



循环经济的 二次资源金属回收

马荣骏 肖国光 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

“十二五”国家重点图书
国家科学技术学术著作出版基金资助出版

循环经济的 二次资源金属回收

马荣骏 肖国光 编著

北京
冶金工业出版社
2014

内 容 简 介

全书共分十四章, 简述了二次资源金属回收的重要意义及作用, 分章介绍了二次资源回收金属的方法, 其中包括黑色金属、铝、铜、铅、锌、锡、镍、钴、钨、钼、钒、砷、锑、铋、镉、锰、贵金属、铂族金属、稀散金属、稀土金属、核燃料废料及其他一些金属的回收处理工艺及技术。

本书适合于从事金属回收的科研、设计、生产的人员阅读, 也可供大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

循环经济的二次资源金属回收/马荣骏, 肖国光编著. —北京:
冶金工业出版社, 2014. 6

“十二五”国家重点图书

ISBN 978-7-5024-6478-3

I. ①循… II. ①马… ②肖… III. ①金属废料—废物回收—
研究 IV. ①X756. 05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014) 第 113615 号

出 版 人 谭学余

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 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 张熙莹 马文欢 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 刘 倩 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6478-3

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2014 年 6 月第 1 版, 2014 年 6 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 57.25 印张; 1387 千字; 895 页

228.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)



前 言

循环经济、环境保护和可持续发展是当今人类社会经济发展的主要模式和必由之路，而二次资源金属回收是冶金领域循环经济和环境保护的主要内容，也是可持续发展依赖的重要条件。

鉴于二次资源金属回收的重要性，作者应冶金工业出版社之邀，编写了本书，其目的是给读者提供一些资料，有利于大力开展二次资源金属回收及环境保护的工作。

全书共有十四章，简述了二次资源金属回收的重要意义及作用，分章介绍了二次资源回收金属的方法，其中包括黑色金属、铝、铜、铅、锌、锡、镍、钴、钨、钼、钒、砷、锑、铋、镉、锰、贵金属、铂族金属、稀散金属、稀土金属、核燃料废料及其他一些金属的回收处理工艺及技术。在编写中，作者注意了理论与实际的结合，力求该书具有全面性、系统性及创新性，能反映出二次资源金属回收领域的科学技术进步，达到促进学科发展及指导生产的目的。

应该说明，本书内容中除了包括作者多年从事科研工作的成果、心得及发表的论文外，还从国内外文献上引用了一些符合本书要求的内容，在此作者向被引用文献的作者加以致谢。

在本书的编写过程中，得到长沙矿冶研究院各级领导及冶金工业出版社领导的大力支持，特别是中国工程院院士、中南大学黄伯云教授，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，中国工程院院士、长沙矿冶研究院余永富教授级高级工程师给予了中肯的建议与意见，国家水体污染控制与治理科技重大专项、环保部环保公益性项目以及国家科学技术学术著作出版基金为本书的出版给予了资助，作者在此一并致以衷心的感谢。

由于作者水平所限，书中不足之处，敬请同行读者指正。

作 者
2013年11月

目 录

1 绪论	1
1.1 二次资源回收金属在循环经济发展中的重要意义及作用	1
1.1.1 重要意义	1
1.1.2 重要作用	1
1.2 二次资源回收金属在循环经济发展中的功能与效果	2
1.3 二次资源及其回收金属的原则方法	3
1.3.1 二次资源的内容	3
1.3.2 二次资源金属回收的原则流程	4
1.4 二次资源金属回收的发展方向	7
参考文献	8
2 钢铁工业二次资源的金属回收	9
2.1 钢渣、铁合金渣及含铁尘泥的金属回收	9
2.1.1 钢渣	9
2.1.2 铁合金渣	10
2.1.3 含铁尘泥	12
2.2 黄铁矿烧渣的金属回收	14
2.2.1 烧渣的氯化焙烧	14
2.2.2 烧渣的利用	17
2.3 废钢铁屑制备钢铁粉	18
2.3.1 废钢、铁屑的来源、利用现状及存在问题	18
2.3.2 钢铁粉的用途	19
2.3.3 国内外生产钢铁粉的工艺技术	20
2.3.4 废钢、铁屑直接生产钢铁粉的新方法	21
2.4 烟尘的金属回收	22
2.4.1 碳钢冶炼烟尘	22
2.4.2 特种钢冶炼烟尘	26
2.5 废水的金属回收	30
2.5.1 废水的种类	31
2.5.2 酸洗废液的处理方法	32
参考文献	33

