

铅 冶 金

冶金工业出版社

铅 冶 金

东北工学院有色重金属冶炼教研室 主编

冶金工业出版社

铅 冶 金

东北工学院有色重金属冶炼教研室 主编

•

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

•

850×1168 1/32 印张 16¹/₄ 字数 425千字

1976年 2 月第一版 1976年 2 月第一次印刷

印数 00,001~4,500册

统一书号: 15062·3134 定价 (科三) 1.55元

再版说明

本书是一九六〇年出版（内部发行）的《铅冶金学》的修订本。

随着我国社会主义革命和社会主义建设的不断发展，特别是无产阶级文化大革命以来，在伟大领袖毛主席的无产阶级革命路线的指引下，冶金工业战线的广大职工，深入贯彻党在社会主义整个历史时期的基本路线，高举“鞍钢宪法”的光辉旗帜，坚持无产阶级政治挂帅，抓革命、促生产，冶金战线形势一派大好，炼铅工业也取得了较大的成就，并积累了丰富的经验。

为了适应冶金工业发展的需要，由东北工学院负责，与沈阳冶炼厂及辽宁冶金设计院抽调人员共同组成编写组，深入现场，参加实践，调查研究，根据我国铅生产实践和国外铅冶炼技术发展状况，对原书进行了较大的修改和补充。在修改过程中，还多次与参加原书编写人员进行座谈讨论。初稿还送往一些工厂征求意见，得到水口山冶炼厂、株洲冶炼厂等单位的广大工人、领导干部、技术人员的热情帮助。

本书内容主要是介绍我国炼铅工业的技术成就和生产实践经验，也适当地介绍了国外炼铅技术的发展状况；侧重地叙述了目前广泛采用的炼铅流程、方法和设备，并且对还在试验阶段的新技术也作了必要的介绍；在比较系统论述大中型铅厂生产的同时，也选择地介绍了小型铅厂的生产概况。

书中涉及的内容较广，篇幅较大，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 绪 论.....	1
第一节 铅生产发展概况.....	1
第二节 我国铅锌矿床的分布及世界铅 锌 储 量.....	2
第三节 铅的开采、生产及消费统计.....	3
第四节 铅的重要性质及其化合物.....	5
1. 铅的重要性质.....	5
2. 铅的化合物.....	8
第五节 铅的用途.....	13
第六节 铅的矿物、矿石及精矿.....	15
第七节 铅矿石和精矿的处理方法.....	17
第二章 铅精矿的烧结焙烧.....	19
第一节 概 述.....	19
1. 烧结焙烧的目的及过程要点.....	19
2. 焙烧程度及脱硫率.....	20
3. 铅精矿烧结焙烧的发展概况.....	22
第二节 铅精矿烧结焙烧的理论基础.....	23
1. 各种金属硫化物的着火温度.....	23
2. 铅精矿各组份在烧结焙烧时的行为.....	23
3. 金属硫化物在焙烧过程中的反应机理及反应速度.....	35
第三节 烧结焙烧的技术条件.....	39
1. 过程的热条件.....	39
2. 炉料的透气性.....	40
第四节 炉料的准备.....	43
1. 原料的储存、运输及破碎.....	44
2. 配料原则.....	47
3. 配料方法.....	50
4. 炉料的混合与湿润.....	54
5. 冷法制粒.....	57

第五节 烧结锅焙烧法	59
1. 烧结锅的构造	59
2. 烧结锅焙烧的生产实践	60
第六节 烧结盘烧结法	67
第七节 带式烧结机焙烧法	69
1. 带式烧结机的构造及附属设备	69
2. 带式烧结机的实际操作	80
3. 烧结焙烧过程的操作条件	93
4. 影响烟气 SO_2 浓度的因素	97
5. 烧结机作业中的故障及其消除方法	103
6. 烧结焙烧的技术控制	106
7. 烧结机烧结焙烧的技术经济指标	109
第八节 铅氧化矿的制团	112
第三章 铅烧结矿的鼓风炉熔炼	117
第一节 概述	117
第二节 鼓风炉熔炼的理论基础	118
1. 金属氧化物的还原机构	118
2. 还原熔炼时烧结矿各组份的行为	121
3. 炉内料层沿不同的高度所起的物理及化学变化	133
4. 炉渣的形成和铅的熔出	135
第三节 铅鼓风炉熔炼过程技术上的讨论	137
1. 与还原熔炼速度有关的因素	137
2. 铅鼓风炉内燃料燃烧条件及还原能力	138
3. 鼓风炉内料层的阻力	145
第四节 鼓风炉的熔炼产物	148
1. 炉渣	148
2. 铅冰铜(铅铋)	157
3. 黄渣(砷冰铜)	161
第五节 铅鼓风炉的构造	166
1. 概述	166
2. 圆形铅鼓风炉	167
3. 长方形铅鼓风炉的构造	167
第六节 铅鼓风炉正常作业条件	187

