



工业过程与设备丛书

FENLI

GUOCHENG YU SHEBEI

分离过程与设备

廖传华 柴本银 黄振仁 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

工业过程与设备丛书

分离过程与设备

廖传华 柴本银 黄振仁 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书在系统介绍传质分离过程机理的基础上,分别详细介绍了蒸馏与精馏、吸收、干燥、液-液萃取、膜分离等传质分离过程的工作特性、设计原理、用途及评价,并对结晶、吸附、离子交换等其他类型的传质分离过程及传统的过滤过程等进行了简要的阐述。

本书系统科学,通俗易懂,是一本具有实用价值的教材及技术参考书,适用于石油、化工、生物、制药、食品、医药、机械等专业的大专院校教师、研究生及高年级本科生,同时对工程技术人员、研究设计人员也会有所帮助。

图书在版编目(CIP)数据

分离过程与设备/廖传华,柴本银,黄振仁主编. —北京:
中国石化出版社,2008
(工业过程与设备丛书)
ISBN 978-7-80229-551-3

I. 分… II. ①廖…②柴…③黄… III. ①TU56②TQ630.6
IV. TU56 TQ630.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第040937号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京密云红光制版公司排版

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米16开本22.75印张420千字

2008年7月第1版 2008年7月第1次印刷

定价:50.00元

序

过程工业(Process industry, 也称流程工业)是以流程性物料为处理对象, 经过一系列的化学过程, 通过改变物质的状态、结构和性质, 生产出工业产品的工业过程的总称。过程工业的涵盖面很广, 包括化学工业、石油炼制、石油化工、天然气加工、污水处理、能源工业、冶金工业、建材水泥、核能工业、生物技术工业以及医药工业等, 其产品的种类已逾上万, 它包含了每个国家的大部分重工业, 是一个国家发展生产和改善人民生活的基础。

过程工业的最大特点是原料在生产过程中经过了许多化学变化和物理变化, 因此这类生产过程又称为工业化学过程。工业化学产品的多样性导致了化学加工过程的广泛性、多样性和复杂性。虽然不同过程工业所生产产品的工艺过程各不相同, 但都具有其共性: 一般来说, 一个工业化学产品的生产或加工过程大都可以划分为原料预处理、化学反应和产品后加工三个基本环节。

原料的预处理是化学反应前的准备工作。当使用气体(或液体)原料时, 预处理包括原料气的制备、净化和配制, 要求制得的原料具有一定的组成、浓度和纯度, 尽量少含杂质(特别是有害杂质)。当使用矿物原料时, 预处理包括选矿、配矿、粉碎、筛分, 有时还需用干燥或煅烧。原料矿粉应具备一定的组成(或品位)及一定的细度, 以利于化学反应。

化学反应是工业化学过程的中心环节。为使反应进行得迅速、完全, 需要维持一定的温度、压力和流量等操作条件, 多数情况还要使用催化剂, 因此在化学反应过程中还要创造良好的传热、传质和流体流动条件, 以保证化学反应的顺利进行。

产品的后加工主要是指对产品的分离和提纯以及对未完全反应物的回收利用。最常见的分离方法有冷冻冷凝、精馏分离和结晶分离等。未完成反应物的回收利用常常采取循环作业。此外, 固体产品的造粒成型、干燥和包装也是产品后加工不可缺少的内容。

由此可以看出，按照工艺流程的要求，所有过程工业的生产过程均是“三传一反”不同形式的组合，都涉及到物料的输送、传热(加热或冷却)、热源的组织(燃烧)、反应、分离(或精制)等过程，因此，无论是从事学术研究还是生产过程与设备的操作管理等工作，都必须对相关过程有一个全面的认识。另一方面，由于科学技术日新月异的发展，新技术、新设备、新流程的不断引进，设备逐步向大型化、单系列、自动化、智能化发展，客观上要求对相关设备的工作原理及运行过程中可能出现的故障有一个全面的了解，并能及时提出相应的防范与解决措施，避免造成经济损失甚至人员伤亡。与此同时，现代过程工业的不断发展与进步，对提高人类生活质量起着十分巨大的作用，但由于人们对生产过程机理及设备运行规律的认识不够深入，因此也带来了许多人类难以解决的问题，如工业生产带来的污染，即使投入大量的人力、物力也常常难以得到很好的解决。

