

高等学校教学用书



# 有色重金属冶金学

中 册

中南矿冶学院  
有色重金属冶炼教研组 编

冶金工业出版社

高等学校教学用书

# 有色重金屬冶金学

中 册

中南矿冶学院  
有色重金屬冶煉教研組 編

冶金工業出版社

本書系根据中南矿冶学院 1959 年制定的有色金屬冶煉專業五年制教學計劃有色重金屬冶金學教學大綱編写的。

全書共有銅、鐵、鋅、鉛、鋅、鎳、錫、鎢、汞冶金等九篇，分上、中、下三册出版。本册包括鉛、鋅、鎳冶金三篇。

本書为高等学校有色冶煉專業試用教材，也可供有色冶金部門工程技術人員参考。

### 有色重金屬冶金學 中册

中南矿冶学院有色重金屬冶煉教研組 編  
冶金工業出版社出版(北京市灯市口甲 45 号)  
北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号  
西四印刷厂印 新华書店发行

1959 年 9 月 第 一 版

1959 年 9 月 北京第一次印刷

印数 3,020 册

850×1168· $\frac{1}{32}$ ·375,000 字·印張 15 $\frac{24}{32}$

統一書号 15062·1848 定价 1.80 元

# 中 册 目 录

## 第四篇 鉛冶金

<b>第一章 总論</b> .....	1
§1 鉛生产发展概況.....	1
1. 鉛生产发展簡史.....	1
2. 我国鉛生产的发展及現况.....	2
3. 世界上鉛的生产和消費.....	3
§2 鉛及其主要化合物的性質和用途.....	6
1. 金屬鉛的性質.....	6
2. 鉛的主要化合物的性質.....	8
3. 鉛的用途.....	10
§3 鉛的矿物、矿石和精矿.....	11
§4 生产鉛的方法.....	14
1. 鉛的火法冶金.....	14
2. 鉛的湿法冶金.....	18
<b>第二章 硫化鉛精矿的燒結焙燒</b> .....	22
§1 概述.....	22
§2 焙燒的理論基础.....	25
1. 硫化矿物及硫化鉛氧化的基本原理.....	25
2. 焙燒时精矿中各組分的行为.....	32
§3 燒結焙燒的實踐.....	37
1. 焙燒前爐料的准备.....	37
2. 燒結焙燒的发展.....	47
3. 在燒結鍋內进行燒結焙燒.....	49
4. 在帶式燒結机上进行燒結焙燒.....	50
§4 鉛燒結焙燒的新发展.....	68

<b>第三章 鉛鼓風爐还原熔煉</b> .....	72
§1 概述.....	72
§2 鉛鼓風爐还原熔煉的理論基础.....	73
1. 金屬氧化物还原的基本原理.....	73
2. 还原熔煉时燒結块中各主要組分的行為.....	81
3. 鉛鼓風爐內的炭質燃料燃燒和爐內的还原能力.....	91
4. 鉛熔煉产物.....	98
§3 鉛鼓風爐熔煉的燃料和鼓風.....	107
§4 鉛鼓風爐熔煉的實踐.....	110
1. 鼓風爐的構造及其主要尺寸.....	110
2. 鼓風爐熔煉的作業.....	121
3. 鼓風爐熔煉技术过程的控制.....	129
4. 鼓風爐熔煉的技术經濟指标.....	131
§5 鉛熔煉含鋅爐渣的处理.....	132
1. 概述.....	132
2. 鉛爐渣在烟化爐中的处理.....	133
3. 鉛爐渣在迴轉窑中烟化处理.....	140
4. 电热法处理鉛爐渣.....	145
§6 鉛鼓風爐熔煉的新发展.....	145
<b>第四章 膛式熔煉</b> .....	148
§1 概述.....	148
§2 膛式熔煉的理論基础.....	148
1. 膛式熔煉的基本反应.....	148
2. 各种杂质对膛式熔煉过程的影响.....	150
§3 膛式熔煉的實踐.....	152
1. 現代膛式爐的構造及其作業.....	152
2. 处理浮选精矿的膛式熔煉方法及操作.....	154
3. 膛式爐熔煉的技术指标.....	156
<b>第五章 粗鉛的精煉</b> .....	159

