

高等教育教材

液-液萃取过程和设备

李 洲 主编
李 以 圭
费 维 扬 编著
杨 基 础
柯 友 之 主审

原子能出版社

高等教育教材

液-液萃取过程和设备

(修 订 本)

李 洲 主编

李以圭

费维扬 编著

杨基础

柯友之 主审

原子能出版社

1993年

京新登字077号

内 容 简 介

本书系统地介绍了液-液萃取过程的基本原理和主要类型的萃取设备及其设计计算方法。全书共分十章,其中1—6章主要是介绍萃取过程的基本原理、不同萃取方式的过程计算,第7—10章分别介绍了槽式、柱式和离心式萃取设备的结构、操作和设计计算。

本书在内容选编上力求做到理论与实际相结合,并反映出萃取技术的近代发展水平。在文字叙述上注重条理性和系统性,并尽可能地做到深入浅出,每章后均附有习题,以满足教学或自学的要求。

本书可作为高等院校湿法冶金、核化工、石油化工、环境化工和生物化工等专业本科大学生和研究生的教学用书或参考书,同时也可供从事上述领域工作和所有从事与液-液萃取技术有关工作的广大科技工作者参考。

高等教育教材

液-液萃取过程和设备

(修订本)

李 洲 主编

李以圭

费维扬 编著

杨基础

柯友之 主审

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

国防科工委印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本 787×1092 1/16 ·印张34.5·字数860千字

1993年11月北京第一版·1993年11月北京第一次印刷

印数 1—1000

ISBN7-5022-0779-1

TL·499(课)定价: 15.80元

前 言

本书是根据中国核工业总公司教育培训部第二轮教材编写计划进行编写的。

本书原版本是于1981年(上册)和1985年(下册)出版的。该书的出版受到了广大读者的欢迎和良好评价,同时也提出了许多宝贵的意见。经专家推荐和评选,该书于1987年荣获核工业总公司优秀教材奖。

为了更好地满足有关专业的教学需要和反映近年来本学科研究工作的进展,我们对原《液-液萃取过程和设备》版本进行了订正、修改、充实和更新。其基本指导思想和原则是:求实、求新。所谓求实即是在讲清基本原理的基础上进一步着重理论与实际的结合,注重它的实用性;所谓求新即是进一步充实在此领域内研究工作的新内容,特别是注意加进了国内一些较为成熟的研究成果,以求其反映近代科技发展的新水平。

本书基本上保持了原版本的结构和章节,仍分为十章;其中第1—6章主要介绍了萃取过程平衡和两相传质过程,各种萃取方式(包括单级萃取、多级错流和逆流萃取、分馏萃取等)及其计算方法,第7—10章介绍了混合澄清槽、萃取柱和离心萃取器等三种类型的萃取设备结构、操作原理和基本的设计计算方法。

修订工作主要由原版本作者*完成。李以圭同志新编了第二章第三节,李洲和费维扬同志分别修改了第一、二、四、五、八、十章和第三、六、七、九章,全书由李洲同志任主编并统稿。除了较大篇幅的增删内容之外,书中所引全部计算程序均改用通用的 Fortran 语言编写,且每章后新增了习题供读者练习(第一、七章除外)。

本书既可作为本科高年级学生的教材,也可供研究生作教材或教学参考书使用。它的讲授应在“化工原理”(或“化学工程”)和有关分离(包括萃取)的专业基础课程之后。总讲课学时可根据需要和可能进行增减,一般以48小时为宜,课内、外学时比例可取为1:3左右,这样可保证同学有较多的课外时间进行自学和完成作业练习。

本书的适用面较广,可包括湿法冶金、核化工、石油化工和环境化工、生物化工等专业的大学生和研究生,同时也可供所有从事与萃取技术有关的科技人员自学或参考。

本书在修订过程中得到了中国核工业总公司教育司、原子能出版社和本校化工系领导的大力支持。柯友之高级工程师承担了本书的主审工作,天津大学许贺卿教授也审阅了本书,他们对书稿的进一步修改提出了许多宝贵的意见,王仍陶同志对本书的审订也给予了很多帮助,作者特向他们致以深切的感谢。作者还对使用过本书原版本并给予支持和鼓励、提出宝贵意见的广大读者表示衷心的感谢。

