



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属

理论与技术前沿丛书
SERIES OF THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FRONTIERS OF
NONFERROUS METALS

绿色冶金——资源绿色化、 高附加值综合利用

GREEN METALLURGY
UTILIZATION OF RESC

AND HIGH-EFFICIENCY

翟玉春 著

Zhai Yuchun



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属理论与技术前沿丛书

绿色冶金——资源绿色化、高附加值综合利用

GREEN METALLURGY—COMPREHENSIVE AND
HIGH-EFFICIENCY UTILIZATION OF RESOURCES

翟玉春 著

Zhai Yu Chun



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团

内容简介

Introduction

为了解决传统冶金工业废弃物排放量大、环境污染等问题,我们开展了复杂矿物和废弃物的绿色化、高附加值综合利用的研究工作。在总结近年来进行的扩大试验、工业化试验和产业化方面取得的成果的基础上,编写了本书。

内容包括红土镍矿、氧硫混合镍矿、氧化锌矿、氧化铜矿、高铁铝土矿、硼镁铁矿、菱镁矿、粉煤灰、硼泥、废旧电路板和废旧液晶显示器等十一种复杂资源的绿色化、高附加值综合利用。主要介绍了资源概况、工业现状、原料的化学和结构分析、化工原料、工艺流程和工序、设备和设备连接图、产品分析和环境保护等。

本书对生产实际具有参考价值 and 指导意义,可供冶金行业的科研人员、技术人员以及冶金工程专业和相关学科的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

绿色冶金——资源绿色化、高附加值综合利用/翟玉春著.

—长沙:中南大学出版社,2015.11

ISBN 978-7-5487-1845-1

I. 绿... II. 翟... III. 冶金-无污染技术 IV. TF1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 177622 号

绿色冶金——资源绿色化、高附加值综合利用

翟玉春 著

□责任编辑 陈 澍

□责任印制 易建国

□出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

□印 装 长沙超峰印刷有限公司

□开 本 720×1000 1/16 □印张 22 □字数 452 千字

□版 次 2015 年 11 月第 1 版 □印次 2015 年 11 月第 1 次印刷

□书 号 ISBN 978-7-5487-1845-1

□定 价 90.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

作者简介

About the Author

翟玉春,男,1946年生,辽宁鞍山人,博士、教授、博士生导师。国家教学名师奖获得者,第三、第四届国务院学位委员会学科评议组成员,第四、第五、第六、第七、第八届国家博士后管理委员会专家组成员,中国有色金属学会冶金物理化学学术委员会副主任,中国金属学会冶金物理化学学术委员会委员,中国物理学会相图委员会委员,国际机械化学学会理事。享受国务院政府津贴。

主要研究领域:冶金热力学、动力学和电化学,资源绿色化、高附加值综合利用,材料制备的物理化学,非平衡态热力学,熔盐电化学,电池材料与电池技术、计算物理化学。

为本科生、硕士研究生、博士研究生讲授物理化学、结构化学、量子化学、非平衡态热力学、统计力学、现代物质结构研究方法、材料化学、冶金物理化学、非平衡态冶金热力学、冶金概论、纳米材料与纳米技术、资源绿色化高附加值综合利用等课程。获国家教学成果二等奖2项,冶金物理化学国家精品课程负责人,冶金工程专业平台课国家级教学团队负责人,辽宁省教学成果一等奖2项、二等奖1项。完成973项目课题1项,子课题1项,完成国家自然科学基金项目6项、省部级项目9项,完成企业项目20余项,在研973项目课题1项,国家自然科学基金重点项目1项,在研国家级重大专项1项,企业项目5项。在高强铝合金焊丝制备和生产、资源绿色化高附加值综合利用、电化学方面取得多项成果。获省科技进步一等奖1项,省科技进步三等奖2项,省自然科学三等奖1项,市级科技进步一等奖2项、二等奖1项,发表论文800余篇,申请专利40余项,授权发明专利28项。出版教材2部,参著专著2部。

学术委员会

Academic Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主任

王淀佐 中国科学院院士 中国工程院院士

委员 (按姓氏笔画排序)

