

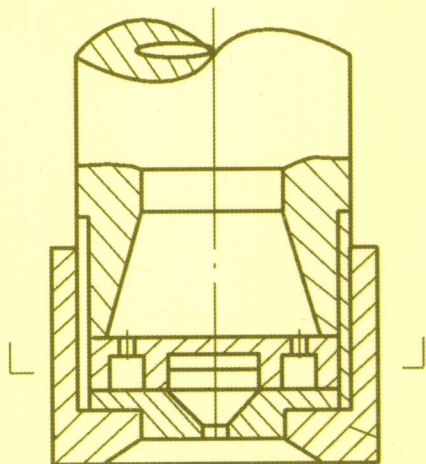
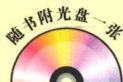
普通高等院校“十一五”规划教材

化工原理

——传质与分离技术分册

HUAGONG YUANLI — CHUANZHI YU FENLI JISHU FENCE

张洪流 主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等院校“十一五”规划教材

化 工 原 理

——传质与分离技术分册

张洪流 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

化工原理:传质与分离技术分册 / 张洪流主编. —北京:
国防工业出版社, 2009.9

普通高等院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06438-4

I. 化... II. 张... III. ①化工原理-高等学校-教材
②传质-化工过程-高等学校-教材 ③分离-化工过程-高
等学校-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 116766 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 字数 501 千字

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 45.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

化工原理课程是化工类一切专业以及过程装备与控制、生物工程、食品工程、制药工程、材料工程、环境工程、石油加工、林产加工、矿物加工、纺织染整等专业的重要技术基础课程之一。该课程在化工行业素有“万精油”之美称,是直接服务生产一线的课程。传质与分离技术分册主要讨论传质基本理论及相关单元操作过程的基本原理、典型设备的结构与操作调控方法、过程工艺计算,以及设备设计和选型方法。由于相关知识在上述专业课程教学中会作为重要基础知识反复应用,因此,本课程也是上述专业的“平台课程”。

随着高等教育事业的发展,企业用人机制的不断变更,本科教育由理论研究型向应用型转化势在必行。为此,建设一套符合当前工科院校人才培养机制,以淡化抽象理论、强化应用能力培养为目的的化工原理教材十分必要。本教材正是在此指导思想下编写的。在本教材的编写中,作者力求体现化工类专业的教学特点,本着理论必需、够用为度,强化培养应用能力的原则,注重理论与实践相结合,引入大量工程实例,着重培养读者的工程观念和处理工程问题的能力。

全书内容包括绪论、第一章蒸馏与精馏技术、第二章气体吸收、第三章塔设备、第四章液—液萃取技术、第五章吸附分离技术、第六章膜分离技术、第七章生物分离技术、第八章固体干燥。为了便于实施目标教学和自学,教材内容按“掌握”、“理解”和“了解”三个层次编写,在每章开始的“学习目的及要求”中均有明确的说明,并通过例题、复习思考题和习题进行反复练习,以达到理解和熟练掌握的要求。此外,为便于读者复习,在每章的结尾处均设有“本章小结”。

本教材由安徽理工大学张洪流主编并负责全书的统稿工作。其中绪论、第一章、第二章、第三章由张洪流编写,第四章由陶昭才编写,第五章由王剑波编写,第六章由李广学编写,第七章由杨中连编写,第八章由江章应编写。在本教材的编写过程中,得到了国防工业出版社的大力支持与帮助,在此致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中不完善之处敬请同仁批评指正,以使本教材日臻完善。

张洪流

2009年6月

目 录

绪论	1
一、分离过程的类型	1
二、分离技术的特点	3
三、传质设备	4
第一章 蒸馏与精馏技术	5
第一节 概述	5
一、蒸馏的定义、基本原理及特点	5
二、蒸馏操作的分类	6
三、蒸馏的物化基础	7
第二节 蒸馏方式	12
一、简单蒸馏	12
二、平衡蒸馏	13
三、精馏	14
第三节 双组分连续精馏塔的物料衡算	15
一、恒摩尔流假定	15
二、对全塔的物料衡算	17
三、精、提馏段的物料衡算——操作线方程	18
四、加料板的物料衡算及进料状态的影响	20
第四节 连续精馏装置的热量衡算与节能	23
一、精馏塔的热量衡算方程	23
二、冷凝器的热负荷与冷凝剂用量	24
三、再沸器的热负荷与加热蒸汽消耗量	24
四、精馏过程的节能	25
第五节 板式连续精馏塔的塔板数	27
一、理论塔板数的确定	27
二、实际塔板数的确定	31
第六节 操作回流比	34
一、操作回流比对精馏操作的影响	34
二、全回流和最小理论板数	35
三、最小回流比	36
四、适宜回流比	37
第七节 其他精馏方式	40