为满足这种需要，南京工业大学和山东省科学院等合作，联合编写了这套实践性很强的《工业过程与设备丛书》(包括《反应过程与设备》、《输送过程与设备》、《传热过程与设备》、《燃烧过程与设备》、《分离过程与设备》及《设备检修与维护》)。这套丛书涵盖了工艺过程与设备两个平台，除详细的理论阐述外，还列举了大量的工业应用实例，力求使读者对目前过程工业中涉及的相关过程及所应用的设备有一个较为全面的了解，能进一步做好自己所从事的工作。对于从事相关过程的工程设计、生产操作和企业管理人员，以及大专院校的师生，都将是十分有益的。

南京工业大学校长
中国工程院院士



前 言

传质过程是研究过程工业生产中混合物的分离与提纯的一门工程学科。在现代过程工业生产中，分离工程一方面为化学反应提供符合质量要求的原料，另一方面对反应产物进行分离提纯，得到合格的产品，并且使未反应的物料可以循环利用，对生成的三废进行末端治理。因此，分离工程在提高过程工业生产过程的经济效益和社会效益中起着举足轻重的作用。除此之外，分离工程也广泛应用于医药、材料、冶金、食品、生化、原子能和环境治理等过程工业。可见，分离工程对于过程工业的技术进步和经济的持续发展起着至关重要的作用。为此，南京工业大学和山东省科学院联合编写了这本《分离过程与设备》。

本书在讲述传统分离过程的应用的同时，加强了传质理论的阐述，从而使气体吸收、蒸馏、液-液萃取、固体物料的干燥、结晶、吸收等分离过程具有较雄厚的传质基础。书中除传统的传质单元操作外，增加了膜分离技术，同时简要叙述了蒸馏中的节能途径、结晶、吸附、离子膜交换与生物分离技术等能反映化工分离过程近代发展的新成果和新技术。力求论述严谨，重点突出，实例丰富，层次清晰，启迪思维，便于自学。

本书由南京工业大学廖传华、山东省科学院柴本银与南京工业大学黄振仁主编，全书由廖传华统稿。本书的编写得到了南京工业大学朱跃钊副校长、山东省科学院李海舰书记和于承建副院长等领导的大力支持，在此深表感谢。另外，在编写过程中参考了大量的相关资料，书中没有一一列出，在此谨对原文作者致以衷心的感谢。中国石化出版社的白素萍为本书的顺利出版做了大量的工作，在此谨表衷心的感谢。

由于时间仓促，水平所限，错误之处难以避免，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 分离技术的发展	(1)
1.2 分离技术的应用	(3)
1.3 分离过程的分类和特征	(4)
1.3.1 平衡分离过程	(5)
1.3.2 速率分离过程	(6)
1.4 分离过程的集成	(7)
1.4.1 反应过程与分离过程的耦合	(8)
1.4.2 分离过程与分离过程的耦合	(8)
1.4.3 过程的集成	(9)
1.5 分离过程的选择	(10)
1.5.1 可行性	(11)
1.5.2 分离过程的类型	(12)
1.5.3 生产规模	(12)
1.5.4 设计的可靠性	(13)
1.5.5 分离过程的独立操作性能	(14)
1.6 分离设备	(16)
第2章 蒸馏和精馏	(18)
2.1 概述	(18)
2.1.1 蒸馏的定义及特点	(18)
2.1.2 蒸馏操作的分类	(19)
2.1.3 精馏操作流程	(19)
2.2 简单蒸馏和平衡蒸馏	(20)
2.2.1 装置流程	(20)
2.2.2 简单蒸馏及平衡蒸馏原理	(21)
2.3 双组分精馏	(23)
2.3.1 精馏原理	(23)
2.3.2 全塔物料衡算	(25)

