

国家精品课程配套教材

分离科学基础

主 编 罗川南

副主编 李慧芝



科学出版社

国家精品课程配套教材

分离科学基础

主 编 罗川南
副主编 李慧芝

科学出版社

北 京

《分离科学基础》编写委员会

主 编 罗川南

副主编 李慧芝

编 委 罗川南 李慧芝 孙旦子 李冬梅

孙 敏 马惠莉 夏方詮 葛慎光

李月云 王冬梅

前 言

分离科学是研究物质分离、富集和提取的一门学科。随着经济发展和科学技术的进步,分离技术发展迅速,已经成为相对独立的分支学科,是自然科学工作者必须掌握的关键技术手段。目前许多高校的化学专业均开设了与分离有关的课程,为了满足科学研究的需要,许多高校还为研究生开设了分离技术的选修课。尽管涉及分离技术的书籍很多,但大多是介绍单一分离技术的专著,或者是讲解化工分离过程。目前关于分离方面的教材和专著也越来越多,但是每本书的侧重点有所不同,多数偏重于工程类专业,适合普通高校教学用的书很少。因此,编者结合在济南大学多年来讲授“分离科学”课程的经验,编写了本书。

本书根据近年我国教学改革的指导思想,在内容上更注重体现基础性与前沿性的有机结合,经典的分离手段与现代的分离技术的结合,分离技术与其他学科的结合。并介绍一些生产中常用的、成熟的、行之有效的分离方法,力求做到接近现代工业生产和环境保护,既有较广的适用性,又注重体现新内容和新方法。

本书系统地介绍了分离科学的基础知识、基本原理和常用分离技术。全书共9章,包括绪论、沉淀分离法、液-液萃取分离法、离子交换分离法、色层分离法、泡沫浮选分离法、电泳分离法、膜分离法和超分子分离法。在阐述有关方法的基本原理时,还介绍了主要操作及应用,并附有相关的实验。各部分内容既相互独立又相互渗透,注重对分离技术基本知识和基本理论的介绍,内容的安排按照由浅入深、循序渐进的认识规律,使学生完成从理论到实践的跨度,达到厚基础、易自学、利实践的教学目的。

通过本书的学习,学生能够对各种分离技术的方法、原理、特点等有比较深入的了解,能够掌握分离科学的基本知识、基本理论和基本技能。实验环节能够锻炼学生的实验技能和综合应用能力,以培养和提高学生的创新精神和实践能力。根据教学内容在每章后配有相应的复习与思考题,以促进积极思考,加深理论知识理解。

本书是分离科学课程组教师根据多年的教学实践经验,参考国内外相关教材和专著编写而成。本书由济南大学罗川南任主编,李慧芝任副主编,参加编写的有济南大学孙旦子、李冬梅、孙敏、夏方詮、葛慎光,山西职业技术学院马惠莉,山东科技大学王冬梅,山东理工大学李月云。济南大学魏琴教授对本书进行了审核。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏,敬请广大同仁多提宝贵意见。

编 者

2011年10月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 分离过程	1
1.1.2 分离方法的分类	4
1.1.3 分离方法的发展	7
1.1.4 化学分离法发展趋势	8
1.2 分离和富集	9
1.2.1 分离和富集的定义	9
1.2.2 常见的分离和富集	10
1.2.3 分离和富集中应注意的问题	11
1.3 分离方法的评价	11
1.3.1 分离方法的评价指标	11
1.3.2 分离方法的选择	13
复习与思考题	14
第 2 章 沉淀分离法	15
2.1 沉淀生成的条件	15
2.1.1 溶度积和同离子效应	15
2.1.2 盐效应	15
2.1.3 氢离子浓度及配位剂的影响	15
2.1.4 有机溶剂的影响	16
2.1.5 温度的影响	16
2.2 沉淀的生成过程	16
2.2.1 核的生成和过饱和状态	16
2.2.2 沉淀的生成速度和颗粒大小	17
2.2.3 陈化	17
2.2.4 晶形沉淀与胶体	18
2.2.5 分级沉淀	18
2.2.6 共沉淀	18
2.2.7 均相沉淀	20
2.2.8 沉淀操作条件的选择	20

