

重有色金属冶金工厂技术培训教材

中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织编写

# ZINC METALLURGY

丛书主编 彭容秋

# 锌冶金



中南大学出版社

Zn

重有色金属冶金工厂技术培训教材

丛书主编 彭容秋

# ZINC METALLURGY

# 锌冶金

中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织编写



中南大学出版社

---

**图书在版编目(CIP)数据**

锌冶金/彭容秋主编. —长沙:中南大学出版社,  
2005. 11

ISBN 7-81105-141-9

I. 锌... II. 彭... III. 炼锌 IV. TF813

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 136760 号

---

**锌 冶 金**

彭容秋 主编

中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织编写

---

☐ 责任编辑 李宗柏

☐ 责任印制 汤庶平

☐ 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:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐ 印 装 中南大学湘雅印刷厂

---

☐ 开 本 787 × 1092 1/16 ☐ 印张 16.25 ☐ 字数 396 千字

☐ 版 次 2005 年 11 月第 1 版 ☐ 2005 年 11 月第 1 次印刷

☐ 书 号 ISBN 7 - 81105 - 141 - 9/TO · 006

☐ 定 价 22.00 元

---

图书出现印装问题,请与经销商调换

## 《重有色金属冶金工厂技术培训丛书》编委会

主 任 张兆祥

副主任 (按姓氏笔画排序)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王一滔 | 王洪江 | 安 本 | 李沛兴 | 何云辉 | 吴吉孟 |
| 杨安国 | 张伟健 | 罗忠民 | 林升叨 | 贺家齐 | 侯宝泉 |
| 葛启录 |     |     |     |     |     |

主 编 彭容秋

副主编 任鸿九 张训鹏

编 委 (按姓氏笔画排序)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马 进 | 于晓霞 | 王一滔 | 文丕忠 | 王守彬 | 王洪江 |
| 王彦坤 | 王建铭 | 王盛琪 | 孔祥征 | 龙运炳 | 叶际宣 |
| 刘中华 | 刘华文 | 江晓武 | 安 本 | 李沛兴 | 李仲文 |
| 李维群 | 李景峰 | 朴东鹤 | 孙中森 | 任鸿九 | 许永武 |
| 宋兴诚 | 汪友元 | 肖 琿 | 陈 进 | 陈 莉 | 陈忠和 |
| 何云辉 | 何蔼平 | 吴吉孟 | 沈立俊 | 余忠珠 | 周 俊 |
| 林升叨 | 杨安国 | 杨 龙 | 杨小琴 | 张卫国 | 张伟健 |
| 张顺应 | 张训鹏 | 张兆祥 | 罗忠民 | 宝国锋 | 苗立强 |
| 姚素平 | 赵文厚 | 赵 永 | 贺家齐 | 洪文灿 | 胡耀琼 |
| 徐 毅 | 徐 爽 | 席 斌 | 高心魁 | 侯宝泉 | 贾建华 |
| 尉克俭 | 黄太祥 | 黄建国 | 戚永明 | 蒋龙福 | 葛启录 |
| 舒毓璋 | 彭容秋 | 翟保金 | 谭 宁 | 谭世雄 | 潘恒礼 |

秘书长 尉克俭 陈 莉

## 《重有色金属冶金工厂技术培训丛书》参编单位

中国有色工程设计研究总院  
南昌有色金属设计研究院  
中南大学  
东北大学  
昆明理工大学  
江铜集团贵溪冶炼厂  
大冶有色金属公司  
云南铜业股份有限公司  
金川集团有限公司  
安徽铜都铜业股份有限公司金昌冶炼厂  
深圳市中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂  
河南豫光金铅集团有限责任公司  
云南驰宏锌锗股份有限公司  
云南锡业集团有限责任公司  
白银有色金属公司  
祥云县飞龙实业有限责任公司  
吉林吉恩镍业股份有限公司  
水口山有色金属集团公司  
烟台鹏晖铜业有限公司  
柳州华锡集团有限责任公司  
山西华铜铜业有限公司  
葫芦岛有色金属集团有限公司  
奥托昆普技术公司  
营口青花集团有限公司  
锦州长城耐火材料有限公司  
中国·宣达实业集团有限公司  
扬州市中兴硫酸设备厂  
昆明市嘉和泵业有限公司  
宜兴市宙斯泵业有限公司

