



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12-5" GUIHUA JIAOCAI

锌冶金

雷霆 陈利生 余宇楠 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

锌 冶 金

雷 霆 陈利生 余宇楠 编著

北 京
冶金工业出版社
2013

内 容 提 要

本书从锌冶金基础知识入手,结合企业生产实际,按照锌冶金生产完整的工艺过程,逐一介绍了锌冶金基础知识、硫化锌精矿的流态化焙烧、湿法炼锌的浸出过程、硫酸锌溶液的净化、锌电解沉积技术、火法炼锌、锌冶金清洁生产与物料综合利用等内容。

本书除作为高职高专冶金技术专业学生教学用书外,也可作为行业职业技能培训教材或工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

锌冶金/雷霆,陈利生,余宇楠编著. —北京:冶金工业出版社, 2013. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6138-6

I. ①锌… II. ①雷… ②陈… ③余… III. ①炼锌—高等学校—教材 IV. ①TF813

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 014773 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 yjcs@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 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6138-6

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京百善印刷厂印刷

2013 年 1 月第 1 版, 2013 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 8.5 印张; 260 千字; 124 页

28.00 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)

前 言

我国是铅锌大国。发展我国的锌产业，科研、生产一线高技能人才的培养是根本。然而，目前培养此类人才的高职院校缺乏这方面的教材。为适应我国锌产业发展的需要，在高等院校冶金技术专业中开设“锌冶金”课程，编写《锌冶金》教材，培养一批锌产业所需的高技能人才，这对于我国锌产业的发展非常重要和必要。

本书参照国家职业技能标准和职业技能鉴定规范，企业的生产实际和岗位技能要求，从锌冶金基础知识入手，结合企业生产实际，按照锌冶金生产完整的工艺过程，逐一介绍了锌冶金基础知识、硫化锌精矿的流态化焙烧、湿法炼锌的浸出过程、硫酸锌溶液的净化、锌电解沉积技术、火法炼锌、锌冶金清洁生产与物料综合利用等内容。

本书除作为高等院校冶金相关专业学生教学用书外，还可作为行业职业技能培训教材或工程技术人员的参考用书。

由于作者水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者不吝赐教。

作 者
2012 年 10 月

目 录

1 锌冶金基础知识	1
1.1 锌的主要性质	1
1.1.1 锌的物理性质	1
1.1.2 锌的化学性质	1
1.2 锌的主要用途	2
1.3 锌的主要化合物及其性质	2
1.3.1 硫化锌 (ZnS)	2
1.3.2 氧化锌 (ZnO)	2
1.3.3 硫酸锌 (ZnSO_4)	3
1.3.4 氯化锌 (ZnCl_2)	3
1.3.5 碳酸锌 (ZnCO_3)	3
1.4 锌冶炼的主要原料和资源情况	4
1.4.1 锌冶炼的主要原料	4
1.4.2 锌资源情况	4
1.5 锌的生产与市场	5
1.6 锌冶炼的主要方法	6
1.6.1 火法炼锌	6
1.6.2 湿法炼锌	6
1.7 锌的再生	7
1.8 锌产品品号分类	8
复习思考题	8
2 硫化锌精矿的流态化焙烧	9
2.1 硫化锌精矿沸腾焙烧的原理	9
2.1.1 流化床的形成	9
2.1.2 流态化范围与操作速度	10
2.1.3 沸腾焙烧过程的主要化学反应	10
2.1.4 硫化锌精矿焙烧时各成分的行为	10
2.2 沸腾焙烧工艺流程	12
2.3 沸腾焙烧炉及其附属设备	12
2.3.1 沸腾焙烧炉的结构	13
2.3.2 加料与排料系统	13

