

国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

# 分子蒸馏技术

杨村  
于宏奇  
冯武文  
编著

化学



社



国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

# 分子蒸馏技术

杨村 于宏奇 冯武文 编著

化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

分子蒸馏技术/杨村, 于宏奇, 冯武文编著. —北京:  
化学工业出版社, 2003. 1

(高新技术科普丛书)

ISBN 7-5025-4221-3

I. 分… II. ①杨…②于…③冯… III. 分子蒸馏-  
普及读物 IV. 0658. 3-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 107312 号

---

高新技术科普丛书

分子蒸馏技术

杨村 于宏奇 冯武文 编著

总策划: 陈逢阳 周伟斌

责任编辑: 郎红旗

责任校对: 蒋宇

封面设计: 于兵

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 5 字数 110 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4221-3/TQ·1656

定 价: 13.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 《高新技术科普丛书》编委会

### 主任

路甬祥 中国科学院院长，中国科学院院士，  
中国工程院院士

### 委员

汪家鼎 清华大学教授，中国科学院院士

闵恩泽 中国石油化工集团公司石油化工科学研究院教授，  
中国科学院院士，中国工程院院士

袁 权 中国科学院大连化学物理研究所研究员，  
中国科学院院士

朱清时 中国科学技术大学教授，中国科学院院士

孙优贤 浙江大学教授，中国工程院院士

张立德 中国科学院固体物理研究所研究员

徐静安 上海化工研究院（教授级）高级工程师

冯孝庭 西南化工研究设计院（教授级）高级工程师



## 序

数万年来，人类一直在了解、开发、利用我们周围的自然界，同时不断地认识着自身，科学技术也从一开始就随着人类的生存需求而产生和发展着。人类发展史充分验证了邓小平“科学技术是第一生产力”的论断。科学技术的发展，促进了人类文明和社会的发展。

21世纪是信息时代，21世纪是生命科技的世纪，21世纪是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的世纪，21世纪是高效、洁净和安全利用新能源的时代，21世纪是人类向空间、海洋、地球内部不断拓展的世纪，21世纪是自然科学发生重大变革、取得突破性进展的时代。科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇，而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。为此，1999年8月，江总书记在视察中国科学院大连化学物理研究所时进一步强调了科普工作的重要性：“在加强科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。”

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社组织几位两院院士和专家编写了《高新技术科普丛书》。本套丛书的特点是：介绍当今科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景；突出“新”，介绍的新技术、新理论和新方法不仅经实践证明是成熟、可靠的，而且是有应用前景的实用技术；力求深入浅出，图文并茂，知识性、科学性与通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重

要作用。

《高新技术科普丛书》涉及与我国经济和社会可持续发展密切相关的高新技术，第一批9个分册包括绿色化学与化工、基因工程技术、纳米技术、高效环境友好的发电方式——燃料电池、最新分离技术（如超临界流体萃取、吸附分离技术、膜技术）、化学激光、生物农药等。本套丛书以后还将陆续组织出版多种高新技术分册。相信该套科普丛书对宣传普及科技知识、科学方法和科学精神，正确地理解、掌握科学，提高全民族的素质将会起到积极的作用。

浩角祥

2000年9月

## 前 言

分子蒸馏技术是一种高新分离技术，近几十年来在国际上得到了十分迅速的发展，特别是随着绿色食品的兴起、回归大自然浪潮的掀起，这种纯物理分离技术更加备受青睐。鉴于分子蒸馏技术是一种温和的分离技术，特别适用于高沸点、热敏性物质的分离，因此，它可广泛应用于石油化工、食品工业、医药工业、日化工业、香精香料工业、农药及塑料工业等。

我国分子蒸馏技术的工业化应用仍处于初级阶段，对于该项技术的认识尚有待提高。目前主要存在两个误区：一是将分子蒸馏与薄膜蒸发器混为一谈，另一是将分子蒸馏装置简单地认为是定型的、通用的装置。为促进我国分子蒸馏技术健康发展，本书将提供一定的技术参考。