## 参加《锌冶金》分册编审人员

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 彭容秋 | 任鸿九 | 张训鹏 | 刘华文 | 刘继业 | 张伟健 |
| 徐毅  | 刘吉殷 | 宝国锋 | 龙会国 | 顾聪  | 叶军乔 |
| 赵永  | 马进  | 张鸿烈 | 强娟茹 | 段宏志 | 张卓  |
| 袁庆云 | 朱宏文 | 白金珠 | 杨士跃 | 朱海泽 | 郭天立 |
| 张得秀 | 潘恒礼 | 舒毓璋 | 王建铭 | 贺家齐 | 孙中森 |
| 张卫国 | 尹荣花 |     |     |     |     |

## 内容提要

本书根据我国目前锌冶金生产为湿法炼锌与火法炼锌两种工艺并存的现状，叙述了硫化锌精矿焙烧—浸出—净化—电积锌和锌铅硫化精矿烧结焙烧—ISP 鼓风炉熔炼—粗锌精馏精炼等过程的基本原理、生产设备和工艺技术条件与操作。此外，对竖罐炼锌和电热法炼锌也有专章介绍。在有关湿法炼锌的章节中，针对我国氧化锌矿和氧化锌二次物料资源丰富的特点，对这类物料的湿法处理也作了较详细的介绍。

本书内容丰富，编写简明，可供锌冶金工厂职工工作技术培训教材用，也可供锌冶金生产管理和科技人员参考。

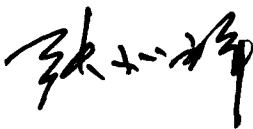
# 序

进入 21 世纪,我国有色金属工业继续持续稳定地发展,十种有色金属年产量超过 1000 万吨,其中铜、镍、铅、锌、锡、锑等重有色金属的产量占一半以上,稳居世界第一,重有色金属冶炼企业在不断对现有工艺进行技术改造、挖潜增效、节能降耗、强化管理的同时,广泛采用闪速熔炼及顶吹、底吹、侧吹类的熔池熔炼,热酸浸出,深度净化, L-SX-EW 湿法炼铜,永久阴极电解等新工艺、新技术、新设备逐渐取代能耗高、污染大、效益差的落后工艺,有色金属工业面貌焕然一新。

我国有色金属工业的发展,竞争与机遇并存。我们应清醒地看到,我国的人均有色金属量占有率仍然很低,除了资源严重短缺外,在核心技术创新方面,在管理模式、管理水平、经营理念、总体装备水平、劳动生产力、自动化程度、资源有效利用、职工素质等多方面与世界有色金属强国相比,还存在很大的差距。我们必须百尺竿头,继续奋斗,不断增强我国有色金属工业的国际竞争能力。

国家综合实力的竞争归根结底是人才的竞争,发展有色金属工业迫切需要提高企业职工的整体素质。近年来,我国有关方面相继启动了“国家高技能人才培养工程”,目的在于培养千百万具有一定专业理论知识、动手能力强、技术娴熟的技能型人才。为满足工厂职工教育和培训的需要,中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会组织一批教授、专家和资深技术人员编写了《重有色金属冶金工厂技术培训丛书》,经过近一年的努力,现在终于可将这套丛书奉献给广大读者了。为了编好这套丛书,全国各重有色金属冶炼工厂都竭尽全力给予了极大的支持,在此,我代表中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会向为编写这套丛书作出辛勤劳动的教授、专家及广大企业领导及工程技术人员致以衷心的感谢!我们相信,这套丛书的出版发行,必将为我国重有色金属冶炼企业技术工人综合素质的提高,促进我国重有色金属工业的发展起着重要的作用,并为增强我国国民经济综合实力作出重要贡献。

