

“十二五”国家重点图书

# 铅锌冶炼生产 技术手册

主编 王吉坤 副主编 冯桂林

Handbook of Lead and Zinc Smelting Production Technology



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

“十二五”国家重点图书

# 铅锌冶炼生产技术手册

主 编 王吉坤  
副主编 冯桂林

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2012

## 内 容 简 介

全书将过程理论与生产实践结合起来,突出“实用性和对比性”,包括基本理论、不同的工艺流程及其特色、主要设备维护与操作、资源循环和节能、安全环保等铅锌生产过程中的实用技术和数据图表,反映了铅锌冶炼方面的最新工艺、技术和发展方向,充分展示了我国在该领域的科研与生产技术水平的发展现状。

全书共分8篇,第1篇概论、第2篇铅锌矿的采矿与选矿、第3篇铅锌硫化精矿的脱硫焙烧与烧结焙烧、第4篇锌冶炼工艺技术、第5篇铅冶炼工艺技术、第6篇铅锌矿伴生资源的综合利用、第7篇铅锌二次资源的提取和产品延伸、第8篇铅锌冶金生产过程的环境治理与保护,此外,附录中列出了铅锌及主要伴生元素的热力学性质。

本书适合铅锌生产领域的生产、管理人员,冶金科研院所的科研人员,高校师生参考阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

铅锌冶炼生产技术手册/王吉坤主编. —北京:冶金工业出版社, 2012. 1

“十二五”国家重点图书

ISBN 978-7-5024-5586-6

I. ①铅… II. ①王… III. ①炼铅—技术手册 ②炼锌—技术手册 IV. ①TF81-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第231171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 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 李新 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5586-6

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012年1月第1版,2012年1月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;76.25印张;1848千字;1197页

280.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱: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)

# 《铅锌冶炼生产技术手册》

## 编辑委员会

主任：

董英（云南冶金集团股份有限公司）

副主任：

王吉坤（云南冶金集团股份有限公司）

编委会成员：（按姓名汉语拼音字母顺序排列）

柴立元（中南大学冶金科学与工程学院）

冯桂林（云南冶金集团股份有限公司）

郭天立（中冶葫芦岛有色金属集团有限公司）

蒋继穆（中国恩菲工程技术有限公司）

李卫峰（河南豫光金铅集团有限责任公司）

施哲（昆明理工大学冶金与热能工程学院）

谭学余（冶金工业出版社）

王辉（株洲冶炼集团股份有限公司）

王明辉（中冶葫芦岛有色金属集团有限公司）

王忠实（中国恩菲工程技术有限公司）

许冬云（西部矿业股份有限公司铅业分公司）

杨焕文（中国有色金属学会）

赵国权（北京有色金属研究总院）

张鸿烈（白银有色集团股份有限公司西北铅锌冶炼厂）

张伟建（中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂）

翟秀静（东北大学材料与冶金学院）

# 《铅锌冶炼生产技术手册》

## 编审委员会

主 编：王吉坤

副 主 编：冯桂林

编写人员：（按姓名汉语拼音字母顺序排列）

包崇军	蔡 文	柴立元	陈军辉	陈为亮
窦传龙	冯桂林	符 岩	高富娥	郭天立
何蔼平	贾著红	蒋荣生	李斌川	李德磊
李 贵	李国伟	李 衡	罗虎成	罗永光
闵小波	彭 兵	王吉坤	王积瑶	王新文
王远文	王云燕	未立清	肖 康	许冬云
严小陵	杨大锦	杨 明	杨士跃	翟秀静
张敬奇	张文红	赵国权	周廷熙	朱 威
朱祖泽				

审稿人员：（按姓名汉语拼音字母顺序排列）

陈孝华	冯桂林	郭森魁	何蔼平	唐 荣
王吉坤	朱祖泽			

# 《铅锌冶炼生产技术手册》

## 参编单位

**牵头单位：**云南冶金集团股份有限公司

**参编单位：**（按汉语拼音字母顺序排列）

北京有色金属研究总院

白银有色集团股份有限公司西北铅锌冶炼厂

东北大学材料与冶金学院

河南豫光金铅集团有限责任公司

昆明理工大学冶金与热能工程学院

西部矿业股份有限公司铅业分公司

中国恩菲工程技术有限公司

中国有色金属学会

中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂

中南大学冶金科学与工程学院

中冶葫芦岛有色金属集团有限公司

株洲冶炼集团股份有限公司

# 前 言

\*\*\*\*\*

20世纪90年代以来,我国铅锌冶炼技术迅速发展,自主创新和技术引进相结合,使我国已成为世界铅、锌的生产大国。2005年,为了系统总结铅锌冶金领域所取得的丰硕成就,更好地推广前沿成果,促进有关生产水平的提高,为我国有色工业的持续健康发展提供有益借鉴,冶金工业出版社在广泛征求有关专家和行业人员的意见后,计划出版《铅锌冶炼生产技术手册》。