于润沧	中国工程院院士	古德生	中国工程院院士
左铁镛	中国工程院院士	刘业翔	中国工程院院士
刘宝琛	中国工程院院士	孙传尧	中国工程院院士
李东英	中国工程院院士	邱定蕃	中国工程院院士
何季麟	中国工程院院士	何继善	中国工程院院士
余永富	中国工程院院士	汪旭光	中国工程院院士
张文海	中国工程院院士	张国成	中国工程院院士
张懿	中国工程院院士	陈景	中国工程院院士
金展鹏	中国科学院院士	周克崧	中国工程院院士
周廉	中国工程院院士	钟掘	中国工程院院士
黄伯云	中国工程院院士	黄培云	中国工程院院士
屠海令	中国工程院院士	曾苏民	中国工程院院士
戴永年	中国工程院院士		

编辑出版委员会

Editorial and Publishing Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主任

罗 涛(教授级高工 中国有色矿业集团有限公司总经理)

副主任

邱冠周(教授 国家“973”项目首席科学家)

陈春阳(教授 中南大学党委常委、副校长)

田红旗(教授 中南大学副校长)

尹飞舟(编审 湖南省新闻出版局副局长)

张 麟(教授级高工 大冶有色金属集团控股有限公司董事长)

执行副主任

王海东 王飞跃

委员

苏仁进 文援朝 李昌佳 彭超群 谭晓萍

陈灿华 胡业民 史海燕 刘 辉 谭 平

张 曦 周 颖 汪宜晔 易建国 唐立红

李海亮

总序

Preface

当今有色金属已成为决定一个国家经济、科学技术、国防建设等发展的重要物质基础，是提升国家综合实力和保障国家安全的关键性战略资源。作为有色金属生产第一大国，我国在有色金属研究领域，特别是在复杂低品位有色金属资源的开发与利用上取得了长足进展。

我国有色金属工业近 30 年来发展迅速，产量连年来居世界首位，有色金属科技在国民经济建设和现代化国防建设中发挥着越来越重要的作用。与此同时，有色金属资源短缺与国民经济发展需求之间的矛盾也日益突出，对国外资源的依赖程度逐年增加，严重影响我国国民经济的健康发展。

随着经济的发展，已探明的优质矿产资源接近枯竭，不仅使我国面临有色金属材料总量供应严重短缺的危机，而且因为“难探、难采、难选、难冶”的复杂低品位矿石资源或二次资源逐步成为主体原料后，对传统的地质、采矿、选矿、冶金、材料、加工、环境等科学技术提出了巨大挑战。资源的低质化将会使我国有色金属工业及相关产业面临生存竞争的危机。我国有色金属工业的发展迫切需要适应我国资源特点的新理论、新技术。系统完整、水平领先和相互融合的金属科技图书的出版，对于提高我国有色金属工业的自主创新能力，促进高效、低耗、无污染、综合利用有色金属资源的新理论与新技术的应用，确保我国有色金属产业的可持续发展，具有重大的推动作用。

作为国家出版基金资助的国家重大出版项目，《有色金属理论与技术前沿丛书》计划出版 100 种图书，涵盖材料、冶金、矿业、地学和机电等学科。丛书的作者荟萃了有色金属研究领域的院士、国家重大科研计划项目的首席科学家、长江学者特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、全国优秀博士学位论文获得者、国家重大人才计划入选者、有色金属大型研究院所及骨干企

业的顶尖专家。

国家出版基金由国家设立，用于鼓励和支持优秀公益性出版项目，代表我国学术出版的最高水平。《有色金属理论与技术前沿丛书》瞄准有色金属研究发展前沿，把握国内外有色金属学科的最新动态，全面、及时、准确地反映有色金属科学与工程方面的新理论、新技术和新应用，发掘与采集极富价值的研究成果，具有很高的学术价值。

中南大学出版社长期倾力服务有色金属的图书出版，在《有色金属理论与技术前沿丛书》的策划与出版过程中做了大量极富成效的工作，大力推动了我国有色金属行业优秀科技著作的出版，对高等院校、科研院所及大中型企业的有色金属学科人才培养具有直接而重大的促进作用。