§1 概述	159
§2 粗鉛除銅精煉	168
1. 除銅精煉的理論基礎	169
2. 除銅精煉的實踐	172
3. 銅浮渣的處理	178
§3 粗鉛除砷, 銻和錫的精煉	182
1. 氧化精煉	182
2. 鹼性精煉及鹼性浮渣的處理	183
§4 粗鉛除銀精煉	192
1. 加鋅除銀的理論基礎	193
2. 加鋅除銀過程的實踐	198
3. 銀鋅殼的處理	202
§5 除銀鉛的精煉除鋅	211
1. 氧化精煉	212
2. 氯化精煉	215
3. 真空精煉	218
§6 鉛的連續精煉	220
§7 鉛的除銻精煉	226
§8 鉛的電解精煉	232
§9 粗鉛精煉的新發展	237
§10 精煉鉛的鑄錠	239

## 第五篇 鋅冶金

第一章 總論	242
§1 鋅生產發展概況	242
§2 鋅及其主要化合物的性質和用途	243
§3 鋅的礦物、礦石和精礦	248
§4 鋅的生產方法	251
1. 鋅的火冶法	251

2. 鋅的水冶法	252
<b>第二章 鋅精礦的焙燒</b>	254
§1 概述	254
§2 鋅精礦焙燒過程的理論基礎	255
§3 鋅精礦焙燒的實踐	260
1. 鋅精礦焙燒前的干燥	260
2. 鋅精礦焙燒的發展	263
3. 多腔爐焙燒	264
4. 飄蕩焙燒	269
5. 沸騰焙燒	274
6. 燒結焙燒	281
<b>第三章 蒸餾法煉鋅</b>	290
§1 概述	290
§2 蒸餾法煉鋅的理論基礎	292
1. 爐料各主要組成在蒸餾過程中的行為	292
2. 鋅蒸氣的冷凝	299
§3 蒸餾法煉鋅的實踐	304
1. 平罐煉鋅	304
2. 豎罐煉鋅	325
3. 電爐煉鋅	339
§4 蒸餾法煉鋅半產品的處理	346
<b>第四章 鼓風爐煉鋅</b>	349
§1 概述	349
§2 鼓風爐煉鋅的理論基礎	350
§3 鼓風爐煉鋅的實踐及其技術經濟指標	352
§4 鼓風爐煉鋅的優缺點及其發展方向	359
<b>第五章 粗鋅精煉</b>	361
§1 概述	361
§2 熔析精煉	362

§3 重蒸餾精煉	364
§4 連續精餾	366
§5 高純度鋅的提煉	371
<b>第六章 鋅焙砂的浸出與硫酸鋅溶液的淨化</b>	<b>373</b>
§1 概述	373
§2 浸出過程的論理基礎	375
1. 浸出過程的動力學	375
2. 浸出速度及影響浸出速度的因素	378
3. 鋅焙砂各組分在浸出時的行為	382
§3 硫酸鋅溶液的淨化	386
1. pH 值對硫酸鋅溶液淨化過程的意義	387
2. 水解淨化法除鐵	389
3. 溶液淨化除砷和銻	391
4. 溶液淨化除銅和鎳	392
5. 溶液淨化除鈷	394
6. 溶液淨化除氯和氟	395
§4 浸出及淨化的實踐	397
1. 浸出車間的主要設備及構造	397
2. 浸出與淨化作業	412
3. 浸出和淨化的副產品及其處理	424
<b>第七章 硫酸鋅水溶液的电积</b>	<b>425</b>
§1 概述	425
§2 鋅电积的理論基礎	426
1. 氫的超电压與影響超电压的因素	426
2. 电流效率與影響电流效率的因素	432
3. 槽电压和电能消耗	438
4. 阴极鋅的質量和添加劑的作用	440
§3 电解車間的主要設備	444
1. 电解槽的構造	444



