

中等专业学校教学用书

重金属冶金学

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

重 金 属 冶 金 学

沈阳黄金专科学校 余继燮 主编

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

重金属冶金学

沈阳黄金专科学校 余继燮 主编

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787 × 1092 $\frac{1}{16}$ 印张25 $\frac{3}{4}$ 字数613 千字
1981年9月第一版 1981年9月第一次印刷
印数00,001~3,100册
统一书号: 15062·3726 定价2.05元

前 言

《重金属冶金学》是根据 1978 年冶金部教材会议制订的中等专业学校重有色金属冶炼专业教学计划及重金属冶金学课程教学大纲编写的。全书共分铜冶金、铅冶金、锌冶金和三废处理及综合利用等四篇；较全面地阐述了这三种金属的冶炼过程，并对如何从冶炼过程产生的三废（废气、废渣、废水）中回收有价元素、防止污染等作了介绍。

本书可作为中等专业学校重有色金属冶炼专业教学用书，也可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写的有沈阳黄金专科学校余继燮（第一篇）、储建华（第四篇，其中金、银、硒、碲提取部分由严以发执笔）、长沙冶金工业学校黄兴无（第三篇）、昆明冶金工业学校杨长英（第二篇）。余继燮任主编。

由于编写人员的水平有限，书中错误或不当之处在所难免，请读者批评指正。

编 者

一九八〇年九月

目 录

第一篇 铜 冶 金

第一章 绪论	1
第一节 铜在国民经济中的作用	1
第二节 铜及其化合物的性质	2
第三节 铜的矿物、矿石和精矿	3
第四节 炼铜方法	6
第二章 硫化铜精矿的密闭鼓风炉熔炼	9
第一节 概述	9
第二节 密闭鼓风炉熔炼的基本原理	11
第三节 冰铜及炉渣	15
第四节 密闭鼓风炉的构造	24
第五节 密闭鼓风炉的生产实践	29
第三章 硫化铜精矿的反射炉熔炼	32
第一节 概述	32
第二节 反射炉熔炼的基本原理	33
第三节 反射炉的构造	36
第四节 反射炉熔炼的生产实践	40
第四章 硫化铜精矿的电炉熔炼	46
第一节 概述	46
第二节 电炉熔炼的基本原理	46
第三节 电炉的构造	48
第四节 电炉熔炼的生产实践	49
第五章 硫化铜精矿的闪速熔炼	53
第一节 概述	53
第二节 闪速熔炼的基本原理	53
第三节 闪速炉的构造	55
第四节 闪速熔炼的生产实践	59
第六章 冰铜吹炼	64
第一节 概述	64
第二节 冰铜吹炼的基本原理	64
第三节 转炉的构造	69
第四节 转炉吹炼的生产实践	72
第五节 连续吹炼	77
第七章 其它炼铜方法	79
第一节 概述	79
第二节 连续炼铜	79
第三节 液态鼓风熔炼	82

第四节	离析法	82
第八章	粗铜的火法精炼	84
第一节	概述	84
第二节	粗铜火法精炼的基本原理	84
第三节	精炼反射炉的构造	89
第四节	火法精炼的实践	90
第五节	火法精炼产物及指标	93
第六节	火法精炼的革新途径	94
第七节	再生铜生产	95
第九章	铜的电解精炼	96
第一节	概述	96
第二节	电解精炼的基本原理	96
第三节	电解液	100
第四节	电解槽的构造及排列	105
第五节	电解精炼的操作	107
第六节	电解精炼的技术经济指标	109
第七节	电解精炼的产物	112
第八节	电解精炼的新发展	113
第十章	湿法炼铜	115
第一节	概述	115
第二节	硫化铜精矿的焙烧	116
第三节	浸出与净化	117
第四节	电积	118
第五节	废液废渣处理	120
第六节	湿法炼铜的发展——细菌浸出、萃取	121

第二篇 铅 冶 金

第一章	绪论	124
第一节	铅的性质及用途	124
第二节	炼铅原料	126
第三节	炼铅方法	128
第二章	硫化铅精矿的烧结焙烧	129
第一节	概述	129
第二节	铅精矿烧结焙烧的基本原理	131
第三节	烧结焙烧的炉料准备	138
第四节	带式烧结机的构造	143
第五节	烧结焙烧的生产实践	151
第三章	铅烧结块鼓风炉还原熔炼	157
第一节	概述	157
第二节	还原熔炼的基本原理	157
第三节	铅鼓风炉的构造	167
第四节	鼓风炉还原炼铅的生产实践	177