3 二次资源铝的回收	36
3.1 概述	36
3.1.1 二次资源回收铝的概况	36
3.1.2 铝废料的组成及预处理	37
3.1.3 铝废料的处理方法	38
3.2 铝废料的熔炼	39
3.2.1 熔炼铝废料的熔剂	39
3.2.2 铝废料的反射炉熔炼	40
3.2.3 铝废料的其他火焰炉熔炼	41
3.2.4 铝废料的感应电炉熔炼	43
3.2.5 铝废料熔炼炉渣的处理	44
3.3 再生铝合金的精炼	45
3.3.1 脱除非金属杂质的精炼	45
3.3.2 脱除金属杂质的精炼	47
3.4 铝废料生产其他铝产品	48
3.4.1 硫酸铝的生产	48
3.4.2 铝粉的生产	48
3.4.3 碱式氯化铝的生产	50
3.4.4 铝合金的生产	51
3.5 废液中回收铝	53
3.6 国内外二次资源回收铝的新技术	55
3.6.1 中国	55
3.6.2 日本	56
3.6.3 德国	59
3.6.4 英国及美国	65
参考文献	69
4 二次资源铜的回收	70
4.1 概述	70
4.1.1 铜废料回收概况	70
4.1.2 铜废料的组成	73
4.1.3 铜废料的处理方法	75
4.2 铜废料的鼓风炉熔炼	77
4.2.1 铜废料鼓风炉熔炼的原理	77
4.2.2 铜废料鼓风炉熔炼的实践	81
4.2.3 铜矿石和铜废料的混合熔炼	84
4.3 黑铜及铜废料的转炉吹炼	86
4.3.1 黑铜及铜废料吹炼的基本理论	86

4.3.2	黑铜吹炼的实践	87
4.3.3	黑铜、铜废料和冰铜的联合吹炼	90
4.3.4	铜锌废料的吹炼	91
4.4	二次资源再生粗铜的火法精炼	92
4.4.1	火法精炼的原理	93
4.4.2	再生粗铜火法精炼的实践	99
4.5	二次资源再生粗铜的电解精炼	101
4.5.1	再生粗铜电解精炼的原理	101
4.5.2	再生粗铜电解精炼的实践	104
4.6	铜废料生产铜合金	107
4.6.1	铜合金熔炼的熔剂	107
4.6.2	铜合金生产的熔炼炉	107
4.6.3	铜合金的生产实践	109
4.6.4	粗合金的精炼	110
4.7	铜废料的化学溶解法处理	112
4.7.1	硫酸溶解铜废料回收铜	112
4.7.2	氨液溶解铜废料回收铜	113
4.7.3	氯盐溶解铜废料回收铜	121
4.8	铜废料的电化学溶解法	122
4.8.1	硫酸溶液电化学溶解法回收铜	122
4.8.2	铵盐溶液电化学溶解法回收铜	124
4.9	熔炼和吹炼产生的烟尘处理	125
4.9.1	硫酸浸出	126
4.9.2	盐酸浸出	126
4.10	低品位铜矿石及尾矿的处理	128
4.10.1	低品位铜矿石及尾矿的处理工艺	128
4.10.2	低品位铜矿石浸出、萃取、电积工艺的特点	132
4.10.3	低品位铜矿石萃取冶金实践	132
4.10.4	国内外低品位铜矿的萃取冶金展望	146
	参考文献	149
5	二次资源铅的回收	151
5.1	概述	151
5.1.1	二次资源回收铅的发展	151
5.1.2	铅废料的组成及处理方法	153
5.1.3	废铅蓄电池的预处理	154
5.2	铅废料的反射炉熔炼	155
5.2.1	熔炼中炉料组成的行为	155
5.2.2	反射炉熔炼铅废料的实践	160