一、间歇精馏	40
二、复杂精馏简介	42
第八节 特殊精馏	43
一、水蒸汽精馏	43
二、恒沸精馏	44
三、萃取精馏	46
四、其他特殊精馏操作及应用	47
五、特殊精馏方法的比较	52
第九节 多元精馏	53
一、多元精馏的特点及流程	53
二、多元精馏的物化基础	54
三、多元精馏计算	56
本章小结	62
思考题	63
习题	64
本章符号说明	66
第二章 气体吸收	68
第一节 概述	68
一、吸收的基本原理与特点	68
二、工业吸收设备与流程	69
三、吸收的分类	72
四、吸收剂的选择	73
第二节 单组分等温物理吸收系统的气液相平衡	74
一、吸收系统的相组成表示法	74
二、吸收系统的气—液相平衡——溶解度曲线	75
三、等温吸收系统的气—液相平衡——亨利定律	76
四、吸收推动力与吸收过程判断	77
第三节 吸收机理与吸收速率方程	78
一、溶质的扩散方式	78
二、吸收机理——双膜理论模型	79
三、吸收速率方程	80
四、吸收系数	81
第四节 吸收塔的物料衡算	85
一、物料衡算与操作线方程	85
二、操作液气比与溶剂用量的确定	87
第五节 填料吸收塔的填料层高度	90
一、对数平均推动力法	90
二、近似梯级图解法	92
三、图解积分法	92

四、解析法	94
五、等板高度法	99
第六节 其他吸收与解吸	101
一、多组分吸收	101
二、化学吸收	102
三、高浓度气体吸收	103
四、解吸	104
本章小结	107
思考题	108
习题	108
本章符号说明	110
第三章 塔设备	112
第一节 填料塔	112
一、填料	113
二、填料塔附件	117
三、填料塔的流体力学性能	120
四、填料塔的特点	122
第二节 填料吸收塔的工艺设计	123
一、塔径	123
二、流体力学验算	125
三、填料塔附件设计	127
四、填料吸收塔的工艺设计步骤	128
第三节 板式塔	128
一、板式塔的主要结构	128
二、板式塔的流体力学性能	130
三、板式塔类型及性能评价	132
第四节 浮阀式精馏塔的工艺设计	136
一、分析待分离物系,确定分离方案	136
二、确定工艺参数	136
三、选择设计板面,确定物性参数	137
四、塔板结构参数设计	137
五、流体力学验算与负荷性能校核	145
六、浮阀塔结构的设计与选用步骤	152
本章小结	157
思考题	158
本章符号说明	158
第四章 液—液萃取	160
第一节 概述	160
一、萃取基本原理	160

二、工业萃取流程	161
三、萃取操作的特点	162
四、萃取操作的工业应用	162
第二节 萃取系统的液—液相平衡	164
一、三元二相系组成的三角形图示	164
二、萃取系统的物料衡算与杠杆规则	164
三、萃取平衡	167
四、萃取过程的图示	169
五、萃取剂的选择	170
第三节 工业萃取设备	171
一、混合澄清器	172
二、萃取塔	173
三、离心萃取器	175
四、萃取设备的选择	176
第四节 萃取计算	178
一、单级萃取计算	178
二、多级错流萃取计算	180
三、多级逆流萃取计算	182
四、完全不互溶物系的萃取过程	186
五、回流萃取流程	189
六、微分接触逆流萃取的计算	190
本章小结	191
思考题	191
习题	192
本章符号说明	194
第五章 吸附分离技术	196
第一节 概述	196
一、吸附与解吸	196
二、吸附剂	200
第二节 吸附平衡和吸附速率	204
一、吸附机理与吸附平衡	204
二、吸附速率	205
第三节 工业吸附流程及应用	206
一、工业吸附流程及设备	206
二、吸附分离技术的应用	210
第四节 吸附工艺计算	211
一、固定床吸附器的工艺设计计算	211
二、移动床吸附器的工艺设计计算	218
本章小结	220