第五节	氧化铅精矿的还原熔炼	185
第四章	粗铅的电解精炼	188
第一节	概述	188
第二节	铅电解精炼的基本原理	189
第三节	粗铅的火法初步精炼及阳极制造	192
第四节	电解车间的设备及其布置	196
第五节	电解精炼的生产实践	197
第五章	湿法炼铅	206
第一节	概述	206
第二节	氯化溶浸法	206
第三节	湿法炼铅新方案	207

第三篇 锌 冶 金

第一章	绪论	211
第一节	锌的性质及用途	211
第二节	炼锌原料	213
第三节	炼锌方法	215
第二章	硫化锌精矿的焙烧	218
第一节	概述	218
第二节	焙烧过程的基本原理	220
第三节	固体流态化	224
第四节	沸腾炉及其主要辅助设备	230
第五节	沸腾焙烧的生产实践	234
第三章	锌焙烧矿的浸出	239
第一节	概述	239
第二节	浸出的基本原理	240
第三节	浸出的生产实践	247
第四节	高温高酸浸出	253
第四章	硫酸锌浸出液的净化	256
第一节	概述	256
第二节	置换的基本原理	256
第三节	净化的生产实践	259
第五章	硫酸锌溶液的电解沉积	267
第一节	概述	267
第二节	电解沉积锌的基本原理	267
第三节	电解沉积锌的主要设备	276
第四节	电解沉积锌的生产实践	278
第五节	阴极锌的熔铸	281
第六章	竖罐炼锌	282
第一节	概述	282
第二节	竖罐炼锌的基本原理	282
第三节	竖罐炼锌的生产实践	291

第七章	鼓风炉炼锌	299
第一节	概述	299
第二节	鼓风炉炼锌的基本原理	300
第三节	鼓风炉炼锌的生产过程	306
第八章	粗锌的火法精炼	308
第一节	概述	308
第二节	熔析法精炼	309
第三节	精馏法精炼	310

第四篇 三废处理及综合利用

第一章	绪论	315
第一节	三废处理及综合利用的意义	315
第二节	三废处理及综合利用的现状	316
第二章	烟气净化与制酸	318
第一节	概述	318
第二节	沉降室	320
第三节	旋风收尘	322
第四节	布袋收尘	329
第五节	电气收尘	336
第六节	湿法收尘	344
第七节	利用烟气中的二氧化硫制酸	345
第八节	低浓度二氧化硫烟气的回收和利用	354
第三章	贵金属的提取	356
第一节	概述	356
第二节	银的提取	356
第三节	金的提取	364
第四节	铂族金属的提取	367
第四章	稀散金属的提取	371
第一节	概述	371
第二节	硒的提取	372
第三节	碲的提取	374
第四节	锗的提取	376
第五节	镉的提取	382
第六节	铟的提取	387
第七节	铊的提取	389
第五章	废水处理	394
第一节	概述	394
第二节	废水中各种重金属的处理	395

第一篇 铜 冶 金

第一章 绪 论

第一节 铜在国民经济中的作用

铜是一种重要的重有色金属。社会主义现代化建设，不仅需要大量的钢铁，还需要大量的铜和其它有色金属。只有钢铁，没有铜及其它有色金属，也不能制造发电供电设备和汽车、机床等工业产品。

铜具有优良的导热性、导电性和可塑性，并能与其它金属组成一系列合金，这些合金大量地、广泛地应用在国民经济的各个部门。

电气工业是最大的用铜户，其用量约占铜产量的一半以上。例如，制造一部3000千瓦的发电机大约需铜580公斤；架设100公里、断面为150平方毫米的输电线路大约需铜400余吨。

铜的合金种类很多，最主要的有黄铜(Cu-Zn)、青铜(Cu-Sn)、铝青铜(Cu-Al)、蒙乃尔(Cu-Ni)和铍青铜(Cu-Be)等。这些合金广泛地用在制造各种轴承、开关、油管、换热器、高强度和高韧性铸件、抗热性和高导电性零件等各个方面。制造一辆汽车或一台拖拉机就需要20~30公斤的铜制零件。