编著者

1992年7月

* 原版本第一、二、八章由李洲执笔,第四、五章由李以圭执笔,第三、六、七、九章由费维扬执笔,第十章由杨基础执笔,全书由李洲统稿。

7-A047101

目 录

第一章 概论	1
第一节 萃取和萃取循环	1
第二节 萃取技术的发展和应 用	2
一、液-液萃取过程在无机化工中的应用	2
二、液-液萃取过程在有机化工中的应用	7
三、液-液萃取过程在生物化工中的应用	8
四、液-液萃取过程在其它领域中的应用	10
第三节 液-液萃取研究的主要课题	13
第四节 萃取机理的分类	14
一、简单分子萃取	15
二、中性溶剂络合萃取	15
三、酸性络合和螯合萃取	17
四、离子缔合萃取	18
五、协同萃取	19
第五节 若干有代表性的萃取剂	38
参考文献	38
第二章 萃取平衡和单级萃取过程	40
第一节 萃取平衡的基本参数——分配常数和分配系数	40
一、分配常数和分配系数的基本概念	41
二、分配平衡关系和分配系数的图示	42
三、萃取平衡线和平衡面	48
第二节 萃取平衡数据的取得和处理	50
一、实验测定法	50
二、公式计算法	50
三、计算机计算	58
第三节 萃取平衡体系中组分活度系数的计算方法	60
一、电解质水溶液中组分活度系数的计算	60
二、非电解质有机溶液中组分活度系数的计算	69
三、各平衡组分活度系数数据的获得及萃取热力学平衡常数的测定	77
第四节 一次接触平衡——单级萃取过程	79
一、萃取过程中两相体积不变或变化很小时的物料衡算方法	79
二、萃取过程中两相体积有显著变化时的物料衡算方法	83
三、单级萃取过程中的极限溶剂/料液比	85
四、接近萃取平衡程度的表征——萃取级效率	85
第五节 表征萃取效果的主要指标——萃取率和分离系数	87
一、萃取率	87
二、分离系数	89
本章符号	89
习题	92

— 1 —

参考文献	95
第三章 扩散原理和相际传质过程	96
第一节 扩散原理	96
一、概述	96
二、分子扩散	97
三、扩散系数	98
四、液体中的稳定分子扩散	104
五、对流扩散	109
第二节 相际传质过程	111
一、分传质系数	111
二、相际传质过程的模型	113
三、总传质系数	115
四、传质方程式及其应用	117
五、界面现象及其对传质的影响	119
第三节 液滴传质的规律性	120
一、概述	120
二、液滴形成阶段的传质	122
三、液滴自由降落(上升)阶段的传质	123
四、液滴聚合阶段的传质	129
本章符号	131
习题	133
参考文献	134
第四章 逐级接触的多级逆流萃取过程的计算	135
第一节 多级错流萃取过程和多级逆流萃取过程	135
一、多级错流萃取过程	135
二、多级逆流萃取过程	137
第二节 溶剂不互溶时多级逆流萃取过程的代数算法	139
一、多级逆流萃取过程的操作原理	139
二、各级分配系数变化时的逐级算法	139
三、各级分配系数为常数时的公式算法	144
四、多级逆流萃取-反萃-溶剂闭合循环流程的计算	146
五、逐级浓度分布的矩阵解法	149
六、用计算机解线性方程组求逐级浓度	154
第三节 溶剂不互溶时多级逆流萃取过程的图解法	158
一、图解法求理论级数	158
二、计入级效率时的图解法	159
第四节 溶剂部分互溶时多级逆流萃取过程的图解法	161
第五节 萃取剂极限用量和极限流比的图解确定	164
一、两相不互溶(或两相体积变化可以忽略)的情况	164
二、两相部分互溶的情况	165
第六节 多级错流和多级逆流萃取过程的变体	166
一、二维错流萃取	166

二、多级逆流萃取过程的新排列——萃、反交替排列	169
第七节 多级逆流萃取过程的实验研究方法	171
一、串级模拟实验方法	171
二、达到稳态所需串级循环次数的定量估算	173
三、多级逆流萃取实验装置	176
四、多级逆流萃取过程达到稳态所需时间的估算	177
本章符号	179
习题	180
参考文献	184
第五章 逐级接触的分馏萃取过程的计算	186
第一节 概述	186
一、分馏萃取过程介绍	186
二、分馏萃取的过程参数——萃取率、萃余率和净化系数	188
第二节 溶剂不互溶时分馏萃取过程的图解法	189
一、操作图和过程特点	189
二、理论级数的图解法确定	190
第三节 溶剂不互溶体系分馏萃取过程的计算法	195
一、萃取分配系数为常数时的计算法	195
二、萃取分配系数逐级变化时的计算法	200
第四节 溶剂部分互溶时分馏萃取过程的图解和计算方法	223
一、三元萃取体系的图解法	223
二、多元萃取体系的矩阵解法	227
第五节 分馏萃取过程中流比的选择和极限流比的确定	230
一、流比的选择	231
二、最优流比的确定	231
三、极限流比的确定	240
第六节 带有回流的分馏萃取过程	243
一、基本过程和参数	243
二、溶剂不互溶时的图解法	243
三、溶剂不互溶时的代数计算法	246
四、溶剂部分互溶时的图解和计算方法	254
第七节 分馏萃取过程的变体	260
一、带有有机相或水相旁路的分馏萃取过程	260
二、具有多出口的分馏萃取过程	261
第八节 分馏萃取过程的实验研究方法	262
一、串级模拟实验方法	262
二、达到稳态所需循环次数的估算	263
三、带有回流的分馏萃取过程的串级模拟实验方法	266
本章符号	267
习题	269
参考文献	271
第六章 连续逆流萃取过程的计算	272