2.3.3 炉气及收尘系统	14
2.4 沸腾炉的正常操作	14
2.4.1 沸腾炉的开炉与停炉	14
2.4.2 沸腾炉正常生产操作	16
2.5 沸腾炉生产故障及处理	16
2.5.1 系统停电	16
2.5.2 鼓风机停电	17
2.5.3 排风机停电	17
2.6 硫化锌精矿流态化焙烧的主要技术参数的确定	17
2.6.1 床能力的选择	17
2.6.2 沸腾层高度的选择	17
2.6.3 沸腾焙烧炉床面积	18
2.6.4 空气分布板的选择	18
2.6.5 沸腾焙烧炉的其他部件	19
2.6.6 沸腾焙烧的产物	19
2.7 硫化锌精矿流态化焙烧的主要技术经济指标	19
复习思考题	20
3 湿法炼锌的浸出过程	21
3.1 湿法炼锌浸出过程的基本原理	21
3.1.1 焙砂中金属氧化物的浸出	21
3.1.2 铁酸锌的浸出	23
3.2 湿法炼锌浸出过程的工艺流程	23
3.2.1 黄钾铁矾法	25
3.2.2 转化法	26
3.2.3 针铁矿法	26
3.2.4 赤铁矿法	27
3.3 浸出过程的设备及工作原理	28
3.3.1 浸出槽	28
3.3.2 浸出矿浆的固液分离设备	28
3.4 浸出操作实践	30
3.4.1 浸出工序的一般操作规程	30
3.4.2 岗位操作	30
3.4.3 工序安全规程	36
3.4.4 安全注意事项	37
3.5 浸出过程的技术条件控制	38
3.5.1 中性浸出点控制	38
3.5.2 浸出过程的平衡控制	38
3.5.3 技术条件控制	39

3.6 浸出过程技术经济指标	40
3.6.1 浸出过程技术经济指标	40
3.6.2 某厂浸出过程技术经济指标实例	40
复习思考题	42
4 硫酸锌溶液的净化	43
4.1 湿法炼锌净化过程	43
4.2 硫酸锌溶液除铁、砷、锑	45
4.2.1 中和水解法除铁	45
4.3 硫酸锌溶液除铜、镉、钴、镍	51
4.3.1 置换沉淀法除杂基础	51
4.3.2 除杂过程	55
4.3.3 镉复溶及避免镉复溶的措施	57
4.3.4 硫酸锌溶液除钴、镍	65
4.4 硫酸锌溶液除氟、氯、钙、镁	69
4.4.1 除氯	69
4.4.2 除氟	69
4.4.3 除钙、镁	70
4.5 净化设备	70
4.5.1 净化槽	71
4.5.2 固液分离设备	72
4.5.3 净化过程的加热设备	74
4.6 净化操作实例	75
4.6.1 净化工序工艺流程	75
4.6.2 岗位操作法	76
4.6.3 二段净化岗位操作规程	77
4.6.4 铜镉渣处理操作规程	79
复习思考题	80
5 锌电解沉积技术	81
5.1 锌电解沉积原理	81
5.1.1 锌电解过程的电极反应	81
5.1.2 锌和氢在阴极上的析出	82
5.1.3 杂质在电解过程中的行为	83
5.2 锌电解工艺流程	84
5.3 锌电解沉积设备	85
5.3.1 电解槽	85
5.3.2 阴极	86
5.3.3 电解槽的供电设备	86

5.3.4 极板作业机组及其他设备	86
5.4 锌电解沉积操作	87
5.4.1 阳极制作	87
5.4.2 阴极制作	88
5.4.3 电解液循环	88
5.4.4 出装槽	92
5.4.5 槽面操作	95
5.5 故障及处理	95
5.5.1 阴极锌含铜质量波动及处理	96
5.5.2 阴极锌含铅质量波动及处理	96
5.5.3 个别槽烧板及处理	96
5.5.4 普遍烧板及处理	96
5.5.5 电解槽突然停电及处理	97
5.5.6 电解液停止循环及处理	97
5.6 锌电解沉积技术条件	97
5.6.1 电解液成分	97
5.6.2 电流效率	97
5.6.3 槽电压	98
5.6.4 添加剂的作用与析出锌的质量	98
5.6.5 槽电压与电能耗	99
复习思考题	100
6 火法炼锌	101
6.1 火法炼锌原理	101
6.1.1 ZnO 还原过程	101
6.1.2 间接加热时锌的还原挥发	102
6.1.3 直接加热时锌的还原挥发	102
6.1.4 锌蒸气的冷凝	103
6.2 火法炼锌的生产实践	103
6.2.1 平罐炼锌	103
6.2.2 竖罐炼锌	104
6.2.3 电炉炼锌	105
6.2.4 鼓风炉炼锌	105
6.3 锌的火法精炼	108
6.3.1 熔析法精炼粗锌	108
6.3.2 精馏法精炼粗锌	108
复习思考题	109
7 锌冶金清洁生产与物料综合利用	110
7.1 锌冶金清洁生产技术标准体系	110

