

“十一五”国家重点图书出版规划项目

**Zn**

中国有色金属丛书  
中国有色金属工业协会组织编写

**锌合金**

田荣璋 编著

**Nonferrous Metals**

 中南大学出版社  
[www.csupress.com.cn](http://www.csupress.com.cn)



“十一五”国家重点图书出版规划项目



# 锌合金

中国有色金属工业协会组织编写

田荣璋 编著

---

图书在版编目(CIP)数据

锌合金/田荣璋编著. —长沙:中南大学出版社,2010. 12

ISBN 978-7-5487-0162-0

I. 锌... II. 田... III. 锌合金 IV. TG146.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 256414 号

---

锌合金

田荣璋 编著

---

☐责任编辑 唐仁政

☐责任印制 文桂武

☐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 长沙市宏发印刷厂

---

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 19.25 ☐字数 488 千字

☐版 次 2010 年 12 月第 1 版 ☐2010 年 12 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0162-0

☐定 价 75.00 元

---

图书出现印装问题,请与出版社调换

 中国有色金属丛书  
**NMS 编委会**

---

**主任:**

康 义

中国有色金属工业协会

**常务副主任:**

黄伯云

中南大学

**副主任:**

熊维平

中国铝业公司

罗 涛

中国有色矿业集团有限公司

李福利

中国五矿集团公司

李贻煌

江西铜业集团公司

杨志强

金川集团有限公司

韦江宏

铜陵有色金属集团控股有限公司

何仁春

湖南有色金属控股集团有限公司

董 英

云南冶金集团总公司

孙永贵

西部矿业股份有限公司

余德辉

中国电力投资集团公司

屠海令

北京有色金属研究总院

张水鉴

中金岭南有色金属股份有限公司

张学信

信发集团有限公司

宋作文

南山集团有限公司

雷 毅

云南锡业集团有限公司

黄晓平

陕西有色金属控股集团有限公司

王京彬

有色金属矿产地质调查中心

尚福山

中国有色金属工业协会

文献军

中国有色金属工业协会

**委员(以姓氏笔划排序):**

马世光

中国有色金属工业协会加工工业分会

马宝平

中国有色金属工业协会铝业分会

王再云

中铝山东分公司

王吉位

中国有色金属工业协会再生金属分会

王华俊

中国有色金属工业协会

王向东

中国有色金属工业协会钛锆铅分会

王树琪

中条山有色金属集团有限公司

|     |                    |
|-----|--------------------|
| 王海东 | 中南大学出版社            |
| 乐维宁 | 中铝国际沈阳铝镁设计研究院      |
| 许 健 | 中冶葫芦岛有色金属集团有限公司    |
| 刘同高 | 厦门钨业集团有限公司         |
| 刘良先 | 中国钨业协会             |
| 刘柏禄 | 赣州有色冶金研究所          |
| 刘继军 | 荏平华信铝业有限公司         |
| 李 宁 | 兰州铝业股份有限公司         |
| 李凤軼 | 西南铝业(集团)有限责任公司     |
| 李阳通 | 柳州华锡集团有限责任公司       |
| 李沛兴 | 白银有色金属股份有限公司       |
| 李旺兴 | 中铝郑州研究院            |
| 杨 超 | 云南铜业(集团)有限公司       |
| 杨文浩 | 甘肃稀土集团有限责任公司       |
| 杨安国 | 河南豫光金铅集团有限责任公司     |
| 杨龄益 | 锡矿山闪星锑业有限责任公司      |
| 吴跃武 | 洛阳有色金属加工设计研究院      |
| 吴锈铭 | 中国有色金属工业协会镁业分会     |
| 邱冠周 | 中南大学               |
| 冷正旭 | 中铝山西分公司            |
| 汪汉臣 | 宝钛集团有限公司           |
| 宋玉芳 | 江西钨业集团有限公司         |
| 张 麟 | 大冶有色金属有限公司         |
| 张创奇 | 宁夏东方有色金属集团有限公司     |
| 张洪国 | 中国有色金属工业协会         |
| 张洪恩 | 河南中孚实业股份有限公司       |
| 张培良 | 山东丛林集团有限公司         |
| 陆志方 | 中国有色工程有限公司         |
| 陈成秀 | 厦门厦顺铝箔有限公司         |
| 武建强 | 中铝广西分公司            |
| 周 江 | 东北轻合金有限责任公司        |
| 赵 波 | 中国有色金属工业协会         |
| 赵翠青 | 中国有色金属工业协会         |
| 胡长平 | 中国有色金属工业协会         |
| 钟卫佳 | 中铝洛阳铜业有限公司         |
| 钟晓云 | 江西稀有稀土金属钨业集团公司     |
| 段玉贤 | 洛阳栾川钼业集团有限责任公司     |
| 胥 力 | 遵义钛厂               |
| 黄 河 | 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司 |
| 黄粮成 | 中铝国际贵阳铝镁设计研究院      |
| 蒋开喜 | 北京矿冶研究总院           |
| 傅少武 | 株洲冶炼集团有限责任公司       |
| 瞿向东 | 中铝广西分公司            |