第一节 柱塞流模型	272
一、连续逆流传质和传质单元	272
二、两相不互溶时传质单元数的计算	274
三、一般情况下传质单元数的计算	280
四、理论级和理论级当量高度	282
第二节 萃取柱内的纵向混合	283
一、基本概念	283
二、萃取柱内的纵向混合	285
三、常用数学模型简介	286
第三节 扩散模型及其近似解法	287
一、扩散模型	287
二、扩散模型的近似解法	289
本章符号	298
习题	300
参考文献	301
第七章 萃取设备的特点和分类	302
第一节 概述	302
第二节 影响萃取速率的因素	303
一、两相接触面积 F	303
二、传质系数 K	304
三、传质推动力	305
第三节 液滴的聚合	306
第四节 萃取设备的分类、比较和选择	307
一、萃取设备的分类	307
二、萃取设备的比较	308
三、萃取设备的选择	309
本章符号	310
参考文献	311
第八章 混合澄清槽	312
第一节 概述	312
一、箱式混合澄清槽	313
二、浅层澄清的混合澄清槽	314
三、Holmes和Narver矮型混合澄清槽	315
四、Davy Powergas混合澄清槽	315
五、I. M. I. 混合澄清槽	315
六、Kemira混合澄清器	316
七、Denver混合澄清槽	317
八、Krebs型混合澄清器	317
九、“蜂窝”式(Honeycomb)脉冲混合澄清器和柱型混合室的混合澄清器	318
十、CMS(The Combined Mixer-Settler)萃取器	320
十一、双混合室和全逆流混合澄清槽	320
十二、塔型混合澄清萃取器	322

第二节 混合槽内的传质和混合槽的放大	325
一、混合槽的结构和混合搅拌方式	325
二、搅拌输入能量的计算	333
三、混合槽内的液流分散和传质	342
四、输入功率与萃取传质速率的关系和混合槽的放大	359
五、输入能量参数的选择	366
六、混合槽的改进和管线混合器的介绍	371
第三节 澄清槽内的澄清分相和澄清槽的放大	378
一、澄清的基本过程	378
二、澄清槽的设计放大	381
三、影响澄清速率的诸因素	391
四、提高澄清速率的几个途径	396
五、其它澄清器的介绍	401
第四节 箱式混合澄清槽的工艺设计	405
一、混合室有效体积和结构尺寸的确定	405
二、澄清室有效体积和结构尺寸的确定	406
三、各相口及堰板位置和结构尺寸的确定	407
四、泵混合式箱式混合澄清槽设计计算示例	421
第五节 混合澄清槽的操作运行	425
一、混合澄清槽的操作运行步骤	425
二、混合澄清槽运行的静态和动态特性	426
三、连续相和分散相的控制和反相	429
四、混合相比的调节	431
五、夹带和液泛	431
本章符号	433
习题	437
参考文献	439
第九章 液-液萃取柱	442
第一节 常用萃取柱简介	442
一、简单的重力作用萃取柱	442
二、机械搅拌萃取柱	444
三、脉冲萃取柱	449
四、振动筛板柱	450
第二节 脉冲筛板柱	452
一、脉冲筛板柱的结构和操作	452
二、脉冲筛板柱的液泛流速和存留分数	455
三、脉冲筛板柱内的液滴平均直径	464
四、脉冲筛板柱的传质特性	465
五、脉冲筛板柱的纵向混合	473
六、脉冲筛板柱的发展	474
第三节 转盘柱(RDC)的性能和设计计算	478
一、概述	478

二、转盘柱的液泛流速和存留分数	481
三、转盘柱的液滴平均直径	485
四、转盘柱的纵向混合	487
五、转盘柱的传质特性	489
六、转盘柱的设计计算	492
本章符号	509
习题	510
参考文献	511
第十章 离心萃取器	515
第一节 离心萃取器的分类和主要型式简介	515
一、微分接触离心萃取器	517
二、逐级接触离心萃取器	519
第二节 表征离心萃取器性能的若干参数	525
一、离心分离因数	525
二、离心萃取器的压力平衡和界面控制	526
三、离心萃取器的操作特性	530
四、离心萃取器的液泛与处理容量	531
五、离心萃取器内分散相的滞留分率	533
六、离心萃取器内的返混	534
本章符号	537
习题	539
参考文献	540

