

现代有色金属  
提取冶金技术

丛书

XIANDAI YOUSE JINSHU TIQU YEJIN JISHU CONGSHU

# 萃取冶金

马荣骏 编著



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

现代有色金属/丛书  
提取冶金技术

主要内容

# 萃取冶金

马荣骏 编著

8.9005

萃取冶金(马荣骏)  
有色金属(现代有色金属)  
ISBN 978-7-205-

1. 萃... 1.  
中国版本图书馆

出版人 曹晋利  
地址 北京100081  
电话 (010) 6491-  
责任编辑 张燕燕  
责任校对 王雪兰  
ISBN 978-7-205-4423-

北京冶金工业出版社  
3009年8月第1版 2009年8月第1次印刷  
787mm x 1092mm 1/16 62印张; 1521页; 1-3000册  
182.00元

北京

冶金工业出版社

2009

冶金工业出版社发行  
地址: 北京西城大街100711 电话: (010) 6328081  
本书如有印装质量问题, 本社负责调换

## 内 容 提 要

本书系统地介绍了萃取冶金（即用溶剂萃取法提取或分离金属）的理论与实践。书中分章阐述了溶剂萃取的历史及应用，萃取冶金的基本原理，萃取体系及其萃取机理，组成有机相的溶剂及其结构与性能的关系，串级理论，萃取冶金的工艺过程，萃取设备，铁的萃取，铜的萃取，钴镍的萃取，锌镉及其他有色金属的萃取，稀有高熔点金属的萃取，轻金属、碱金属及碱土金属的萃取，金银及铂族金属的萃取，稀散金属的萃取，稀土的萃取，放射性金属元素的萃取，固体废物及废水处理中的金属萃取，萃取冶金生产工艺过程的设计。

本书系统总结了萃取冶金的发展及国内外的最新研究进展，全面归纳了萃取冶金的理论，详细地讨论了萃取冶金的设备、各种金属的萃取工艺以及应用操作中的一些重要问题。该书具有全面性、新颖性及实用性的特点，是一本高水平的权威性专著。

本书可供从事湿法冶金、化工、环保专业的科研、设计工作者和高等院校有关专业的师生及厂矿企业广大科技人员参考和应用。

### 图书在版编目(CIP)数据

萃取冶金/马荣骏编著. —北京: 冶金工业出版社, 2009. 8

(现代有色金属提取冶金技术丛书)

ISBN 978-7-5024-4875-2

I. 萃… II. 马… III. 萃取—冶金 IV. TF804. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009) 第 094189 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 张熙莹 尚海霞 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 王贺兰 李文彦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4875-2

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 8 月第 1 版, 2009 年 8 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 65 印张; 1577 千字; 1021 页; 1-2000 册

185.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

## 前 言

《萃取冶金》一书所包括的内容是用溶剂萃取法提取或分离金属。溶剂萃取由于具有生产能力大、金属回收率高、生产成本低、操作简便、易于连续化作业等一系列优点，在湿法冶金中，成为提取、纯化、综合回收、二次资源利用及废弃物处理的重要新技术。随着湿法冶金中溶剂萃取的应用范围不断扩大，目前几乎在全部有色重金属、稀有高熔点金属、稀贵金属、稀散金属、铂族金属、稀土金属及放射性元素铀、钍的提取工艺中，都应用了溶剂萃取，并可预计在 21 世纪中会有更大的发展。因此，为把溶剂萃取与冶金工艺紧紧联系在一起，把本书定名为《萃取冶金》，如此更加明显地凸现了溶剂萃取在湿法冶金中的重要作用。

自从 1961 年及 1979 年作者编著的两本有关溶剂萃取在湿法冶金中的应用的专著问世后<sup>①</sup>，相继又出版了几本有关溶剂萃取的专著<sup>②</sup>。这些著述在我国对溶剂萃取在冶金领域的应用，发挥了很大的作用。2001 年由汪家鼎院士和陈家镛院士主编的《溶剂萃取手册》<sup>③</sup>出版后，更加促进了溶剂萃取在学科、技术及应用上的发展。由于近年来溶剂萃取这门技术在国内外发展很快，每年都有不少论文发表，很多新的成就不断出现，为了进一步及时总结萃取冶金的新进展，编者应冶金工业出版社之邀编写了本书。