中国有色金属丛书

# NMS 学术委员会

**主任：**

王淀佐 院士 北京有色金属研究总院

**常务副主任：**

黄伯云 院士 中南大学

**副主任(按姓氏笔划排序)：**

|     |    |                |
|-----|----|----------------|
| 于润沧 | 院士 | 中国有色工程有限公司     |
| 古德生 | 院士 | 中南大学           |
| 左铁镛 | 院士 | 北京工业大学         |
| 刘业翔 | 院士 | 中南大学           |
| 孙传尧 | 院士 | 北京矿冶研究院        |
| 李东英 | 院士 | 北京有色金属研究总院     |
| 邱定蕃 | 院士 | 北京矿冶研究院        |
| 何季麟 | 院士 | 宁夏东方有色金属集团有限公司 |
| 何继善 | 院士 | 中南大学           |
| 汪旭光 | 院士 | 北京矿冶研究院        |
| 张文海 | 院士 | 南昌有色冶金设计研究院    |
| 张国成 | 院士 | 北京有色金属研究总院     |
| 陈景  | 院士 | 昆明贵金属研究所       |
| 金展鹏 | 院士 | 中南大学           |
| 周廉  | 院士 | 西北有色金属研究院      |
| 钟掘  | 院士 | 中南大学           |
| 黄培云 | 院士 | 中南大学           |
| 曾苏民 | 院士 | 西南铝加工厂         |
| 戴永年 | 院士 | 昆明理工大学         |

**委员(按姓氏笔划排序)：**

|     |                |
|-----|----------------|
| 卜长海 | 厦门厦顺铝箔有限公司     |
| 于家华 | 遵义钛厂           |
| 马保平 | 金堆城钼业集团有限公司    |
| 王辉  | 株洲冶炼集团有限责任公司   |
| 王斌  | 洛阳栾川钼业集团有限责任公司 |

|     |                  |
|-----|------------------|
| 王林生 | 赣州有色冶金研究所        |
| 尹晓辉 | 西南铝业(集团)有限责任公司   |
| 邓吉牛 | 西部矿业股份有限公司       |
| 吕新宇 | 东北轻合金有限责任公司      |
| 任必军 | 伊川电力集团           |
| 刘江浩 | 江西铜业集团公司         |
| 刘劲波 | 洛阳有色金属加工设计研究院    |
| 刘昌俊 | 中铝山东分公司          |
| 刘侦德 | 中金岭南有色金属股份有限公司   |
| 刘保伟 | 中铝广西分公司          |
| 刘海石 | 山东南山集团有限公司       |
| 刘祥民 | 中铝股份有限公司         |
| 许新强 | 中条山有色金属集团有限公司    |
| 苏家宏 | 柳州华锡集团有限责任公司     |
| 李宏磊 | 中铝洛阳铜业有限公司       |
| 李尚勇 | 金川集团有限公司         |
| 李金鹏 | 中铝国际沈阳铝镁设计研究院    |
| 李桂生 | 江西稀有稀土金属钨业集团公司   |
| 吴连成 | 青铜峡铝业集团有限公司      |
| 沈南山 | 云南铜业(集团)公司       |
| 张一宪 | 湖南有色金属控股集团有限公司   |
| 张占明 | 中铝山西分公司          |
| 张晓国 | 河南豫光金铅集团有限责任公司   |
| 邵 武 | 铜陵有色金属(集团)公司     |
| 苗广礼 | 甘肃稀土集团有限责任公司     |
| 周基校 | 江西钨业集团有限公司       |
| 郑 蕾 | 中铝国际贵阳铝镁设计研究院    |
| 赵庆云 | 中铝郑州研究院          |
| 战 凯 | 北京矿冶研究总院         |
| 钟景明 | 宁夏东方有色金属集团有限公司   |
| 俞德庆 | 云南冶金集团总公司        |
| 钱文连 | 厦门钨业集团有限公司       |
| 高 顺 | 宝钛集团有限公司         |
| 高文翔 | 云南锡业集团有限责任公司     |
| 郭天立 | 中冶葫芦岛有色金属集团有限公司  |
| 梁学民 | 河南中孚实业股份有限公司     |
| 廖 明 | 白银有色金属股份有限公司     |
| 翟保金 | 大冶有色金属有限公司       |
| 熊柏青 | 北京有色金属研究总院       |
| 颜学柏 | 陕西有色金属控股集团有限责任公司 |
| 戴云俊 | 锡矿山闪星锑业有限责任公司    |
| 黎 云 | 中铝贵州分公司          |