第一章 概 论

第一节 萃取和萃取循环

无论是在科学实验还是在工业生产过程中,都经常碰到“萃取”这个名词。在人们日常生活中,也时常有意无意地用到萃取过程。例如,于含碘的水溶液中加入四氯化碳并搅拌混合,由于碘在四氯化碳中的溶解度远大于它在水中的溶解度,所以,大部分碘将从水溶液转到四氯化碳有机溶剂中去,这一过程就是萃取过程。

萃取的英语词 extraction 还有提取、抽提、提炼等意。按这一广义的理解,萃取过程包括了从液相到液相(如碘在水和四氯化碳中的溶解)、固相到液相(如用白酒浸泡中草药制取药酒)、气相到液相(如用水吸收二氧化碳气)、固相到气相、液相到气相等多种情况的传质过程。但是在科学研究和生产实践中,人们所讲的“萃取”一词通常仅指液-液萃取过程,而把固-液传质过程称之为“浸取”,气-液传质过程称之为“吸收”,固-气和液-气传质过程称之为“超临界气体萃取”。本书所讨论的内容是液-液萃取过程。

一般说来,要实现液-液萃取过程,进行接触的两种液体必须能够形成两相,即它们必须是互不混溶或基本上互不混溶的(至少要存在足够范围的两相区),因此,可以进一步把液-液萃取过程定义为物质从一液相转入与其不互溶(或者是部分互溶)的另一液相的传质过程。在此,两液相可以是水相,也可以是有机相,其中被传递的物质称之为被萃取组分。

金属的溶剂萃取过程通常是从水相到有机相的传质过程。例如,在辐照核燃料后处理过程中,用萃取法提取铀、钚时,水相就是铀、钚的硝酸盐水溶液,有机相通常用的是配制成一定浓度的磷酸三丁酯(简称 TBP)-煤油有机溶液。这里, TBP 被称为萃取剂,煤油被称为稀释剂,铀、钚是被萃取组分(即被萃取物质)。在萃取过程中起萃取作用的是萃取剂。稀释剂通常是用来稀释萃取剂的,用以改善萃取剂的某些物理性能,如降低比重,减小粘度,以利于两相分离和流动。所以,稀释剂大多是不与被萃取组分发生化学结合或反应的惰性溶剂,它们一般并不参与萃取反应,但对萃取过程也会有一定的影响。

有机相除了由萃取剂和稀释剂组成之外,在有的情况下还加进另外一种有机试剂,通常称为添加剂。加进添加剂可以消除在某些萃取过程中可能生成的第三相,而且也可抑制乳化现象的产生。

凡是有物质从水相转移到有机相的萃取过程,通常就有和它相反的过程,即物质从有机相返回到水相的过程,这就叫做反萃取(简称反萃)过程。用于进行反萃取的水相一般是不含有被萃取组分的新鲜水溶液,称它为反萃液。此外,为了达到有效地分离纯化的目的,在萃取步骤之后,常引入洗涤处理步骤,即是用一定组成的水相洗涤液和萃得的有机相进行接触,以洗涤去除某些和被萃取组分一起进入有机相的其它组分和杂质。

通常,萃取、洗涤、反萃取三个处理步骤便组成一个使被萃取组分从水相进入有机相,然后再从有机相返回到水相的完整的萃取循环过程。但是,反萃后得到的水相,其物料组成已经不同于原始水相料液的物料组成,而是经过了萃取分离,洗涤去除杂质而纯化了的的水溶液。

此外, 基于不同的处理对象, 还有从有机相到水相(如用水做溶剂萃取分离甲醇和苯), 从有机相到有机相(如用环丁砜进行芳烃抽提以与烷烃和烯烃分离)和从水相到水相(如发酵液中酶的提取和各种酶之间的分离)的萃取传质过程。因此, 在不同的萃取体系中, 对实现萃取过程的两“相”和传质方向必须针对具体问题进行分析判断。