5.3	铅废料的电炉熔炼	162
5.4	铅废料的回转窑熔炼	163
5.4.1	短回转窑熔炼	163
5.4.2	长回转窑熔炼	164
5.5	铅废料的鼓风炉及 SB 炉熔炼	164
5.5.1	细粒铅废料的烧结	164
5.5.2	传统的鼓风炉熔炼	165
5.5.3	SB 炉熔炼	169
5.6	铅废料熔炼所得粗铅的处理	170
5.6.1	粗铅加工成硬铅	170
5.6.2	粗铅的火法精炼	171
5.7	国内外处理铅废料的工业实践	173
5.7.1	美国 RSR 公司的反射炉、鼓风炉熔炼	173
5.7.2	德国奥卡的哈茨冶炼厂的长、短回转窑熔炼	174
5.7.3	中国铅矿与铅废料搭配的熔炼	176
5.7.4	中国铅废料的综合处理	178
5.8	铅废料生产铅合金	180
5.8.1	铅锡巴比合金的生产	180
5.8.2	钙巴比合金的生产	181
5.9	铅废料的湿法冶金处理	182
5.9.1	铅废料制得的高铋粗铅电解精炼	183
5.9.2	铅废料的电积	185
5.9.3	铅废料固相电解还原回收铅	188
5.9.4	铅废料硝酸浸出生产硝酸铅	188
5.9.5	石灰转化还原法生产金属铅	189
5.9.6	铅废料生产三盐基硫酸铅及黄丹	189
5.10	国内外从二次资源回收铅的实例	192
5.10.1	中国	192
5.10.2	日本	192
5.10.3	美国	194
5.10.4	德国	195
5.10.5	加拿大	196
	参考文献	198
6	二次资源锌的回收	200
6.1	概述	200
6.1.1	国内外回收锌的概况	200
6.1.2	锌废料的组成	202
6.1.3	锌废料的处理方法	203

6.2	低品位锌废料的火法处理	204
6.2.1	回转窑烟化富集	205
6.2.2	等离子法处理	207
6.2.3	半鼓风炉熔炼	209
6.2.4	垂直喷射火焰炉处理炼钢烟尘及悉罗熔炼法处理锌废料	212
6.3	锌废料的电炉处理	213
6.4	锌废料的湿法冶金处理	214
6.4.1	热镀锌渣和炼铜烟灰的硫酸浸出—萃取—电积生产电锌	215
6.4.2	高炉烟尘及瓦斯泥的碱性溶液浸出法处理工艺	216
6.4.3	废水萃取法回收锌	218
6.4.4	回收锌的 ESPINDESA 流程及 Metsep 流程	222
6.4.5	锌废料生产锌的化工产品	224
6.5	国内外回收锌的生产实例	228
6.5.1	中国	228
6.5.2	日本	228
6.5.3	美国	233
6.5.4	德国	235
6.5.5	西班牙	237
6.5.6	意大利	238
	参考文献	241
7	二次资源锡的回收	244
7.1	概述	244
7.2	马口铁废料氯化法生产氯化锡	245
7.3	马口铁废料碱性浸出回收锡	246
7.4	马口铁废料碱性溶液电解回收锡	248
7.4.1	碱性电解法制取海绵锡	248
7.4.2	电解制取致密阴极锡	252
7.5	含锡低于5%的铅锡废料中锡的回收	254
7.5.1	氧化法回收锡	254
7.5.2	碱法回收锡	255
7.6	含锡高于5%的铅锡废料火法冶炼回收锡	255
7.6.1	熔析法及凝析法除铁、砷	255
7.6.2	加硫除铜及加铝除砷、铋	258
7.7	铅锡废料用结晶法回收锡	260
7.8	铅锡合金废料用真空蒸馏回收锡	262
7.9	铅锡合金废料用电解法回收锡	264
7.9.1	铅锡合金废料的双金属电解	264
7.9.2	铅锡合金废料(焊料)的电解分离	265