# 总序



有色金属是重要的基础原材料，广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域，在保障国民经济建设和社会发展等方面发挥了不可或缺的作用。

改革开放以来，特别是新世纪以来，我国有色金属工业持续快速发展，已成为世界最大的有色金属生产国和消费国，产业整体实力显著增强，在国际同行业中的影响力日益提高。主要表现在：总产量和消费量持续快速增长，2008年，十种有色金属总产量2 520万吨，连续七年居世界第一，其中铜产量和消费量分别占世界的20%和24%；电解铝、铅、锌产量和消费量均占世界总量的30%以上。经济效益大幅提高，2008年，规模以上企业实现销售收入预计2.1万亿以上，实现利润预计800亿元以上。产业结构优化升级步伐加快，2005年已全部淘汰了落后的自焙铝电解槽；目前，铜、铅、锌先进冶炼技术产能占总产能的85%以上；铜、铝加工能力有较大改善。自主创新能力显著增强，自主研发的具有自主知识产权的350 kA、400 kA大型预焙电解槽技术处于世界铝工业先进水平，并已输出到国外；高精度内螺纹铜管、高档铝合金建筑型材及时速350 km高速列车用铝材不仅满足了国内需求，已大量出口到发达国家和地区。国内矿山新一轮找矿和境外矿产资源开发取得了突破性进展，现有9大矿区的边部和深部找矿成效显著，一批有实力的大型企业集团在海外资源开发和收购重组境外矿山企业方面迈出了实质性步伐，有效增强了矿产资源的保障能力。

2008年9月份以来，我国有色金属工业受到了国际金融危机的严重冲击，产品价格暴跌，市场需求萎缩，生产增幅大幅回落，企业利润急剧下降，部分行业



已出现亏损。纵观整体形势，我国有色金属工业仍处在重要机遇期，挑战和机遇并存，长期发展向好的趋势没有改变。今后一个时期，我国有色金属工业发展以控制总量、淘汰落后、技术改造、企业重组、充分利用境内外两种资源，提高资源保障能力为重点，推动产业结构调整和优化升级，促进有色金属工业可持续发展。

实现有色金属工业持续发展，必须依靠科技进步，关键在人才。为了提高劳动者素质，培养一大批高水平的科技创新人才和高技能的技术工人，由中国有色金属工业协会牵头，组织中南大学出版社及有关企业、科研院校数百名有经验的专家学者、工程技术人员，编写了《中国有色金属丛书》。《丛书》内容丰富，专业齐全，科学系统，实用性强，是一套好教材，也可作为企业管理人员和相关专业大学生的参考书。经过编写、编辑、出版人员的艰辛努力，《丛书》即将陆续与广大读者见面。相信它一定会为培养我国有色金属行业高素质人才，提高科技水平，实现产业振兴发挥积极作用。