2. 阳极	448
3. 阴极	451
4. 导电設備	454
5. 冷却設備	455
§4 鋅电积的作業	459
1. 电解槽的給液及电解液的循环	459
2. 电解槽槽面操作	460
3. 阴极鋅的剝离	460
4. 开槽与停槽	462
5. 电解車間酸霧的消除	462
§5 鋅电积过程的技术經濟指标	463
§6 阴极鋅的熔鑄和浮渣的处理	467
§7 提取鋅的其他方法	471
1. 高电流密度法	471
2. 硫酸化法	472
3. 氯化法	473

## 第六篇 鋅冶金

第一章 总論	475
§1 鋅生产的发展	475
§2 鋅的性質和用途	475
§3 生产鋅的原料	478
§4 生产鋅的方法	478
第二章 从銅鋅渣中提鋅	481
§1 概述	481
§2 銅鋅渣的浸出	483
§3 置換沉淀海綿鋅的溶解	484
§4 鋅溶液的電积	483
§5 阴极鋅的熔化和精煉	490
第三章 从鋅烟塵中提鋅	492
主要参考文献	495

## 第四篇 鉛冶金

### 第一章 总論

#### §1 鉛生产发展概况

##### 1. 鉛生产发展简史

鉛为史前金屬之一。在紀元前 7000—5000 年前人們就知道有鉛。最初鉛是与金和銀同时在埃及得到的，現保存在不列顛博物館的一个鉛象，公認是最古老的鉛标本之一。这座鉛象是屬於紀元前 3800 年的产物。

处理鉛矿最早的国家是西班牙与希臘。腓尼基人在紀元前 3000—2000 年，便在西班牙的里約廷托开采鉛銀矿床，那里还保存有古老的鉛爐渣堆坊。希臘人曾在罗得島、塞浦路斯及优卑亞島开采鉛矿和熔煉鉛。拉維里奧尼(阿提哈)的銀鉛矿床在紀元前 560 年便已开采，在几百年中一直保持它的作用。

羅馬人在紀元前三世紀曾用英国及德国开采的矿石来熔煉鉛。古时的羅馬人已經会熔煉金屬鉛和制造鉛的水管、鉛板及鉛币。

在古代和中世紀，除了金屬鉛外，人們还知道某些鉛化合物，例如，密陀僧( $\text{PbO}$ )和鉛白 $[\text{2PbO}_2 \cdot \text{Pb(OH)}_2]$ 曾应用在医药上。

从矿石中生产鉛的技术发展史，現在知道的还是很少。可以推測开始熔煉鉛是很偶然的。在用氧化鉛矿砌筑的火爐的通

风溝处，人們发现了白色金屬；这种金屬可以割切、鍛打、熔化和鑄成各种形狀。人們便对这种金屬的特性发生了兴趣。开始是在簡單的火爐內熔煉鉛。逐渐便挖地坑来代替火爐，这种地坑里面是用石头砌成一个很小的豎井形式。开始这种地坑是自然通风，后来为了达到造渣的温度，便采用鼓风。这种具有两个风口的小鼓风爐約在 6000 年前使用过，以木炭作为燃料。

很早就知道鉛与銀的合金，这种合金是从处理含銀鉛矿时得到的。这种合金作为生产純銀的原料，鉛被氧化以密陀僧 (PbO) 的形态从銀中除去。

在火药发明和战争中应用彈药后，鉛又得到了特殊的应用，大量用来制造彈丸。到 19 世紀和 20 世紀鉛才得到广泛的应用。

## 2. 我国鉛生产的发展及现状

我国在紀元前 206 年即已生产鉛，但是鉛工業在古时并未得到迅速的发展。

到 19 世紀初，鉛皮便用来作为茶叶箱的襯里。1910 年以湖南水口山的鉛鋅矿为基地，在長沙市郊設有煉鉛厂。1930 年該厂迁于水口山生产，这是我国現代煉鉛工業的萌芽。但在国民党政权統治下，煉鉛工業是不可能得到发展的，他們只以此作为剝削劳动人民血汗的手段，將仅有的水口山鉛鋅矿濫施开采；同时在美日帝国主义的侵略下，唯一的煉鉛厂也停止了生产。