2.2.9 常量组分的沉淀分离	21
2.3 共沉淀分离和富集	27
2.3.1 共沉淀分离	28
2.3.2 无机共沉淀	28
2.3.3 有机共沉淀	31
复习与思考题	34
第3章 液-液萃取分离法	35
3.1 萃取分离法简介	35
3.1.1 萃取过程的本质	35
3.1.2 萃取剂、萃取溶剂、助萃剂及盐析剂	37
3.2 萃取分离的基本参数	38
3.2.1 分配定律	38
3.2.2 分配比	39
3.2.3 萃取率	41
3.2.4 萃取分离系数	45
3.3 萃取分离法的分类及萃取条件的选择	46
3.3.1 无机共价化合物萃取	46
3.3.2 金属螯合物萃取	46
3.3.3 离子缔合物萃取	53
3.3.4 共萃取与抑萃取	58
3.3.5 熔融盐萃取	59
3.4 萃取分离操作和注意事项	59
3.4.1 萃取操作仪器及其准备	59
3.4.2 萃取振荡	60
3.4.3 静置分层	60
3.4.4 乳浊液及其处理	60
3.4.5 洗涤	61
3.5 萃取分离法在分析化学中的应用	61
3.5.1 萃取分离	61
3.5.2 其他应用	62
3.6 现代萃取分离技术	62
3.6.1 胶团萃取	62
3.6.2 双水相萃取	67
3.6.3 超临界流体萃取	70
复习与思考题	73

第 4 章 离子交换分离法	75
4.1 概述	75
4.1.1 离子交换分离法的特点	75
4.1.2 离子交换分离法发展史	75
4.2 离子交换树脂	76
4.2.1 离子交换剂的分类	76
4.2.2 离子交换树脂的结构和作用	76
4.2.3 离子交换树脂的性质	77
4.2.4 离子交换树脂的合成	80
4.2.5 离子交换树脂的种类	82
4.2.6 离子交换树脂的名称、牌号及命名	84
4.3 离子交换分离法的原理	85
4.3.1 离子交换的理论	85
4.3.2 离子交换的亲合力	87
4.3.3 离子交换平衡	88
4.3.4 离子交换反应动力学	95
4.4 离子交换分离法的基本操作技术	96
4.4.1 树脂的选择和预处理	97
4.4.2 离子交换装置和装柱操作	97
4.4.3 柱上操作的基本原理	98
4.5 离子交换分离法的应用	101
4.5.1 分离干扰离子	101
4.5.2 微量物质的富集	102
复习与思考题	103
第 5 章 色谱分离法	104
5.1 概述	104
5.2 凝胶色谱分离法	106
5.2.1 凝胶色谱分离的原理和分类	106
5.2.2 凝胶的种类及性质	107
5.2.3 凝胶特性参数	109
5.2.4 凝胶色谱分离的步骤	110
5.2.5 凝胶色谱分离技术的应用	114
5.3 离子交换色谱法	115
5.3.1 保留方程式	115
5.3.2 洗脱液浓度对保留体积的影响	116

5.3.3 洗脱液酸度对保留体积的影响	117
5.3.4 洗脱液中配位剂对保留体积的影响	117
5.3.5 离子交换色谱的应用	118
5.4 纸色谱分离法	118
5.4.1 比移值	118
5.4.2 纸色谱操作技术简介	121
5.5 薄层色谱分离法	127
5.5.1 薄层色谱法的基本原理和特点	127
5.5.2 比移值及影响因素	128
5.5.3 薄层色谱中的固定相	129
5.5.4 黏合剂	129
5.5.5 展开剂的选择	130
5.5.6 薄层板的制备	131
5.5.7 薄层色谱的实验方法	132
复习与思考题	134
第6章 泡沫浮选分离法	135
6.1 装置与操作	136
6.2 离子浮选分离法	137
6.2.1 影响无机离子浮选效率的主要因素	137
6.2.2 在无机酸或配位剂溶液中的离子浮选	141
6.2.3 在有机试剂溶液中的离子浮选	141
6.3 沉淀浮选分离法	142
6.3.1 影响沉淀浮选的主要因素	142
6.3.2 无机捕集沉淀剂浮选分离	143
6.3.3 有机捕集沉淀剂浮选分离	144
6.4 溶剂浮选分离法	144
6.4.1 通气浮选	144
6.4.2 振荡浮选	145
复习与思考题	146
第7章 电泳分离法	147
7.1 概述	147
7.2 电泳分离的基本原理和分类	147
7.2.1 电泳分离的基本原理	147
7.2.2 电泳分离法的分类	148
7.3 聚丙烯酰胺凝胶电泳	148

