会在沸腾时形成发泡或泡沫。这种发泡伴随蒸气一起离开蒸发器,形成雾沫夹带损失。

(5) 压力和温度。溶液的沸点与系统的压力有关。蒸发器的操作压力越高,沸点温度也越高。同时,蒸发操作随着溶液中溶解物质浓度增加,沸点也会增加。这个现象称为沸点升高,将在第 8.4 节中讨论。为了保证低于物质的热敏温度,有时需要在低于 1 atm 的压力下操作,即真空操作。

(6) 垢层的沉淀和设备材质。一些溶液会在加热表面上沉淀出固体物质,称为垢层。这些可以由物质分解而形成,或者由溶解度降低而形成。结果是总传热系数降低,蒸发器需要清洗。用于制造蒸发器设备的材质应当选择被腐蚀性最小的。

8.2 蒸发器设备的类型和操作方式

8.2.1 蒸发器的一般类型

在蒸发中,热量被加入溶液,以蒸发溶剂,通常溶剂是水。热量通常用某种蒸气,如水蒸气在金属壁的一侧冷凝来提供,而溶液在另一侧蒸发。使用的设备类型主要与传热表面的形状和液体循环或提供的搅拌方式有关。设备的一般类型讨论如下。

(1) 敞开的釜或平锅。最简单的蒸发器由一个敞口的平锅或釜构成,液体在其中沸腾。热量由夹套中的或者浸入液体的盘管中的水蒸气冷凝提供。在某些场合,釜直接用火加热。这种蒸发器价格低廉,便于操作,但是热量的经济性很差。在某些情况下,常使用旋桨或者螺带进行搅拌。

(2) 水平管自然循环蒸发器。水平管自然循环蒸发器如图 8.2-1(a)所示。水平管束加热管类似于换热器中的管束。水蒸气进入管内,在管内冷凝。水蒸气的凝液从管子的另一端离开。沸腾的液体溶液浸没了这些管子。蒸汽离开液体的表面,常常通过除沫装置,如挡板,以除去气体中夹带的液滴,气体从顶部离开。这种蒸发器比较价廉,用于具有高传热系数的低黏度液体蒸发,而且液体不容易结垢的情况。由于液体循环不良,它们不适用于黏性液体。在大多数情况下,这种蒸发器和下面讨论的几类蒸发器是连续操作的,即加料以恒定的流率进入,出料以恒定的流率离开。

(3) 垂直型自然循环蒸发器。在这种蒸发器中,用垂直管而不是水平管,液体走管子里边,而蒸汽在管子外边冷凝。由于沸腾使液体密度下降,液体在管内上升形成自然循环,如图 8.2-1(b)所示,液体在中央循环管中向下流动。这个自然循环强化了传热系数。这种蒸发器不用于黏性液体。它通常被称为短管蒸发器。它的一种变化型式是悬筐式蒸发器,其中装有垂直管束,但是加热部分做成悬筐,使液体循环在环状空间中向下流动。这样,它不同于垂直中央自然循环蒸发器,中央循环蒸发器在中心管中而不是在边上环状空间中向下流动。悬筐式蒸发器广泛应用于糖业、盐业和制碱工业。

(4) 长管垂直型蒸发器。由于水蒸气一侧的传热系数与蒸发液体这一侧的相比是很高的,所以,蒸发液体应该有高的流速。在如图 8.2-1(c)所示的长管垂直型蒸发器中,液体走

管内。管子为3~10 m长,在管子中生成蒸气气泡,使之起到泵送的作用,形成较高的速度。通常,液体只是一次性通过管子,而不再循环。这种蒸发器中接触时间可以很短。在某些情况下,当加料速率与蒸发速率之比较低时,产物在蒸发器内的自然循环可以通过在出口处与加料口之间加接一根大的管子来实现。这种蒸发器在生产浓缩牛奶时广泛应用。

(5) 降膜式蒸发器。长管型蒸发器的一种变型是降膜式蒸发器,其中液体从管子的顶部加入顺着管壁形成液膜向下流动。蒸气-液体一般在底部进行分离。这种蒸发器广泛用于浓缩热敏性物质,例如橙汁和其他水果汁,因为液体的停留时间非常短(5至10秒或更多些),传热系数很大。

(6) 强制循环式蒸发器。通过泵送使液体在管子内循环,液膜传热系数会增加。这种型式可以在如图8.2-1(c)所示的长管垂直型蒸发器的出口与加料口之间连接一台泵来实现。然而,在强制循环式蒸发器中,垂直管长度比长管垂直型蒸发器的要短一些,如图8.2-1(d)所示。另外,在某些情况下,使用分开的外部水平管加热器。这种蒸发器对于黏性液体非常有用。

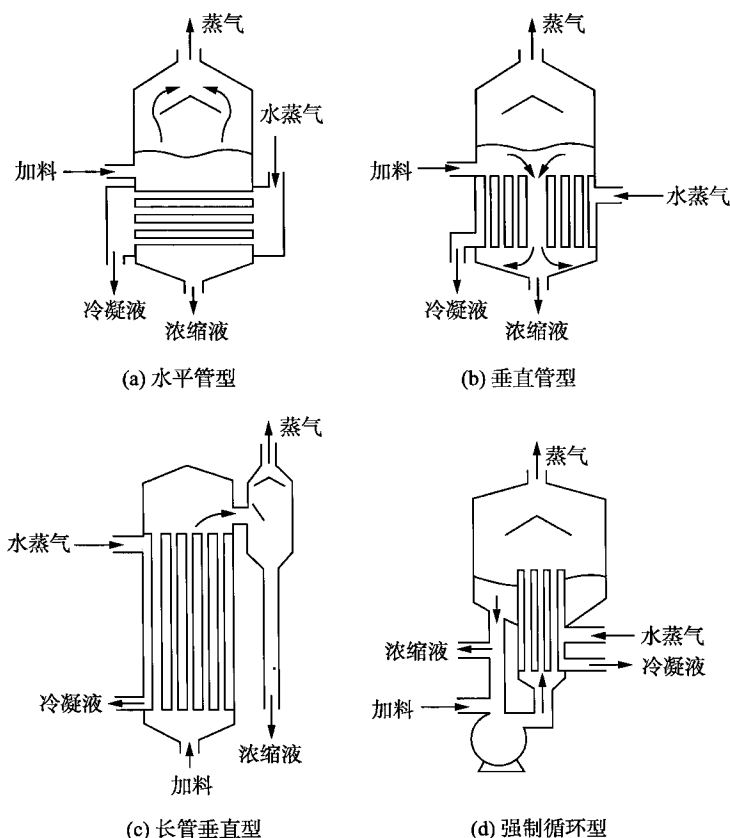


图 8.2-1 蒸发器的不同类型

(7) 刮膜式蒸发器。蒸发器中热量传递的主要阻力在液体这一侧。增加液膜的湍动以强化传热系数的一种途径是实际的机械搅动液膜。这种类型的蒸发器是改进的降膜蒸发器,其中只有一根大的、带夹套的、内部装有搅拌器的管子。液体从管子的顶部加入,然后向