冶金工业出版社委托云南冶金集团股份有限公司作为牵头组织单位,邀请国内铅锌冶炼的骨干企业、大专院校和科研单位的专家和工程技术人员共同参与编写《铅锌冶炼生产技术手册》(以下简称《手册》)。《手册》以铅锌生产第一线的工程技术人员为主要读者对象,将过程理论与生产实践结合起来,突出“实用性和对比性”,内容包括基本理论、不同的工艺流程及其特色、主要设备维护与操作、资源循环和节能、安全环保等铅锌生产过程中的实用技术和数据图表,反映了铅锌冶炼方面的最新工艺、技术和发展方向,充分展示了我国在该领域的科研与生产技术水平的发展现状。

在参编单位大力支持下,通过全体参编人员的共同努力,《手册》的编写历时近5年。对于《手册》的编写,需要说明以下几点:

(1)本《手册》是“工具书”的创新形式,主要从“技术”的层面上对铅锌冶炼生产过程进行论述。编者根据指导生产过程的原则,收集、归纳整理了必要的资料、数据,但不求包罗万象;对过程化学原理和物理作用进行简略介绍,但不作深入的理论分析;用较多的篇幅介绍了生产过程的实践。希望能为一线工程技术人员指导生产实践提供借鉴和参考。

(2)由于各篇章分别由各参编单位独立撰写,部分内容不可避免有所重复。但为反映有关企业和工艺过程的特点,同时考虑方便读者在查阅相关内容时保持系统性和完整性,除有十分必要,不作大的删改。《手册》所列部分涉及资源储量、产能、产量的统计数据不完全一致,是由于编写者采用资料的来源及统计口径不尽相同所致。

(3) 《手册》作为生产一线工程技术人员的工具书，为方便使用，书中的温度单位除涉及热力学的数据采用“开”式温标(K)外，其余全部采用摄氏温度(℃)。

(4) 为尊重参编撰写者的著作权以及“文责自负”的原则，《手册》在每位参编者负责撰写部分的末尾都特别标出了以上段落撰写者的姓名。

(5) 《手册》编写的宗旨是总结我国铅锌冶金工艺技术发展的现状，以满足生产第一线工程技术人员工作需要。为此，编者力图在其中反映我国相关领域技术发展的最新成果。但是，我国铅锌冶金技术的发展日新月异，就在《手册》编写过程中，一系列引进或自主开发的铅锌冶金先进工艺技术相继投产或建设，其中株洲冶炼集团股份有限公司引进芬兰奥托昆普公司的100kt/a硫化锌精矿常压富氧直接浸出工艺、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司丹霞冶炼厂引进加拿大Dynatec公司100kt/a电锌氧压酸浸工艺、云南锡业集团(控股)有限责任公司引进澳大利亚奥图泰奥斯麦特公司的100kt/a奥斯麦特炼铅工艺等相继建成投产；中国恩菲工程技术有限公司与济源金利冶炼有限责任公司联合研发的“熔融铅氧化渣侧吹还原技术”及河南豫光金铅集团有限责任公司研究开发的“液态高铅渣直接还原技术”应用于工业生产；北京矿冶研究总院与灵宝市华宝产业有限责任公司合作研究开发的铅富氧闪速熔炼(HUAS闪速炼铅法)试生产获得成功，等等。这些先进工艺技术的相关内容均未能进入《手册》，不能不算是一个“遗憾”。

《手册》作为一种工具书，编写者辑录了大量资料。在此，谨代表参与《手册》编写的编撰者对所采用资料的原作者致以诚挚的谢意。在《手册》编写过程中，始终得到了云南冶金集团股份有限公司等所有参编单位的大力支持和帮助，编委会的各位专家学者对《手册》的谋篇布局、大纲审定、落实编写人员等方面都给予了极为重要的指导和帮助，中国有色金属学会重冶金学术委员会尉克俭、陈莉也提供了许多非常宝贵的建议，对此一并表示诚挚的谢意。