中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会主任委员  
中国有色工程设计研究总院院长



2004 年 12 月

## 编者的话

近年来我国锌冶金生产发展很快,其产量稳居世界第一,炼锌工厂遍及全国大部分省(区)。为了适应锌冶金技术发展的形势,满足广大技术工人读者的要求,中国有色金属学会重有色金属冶金学术委员会特组织编写了这一技术培训教材。

本书共9章,主要内容来自炼锌工厂的生产实践,反映了湿法炼锌与火法炼锌两种工艺并重的我国锌冶金技术的发展现状,其中湿法生产的内容有焙烧、浸出、净化、电解等4章,火法生产的内容有ISP鼓风炉炼锌、粗锌精馏精炼、竖罐炼锌和电热法炼锌等,也分4章叙述,并对这些冶金过程的基本原理、生产设备和工艺技术条件作了详细的介绍。锌精矿流态化焙烧是湿法炼锌和蒸馏法炼锌在冶炼前所必须进行的原料准备作业,尽管后续工艺不同,但焙烧过程原理、设备和主要技术条件是基本相同的,本书将其放在同一章中叙述,希望读者根据各自生产岗位的性质和生产经验去体会,举一反三,灵活运用。浸出是湿法生产流程中的重要环节,不同的浸出方法体现了不同湿法炼锌厂的生产特点。根据我国锌资源多样化的实际情况,本书分别介绍了焙烧矿、氧化矿和氧化锌二次物料的浸出工艺,还介绍了锌精矿氧压浸出技术。火法炼锌以ISP法为主要内容,对我国目前还有一些工厂应用的竖罐炼锌和电炉炼锌也辟专章作了介绍。

本书在阐述有关冶金过程的基本原理时,运用了M-S-O系化学位图和电势-pH图等热力学概念,对工人读者有一定难度,希望工厂培训部门根据教学要求安排一些课堂教学和专题讲座,加以指导。

在本书的编写过程中,得到了有关工厂领导、技术人员的大力支持,在此深表谢意。由于参编人员水平有限,书中内容会有一些缺点或错误,欢迎读者批评指正,竭诚感激。

编者  
2005年6月

# 目 录

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| <b>1 锌冶金的一般知识</b> .....          | (1)  |
| 1.1 锌的性质和用途 .....                | (1)  |
| 1.2 锌的矿物资源和炼锌原料 .....            | (2)  |
| 1.3 锌的生产方法 .....                 | (4)  |
| 1.3.1 火法炼锌 .....                 | (4)  |
| 1.3.2 湿法炼锌 .....                 | (5)  |
| <b>2 硫化锌精矿的流态化焙烧</b> .....       | (8)  |
| 2.1 硫化锌精矿流态化焙烧的基本原理 .....        | (8)  |
| 2.1.1 硫化锌精矿焙烧的目的与要求 .....        | (8)  |
| 2.1.2 焙烧的固体流态化技术 .....           | (9)  |
| 2.1.3 硫化锌精矿焙烧的主要反应 .....         | (11) |
| 2.1.4 硫化锌精矿伴生矿物在焙烧中的行为 .....     | (13) |
| 2.1.5 硫化锌精矿焙烧的技术条件 .....         | (16) |
| 2.2 硫化锌精矿流态化焙烧的工艺组成 .....        | (17) |
| 2.2.1 炉料准备及加料系统 .....            | (17) |
| 2.2.2 流态化炉本体系统 .....             | (19) |
| 2.2.3 烟气冷却及收尘系统 .....            | (19) |
| 2.2.4 排料系统 .....                 | (20) |
| 2.3 流态化焙烧炉及附属设备 .....            | (20) |
| 2.3.1 流态化焙烧炉 .....               | (20) |
| 2.3.2 气体分布板及风箱 .....             | (22) |
| 2.3.3 流态化床层排热装置 .....            | (22) |
| 2.3.4 排料口 .....                  | (23) |
| 2.3.5 烟气出口 .....                 | (23) |
| 2.3.6 炉体及炉顶 .....                | (23) |
| 2.4 流态化焙烧炉的正常操作及事故处理 .....       | (23) |
| 2.4.1 流态化焙烧炉的开炉与停炉 .....         | (23) |
| 2.4.2 流态化焙烧炉的正常操作 .....          | (24) |
| 2.4.3 流态化焙烧的生产故障及处理 .....        | (25) |
| 2.5 锌精矿流态化焙烧的操作技术条件及技术经济指标 ..... | (27) |