康莉

2009 年 3 月

# 前 言

---

锌合金在工业上应用是从 20 世纪初开始的，至今已有上百年的历史。锌在合金中的应用是在中国上古时期的事，那时称黄铜为瑜石。后来在明朝已有黄铜这个名称，而且生产技术水平很高，宣德香炉至今享有盛名。欧洲在 17 世纪和 18 世纪使用的锌是从我国购进的，大约在 1730 年冶炼锌的技术才由我国传到英国，后又相继传到其他国家。

锌合金被应用，要归功于 19 世纪末压铸机的发明，有了压铸机，锌合金及其压铸件相应诞生，深受欢迎。二战期间，德国因缺铜而利用锌合金代替铜合金做耐磨零件。后来发现锌合金有“老化”问题而搁置。直到 20 世纪 50 年代末，出现国际性铜资源紧张，锌合金又被重视，并发明了几种典型的铸造锌合金，特别值得指出的是重力铸造锌合金的研制成功，扩大了锌合金的用途。加工锌合金板的利用，最早是用它做屋顶瓦，历史悠久。挤压锌合金材刚刚起步，变形锌合金的品种和应用量还不多。

近些年来，为了节约能源、减少环境污染、降低成本，以及铜价的高涨我锌合金迅速崛起，应用的成功要感谢冶炼技术进步，能大量提供高纯锌原料，使“老化”问题得以解决。

我国对锌合金的重视并不晚，但真正的大规模研究、开发和应用是在改革开放以后，经济大发展，首先是在沿海地区建立很多锌压铸厂，生产锌合金压铸件，向国内外销售；另外是随着钢铁工业的发展，镀用锌合金用量剧增，使我国成为锌及锌合金生产、应用和出口大国。

1994 年，我和孙连超编写出版一本《锌及锌合金物理冶金学》（中南工业大学出版社出版），还获得了湖南省科技图书一等奖，引起一些读者关注。我喜欢到企业参观、考查、学习，也常到一些单位去帮助解决生产技术问题，深知企业（特别是中、小企业）互相交流经验机会少，技术资料匮乏。他们想找资料，要跑很远的路，费很长的时间，还不一定找到找全。我每到一处，总有热心人提议，希望给编一本有关锌合金的书，供技术工人、工程技术人员和企业管理者学习和参

考之用。这件事我一直记在心里，想找个机会谢答众托。

《锌合金》是中国有色金属工业协会组织编写的“十一五”国家重点图书出版规划项目中《中国有色金属丛书》的一种，根据会议通过的编写大纲编写的，编写的出发点，一是想把基本理论、基本知识、基本数据和基本方法尽量多收入一些，覆盖面尽量大一点，一书在手，随时可查到一般所需要的东西，类似于手册的作用，如元素物理常数、元素物理性质、相图及中间相晶体结构，成分、组织和性能以及加工和热处理原理等；二是想把生产实际技术和存在问题如何解决，尽量举一反三地写透，如合金用途、熔炼和熔体净化、铸造和加工方法以及产品检测等技术尽量接近生产；三是想能深入浅出，文、图、表、数据并茂，有可读性。