承蒙中国工程院邱定蕃院士和戴永年资深院士推荐，《手册》被选列为“十二五”国家重点图书，特代表全体编写者向两位院士致以衷心谢意。

受编写组人员的水平所限，不当之处在所难免，尚祈广大读者、专家不吝赐教，给予指正。

编 者

2010年12月于昆明



# 目 录

\*\*\*\*\*

## 第1篇 概 论

引 言 .....	1	2.3.2 铅的消费 .....	28
<b>1 铅锌和主要伴生元素及其化合物的性质</b> .....	<b>4</b>	<b>3 铅锌资源</b> .....	<b>30</b>
1.1 铅及其化合物的性质 .....	4	3.1 铅锌矿石与矿物 .....	30
1.1.1 铅的物理性质 .....	4	3.2 世界铅锌矿产资源状况 .....	32
1.1.2 铅的化学性质 .....	4	3.2.1 世界铅锌的储量和储量基础 .....	32
1.1.3 铅的化合物及其性质 .....	5	3.2.2 世界铅锌资源的分布 .....	34
1.2 锌及其化合物的性质 .....	5	3.2.3 世界铅锌矿的主要类型和重要铅锌矿床 .....	36
1.2.1 锌的物理性质 .....	5	3.3 我国铅锌矿产资源状况 .....	39
1.2.2 锌的化学性质 .....	6	3.3.1 我国的铅锌储量与资源分布 .....	39
1.2.3 锌的化合物及其性质 .....	6	3.3.2 我国铅锌资源的特点 .....	40
1.3 铅锌矿中重要伴生元素及其化合物的性质 .....	7	3.3.3 我国铅锌资源开发利用现状 .....	41
1.3.1 铅锌矿中重要的伴生元素 .....	7	3.4 二次铅锌资源的开发利用 .....	42
1.3.2 伴生元素的物理性质 .....	10	3.4.1 二次铅资源的开发利用 .....	42
1.3.3 伴生元素及其化合物的化学性质 .....	10	3.4.2 二次锌资源的开发利用 .....	44
<b>2 铅锌的应用、生产与消费</b> .....	<b>21</b>	<b>4 铅锌冶金的主要原料、主要产品及有关质量标准</b> .....	<b>46</b>
2.1 铅锌的应用领域及主要用途 .....	21	4.1 铅锌冶金原料及相关质量标准 .....	46
2.1.1 锌的应用领域及主要用途 .....	21	4.1.1 铅冶金原料及质量标准 .....	46
2.1.2 铅的应用领域及主要用途 .....	23	4.1.2 锌冶金原料及质量标准 .....	48
2.2 世界与中国的铅锌的生产量 .....	24	4.2 铅锌冶金产品及相关质量标准 .....	48
2.2.1 锌的生产 .....	24	4.2.1 铅冶金产品及质量标准 .....	48
2.2.2 铅的生产 .....	26		
2.3 世界与中国的铅锌消费量 .....	27		
2.3.1 锌的消费 .....	27		

4.2.2 锌冶金产品及质量标准	49	5.5.1 烧结焙烧-鼓风机还原熔炼法	70
4.3 铅锌延伸加工的主要产品及 相关质量标准	53	5.5.2 Kivcet 直接炼铅法	73
4.3.1 锌的延伸加工产品	53	5.5.3 QSL 直接炼铅法	73
4.3.2 铅及铅合金加工产品	55	5.5.4 富氧顶吹直接炼铅法	74
5 铅锌生产方法概述	60	5.5.5 Kaldo 直接炼铅法	74
5.1 铅锌冶金发展史略	60	5.5.6 沉淀熔炼法	74
5.2 锌冶炼方法	61	5.5.7 加碱熔炼法	75
5.2.1 火法炼锌	61	5.5.8 湿法炼铅	75
5.2.2 湿法炼锌	65	5.6 我国铅冶金技术现状	76
5.3 我国锌冶金技术现状	67	5.6.1 我国铅冶金技术现状	76
5.3.1 我国锌冶金技术现状与 进展	67	5.6.2 我国铅冶金技术与国外的 差距	76
5.3.2 我国锌冶金技术与国外的 差距	69	5.7 铅冶金技术的发展动向	76
5.4 锌冶金技术的发展动向	69	5.7.1 火法炼铅	76
5.5 铅冶炼方法	70	5.7.2 铅精炼工艺	78
		5.7.3 再生铅的冶炼	78
		参考文献	79