全书共分 19 章，分章阐述了萃取冶金的原理、萃取体系及其萃取机理、组成有机相的溶剂及其结构与性能的关系、串级理论、萃取冶金的工艺过程、萃取设备、铁的萃取、铜的萃取、钴镍的萃取、锌镉及其他有色重金属的萃取、轻金属、碱金属及碱土金属的萃取、金银及铂族金属的萃取、稀散金属的萃取、稀土的萃取、放射性金属元素的萃取、固体废物及废水处理中的金属萃取、萃取冶金生产工艺过程的设计。

在编写内容上，有继承与发展并注重了理论联系实际。书中既有溶剂萃取

①、②、③ 请参见第 1 章参考文献。

的理论，也有溶剂萃取金属的实践。编者力争使本书具有系统性、全面性、新颖性和应用性，并能较全面地总结归纳近些年来溶剂萃取的新成就及其在湿法冶金中的应用。

书中纳入了编者多年从事溶剂萃取在湿法冶金中应用的一些成果、经验和心得，同时引用了国内外有关著作及一些文献资料，编者在此向被引用著作及文献资料的作者致以衷心的感谢。

本书得以出版，要感谢长沙矿冶研究院各级领导的支持，特别是朱希英院长、王晓梅副院长（党委书记）、杨应亮副院长、习小明教授、宁顺明教授、李斯加教授、肖松文教授、李先柏教授、曹志群高级工程师、邱电云高级工程师、胡毓艺博士、肖骁博士、刘国伟硕士、廖舟硕士和罗电宏博士，在百忙中给予了不同的支持与帮助。

还要深深感谢中国工程院院士、中南大学刘业翔教授，中国科学院院士、湖南大学俞汝勤教授，中国科学院院士、中南大学金展鹏教授，中国工程院院士，武汉理工大学余永富教授写出了热情、中肯的推荐意见。

由于编者水平所限，书中不足之处敬请读者给予指正。

编 者  
2008年8月

目 录

1	绪论	1
1.1	1.1 萃取的历史	1
1.2	1.2 萃取的研究与应用	2
	参考文献	3
2	2 萃取冶金的基本原理	5
2.1	2.1 萃取中常用的符号及名词	5
2.1.1	2.1.1 萃取体系的表示方法	5
2.1.2	2.1.2 萃取与反萃取	5
2.1.3	2.1.3 矿浆萃取	6
2.1.4	2.1.4 协同萃取	6
2.1.5	2.1.5 交换萃取、配合萃取、协同萃取及共萃取	7
2.1.6	2.1.6 串级萃取	7
2.1.7	2.1.7 有机相	7
2.1.8	2.1.8 水相	8
2.1.9	2.1.9 负载有机相	8
2.1.10	2.1.10 萃取配合物或萃合物	9
2.1.11	2.1.11 配合剂	9
2.1.12	2.1.12 分配常数及萃合常数	9
2.1.13	2.1.13 分配比 $D$	10
2.1.14	2.1.14 萃取率	10
2.1.15	2.1.15 分离系数 $\beta$	11
2.1.16	2.1.16 流比、萃取比、回萃比、回洗比	11
2.1.17	2.1.17 萃余分数、萃取分数、纯化倍数	12
2.1.18	2.1.18 盐析剂及萃取催化剂	12
2.1.19	2.1.19 半萃取 pH 值、萃取平衡等温线及饱和度	12
2.2	2.2 配合物的分级平衡理论	13
2.2.1	2.2.1 配合物中常用的函数及其相互关系	13
2.2.2	2.2.2 测定配合物稳定常数的方法	16
2.3	2.3 溶解度规律和溶剂的分类	20
2.3.1	2.3.1 溶剂的分类	20
2.3.2	2.3.2 相似性原理	21
2.3.3	2.3.3 各类溶剂的互溶性规律	22