2.3.3	理论塔板数	(31)
2.3.4	塔高与塔径的计算	(35)
2.3.5	回流比的影响及选择	(37)
2.3.6	间歇精馏	(40)
2.3.7	精馏装置的热量衡算	(43)
2.4	多组分精馏	(45)
2.4.1	多组分精馏的特点及流程方案选择	(45)
2.4.2	多组分精馏的计算	(48)
2.4.3	复杂精馏简介	(55)
2.5	蒸馏与精馏操作	(58)
2.5.1	双组分精馏的操作型计算	(58)
2.5.2	影响精馏操作的主要因素	(59)
2.5.3	间歇精馏新型操作方式简介	(63)
第3章	特殊精馏	(67)
3.1	概述	(67)
3.1.1	非理想物系的恒沸物	(67)
3.1.2	理想三组分系统在三角图上的表示方法	(69)
3.2	恒沸精馏	(70)
3.2.1	恒沸精馏原理	(70)
3.2.2	恒沸精馏夹带剂的选择	(71)
3.2.3	恒沸精馏流程及应用	(72)
3.2.4	恒沸精馏计算	(74)
3.3	萃取精馏	(75)
3.3.1	萃取精馏基本原理	(75)
3.3.2	萃取精馏中萃取剂的选择	(76)
3.3.3	萃取精馏流程及应用	(77)
3.3.4	萃取精馏计算	(78)
3.3.5	萃取精馏的注意事项	(80)
3.4	其他特殊精馏操作及应用	(81)
3.4.1	盐效应精馏及应用	(81)
3.4.2	分子蒸馏及应用	(82)
3.4.3	几种特殊精馏方法的比较	(85)
3.5	精馏的节能优化技术	(86)
3.5.1	精馏过程的热力学不可逆性	(86)
3.5.2	多效精馏	(88)

3.5.3	低温精馏的热源	(89)
3.5.4	设置中间冷凝器和中间再沸器的精馏	(92)
第4章	吸收	(94)
4.1	概述	(94)
4.1.1	工业吸收过程	(94)
4.1.2	吸收剂的选择	(95)
4.1.3	物理吸收和化学吸收	(95)
4.1.4	气体吸收工业应用	(96)
4.1.5	吸收操作的经济性	(96)
4.1.6	吸收与蒸馏操作的区别	(97)
4.1.7	吸收塔设备类型	(97)
4.2	吸收平衡及吸收推动力	(98)
4.2.1	吸收平衡	(98)
4.2.2	相平衡与吸收过程的关系	(98)
4.3	吸收传质机理	(99)
4.3.1	质量传递机理	(100)
4.3.2	对流传质理论	(101)
4.4	传质速率方程	(101)
4.4.1	对流传质速率方程	(102)
4.4.2	传质阻力的控制	(104)
4.5	吸收(解吸)计算	(105)
4.5.1	物料衡算与操作线方程	(106)
4.5.2	吸收剂用量的确定	(107)
4.5.3	解吸	(111)
4.5.4	塔径的计算	(111)
4.5.5	塔高的计算	(112)
4.6	其他吸收	(115)
4.6.1	多组分吸收	(115)
4.6.2	化学吸收	(117)
4.6.3	高组成气体吸收	(117)
4.7	吸收操作实例分析	(118)
4.7.1	逆流与并流的比较	(118)
4.7.2	吸收剂用量、温度等对吸收过程的影响	(121)

第5章 气-液传质设备	(127)
5.1 板式塔	(127)
5.1.1 板式塔的结构	(127)
5.1.2 塔板的类型及性能评价	(128)
5.1.3 板式塔的流体力学性能与操作特性	(133)
5.1.4 板式塔的设计	(139)
5.2 填料塔	(152)
5.2.1 填料塔的结构与特点	(152)
5.2.2 填料的类型及性能评价	(153)
5.2.3 填料塔的流体力学性能	(158)
5.2.4 填料塔的内件	(162)
5.2.5 填料塔的设计	(165)
5.3 气液传质设备应用分析	(170)
5.3.1 气液传质设备的处理能力	(170)
5.3.2 气液传质设备的效率及其影响因素	(171)
5.3.3 气液传质设备技术的进展	(171)
第6章 干燥	(174)
6.1 概述	(174)
6.2 湿空气性质和湿度图	(175)
6.2.1 湿空气的性质	(175)
6.2.2 湿空气各温度之间的关系	(179)
6.2.3 湿空气的湿度图	(180)
6.2.4 湿度图的应用	(181)
6.3 干燥过程的物料衡算与热量衡算	(182)
6.3.1 物料衡算	(182)
6.3.2 干燥器热能消耗分析	(183)
6.4 干燥速率和干燥时间	(185)
6.4.1 干燥推动力	(186)
6.4.2 干燥速率	(188)
6.4.3 湿分在湿物料中的传递机理	(190)
6.4.4 干燥时间	(191)
6.5 干燥器	(196)
6.5.1 干燥器的分类	(196)
6.5.2 常用干燥器的工作原理及特点	(197)
6.5.3 其他干燥方法	(204)