## 第2篇 铅锌矿的采矿与选矿

6 铅锌矿床	81	7.1.1 世界铅锌资源蕴藏	87
6.1 铅锌的矿床类型	81	7.1.2 世界铅锌矿山现状	88
6.1.1 矽卡岩型	81	7.1.3 国内铅锌资源	90
6.1.2 变质岩中热液充填型	84	7.2 矿床成因概述	91
6.1.3 陆相火山岩型	84	7.2.1 混浆源热液系铅锌矿床	91
6.1.4 次火山—斑岩型	84	7.2.2 岩壳源层控系铅锌矿床	93
6.1.5 海相火山岩黄铁矿型	84	7.2.3 幔浆源火山系铅锌矿床	95
6.1.6 碳酸盐岩中沉积改造型	84	7.2.4 混合源断裂系铅锌矿床	96
6.1.7 泥岩—细碎屑岩中沉积 改造型	85	7.2.5 岩壳源沉积系铅锌矿床	97
6.1.8 砂砾岩中沉积改造型	85	7.2.6 矿床特征	97
6.2 铅、锌矿石的类型	85	7.3 铅锌矿开采	100
6.2.1 按氧化程度分类	85	7.3.1 露天开采概述	101
6.2.2 按有用组分分类	85	7.3.2 地下开采概述	107
7 铅锌矿的采矿	87	7.3.3 国外铅锌矿开采	120
7.1 概述	87	7.3.4 国内铅锌矿开采	125
		7.4 采矿技术发展方向	128
		7.4.1 地下矿山采矿技术	129

7.4.2 露天矿·····	136	8.4.3 硫化铜锌矿的浮选分离·····	182
<b>8 铅锌选矿·····</b>	<b>139</b>	8.4.4 硫化铜铅锌矿的浮选 分离·····	183
8.1 铅锌多金属矿石工艺矿物学 特性综述·····	139	8.5 氧化铅锌矿石的选矿方法·····	187
8.1.1 铅锌矿石的矿物组成 概况·····	140	8.5.1 铅锌硫化矿与氧化矿顺序 浮选流程·····	187
8.1.2 铅锌矿石中有价元素的 赋存状态概况·····	141	8.5.2 硫化矿和氧化矿分别混合 浮选的流程·····	188
8.1.3 矿石中矿物的嵌布 状态·····	142	8.5.3 铅、锌硫化矿和氧化矿 混合浮选·····	188
8.2 铅锌矿石分选主过程的工艺、 流程与设备·····	142	8.5.4 重介质预选—威尔兹法— 密闭鼓风机·····	188
8.2.1 铅锌矿石的配矿和碎磨 工艺及设备·····	142	8.5.5 热化学处理—浮选法·····	188
8.2.2 铅锌矿石的预选抛废 工艺和设备·····	144	8.6 复杂铅锌矿的联合处理 方法·····	189
8.2.3 铅锌矿选厂的浮选设备 及其展望·····	149	8.6.1 复杂硫化矿的选冶联合 处理方法·····	189
8.2.4 铅锌及其多金属矿的浮选 原则流程·····	152	8.6.2 难选氧化铅锌矿的联合 处理方法·····	191
8.2.5 铅锌矿选厂精矿的脱水 工艺与设备·····	157	8.7 铅锌矿选矿厂的综合利用、 环保与自控·····	193
8.3 硫化及氧化铅锌矿物的浮选 行为特性·····	158	8.7.1 铅锌矿产资源的综合开发 利用·····	193
8.3.1 方铅矿的浮选行为与 特性·····	159	8.7.2 铅锌矿产资源中银的综合 回收·····	194
8.3.2 闪锌矿的浮选行为与 特性·····	164	8.7.3 铅锌矿产资源中锗的综合 回收·····	199
8.3.3 氧化铅矿的浮选行为·····	170	8.7.4 铅锌矿选矿厂的环境 保护·····	201
8.3.4 氧化锌矿的浮选行为·····	173	8.7.5 铅锌矿选厂的自动化检测 与控制·····	206
8.3.5 硫化铅锌矿捕收剂·····	176	8.8 铅锌矿选厂实例·····	208
8.3.6 氧化铅锌矿捕收剂·····	178	8.8.1 硫化铅锌矿选厂实例·····	208
8.4 铅锌多金属硫化矿的浮选分离 方法·····	179	8.8.2 硫化铜铅锌矿选厂 实例·····	214
8.4.1 铅锌及其多金属硫化矿的 可选性分析·····	179	8.8.3 氧化(混合)铅锌矿选厂 实例·····	217
8.4.2 硫化铅锌矿的浮选分离·····	180	参考文献·····	225