思考题	220
习题	221
本章符号说明	221
第六章 膜分离技术	223
第一节 概述	223
一、膜分类及其选用	223
二、膜分离操作的类型	224
三、膜分离设备	226
四、膜污染与浓差极化现象	229
第二节 微滤	229
一、微滤原理	230
二、微滤的影响因素	230
三、微滤的操作流程	231
四、微滤的应用	231
第三节 超滤	233
一、超滤原理	233
二、超滤的影响因素及控制	233
三、超滤的工艺流程	234
四、超滤的应用	235
第四节 纳滤	237
一、纳滤的特点	237
二、纳滤设备及流程	238
三、纳滤的应用	238
第五节 反渗透	240
一、反渗透原理	240
二、反渗透的工艺流程	242
三、反渗透技术的应用	243
第六节 渗析	244
一、渗析法原理	245
二、渗析器及应用	246
第七节 电渗析	247
一、电渗析原理	248
二、电渗析中的传递过程	248
三、电渗析过程的影响因素	249
四、电渗析流程	251
五、电渗析技术的应用	252
第八节 气体膜分离	254
一、气体膜分离原理	254
二、影响气体膜分离的因素	255

三、气体膜分离流程	255
四、气体膜分离技术的应用	256
第九节 渗透蒸发	258
一、渗透蒸发原理	258
二、渗透蒸发流程	258
三、渗透蒸发膜及膜材料	260
四、影响渗透蒸发的因素	261
五、渗透蒸发的应用	261
第十节 液膜分离	261
一、液膜分离原理	262
二、液膜分离流程	264
三、液膜分离技术的应用	264
本章小结	265
思考题	266
本章符号说明	267
第七章 生物分离技术	268
第一节 概述	268
一、生物分离的特点	268
二、生物分离的一般步骤	269
第二节 离子交换分离技术	269
一、离子交换基本原理	269
二、离子交换剂	270
三、离子交换剂的再生	272
四、离子交换平衡	272
五、离子交换设备	274
六、离子交换分离技术的应用	275
第三节 超临界流体萃取	277
一、超临界流体萃取原理	277
二、超临界流体萃取的特点	277
三、超临界气体萃取的典型流程及应用	278
第四节 泡沫分离技术	281
一、泡沫分离的分类	281
二、泡沫分离原理	282
三、泡沫分离流程	283
四、泡沫分离技术的应用	284
第五节 色层分离技术	284
一、色层分离的特点与分类	284
二、色层分离原理	285
三、色层分离技术的应用	286

第六节 分离方法的比较与选择	287
一、技术的可行性	287
二、操作的经济性	288
三、生产能力要求	288
四、其他因素	289
本章小结	289
思考题	289
本章符号说明	290
第八章 固体干燥	291
第一节 概述	291
一、工业去湿方法	291
二、干燥操作的分类	292
三、干燥机理与流程	293
第二节 湿空气的性质与湿度图	294
一、湿空气的性质	294
二、湿度图及其应用	299
第三节 空气干燥器的物料衡算与热量衡算	302
一、空气干燥器的物料衡算	302
二、空气干燥器的热量衡算	304
第四节 干燥速率与干燥时间	307
一、物料水分的性质	307
二、干燥速率与干燥速率曲线	309
三、恒定干燥条件下的干燥时间计算	312
第五节 空气干燥器	314
一、干燥器的基本要求	314
二、工业干燥器简介	315
第六节 干燥器的选用及设计	320
一、干燥器选用及设计过程应注意的问题	320
二、气流干燥器的工艺设计	323
第七节 增湿与减湿	324
一、增湿与增湿器	324
二、减湿与减湿器	324
三、水冷却塔	325
本章小结	325
思考题	325
习题	326
本章符号说明	327
附录	328
附录一 部分物质的 Antoine * 常数	328

附录二	部分二元溶液的 $t-x-y$ 关系表	329
附录三	气体的扩散系数	330
附录四	部分气体稀水溶液的亨利系数	332
附录五	部分气体在水中的溶解度	332
附录六	部分填料的特性参数	334
附录七	部分三元物系的液—液平衡数据	335
附录八	某些超临界流体萃取剂的临界特性	336
参考文献		337

绪 论

质量传递过程是自然界和工程技术领域普遍存在的现象。酒精的挥发、二氧化硫在水中的溶解等都是常见的质量传递过程。由于质量传递过程所涉及的单元操作目的主要是对混合物分离(如吸收、蒸馏、萃取等),故又称为分离过程。