第二节 萃取技术的发展和运用

早期研究液-液萃取的第一个例子是 Peligot 在 1842 年用二乙醚萃取硝酸铀酰^[1]。后来, 随着社会生产的发展, 特别是化学工业的发展, 人们不断发现一些无机物可以被某些有机溶剂所提取。19 世纪后期, 在总结了一定数量的液-液平衡分配结果的基础上, 1872 年 Berthelot 和 Jungfleisch 首先根据经验对液-液萃取平衡进行了定量的推断。接着, Nernst 于 1891 年根据热力学关系对此进一步加以阐明, 提出了著名的 Nernst 分配定律, 从而为萃取化学和化工的发展奠定了最早的理论基础。液-液萃取的最早实际应用是 1883 年 Goëring 用乙酸乙酯之类的溶剂由醋酸的稀溶液制取浓醋酸^[2]。1908 年 Edeleanu 首先将溶剂萃取应用于石油工业中^[3]。他用液态二氧化硫作为溶剂从罗马尼亚煤油中萃取除去芳香烃。20 世纪 30 年代初期, 开始有人研究稀土元素的萃取分离问题, 但是在很长的一段时间内没有获得具有实际价值的成果。20 世纪 40 年代以后, 随着原子能工业的发展, 基于生产核燃料的需要, 大大促进了对萃取化学的研究。特别是在 20 世纪 40 年代末期采用 TBP 作为核燃料的萃取剂以后, 萃取过程得到了日益广泛的应用和发展。

近年来, 由于萃取设备的改进, 回流萃取流程的推广以及电子计算机的应用, 更加提高了萃取效率, 从而为萃取过程的广泛应用创造了更为有利的条件。

目前, 萃取技术已广泛应用于无机化工、有机化工、石油、生化、环保和分析等广阔的生产领域, 下面分类简述之。

一、液-液萃取过程在无机化工中的应用

1. 液-液萃取在水法冶金中的应用

萃取过程在无机化学工业生产过程中最重要的应用是在水法冶金过程中提取、分离各种金属元素^[1,4-6]。

据统计, 至今已经对周期表中 94 种元素的萃取性能进行了研究。萃取技术适用于冶金过程的不同处理阶段, 其中包括:

- (1) 从矿石浸出液中提取金属;
- (2) 分离性质相近的金属元素;
- (3) 从工业废液中回收有价金属元素等。

如前所述, 萃取过程在水法冶金中的应用首先是用于核燃料的生产过程, 后来又逐步把它推广应用到稀土以及锆、铪、铌、钽、钨、钼、镓、铟等稀有元素的生产过程中。近年来, 它的应用领域又扩展到铜以及钴、镍等过渡元素和金、银等铂族金属元素的生产过程。可以预料, 随着萃取技术的不断改进, 随着开采各种低品位矿的需求的增加, 以及对环境保护的日益强烈的要求, 将会促使采用萃取过程选择性地生产某种特定金属(包括锌、铝、钼、铋等)的新方法不断发展, 萃取过程将在冶金工业中得到更加广泛的应用。下面简述萃取过

程用于水法冶金的几个方面：

(1) 核燃料处理

萃取过程在核燃料处理中的应用是极为重要的。其应用大体可分为天然核燃料处理和辐照核燃料处理两个方面^[9]。所谓天然核燃料处理是指从铀、钍矿物提取生产核纯铀、钍产品的化学处理过程。铀核燃料处理的原则流程如图 1-1 所示^[10]。

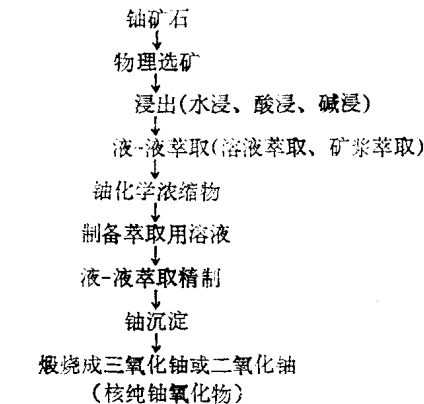


图1-1 制取核纯铀简要处理流程

图 1-1 中的第一步萃取分离通常是从硫酸介质中用烷基胺（三辛胺）和烷基磷酸酯（如 P204）类萃取剂进行萃取，分别称为 Amex 流程和 Dapex 流程。图中第二步铀的萃取精制一般是从硝酸介质中采用 TBP 作为萃取剂进行萃取的。

辐照核燃料处理过程指的是处理从反应堆卸出的辐照核燃料，经净化去污而提取铀、钚（或钍、铀）产品和其它有用重同位素(包括超铀及超钚元素)的过程。辐照核燃料处理过程的简要流程如图 1-2 所示。

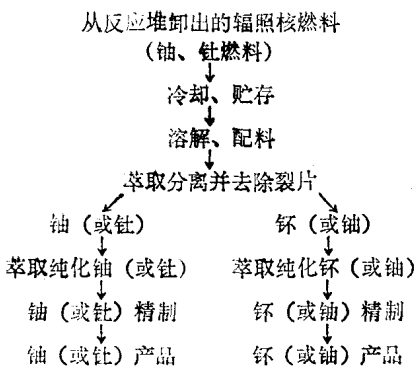


图1-2 辐照核燃料处理原则流程

辐照核燃料的后处理，现在普遍采用普勒克斯(Purex)流程或其变体^[11]。

随着原子能事业的发展，分离对象越来越复杂（如生产铀核燃料中的铀经辐照后将产生仅为铀量万分之几到千分之几的钚和总量为铀量千分之几的几百种裂变产物同位素），产品纯度要求也越来越高。要想把各种有用组分从这种复杂的体系中逐个提取分离出来，其它分离方法由于其本身的局限性或处理步骤繁复已不适用，而萃取过程却能实现简便、快速的分离。