7.3.1 概述	148
7.3.2 电泳分离仪器装置	150
7.3.3 电泳方法	152
7.4 毛细管电泳	156
7.4.1 概述	156
7.4.2 毛细管电泳分离技术的基本原理	157
7.4.3 应用	158
第8章 膜分离法	160
8.1 概述	160
8.1.1 膜分离技术的发展简史	160
8.1.2 膜的定义和分类	161
8.1.3 膜分离的特点	161
8.2 膜分离过程和膜的材料	162
8.2.1 膜分离过程	162
8.2.2 膜的材料	162
8.2.3 常用的膜分离过程	164
8.3 反渗透分离技术	166
8.3.1 概述	166
8.3.2 反渗透的基本原理	166
8.3.3 反渗透膜	170
8.3.4 反渗透的应用	172
8.4 微滤、超滤和纳滤分离技术	173
8.4.1 微滤分离技术	173
8.4.2 超滤分离技术	176
8.4.3 纳滤分离技术	178
8.5 液膜分离技术	180
8.5.1 概述	180
8.5.2 液膜的组成及结构	180
8.5.3 液膜分离机理	183
8.5.4 液膜分离技术的应用	186
复习与思考题	187
第9章 超分子分离法	188
9.1 概述	188
9.2 有机超分子主体	188
9.2.1 尿素、硫脲和硒尿素聚集体	188

9.2.2 苯酚和对苯二酚缔合物	188
9.2.3 冠醚、穴醚和球醚	189
9.2.4 环糊精及其衍生物	192
9.2.5 杯芳烃及其衍生物	193
9.3 无机超分子主体——多孔无机固体材料	195
9.4 高分子超分子主体——分子印迹聚合物	198
主要参考文献	200
附录	201
实验一 萃取分离-光度法测定钢铁试样中的磷	201
实验二 萃取分离-光度法测定环境水样中微量铅	203
实验三 有机阳离子交换树脂交换容量的测定	205
实验四 镍和钴离子交换层析分离和测定	208
实验五 离子交换法制备纯水	211
实验六 纸色谱法分离氨基酸	213
实验七 纸色谱法分离汞、镉和铜	214
实验八 薄层层析分离钾、钠和铵离子	216
实验九 天然色素的提取与分离	217
实验十 茶叶中咖啡因提取和元素的分离与鉴定	219
实验十一 茶叶和紫菜中部分元素的分离和鉴定	221

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

自然界的许多物质,无论是无机物还是有机物,大多数是以混合状态存在的。它们往往需要加以分离或提纯,才能为人们合理利用。分离科学就是研究分离、富集和纯化物质的一门学科,是一门与人类生活、社会发展、科学技术进步及工农业生产联系十分密切的学科。

分离技术的应用已有长久的历史。我国几千年前就出现了炼铜、冶铁技术,将在矿石中以化合物形式存在的铜和铁经冶炼变成单质的铜和铁。早在明朝宋应星所著的《天工开物》和清代出版的《图书集成》中就已记载了我国古代在酿酒、制糖中以及在盐卤中提取食盐等采用的蒸馏、结晶等分离技术。近代煤的加工和综合利用、石油炼制和石油化工体系、冶金工业中的综合利用等都必须应用分离过程。随着现代工业的发展和科学技术的进步,分离对象越来越复杂,人们对分离技术也提出了越来越高的要求,如生命科学中蛋白质、核酸、酶及多糖的分离和纯化,药物的提纯,原子能科学中同位素的分离,材料科学中新材料的制备等。这些都促进了分离技术的快速发展。

近年来,由于精细化工、生物技术和材料科学等新兴学科的发展,加之计算机和现代分离手段的广泛应用,促使分离科学的基础理论日臻完善,技术水平不断提高,各种新的现代分离技术不断涌现,使其逐渐发展成为一门相对独立的学科,形成了现代分离科学。