### 第3篇 铅锌硫化精矿的脱硫焙烧与烧结焙烧

9 铅锌硫化精矿焙烧与烧结的理论基础.....	227	10.4 沸腾炉操作条件控制与调节 .....	253
9.1 焙烧与烧结的目的与要求 .....	227	10.4.1 鼓风压力与鼓风量 .....	253
9.2 金属硫化物氧化生成氧化物的理论基础.....	228	10.4.2 焙烧温度和空气过剩系数控制 .....	254
9.2.1 金属硫化物氧化的热力学条件 .....	228	10.4.3 原料成分和粒度控制 .....	256
9.2.2 ZnS 氧化的热力学 .....	229	10.5 特殊操作及故障处理 .....	258
9.3 金属硫化物氧化生成硫酸盐的热力学条件.....	231	10.5.1 烘炉 .....	258
9.4 铅、锌硫化物氧化过程的动力学.....	232	10.5.2 开炉 .....	258
9.5 焙烧时其他成分的行为 .....	234	10.5.3 停炉 .....	259
9.5.1 铁的硫化物在焙烧过程中的变化 .....	234	10.5.4 事故及处理 .....	259
9.5.2 镉的硫化物在焙烧过程中的变化 .....	236	10.6 焙烧矿质量及焙烧主要技术经济指标 .....	260
9.5.3 其他硫化物在焙烧过程中的变化 .....	237	10.6.1 焙烧矿的质量要求 .....	260
9.5.4 SiO <sub>2</sub> 和 CaO 等脉石矿物在焙烧过程中的变化 .....	238	10.6.2 主要技术经济指标 .....	261
10 硫化锌精矿的沸腾焙烧 .....	241	11 硫化精矿的烧结焙烧 .....	263
10.1 流态化原理 .....	242	11.1 烧结焙烧的炉料及配料 .....	263
10.2 沸腾炉的结构性能及主要技术参数 .....	243	11.1.1 炉料 .....	263
10.2.1 沸腾炉的结构性能 .....	243	11.1.2 配料及其方法 .....	266
10.2.2 沸腾焙烧主要技术参数的确定 .....	246	11.2 烧结返粉的制备 .....	268
10.3 沸腾焙烧工艺过程及参数 .....	249	11.3 烧结炉料的制粒 .....	269
10.3.1 锌精矿的干燥与沸腾炉的加料 .....	249	11.4 铅锌精矿烧结焙烧 .....	272
10.3.2 焙砂的排出与冷却 .....	251	11.4.1 带式烧结机 .....	272
10.3.3 烟气冷却与收尘 .....	252	11.4.2 烧结焙烧工艺 .....	273
		11.5 烧结焙烧产物与金属分布 .....	277
		11.5.1 烧结焙烧产物 .....	277
		11.5.2 烧结过程中各元素分布 .....	278
		11.6 铅锌精矿烧结焙烧的生产操作 .....	280
		11.6.1 正常操作控制与调整 .....	280
		11.6.2 非正常操作控制与调整 .....	281
		11.7 烧结焙烧的量平衡关系 .....	282
		11.8 烧结焙烧过程的技术经济指标 .....	284
		11.9 烧结焙烧的改进与发展 .....	286

11.9.1 单纯鼓风烧结 .....	286	11.9.4 富氧鼓风烧结主要技术 经济指标 .....	290
11.9.2 鼓风返烟烧结 .....	287	参考文献 .....	292
11.9.3 富氧鼓风烧结 .....	289		

## 第4篇 锌冶炼工艺技术

<b>12 湿法炼锌</b> .....	293	生产实践 .....	506
12.1 湿法冶金提取锌的浸出 过程 .....	293	12.4 硫酸锌的电解沉积 .....	511
12.1.1 锌焙烧矿的浸出 .....	294	12.4.1 概述 .....	511
12.1.2 氧化锌矿直接浸出 .....	351	12.4.2 硫酸锌溶液电积过程中的 电极反应 .....	514
12.1.3 工业锌氧粉和含锌烟尘的 浸出 .....	361	12.4.3 电锌产品的质量与杂质在 电积过程中行为的关系 .....	530
12.1.4 炼铁高炉瓦斯泥的处理 .....	368	12.4.4 锌电积过程的电流密度、 电流效率、槽电压和电能 效率 .....	538
12.1.5 浸出作业的主要设备 .....	370	12.4.5 锌电积的电能消耗 .....	552
12.1.6 浸出作业的操作控制 .....	379	12.4.6 锌电积的主要设备 .....	553
12.1.7 硫化锌精矿直接加压 酸浸工艺 .....	400	12.4.7 锌电积过程的操作与 控制 .....	570
12.2 浸出矿浆的液固分离 .....	427	12.4.8 锌电积的技术操作条件及 技术经济指标分析 .....	576
12.2.1 浸出矿浆的沉降浓缩 .....	427	12.4.9 驰宏公司长周期锌电积 生产实践 .....	579
12.2.2 浸出矿浆的过滤 .....	433	12.4.10 阴极锌片的熔铸 .....	585
12.3 锌湿法冶炼浸出液的净化 .....	446	12.5 湿法炼锌净化用锌粉的 制造 .....	594
12.3.1 浸出液的成分及电积过程 对硫酸锌溶液中各组分 含量的要求 .....	446	12.5.1 熔融锌喷雾法制造锌粉 .....	595
12.3.2 从硫酸锌溶液中除去 有害组分的方法 .....	448	12.5.2 埋弧电炉熔炼法制造 超细活性合金锌粉 .....	597
12.3.3 中性浸出过程中杂质的 净化 .....	462	<b>13 火法炼锌工艺技术</b> .....	603
12.3.4 锌粉置换法净化中性 浸出液的生产实践 .....	465	13.1 火法炼锌的基本原理 .....	603
12.3.5 净化过程的主要设备 .....	478	13.1.1 氧化锌的还原 .....	604
12.3.6 净化作业的操作和控制 .....	487	13.1.2 锌蒸气的冷凝 .....	616
12.3.7 净化过程的主要技术 经济指标 .....	503	13.2 竖罐炼锌 .....	625
12.3.8 置换净化的安全问题 .....	505	13.2.1 锌焙烧矿中各组分在蒸馏 过程中的行为 .....	625
12.3.9 驰宏公司溶液深度净化			