分离过程遵循质量传递基本规律,该部分教学内容原属于化工原理课程中的“三传”中的质量传递部分。随着科学技术的飞速发展,分离过程应用领域的不断拓展,新型分离操作设备不断应运而生,技术日趋成熟,已有从原化工原理课程的“三传”中剥离的趋势。为此,本教材将该部分内容单独成篇、设课,以强化对分离工程内容的教学。

在现代化学工业中,分离技术起到特别重要的作用,几乎没有一个化工产品的生产过程不包含分离操作。仅以石油化工为例,从原油的初馏、催化裂化、加氢裂化、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。

由此可见,分离技术对化工生产过程的经济效益和产品质量起着举足轻重的作用。对大型石油化工企业,分离装置的费用约占总投资的 50% ~ 60%。如化工生产过程中常见的常(减)压塔、吸收塔、气提塔、萃取塔等都是典型的分离装置。

除化学工业以外,分离技术还广泛应用于冶金、食品、生化和电子等多种工业生产过程。如酿酒、食品的深加工、抗菌素的生产、同位素的分离及重水的制备等。随着科学技术的不断进步,分离技术的不断成熟、完善,应用更向多元化、集约化的方向发展,并与其他学科相互交叉渗透产生更新的边缘分离技术,如反应精馏技术、生物分离技术、膜分离技术、环境化学分离技术、超临界气体萃取技术等。

一、分离过程的类型

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非均相混合物(如沉降、过滤及湿法除尘等),有关内容已在《化工原理——流体流动与传热分册》中进行了讨论,这里就不再赘述。传质分离过程的分离对象主要是均相混合物(即广义的溶液),按操作原理的不同可分为平衡分离和速率分离两大类。

(一) 平衡分离过程

平衡分离过程是借助能量(ESA)或其他物质(MSA)使混合物变为两相体系并以各组分在两相中的分配差异为依据来实现分离的操作过程。其特点是有相际传质现象发生。例如,蒸馏过程通过加热使液体混合物部分汽化以形成气、液两相,利用组分在气、液两相中的含量不同这一性质达到分离混合液的目的。又如,吸收过程通过对气体混合物系引入溶剂以形成气、液两相,利用气体组分在溶剂中的溶解能力不同这一性质达到分离混合气体的目的。再如,萃取过程通过引入萃取剂将溶液变成两相,利用组分在两相中溶解能力的差异来实现分离等。

根据形成的两相状态的不同,平衡分离过程又可分为以下几类:

- (1) 气—液传质过程:如气体吸收、气体的增湿和减湿;
- (2) 汽—液传质过程:如液体的蒸馏和精馏;
- (3) 液—液传质过程:如萃取;
- (4) 液—固传质过程:如结晶、吸附、离子交换、色层分离等;
- (5) 气—固传质过程:如固体干燥、吸附等。

上述的固体干燥、结晶等操作在遵循热量传递规律的同时遵循质量传递规律,但起决定因素的是质量传递过程,故常列为传质操作。

表 0-1 为工业上常见基于平衡分离的单元操作说明。

表 0-1 基于平衡分离过程的单元操作

名称	原料相态	分离媒介	产生相态或 MSA 的相态	分离原理	典型应用实例
闪蒸	液体	热量 + 减压	气体	利用溶液中组分的挥发能力差异一次部分汽化或冷凝	海水淡化生产纯水
部分冷凝	气体	热量 (ESA)	液体		由合成氨中回收氢气和氮气
精馏	气、液或汽液混合物	热量 (有时用机械功)	气体及液体	利用溶液中组分的挥发能力差异多次部分汽化或冷凝	石油分馏
萃取精馏	气、液或汽液混合物	液体溶剂 (MSA) 和塔釜加热	气体及液体	利用萃取剂对原溶液中各组分的溶解能力差异改变原溶液相对挥发度	以可溶性盐作萃取剂分离乙醇水溶液
恒沸精馏	气、液或汽液混合物	液体恒沸剂 (MSA) 和热量 (ESA)	气体及液体	恒沸剂与原溶液形成恒沸物改变原溶液组分的相对挥发度	以丙酮作挟带剂分离苯—环己烷
吸收	气体	液体吸收剂 (MSA)	液体	利用气体中各组分在溶剂中的溶解能力差异	用水回收合成氨弛放气中的氨
液—液萃取	液体	液体萃取剂 (MSA)	液体	利用萃取剂对原溶液中各组分溶解能力的差异	以丙烷作萃取剂从重渣油中脱出沥青
干燥	液体, 更常见是固体	气体 (MSA); 热量 (ESA)	气体	物料中的湿分吸热汽化	用热空气脱除聚(氯)乙烯颗粒中的水分
蒸发	液体	热量	气体	溶剂吸热挥发而溶质不挥发	碱液的浓缩
结晶	液体	冷量或热量	固体	利用过饱和度	自二甲苯混合物中分离对二甲苯
吸附	气体或液体	固体吸附剂	固体	利用吸附剂对物质的吸附能力差异	用分子筛吸附空气中的水分
离子交换	液体	固体树脂	固体	利用质量作用定律	水的软化
泡沫分离	液体	表面活性剂与气体	液体 (泡沫相、清液相)	利用活性物质会自动在气泡表面聚集	清除废水中的洗涤剂