7.2 锌冶金新方法新技术	112
7.2.1 火法炼锌新技术	112
7.2.2 湿法炼锌新方法	113
7.3 锌冶金物料的综合回收	116
7.3.1 浸出渣的挥发窑还原挥发	116
7.3.2 从锌精矿焙烧或烧结烟气中回收汞	118
7.3.3 从浸出渣中回收银	119
7.3.4 从净化的铜镉渣中回收镉	119
7.3.5 从锌浸出渣或铁矾渣中回收铟、锗、镓	121
复习思考题	123
参考文献	124

1 锌冶金基础知识

1.1 锌的主要性质

1.1.1 锌的物理性质

锌为银白略带蓝灰色的金属，六方体晶体，新鲜断面具有金属光泽。锌是元素周期表中第ⅡB族元素，原子序数30，相对原子质量为65.39，锌的原子外层电子排列为 $3d^{10}4s^2$ ，正常价态是Zn(0)和Zn(+2)。锌的熔点为419.58℃，沸点为906.97℃。25℃时，密度为7.14g/cm³；20℃时，比热容为0.383J/(g·℃)，汽化热1755J/g，莫氏硬度2.5kg，标准电位-0.763V。

锌是较软的金属之一，仅比铅、锡稍硬。常温下性脆，延展性甚差，加热到100~105℃时就具有很高的延展性，能压成薄板或拉成丝；当加热至250℃时，锌失去延展性而变脆。常温下加工，会出现冷作硬化现象，故锌的机械加工常在高于其再结晶的温度下进行，一般在373~423℃之间加工最适宜。锌的电导性为银的27.9%，热导性为银的24.2%。

锌的主要物理性质见表1-1。

表1-1 锌的主要物理性质

英文名称	Zinc
分子式	Zn
原子序数	30
相对原子质量	65.39
密度/g·cm ⁻³	7.14
熔点/℃	419.58
沸点/℃	906.97
化合价	+2

1.1.2 锌的化学性质

锌在常温下不被干燥的空气或氧气氧化，在湿空气中生成保护膜ZnCO₃·3Zn(OH)₂，保护内部不受侵蚀。

纯锌不溶于纯H₂SO₄或HCl，但商品锌却极易溶解在两种酸中。商品锌也可溶于碱中，但没有在酸中溶解快，锌可与水银生成汞齐，汞齐不易被稀硫酸溶解。熔融的锌能与铁形成化合物留在钢铁表面，保护其免受侵蚀。

CO₂+H₂O可使Zn(g)迅速氧化为ZnO，此反应是火法炼锌工艺中的关键反应。

锌在电化学次序中位置很高,可置换许多金属,在湿法炼锌中能起净液作用,锌能与许多金属形成合金,如黄铜等。

1.2 锌的主要用途

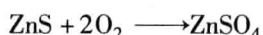
锌的用途广泛,在国民经济中占有重要的地位。锌能与很多金属形成合金,如与铜形成的合金(黄铜),锌铜锡组成的合金(青铜)等,这些合金广泛用于机械制造、印刷、国防等领域。锌的熔点较低,熔体流动性较好,铸造过程中可使铸模各细小部分充满,故锌被广泛应用于制造各种铸件。锌的抗耐腐蚀性能好,主要用于镀锌工业,作为钢材的保护层,如镀锌的板管等,其消耗量占世界锌消耗量的47.7%。锌板也用于屋顶盖、火药箱、家具、贮存器、无线电装置、电机等的零件。锌还用于锌—锰电池,作为电池的负极材料,用量较大。高纯锌—银电池具有体积小、能量大的优点,用作飞机、宇宙飞船的仪表电源等。

1.3 锌的主要化合物及其性质

1.3.1 硫化锌(ZnS)

自然界中硫化矿以闪锌矿的矿物状态存在,是炼锌的主要原料。纯硫化锌为白色物质,并呈粉末多晶半导体,在紫外线、阴极射线激发下,能发出可见光或紫外光、红外光。

硫化锌熔点为1850℃,在1200℃时显著挥发,密度为4.083g/cm³,在空气中,硫化锌在480℃时即缓慢氧化,高于600℃时氧化反应激烈进行,生成氧化锌或硫酸锌:



在还原气氛中,1100℃时,氧化钙能使硫化锌分解:



金属铁在1167℃时开始分解硫化锌,在1250℃时分解作用进行得很完全:



硫化锌在氯气中加热时则生成氯化锌:



硫化锌不能直接被H₂、C、CO还原,也不能溶解于冷的稀硫酸及稀盐酸中,但能溶于硝酸及热浓硫酸中。

硫化锌可用于涂料、油漆、白色和不透明玻璃、橡胶、塑料等领域。

1.3.2 氧化锌(ZnO)

氧化锌(ZnO)俗称锌白,为白色粉末。当锌氧化、ZnCO₃煅烧或ZnS氧化时皆能生成ZnO。ZnO比ZnS更难熔,1400℃时显著挥发。氧化锌的熔点为1973℃,密度为5.78g/cm³。氧化锌属于两性氧化物,既能与酸反应,又能与强碱作用,生成相应的盐

类,在高温下可与各种酸性氧化物、碱性氧化物,如 SiO_2 , Fe_2O_3 , Na_2O 等反应,生成硅酸锌、铁酸锌、锌酸钠等。氧化锌易溶解于酸性溶剂中,工业上焙砂的酸浸出,就是利用了氧化锌的这一特性。

ZnO 能被 C 、 CO 、 H_2 还原,在温度高于 950°C 时,氧化锌被一氧化碳还原生成锌蒸气的反应激烈进行:



在有空气存在条件下,当温度高于 650°C 时, ZnO 与 Fe_2O_3 可形成铁酸锌:



ZnO 可用作油漆颜料和橡胶填充料,医药上用于制软膏、锌糊、橡皮膏等,还能治疗皮肤伤口,起到止血收敛作用。 ZnO 也用作营养补充剂(锌强化剂),食品及饲料添加剂等。

1.3.3 硫酸锌 (ZnSO_4)

ZnSO_4 在自然界中发现很少,焙烧 ZnS 时,可形成 ZnSO_4 。 ZnSO_4 易溶于水,加热时易分解:



当有 CaO 和 FeO 存在时会加速 ZnSO_4 的分解:

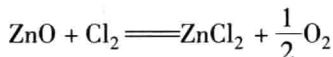
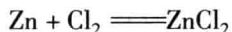


ZnSO_4 被 C 或 CO 还原成 ZnS 需在 800°C 以上进行,而此时大部分 ZnSO_4 已分解形成 ZnO ,因此仅一部分被还原。

ZnSO_4 用于生产其他锌盐的原料,也用于制立德粉,并用作媒染剂、收敛剂、木材防腐剂、电镀、电焊及人造纤维(粘胶纤维、维尼龙纤维)、电缆等工业。 ZnSO_4 也是一种微量元素肥料、饲料添加剂,还可用来防治果树苗圃病害等。

1.3.4 氯化锌 (ZnCl_2)

在较低温度下,将氯气与金属锌、氧化锌或硫化锌作用可生成氯化锌:



ZnCl_2 易溶于水,其熔点为 318°C ,沸点为 730°C 。 ZnCl_2 的熔点和沸点都较低, 500°C 时显著挥发,这是采用氯化挥发锌并得以富集的依据。

ZnCl_2 主要用于制干电池、钢化纸,并用作木材防腐剂、焊药水、媒染剂、石油净化剂等。

1.3.5 碳酸锌 (ZnCO_3)

自然界中,碳酸锌(ZnCO_3)以菱锌矿的状态存在。碳酸锌在 $350 \sim 400^\circ\text{C}$ 时分解成 ZnO 及 CO_2 。碳酸锌极易溶解于稀硫酸,生成硫酸锌与 CO_2 ,碳酸锌也易溶于碱或液氨中。

1.4 锌冶炼的主要原料和资源情况

1.4.1 锌冶炼的主要原料

在自然界中未发现有自然锌,按矿中所含矿物不同,一般将锌矿石分为硫化矿和氧化矿两类。

(1) 硫化矿: Zn 主要以 ZnS 和 $n\text{ZnS} \cdot m\text{FeS}$ 存在,是炼锌的主要原料,属原生矿。单金属硫化矿在自然界中发现很少,多与其他金属硫化矿伴生,最常见的是铅锌矿,其次为铜锌矿、铜铅锌矿、锌镉矿等。这些矿物中除主要矿物 Cu、Pb、Zn 外,还常含有 Au、Ag、As、Sb、Cd 及其他有价金属,含有 FeS 、 SiO_2 、硅酸盐等脉石,这样复杂的矿石称为多金属矿石,在这些矿石中,因为欲提取的金属含量不高 (Zn 通常为 8.8% ~ 16%),不宜直接进行冶金处理,通常通过优先浮选法分离矿石中的重要金属。