2.4	影响萃取率的理论因素分析	23
2.4.1	空腔作用 $E_{Aq-Aq}$ 和 $E_{S-S}$	24
2.4.2	离子水化作用	25
2.4.3	亲水基团作用	25
2.4.4	螯合作用	25
2.4.5	中性溶剂配合作用	26
2.4.6	协萃作用	26
2.4.7	抑制配合作用	26
2.4.8	助萃配合作用	26
2.4.9	金属离子的水解聚合作用	26
2.4.10	盐析作用	27
2.4.11	溶剂氢键作用 (M—S 作用)	28
2.4.12	离子缔合作用	29
2.5	萃取热力学	30
2.5.1	萃取热力学平衡常数	31
2.5.2	非电解质溶液的活度系数	33
2.5.3	电解质溶液的活度系数	45
2.6	萃取反应动力学	54
2.6.1	反应速率对过程速率的影响	54
2.6.2	金属萃取的速率	59
2.7	相间传质	61
2.7.1	传质系数和相间传质模型	62
2.7.2	界面现象及对传质的影响	68
	参考文献	72
3	萃取体系及其萃取机理	74
3.1	中性配合萃取体系	74
3.1.1	中性磷氧萃取剂的类型、物理化学性质和萃取性能	74
3.1.2	中性磷氧萃取剂的基本反应	76
3.2	酸性配合及螯合萃取体系	79
3.2.1	酸性萃取剂的基本反应	79
3.2.2	螯合物萃取	84
3.3	离子缔合萃取体系	87
3.3.1	阴离子萃取	88
3.3.2	阳离子萃取	88
3.4	胺类萃取体系	89
3.4.1	胺盐或季铵盐的聚合反应	89
3.4.2	胺和季铵盐与酸的反应	89
3.4.3	烷基胺或季铵盐与酸根离子的交换反应	91

3.4.4 胺盐对金属盐类的萃取反应	91
3.5 协同萃取体系	91
3.5.1 概述	91
3.5.2 协同萃取的若干规律	99
3.6 其他萃取体系	105
3.6.1 简单分子萃取体系	105
3.6.2 高温液-液萃取	106
3.6.3 特殊的(混合或过渡萃取机理)萃取体系	107
3.7 萃取机理的研究方法	107
3.7.1 饱和容量法	107
3.7.2 等摩尔系列法	109
3.7.3 斜率法	110
3.7.4 标准曲线拟合法	114
3.7.5 两相滴定法	120
参考文献	129
<b>4 组成有机相的溶剂及其结构与性能的关系</b>	<b>131</b>
4.1 萃取剂及相关的有机溶剂	131
4.1.1 萃取剂的分类及对萃取剂的一般要求	131
4.1.2 稀释剂及改质剂	135
4.2 常用萃取剂结构与性能关系的分析	139
4.2.1 中性萃取剂	139
4.2.2 酸性萃取剂	151
4.2.3 碱性萃取剂	159
4.2.4 螯合萃取剂	163
4.3 影响萃取剂性能的主要结构效应	169
4.3.1 配位原子或基团的反应性	170
4.3.2 结构空间效应	175
4.3.3 溶解度效应	180
4.4 萃取剂结构-性能的模式识别处理与反应-选择性原理	181
4.4.1 萃取剂结构-性能的模式识别处理	181
4.4.2 溶剂萃取中的反应性-选择性原理	183
4.4.3 溶剂萃取中的硬软酸碱定律	184
4.5 分子轨道法在萃取剂结构与性能研究中的应用	185
4.5.1 微扰分子轨道(PMO)法	185
4.5.2 Huckel分子轨道(HMO)法	186
参考文献	192
<b>5 串级理论</b>	<b>195</b>