本书是化学工业出版社组织出版的“高新技术科普丛书”之一。作者力求使该书的内容由浅入深，加强科学性及实用性。

作者和所在北京化工大学新特科技发展公司的同事们，经过十几年的分子蒸馏技术研究和实践，选用了部分典型材料提供给本书，特别是在大量工业化生产实践中选择了10个典型产品作为实例介绍，以突出本书的实用性。

本书共分6章。第1章绪论中介绍了分子蒸馏技术的发展背景及历史，并阐述了该项技术的工业化应用前景；第2章重点介绍了分子蒸馏的基本原理和特点；第3章重点介绍了分子蒸馏的工艺流程及设备；第4章突出介绍了其工业化应用范围及应用特点；第5章选用了10个典型实例，说明该项技术的

先进性及工业化应用的广泛性；第6章是作者根据多年的研究经验对该项技术提出的应加强研究的几个方面。

本书由北京化工大学新特科技发展公司杨村（教授级高级工程师）、于宏奇（研究员）、冯武文（高级工程师）编著。

参加本书编写的还有刘玮同志等。在编写过程中郭晓东、刘艳霞二位同志在搜集资料、编辑文件中做了大量工作，在此一并致谢。

本书所提供的文献参考资料，由于作者水平所限、时间所限，在引用时可能有遗漏和错误，敬请读者批评指正。

作者

2002年11月



# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 物质的分离原理及其分类 .....	1
1.2 分子蒸馏技术产生的技术背景 .....	2
1.2.1 真空间歇蒸馏 .....	3
1.2.2 降膜蒸馏装置 .....	4
1.2.3 强制成膜蒸馏装置 .....	4
1.2.4 分子蒸馏装置 .....	5
1.3 分子蒸馏技术发展简介 .....	7
参考文献 .....	10
第 2 章 分子蒸馏技术原理及特点 .....	12
2.1 分子蒸馏的基本原理 .....	12
2.1.1 分子运动自由程 .....	12
2.1.2 影响分子运动平均自由程的因素 .....	14
2.1.3 分子蒸馏基本原理 .....	14
2.2 分子蒸馏技术的特点 .....	15
2.2.1 分子蒸馏技术特点 .....	15
2.2.2 分子蒸馏较常规蒸馏存在的优势 .....	18
2.3 分子蒸馏技术的参数模型及影响因素 .....	19
2.3.1 分子蒸馏技术的参数模型 .....	19
2.3.2 分离过程的影响因素 .....	23
参考文献 .....	34
第 3 章 分子蒸馏的分离流程及设备 .....	36
3.1 分子蒸馏的分离流程 .....	36
3.1.1 流程的组成单元 .....	36

3.1.2	分子蒸馏实验装置及工艺流程 .....	37
3.1.3	分子蒸馏工业化装置及工艺流程 .....	40
3.2	分子蒸馏蒸发器 .....	47
3.2.1	自由降膜式分子蒸馏器 .....	47
3.2.2	旋转刮膜式分子蒸馏器 .....	48
3.2.3	机械离心式分子蒸馏器 .....	52
3.2.4	多级分子蒸馏器 .....	55
	<b>参考文献</b> .....	58
<b>第4章</b>	<b>分子蒸馏技术的工业化应用</b> .....	60
4.1	分子蒸馏技术的应用范围 .....	60
4.1.1	分子蒸馏工业化应用原则 .....	60
4.1.2	分子蒸馏工业化应用领域 .....	62
4.2	分子蒸馏在工业化应用中的作用 .....	65
4.2.1	脱除热敏性物质中的轻分子组分 .....	65
4.2.2	脱除产品的杂质及颜色 .....	67
4.2.3	降低热敏性物质的热损伤 .....	67
4.2.4	改进传统生产工艺, 进行清洁生产 .....	68
4.2.5	改进传统合成工艺条件 .....	69
4.2.6	分离产品与催化剂 .....	69
	<b>参考文献</b> .....	70
<b>第5章</b>	<b>分子蒸馏技术的工业化应用实例</b> .....	72
5.1	从鱼油中提取DHA、EPA .....	72
5.1.1	概述 .....	72
5.1.2	实验研究 .....	74
5.1.3	鱼油精制的工业化生产 .....	82
5.2	小麦胚芽油的制取 .....	87
5.2.1	概述 .....	87
5.2.2	小麦胚芽油提取方法 .....	88
5.3	分子蒸馏生产单甘酯 .....	90