7.10	含铜废料合金中回收锡	266
7.11	热镀锡残渣的处理	267
7.11.1	火法—湿法联合处理	267
7.11.2	电炉熔炼	269
7.12	含锡废料生产锡的化工产品	270
7.13	用高锡复合渣制取锡酸钠	272
7.13.1	碱熔	273
7.13.2	浸出	275
7.13.3	浸出液净化	275
7.13.4	浓缩结晶	276
7.13.5	技术指标分析	277
	参考文献	277
8	二次资源镍、钴、钨、钼、钒的回收	279
8.1	概述	279
8.2	镍钴合金废料的氯盐溶液—电化学溶解法处理	280
8.2.1	镍基合金废料生产特号镍	280
8.2.2	高磷镍铁、钴铁及其他含钴废料回收钴	285
8.2.3	镍钴合金废料隔膜电解回收铁、钴、镍	286
8.3	镍钴合金废料的硫酸盐溶液—电化学溶解处理	287
8.4	镍钴合金废料的化学溶解法处理	289
8.4.1	镍钴合金废料在氯化物溶液中的溶解	289
8.4.2	镍钴合金废料在硫酸溶液中的溶解	294
8.4.3	镍钴合金废料在混合酸溶液中的溶解及其处理方法	296
8.5	废高温合金火法分离镍钴	298
8.6	硬质合金废料的处理	301
8.6.1	硝石法处理废硬质合金	301
8.6.2	锌熔法处理废硬质合金	302
8.6.3	氧化法处理废硬质合金	304
8.6.4	硫酸法处理废硬质合金	305
8.6.5	磷酸法处理废硬质合金	307
8.6.6	电化学溶解法处理废硬质合金	309
8.7	废催化剂的处理	311
8.7.1	湿法浸出	312
8.7.2	火法熔炼	317
8.7.3	从浸出液中回收钼和钒	318
8.7.4	碳酸钠焙烧—浸出工艺	327
8.7.5	还原焙烧浸出	329
8.7.6	焙烧—浸出—萃取及压煮酸溶解法	330

8.7.7 萃取—离子交换联合工艺	331
8.8 湿法炼锌中含钴有机渣的处理	336
8.8.1 物料性质	336
8.8.2 钴渣浸出工艺	337
8.9 炼钢钒渣、石煤等二次资源回收钒	339
8.9.1 炼钢钒渣回收五氧化二钒	339
8.9.2 石煤提钒	340
8.9.3 含钒沥青回收钒	341
8.9.4 氧化铝生产中回收钒	341
8.9.5 燃灰中回收钒	341
参考文献	343
9 二次资源砷、锑、铋、镉、锰及其他金属的回收	348
9.1 我国有色金属生产中砷的走向及回收	348
9.1.1 砷的走向	348
9.1.2 砷的回收	349
9.2 从含砷污酸制取砷产品	353
9.2.1 治理含砷污酸的主要方法	353
9.2.2 含砷污酸制取白砷	355
9.2.3 含砷污酸制取砷酸铜	358
9.2.4 硫化砷渣氯化铜浸出及还原回收单质砷	364
9.2.5 从含砷污酸制取单质砷的工艺	367
9.3 砷碱渣回收砷、锑	370
9.4 高砷锑烟尘回收砷、锑	375
9.5 高锑锡复合渣回收锑、锡	377
9.5.1 低温真空蒸发法	377
9.5.2 高温真空蒸发法	380
9.6 低锡复合渣的湿法处理	381
9.6.1 原料处理	382
9.6.2 原理	383
9.6.3 HCl-NaCl 常规浸出复合渣	384
9.7 低锡复合渣真空碳热还原处理	386
9.7.1 静态真空碳热还原	386
9.7.2 动态真空闪速碳还原	390
9.8 从银锌渣回收铋	393
9.8.1 银锌渣的浸出	393
9.8.2 银锌渣浸出液中杂质的行为及去除	394
9.8.3 铋的提取	395
9.8.4 制取海绵铋及回收金银	396