13.2.2 团矿制备 .....	627	13.4.1 粗锌精馏的基本原理 .....	696
13.2.3 竖罐蒸馏 .....	636	13.4.2 锌精馏塔及其附属设备的 构造与应用 .....	698
13.2.4 国内外竖罐炼锌的发展 .....	655	13.4.3 粗锌精馏作业正常操作 条件的控制与调整 .....	703
13.3 密闭鼓风炉炼锌 .....	656	13.4.4 特殊操作与故障处理 .....	709
13.3.1 鼓风炉炼锌的化学过程 .....	657	13.4.5 精馏过程中间产品的 处理 .....	715
13.3.2 炼锌鼓风炉炉内发生的 其他化学变化 .....	662	13.4.6 产品质量与技术经济 指标分析 .....	719
13.3.3 鼓风炉内锌蒸气的冷凝 .....	663	13.4.7 锌精馏炉的改进及锌精馏 工艺的发展方向 .....	720
13.3.4 鼓风炉炼锌的生产实践 .....	665	13.5 国内火法炼锌典型生产案例 .....	722
13.3.5 鼓风炉炼锌的技术经济 指标 .....	684	13.5.1 葫芦岛锌业股份有限公司 ..	722
13.3.6 鼓风炉炼锌的物料平衡及 资源充分利用 .....	686	13.5.2 韶关冶炼厂 .....	727
13.3.7 鼓风炉炼锌的热平衡及 能耗分析 .....	690	参考文献 .....	732
13.4 粗锌的精炼 .....	695		

## 第5篇 铅冶炼工艺技术

14 铅鼓风炉熔炼过程的基本原理 .....	735	15.2 椅形水套炼铅鼓风炉 .....	754
14.1 硫化铅精矿传统熔炼的 原则流程 .....	735	15.3 鼓风炉炼铅过程的强化 .....	757
14.2 铅还原熔炼过程的基本原理 .....	736	15.3.1 预热空气与富氧鼓风在鼓风炉 炼铅过程中的应用 .....	757
14.2.1 还原反应的热力学基础 .....	736	15.3.2 喷吹粉煤强化冶金过程在 鼓风炉炼铅过程中的研究 与应用 .....	758
14.2.2 氧化铅还原的热力学 .....	738	15.4 鼓风炉还原熔炼工艺在直接炼铅 新技术中的发展应用 .....	760
14.2.3 复杂体系中铅化合物的 还原过程热力学 .....	739	15.4.1 鼓风炉还原熔炼在直接炼铅 新技术中的应用开发 .....	760
14.2.4 铅烧结块中各种组分在 熔炼过程中的行为 .....	742	15.4.2 鼓风炉熔炼高铅渣和 烧结块的差别 .....	760
14.2.5 铅还原熔炼过程的动力学 ..	744	16 硫化铅精矿的直接冶炼 .....	763
14.2.6 炼铅鼓风炉内的主要 熔炼过程 .....	745	16.1 硫化铅精矿直接冶炼的基本 原理 .....	763
14.2.7 鼓风炉炼铅的炉渣 .....	746	16.1.1 金属硫化物氧化生成金属的 热力学条件 .....	763
15 铅鼓风炉还原熔炼 .....	753		
15.1 传统铅烧结块还原熔炼 鼓风炉 .....	753		