|       |                                                                             |      |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.5.1 | 操作技术条件的控制                                                                   | (27) |
| 2.5.2 | 焙烧产物                                                                        | (29) |
| 2.5.3 | 技术经济指标                                                                      | (30) |
| 2.5.4 | 焙烧过程的热平衡与热能利用                                                               | (32) |
| 3     | 湿法炼锌的浸出过程                                                                   | (33) |
| 3.1   | 锌焙烧矿的浸出目的与浸出工艺流程                                                            | (33) |
| 3.1.1 | 锌焙烧矿浸出的目的                                                                   | (33) |
| 3.1.2 | 焙烧矿浸出的工艺流程                                                                  | (33) |
| 3.2   | 锌焙烧矿在浸出中发生的主要化学变化                                                           | (35) |
| 3.2.1 | 金属氧化物的溶解与沉淀反应                                                               | (35) |
| 3.2.2 | $\text{Zn}-\text{H}_2\text{O}$ 系及 $\text{M}-\text{H}_2\text{O}$ 系电势-pH 图的应用 | (36) |
| 3.2.3 | 影响浸出反应速度的因素                                                                 | (38) |
| 3.2.4 | 常规法浸出的一般操作及技术条件的控制                                                          | (39) |
| 3.3   | 铁酸锌的溶解与中性浸出过程的沉铁反应                                                          | (43) |
| 3.3.1 | 铁酸锌的溶解                                                                      | (43) |
| 3.3.2 | 中性浸出过程的沉铁反应                                                                 | (45) |
| 3.4   | 从含铁高的浸出液中沉铁                                                                 | (46) |
| 3.4.1 | 黄钾铁矾法                                                                       | (47) |
| 3.4.2 | 针铁矿法                                                                        | (52) |
| 3.4.3 | 赤铁矿法                                                                        | (53) |
| 3.5   | 氧化锌粉及含锌烟尘的浸出                                                                | (56) |
| 3.5.1 | 氧化锌粉及含锌烟尘的来源与化学成分                                                           | (56) |
| 3.5.2 | 氧化锌粉浸出前的预处理                                                                 | (57) |
| 3.5.3 | 氧化锌粉的浸出                                                                     | (59) |
| 3.6   | 氧化锌矿的直接浸出                                                                   | (61) |
| 3.6.1 | 氧化锌矿原料的特性                                                                   | (61) |
| 3.6.2 | 氧化锌矿直接酸浸过程中胶体的形成与控制                                                         | (62) |
| 3.6.3 | 高硅氧化锌矿的处理方法                                                                 | (63) |
| 3.6.4 | 我国高硅氧化锌矿直接酸浸的生产实践                                                           | (64) |
| 3.7   | 硫化锌精矿的氧压浸出                                                                  | (67) |
| 3.8   | 锌浸出生产用的主要设备                                                                 | (69) |
| 3.8.1 | 常用浸出设备                                                                      | (69) |
| 3.8.2 | 液固分离设备                                                                      | (70) |
| 3.9   | 锌浸出渣及其处理                                                                    | (74) |
| 3.9.1 | 锌浸出渣的组成及处理方法                                                                | (74) |
| 3.9.2 | 回转窑烟化法处理浸出渣                                                                 | (75) |
| 3.9.3 | 矮鼓风炉处理湿法炼锌浸出渣                                                               | (77) |
| 3.9.4 | 锌浸出渣送铅熔炼处理                                                                  | (78) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 4 硫酸锌浸出液的净化 .....            | (80)  |
| 4.1 浸出液成分及其净化方法 .....        | (80)  |
| 4.2 锌粉置换除铜、镉 .....           | (82)  |
| 4.2.1 置换法除铜、镉的基本反应 .....     | (82)  |
| 4.2.2 置换过程的影响因素 .....        | (82)  |
| 4.2.3 镉复溶及其避免镉复溶的措施 .....    | (84)  |
| 4.2.4 置换法除铜、镉的主要技术条件控制 ..... | (84)  |
| 4.3 锌粉置换除钴镍 .....            | (85)  |
| 4.3.1 砷盐净化法 .....            | (86)  |
| 4.3.2 铈盐净化法及合金锌粉法 .....      | (87)  |
| 4.4 有机试剂法除钴、镍 .....          | (90)  |
| 4.4.1 黄药除钴法 .....            | (91)  |
| 4.4.2 $\beta$ -萘酚除钴法 .....   | (93)  |
| 4.5 除去氟氯及其他杂质的净化方法 .....     | (94)  |
| 4.5.1 除 氯 .....              | (95)  |
| 4.5.2 除 氟 .....              | (95)  |
| 4.5.3 除钙、镁 .....             | (95)  |
| 4.6 净化过程的主要设备 .....          | (96)  |
| 4.6.1 流态化净化槽 .....           | (96)  |
| 4.6.2 机械搅拌槽 .....            | (97)  |
| 4.6.3 尼龙管式过滤器 .....          | (98)  |
| 4.6.4 厢式压滤机 .....            | (99)  |
| 4.6.5 板框压滤机 .....            | (99)  |
| 4.6.6 净化过程的加热设备 .....        | (100) |
| 4.7 净化过程的技术经济指标 .....        | (100) |
| 5 硫酸锌溶液的电解沉积 .....           | (103) |
| 5.1 锌电解液成分及锌电积生产过程 .....     | (103) |
| 5.1.1 锌电解液 .....             | (103) |
| 5.1.2 锌电积生产过程 .....          | (104) |
| 5.2 锌电积过程的理论基础 .....         | (105) |
| 5.2.1 阴极反应 .....             | (106) |
| 5.2.2 阳极反应 .....             | (106) |
| 5.2.3 电解液中的杂质在电积过程中的行为 ..... | (107) |
| 5.3 锌电解车间的主要生产设备及布置 .....    | (109) |
| 5.3.1 电解槽 .....              | (109) |
| 5.3.2 阳 极 .....              | (110) |
| 5.3.3 阴 极 .....              | (110) |
| 5.3.4 电解液冷却设备 .....          | (111) |