王淀佐

2010年12月

前言

Foreword

经过人类几千年,尤其是近二百年的开发利用,地球陆地上的易处理资源已经大为减少,而储量大的复杂天然资源和作为二次资源的工业及生活废弃物都未得到很好的利用。复杂天然资源成分多样、矿物结构复杂、矿相嵌布细,二次资源种类繁多、组成复杂,其难处理程度甚至超过天然矿物。

传统冶金工艺流程对复杂资源的综合利用考虑不够,因而往往产生大量的废渣、废水、废气,造成环境污染。

为了保证冶金工业可持续发展,满足人们生活、生产的需要,满足国家经济建设、国防建设和社会发展的需要,必须针对复杂资源研发新的工艺流程,发展冶金理论,解决工程和装备问题。

20世纪80年代,我的导师赵天从教授最早提出无污染冶金,为冶金科技人员和冶金工业指明了发展的方向,并率先垂范指导学生开展了无污染冶金的开创性工作。

二十几年来,我带领我的研究生开展资源绿色化、高附加值综合利用的研究。先后研究了钛氯化烟尘、废旧电池、废旧电路板、废旧液晶显示器、粉煤灰、煤矸石、红土镍矿、氧化铜矿、氧化锌矿、镍铜氧硫混合矿、高铁铝土矿、高硫铝土矿、赤泥、菱镁矿、长石矿、硼镁铁矿、硼泥、工厂烟气等的开发利用;研究新的工艺流程、相关的冶金理论、配套设备和工程;进行了放大试验或工业试验,有些实现了产业化。发表相关论文206篇,申请相关专利30项、授权专利14项。参加这些研究工作的有博士研究生24人、硕士研究生26人。在放大试验、工业试验和产业化过程中得到合作企业领导和员工的大力支持和全面配合,没有他们的支持和配合,这些工作是无法完成的。这些成果凝结了众多人的聪明才智和辛勤汗水,是大家努力的结果。在这里向所有参加过这些工作的人员表

示衷心的感谢!

2011年,中南大学出版社史海燕编辑约我写一本专著。在她的启发下我想到应该把我们多年的工作成果总结一下,写成一本书,与大家分享。于是我就申报了《绿色冶金——资源绿色化、高附加值综合利用》一书,并得到史海燕编辑的大力支持,后被列入中南大学出版社出版计划。经过三四年的努力,现在终于可以交稿了。

本书由我确定写作提纲和目录,具体撰写工作由我和我的学生申晓毅博士、王佳东博士、牟文宁博士、辛海霞博士、王伟博士、顾惠敏博士、宁志强博士、段华美博士负责。我和申晓毅博士、王佳东博士对初稿的各章内容进行了修改和补充,申晓毅博士和王佳东博士绘制了工艺流程图,王佳东博士绘制了设备连接图,申晓毅博士对各章节进行了校对,最后由我修改定稿。感谢中南大学出版社的大力支持!感谢史海燕编辑的热情帮助!

翟玉春

2015年1月6日于秦皇岛

目录

Contents

第 1 章 红土镍矿绿色化、高附加值综合利用	1
1.1 综述	1
1.1.1 资源概况	1
1.1.2 工业现状	2
1.2 硫酸法绿色化、高附加值综合利用红土镍矿	8
1.2.1 原料分析	8
1.2.2 化工原料	9
1.2.3 工艺流程	9
1.2.4 工序介绍	9
1.2.5 主要设备	13
1.2.6 设备连接图	14
1.3 硫酸铵法绿色化、高附加值综合利用红土镍矿	16
1.3.1 原料分析	16
1.3.2 化工原料	16
1.3.3 工艺流程	16
1.3.4 工序介绍	18
1.3.5 主要设备	20
1.3.6 设备连接图	22
1.4 碳酸钠法绿色化、高附加值综合利用红土镍矿	23
1.4.1 原料分析	23
1.4.2 化工原料	23
1.4.3 工艺流程	23
1.4.4 工序介绍	23
1.4.5 主要设备	27
1.4.6 设备连接图	29
1.5 产品分析	30
1.5.1 黄铵铁矾及分解氧化铁	30