(二) 速率分离过程

速率分离过程是借助推动力(如浓度差、压力差、温度差、电位差等)的作用,利用各组分扩散速度的差异或对选择性透过膜透过性的差异来实现分离的操作。这类过程的特点是所处理的物料和产品通常处于同一相态,仅有组成上的差别。

速率分离又可分为两类:膜分离和场分离。

利用各组分对选择性透过膜透过性的差异将混合物分割成组分含量不同的两股流体,从而实现分离混合物的操作称为膜分离。膜分离包括超滤、反渗透、渗析和电渗析等。它与传统过滤的不同在于,膜可以在分子范围内进行分离且过程为典型的物理过程,不需发生相的变化和添加助剂。膜的孔径一般为微米级,依据其孔径的不同(或称为截留分子量),分为微滤膜、超滤膜、纳滤膜和反渗透膜;根据材料的不同,可分为无机膜和有机膜。无机膜目前只有微滤级别的膜,材质主要有陶瓷膜和金属膜。有机膜是由高分子材料做成的,如醋酸纤维素、芳香族聚酰胺、聚醚砜、聚氟聚合物等。

利用各组分扩散速度的差异来实现分离的操作称为场分离。场分离包括电泳、热扩散、高梯度磁力分离等。例如,热扩散是以温度梯度为推动力使气体或液体混合物中的小分子(或离子)向高温方向漂移,从而建立起浓度梯度使混合物得以分离。

二、分离技术的特点

1. 过程影响因素多

对于每一种分离操作,其影响因素可划分为物性因素、操作因素和结构因素三类。

(1) 物性因素 同类分离设备可用于不同的物系,但物料的物理性质(如密度、黏度、表面张力、导热系数等)和化学性质对过程发生影响。在很多情况下,物系的物性对分离设备的选型及设备的操作能力起决定性的影响。

(2) 操作因素 分离设备的各种操作条件(如温度、压强、流量、流速、物料的组成等)在工业生产过程中是变化的,这将势必要影响到分离过程的结果。

(3) 设备结构因素 是指分离设备内部与物料接触的各种构件的形状、尺寸和相对位置等因素,它们首先对物料在设备内的流动情况发生影响,并直接或间接地影响设备的传热与传质性能。

2. 过程制约条件多

在工业上要实现某个具体的化工生产过程,客观上存在许多制约条件。如原料的来源与种类、加热剂和冷却剂的来源与种类、设备的结构及材料的质量和规格、当地的气温和气压的变化范围、分离设备在流程中的位置等。此外,还受到安全防火、环保、设备加工、安装以及维修等条件的制约。

3. 流程类型多

自然科学研究的目的是发现规律,而工业过程的目的则是为最大限度地获得经济效益与社会效益,这是合理组织工业过程的出发点,也是评价过程成功与否的标志。基于这个原则,工业上分离过程的流程类型可谓众多,但如何选择合理的工业流程,不外乎以降低生产成本、降低能耗、促进环保为首要条件。

4. 过程交叉性强

由于分离过程往往涉及传热和传质交叉进行,或化学反应与传质过程的交叉进行等。

所以,分离过程与动量传递及热量传递过程相比较要复杂得多,单纯依靠理论分析往往只能给出定性的判断,通常需结合工业性实验、半工业性实验(又称中间实验)才能得到定量的结果。因此,在对分离技术的研究、操作分析和工艺设计过程中,需采用理论分析、工业性实验和经验数据并重的原则。