6.6	干燥设备设计方案的确定	(206)
6.6.1	设计方案的确定	(206)
6.6.2	基础数据的求取	(209)
6.6.3	设计程序	(212)
6.6.4	系统设计方案的确定	(214)
6.6.5	控制方式	(218)
6.7	干燥装置的选型	(218)
6.7.1	加工工艺对干燥设备的要求	(219)
6.7.2	加工工艺对干燥工艺的要求	(219)
6.7.3	干燥设备的选择	(220)
第7章	液液萃取	(224)
7.1	概述	(224)
7.1.1	萃取原理	(224)
7.1.2	液-液萃取操作流程	(225)
7.1.3	萃取操作的特点	(226)
7.2	相平衡与物料衡算	(227)
7.2.1	三角形相图	(227)
7.2.2	三角形相图中的相平衡关系	(227)
7.2.3	三角形相图中的杠杆定律	(230)
7.3	萃取过程的流程和计算	(231)
7.3.1	单级萃取的流程和计算	(231)
7.3.2	多级错流萃取的流程和计算	(232)
7.3.3	多级逆流萃取的流程和计算	(235)
7.4	萃取剂的选择	(239)
7.4.1	溶剂的选择性与选择性系数	(239)
7.4.2	萃取剂与稀释剂的互溶度	(240)
7.4.3	萃取剂的物性	(240)
7.4.4	萃取剂的回收难易	(241)
7.4.5	其他因素	(241)
7.5	萃取设备	(241)
7.5.1	萃取设备的分类	(241)
7.5.2	混合-澄清槽	(242)
7.5.3	塔式萃取设备	(243)
7.5.4	离心萃取器	(247)
7.6	萃取设备计算	(248)

7.6.1	萃取设备的流动特性和液泛	(248)
7.6.2	萃取效率	(249)
7.6.3	萃取塔塔高的计算	(250)
第8章	膜分离技术	(253)
8.1	概述	(253)
8.1.1	几种主要的膜分离过程	(253)
8.1.2	膜材料与分离膜	(254)
8.1.3	膜组件	(256)
8.1.4	膜分离操作参数	(258)
8.2	反渗透	(258)
8.2.1	反渗透原理	(258)
8.2.2	影响反渗透的因素	(259)
8.2.3	反渗过程的工艺流程	(259)
8.2.4	反渗透技术的应用	(260)
8.3	超滤	(263)
8.3.1	超滤原理	(263)
8.3.2	超滤过程的工艺流程	(265)
8.3.3	超滤技术的应用	(266)
8.4	电渗析	(268)
8.4.1	电渗析原理	(269)
8.4.2	电渗析的流程	(272)
8.4.3	电渗析技术的应用	(273)
8.5	气体膜分离	(275)
8.5.1	气体膜分离原理	(275)
8.5.2	气体膜分离流程及设备	(277)
8.5.3	气体膜分离技术应用	(278)
8.6	液膜分离技术	(280)
8.6.1	液膜分离原理	(280)
8.6.2	液膜分离流程	(283)
8.6.3	液膜分离技术应用	(283)
8.7	膜分离技术的发展趋势	(285)
8.7.1	技术上的发展趋势	(285)
8.7.2	应用上的发展趋势	(287)
第9章	其他分离技术与分离过程	(288)
9.1	结晶	(288)