9.9 二次资源回收镉	397
9.9.1 处理铜镉渣回收镉	397
9.9.2 处理锌焙烧烟尘回收镉	402
9.9.3 处理电收尘回收镉	404
9.9.4 处理铅冶炼烟尘回收镉	406
9.9.5 处理高镉锌合金废料及镍镉电池废料回收镉	407
9.10 二次资源回收锰	408
9.10.1 从含锰废液制取电解锰	408
9.10.2 浸出氧化锰矿泥制取碳酸锰	409
9.10.3 选矿尾矿回收锰	413
9.11 二次资源回收其他金属	414
9.11.1 从钛铁矿浸出液中回收铬	414
9.11.2 从锡渣回收铟、铌、钨	415
9.11.3 从高钛渣及废旧电器中回收铌、钽、钛	417
9.11.4 从石棉尾矿及海水中回收镁	419
9.11.5 盐卤回收锂	421
9.11.6 从氧化铝生产中的赤泥综合回收有色金属	423
参考文献	424
10 二次资源金银的回收	428
10.1 铜阳极泥的处理	428
10.1.1 铜阳极泥的组成及性质	428
10.1.2 火法—电解传统工艺流程	430
10.2 铅阳极泥的处理	438
10.2.1 铅阳极泥的组成及性质	439
10.2.2 火法—电解传统工艺流程	439
10.3 阳极泥处理技术的发展	441
10.3.1 选冶联合流程	441
10.3.2 “INER”流程	445
10.3.3 住友流程	447
10.3.4 热压浸出流程	449
10.3.5 我国的湿法处理工艺	452
10.3.6 铅阳极泥湿法处理	454
10.3.7 铅铋阳极泥的处理	459
10.4 黄铁矿烧渣中回收金	462
10.4.1 氯化工艺	462
10.4.2 黄铁矿烧渣中金的溶解	463
10.5 锌渣中银的回收	465
10.5.1 直接浸出回收银	465

10.5.2	浮选富集银	465
10.5.3	从浮选银精矿回收银	468
10.6	其他二次资源回收金银	469
10.6.1	金银合金废料回收银	469
10.6.2	含银废催化剂回收银	472
10.6.3	感光废料回收银	474
10.6.4	废定影液回收银	481
10.6.5	含少量金、银的固液废料回收金、银	495
	参考文献	507
11	二次资源铂族金属的回收	511
11.1	合金废料中铂族金属的回收	511
11.1.1	铂、钯合金废料	511
11.1.2	铱、铑、钌合金废料	516
11.2	催化剂废料铂族金属的回收	522
11.2.1	载体催化剂	522
11.2.2	净化汽车尾气催化剂	529
11.2.3	化学、石油工业催化剂	536
11.2.4	均相催化剂	558
11.3	低含量废料回收铂族金属	564
11.3.1	表面薄膜铂族金属的回收	564
11.3.2	电子废料铂族金属的回收	565
11.3.3	废耐火材料及低品位固体废物铂族金属的回收	571
	参考文献	584
12	二次资源稀土金属的回收	588
12.1	镓的回收	588
12.1.1	铝生产副产物回收镓	588
12.1.2	铅锌生产副产物回收镓	592
12.1.3	煤、锗石及炼铁副产物回收镓	600
12.1.4	半导体废料回收镓	603
12.2	锗的回收	606
12.2.1	密闭鼓风炉生产铅锌副产物中回收锗	606
12.2.2	铅锌矿火法—湿法联合冶金工艺回收锗	614
12.2.3	热酸浸出—铁矾法除铁湿法炼锌工艺中锗的回收	621
12.2.4	含锗煤中一步法回收锗	629
12.2.5	其他废料中回收锗	632
12.3	铟的回收	636
12.3.1	竖罐炼锌副产品焦结烟尘回收铟	636