三、传质设备

传质设备是实现分离操作的基本设施。其种类繁多且不断有新型设备问世,可按照不同方法进行分类:

(1) 按设备形状可分为塔式、釜式、管式、板框式等。

(2) 按所处理物系的相态可分为气—液传质设备(如蒸馏塔和吸收塔等)、液—液传质设备(如萃取设备)、气—固传质设备(如干燥器和吸附设备)、液—固传质设备(如吸附设备、浸取器、离子交换器等)。

(3) 按两相的接触方式可分为分级接触设备(如各种板式塔、多级混合—澄清器、多级吸附设备等)和微分接触设备(如填料塔、湿壁塔、喷淋塔、移动床吸附等)。

(4) 按分离的目的可分为蒸馏釜、精馏塔、吸收塔、萃取器、吸附器、膜分离器、离子交换器、干燥器等。

此外,对于气—固和液—固传质设备,还可按固体的运动状态分为固定床、移动床、模拟移动床和流化床等。

必须指明,同一类分离设备可用于不同的物系。因此,物料的物理性质和化学性质必对设备中的传热及传质过程发生影响,甚至起决定性的影响。而分离设备与物料接触构件的形状、尺寸等,也会影响物料在设备内的流动状况并直接或间接地影响传热和传质过程的进行。此外,设备结构还受原料或介质的来源类型、设备加工、安装维修等条件的制约。所以,选用设备类型必须从工程实际出发。

总体上,对传质设备的基本要求有以下几点:

- (1) 单位设备体积中,两相的接触面积应尽可能大;
- (2) 两相的均布性能好,应尽可能抑制流体短路或“返混”现象的发生;
- (3) 流体的通量大,单位设备体积的处理量大;
- (4) 流动阻力小,运行时动力消耗低;
- (5) 操作弹性大,对物料的适应性强;
- (6) 结构尽可能简单,造价低廉,操作调节方便,运行可靠安全。

总之,合理选择设备、完善设备设计、优化设备操作,对于节省投资、降低能耗、节约成本、提高经济效益,有着十分重要的意义。

第一章 蒸馏与精馏技术

学习目的及要求

1. 了解、掌握蒸馏的定义、基本原理及分类;
2. 掌握简单蒸馏、平衡蒸馏、精馏的原理及工艺流程;
3. 掌握双组分连续精馏塔的工艺计算;
4. 理解、掌握多组分连续精馏计算方法;
5. 理解精馏操作分析、流程方案的选择;
6. 了解间歇精馏的操作特点,精馏过程的节能方式;
7. 了解特殊精馏的类型、操作基本原理及典型工艺流程、适用范围等;
8. 能够对精馏操作过程中的影响因素进行分析,具有运用所学知识解决实际生产问题的能力。

第一节 概 述

一、蒸馏的定义、基本原理及特点

(一) 蒸馏的定义

蒸馏是最早实现工业化的用以分离互溶液体混合物的典型单元操作,同时也是迄今为止工业生产过程中应用最广泛、技术最成熟的分离单元操作。它是利用互溶液体混合物中各组分挥发能力的差异(或沸点的差异)来达到分离与提纯目的单元操作。

(二) 基本原理

不同液体的挥发能力不同,挥发能力越强者沸点越低,反之沸点越高(如乙醇—水溶液中的醇和水)。我们习惯将混合液中的低沸点组分称为易挥发组分、轻组分、馏分,而将高沸点组分称为难挥发组分、重组分。对二元混合液中的易挥发组分通常以 A 表示,而难挥发组分则以 B 表示。

若将 $x_A = 50\%$ 、 $x_B = 50\%$ (即 A、B 两物质的分子数目比为 1) 的混合液置于一密闭容器中加热并控制其部分汽化,因 A 物质的汽化能力较 B 强,故 A 物质的汽化量较 B 大,所以在得到的蒸汽中 A 物质的分子数目较 B 多,即 $y_A > 50\%$ 、 $y_B < 50\%$,而在残液中 B 物质的含量则要高于 A,即 $x_B > 50\%$ 、 $x_A < 50\%$ 。若将生成的蒸汽全部冷凝,便可获得 A 物质含量高于原始组成的液体产品。若对获得的冷凝液重复上述操作,最终则可获得接近纯态的 A 物质。若对残液不断部分汽化并将产生的蒸汽及时移出,最终则可获得接近纯态的 B 物质,从而使混合液得到分离。