105.1	引言 .....	195
105.1.1	串级理论的提出及作用 .....	195
105.1.2	串级理论的基本假设 .....	195
105.1.3	分馏萃取体系的基本关系式 .....	196
205.2	优化串级萃取工艺的设计 .....	201
205.2.1	分馏萃取的最小萃取比方程 .....	201
205.2.2	级数计算公式 .....	204
205.2.3	最优萃取比的选择 .....	207
205.2.4	优化串级萃取工艺的设计步骤 .....	212
205.3	单组分串级萃取动态平衡的数学模拟和计算程序 .....	216
205.3.1	单组分串级萃取动态平衡的基本规律 .....	217
205.3.2	逆流萃取达到平衡过程的数学模拟 .....	221
205.3.3	计算框图 .....	224
205.4	两组分和多组分串级萃取的动态过程 .....	226
205.4.1	程序设计的基本原理 .....	227
205.4.2	串级萃取操作的计算机模拟 .....	230
205.4.3	串级萃取动态平衡的计算 .....	232
205.4.4	串级萃取动态过程的基本规律 .....	234
205.5	回流萃取的数学模拟及应用 .....	236
205.5.1	回流的概念——全回流和单回流萃取 .....	236
205.5.2	回流萃取过程的计算机模拟 .....	237
205.5.3	回流萃取动态平衡计算 .....	239
205.5.4	回流萃取过程计算结果分析 .....	243
205.6	三出口萃取工艺的设计与应用 .....	246
205.6.1	出口分数、纯度和回收率的计算 .....	247
205.6.2	萃取量 $S$ 的确定 .....	249
205.6.3	级数的计算 .....	251
205.6.4	设计实例及计算结果 .....	253
205	参考文献 .....	257
6	萃取冶金的过程 .....	258
6.1	萃取的方式 .....	258
6.2	萃取过程的基本操作 .....	260
6.2.1	料液(水相)及有机相的预处理 .....	260
6.2.2	洗涤及洗涤液、反萃及反萃液 .....	262
6.2.3	多级萃取工艺参数的确定 .....	263
6.2.4	多级模拟试验及其理论级数的确定 .....	268
6.3	影响萃取结果的主要因素 .....	281
6.3.1	水相酸度的影响 .....	281

6.3.2	金属离子的影响	285
6.3.3	盐析剂的影响	287
6.3.4	水相中阴离子的影响	288
6.3.5	萃取剂和稀释剂的影响	290
6.3.6	温度的影响	293
6.4	生产中的工艺操作与控制	294
6.4.1	生产准备	294
6.4.2	生产过程控制及操作	296
6.4.3	萃取过程常见故障及其处理	301
6.5	萃取操作中的相间污物、乳化、第三相的消除及有机相的回收和再生	303
6.5.1	相间污物的产生和处理	303
6.5.2	乳化的产生和消除	305
6.5.3	第三相的生成和消除	308
6.5.4	水相除油和萃取剂回收	309
6.5.5	有机相的除水和再生	312
	参考文献	313
<b>7</b>	<b>萃取设备</b>	<b>314</b>
7.1	概述	314
7.1.1	萃取设备中的术语及一般知识	314
7.1.2	萃取设备的分类、特点及选型原则	318
7.2	萃取设备的介绍	324
7.2.1	混合澄清槽	324
7.2.2	塔式萃取设备	336
7.2.3	卧式萃取器	350
7.2.4	离心萃取器	353
7.3	萃取设备的设计	362
7.3.1	混合澄清器的设计	362
7.3.2	脉冲筛板萃取塔的设计	370
7.3.3	脉冲填料塔的设计	383
7.3.4	离心萃取器的设计	387
7.4	萃取设备的放大及发展趋势	394
7.4.1	萃取设备的放大设计	394
7.4.2	发展趋势	398
	参考文献	400
<b>8</b>	<b>铁的萃取</b>	<b>404</b>
8.1	中性萃取剂萃取铁	405
8.1.1	中性磷类萃取剂萃取铁	405