我从事多年教学和出版工作，远离生产实践，编写这样的书，实感费力，我也知道有很多不足之处。在《锌合金》面市之后，企盼读者多提意见，以便再版时修改。

在编写此书过程中，采用了很多同仁的资料和成果，还得到了一些老朋友、老同事们如唐仁政教授、韩德伟教授、周善初教授以及萧山同志等的帮助，在此一并表示谢意。

田荣璋  
2010年4月

# 目 录



|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>第1章 概述</b>          | <b>1</b>  |
| 1.1 锌的资源及冶炼            | 1         |
| 1.1.1 锌的资源             | 1         |
| 1.1.2 锌的冶炼             | 1         |
| 1.2 锌的生产量与消费量          | 4         |
| 1.3 锌的应用               | 6         |
| 1.4 纯锌的性质              | 6         |
| 1.4.1 物理性质             | 6         |
| 1.4.2 力学性能             | 7         |
| 1.4.3 锌的化学性质           | 7         |
| <b>第2章 锌合金物理化学基础知识</b> | <b>10</b> |
| 2.1 化学元素周期表            | 10        |
| 2.2 化学元素物理常数           | 11        |
| 2.3 化学元素物理性质           | 14        |
| 2.4 锌合金相图              | 17        |
| 2.4.1 相图中的规律及其应用       | 17        |
| 2.4.2 锌合金二元相图解说        | 18        |
| 2.4.3 锌合金二元相图          | 22        |
| 2.4.4 锌合金二元系中间相晶体结构    | 55        |
| 2.5 合金元素的作用            | 67        |
| 2.5.1 Zn-Al 二元合金       | 67        |
| 2.5.2 Zn-Cu 二元合金       | 71        |
| 2.5.3 Zn-Al-Cu 三元合金    | 71        |
| <b>第3章 锌合金</b>         | <b>79</b> |
| 3.1 锌合金的分类             | 79        |
| 3.2 铸造锌合金              | 80        |
| 3.2.1 铸造锌合金的牌号、成分及性能   | 80        |
| 3.2.2 压力铸造锌合金          | 88        |
| 3.2.3 重力铸造锌合金          | 94        |
| 3.3 变形锌合金              | 101       |
| 3.3.1 锌及锌合金的塑性变形       | 101       |

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 3.3.2 | 变形锌合金的成分和性能  | 102 |
| 3.3.3 | 变形锌合金的分类及用途  | 107 |
| 3.4   | 镀层用锌合金       | 113 |
| 3.4.1 | 热镀锌          | 115 |
| 3.4.2 | 电镀锌          | 119 |
| 3.4.3 | 粉末镀锌         | 121 |
| 3.4.4 | 热喷涂          | 124 |
| 3.5   | 超塑锌合金        | 124 |
| 3.6   | 其他锌合金        | 131 |
| 3.6.1 | 减振锌合金        | 131 |
| 3.6.2 | 耐磨锌合金        | 133 |
| 3.6.3 | 模具锌合金        | 136 |
| 3.6.4 | 离心铸造锌合金      | 139 |
| 3.6.5 | 凝壳铸造锌合金      | 139 |
| 3.7   | 锌合金复合材料      | 140 |
| 3.7.1 | 金属基层状复合材料    | 140 |
| 3.7.2 | 金属基铸造复合材料    | 142 |
| 3.8   | 喷射成形锌基合金     | 146 |
| 第4章   | 锌合金熔炼与熔体处理   | 151 |
| 4.1   | 合金化          | 151 |
| 4.1.1 | 合金化          | 151 |
| 4.1.2 | 金属的结构        | 152 |
| 4.1.3 | 锌合金熔体的性质     | 154 |
| 4.2   | 氧化、吸气、夹杂的危害性 | 159 |
| 4.2.1 | 氧化及夹杂的危害性    | 159 |
| 4.2.2 | 锌中气体的危害性     | 163 |
| 4.3   | 熔体净化处理       | 165 |
| 4.3.1 | 锌合金熔体的保护     | 165 |
| 4.3.2 | 熔体净化处理       | 166 |
| 4.4   | 锌合金的熔炼       | 168 |
| 4.4.1 | 熔炼设备选择       | 168 |
| 4.4.2 | 炉料及主要辅助材料    | 171 |
| 4.4.3 | 熔炼前准备工作      | 173 |
| 4.4.4 | 熔炼工艺         | 177 |
| 4.4.5 | 浇注           | 178 |
| 4.4.6 | 熔炼工艺举例       | 178 |
| 4.4.7 | 中间合金生产       | 179 |