9.1.1	结晶的基本原理	(288)
9.1.2	工业结晶方法与设备	(293)
9.1.3	结晶过程的产量计算	(296)
9.1.4	其他结晶方法简介	(298)
9.2	吸附	(299)
9.2.1	吸附现象与吸附剂	(299)
9.2.2	吸附平衡和吸附速率	(301)
9.2.3	吸附分离工艺简介	(305)
9.2.4	吸附分离的工业应用	(308)
9.3	离子交换分离技术	(309)
9.3.1	离子交换基本原则	(310)
9.3.2	离子交换设备	(312)
9.3.3	离子交换分离技术的应用	(313)
9.4	生物分离技术	(314)
9.4.1	新型生物分离工艺	(316)
9.4.2	生物分离技术的应用	(321)
第10章	 过滤	(323)
10.1	概述	(323)
10.2	过滤基本方程式	(325)
10.2.1	滤液的流动	(325)
10.2.2	过滤速度与过滤速率	(326)
10.2.3	滤饼的阻力	(326)
10.2.4	过滤介质的阻力	(328)
10.3	恒压过滤与恒速过滤	(330)
10.3.1	恒压过滤	(330)
10.3.2	恒速过滤与先恒速后恒压的过滤	(332)
10.3.3	过滤常数的测定	(334)
10.4	过滤设备	(337)
10.5	过滤机的生产能力	(341)
10.5.1	滤饼的洗涤	(341)
10.5.2	过滤机的生产能力	(342)
10.6	过滤机的选型	(346)
参考文献	(349)

第 1 章 绪 论

1.1 分离技术的发展

地球上的物质，绝大多数是与其他物质混在一起的(称为混合物)，天然存在的纯物质少之又少。生产实践证明，将地球上的各种各样混合物进行分离和提纯是提高生产和改善生活水平的一种重要途径。由于发明了冶炼术，把金属从矿石中分离出来，使人类从石器时代进入铜器时代，大大提高了生活的质量，开始向文明社会进军。放射性铀的同位素的分离成功，迎来了原子能时代，原子能的和平利用使我们的生活水平又大大提高了一步。将水和空气中微量杂质除去的分离技术，大幅度提高了超大规模集成电路元件的成品合格率，使它得以实现商品化生产。深冷分离技术使我们从混合气体中分离出纯氧、纯氮和纯氢，获得了接近绝对零度的低温，为科学研究和生产技术提供了极为宽广的发展基础，为火箭提供了具有极大推力的高能燃料。从水中除去盐和有毒物质的蒸馏、吸附、萃取等分离技术，使我们能从取之不尽的大海中提取淡水，从工、农业污水中回收干净水和其他有用的物质。

在工业生产中，很多生产过程处理的物料为流程性物料，如气体、液体、粉体等。从原材料到最后产品的生产过程中要进行一系列的化学、物理过程，以改变物质的状态、结构、性质。过程工业是以流程性物料为主要处理对象，完成上述各种过程或其中某些过程的工业生产的总称。过程工业中进行的各种过程往往在密闭状态下连续进行，它遍及几乎所有现代工业生产领域。化学工业是最传统、典型的过程工业，化肥、石油化工、生物化工、制药、农药、染料、食品、炼油、轻工、热电、核工业、公用工程、湿法冶金、环境保护等生产过程大都处理流程性物料，处理过程中几乎都包含改变物质的状态、结构、性质的生产过程。在这些过程中都需要使用各种形式的分离设备，以完成生产过程中原料和产品的分离与提纯。

过程工业是国民经济的重要基础产业，其产品渗透到人们的衣、食、住、行等各个领域。过程工业的产值是衡量一个国家国民经济发展水平的重要标志之一。其显著的特点是所用原料广泛，生产工艺不同，产品品种繁杂，性质各异。但归纳起来，各个产品的生产工艺都是遵循相同的规律：即原料预处理、加工精制、产品后处理。原料的预处理是过程工业生产前必要的准备工作，因为存在于