|       |                               |       |
|-------|-------------------------------|-------|
| 5.3.5 | 电解槽布置及电路连接 .....              | (112) |
| 5.4   | 锌电解的正常操作 .....                | (112) |
| 5.4.1 | 装出槽及槽上操作 .....                | (112) |
| 5.4.2 | 剥 锌 .....                     | (114) |
| 5.4.3 | 电解液的循环和冷却 .....               | (114) |
| 5.4.4 | 酸雾的产生与电解车间的通风 .....           | (114) |
| 5.4.5 | 锌电积过程的故障及处理 .....             | (114) |
| 5.5   | 锌电解生产的主要技术条件与指标分析 .....       | (115) |
| 5.5.1 | 电锌质量 .....                    | (115) |
| 5.5.2 | 电流密度与电流效率 .....               | (116) |
| 5.5.3 | 槽电压与电能消耗 .....                | (117) |
| 5.6   | 阴极锌熔铸 .....                   | (119) |
| 5.6.1 | 感应电炉的构造 .....                 | (119) |
| 5.6.2 | 阴极锌熔铸的生产过程 .....              | (123) |
| 5.6.3 | 感应电炉熔铸锌的生产技术条件及其控制 .....      | (124) |
| 5.6.4 | 锌合金的配制 .....                  | (127) |
| 6     | 鼓风炉炼锌 .....                   | (132) |
| 6.1   | 概 述 .....                     | (132) |
| 6.2   | 铅锌硫化精矿的烧结焙烧 .....             | (134) |
| 6.2.1 | 铅锌硫化精矿化学成分及其烧结焙烧的目的 .....     | (134) |
| 6.2.2 | 铅锌硫化精矿在烧结焙烧过程中发生的物理化学变化 ..... | (136) |
| 6.2.3 | 铅锌混合精矿烧结焙烧的生产实践 .....         | (141) |
| 6.3   | 鼓风炉熔炼(ISP法) .....             | (155) |
| 6.3.1 | 鼓风炉炼锌生产工艺流程的叙述 .....          | (155) |
| 6.3.2 | 鼓风炉炼锌炉内发生的物理化学变化 .....        | (159) |
| 6.3.3 | 锌蒸气的冷凝 .....                  | (165) |
| 6.3.4 | 炼锌鼓风炉及主要附属设备的结构 .....         | (167) |
| 6.3.5 | 鼓风炉炼锌的正常操作及故障处理 .....         | (173) |
| 6.3.6 | 鼓风炉炼锌的主要技术条件及其控制 .....        | (187) |
| 6.3.7 | 炼锌鼓风炉的产物 .....                | (189) |
| 7     | 竖罐炼锌 .....                    | (192) |
| 7.1   | 竖罐炼锌的基本原理 .....               | (192) |
| 7.1.1 | 概 述 .....                     | (192) |
| 7.1.2 | 氧化锌还原反应和还原条件 .....            | (192) |
| 7.1.3 | 锌焙烧矿中其他组分在蒸馏过程中的行为 .....      | (193) |
| 7.2   | 竖罐炼锌的工艺流程 .....               | (194) |
| 7.2.1 | 团矿的制备 .....                   | (194) |
| 7.2.2 | 团矿焦结 .....                    | (196) |