|                    |            |
|--------------------|------------|
| <b>第5章 锌合金的铸造</b>  | <b>182</b> |
| 5.1 概 述            | 182        |
| 5.2 铸件组织           | 185        |
| 5.2.1 铸件组织         | 185        |
| 5.2.2 细晶强化         | 189        |
| 5.3 砂型铸造           | 192        |
| 5.4 金属型铸造          | 194        |
| 5.5 压力铸造           | 195        |
| 5.6 熔模铸造           | 206        |
| 5.7 石膏型精密铸造        | 207        |
| 5.8 挤压铸造           | 208        |
| 5.9 半固态铸造          | 209        |
| 5.10 离心铸造          | 210        |
| 5.11 铸造缺陷分析        | 211        |
| 5.12 锌合金锭生产        | 213        |
| 5.13 喷射沉积          | 214        |
| <b>第6章 锌合金压力加工</b> | <b>217</b> |
| 6.1 锌合金的轧制         | 218        |
| 6.1.1 轧制过程         | 218        |
| 6.1.2 轧制过程金属的变形    | 221        |
| 6.1.3 轧制生产流程       | 228        |
| 6.2 锌合金的挤压         | 230        |
| 6.2.1 挤压基本理论       | 230        |
| 6.2.2 挤压制品的组织与性能   | 232        |
| 6.2.3 挤压工艺流程       | 233        |
| 6.2.4 锌及其合金的挤压工艺   | 235        |
| <b>第7章 锌合金热处理</b>  | <b>237</b> |
| 7.1 锌合金热处理原理       | 237        |
| 7.1.1 共析转变         | 237        |
| 7.1.2 过饱和固溶体分解     | 240        |
| 7.2 热处理工艺制订原则      | 252        |
| 7.2.1 淬火工艺制订原则     | 253        |
| 7.2.2 时效工艺制订原则     | 254        |
| 7.2.3 退火工艺制订原则     | 255        |
| 7.3 工业锌合金的热处理      | 256        |
| 7.3.1 稳定化处理        | 258        |
| 7.3.2 均匀化退火        | 260        |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| 7.3.3 强化热处理         | 260        |
| <b>第8章 锌合金产品的检验</b> | <b>262</b> |
| 8.1 概 述             | 262        |
| 8.2 力学性能检测          | 262        |
| 8.2.1 抗拉性能检测        | 263        |
| 8.2.2 冲击性能检测        | 269        |
| 8.2.3 硬度检测          | 271        |
| 8.3 金相组织分析          | 278        |
| 8.3.1 宏观分析          | 278        |
| 8.3.2 微观分析          | 279        |
| 8.3.3 显微组织照片举例      | 286        |
| <b>第9章 废锌再生利用</b>   | <b>288</b> |
| 9.1 概 述             | 288        |
| 9.2 含锌废料的组成         | 289        |
| 9.2.1 黄铜废品          | 291        |
| 9.2.2 锌及锌合金废品       | 291        |
| 9.2.3 镀锌废品          | 291        |
| 9.2.4 其他            | 291        |
| 9.3 含锌废料的处理方法       | 291        |
| 9.3.1 分选            | 291        |
| 9.3.2 再生锌生产         | 293        |
| 9.3.3 含锌废料冶金处理      | 296        |
| <b>参考文献</b>         | <b>299</b> |

# 第1章 概述

## 1.1 锌的资源及冶炼

### 1.1.1 锌的资源

锌在地壳中的丰度为 82 g/t, 据 1998 年美国地质调查局统计, 世界已查明的锌资源量约为  $19 \times 10^8$  t, 世界锌储量为  $1.9 \times 10^8$  t, 储量基础为  $4.4 \times 10^8$  t。自然界已发现 80 多种含锌矿物, 有工业生产价值的矿物如闪锌矿 (ZnS), 菱锌矿 ( $\text{ZnCO}_3$ ), 红锌矿 (ZnO) 等, 目前主要使用的是闪锌矿。

锌的探明储量, 在 10 种常用有色金属中, 仅次于铝和铜。

我国锌矿资源十分丰富, 分布广泛, 遍布全国 29 个省、市、自治区。已查明锌矿产地 769 处, 储量居世界第 2 位。1998 年全国已利用锌矿区 307 处。截至 1998 年底, 我国锌矿保有储量  $9244.87 \times 10^4$  t。

2000 年以后, 我国有色地质部门在铅锌成矿和勘查理论研究上取得巨大突破, 研究开发了一系列新技术新方法, 这些技术和方法的应用和推广, 使地质找矿勘查工作的技术水平大大提高。根据国土资源《2006 全国矿产资源储量通报》数据显示, 截至 2006 年底, 全国共有锌矿区 1266 个, 锌矿储量、基础储量分别为 2510.31 万 t、4227.14 万 t, 比 2005 年减少 4.31% 和 0.98%, 静态保证年限分别为 12 年和 18 年; 查明资源储量为 9710.94 万 t, 比 2005 年增长 2.27%, 即新增 486.59 万 t。