在机器制造业中，需用大量的铜板和铜材。

铜还是国防工业不可缺少的、极其重要的材料，无论制造飞机、舰艇、坦克，还是制造大炮、枪枝、子弹，都需要大量的铜。例如制造100万发子弹，就要用铜约14吨。

铜还以各种化合物的形式，应用于农药、医疗和民用等工业部门。

铜及其它有色金属在国民经济中的作用与钢铁相比，只有用量多少之分，而无作用主次之别。世界上工业发达的国家，有色金属产量对钢铁产量都有一定的比例。1976年世界十种有色金属（铜、铝、锌、铅、镍、镁、锡、钛、锑和汞）的总产量与钢产量之比约为4.9%，其中美、苏、日分别为6.1%、4.0%、2.7%。铜产量与钢产量之比，美、苏、日分别为1.72%、0.86%、0.75%。

美、苏、日、加拿大、西德等国产铜量以及世界总产铜量，列于表1-1。

某些国家产铜量统计（万吨）

表 1-1

国 名	年 份				
	1949	1959	1969	1973	1976
美 国	160.2	122.3	200.9	209.8	172.4
苏 联	26.0	55.0	102.0	130.0	130.0
日 本	7.4	19.4	62.9	95.1	86.3
加 拿 大	20.5	33.2	40.8	49.8	50.8
西 德	14.6	28.2	40.2	40.7	44.6
世 界	272.3	430.7	587.7	668.1	867.0

第二节 铜及其化合物的性质

一、铜的性质

铜属于元素周期表中第一族的元素，原子序数为29，原子量为63.57。

1. 物理性质 铜在常温时比重为8.89，熔体(1083°C)时为8.22。铜的熔点为1083°C，沸点为2310°C。铜的比热在25°C时为0.0918卡/克·度，熔体比热为0.108卡/克·度，熔化热为48.9卡/克。铜在熔点时的蒸气压仅有 1.6×10^{-5} 大气压(0.012毫米汞柱)。液体蒸气压可用下式表示：

$$\lg P = -\frac{23600}{T} + 9.20$$

式中 P —— 蒸气压，大气压；

T —— 温度，K。

铜在普通熔炼炉中很难挥发。

铜的塑性很好，硬度为3（莫氏），抗张强度为42~50公斤/毫米²。

铜具金属光泽，呈桔红或玫瑰红色；熔体铜呈绿色。

铜的导电性仅次于银，若以银的导电率为1，则铜的导电率为0.93；铜线断面为1平方毫米、长为1米，在20°C时的电阻为0.017241欧姆。铜的导电性与杂质含量有关，即使含微量的砷、锑，也能大大降低其导电率。

铜熔体能溶解SO₂、H₂、CO₂等气体。

铜能与锌、锡、镍互溶，组成一系列合金。

2. 化学性质 铜在常温、干燥的空气中不起化学变化，但在潮湿且有CO₂存在的空气中，易生成碱式碳酸铜，即CuCO₃·Cu(OH)₂，也就是人们所说的铜绿；在空气中加热至185°C以上，铜开始氧化，赤热时表面形成一层黑铜。

铜不溶于稀硫酸和盐酸，但有氧存在时则可溶。铜可溶解于王水、硝酸、浓热硫酸和氰化物、氯化铁、氯化铜、硫酸铁的溶液以及氨水中。

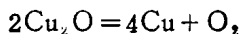
铜能与氧、硫、卤族等元素直接化合。

二、铜的主要化合物的性质

铜在炼铜原料和熔炼过程的中间产物中，常以下列化合物存在：

1. 氧化亚铜 氧化亚铜(Cu₂O)含铜88.81%，天然呈赤铜矿产出。组织致密的氧化亚铜为樱桃红色，并有金属光泽。

Cu₂O的熔点为1235°C，在高温下可解离：

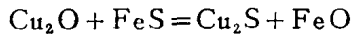
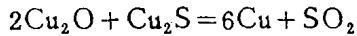


其解离压与温度的关系为：

温度(°C)	1023	1427	1727
解离压(大气压)	33×10^{-7}	8.9×10^{-4}	4.4×10^{-1}

可见，在通常冶金过程温度下，可以认为Cu₂O是稳定的。Cu₂O易被H₂、CO、C₂H₄等还原成金属铜。

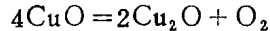
Cu₂O与某些金属硫化物共热时，发生交互反应：



这些反应，在冰铜吹炼时很有意义。

2. 氧化铜 纯净的氧化铜 (CuO) 含铜为78.9%，天然呈黑铜矿产出。

CuO 不稳定，在空气中加热至 1060°C 即行解离：



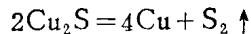
CuO 易被还原性气体所还原，易溶于稀酸和 NH_4OH 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 与 FeCl_2 中。