1.5.2	粗氢氧化铝及提纯氢氧化铝	31
1.5.3	硫化镍	32
1.5.4	碱式碳酸镁	32
1.5.5	氢氧化镁	37
1.5.6	白炭黑	39
1.5.7	硅酸钙	40
1.5.8	氧化镍	40
1.5.9	镍铁合金	41
1.6	环境保护	41
1.6.1	主要污染源和主要污染物	41
1.6.2	污染治理措施	42
1.7	结语	43
第2章	氧硫混合镍矿绿色化、高附加值综合利用	47
2.1	综述	47
2.1.1	镍资源概况	47
2.1.2	硫化镍矿冶金工业现状	48
2.1.3	工艺技术	49
2.2	硫酸铵法绿色化、高附加值综合利用氧硫混合镍矿	54
2.2.1	原料分析	54
2.2.2	化工原料	55
2.2.3	工艺流程	55
2.2.4	工序介绍	55
2.2.5	主要设备	59
2.2.6	设备连接图	60
2.3	硫酸法绿色化、高附加值综合利用氧硫混合镍矿	62
2.3.1	原料分析	62
2.3.2	化工原料	62
2.3.3	工艺流程	62
2.3.4	工序介绍	62
2.3.5	主要设备	66
2.3.6	设备连接图	67
2.4	产品	69
2.4.1	硅酸钙	69
2.4.2	羟基氧化铁产品	69
2.4.3	硫化镍产品	70

2.4.4	氢氧化镁产品	70
2.4.5	碱式碳酸镁产品	72
2.5	环境保护	73
2.5.1	主要污染源和主要污染物	73
2.5.2	污染治理措施	74
2.6	结语	74
第3章	氧化锌矿绿色化、高附加值综合利用	77
3.1	综述	77
3.1.1	资源概况	77
3.1.2	工业现状	79
3.1.3	工艺技术	81
3.2	硫酸法绿色化、高附加值综合利用氧化锌矿	87
3.2.1	原料分析	87
3.2.2	化工原料	88
3.2.3	工艺流程	88
3.2.4	工序介绍	88
3.2.5	主要设备	92
3.2.6	设备连接图	93
3.3	硫酸铵法绿色化、高附加值综合利用氧化锌矿	95
3.3.1	原料分析	95
3.3.2	化工原料	95
3.3.3	工艺流程	95
3.3.4	工序介绍	95
3.3.5	主要设备	100
3.3.6	设备连接图	101
3.4	产品分析	101
3.4.1	羟基氧化铁	103
3.4.2	粗氢氧化铝	103
3.4.3	碱式碳酸锌及氧化锌	104
3.4.4	白炭黑	105
3.4.5	硅酸钙	106
3.4.6	氯化铅	107
3.4.7	碳酸锶	107
3.5	环境保护	108
3.5.1	主要污染源和主要污染物	108

3.5.2	污染治理措施	108
3.6	结语	109
第4章	氧化铜矿绿色化、高附加值综合利用	113
4.1	综述	113
4.1.1	资源概况	113
4.1.2	工业现状及工艺技术	116
4.2	硫酸法绿色化、高附加值综合利用氧化铜矿	119
4.2.1	原料分析	119
4.2.2	化工原料	120
4.2.3	工艺流程	120
4.2.4	工序介绍	122
4.2.5	主要设备	123
4.2.6	设备连接图	124
4.3	产品	126
4.3.1	羟基氧化铁	126
4.3.2	硅酸钙	127
4.3.3	氢氧化铝	127
4.3.4	水合碱式碳酸镁	128
4.3.5	氢氧化镁	130
4.4	环境保护	131
4.4.1	主要污染源和主要污染物	131
4.4.2	污染治理措施	132
4.5	结语	132
第5章	高铁铝土矿绿色化、高附加值综合利用	136
5.1	综述	136
5.1.1	资源概况	136
5.1.2	工艺技术	138
5.2	硫酸法绿色化、高附加值综合利用高铁铝土矿	141
5.2.1	原料分析	141
5.2.2	化工原料	143
5.2.3	工艺流程	143
5.2.4	工序介绍	143
5.2.5	主要设备	145
5.2.6	设备连接图	146