(2) 有色金属的分离

如以稀有金属锆、铪分离过程为例，其原则流程如图 1-3 所示。

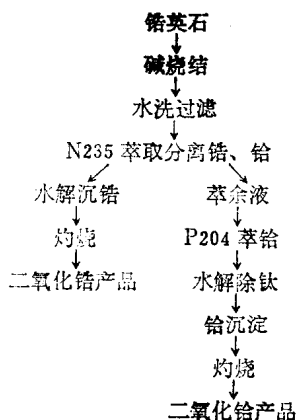


图 1-3 锆、铪分离流程简图

又如，在有色金属铜、钴、镍等的分离方面，人们也正在不断地研究和完善以萃取法为主体的水法分离流程。下面仅引一铀、铜、钴、镍的分离流程^[5]（见图 1-4）为例以示一斑。

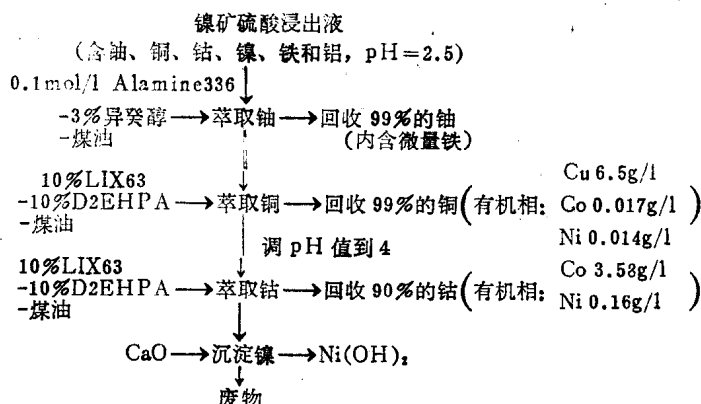


图 1-4 从硫酸浸出液中分离铀、铜、钴和镍的简要流程

萃取法用于稀土元素的分离更是广泛，根据其组成不同所建立的流程有所不同，图 1-5 所示为着重于重稀土元素分离的一个流程方案^[12]。通过四步分离，可得到铽、镨、钇三个纯产品，以及钆、铟和铈、镱、镱两个富集物。

液-液萃取过程在冶金工业中的应用还有一类高温液-液萃取过程^[13]。这时进行接触的两相为熔融金属或熔融盐，故操作必须在高温（几百度以至上千度）条件下进行，其中有较大实用价值的主要是熔融金属萃取和熔盐萃取过程。前者主要是利用不同组分在原金属相和另一被选作为萃取剂的熔融金属相溶解度的差别而对被萃取组分进行提取和纯化的，它属于物理分配过程。后者是为了处理液态金属燃料堆(LMBR)堆芯燃料而研究建立的一种方法，其基本原理是利用铀、钚和裂变产物等不同金属盐的热力学稳定性(生成自由能)的不同，通过熔盐相和金属相之间的氧化还原反应而达到熔盐萃取分离的目的。