8.1.2	其他中性萃取剂萃取铁	407
8.2	酸性磷酸酯类萃取剂萃取铁	410
8.2.1	从盐酸介质中萃取铁	410
8.2.2	从硫酸介质中萃取铁	411
8.2.3	从其他介质中萃取铁	414
8.3	羧酸类萃取剂萃取铁	415
8.3.1	从盐酸介质中萃取铁	415
8.3.2	从硫酸介质中萃取铁	418
8.3.3	从其他介质中萃取铁	421
8.4	胺类萃取剂萃取铁	422
8.4.1	从盐酸介质中萃取铁	422
8.4.2	从硫酸介质中萃取铁	427
8.4.3	从其他介质中萃取铁	430
8.5	萃取除铁的新研究	431
8.5.1	胺类与中性混合萃取剂萃取铁	431
8.5.2	酸性磷酸酯与相转移试剂的萃取与反萃铁	433
	参考文献	435
9	铜的萃取	437
9.1	中性萃取剂对铜的萃取	437
9.2	酸性萃取剂对铜的萃取	439
9.3	胺类及其他含氮萃取剂对铜的萃取	441
9.4	羟肟类萃取剂对铜的萃取	444
9.4.1	羟肟类萃取剂的主要商品类型	444
9.4.2	羟肟类萃取剂的萃取化学	450
9.5	萃取铜的工艺	459
9.5.1	萃取铜的工艺	459
9.5.2	萃取铜的重要萃取剂	460
9.6	铜萃取工艺的发展概况	462
9.6.1	工艺特点与主要作业参数	464
9.6.2	浸出作业	464
9.6.3	萃取、电积作业	465
9.6.4	铜浸出、萃取、电积技术的优点	468
9.6.5	国内外铜溶剂萃取技术发展前景展望	469
9.7	铜萃取冶金的工业实践	471
9.7.1	从硫酸浸出液中萃取铜	471
9.7.2	从氨性介质浸出液中萃取铜	479
9.7.3	从氯化物介质浸出液中萃取铜	483
	参考文献	485

<b>10 钴镍的萃取</b> .....	489
<b>10.1 硫酸盐溶液中钴镍的萃取</b> .....	489
10.1.1 有机磷酸萃取剂萃取钴镍的化学 .....	489
10.1.2 有机磷酸和有机磷酸皂化的萃取机理及萃取动力学 .....	494
10.1.3 羧酸萃取剂萃取钴镍 .....	496
10.1.4 二烷基膦酸萃取剂萃取钴镍 .....	501
10.1.5 烷基膦酸单烷基酯萃取剂萃取钴镍 .....	510
10.1.6 二烷基膦酸萃取剂萃取钴镍 .....	515
10.1.7 其他酸性萃取剂萃取钴镍 .....	516
10.1.8 有机磷酸萃取剂使用应注意的问题 .....	517
10.1.9 钴镍与其他共存金属的萃取分离 .....	521
<b>10.2 氨-铵盐溶液中钴镍的萃取</b> .....	522
10.2.1 氨-铵盐溶液中的萃取平衡 .....	522
10.2.2 酸性萃取剂萃取钴镍 .....	523
10.2.3 羟基螯合萃取剂及取代 8-羟基喹啉萃取钴镍 .....	528
<b>10.3 氯化物溶液中钴镍的萃取</b> .....	534
10.3.1 氯化物溶液中钴镍的萃取反应及含氧萃取剂萃取钴镍 .....	534
10.3.2 胺类萃取剂萃取钴镍 .....	535
10.3.3 季铵盐萃取剂萃取钴镍 .....	538
10.3.4 氯化物体系钴镍萃取的工业实践 .....	539
10.3.5 氯化物体系中萃取钴镍的几个问题 .....	555
<b>10.4 硫氰酸盐溶液中钴镍的萃取</b> .....	557
10.4.1 硫氰酸盐溶液中萃取钴镍 .....	557
10.4.2 季铵盐萃取剂萃取钴镍 .....	558
<b>10.5 钴镍的协同萃取</b> .....	559
10.5.1 螯合萃取剂与有机酸对钴镍的协同萃取 .....	559
10.5.2 含氮非螯合萃取剂与有机酸对钴镍的协同萃取 .....	560
10.5.3 吡啶羧酸酯与有机酸对钴镍的协同萃取 .....	561
10.5.4 胺类与磺酸萃取剂对钴镍的协同萃取 .....	561
<b>10.6 借助氧化态不同萃取分离钴镍的探讨</b> .....	562
10.6.1 借助水溶液中不同氧化态钴镍的萃取分离 .....	562
10.6.2 借助氧氧化有机相中的钴(Ⅱ)萃取分离 .....	562
10.6.3 借助钴在萃取过程中为萃取剂氧化萃取分离 .....	562
<b>参考文献</b> .....	563
<b>11 锌镉及其他有色重金属的萃取</b> .....	569
<b>11.1 锌镉的萃取</b> .....	569
11.1.1 锌的萃取 .....	569
11.1.2 镉的萃取 .....	571