1. 炉料的性质对熔炼过程的影响	187
2. 燃料的性质及消耗	193
3. 鼓风制度	199
第七节 铅鼓风炉的实际操作	204
1. 开炉	204
2. 停炉	207
3. 正常操作	208
第八节 鼓风炉作业的故障及消除方法	219
第九节 铅鼓风炉的熔炼制度及技术经济指标	227
1. 铅鼓风炉的熔炼制度	227
2. 铅鼓风炉熔炼的技术经济指标	228
第十节 高锌炉渣的处理	237
1. 炉渣烟化过程的原理	237
2. 影响烟化过程的因素	242
3. 烟化炉的构造及其操作	248
4. 高锌炉渣的电热挥发	255
第十一节 铅冰铜的处理	256
第十二节 黄渣的处理	260
第十三节 铅烟尘的处理	264
第十四节 土鼓风炉熔炼	269
1. 概述	269
2. 土鼓风炉的构造和实际操作	270
第四章 反应熔炼、沉淀熔炼及电炉熔炼	272
第一节 膛式炉熔炼	272
1. 概述	272
2. 膛式炉熔炼的理论基础	272
3. 各种杂质对膛式炉熔炼的影响	274
4. 小型膛式炉的构造及实际操作	276
5. 近代膛式炉的构造及实际操作	280
6. 旋转环形膛式炉的构造及实际操作	285
第二节 反射炉反应熔炼	288
1. 过程的要点	288
2. 反射炉的构造及实际操作	289

第三节 短窑熔炼	291
第四节 悬浮熔炼	292
第五节 碱法熔炼	295
第六节 铅精矿的土法沉淀熔炼	296
第七节 电炉反应熔炼及沉淀熔炼	299
1. 电炉反应熔炼	300
2. 电炉沉淀熔炼	301
第八节 电炉还原熔炼	301
1. 处理铅精矿	301
2. 处理混合精矿	303
第五章 铅冶金中的收尘	305
第一节 概述	305
第二节 收尘方法	308
1. 旋风收尘	308
2. 布袋收尘	309
3. 电气收尘	311
4. 湿式收尘	316
第六章 粗铅除铜及除砷、锑、锡	325
第一节 概述	325
第二节 粗铅除铜	327
1. 熔析除铜法	327
2. 加硫除铜法	335
3. 粗铅连续脱铜	338
4. 铜质浮渣的处理	343
第三节 粗铅的氧化精炼	350
1. 概述	350
2. 氧化精炼过程的化学反应及反应速度	350
3. 精炼炉的构造及精炼实际操作	354
4. 连续氧化精炼	357
5. 氧化精炼浮渣的处理	360
第四节 粗铅的硷性精炼	361
1. 精炼过程的要点及化学反应	361
2. 硷性精炼设备及实际操作	364

3. 硷性精炼渣的处理.....	367
第七章 铅的电解精炼.....	374
第一节 概述.....	374
第二节 铅电解精炼的理论基础.....	375
1. 铅电解精炼的电极反应过程.....	375
2. 铅电解精炼时杂质的行为.....	379
3. 铅电解时阴极沉积物的构造.....	383
第三节 电解液的制备.....	384
第四节 电解车间的设备及其布置.....	386
第五节 铅电解精炼的作业实践.....	390
1. 阴极与阳极.....	390
2. 出装槽作业.....	395
3. 电解液的成分、温度及循环流通.....	399
4. 电解液添加剂.....	405
5. 槽电压、电流密度和电流效率.....	413
6. 铅的周期反向电解.....	421
7. 电解液成分的控制与阳极泥的洗滤.....	427
第六节 阴极铅的熔化和铸锭.....	430
第七节 铅电解精炼的技术经济指标.....	432
第八节 高纯度铅的提取.....	435
1. 电解法提取高纯铅.....	435
2. 火法提取高纯铅.....	437
第八章 铅的加锌提银、除锌与除铋.....	439
第一节 加锌提银.....	439
1. 加锌提银法的基本原理.....	439
2. 加锌提银作业实践.....	447
3. 银锌壳的蒸馏.....	450
4. 富铅的灰吹.....	453
第二节 铅的除锌.....	456
1. 氧化除锌法.....	456
2. 氯化精炼法.....	457
3. 碱法除锌.....	458
4. 真空除锌.....	458
第三节 铅的除铋.....	466