3. 铜的铁酸盐 $\text{CuO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Cu}_2\text{O}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 易被还原，但不易被一般工业溶剂所溶解。

4. 硅酸铜 在自然界中以硅孔雀石 ($\text{CuSiO}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 产出最为普遍，在高温时解离成 $2\text{Cu}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ ，易被还原，其中的 Cu_2O 易被 CaO 、 FeO 等置换。硅酸铜不溶于一般工业溶剂。

5. 碳酸铜 在自然界中以孔雀石或蓝铜矿产出，受热即分解出 CuO 。 CuCO_3 溶解于各种工业溶剂。

6. 硫化亚铜 纯净的硫化亚铜 (Cu_2S)，含铜79.8%，天然呈辉铜矿产出，在高温下可以解离：



Cu_2S 在高温下易氧化，形成氧化物和硫酸盐。 Cu_2S 和 FeS 在熔体状态下组成冰铜，是炼铜过程中重要的中间产物。

Cu_2S 可溶解于 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 和稀盐酸中。此点对湿法炼铜，很有意义。

7. 硫化铜 纯净的硫化铜 (CuS) 含铜66.4%，天然呈铜蓝产出。 CuS 容易热解离成 Cu_2S 。

CuS 溶于 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 和热硝酸中。

8. 硫酸铜 硫酸铜带有五个结晶水的称为胆矾 ($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$)，呈蓝色。硫酸铜易溶于水。

9. 铜的氯化物 氯化亚铜 (Cu_2Cl_2) 为白色粉末，其熔体导电性良好， Cu_2Cl_2 易溶于盐酸；氯化铜 (CuCl_2) 可溶于水。

10. 铜的络合物 二价铜盐能与氨作用，生成含有 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 络离子的深蓝色溶液；一价铜盐则与氨作用，生成含有 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ 络离子的无色溶液。

第三节 铜的矿物、矿石和精矿

铜在地壳中的含量约为0.01%，在个别铜矿床中，含铜量可以达到3~5%。自然界中的铜，多数以化合物即铜矿物存在。铜矿物与其它矿物聚合成铜矿石，开采出来的铜矿石，经过选矿而成为含铜品位较高的铜精矿。

一、铜的矿物

天然产出的含铜矿物有240种，但多数不属常见。表1-2为工业上常见的铜矿物。

铜的矿物可分为三类：自然铜、硫化铜矿物和氧化铜矿物。

自然铜在自然界中很少存在；在铜的硫化矿中，分布最广的是黄铜矿，其次是斑铜矿，再次是辉铜矿；在铜的氧化矿中，以孔雀石分布最广。

铜的主要矿物

表 1-2

矿物名称	化学分子式	理论成分 (%)					矿石类别
		Cu	Fe	S	As	Sb	
自然铜	Cu	100.0	—	—	—	—	自然铜矿
辉铜矿	Cu ₂ S	79.8	—	20.2	—	—	硫化铜矿
铜蓝	CuS	66.4	—	33.6	—	—	同上
斑铜矿	Cu ₃ FeS ₄	55.5	16.4	28.1	—	—	同上
黄铜矿	CuFeS ₂	34.5	30.5	35.0	—	—	同上
黝铜矿	Cu ₃ SbS ₄	46.7	—	23.5	—	29.8	同上
砷黝铜矿	Cu ₃ AsS ₄	52.7	—	26.6	20.7	—	同上
赤铜矿	Cu ₂ O	88.8	—	—	—	—	氧化铜矿
黑铜矿	CuO	79.9	—	—	—	—	同上
蓝铜矿	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	69.2	—	—	—	—	同上
孔雀石	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	57.5	—	—	—	—	同上
硅孔雀石	CuSiO ₃ ·2H ₂ O	36.2	—	—	—	—	同上
胆矾	CuSO ₄ ·5H ₂ O	25.5	—	—	—	—	同上
水胆矾	CuSO ₄ ·3Cu(OH) ₂	56.2	—	—	—	—	同上
氯铜矿	CuCl ₂ ·3Cu(OH) ₂	59.5	—	—	—	—	同上