(2) 氧化矿: Zn 主要以 ZnCO_3 和 $\text{ZnSiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 存在,属次生矿,是硫化矿床上部长期风化的矿物。

锌精矿含有 Zn、Pb、Cu、Fe、S、Cd、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaCO_3 、 MgCO_3 及 Mn、Co、In、Au、Ag 等。通过选矿富集,品位约为 38% ~ 62%。

锌冶炼对锌矿的要求为: $\text{Zn} > 48\%$, $\text{Pb} < 2\%$, $\text{Fe} < 8\%$, 水分 6% ~ 8%。除以上所述炼锌的主要原料外,含锌废料如:镀锌的锌灰,熔铸时产生的浮渣,处理含锌物料时(黄铜、高锌炉渣)产生的 ZnO 等也可作为炼锌的原料。

1.4.2 锌资源情况

锌在地壳中的丰度为 0.004% ~ 0.2%,现已知道的锌矿物为 55 种,具有工业价值的含锌矿物主要有异板矿 (calamine),即 ZnCO_3 (欧洲)、 $\text{ZnCO}_3 + \text{Zn}_2\text{SiO}_4$ (美); 锌矾矿 (goslarite),即 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 锌铁尖晶石 (frankliaite),即 $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Zn})\text{O}(\text{Fe}^{3+} \text{Mn}^{3+})_2\text{O}_3$; 异极矿 (hemimorphite),即 $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 磷锌矿 (hopeite),即 $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 水锌矿 (hydrozincite),即 $3\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{ZnCO}_3$; 铁闪锌矿 (marma-tite),即 ZnS (立方) + 大于 20% FeS ; 菱锌矿 (smithsonite),即 ZnCO_3 (美); 闪锌矿 (sphalerite),即 ZnS (立方)(美); 硅锰锌矿 (troostite),即 $(\text{Zn}, \text{Mn}^{2+})_2\text{SiO}_4$; 硫氧锌矿 (voltage),即氧硫化锌 (不定); 硅酸锌矿 (willemite),即 Zn_2SiO_4 ; 纤锌矿 (wurtz-ite),即 ZnS (六方); 闪锌矿 (zincblende),即 Zn (立方)(欧洲); 红锌矿 (zincite),即 ZnO ; 碳酸锌矿 (zincspar),即 ZnCO_3 等。

目前,锌冶炼的主要原料为闪锌矿、铁闪锌矿、氧化锌矿和菱锌矿等。

世界锌资源较丰富国家是中国、美国、加拿大、澳大利亚、墨西哥和秘鲁等,2002 年底世界主要锌资源国家的储量见表 1-2,由这些数据可知,我国是锌资源较丰富的国家之一,这为锌冶金发展提供了原料保障。

到 2002 年底,世界锌储量 200000kt,基础储量 450000kt。

我国的锌资源主要分布在云南、内蒙古、甘肃、四川、广东等省,这五省的锌资源占全国锌资源总量的 59%,其中云南锌矿资源储量最大,广西、湖南、贵州等省也有锌矿

资源。中国在 1999 年底探明锌资源总量为 92120kt，锌资源量为 60470kt，基础储量 31650kt，其中储量为 20280kt。到 2002 年，锌储量为 33000kt，锌基础储量 92000kt，再到 2003 年，锌储量 36000kt，基础储量仍然为 92000kt，储量增幅不大。

表 1-2 2002 年底世界主要锌资源国家的储量 (kt)

国 名	锌 储 量				锌基础储量			
	1990 年	1995 年	2000 年	2002 年	1990 年	1995 年	2000 年	2002 年
中 国		5000	33000	33000		9000	80000	92000
美 国	20000	16000	25000	30000	50000	50000	80000	90000
澳大利亚	19000	17000	34000	33000	49000	65000	85000	80000
加拿大	21000	21000	11000	11000	56000	56000	31000	31000
墨西哥	6000	6000	6000	8000	8000	8000	8000	25000
秘 鲁	7000	7000	7000	16000	12000	12000	12000	20000
前苏联	10000	10000			15000	15000		
其 他	56000	58000	72000	69000	96000	115000	130000	110000
世界总计	144000	140000	190000	200000	295000	330000	430000	450000