|                                                 |       |
|-------------------------------------------------|-------|
| 7.2.3 蒸馏与冷凝 .....                               | (197) |
| 7.3 竖罐蒸馏炉 .....                                 | (198) |
| 7.3.1 竖 罐 .....                                 | (198) |
| 7.3.2 燃烧室和换热室 .....                             | (200) |
| 7.4 锌蒸气的冷凝 .....                                | (200) |
| 7.4.1 冷凝器 .....                                 | (200) |
| 7.4.2 影响冷凝效率的因素 .....                           | (202) |
| 7.4.3 冷凝操作的要点 .....                             | (202) |
| 7.5 竖罐炼锌的主要操作及其技术条件控制 .....                     | (203) |
| 7.5.1 加料与排料操作 .....                             | (203) |
| 7.5.2 下延部送风 .....                               | (204) |
| 7.5.3 罐内压力控制 .....                              | (204) |
| 7.5.4 锌蒸气的冷凝与出锌 .....                           | (204) |
| 7.5.5 开炉升温与停炉 .....                             | (204) |
| 7.5.6 炉瘤的形成与处理方法 .....                          | (205) |
| 7.5.7 罐体损坏与热补 .....                             | (205) |
| 7.5.8 罐壁积铁 .....                                | (206) |
| 7.5.9 冷凝系统的积灰和清扫 .....                          | (207) |
| 7.5.10 冷凝系统的压力控制 .....                          | (207) |
| 7.5.11 蒸馏炉的热工调整 .....                           | (207) |
| 7.5.12 主要技术经济指标 .....                           | (207) |
| 8 电热法炼锌和电炉生产合金锌粉 .....                          | (208) |
| 8.1 电阻炉炼锌 .....                                 | (208) |
| 8.2 矿热电炉炼锌 .....                                | (211) |
| 8.3 电炉生产合金锌粉 .....                              | (213) |
| 8.3.1 关于电炉生产锌粉的概述 .....                         | (213) |
| 8.3.2 电炉锌粉生产的工艺流程 .....                         | (214) |
| 8.3.3 对原料和主要辅助材料的质量要求 .....                     | (215) |
| 8.3.4 电炉生产合金锌粉的主要技术经济指标 .....                   | (216) |
| 9 粗锌精馏精炼 .....                                  | (217) |
| 9.1 粗锌精馏的目的 .....                               | (217) |
| 9.1.1 概 述 .....                                 | (217) |
| 9.1.2 粗锌精馏的目的 .....                             | (218) |
| 9.2 精馏精炼的基本原理 .....                             | (218) |
| 9.2.1 锌及其他金属的蒸气压与温度的关系 .....                    | (218) |
| 9.2.2 利用 Zn - Cd, Zn - Pb 二元系相图分析粗锌精馏精炼过程 ..... | (220) |
| 9.2.3 粗锌熔析精炼原理 .....                            | (222) |
| 9.3 精馏塔的构造 .....                                | (222) |