5.3.1	概述	90
5.3.2	分子蒸馏单甘酯生产工艺	91
5.4	天然维生素 E 的提取	99
5.4.1	概述	99
5.4.2	天然维生素 E 的功能及作用	101
5.4.3	天然维生素 E 的提取工艺	103
5.5	高纯二聚酸的制取	106
5.5.1	概述	106
5.5.2	高纯二聚酸生产工艺	108
5.6	辣椒红色素提取技术	110
5.6.1	概述	110
5.6.2	分子蒸馏法提取天然辣椒红色素	111
5.7	$\alpha$ -亚麻酸提取技术	113
5.7.1	概述	113
5.7.2	用分子蒸馏技术从紫苏籽油中提取高质量 $\alpha$ -亚麻酸	116
5.8	烷基多苷生产技术	116
5.8.1	概述	116
5.8.2	烷基多苷生产工艺	119
5.9	羊毛脂的精制	123
5.9.1	概述	123
5.9.2	羊毛脂及其衍生物精制工艺	124
5.10	分子蒸馏在聚氨酯领域的应用	127
5.10.1	概述	127
5.10.2	异氰酸酯预聚体纯化工艺	130
	参考文献	131
第 6 章	分子蒸馏技术展望	135
6.1	概述	135
6.2	分子蒸馏技术理论及其设备研究的重点	136
6.2.1	分子运动平均自由程的模型化研究	136

6.2.2	操作参数及参数模型的研究 .....	139
6.2.3	分子蒸馏器结构的研究 .....	140
6.3	分子蒸馏工业化应用研究的重点 .....	141
6.3.1	建立科学的工业化产品分类体系 .....	142
6.3.2	大力开展对高难度分离物质的研究 .....	143
6.3.3	大力挖掘适合中国国情的中草药应用研究 .....	143
6.3.4	开展大型工业化装置稳定性、先进性及经济性的研究 .....	144
6.3.5	开展应用分子蒸馏技术改进传统提纯工艺、提高产 品质量的研究 .....	145
<b>参考文献</b> .....		146



# 第 1 章 绪 论

分子蒸馏技术是一种特殊的液-液分离技术，它产生于 20 世纪 20 年代，是伴随着真空技术及真空蒸馏技术的发展而发展的。目前，它已成为分离技术中的一个重要分支。

## 1.1 物质的分离原理及其分类

世界上任何物质，其存在形式几乎均以混合物状态存在。分离过程就是将混合物分成两种或多种性质不同的纯物质的过程。

在自然界中，物质的混合是一个自发完成的过程，如食盐溶于水，在自然条件下可很快地完成。但若要将食盐从水中分离出来，则必须要借助外力，即必须要对食盐-水体系做功。因为这样才能完成食盐-水体系熵值减少的分离过程。

外界对混合物体系做功，通常是以加入分离剂的形式实现。分离剂可以是能量形式，如热、电、磁、压力、离心力、辐射等能量；也可以是质量形式，如添加剂、过滤介质、吸收剂、表面活性剂、离子交换树脂等。

混合物的分离过程可以用图 1-1 表示。



图 1-1 混合物的分离过程

分离过程可简单分为两大类。

### (1) 机械分离过程

混合物为非均相，可用简单的机械方法将非均相物质分为单相物质。如采用过滤、沉降、固-液分离器和气-液分离器等。

### (2) 传质分离过程

用于均相混合物的分离，其特点是有质量传递现象发生，可以在均相中进行，也可在非均相中进行。依据分离的物理、化学原理不同，工业上常用的传质分离过程又分为平衡分离过程及速率分离过程。