5.3	产品	146
5.3.1	氧化铝	148
5.3.2	硅酸钙	149
5.3.3	羟基氧化铁	149
5.4	环境保护	150
5.4.1	主要污染源和主要污染物	150
5.4.2	污染治理措施	150
5.5	结语	151
第6章	硼镁铁矿的绿色化、高附加值综合利用	156
6.1	综述	156
6.1.1	资源概况	156
6.1.2	硼矿的应用技术	160
6.2	硫酸法绿色化、高附加值综合利用硼镁铁矿	164
6.2.1	原料分析	164
6.2.2	化工原料	166
6.2.3	工艺流程	166
6.2.4	工艺介绍	166
6.2.5	主要设备	169
6.2.6	设备连接图	170
6.3	硫酸铵法清洁、高效综合利用硼镁铁矿的工艺流程	171
6.3.1	原料分析	171
6.3.2	化工原料	171
6.3.3	工艺流程	171
6.3.4	工序介绍	171
6.3.5	主要设备	174
6.3.6	设备连接图	175
6.4	碳酸钠法清洁、高效综合利用硼镁铁矿的工艺流程	177
6.4.1	原料分析	177
6.4.2	化工原料	177
6.4.3	工艺流程	177
6.4.4	工艺介绍	177
6.4.5	主要设备	180
6.4.6	设备连接图	180
6.5	产品分析	182
6.5.1	氧化镁	182

6.5.2	羟基氧化铁	183
6.5.3	硼酸	184
6.5.4	硅酸钙	185
6.5.5	碱式碳酸镁	185
6.6	环境保护	187
6.6.1	主要污染源和主要污染物	187
6.6.2	污染治理措施	187
6.7	结语	188
第7章	菱镁矿绿色化、高附加值综合利用	192
7.1	综述	192
7.1.1	世界菱镁矿资源概况	192
7.1.2	工业现状	194
7.2	硫酸铵法绿色化、高附加值综合利用低品位菱镁矿	199
7.2.1	原料分析	199
7.2.2	化工原料	200
7.2.3	工艺流程	200
7.2.4	工序介绍	200
7.2.5	主要设备	203
7.2.6	设备连接图	204
7.3	硫酸法清洁、高效综合利用低品位菱镁矿	204
7.3.1	原料分析	204
7.3.2	化工原料	204
7.3.3	工艺流程	206
7.3.4	工序介绍	207
7.3.5	主要设备	208
7.3.6	设备连接图	209
7.4	产品	210
7.4.1	七水硫酸镁	210
7.4.2	氢氧化镁	211
7.4.3	硅酸钙	212
7.4.4	羟基氧化铁	212
7.4.5	粗氢氧化铝	213
7.5	环境保护	213
7.5.1	主要污染物	213
7.5.2	污染治理措施	214

7.6 结语	215
第8章 粉煤灰的绿色化、高附加值综合利用	218
8.1 综述	218
8.1.1 资源概况	218
8.1.2 粉煤灰利用技术	220
8.2 硫酸法绿色化、高附加值综合利用粉煤灰	228
8.2.1 原料分析	228
8.2.2 化工原料	231
8.2.3 工艺流程	231
8.2.4 工序介绍	231
8.2.5 主要设备	234
8.2.6 设备连接图	235
8.3 预脱硅法绿色化、高附加值综合利用粉煤灰	235
8.3.1 原料分析	235
8.3.2 化工原料	235
8.3.3 工艺流程	235
8.3.4 工序介绍	238
8.3.5 主要设备	239
8.3.6 设备连接图	240
8.4 硫酸铵法绿色化、高附加值综合利用粉煤灰	240
8.4.1 原料分析	240
8.4.2 化工原料	240
8.4.3 工艺流程	240
8.4.4 工序介绍	242
8.4.5 主要设备	244
8.4.6 设备连接图	245
8.5 产品	247
8.5.1 白炭黑	247
8.5.2 氢氧化铝和氧化铝	248
8.5.3 硅酸钙	249
8.5.4 氢氧化铁	250
8.6 环境保护	251
8.6.1 主要污染源和主要污染物	251
8.6.2 污染治理措施	251
8.7 结语	252