---

|       |                       |       |
|-------|-----------------------|-------|
| 9.3.1 | 塔本体 .....             | (223) |
| 9.3.2 | 燃烧室和换热室 .....         | (228) |
| 9.3.3 | 冷凝器 .....             | (229) |
| 9.3.4 | 熔化炉 .....             | (230) |
| 9.3.5 | 加料器 .....             | (230) |
| 9.3.6 | 下延部 .....             | (231) |
| 9.3.7 | 熔析炉 .....             | (231) |
| 9.3.8 | 纯锌槽 .....             | (232) |
| 9.4   | 锌精馏的正常操作和技术条件控制 ..... | (232) |
| 9.4.1 | 精馏工艺过程 .....          | (232) |
| 9.4.2 | 锌精馏的正常操作及技术条件控制 ..... | (234) |
| 9.4.3 | 精馏炉的开炉和停炉操作 .....     | (240) |

## 1 锌冶金的一般知识

### 1.1 锌的性质和用途

锌是一种银白色金属，断面具有金属光泽，在室温下呈脆性，但在 100 ~ 150℃ 下其延展性良好。

锌属于重金属，原子序数为 30，原子量为 65.4，20℃ 时的密度为 7.13g/cm<sup>3</sup>，熔点 419.6℃。由于锌熔点低，液态流动性好，在压力浇铸时能充满模内很精细的地方，所以它常作为精密铸件的原料。

液态金属锌的沸点比较低，为 907℃。液态锌的蒸气压随温度升高而迅速增加。在不同温度下锌的蒸气压如下：

|        |       |     |      |        |        |
|--------|-------|-----|------|--------|--------|
| 温度/℃   | 419.6 | 500 | 700  | 907    | 950    |
| 蒸气压/Pa | 19.5  | 169 | 7982 | 101325 | 156347 |

在火法炼锌中，氧化锌用碳还原的反应必须在 1000℃ 以上的温度进行，冶炼生成挥发的锌蒸气只有通过冷凝才能得到金属锌。

锌在 420℃ 时开始与硫发生反应，而与氧反应在 225℃ 时便开始了。锌对氧的亲合力比较大，硫化锌在空气中加热氧化生成稳定的氧化锌。氧化锌既能在高温下被碳还原，又能很好地溶解于稀硫酸溶液中，因此硫化锌的氧化焙烧对于火法炼锌和湿法炼锌都是重要的冶炼前预处理过程。

锌是比较活泼的重金属，室温下在干燥的空气中不起变化，但在潮湿而含有 CO<sub>2</sub> 的大气中，锌的表面会逐渐氧化生成灰白色致密的碱式碳酸锌 [ZnCO<sub>3</sub> · 3Zn(OH)<sub>2</sub>] 薄膜层，阻止锌继续氧化。更为重要的是锌的电位较铁负，通过电化作用锌能代替铁被腐蚀，所以锌被大量用于镀覆钢铁材料以防腐蚀。随着汽车工业和建筑业对镀锌钢材的需求不断增长，镀锌材料已经成为锌的一项主要消费。

锌是负电性金属，标准电位为 -0.76V；又由于锌价廉易得，在化学电源中锌是应用最多的一种负极材料，如锌 - 二氧化锰干电池、锌 - 空气电池、锌 - 银蓄电池等。