### 1.1.2 锌的冶炼

很久以前人们就知道锌的存在, 直到公元 14 世纪才开始商业性生产。锌作为合金元素, 比冶炼纯锌早, 考古学家在山东胶县“龙山文化”地层中发现的黄铜锥, 含锌量高达 23.2%, 是公元前 2400 ~ 2000 年的产物, 它是世界上最古的黄铜器, 证明我国是应用锌最早的国家。

在我国, 最古老的炼锌工艺是将要焙烧的矿石与无烟煤混合后松散地置于粘土罐中, 罐子上方安放一粘土坩埚作为冷却室, 在坩埚内有一粘土杯作为冷凝锌的收集器, 粘土坩埚的上端盖以铁盘 (见图 1-1)。将许多个这样的罐子排于炉子内, 在罐子周围用燃料加热, 当温度达 1000  $^{\circ}\text{C}$  时矿石中的氧化锌开始还原, 锌蒸气 and 一氧化碳进入上方的冷却室, 在冷却室中大部分锌蒸气冷却后凝结在粘土杯中, 将之收集起来即得到金属锌。

中国是最早掌握炼锌技术的国家, 明代著作《天工开物》记述过炼锌技术, 称锌为倭铅。在欧洲, 17 世纪和 18 世纪使用的锌大多都是从我国和印度购进的。大约在 1730 年冶炼锌技术才由我国传到英国, 后来又相继传入欧洲其他一些国家。

在炼锌方法上, 自古以来一直走着火法高温还原的道路。



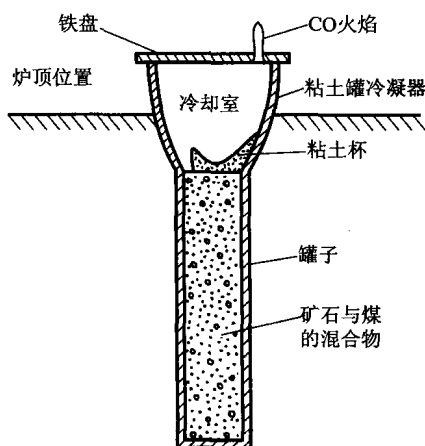


图 1-1 我国早期炼锌使用的粘土罐及其冷凝系统示意图

湿法炼锌的兴起，改变了延续久远的炼锌状况，这就是电解炼锌。大约在第一次世界大战中期，湿法电解炼锌才正式投入工业生产，不到半个世纪，产量就超过了火法炼锌。从此以后两种炼锌方法并行，都在不断地改进。

#### 1) 火法炼锌

火法炼锌首先将锌精矿进行氧化焙烧或烧结焙烧，使精矿中的  $\text{ZnS}$  变为  $\text{ZnO}$ ，以便为碳质还原剂所还原。由于锌的沸点较低，在高于其沸点温度下还原出来的锌将呈蒸气状态从炉料中挥发出来，这样，锌便与炉料中其他组分分离。锌蒸气随炉气一道进入冷凝器，在冷凝器内冷凝成液体锌。与锌一道呈蒸气状态进入气相的还有其它易挥发的杂质金属，如镉和铅，这些元素会影响锌的纯度，须将冷凝所得的粗锌进行精炼。火法炼锌的精炼方法是利用锌和杂质金属的沸点不同，采用蒸馏的方法来提纯的，称为锌精馏。将精馏锌浇铸成锭，得到纯度在 99.99% 以上的精锌。火法炼锌的一般原则工艺流程如图 1-2。

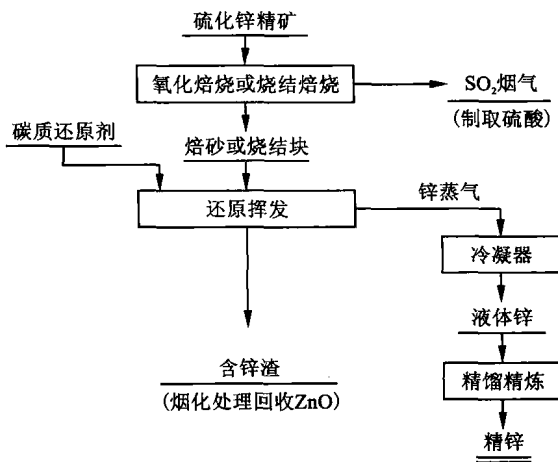


图 1-2 火法炼锌原则流程