- 16.1.2 硫化物与硫酸盐相互反应的热力学条件 ..... 768
- 16.1.3 直接熔炼过程中的传输现象 ..... 769
- 16.2 氧气底吹直接炼铅法 ..... 773
- 16.2.1 直接炼铅的底吹方法 ..... 773
- 16.2.2 氧气底吹熔炼—鼓风机还原炼铅工艺及其特点 ..... 773
- 16.2.3 氧气底吹熔炼工艺及其控制 ..... 775
- 16.2.4 氧气底吹炉熔炼操作实践 ..... 778
- 16.2.5 氧气底吹熔炼高铅渣的处理 ..... 779
- 16.2.6 氧气底吹熔炼—鼓风机还原高铅渣工艺的配料计算 ..... 782
- 16.2.7 氧气底吹熔炼—鼓风机还原高铅渣工艺的技术经济指标 ..... 784
- 16.3 顶吹沉没熔炼直接炼铅法 ..... 784
- 16.3.1 顶吹沉没熔炼概况 ..... 784
- 16.3.2 顶吹沉没熔炼直接炼铅过程 ..... 787
- 16.3.3 顶吹沉没熔炼炉与喷枪 ..... 790
- 16.3.4 顶吹熔炼主要操作控制 ..... 794
- 16.3.5 顶吹沉没熔炼的常见问题 ..... 797
- 16.3.6 富氧顶吹沉没熔池熔炼直接炼铅技术的发展——ISA-YMG 炼铅工艺 ..... 798
- 16.4 氧气顶吹卡尔多转炉直接炼铅法 ..... 804
- 16.4.1 卡尔多炉炼铅工艺及特点 ..... 805
- 16.4.2 卡尔多炉结构 ..... 810
- 16.4.3 技术指标及影响因素 ..... 812
- 16.5 基夫赛特直接炼铅法 ..... 816
- 16.5.1 基夫赛特法工艺过程的特点 ..... 817
- 16.5.2 基夫赛特熔炼炉的结构 ..... 818
- 16.5.3 基夫赛特法工艺的工业应用及技术经济指标 ..... 819
- 16.6 奥托昆普闪速炼铅工艺 ..... 823
- 16.6.1 闪速熔炼工艺的特点 ..... 823
- 16.6.2 奥托昆普闪速炼铅工艺 ..... 826
- 16.7 QSL 炼铅工艺 ..... 829
- 16.7.1 QSL 工艺的研发与改进过程 ..... 829
- 16.7.2 QSL 熔炼炉的结构 ..... 830
- 16.7.3 QSL 工艺的工业应用情况 ..... 832
- 16.8 国内直接炼铅新工艺的研究与发展动向 ..... 834
- 16.8.1 氧气侧吹熔池熔炼直接炼铅工艺 ..... 834
- 16.8.2 CYMG 铅闪速熔炼工艺 ..... 836
- 17 湿法炼铅技术 ..... 840
- 17.1 概述 ..... 840
- 17.2 矿浆电解法 ..... 841
- 17.2.1 矿浆电解法的工艺 ..... 842
- 17.2.2 铅矿浆电解的几个研究实例 ..... 844
- 17.2.3 矿浆电解工艺的优缺点 ..... 846
- 17.3  $\text{FeCl}_3$  浸出法 ..... 846
- 17.3.1  $\text{FeCl}_3$  浸出工艺 ..... 846
- 17.3.2 作业过程、控制条件及指标 ..... 848
- 17.4 硅氟酸浸出法 ..... 849
- 17.4.1 工艺流程 ..... 849
- 17.4.2 硅氟酸浸出法的主要反应 ..... 850
- 17.4.3 作业过程 ..... 850
- 17.4.4 硅氟酸浸出法优缺点 ..... 851
- 17.5 固相转化法 ..... 851

17.5.1 固相转化-浮选-氯化铅 隔膜电解法 .....	851	19.3.4 电解液的循环 .....	871
17.5.2 碳酸铵转化法 .....	855	19.3.5 添加剂 .....	871
17.6 弗鲁伯 (FLUBOR) 法 .....	857	19.3.6 同极距 .....	872
17.6.1 弗鲁伯法的工艺流程 .....	857	19.3.7 阴极周期和阳极寿命 .....	872
17.6.2 弗鲁伯法的主要反应 .....	857	19.3.8 电解槽清理周期 .....	872
17.6.3 作业过程和主要技术 条件 .....	858	19.4 铅电解的生产实践 .....	872
17.6.4 弗鲁伯法的特点与 优缺点 .....	859	19.4.1 电解液与阴、阳极的 制备 .....	872
18 粗铅火法精炼 .....	860	19.4.2 电解精炼工艺过程的技术 条件及控制 .....	876
18.1 概述 .....	860	19.4.3 粗铅电解精炼的工艺 设备 .....	886
18.2 粗铅火法精炼的应用现状 .....	864	19.4.4 铅电解精炼过程的技术 经济指标和最优化措施 .....	890
19 粗铅电解精炼 .....	865	19.5 大极板、长周期铅电解精炼 技术的开发与生产实践 .....	895
19.1 概述 .....	865	19.5.1 工艺流程及主要生产 过程 .....	896
19.2 铅电解精炼的基本原理 .....	866	19.5.2 主要生产设备 .....	899
19.2.1 阳极过程 .....	866	19.5.3 大极板、长周期铅电解精炼 工艺控制 .....	902
19.2.2 阴极过程 .....	869	19.5.4 大极板、长周期铅电解精炼 主要技术经济指标 .....	905
19.3 铅电解精炼过程技术条件的 控制 .....	870	19.5.5 产品质量 .....	906
19.3.1 电流密度 .....	870	参考文献 .....	907
19.3.2 电解液成分 .....	870		
19.3.3 电解液温度 .....	870		