锌能和多种金属形成合金，其中最主要的是锌与铜形成的黄铜，广泛应用于机械制造业；锌与铝、镁、铜等组成的压铸合金，可用于制造各种精密铸件。

锌是现代生活中必不可少的金属。表 1-1 总结了锌的不同性能及其应用。2002 年世界主要产锌国家的锌锭产量为 961.2 × 10<sup>4</sup>t；主要锌消费国的消费量为 921.2 × 10<sup>4</sup>t。表 1-2 列出了西方主要锌消费国的消费构成。

表 1-1 锌的性能及其应用

| 性 能                     | 最初使用                      | 最终使用                        |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 属负电性金属；抗腐蚀性能好，保护钢材免受腐蚀  | 热镀锌、电镀锌，喷镀锌，锌粉涂层，粉镀锌      | 建筑物，电力/能源，家具，农用机械、汽车和交通工具   |
| 熔点较低，熔体流动性好，易于压铸成型      | 压铸和重力铸造                   | 汽车，家用设备，机械器件，玩具、工具等         |
| 系合金元素，易与其他金属形成不同性能的多种合金 | 黄铜（铜-锌合金），铝合金，镁合金         | 建筑物，汽车，各种机械装置的零部件，电子元件等     |
| 成型性和抗腐蚀性好               | 轧制锌                       | 建筑物                         |
| 电化学性能                   | 电池：锌-二氧化锰电池，锌-空气电池，锌-银蓄电池 | 汽车/交通运输工具，计算机，医用设备，家用电器     |
| 形成多种化合物                 | 氧化锌，硬脂酸锌                  | 橡胶，轮胎，颜料，陶瓷釉料，静电复印纸         |
|                         | 硫化锌                       | 颜料，荧光材料                     |
|                         | 硫酸锌                       | 食品工业，动物饲料，木材，肥料，制革，医药，纸浆，电镀 |
|                         | 氧化锌                       | 医药，染料，焊料，化妆品                |

表 1-2 1998 年发达国家锌消费构成(%)

| 消费形式  | 法国   | 德国   | 意大利  | 英国   | 日本   | 美国   | 澳大利亚 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 镀 锌   | 45.3 | 29.7 | 22.7 | 45.9 | 62.3 | 54.6 | 78.3 |
| 压铸合金  | 9.8  | 6.7  | 16.0 | 20.6 | 9.0  | 18.4 | 6.4  |
| 黄铜、青铜 | 10.9 | 27.0 | 52.2 | 16.2 | 14.5 | 13.8 | 7.3  |
| 轧制锌材  | 23.8 | 27.7 | 3.0  | 1.4  | 1.4  | 0    | 0.5  |
| 锌氧化物  | 8.0  | 8.6  | 5.8  | 9.0  | 10.2 | 0    | 6.3  |
| 其他    | 1.7  | 0.3  | 0.3  | 6.9  | 2.6  | 13.2 | 1.2  |

我国 2002 年的锌产量为  $210 \times 10^4 \text{t}$ ，居世界首位；消费量为  $165 \times 10^4 \text{t}$ 。我国是世界上锌锭出口的主要国家之一。

## 1.2 锌的矿物资源和炼锌原料

锌在自然界多以硫化物状态存在，主要矿物是闪锌矿( $\text{ZnS}$ )，但这种硫化矿的形成过程中有  $\text{FeS}$  固溶体，称为铁闪锌矿( $n\text{ZnS} \cdot m\text{FeS}$ )。含铁高的闪锌矿会使提取冶金过程复杂化。硫化矿床的地表部位还常有一部分被氧化的氧化矿，如菱锌矿( $\text{ZnCO}_3$ )、硅锌矿( $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ )、异极矿( $\text{H}_2\text{Zn}_2\text{SiO}_5$ )等。

锌资源的特点是铅锌共生。世界上极少发现单独的铅矿和锌矿。闪锌矿与方铅矿( $\text{PbS}$ )