1. 加钙、镁及锑除铋的基本原理.....	466
2. Pb—Ca合金的制备.....	469
3. 加钙、镁除铋的实际操作.....	470
4. 加钾、镁除铋.....	472
第九章 再生铅的生产.....	475
第一节 概述.....	475
第二节 再生铅原料在熔炼前的准备.....	476
第三节 再生铅的熔炼.....	478
1. 钢锅熔炼.....	478
2. 废蓄电池的反射炉熔炼.....	479
3. 鼓风炉熔炼.....	481
4. 铅锡合金电解.....	482
第四节 熔炼产物的处理.....	483
1. 制取成品硬铅和精铅.....	483
2. 返渣的处理.....	484
3. 难熔浮渣的处理.....	484
第十章 湿法提铅.....	485
第一节 概述.....	485
第二节 氯化溶浸法提铅.....	486
1. NaCl—CaCl ₂ 溶浸法.....	486
2. 溶浸、置换联合法.....	490
3. 铅精矿用FeCl ₃ 溶液直接溶浸法.....	491
4. 多金属硫化精矿中铅的直接溶浸.....	492
第三节 在熔融电解液中硫化铅的电解.....	493
1. PbS与PbCl ₂ 组成的电解液.....	493
2. PbS、PbCl ₂ 及NaCl组成的电解液.....	494
3. KCl—NaCl熔体中PbS的电解.....	496
第四节 胺溶液溶浸法提铅.....	498
第五节 含氨的硫酸铵溶浸法.....	501
第六节 碱性溶浸法.....	503
1. PbS及ZnS的碱溶浸.....	503
2. 氧化铅锌矿的碱溶浸.....	504

第一章 绪 论

第一节 铅生产发展概况

由于氧化铅矿石容易被碳或一氧化碳还原成金属铅，硫化铅矿石用火焰烧灼时，也可以使铅析出，所以铅的发现很早，是有史以前人类所用六种金属之一。

我国是发现、生产和使用铅很早的国家。早在纪元前2000年左右，我国劳动人民已经用铅铸造货币，名叫“铅刀”。可见，铅在我国的文化发展史上起着相当重要的作用。根据尚书禹贡记载，商朝以前，山东青州已生产铅。墨子：“禹造粉”；淮南子：“铅之与丹，异类殊色”等等，这些历史记载，都证明我国古代铅的生产水平已经是相当高。

我国古代以铅为原料熔制铅丹，又用醋把铅制成铅白，名叫水粉。从上述历史资料可知，我国在纪元前不仅早已使用铅，而且劳动人民早已用铅制造铅白及铅丹等化合物，以供医药及化妆之用，其创造年代远在世界各国之前。

铅以工业规模生产是到十六世纪才开始的。到了十九世纪中叶，人们发现了铅能抗酸、抗碱、防潮、比重大以及能吸收放射性射线等性能，并且可以与其他金属组成各种合金、制造蓄电池等新性质和新用途，使炼铅工业获得了重大的发展。当前，铅在有色金属生产中占第四位。最近几年，铅的产量平均每年增长约2%左右。

在我国，铅的生产虽有悠长的历史，但由于长期的封建统治，特别是近百年来，在帝国主义、官僚资本主义和封建主义的残酷压榨和掠夺下，生产力得不到发展。解放以后，在伟大领袖毛主席无产阶级革命路线的指引下，炼铅工业才获得新生，取得了迅速的发展。由于生产力的解放，不但恢复、改建和扩建了解

放以前的炼铅企业，而且新建了许多现代化的大型炼铅企业，采用了许多新工艺和新设备。与此同时，对含铅物料的重金属和稀有金属进行了综合回收，对冶炼过程的废气、废渣、废热进行了综合利用，并对多金属和低品位矿进行了综合处理。因此，从根本上改变了我国炼铅工业上的面貌，达到和超过世界先进水平。

第二节 我国铅锌矿床的分布及世界铅锌储量

我国是有色金属丰富的国家，铅锌矿床的分布也极广，几乎遍布全国各省区。根据现有资料，我国铅锌矿床的工业类型分为六大类：

- 1) 前震旦纪变质岩矿床；
- 2) 碳酸岩类中矿床；
- 3) 碳酸岩与硅酸盐岩接触带内含硅卡岩的矿体；
- 4) 各种不同岩石中的多金属矿脉及矿脉带；
- 5) 硅酸岩中扁豆状矿床；
- 6) 砂铅矿。