20 世纪 90 年代初，我国锌资源基本能满足需求，具有一定的资源优势，而到目前，锌资源已经没有优势，原料自供应率降低。虽然我国的锌资源丰富，但能经济利用的储量不多，可经济利用的锌资源净增加量大幅下降，而资源消耗量却逐年增加，锌精矿由净出口国变为净进口国，原料不足制约了我国锌工业的发展。2002 年，我国锌的资源储量保有年限仅为 7.9 年，基础储量保有年限为 11.8 年。实际上，我国锌精矿从 1996 年开始由净出口变为净进口，目前锌资源的短缺已经开始制约我国锌冶金的可持续发展。

为了保持我国锌冶金的长远和可持续发展，一方面需要提高找矿强度，增大资源量，另一方面，应开发利用我国丰富的低品位锌资源。

1.5 锌的生产与市场

由于锌在工业上的广泛应用，促进了锌的消费与生产。全世界锌的生产与消费稳步增加，比同期的经济增长速度快，特别是西方国家，锌的生产满足不了工业需求，每年需大量进口锌。我国锌冶金发展迅速，比全世界锌的平均发展速度要快。近年全世界及西方国家、我国锌的生产和消耗情况见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 近年全世界及西方国家锌的生产和消耗量 (kt)

年 份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
世界锌产量	7359	7465	7801	7990	8109	8368	9200	9400	9790	10220
世界锌消耗量	7455	7556	7789	7890	8166	8400	8790	9000	9261	10440
西方国家锌产量	5497	5536	5598	5754	5844	6189			6665	6652
西方国家锌消耗量	6293	6242	6450	6514	6667	6904			7153	7385
西方国家锌进口量	457	469	794	662	723	770			598	732

表 1-4 近年我国锌的生产和消耗量

(kt)

年 份	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
生产量					551.8	612	719	857	1018	1077
进口量	116.9	68.2	62	19.2	4.1	15.7	42.2	40.1	49.0	66.7
出口量	56.8	95.3	13.8	12.9	21.4	5.4	81.9	205.6	278	191.5
消耗量	418	459	441	402	518	540	568	631	681	871
年 份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
生产量	1185	1434	1468	1695	192	204	204	2227	2519	
进口量	69.5	72	87.5	16	35.7	220	220		636	
出口量	226.8	557	370.6	505	593	610	550	451	338	
消耗量	949	971	1038	1099	1130	1490	1620	1900	2817	

在锌的生产和消耗逐年增加的同时, 锌的市场价格也逐年升高。近年来锌的 LME 销售现价和国内销售价见表 1-5。

表 1-5 近年来国际 (LME 现价) 和国内锌销售平均价格

年 份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
LME/美元·t ⁻¹	1520	1150	1240	961	998	1031	1025	1318	1023	1077	1150	886	779	828
国内价/元·t ⁻¹	7280	7150	7570	8330	9210	9250	9300	10870	9738	9765	10500	8820	7889	

虽然国际上锌的销售价格有一定的波动, 但基本上稳步升高, 特别是从 1993 年以来, 锌的国际市场价格基本稳定升高。我国锌的市场价格也是逐年升高的, 正是由于锌需求量的增大和锌市场价格的稳定升高, 使得锌冶金企业具有良好的经济效益, 推动了我国锌冶金的发展, 目前我国已成为全球最大的精锌生产国。

1.6 锌冶炼的主要方法

锌冶炼的方法主要有火法炼锌法、湿法炼锌法以及再生锌的回收等。

1.6.1 火法炼锌

锌的火法冶炼是在高温下, 用碳作还原剂从氧化锌物料中还原提取锌的过程。其基本原理是: 因 ZnS 不易直接还原 ($T > 1300^{\circ}\text{C}$ 开始), 而 ZnO 则较易, 因此, 首先将 ZnS 经过焙烧得到 ZnO, 再将 ZnO 在高温 (1100°C) 下用碳质还原剂还原, 并利用锌沸点较低的特点, 使锌以蒸气挥发, 然后冷凝为液态锌。