自然界的原料多数是不纯的。例如，石油是由多种碳氢化合物组成的混合液体；煤是组分复杂的固体混合物。其中有生产过程需要的物质，也有生产过程不需要的甚至是有毒的物质。如果直接采用这样的原料进行化学反应，让那些与反应无关的多余组成一起通过反应器，轻则影响反应器的处理能力，使生成的产物组成复杂化；重则损坏催化剂和设备，使反应无法顺利进行，因此反应前的分离操作往往是必不可少的。当使用气体(或液体)原料时，预处理包括采用一定的分离手段，对原料气进行制备、净化和配制。要求制得的原料具有一定的组成、浓度和纯度，尽量少含杂质(特别是有毒杂质)。当使用矿物原料时，预处理包括选矿、配矿、粉碎、筛分，有时还须干燥或煅烧。原料矿粉应具备一定的组成(或品位)及一定的细度，以利于化学反应。产品的后加工，主要是指对从反应器出来的中间产物或粗产品进行分离和提纯，以及对未反应物的回收利用。因为绝大多数有机化学反应都不可能百分之百地完成，而且除主反应外，尚有副反应发生，这样从反应器出来的产物往往是由目的产物、副产物以及未反应的原料组成的。要得到产品，必须进行分离。最常用的分离方法有冷冻冷凝、精馏分离和结晶分离。未反应物的回收利用常常采取循环作业。此外，固体产品的造粒成型、干燥和包装也是产品后加工不可缺少的内容。

通常所说的“三传一反”即概括了过程工业生产过程的全部特征。“三传”为动量传递、热量传递和质量传递(化工单元操作)，“一反”为化学反应过程。质量传递过程是自然界和工程技术领域普遍存在的现象。敞口容器中的水向空气中蒸发；糖块在水中的溶解；用吸收方法脱除烟气中的二氧化硫；从植物中提取药物；催化反应中反应物向催化剂迁移等都是常见的质量传递过程。在近代化学工业的发展中，传质分离过程起到了特别重要的作用。几乎没有一个过程工业的生产是不包含对原料或反应产物的分离提纯操作的，从原油中分离出各种燃料油、润滑油和石油化工原料到有机、无机、精细化学品的合成，都离不开对混合物的分离。

分离技术是随着化学工业的发展而逐渐形成和发展的。化学工业具有悠久的历史，而现代化学工业是开始于18世纪产业革命以后的欧洲。当时，纯碱、硫酸等无机化学工业成为现代化学工业的开端。19世纪以煤为重要原料的有机化工在欧洲也发展起来。当时的煤化学工业按其规模尚不十分巨大，主要着眼于苯、甲苯、酚等各种化学产品的开发。在这些化工生产中应用了吸收、蒸馏、过滤、干燥等操作。19世纪末、20世纪初大规模的石油炼制业促进了化工分离技术的成熟与完善。到20世纪30年代在美国出版了第一部《化学工程原理》，50年代中期提出传递过程原理，把单元操作进一步解析成三种基本传递过程，即动量传递、热量和质量传递以及三者之间的联系。进入20世纪70年代以后，化工

分离技术向更加高级化发展，应用更加广泛。与此同时，分离技术与其他科学技术相互交叉渗透产生了一些更新的边缘分离技术，如生物分离技术、膜分离技术、环境化学分离技术、纳米分离技术、超临界流体萃取技术等。展望 21 世纪，分离技术将面临着一系列新的挑战，其中最主要的是来自能源、原料和环境保护三大方面。此外，分离技术还将对农业、食品和食品加工、城市交通和建设以及保健方面做出贡献。

中国是世界文明古国之一，古代劳动人民在长期的生产实践中，在科学技术和化学工艺等方面有不少发明创造，对于中国社会的发展和世界文明曾做出过卓越的贡献。如陶瓷、冶金、火药、燃料、酿酒、染色、造纸和无机盐等的生产技术，一直到西方出现资本主义以前，都走在世界前列。现代许多化工生产都是在古代化学工艺的基础上发展起来的。