从我国铅锌矿床的分布及铅锌储量来看，其储量最大的要算第一和第二类型，其次是第三类型。第四类型多为小型矿脉。第五类型的矿床在我国发现得较少，而第六类型是我国特有的工业矿床。这些矿床的分布，保证了我国对铅锌矿产的需要，为实现大中小型生产并举，创造了可靠的物质条件。

世界一些国家铅锌储量资料列于表1中（不包括中国）。

世界一些国家的铅锌储量统计资料 (万吨)

表 1

国 名	铅		锌	
	金属总储量	探明储量	金属总储量	探明储量
美 国	3200	1450	2400	1360
澳 大 利 亚	1300	800	1400	900
加 拿 大	1600	1270	3500	2270
墨 西 哥	600	320	700	360
秘 鲁	330	280	750	580
巴 西	300	110	400	160
瑞 典	240	174	244	137
西 德	460	230	500	250
日 本	95			
苏 联	1700		2200	

第三节 铅的开采、生产及消费统计

铅虽发现很早,但铅工业却发展较迟。十九世纪初期,铅的年产量不超过2.2万吨。到二十世纪铅工业才获得较大发展,1901年铅产量达83.5万吨,以后逐年增加。

世界一些国家铅的开采、生产及消费数字列于表 2、表 3 及表 4 中(不包括中国)。

一些国家和世界的铅开采量 (万吨)

表 2

国 名	1967年	1968年	1969年	1970年	1971年
法 国	2.74	2.64	3.03	2.88	2.98
西 德	6.47	5.74	4.35	4.27	4.45
爱 尔 兰	5.95	6.22	5.87	6.28	4.58
意 大 利	3.87	3.59	3.70	3.52	3.07
西 班 牙	6.26	7.14	6.95	6.95	6.89
瑞 典	7.17	7.01	7.64	7.65	7.77
南斯拉夫	10.80	11.18	11.13	10.93	11.18
摩 洛 哥	7.80	8.10	7.76	8.10	6.30
西 南 非	7.05	6.08	7.57	7.05	7.32

续表

国 名	1967年	1968年	1969年	1970年	1971年
日 本	6.35	6.39	6.35	6.44	7.20
加 拿 大	31.69	32.96	30.20	35.72	39.32
美 国	29.95	33.94	48.10	54.07	54.07
阿 根 廷	3.10	2.60	3.50	3.70	3.60
墨 西 哥	16.58	16.17	16.64	17.16	17.37
秘 鲁	16.32	16.49	15.50	16.40	16.40
保加利亚	9.66	8.62	10.00	10.20	10.20
波 兰	5.52	6.00	6.00	6.50	6.00
罗马尼亚	2.00	3.00	4.00	4.00	3.60
苏 联	43.00	44.00	45.00	47.00	45.00
世界合计	286.04	294.93	316.25	334.50	331.15

一些国家和地区的铅产量 (万吨)

表 3

国 名	1970年	1971年	1972年	1973年	1974年
法 国	17.0	15.9	13.7	18.64	18.02
意 大 利	7.9	7.6	6.92	4.67	5.61
日 本	20.9	21.5	22.3	22.80	22.79
西 德	30.5	28.4	27.3	30.26	32.14
美 国	74.1	69.4	76.1	75.93	74.79
墨 西 哥	17.5	15.5	15.8	18.89	20.39
苏 联	54.8	56.0	56.2	58.00	60.00
比 利 时	10.6	9.4	9.4	9.77	9.45
加 拿 大	18.6	16.4	18.6	18.60	12.64
保加利亚	9.9	10.2	10.2	10.00	10.80
澳大利亚	20.6	18.6	20.9	22.04	22.48
英 国	28.7	26.4	27.1	26.51	27.69
波 兰	6.5	6.0	6.53	6.50	6.60
西 班 牙	7.7	7.58	8.30	9.02	7.92
瑞 典	5.7	4.48	4.93	4.86	4.09
南斯拉夫	9.7	9.91	8.75	9.80	11.38
西 南 非	6.7	6.98	6.47	6.67	—
秘 鲁	7.2	6.71	8.56	8.33	8.04
世界合计	398.6	388.8	403.8	408.51	401.45

一些国家和世界的铅消费量 (万吨)