11.1.3	锌镉的协同萃取	573
11.1.4	锌镉萃取的工业应用	577
11.2	其他有色金属的萃取	581
11.2.1	砷的萃取	581
11.2.2	锡和锑的萃取	590
11.2.3	铅、锰、铋、汞的萃取	600
	参考文献	610
<b>12</b>	<b>稀有高熔点金属的萃取</b>	<b>613</b>
12.1	钨钼铌的萃取	613
12.1.1	钨的萃取与萃取分离	613
12.1.2	钼的萃取与萃取分离	621
12.1.3	铌的萃取与萃取分离	627
12.2	铬钒的萃取	631
12.2.1	铬的萃取与萃取分离	632
12.2.2	钒的萃取与萃取分离	636
12.3	锆铪、铌钽的萃取	646
12.3.1	锆铪的萃取分离	648
12.3.2	钽铌的萃取分离	655
	参考文献	665
<b>13</b>	<b>轻金属、碱金属及碱土金属的萃取</b>	<b>667</b>
13.1	轻金属的萃取	667
13.1.1	铝的萃取	667
13.1.2	镁的萃取	668
13.1.3	钛的萃取	671
13.2	碱金属及碱土金属的萃取	673
13.2.1	铍的萃取	673
13.2.2	锂的萃取	679
13.2.3	铷和铯的萃取	681
13.2.4	锶的萃取	685
	参考文献	687
<b>14</b>	<b>金、银及铂族金属的萃取</b>	<b>689</b>
14.1	金、银及铂族金属的萃取化学	689
14.1.1	金、银及铂族金属的配合物	689
14.1.2	金、银及铂族金属的萃取机理	695
14.2	金、银的萃取	699
14.2.1	金的萃取	699

14.2.2	银的萃取	708
14.3	铂族金属的萃取	710
14.3.1	钯的萃取	710
14.3.2	铂的萃取	715
14.3.3	铱的萃取	718
14.3.4	铑的萃取	719
14.3.5	钌的萃取	723
14.3.6	锇的萃取	724
14.4	贵金属萃取应用的典型工艺	725
14.4.1	Acton 精炼厂萃取工艺	726
14.4.2	Lonrho 精炼厂萃取工艺	728
14.4.3	Royston 精炼厂萃取工艺	728
14.4.4	我国金川的萃取分离工艺	730
14.4.5	从铜精炼阳极泥中回收贵金属的“因钠”法流程	731
	参考文献	733
<b>15</b>	<b>稀散金属的萃取</b>	<b>740</b>
15.1	概述	740
15.2	镓的萃取	745
15.2.1	从铝土矿中回收镓	745
15.2.2	从铅锌矿中回收镓	749
15.2.3	从煤、锗石及铁矿中用萃取法回收镓	755
15.3	铟的萃取	758
15.3.1	锌矿中用萃取法提铟	758
15.3.2	从铅铜及其他矿中用萃取法回收铟	761
15.4	锗、铊、硒、碲的萃取	763
15.4.1	锗的萃取	763
15.4.2	铊的萃取	767
15.4.3	硒、碲的萃取	771
	参考文献	773
<b>16</b>	<b>稀土的萃取</b>	<b>774</b>
16.1	TBP、P350 等中性配合萃取剂萃取及分离稀土	774
16.1.1	TBP、P350 萃取稀土的机理及影响萃取性能的主要因素	774
16.1.2	TBP、P350 萃取分离稀土的工艺	788
16.2	P204 萃取及分离稀土	790
16.2.1	P204 萃取稀土的机理和影响萃取性能的主要因素	790
16.2.2	P204 萃取分离单一稀土元素	802
16.3	P507 和其他酸性磷(膦)类萃取剂萃取及分离稀土	805