日本帝国主义侵佔我国期間，企图在东北地区建立煉鉛厂，但在我国人民的反抗下、始終沒有完全建成。光复后，国民党反动派不但不將工厂恢复生产，反而將一些殘破不全的設備劫掠一空。因此在解放以前，我国几乎沒有煉鉛工業。

1949 年全国解放后，全国人民在党的领导下，开始建立自己的各个工業部門，其中也包括煉鉛工業。在 1950—1952 的

三年恢复时期中，被国民党破坏的各个炼铅厂，在苏联的援助下，全部恢复和建成，并投入生产。这样便改变了过去根本没有铅工业的面貌，为铅工业的发展打下了基础。

在1953—1957年的第一个五年计划期间，沈阳冶炼厂和水口山炼铅厂等的生产过程及设备均有了很大的改进；生产规模也大大的扩大了；并在这期间内筹建湖南株州冶炼厂与云南的澜沧炼铅厂。澜沧炼铅厂在1958年建成，并投入生产，株州冶炼厂的部分车间也比原计划提前投入了生产，昆明冶炼厂的炼铅车间也已正式生产。

在第一个五年计划期间，铅的产量计划在1957年比1952年增长2.3倍，其实已超额完成；尤其是1958年的大跃进以来，在全国各地建立了许多中小型的炼铅厂，使我国铅生产成倍地增长着。

我国国民经济的发展速度，其中包括铅的生产，在资本主义制度下是从来没有过的，也是不可能有的。这个事实再一次证明了社会主义制度的无比优越性。

### · 3. 世界上铅的生产和消费

铅开始大量生产比其他有色金属较早，但是在19世纪初期，炼铅工业的发展是不大的，世界铅的产量不超过22 000吨。在19世纪中，铅的生产得到了很大的发展；1901年铅的产量达到835 000吨。在本世纪的前半叶，铅成倍地增长着。

资本主义国家铅的生产数据列于表1中。

从表1所列资料可看出，在资本主义国家里，铅生产最多的有美国、加拿大、墨西哥、澳大利亚和德国。从其生产变化的情况来看，铅的生产几乎没有什么增长；同时生产量的增长与下降是与战争联系着的。从这里我们也可以看出，帝国主义的铅生产与其他物质生产一样，只是为获得最大利润，甚至不惜采取战争手段，这就是帝国主义现在执行冷战政策的实质。

矿鉛的生产(千吨)

表 1

国 家	年 代							
	1929	1937	1939	1943	1946	1950	1955	1956 <sup>①</sup>
澳大利亞	177.3	229.4	249.6	194.9	153.6	202.7	229.6	238
亞洲								
緬甸	81.5	78.9	78.6	未报道	未报道	0.1	14.3	15
印度	—	—	—	—	—	0.6	2.3	2
日本	3.4	10.4	17.7	31.3	4.0	9.9	33.0	42
北美洲								
加拿大	144.4	179.9	172.9	203.1	150.4	154.2	135.0	134
美国 <sup>②</sup>	624.2	426.3	408.1	464.1	332.4	482.4	465.5	524
中南美								
阿根廷	9.0	9.1	14.1	22.9	21.0	19.0	18.0	18
墨西哥	248.8	231.2	212.9	187.3	168.6	220.8	198.2	192
秘魯	19.6	19.1	24.1	43.3	38.1	32.0	61.1	60
非洲								
北罗得西亞	1.7	—	0.2	1.3	8.4	13.9	16.3	15
突尼斯	18.8	27.6	23.2	1.9	7.7	23.5	26.0	24
摩洛哥	—	—	—	—	—	—	26.2	28
欧洲								
奥地利 <sup>③</sup>	6.6	10.8	—	—	4.5	10.9	10.2	9
英国	10.8	12.1	16.3	3.6	2.6	3.1	6.2	
比利时	62.2	88.0	95.7	7.5	24.5	62.1	82.8	101
德国 <sup>④</sup>	97.9	162.7	195.0	109.2	16.3	66.6	107.6	116.5
希臘	5.4	9.2	3.8	1.2	1.1	2.1	3.6	2.5
意大利	22.7	39.5	38.8	17.7	12.8	38.8	41.8	39
西班牙	133.3	31.0	27.2	34.6	32.2	40.6	61.2	59
法国	20.5	37.2	42.0	15.3	34.4	62.4	66.5	63
瑞典	—	—	—	1.5	11.2	16.7	21.2	25
总 共	1688.1	1602.2	1620.2	1400.7	1023.9	1462.4	1626.6	1707