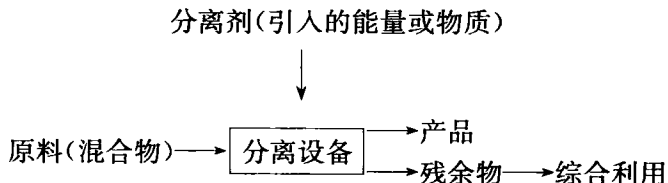
1.1.1 分离过程

两种或多种物质的混合是一个自发过程,而要将混合物分开,必须采用适当的分离技术并消耗一定的能量,所以分离过程一般是熵减小的过程,需要外界对体系做功。这些过程涉及添加物料和引进能量。

添加物料包括吸收剂、溶剂、表面活性剂、试剂、吸收物质、离子交换剂、液膜和固膜材料等。

引进能量包括电、磁、热、静压力和离心力等。

一般分离过程的原则流程如下:



1. 分离科学的任务

分离是利用混合物中各组分的物理性质或化学性质的差异,通过适当的装置或方法,使各组分分配至不同的空间区域或者在不同的时间依次分配至同一空间区域的过程。通俗地讲,就是将某种或某类物质从复杂的混合物中分离出来,使之与其他物质分开,以相对纯的形式存在。所以分离科学的任务就是从混合物中分离、富集和纯化物质。

分离主要有两种形式:一种是组分离;另一种是单一分离。

组分离有时也称为族分离,它是将性质相近的一类组分从复杂的混合物体系中分离出来。例如,中药中起某种药效作用的往往是某一类物质,将这类成分一起分离出来就有可能开发成先进的中药制剂。又如,石油炼制中的轻油和重油的分离也属于组分离。对于多数的单一分离,往往也是先采用比较简单快速的方法进行组分离,然后在同一组物质内再进行单一分离。

单一分离是将某种化合物以纯物质的形式从混合物中分离出来,如工业上纯物质的制备、化学标准品的制备、药物对映异构体的分离等。单一分离又包括多组分相互分离、特定组分分离和部分分离等几种主要形式。

多组分相互分离是使混合物中所有组分都得到相互分离,全部成为纯组分。在实际分离中,往往要使用多种分离技术,经过反复多次分离操作,才可能使一个混合物体系实现多组分相互分离。例如,对于一个复杂的天然产物提取物,可以先采用溶剂萃取的方法使某类物质实现组分离,然后用制备液相色谱的方法使该组化合物相互分离。

特定组分分离是将某一种感兴趣的物质从混合物中分离出来,其余物质仍然混合在一起。从一个复杂的混合物体系中选择性地分离出某一种物质往往是难以做到的,可能需要采用多种分离方法分几步才能实现,也可能需要采用同一分离方法分多次才能达到要求的纯度。例如,首先将大部分或大量其他组分与特定组分分开,此时的目标组分中还含有多种特定组分之外的其他组分,还需采用后面将提到的各种分离纯化操作,才能最终得到相对纯的某种物质。

2. 分离科学研究的内容

传统分离技术的研究对象从理论上更注重各种分离方法和其中的机理,从手段上更注重分离所采用的材料和工艺过程。而现代分离科学更注重研究被分离组分在空间移动和再分布的宏观和微观变化的规律。分离过程中伴随着分离与混合(或定向迁移与扩散)、富集与稀释。从热力学观点出发,以上这两种过程的后者为自发过程。分离科学实质上是研究如何将热力学第二定律所说的自发过程以相反方向进行到最大限度的科学。从这种意义上讲,有人形象地讲“分离科学是一门不断地与热力学第二定律所描述过程作斗争的科学”是有一定道理的。现代分离科学所研究的主要内容如下:

(1) 研究表面上看来毫无联系的各种分离方法之间的共同规律。例如,组分在相

及界面迁移过程中发生了什么变化,它对分离产生了什么样的影响,如何强化对分离有利的因素和抑制那些不利的因素。

(2) 如何将现代科技中最先进的技术和材料应用于分离技术中。

(3) 选择现代科学技术中对分离和纯化要求最迫切的对象进行研究,以提高经济效益,解决生产中的关键问题。

(4) 将各种分离方法联用,研究最优化的分离条件。

(5) 分离出迄今尚未发现的新物质。

(6) 寻求新的分离原理及方法等。

3. 分离的重要性

现代科学技术的发展对分离科学提出了更高的要求,现代工业的发展和人们生活水平的提高对物质分离纯度的要求越来越高,分离难度也在不断加大。许多国家都把21世纪的科学目标定为人类科学,而分离科学的现代化便是实现这一目标的重要手段。从以下几个方面我们可以认识到分离的重要性。

1) 分离是认识物质世界的必经之路

人们从自然界发现或从实验室合成出一种新的物质,都必须通过分离得到它的纯品,才有可能进一步研究该物质的物理化学性质,认识它的作用。例如,元素周期表中的每一种元素的发现,无论是自然界中存在的还是人造的,都必须先分离制备出纯物质,然后进行结构鉴定、理化性质测试,才能最终为人们所承认。

2) 分离是生产实践中的重要手段

化学、石油、冶金、食品、生化、医药、电子和原子能等工业都广泛应用分离过程。例如,有机合成中产物和中间产物的分离,原子能工业中同位素的分离,生物工程中的抗生素的纯化和病毒的分离,冶金中的浮选和机械分离,半导体工业中的锗、镓和硅的提纯和分离,超纯水的制备和惰性气体的分离等,均离不开分离过程。生产上的广泛要求使常规分离方法,如蒸发、蒸馏、吸收、吸附、萃取、沉淀或结晶等不断改进和发展;新的分离方法,如液膜、固膜、扩散、场流和色谱等不断出现并实现工业化。

3) 分离是各种分析技术的前提

随着科学的发展,人们分析的对象越来越复杂,研究的内容越来越细致和深入。需要进行分析的对象往往处于一个复杂的样品基体中,共存物质干扰目标物质的测定。有时还会因为目标物质在样品中的含量极微或分布不均匀,没有合适的标准参考物质,样品的物理、化学状态不适合直接测定,样品本身有剧毒或有强放射性等原因,需要在分析之前采用适当的分离技术对样品进行前处理。在分析化学中常规分离方法不断完善和发展,新的分离方法不断出现和应用。

4) 富集延伸了分析方法的检出下限

尽管现代分析技术的检测灵敏度越来越高,但随着人们对微量或痕量物质的分析需求,还会经常遇到分析方法检测灵敏度达不到要求的情况,这时就需要对样品进行富集。富集能使各种分析方法的检测下限降低几个数量级。

5) 分离科学是防止环境污染的一种有效工具

分离科学对于治理现代化工业带来的“三废”，防止环境污染也是一种有效的工具。治理“三废”，变废为利是与现代化建设同步发展的事业。近年来利用现代科学分离手段治理“三废”已取得长足进展。泡沫吸附分离技术、微生物技术(如降解塑料消除白色污染等)已经用于多种工业废水及垃圾的处理中，并取得了良好的效果。

6) 分离科学是其他学科发展的基础

无论是化学的基础研究，还是环境、医学、药学、生物、材料、化工、食品 and 石油工程的应用，它们的发展都离不开分离科学的贡献。有时，正是因为分离科学的发展才使得其他学科获得进步的机会。例如，没有现代色谱分离技术的发展，人们就难以从天然产物中分离出各种活性成分，用于药物和食品。

7) 分离科学大大提高了人类生活品质

例如，纯净水、植物油、脱盐酱油、精盐、各种服用方便的药剂等都是经过各种精细的分离工艺才生产出来的。

1.1.2 分离方法的分类

分离方法可以根据分离过程、被分离物质的性质、分离过程所采用的装置、分离过程中的传质等不同方面进行分类。然而，在实际分离过程中，许多情况下又是几种分离方法的结合，从而出现分离方法的分类难以确定这样一个问题。但是，从另一方面来说，如果解决了这一难题，也就找出了某些分离方法结合的可能性，那么也就为开辟新的分离方法在理论上提供了依据。