火法炼锌技术主要有竖罐炼锌、密闭鼓风炉炼锌、电炉炼锌等几种工艺。

锌火法冶炼的主要特点是: 历史悠久、工艺成熟, 但产品质量较差、综合回收率较低。

1.6.2 湿法炼锌

用酸性溶液从氧化锌焙砂或其他物料中浸出锌, 再用电解沉积技术从锌浸出液中制取

金属锌的方法。

湿法炼锌的主要工艺过程有硫化锌精矿焙烧、锌焙砂浸出、浸出液净化除杂、锌电解沉积等。

湿法炼锌工艺流程如图 1-1 所示。

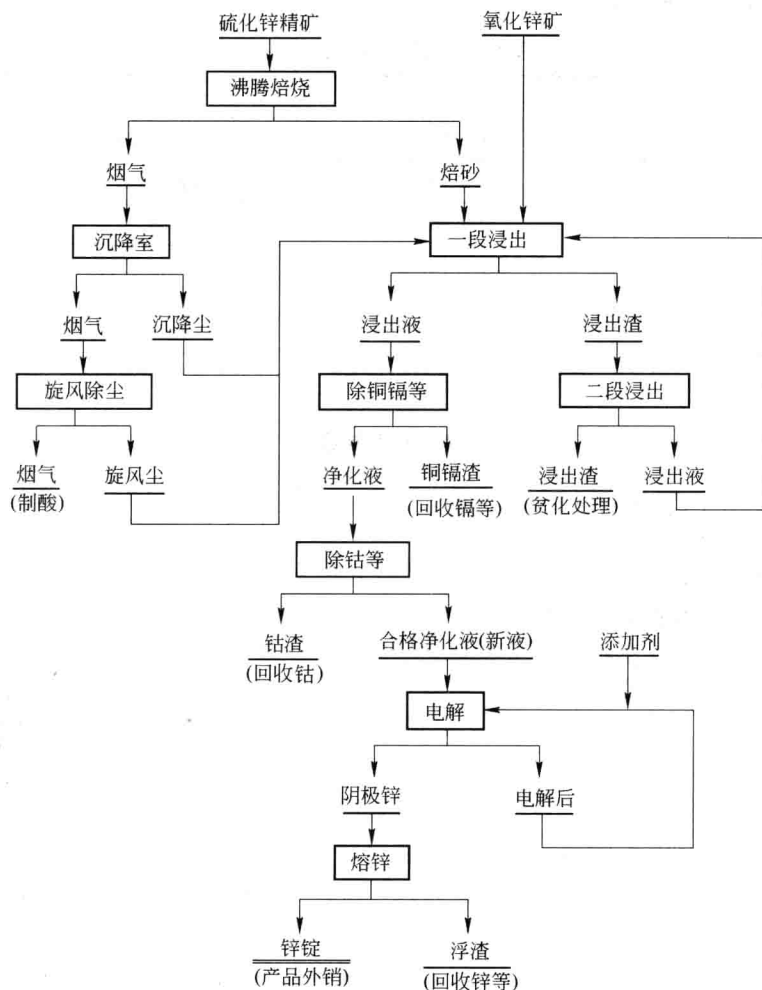


图 1-1 湿法炼锌工艺流程图

湿法炼锌的主要优点是：产品质量好（含锌 99.99%）、锌冶炼回收率高达 97% ~ 98%、伴生金属回收效果好、易于实现机械化、自动化、易于控制环境影响。

1.7 锌的再生

锌的再生主要是利用热镀锌厂产生的渣、钢铁生产的含锌烟尘、生产锌制品过程中的废品、废件及冲轧边角料、废旧锌和锌合金零件或制品、化工副产品或废料等含锌原料，采用平罐蒸馏炉、竖罐蒸馏炉、电热蒸馏炉等设备将纯合金废料火法直接熔炼、含锌废金

属杂料直接蒸馏、含锌金属和氧化物废料还原蒸馏、还原挥发的方法等对锌进行的回收。

1.8 锌产品品号分类

锌产品的品号分类见表 1-6。

表 1-6 锌产品的品号分类

锌 品 号	锌含量（不小于）/%	用 途 举 例
0 号	99.995	高级合金和特殊用途
1 号	99.99	电镀，压铸零件，化学医药试剂
2 号	99.96	电池，做合金
3 号	99.90	
4 号	99.50	
5 号	98.70	

复习思考题

- 1-1 请写出锌的分子式、相对原子质量、熔点、化合价。
- 1-2 锌的化合物主要有哪些？
- 1-3 什么是湿法炼锌？
- 1-4 湿法炼锌的工艺过程主要有哪些？
- 1-5 湿法炼锌的优点是什么？