平衡分离过程是当两相平衡时，体系具有不同的组成。它依分离过程中所加分离剂的不同，可分为能量分离剂的平衡过程和质量分离剂的平衡过程。能量分离剂的平衡过程如简单冷凝、简单蒸发、部分冷凝、部分蒸发、节流、减压精馏等，以在分离过程中输入能量（热量、冷量、降压等）为特点；质量分离剂平衡过程如吸收（加入吸收剂）、汽提（加入不凝性气体）、吸附或离子交换（加入固体吸附剂或树脂分离剂）及萃取（加入不互溶液体）等，它是以在分离过程中输入物质质量为特点。

速率分离过程是以位差为推动力所形成的分离过程。如通过某种介质，在混合物体系中形成压力差、温度差、浓度差、电势差或其他梯度所造成的强制推动力，因此，它是依靠这种传递速率的差别所进行的分离操作。如电渗析、反渗透、膜分离等。分子蒸馏是以液相中逸出的气相分子依靠气体扩散为主体的分离过程，因此，它应属于速率分离过程。

## 1.2 分子蒸馏技术产生的技术背景

分子蒸馏技术是一种特殊的液-液分离技术。传统的液体

混合物的分离，一般是通过蒸馏或精馏来实现的。在通常的蒸馏（精馏）过程中，存在着两股分子流向：一股是被蒸液体的气化，由液相流向气相的蒸气分子流；另一股是由蒸气返回至液相的分子流。当气液两相达到平衡时，表观上蒸气分子不再从液面逸出。假若采用某种措施，使蒸气分子不再返回（或减少返回）液相，就会大大提高分离效率。

分子蒸馏技术正是在蒸馏技术的不断改进发展中而产生的一种特殊的蒸馏分离技术。

### 1.2.1 真空间歇蒸馏

真空间歇蒸馏是在密闭容器内和真空条件下，以间歇方式进行的蒸馏过程。

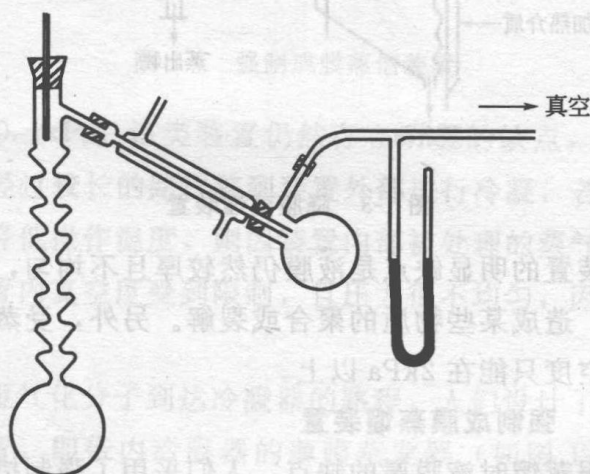


图 1-2 真空间歇蒸馏

如图 1-2 所示，混合液加入封闭容器内，被加热后，在真空条件下易挥发物气化后从容器上部移出，沿冷凝管被冷凝后进入收集液瓶。该类装置明显的缺点是蒸发液面厚，停留时间长，操作中真空度差（一般在 5kPa 以上），加热温度比较高。为了克服这些缺点，人们开始开发新的蒸馏装置。

### 1.2.2 降膜蒸馏装置

降膜蒸馏装置如图 1-3 所示。此装置中，混合液沿加热壁下流，靠重力及自身黏度成膜。显然，与间歇蒸馏相比，降低了混合液表面厚度。被加热蒸气由液相逸出，走向外部冷凝器被冷凝。这样蒸余物和蒸出物由两个装置出口分别放出，可以实现连续化操作。