16.3.1	P507 萃取稀土的参数及萃取机理	805
16.3.2	P507 萃取分离稀土元素	814
16.3.3	一盐基磷(膦)酸的萃取性能	818
16.4	胺和季铵盐萃取及分离稀土	825
16.4.1	伯胺 N1923 萃取稀土的性能和萃取机理	825
16.4.2	伯胺 N1923 萃取分离钍和提取混合稀土	827
16.4.3	季铵盐 N263 萃取稀土的性能及机理	831
16.4.4	季铵盐 N263 萃取分离稀土的工艺	832
16.5	环烷酸和羧酸类萃取剂萃取及分离稀土	833
16.5.1	环烷酸萃取体系	833
16.5.2	异构酸萃取体系	840
16.6	配合剂存在下萃取稀土	842
16.6.1	配合剂存在下的萃取原理	842
16.6.2	配合剂存在下的稀土分离	848
16.7	钪的萃取	851
16.7.1	萃取钪的萃取剂	852
16.7.2	工业应用萃取钪	853
16.7.3	从各种冶金渣中提取氧化钪综合工艺流程	855
	参考文献	859
<b>17</b>	<b>放射性金属元素的萃取</b>	<b>863</b>
17.1	铀水冶的萃取工艺	863
17.1.1	铀矿硫酸浸出液萃取铀	863
17.1.2	铀矿碳酸盐浸出液萃取铀	868
17.1.3	铀的矿浆萃取	869
17.1.4	萃取铀的淋萃流程(Eluex法)	871
17.1.5	铀(钍)、铁的萃取分离	872
17.2	铀钍的萃取纯化	875
17.2.1	铀的萃取纯化	875
17.2.2	钍的萃取纯化	880
17.3	从其他含铀物料中萃取铀	882
17.3.1	从湿法磷酸中萃取铀	882
17.3.2	从锆英石中萃取铀	884
17.3.3	从独居石中萃取铀、钍、稀土	885
17.4	辐照铀燃料后处理的溶剂萃取	888
17.4.1	磷酸三丁酯萃取流程	889
17.4.2	N,N'-二烷基乙酰胺萃取流程	897
17.4.3	三月桂胺萃取净化回收钚的流程	897
17.4.4	工业规模应用的其他萃取流程	898

17.5 辐照钚燃料后处理的溶剂萃取 .....	899
17.5.1 磷酸三丁酯萃取流程 .....	900
17.5.2 Thorex 萃取流程 .....	900
17.5.3 其他几种萃取流程 .....	905
17.6 次要铜系元素的回收 .....	906
17.6.1 TRPO 流程 .....	906
17.6.2 Truex 流程 .....	908
17.6.3 1,3-丙二酰胺萃取流程 .....	910
17.6.4 DIDAP 流程 .....	910
17.6.5 TBP + HDEHP 萃取流程 .....	912
17.6.6 铊的萃取 .....	913
17.6.7 镅与镧系元素的萃取分离 .....	914
参考文献 .....	916
<b>18 固体废物及废水处理中的金属萃取 .....</b>	<b>918</b>
18.1 固体废物处理中有色重金属的萃取 .....	918
18.1.1 固体废物中铜的萃取回收 .....	918
18.1.2 固体废料中锌的萃取回收 .....	924
18.1.3 固体废物中镍钴的萃取回收 .....	925
18.2 固体废物处理中稀有高熔点金属的萃取 .....	939
18.2.1 固体废物中钛的萃取回收 .....	939
18.2.2 固体废物中钨钼钒的萃取回收 .....	940
18.2.3 固体废物中铌钽的萃取回收 .....	943
18.3 固体废物处理中贵金属的萃取 .....	944
18.3.1 固体废物中铂的萃取回收 .....	944
18.3.2 固体废物中钨铼的萃取回收 .....	945
18.4 废水处理中金属的萃取及废水萃取脱酚 .....	946
18.4.1 废水处理中金属的萃取回收 .....	946
18.4.2 废水萃取脱酚 .....	949
参考文献 .....	954
<b>19 萃取冶金生产工艺过程的设计 .....</b>	<b>957</b>
19.1 设计的基本原则及设计中重要问题的选择 .....	957
19.1.1 设计的基本原则 .....	957
19.1.2 设计中重要问题的选择 .....	957
19.2 萃取分离车间的设计 .....	959
19.2.1 原料溶液的准备 .....	959
19.2.2 有机相的准备 .....	960
19.2.3 工艺设计 .....	961