① 为預計数字。

② 包括从輸入的矿石中熔煉的鉛。

③ 1939—1943年包括在德国的产量在內。

④ 1943年的产量包括波蘭的生产在內，从1946年起即为西德的产量。

資本主义国家鉛的消费列于表 2。

鉛的消费(千吨)

表 2

国 家	年 代			
	1938	1946	1950	1955
美 国	360.1	487.6	850.5	687
加 拿 大	20.7	56.5	48.6	61
墨 西 哥	—	6.3	9.5	—
美洲其他国家	4.3	3.6	7.5	—
阿 根 廷	10.4	23.3	34.7	—
巴 西	7.4	18.0	23.9	—
比 利 时	34.7	21.6	26.8	45
英 国	385.4	195.0	164.7	285
德 国	244.5	16.2	99.7	185
荷 兰	35.6	13.5	25.9	—
丹 麦	6.6	7.7	10.9	12
西 班 牙	19.8	27.9	33.1	30
意 大 利	51.5	12.6	43.3	65
法 国	85.4	78.3	58.6	135
瑞 典	9.8	21.2	19.3	16
印 度	7.9	4.1	15.4	—
非 洲	5.9	4.5	—	—
澳 大 利 亚	25.2	45.0	49.4	—
新 西 蘭	—	—	—	—
瑞 士	25.0	29.6	28.4	35
挪 威	—	—	—	—
共 計	1340.5	1072.5	1550.2	—

在資本主义国家中消费量最大的国家是美国，几乎佔整个資本主义国家消费量的一半。

在社会主义国家里，与資本主义国家完全不同，鉛生产与其他物質生产的目的一样，是用在高度技术基础上使生产不断增长和不断完善的办法，来保証最大限度地滿足整个社会不断增长的物質和文化需要。因此社会主义国家中鉛生产是不断

地、而且迅速地增長着。

苏联在十月革命以前的沙俄时代，几乎是沒有煉鉛工業，鉛生产只能滿足国内需要的1.5%。但在十月革命以后，在苏联共产党的领导下，煉鉛工業得到了迅速的发展。1936年鉛的生产为1926年的38倍，而到1955年鉛的生产为二次大战前的2.8倍。

最近苏联通过了发展国民經济的“七年計划”(1959—1965)；計划的指数表明<sup>①</sup>，鉛鋅工業的基本建設投資超过1952—1958年投資的1.15倍，到1965年，鉛的生产將为1958年的1.4倍。

从这里我們不难看出，社会主义制度比資本主义制度有着无比的优越性。

## § 2 鉛及其主要化合物的性質和用途

### 1. 金属鉛的性質

**物理性質** 鉛为藍灰色的金属，它的新鮮断面具有强烈的金属光澤，很柔軟，能用指甲刻划。它是所有重金属中最軟的金属，其莫氏硬度为1.5。鉛中含有少量的砷、銻、碱金属和碱土金属，都会使其硬度增加。其展性良好，当上述杂质在鉛中的含量甚至很微少时，也显著降低其展性。

鉛为最重的金属之一，固体鉛的比重为11.34，而液体鉛的比重随着加热的温度不同而变化：

温度, °C...	327	356	528	650	731	850
比重 ...	10.667	10.632	10.423	10.265	10.188	10.078

鉛是放射性元素鈾、鈾和鈾分裂的最后产物。

<sup>①</sup> П. А. Стригин, Задачи цветной металлургии в предстоящем семилетии, Цветные металлы, 1959, № 1,

鉛的熔点很低，为  $327.4^{\circ}\text{C}$ ，沸点为  $1525^{\circ}\text{C}$  (这个数值根据不同的研究，其波动范围是很大的)。但是在  $500\text{—}550^{\circ}\text{C}$  时，鉛便显著的挥发，鉛的蒸气压与温度的关系如下：