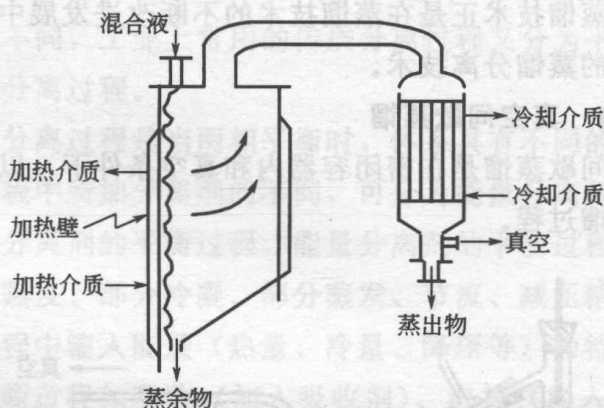


图 1-3 降膜蒸馏装置

该类装置的明显缺点是液膜仍然较厚且不均匀，会产生局部过热点，造成某些物质的聚合或裂解。另外，受蒸气流阻力影响，真空度只能在 2kPa 以上。

### 1.2.3 强制成膜蒸馏装置

为克服蒸馏时液膜厚的缺点，人们采用了强制措施（即目前的刮膜式、离心式等），使混合液膜既薄又均匀。

如图 1-4 所示的强制成膜蒸馏装置，混合液沿内壁自上而下流动，在强制措施下（如图中转动刮板）使混合液呈薄膜状，显然，蒸气从液相中逸出的速度加快，易挥发组分通常与混合液物料逆向流动，离开蒸发器后进入外部冷凝器中，这种蒸发器可使得物料在很短时间（以分、秒计）内被分离，操作



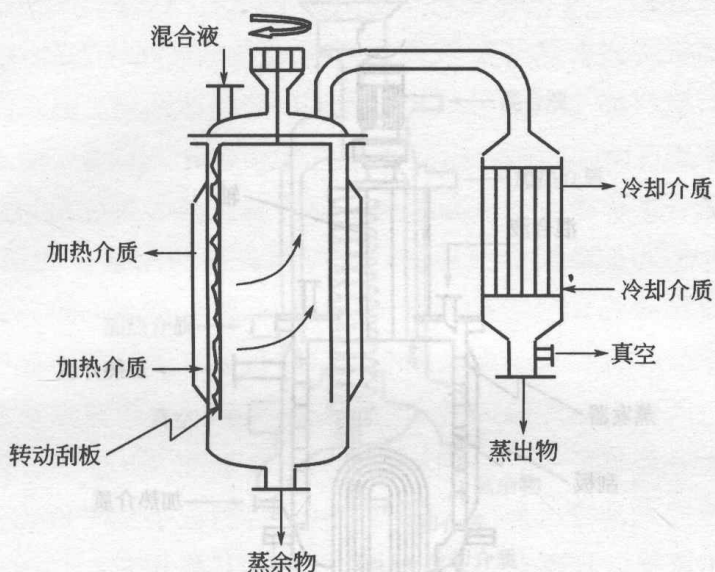


图 1-4 强制成膜蒸馏装置

压力可达  $0.1\text{kPa}$ 。该类装置仍然存在明显的缺点，即被蒸出物分子要经过较长的路程移到装置外部进行冷凝，若想通过降低压力来降低操作温度，则因装置内部被处理的蒸气量急剧增加而使装置内真空度受到限制，且压力很不均匀，因此影响了分离效率。

为缩短气化分子到达冷凝器的路程，人们设计了内冷式成膜蒸馏装置，即带内冷凝器的薄膜蒸发器（如图 1-5），该种装置减少了蒸气分子移向外部的阻力，某种程度上提高了分离效率。但就图 1-4、图 1-5 所示的两种结构形式而言，其本质上仍属传统蒸馏过程（靠沸点差分离），一般称为薄膜蒸发器。

#### 1.2.4 分子蒸馏装置

经过许多研究者的努力，人们设计了全新概念的高真空蒸