分离方法的种类很多，分类方法也很多，从不同的角度可以将分离方法分成若干种各有特色的类型。

1. 按分离过程原理分类

按分离过程原理来分，可以分为机械分离、传质分离和反应分离。

1) 机械分离

在分离过程中，利用机械力简单地将混合物相互分离的过程称为机械分离，这些分离过程都是在非均相中进行，分离时相间不发生物质传递。表 1-1 列出了几种机械分离过程。

表 1-1 机械分离过程示例

名 称	原料相态	分离剂	产物相态	分离原理	应用实例
过滤	液+固	压力	液+固	粒径>过滤介质孔径	浆状颗粒回收
沉降	液+固	重力	液+固	密度差	浑浊液澄清
离心分离	液+固	离心力	液+固	固-液相颗粒尺寸	结晶物分离
旋风分离	气+固(液)	惯性力	气+固(液)	密度差	催化剂微粒收集
电除尘	气+固	电场力	气+固	微粒的带电性	合成氨原料气除尘

2) 传质分离

传质分离既可以在均相中进行又可以在非均相中进行,在相间发生质量传递。传质分离又分为平衡分离过程和速率控制分离过程。

平衡分离过程:是一种利用外加能量或分离剂,在原混合物体系中形成新的界面,利用互不相溶的两相界面上的平衡关系使均相混合物得以分离的方法,一般在非均相介质中进行。表 1-2 列出了几种平衡分离过程。

表 1-2 平衡分离过程示例

名 称	原料相态	分离剂	产物相态	分离原理	应用实例
蒸发	液	热	液+气	物质沸点	稀溶液浓缩
闪蒸	液	热+减压	液+气	相对挥发度	海水脱盐
蒸馏	液或气	热	液+气	相对挥发度	乙醇增浓
热泵	气或液	热或压力	气+液	吸附平衡	二氧化碳和氮分离
吸收	气	液体吸收剂	液+气	溶解度	碱吸收二氧化碳
萃取	液	不互溶萃取剂	液+液	溶解度	芳烃抽提
吸附	气或液	固体	液或气	吸附平衡	活性炭吸附苯
离子交换	液	树脂	液	吸附平衡	水软化
萃取蒸馏	液	热+萃取	气+液	挥发度、溶解度	恒沸物分离
结晶	液	热	液+固	溶解度	粗食盐制备

速率控制分离过程:是依据被分离组分在均相介质中的传递速率的差异而进行分离的,是一种利用外加能量,强化特殊梯度场(重力梯度、压力梯度、温度梯度、浓度梯度、电位梯度等),既可以用于非均相混合物分离,也可以在均相介质中进行分离的过程。表 1-3 列出了几种速率控制分离过程。

表 1-3 速率控制分离过程示例

名 称	原料相态	分离剂	产物相态	分离原理	应用实例
气体渗透	气	压力、膜	气	浓度差、压差	富氧、富氮
反渗透	液	膜、压力	液	克服渗透压	海水淡化
渗析	液	多孔膜	液	浓度差	血液透析
渗透气化	液	致密膜、负压	液	溶解、扩散	醇类透析
泡沫分离	液	表面能	液	界面浓度差	矿物浮选
色谱分离	气或液	固相载体	气或液	吸附浓度差	难分体系分离
区域熔融	固	温度	固	温度差	金属锗提纯
热扩散	气或液	温度	液或气	温度差引起浓度差	气态同位素分离
电渗析	液	电场、膜	气或液	电位差	氨基酸脱盐
膜分离	液	压力、膜	液	浓度差、压差	
电泳	液	电场	液	电位差	

3) 反应分离

化学反应通常能将反应物转化为目的产物,如果这类可转化为目的产物的反应物存在于混合物中,人们就可以借助于化学反应将其从混合物中分离出来或直接把它除去。化学反应的种类很多,但不是所有的化学反应都可用于以分离为目的的过程,一般情况下可逆反应、不可逆反应、分解反应三大类可以考虑选用,但也要根据具体的混合物分离的要求来筛选。