温度, $^{\circ}\text{C}$ .....	620	710	820	960	1130	1290	1360	1415	1525
蒸气压, 毫米汞柱.....	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1.0	10	50	100	289	760

从上列数据可以看出，温度升高到  $900^{\circ}\text{C}$  以后，鉛的蒸气压便显著的增加。由于鉛及其化合物的挥发性能，便增加了鉛在生产过程中的损失。鉛中存在砷和銻便增加其挥发性能。所以必须采取一系列收集鉛蒸气的措施。

鉛的熔化潜热为 6.26 卡/克，气化潜热为 201 卡/克。

鉛的平均热容：

固体鉛：

$^{\circ}\text{C}$ .....	18—100	18—200	18—300
卡/克·度 .....	0.0306	0.0318	0.0327

液体鉛：

$^{\circ}\text{C}$ .....	365	378	418	459
卡/克·度 .....	0.0335	0.0338	0.0335	0.0335

鉛为热和电的不良导体，如果取銀的导热度和导电度为 100，則鉛的导热度仅为 8.5，而导电度仅为 10.7。

鉛与其他許多金屬組成一系列的合金。許多鉛基合金都比純鉛硬；某些鉛的合金具有很低的熔点。

**化学性質** 鉛是門德列夫元素周期表第四周期的元素，原子序数为 82，原子量为 207.21，原子价为 2 和 4。

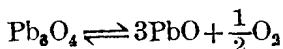
鉛在完全干燥的空气中，或在不含空气的水中，不会发生任何化学变化；在潮湿和含有  $\text{CO}_2$  的空气中，鉛便失去光澤，被  $\text{PbO}_2$  薄膜所复盖；此薄膜慢慢变为碱性碳酸鉛  $3\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ 。熔化的鉛在有空气存在时，慢慢氧化为氧化亞鉛 ( $\text{Pb}_2\text{O}$ )。当温度升高时，它便轉变为氧化鉛  $\text{PbO}$ 。

在空气中熔化的鉛繼續加热到  $330\text{—}450^{\circ}\text{C}$  时，生成的氧



化鉛 PbO 轉变为三氧化二鉛 Pb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 当温度升高至 450—470°C 时形成 Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, 無論是 Pb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 或 Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 在高温下都被离解。

Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 按下式离解:



其离解压与温度的关系如下:

溫度, °C.....	450	500	550	600
离解压, 毫米汞柱.....	10.5	52	223	850

所有鉛的氧化物, 除 PbO 外, 在高温下都不稳定, 而离解为 PbO 和 O<sub>2</sub>。

CO<sub>2</sub> 对鉛的氧化作用是不大的。只有氧存在下, 水才与鉛作用, 当其繼續与水作用时, 將形成疏松的鉛的氢氧化物。

鉛的最好溶剂是稀硝酸。鹽酸和硫酸仅仅作用于鉛的表面; 因为其表面与鹽酸或硫酸作用后, 便形成几乎不溶解的 PbCl<sub>2</sub> 或 PbSO<sub>4</sub> 的膜, 这种膜便保护表面层内的鉛不再与酸作用。濃硫酸溶解鉛要在 200° 以上。除此以外, 鉛对于下列物質也是稳定的: 如硫酸和硝酸的混合酸、亞硝酸、碱、氨和氨鹽、氯和含氯的溶液, 氟氢酸和其鹽类、五氧化二磷、熔融的硼、大多数的有机酸及氰化鉀等。

鉛也能溶于 H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>、HBF<sub>4</sub>、CH<sub>3</sub>COOH 和 硝酸銀等試剂中。

## 2. 鉛的主要化合物的性质

### 1) 鉛的硫化物

硫化鉛在自然界中呈矿物形态存在, 称为方鉛矿, 色黑, 結晶状态呈灰色, 具有金屬光澤。比重为 7.23—7.59。熔点——1120°C。在熔化状态下具有很好的流动性, 能滲入磚縫中, 故在拆修爐子时, 在爐牆縫隙中發現有硫化鉛的結晶。

硫化鉛是易揮发的化合物, 温度大大低于其熔点的 600°