19.2.4	设计实例 .....	962
19.3	安全与环境保护 .....	970
19.3.1	安全 .....	971
19.3.2	环境保护 .....	976
19.4	萃取过程的计算机辅助设计 .....	979
19.4.1	计算机辅助设计系统的计算机环境 .....	980
19.4.2	计算机辅助过程设计软件的性能要求及选择 .....	981
19.4.3	通用计算机辅助工程设计软件用于萃取过程设计 .....	984
19.5	投资、生产费用及经济效益的估算 .....	990
19.5.1	投资的估算 .....	990
19.5.2	投资估算的方法 .....	992
19.5.3	投资估算的步骤 .....	994
19.5.4	投资估算实例 .....	994
19.5.5	生产费用的估算 .....	998
19.5.6	投资效益 .....	1004
	参考文献 .....	1008
	<b>附录 萃取剂的英文缩写与中文名称对照</b> .....	<b>1010</b>
	.....	18.1.1
	.....	18.1.2
	.....	18.1.3
	.....	18.2.1
	.....	18.2.2
	.....	18.2.3
	.....	18.3.1
	.....	18.3.2
	.....	18.4.1
	.....	18.4.2
	.....	18.4.3
	.....	18.5.1
	.....	18.5.2
	.....	18.5.3
	.....	18.5.4
	.....	18.5.5
	.....	18.5.6
	.....	18.5.7
	.....	18.5.8
	.....	18.5.9
	.....	18.5.10
	.....	18.5.11
	.....	18.5.12
	.....	18.5.13
	.....	18.5.14
	.....	18.5.15
	.....	18.5.16
	.....	18.5.17
	.....	18.5.18
	.....	18.5.19
	.....	18.5.20
	.....	18.5.21
	.....	18.5.22
	.....	18.5.23
	.....	18.5.24
	.....	18.5.25
	.....	18.5.26
	.....	18.5.27
	.....	18.5.28
	.....	18.5.29
	.....	18.5.30
	.....	18.5.31
	.....	18.5.32
	.....	18.5.33
	.....	18.5.34
	.....	18.5.35
	.....	18.5.36
	.....	18.5.37
	.....	18.5.38
	.....	18.5.39
	.....	18.5.40
	.....	18.5.41
	.....	18.5.42
	.....	18.5.43
	.....	18.5.44
	.....	18.5.45
	.....	18.5.46
	.....	18.5.47
	.....	18.5.48
	.....	18.5.49
	.....	18.5.50
	.....	18.5.51
	.....	18.5.52
	.....	18.5.53
	.....	18.5.54
	.....	18.5.55
	.....	18.5.56
	.....	18.5.57
	.....	18.5.58
	.....	18.5.59
	.....	18.5.60
	.....	18.5.61
	.....	18.5.62
	.....	18.5.63
	.....	18.5.64
	.....	18.5.65
	.....	18.5.66
	.....	18.5.67
	.....	18.5.68
	.....	18.5.69
	.....	18.5.70
	.....	18.5.71
	.....	18.5.72
	.....	18.5.73
	.....	18.5.74
	.....	18.5.75
	.....	18.5.76
	.....	18.5.77
	.....	18.5.78
	.....	18.5.79
	.....	18.5.80
	.....	18.5.81
	.....	18.5.82
	.....	18.5.83
	.....	18.5.84
	.....	18.5.85
	.....	18.5.86
	.....	18.5.87
	.....	18.5.88
	.....	18.5.89
	.....	18.5.90
	.....	18.5.91
	.....	18.5.92
	.....	18.5.93
	.....	18.5.94
	.....	18.5.95
	.....	18.5.96
	.....	18.5.97
	.....	18.5.98
	.....	18.5.99
	.....	18.5.100