可逆反应:使用的原料相是可再生物,分离剂是再生剂,代表性技术有离子交换、反应萃取,如水的软化。

不可逆反应:使用的原料相是一次性转化物,分离剂是沉淀剂、催化剂等,代表性技术有反应吸收、反应结晶等,如烟道气中 SO_2 的吸收等。

分解反应:借助于分解反应的分离技术,还可分为生物分解反应、电化学分解反应、光分解反应等。原料相分别是生物体、电反应物、光反应物,分离剂分别是微生物、电或膜、光,代表性技术有生物降解、双极膜水解反应等,如废水厌氧生物处理等。

利用化学反应进行分离操作的方法很多。例如,通过调整 pH,把溶解于水中的重金属变成氢氧化物的不溶性结晶而沉淀分离的方法;利用离子交换树脂交换平衡反应的离子交换分离法;以及通过微生物进行生物反应,将溶解于水中的有机物质(BOD)分离除去的方法等,都可以看成是反应分离操作。

2. 按分离方法的性质分类

按分离方法的性质,可以分为物理分离法和化学分离法。

1) 物理分离法

物理分离法是以被分离组分所具有的不同物理性质为依据,采用适宜的物理手段进行分离的方法。常用的有气体扩散法、离心分离法、电磁分离法以及喷嘴射流法等。

2) 化学分离法

化学分离法是按被分离组分在化学性质上的差异,通过化学过程使其分离的方法。包括沉淀和共沉淀法、溶剂萃取法、离子交换法、色谱法、电化学分离法、泡沫浮选法、选择性溶解法等。

3) 其他分离方法

其他分离方法是基于被分离组分的物理化学性质,如沸点、熔点、离子电荷和迁移率等,包括蒸馏与挥发、区域熔融、电泳和膜分离法等。习惯上这些分离方法通常也归属于化学分离法。

3. 按分离过程相的类型分类

例如,沉淀分离就是利用欲分离物质从液相进入固相而进行分离的方法;溶剂萃取则是利用物质在两个不相混溶的液相之间的转移来达到分离纯化的目的。

第二相可以是在分离过程中形成,也可以是外加的,因此可按分离过程中初始相与

第二相的状态进行分类,如表 1-4 所示。

表 1-4 按分离过程相的类型分类

初始相	第二相		
	气态	液态	固态
气态		气-液色谱 溶剂萃取 液-液色谱	气-固色谱 液-固色谱 沉淀
液态	热扩散 蒸馏、挥发	渗析 超过滤	电解沉积 结晶 包结化合物
固态	升华	区域熔融 选择性溶解	

1.1.3 分离方法的发展

化学分离发展过程大体可以分为三个时期:工匠时期、技术时期和科学时期,这三个时期没有具体的时间段和明显的分界线。

1. 工匠时期(或作坊时期)

人类从远古时代起便知道用一些砂石或枯树枝能使水净化,几千年前在我国自贡地区出现了熬制食盐工艺,植物药物类(中药)煎熬或制成成药后食用比直接食用要前进了一大步,在古代就有对黄金的分离效果作出评价“七青八黄九紫十赤”的谚语等。上述得到纯物质的方法虽不相同,但它们共同的特点是利用了不同物质在同一溶剂中的溶解度差异或数种物质共存时各自的溶解度不同进行分离提纯。酿酒后的蒸馏是利用挥发度的差异进行分离。在作坊中制糖浓缩结晶则是利用结晶过程,排除杂质使糖得到纯化。人们在长时间生产、生活实践中积累了大量经验,这就促使人们思考、探索看上去彼此不相干的各个物质的分离方法是否存在内在的联系,其理论依据是什么。

2. 技术时期

19 世纪末至 20 世纪初,一些学者对分离过程中的规律进行了归类整理。例如,1876 年耶鲁大学的吉布斯(T. W. Gibbs)教授关于相律的描述,以及范特霍夫(T. van't Hoff)的类似工作使得结晶分离操作有规律可循;1906 年茨维特(M. Tswett)公布了一种巧妙而新颖的色层吸附分离技术,使化合物的分离和鉴别进入了一个新阶段;1937 年亚当斯(B. A. Adams)合成了有机交换树脂,很快在软化水、奎宁制备和稀土元素分离等分离难题上获得了成功;精馏操作的出现使石油工业得到迅猛发展。研究分离方法中的共性及其规律乃至理论仍然很少,似乎分离就是众多的杂乱无章方法的总和。