表 4

国 名	1970年	1971年	1972年	1973年	1974年
法 国	19.25	18.84	20.20	21.37	21.20
意 大 利	16.80	17.80	18.60	17.80	19.20
日 本	21.05	20.97	23.10	25.19	22.42
西 德	30.63	28.65	27.35	29.37	26.11
美 国	89.42	93.89	99.30	109.32	102.93
墨 西 哥	9.43	9.32	9.20	9.96	9.40
苏 联	48.60	51.50	53.00	54.00	54.60
比 利 时	4.64	4.92	4.81	5.11	6.35
加 拿 大	5.5	5.47	6.37	7.40	6.00
保加利亚	7.65	8.00	8.00	8.00	8.40
澳大利亚	6.19	6.30	6.33	6.70	7.06
英 国	26.2	27.7	27.84	28.22	26.64
波 兰	7.00	7.88	8.18	8.20	8.40
西 班 牙	7.75	7.41	8.28	9.39	9.60
瑞 典	4.71	4.29	3.35	3.37	3.42
南斯拉夫	4.50	5.32	5.50	6.96	7.20
印 度	4.15	3.30	4.21	4.00	—
世界合计	386.88	397.43	414.40	425.40	412.90

第四节 铅的重要性质及其化合物

1. 铅的重要性质

(1) 物理性质

铅是蓝灰色的金属，新的断口具有灿烂的金属光泽。其结晶属于等轴晶系（八面体及六面体）。

比重：铅的比重很大，固态时为11.34，液态时比重随温度的升降而变更。现列出液体铅的比重与温度之关系如下：

温度，℃	327.4	356	528	650	731	850
比重	10.686	10.632	10.423	10.265	10.188	10.078

硬度：纯铅在重金属中是最柔软的，它的硬度为莫氏硬度计的1.5。铅的硬度因少量的Cu、As、Sb、Zn、铋金属及铋土金

属的存在而增大，而其韧性却降低。

展性及延性：铅的展性很好，可以压轧成铅皮，捶成铅箔；但是延性甚小，不能拉成铅丝。

如将铅坯加热到适当的温度（230°C），在有孔的模型内用水压机压之，则可使铅在固态下从孔底挤出成为所需的形状，这种作业名叫“压制”，铅管和铅棒都可用此法做成。固体铅在5吨/厘米²的压力下可变成液体状态。

潜热及比热：铅的熔化潜热是6.26卡/克；蒸发潜热是201卡/克。固体铅的平均比热如下：

°C	18—100	18—200	18—300
卡/克	0.0306	0.0318	0.0327

液体铅的比热如下：

°C	365	378	418	459
卡/克	0.0335	0.0338	0.0335	0.0335

液体铅的表面张力：

°C	327	400	500	750	900	1000
达因/厘米	444	438	431	423	401	397

液体铅的粘度：

°C	340	376	419	470
泊	0.0189	0.0167	0.0160	0.0144

从上述数据可看出铅水流动性极大，因此，在修建熔炼炉及精炼炉时都应注意防止漏铅。

导热率及电阻率：铅是热和电的不良导体，常温（18°）时测定之值如下：

铅的导热率	0.083卡/厘米·秒·度
铅的电阻率	20.65微欧姆/厘米 ²

熔点及挥发性：铅的熔点是327.502°C；在低于熔点3—10°的温度下，铅变得很脆，用力摇动可把它制成细粒的试金用铅。

铅的沸点及显著的挥发温度各文献所载的测定数值很不一致，一般认为沸点是1525°C。现列出在不同温度下铅的平衡蒸气

压如下:

温度, °C	620	710	820	960	1130	1290	1360	1415	1525
蒸气压, 毫米水银柱	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1.0	10	50	100	289	760

由于高温时铅及其他化合物的挥发量大, 易导致铅的损失, 所以炼铅厂必须备有完善的收尘设备, 此不仅为了保证原料中铅的回收率, 而且也可以防止工作人员中铅毒。

在不同温度下, 铅的平衡蒸气压近似值可按照下列实验式算出:

$$\log P = -\frac{10310}{T} + 8.346$$

式中 P ——铅的蒸气压, 毫米水银柱;

T ——温度, °K。

如果已知冶金炉内铅蒸气的分压及气流的温度, 假定铅蒸气的饱和程度达 100 %, 则气流中的含铅量可用下式算出:

$$x = \frac{M \times P \times 1000}{760 \times 22.4(1 + \alpha t)} \text{克/米}^3$$

式中 M ——铅的分子量;

t ——温度, °C;

P ——铅的蒸气压, 毫米水银柱;

α ——气体膨胀系数, $1/273 = 0.00366$ 。

铅蒸气的饱和程度可以实际测定。

(2) 化学性质

铅的原子量是207.21, 原子价是 2 及 4。

常温时铅在干空气中不起化学变化, 但在潮湿的及含有 CO_2 的空气中则失去光泽而变成暗灰色, 其表面覆盖着次氧化铅(Pb_2O)的薄膜, 并且慢慢地会转变成硷性碳酸盐 $[\text{3PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2]$ 。

铅在空气中加热熔化时, 最初氧化成 Pb_2O , 表面现虹彩,