近年来，科技人员在传质过程及设备的强化和提高效率、分离技术研究和过程模型、分离新技术开发几个主要方面作了大量的工作，取得了一批成果。对板式塔的研究已深入到板式塔内气、液两相流动的动量传递及质量传递的本质研究，开发了新型填料和复合塔；在萃取、蒸发、离子交换、吸附、膜分离等过程也作出了有意义的研究和开发工作。通过这些研究成果的工业应用，改进和强化了现有生产过程和设备，在降低能耗、提高效率、开发新技术和设备、实现生产控制和工业设计最优化等方面发挥了巨大的作用，同时也促进了过程工业的进一步发展。

当代工业的三大支柱是材料、能源和信息。这三大产业的发展都离不开新的分离技术。人类生活水平的进一步提高也有赖于新的分离技术。在 21 世纪，分离技术必将日新月异，再创辉煌。

1.2 分离技术的应用

过程工业涉及的范围非常广泛，以石油、天然气为原料的化学工业包括石油加工、基本有机化工、无机化工、高分子合成、精细化学品合成等。而任何一个工业生产过程都包含分离技术的应用。事实上，在实际过程工业生产中，无论在基础建设阶段，还是在正常生产过程中，尽管反应器是至关重要的设备，但我们往往发现在整个流程中，分离设备所占的地位，在数量上远远超过反应设备，在投资上也不在反应设备之下，而消耗于分离的能量和操作费用在产品成本中也占有很大的比重。因此，对分离过程必须予以应有的重视。

以石油化工为例。它主要以地下原油为原料生产汽油、煤油、柴油、润滑油和基础化工产品。从原油的初馏、催化裂化、加氢催化、催化重整到润滑油的生

产，所有工艺过程都离不开分离操作。如常压塔、减压塔、吸收塔、汽提塔、抽提塔、芳香烃蒸馏塔等都是典型的分离过程。以直馏汽油为原料，生产各种轻质芳香烃为目的的催化重整装置包括原油的预处理（预分馏和预加氢）、催化重整、溶剂油抽提和芳香烃精馏四个部分。此生产过程除催化重整属化学反应外，原油的预处理（预分馏和预加氢）、溶剂油抽提和芳香烃精馏均属于分离过程。实际上，现代炼油厂中的前、后处理工序占用着企业的大部分设备投资和操作费用。由此可见，分离技术对提高生产过程的经济效益和产品质量起着举足轻重的作用。大型石油工业和以化学反应为核心的化工生产过程，分离装置的费用占总投资的50%~60%。

在某些化工生产装置中，分离操作就是整个过程的主体部分，如石油裂解气的深冷分离，碳四馏分分离生产丁二烯和上述的芳烃分离等过程。在无机化工和有机化工中，品种繁多，但是所有生产工艺过程仍然离不开“三传一反”，也就离不开分离过程。

冶金、食品、生化和原子能等工业也都广泛地用到分离过程。例如，从矿产中提取和精选金属；食品的脱水、除去有毒或有害组分；抗菌素的净制和病毒的分选；同位素的分离和重水的制备等都要采用分离技术。

随着现代工业趋向大型化生产，所产生的大量废气、废水、废渣更加集中排放，对它们的处理不但涉及物料的综合利用，而且还关系到环境污染和生态平衡。如原子能废水中微量同位素物质，很多工业废气中的硫化氢、二氧化硫、氧化氮等都需要妥善处理。近年来，由于能源紧张，石油提价，对分离过程的能耗要求越来越苛刻，随之对设备性能的要求也越来越高。分离技术的应用越来越得到人们的高度重视。

上述种种原因都促使对常规分离过程如精馏、吸收、吸附、萃取、结晶、蒸发等不断进行改进和发展；同时新的分离技术与方法，如固膜与液膜分离、热扩散、色层分离等也不断出现和得到工业化应用。

1.3 分离过程的分类和特征

分离过程可分为机械分离和传质分离两大类。机械分离过程的分离对象是由两相以上所组成的混合物，其目的只是简单地将各相加以分离，如过滤、沉降、离心分离、旋风分离和静电除尘等。传质分离过程用于各种均相混合物的分离，其特点是有质量传递现象发生。按所依据的物理化学原理不同，工业上常用的传质分离过程又可分为两大类，即平衡分离过程和速率分离过程。