12.3.2	精馏锌副产品粗铅回收铟	639
12.3.3	精馏锌副产品硬锌回收铟	641
12.3.4	氧化锌粉浸出—置换—碱煮法回收铟	644
12.3.5	氧化锌粉浸出—置换—酸溶—萃取法回收铟	648
12.3.6	氧化锌粉多段酸浸—萃取法回收铟	650
12.3.7	氧化锌粉硫酸化焙烧—浸出—萃取法及氯化焙烧—浸出—置换法回收铟	654
12.3.8	回转窑窑渣磁选—电解—阳极泥法回收铟	656
12.3.9	氧化锌粉中浸渣还原—酸浸—水解法回收铟	657
12.3.10	氧化锌粉吸附浸出及中浸渣酸化焙烧—浸出—萃取法回收铟	658
12.3.11	高酸浸出铁钒渣回收铟	659
12.3.12	高酸浸出针铁矿法回收铟	665
12.3.13	高压浸出—赤铁矿法回收铟	667
12.3.14	反射炉烟尘酸浸—萃取法回收铟	669
12.3.15	粗铅碱渣回收铟	671
12.3.16	氧化铅矿炼铅烟尘回收铟	674
12.3.17	炼锡副产物回收铟	675
12.3.18	铅锑精矿冶炼副产物回收铟	678
12.3.19	炼铜过程回收铟	681
12.3.20	炼铁烟尘回收铟	683
12.3.21	ITO 废靶材回收铟	685
12.3.22	含铟废合金回收铟	687
12.3.23	含铟废液回收铟	688
12.4	铊的回收	690
12.4.1	置换法回收铊	690
12.4.2	硫酸化—多次沉淀法回收铊	692
12.4.3	碱浸—硫化沉淀法回收铊	694
12.4.4	氯化沉淀法回收铊	695
12.4.5	酸浸—结晶法回收铊	697
12.4.6	酸浸—萃取法回收铊	698
12.4.7	离子交换法回收铊	703
12.4.8	电解法回收铊	703
12.4.9	挥发法回收铊	704
12.4.10	真空蒸馏法回收铊	705
12.4.11	焙烧法回收铊	706
12.5	硒、碲的回收	706
12.5.1	硫酸化法回收硒、碲	706
12.5.2	氧化焙烧—碱浸法回收硒、碲	711
12.5.3	氧压煮法回收硒、碲	712