## 第6篇 铅锌矿伴生资源的综合利用

20 铅锌矿共、伴生有价金属的 综合利用概述 .....	909	21 铅锌冶炼过程中钢的提取 .....	915
20.1 铅锌矿石中的共、伴生组分 .....	909	21.1 铅冶炼过程中钢的分布与 富集 .....	915
20.2 铅锌矿石中共伴生组分的 综合利用途径概述 .....	910	21.1.1 硫化铅精矿熔炼与精炼过程 中钢的分布与富集 .....	915
20.2.1 选矿方法分离共、伴生 组分 .....	910	21.1.2 氧化铅矿熔炼与精炼过程中 钢的分布与富集 .....	916
20.2.2 铅锌冶炼过程中伴生 金属的分布途径 .....	912	21.1.3 铅锑精矿冶炼过程中钢的 分布与富集 .....	916



21.1.4 熔池熔炼过程中铜的分布 .....	916	<b>23 铅锌冶炼过程中镉的提取</b> .....	961
21.2 铅精矿冶炼过程中铜的回收 .....	916	23.1 铅锌火法冶炼过程中铜的富集与提取 .....	961
21.2.1 从硫化铅精矿熔炼炉渣中提取铜 .....	916	23.1.1 从铅锌冶炼烟尘中富集与提取镉的富集物料 .....	961
21.2.2 从粗铅精炼浮渣中提取铜 .....	916	23.1.2 从铅锌冶炼烟尘中提取镉的方法 .....	961
21.2.3 从氧化矿鼓风炉熔炼烟尘中提取铜 .....	919	23.2 湿法炼锌过程中镉的富集与提取 .....	965
21.2.4 从铅锑精矿鼓风炉熔炼烟尘中提取铜 .....	920	23.2.1 从铜镉渣中用电积法生产镉 .....	965
21.3 锌冶炼过程中铜的富集与提取物料 .....	922	23.2.2 湿法生产海绵镉-火法精炼工艺 .....	967
21.3.1 火法炼锌过程中铜的富集与提取物料 .....	922	<b>24 铅锌冶炼过程中金银的提取</b> .....	970
21.3.2 湿法炼锌过程中铜的分布与富集 .....	923	24.1 铅冶炼过程中金银的提取 .....	970
21.4 锌精矿冶炼过程中铜的回收 .....	924	24.1.1 铅冶炼过程中金银的分布与富集 .....	970
21.4.1 从火法炼锌过程中铜的富集物提取铜 .....	924	24.1.2 铅阳极泥中金银的提取 .....	970
21.4.2 从湿法炼锌过程中铜的富集物提取铜 .....	932	24.2 锌浸出渣中银的富集与回收 .....	978
<b>22 铅锌冶炼过程中锗的提取</b> .....	946	24.2.1 锌浸出渣返回铅熔炼系统 .....	978
22.1 铅锌冶炼过程中锗的分布与富集物 .....	946	24.2.2 锌浸出渣浮选回收银 .....	978
22.1.1 铅锌火法冶炼过程中锗的分布与富集 .....	946	<b>25 铅锌冶炼过程中其他元素的回收</b> .....	979
22.1.2 湿法炼锌过程中锗的分布 .....	948	25.1 湿法炼锌过程中钴的回收 .....	979
22.2 铅锌冶炼过程中锗的提取 .....	949	25.1.1 湿法炼锌过程中钴分布与富集 .....	979
22.2.1 从铅锌火法冶炼过程产物中提取锗 .....	949	25.1.2 从黄药钴渣中回收钴 .....	979
22.2.2 从硫化锌精矿湿法冶炼过程中的富集物回收锗 .....	953	25.2 锌精矿焙烧或烧结过程中汞的回收 .....	982
22.2.3 国内外典型锌锗生产工艺流程 .....	956	25.2.1 锌精矿焙烧或烧结烟气中的汞 .....	982
		25.2.2 从烟气中除汞与回收的方法 .....	983
		<b>26 铅锌矿中硫资源的利用</b> .....	986
		26.1 铅烧结过程中低 SO <sub>2</sub> 浓度	