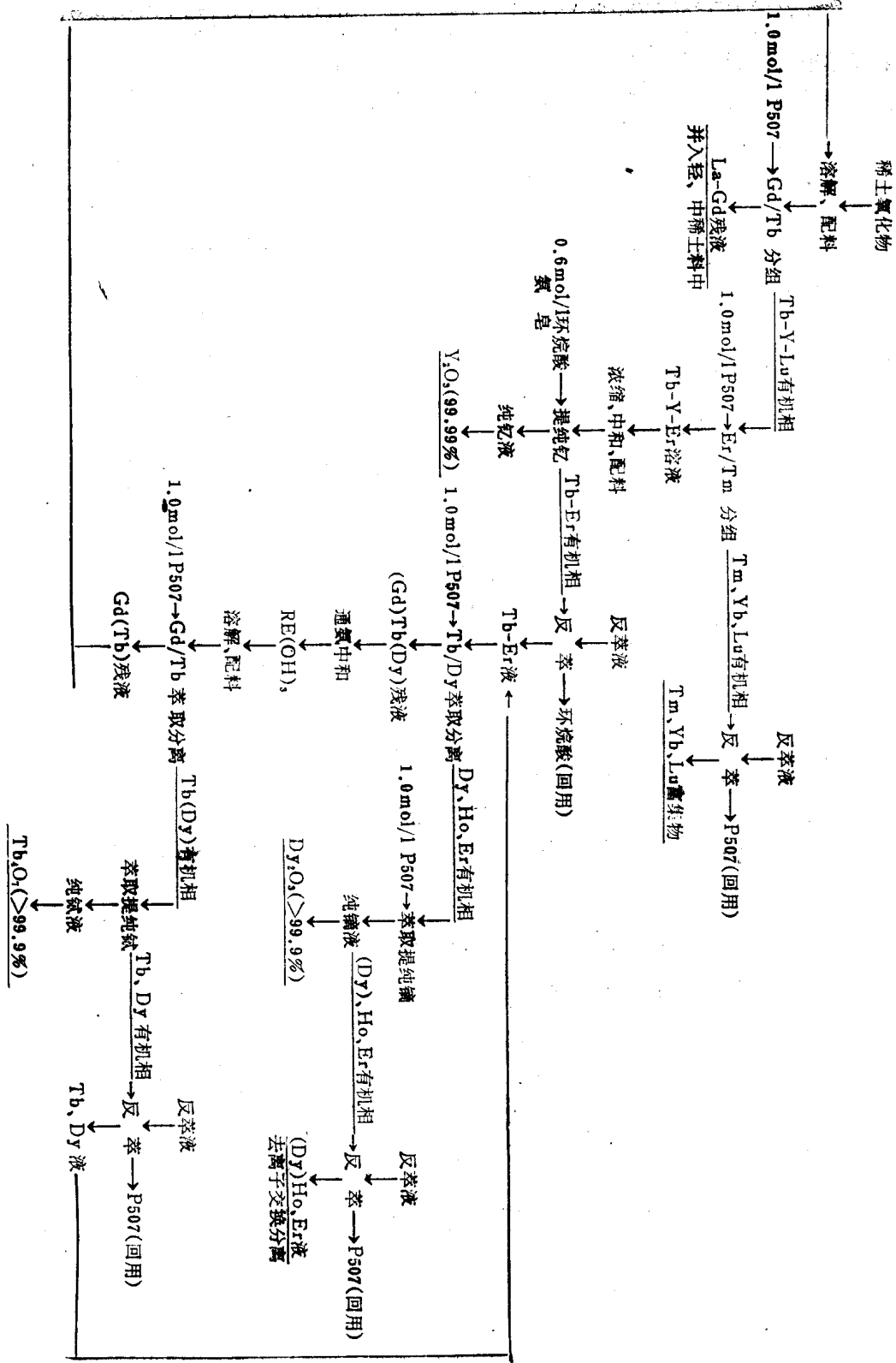


图1-5 稀土萃取分离流程

2. 液-液萃取在无机化合物提取中的应用

和金属元素的萃取研究应用相比,对无机物的萃取研究相对较少,应用也很有限,但后者是萃取法在无机化工中应用的一个重要方面,而且随着研究、开拓工作的深入,萃取法在这一领域的应用将有良好的发展前景。下文通过几个例子作一简要说明^[8]。

(1) 磷酸生产过程

对于磷酸的萃取净化国内外均已进行了较多的研究。图1-6示出了其中的一个流程。

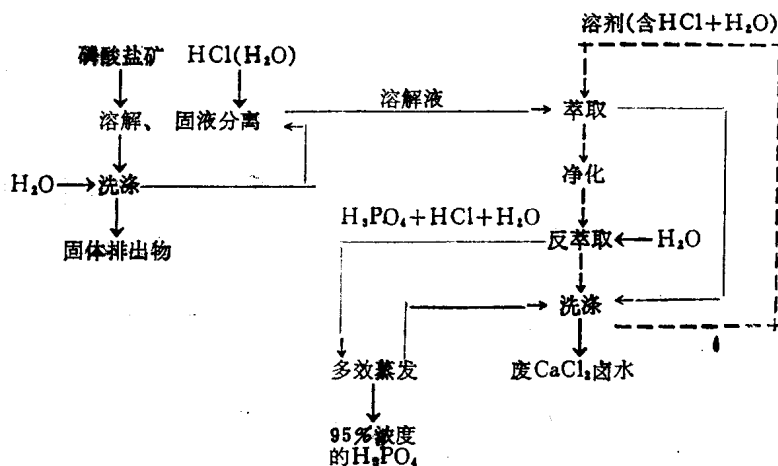
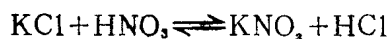


图1-6 湿法磷酸生产过程(HCl法)

(2) 硝酸钾的生产

利用萃取反应可使酸和盐之间的可逆复分解反应按指定的方向进行而得到所要求的产品,其中典型的例子是硝酸钾的生产,其反应式如下:



如用异戊醇选择性地萃取 HCl, 即可使反应向右方进行, 溶剂可被回收并循环使用。其简要流程如下(见图1-7):

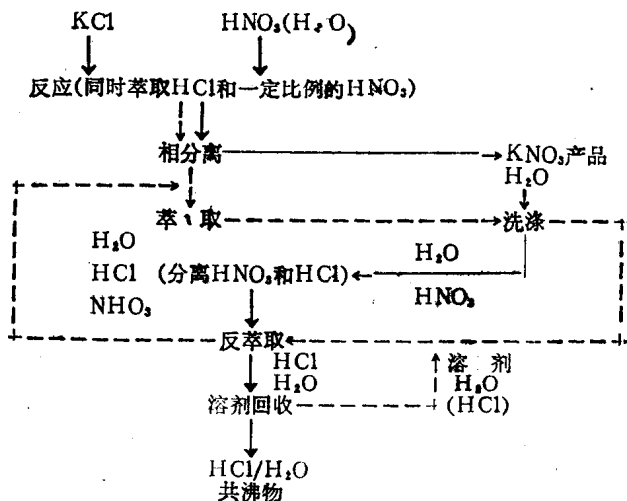


图1-7 硝酸钾生产流程

与此相似的是以 CO_2 和 NaCl 为原料, 采用胺类萃取剂(如N235) 萃取以使反应平衡向
右方转移生成纯碱的过程^[6,14], 即:



除上述情况外, 还研究了从卤水中萃取回收卤化物盐的过程, 并建立了从卤水中分离
 MgBr_2 和 MgCl_2 的萃取流程。此外, 通过萃取水进行水的脱盐、水溶液的浓缩等过程亦有
研究应用。

二、液-液萃取过程在有机化工中的应用

萃取过程在有机化学工业中的应用也是相当广泛的。例如, 在石油和石油化学工业中,
用于芳烃抽提、丙烷脱沥青、糠醛精制, 以及利用石油基作原料合成醋酸、生产丙烯酸等多
种工艺过程。在煤焦油工业中, 用于从煤焦油馏分中萃取苯酚和分离苯酚同系物等过程。在
制药工业中, 用于从发酵液中回收抗菌素(青霉素的生产是最好的例证)和各种生物碱(如马
钱子碱、二甲马钱子碱、奎宁)的生产。在油脂工业中, 用于动物油和植物油的净化和肥皂
的生产等过程。在食品工业中, 应用磷酸三丁酯从发酵液中萃取柠檬酸等过程。

表 1-1 综合了萃取法在有机化工中的部分应用实例^[13,15]。

表1-1 有机化学工业中液-液萃取的应用

原 料	溶 剂	萃 取 物
石油工业 煤油至润滑油沸程范围的石油馏分 石油原料(宽馏分) 汽油和煤油馏分 催化重整物、直馏汽油或煤油 润滑油 含重渣油的石蜡 催化裂化油(沸点: 204—316℃) C ₄ 碳氢化合物 尿素加合物(含2.6%芳香族杂质) 催化石脑油 馏出物 真空馏分 重 馏 分 石 脑 油 混合碳氢化合物 石 脑 油 润滑油料 蒸汽裂化石脑油 低粘度子油和高粘度机油 炼焦工业 焦 炉 油 粗焦馏物 商品焦油酸馏分	液体SO ₂ 二甘醇和水的混合物 环 丁 酮 二甲基亚砷(DMSO) 糠醛, N-甲基吡咯烷酮 丙 烷 二甲基甲酰胺(DMF) 二甲基甲酰胺(DMF) 二甲基甲酰胺(二乙基甲酰胺) 硝基甲烷 酚 N-甲基-2-吡咯 烷酮(NMP) 二甘醇胺和NMP 单-乙醇胺和NMP 丙三醇和NMP 糠醛、糠醇、水 糠醛和醇 甲氧基胺、硫代氨基甲酸盐、 酯和水 二氯乙烷 二氯甲烷 二甘醇和水 甲醇水和己烷 NaOH液和甲苯	芳香族和含硫化物 苯、甲苯和二甲苯 芳 香 烃 芳 香 烃 芳 香 烃 石蜡及沥青质 烷基 苯 丁 二 烯 石蜡(沸点: 240—360℃) 柴油燃料和芳香族化合物 润滑油混合物 多环芳香族化合物 润滑油料 高纯芳香族化合物(C ₆ 、C ₇ 、C ₈) C ₆ —C ₈ 芳香族化合物 重芳香族化合物 润 滑 油 C ₆ —C ₇ 芳香族化合物 石 蜡 芳 香 烃 焦 油 酸 2-4和2-5二甲苯酚