12.5.4	碲化铜法回收碲	713
12.5.5	水溶液氯化法及碱土金属氯化法回收硒、碲	714
12.5.6	选冶联合法回收硒、碲 ^[2]	716
12.5.7	溶剂萃取法回收硒、碲	717
12.5.8	离子交换法回收硒、碲	719
12.5.9	硫化法回收硒、碲	720
12.5.10	苏打法回收硒、碲	720
12.5.11	加钙法回收硒、碲	725
12.5.12	氯化法回收硒、碲	726
12.5.13	热滤脱硫—精馏法回收硒	727
12.5.14	加铝富集法从锑矿中回收硒	728
12.5.15	真空蒸馏法回收硒	729
12.5.16	造冰铜法回收硒	729
12.5.17	灰吹法回收硒	729
12.5.18	汞泵中回收硒	730
12.5.19	废品、废件中回收硒、碲	731
12.6	铼的回收	732
12.6.1	挥发—沉淀法回收铼	732
12.6.2	萃取法回收铼	734
12.6.3	离子交换法回收铼	741
12.6.4	电渗析及电解法回收铼	744
12.6.5	碱浸法及高压浸出法回收铼	745
12.6.6	电溶氧化法回收铼	750
12.6.7	石灰烧结法回收铼	752
12.6.8	废铂铼催化剂回收铼	754
12.6.9	废钨铼合金回收铼	756
	参考文献	757
13	二次资源稀土的回收	761
13.1	废钹铁硼回收稀土	761
13.1.1	全萃取法	761
13.1.2	电还原—萃取法	764
13.1.3	焙烧—酸溶—萃取法	768
13.1.4	氧化焙烧—酸浸法	772
13.1.5	酸溶—萃取—沉淀法	774
13.2	废镍氢电池回收稀土	777
13.2.1	工艺一	777
13.2.2	工艺二	778
13.2.3	工艺三	782

13.3	失效抛光粉的再生与回收稀土	785
13.4	废 FCC 催化剂回收稀土	788
13.4.1	稀土的浸出	789
13.4.2	溶剂萃取对浸出液中稀土的分离	790
13.4.3	研究结果	793
13.5	废阴极射线管荧光粉回收稀土	793
13.5.1	CRT 荧光粉的化学组成及制备方法	794
13.5.2	CRT 荧光粉的回收处理及处置现状	795
13.5.3	CRT 荧光粉资源化利用技术	796
13.6	废铁合金回收稀土	797
13.6.1	工艺流程	797
13.6.2	主要设备及原辅材料	798
13.6.3	工艺过程的条件及其影响	798
13.7	矿泥及废渣回收稀土	799
13.7.1	攀西稀土矿泥回收稀土	799
13.7.2	放射性污水的沉淀渣回收稀土	800
13.7.3	废渣冶炼稀土合金	802
13.8	包头选矿尾矿回收稀土	805
13.8.1	北京有色冶金研究总院提出的尾矿综合回收稀土的工艺	805
13.8.2	东北大学提出的碳热氯化法工艺	809
13.8.3	武汉理工大学提出的工艺	812
13.8.4	包头钢铁公司提出的工艺	815
13.9	磷酸体系回收稀土	818
13.9.1	萃取剂的选择	819
13.9.2	单循环萃取—反萃取法回收稀土	823
13.9.3	贵州织金磷矿回收稀土	828
13.10	废水中稀土的回收	831
13.10.1	生产稀土产出的废水回收稀土	831
13.10.2	矿山废水回收稀土	834
13.10.3	化工产品废水回收稀土	836
13.11	废料中钨的回收	846
13.11.1	从钨渣及锡渣回收钨	846
13.11.2	从氯化烟尘选矿尾矿中回收钨	848
13.11.3	从钛白水解母液中回收钨	848
	参考文献	851
14	核燃料废料的回收处理	857
14.1	辐照铀燃料后处理的溶剂萃取法	857
14.1.1	磷酸三丁酯萃取流程	858

14.1.2	N,N'-二烷基酰胺萃取流程	866
14.1.3	三月桂胺萃取净化回收钚的流程	867
14.1.4	工业规模应用的其他萃取流程	867
14.2	辐照钍燃料后处理的溶剂萃取法	868
14.2.1	磷酸三丁酯萃取流程	868
14.2.2	Thorex 萃取流程	869
14.2.3	其他几种萃取方法和流程	874
14.3	次要锕系元素的回收	875
14.3.1	TRPO 流程	875
14.3.2	Truex 流程	877
14.3.3	1,3-丙二酰胺萃取流程	878
14.3.4	DIDPA 流程	879
14.3.5	TBP 和 HDEHP 萃取流程	882
14.3.6	铪的萃取	882
14.3.7	镅与镧系元素的萃取分离	883
	参考文献	885
	索 引	887