二、铜矿石

含铜品位达到在当地当时的技术经济条件下，具有开采价值的岩石称为铜矿石。铜矿石是铜矿物、其它金属矿物和脉石的聚合物。以矿物的性质分，有硫化铜矿和氧化铜矿；以脉石的性质分，有酸性矿、碱性矿和中性矿；以含铜品位分，有富矿（Cu>2%）、中等矿（Cu=1~2%）和贫矿（Cu<1%）。

硫化铜矿石中，除了铜的硫化矿物外，最常见的其它金属硫化矿物是黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、镍黄铁矿等。

氧化铜矿石中，常见的其它金属矿物有褐铁矿、赤铁矿和菱铁矿等。

酸性矿石含石英石（SiO₂）多；碱性矿石含石灰石等碱性氧化物（如CaO、MgO）多。

铜矿石中还含有少量的砷、锑、铋、钴、硒、碲和金、银等。

表1-3为铜矿石的化学成分

铜矿石的化学成分(%)

表 1-3

矿石类型	Cu	Fe	S	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	BaSO ₄	Zn
含铜黄铁矿	2.53	39.35	45.58	5.28	0.43	0.46	2.38	1.84	1.65
富铜铁矿	5.65	23.01	24.44	23.34	4.0	—	10.21	1.60	6.21
星架硫化矿	1.5	8.5	7.5	52.6	2.2	1.4	10.7	—	—
氧化矿	2.1	0.95	0.1	68.0	—	—	16.0	—	—

三、铜精矿

铜矿石的品位，往往不能满足熔炼的要求。目前有些矿石含铜仅有0.5%。因此，必须进行选矿，使成为品位较高的铜精矿。铜精矿从总的化学组成来看，与原来的矿石差不

多，但在选矿过程中，把大量的脉石和其它无用成分除去了，相对地提高了品位。铜精矿是炼铜的基本原料。

表1-4为我国一些铜精矿的主要化学成分。

铜精矿的化学成分 (%)

表 1-4

精矿别	Cu	Fe	S	Zn	SiO ₂	CaO	MgO
1	11.26~12.66	31.04~32.85	30.82~32.37	—	8.73~11.09	0.57~1.05	0.65~2.68
2	18.60~18.87	21.39~22.47	20.55	0.18	15.43~18.40	2.34~2.62	0.75~1.12
3	15~17	34.55	27~30	—	12.59	1.28	—
4	12.00~14.69	37.91	31.58	—	3.62	1.01	—
5	15~16	8~10	8~10	1~1.3	16~18	9~12	5~6
6	16.82	31.6	33.78	3.3	9.2	0.84	—

铜精矿中的组分 (Cu、Fe、S等) 都是以矿物存在，在冶金计算中常用“物相组成”来表示，也有把物相组成称为“合理成分”的。只要知道精矿的化学成分和矿物的形式，即可算出物相组成。例如某铜精矿的化学成分为：

化学组分	Cu	Fe	Zn	S	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	其它
%	12.00	35.50	0.50	43.00	5.00	0.60	3.00	0.40

已知精矿中矿物为黄铜矿 (CuFeS₂)、铜蓝 (CuS)、闪锌矿 (ZnS)、黄铁矿 (FeS₂) 等，通过一些合理的假设 (如Cu有三分之二呈CuFeS₂、三分之一呈CuS) 和必要的计算，即可列出该铜精矿的物相组成表，如表1-5所示。

铜精矿的物相组成 (%)

表 1-5

化学组分	矿					脉石	总计
	CuFeS ₂	CuS	ZnS	FeS ₂			
Cu	8.00	4.00	—	—	—	—	12.00
Fe	7.01	—	—	28.49	—	—	35.50
Zn	—	—	0.50	—	—	—	0.50
S	8.04	2.01	0.24	32.71	—	—	43.00
SiO ₂	—	—	—	—	5.00	—	5.00
CaO	—	—	—	—	0.60	—	0.60
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	3.00	—	3.00
其它	—	—	—	—	0.40	—	0.40
合计	23.05	6.01	0.74	61.20	9.00	—	100.00

四、铜矿资源

目前，国外产铜量较大的国家有美国、苏联、日本、加拿大、西德等；国外铜矿资源已探明的储量如表1-6所示。

我国铜矿资源十分丰富，特别值得提出的是江西德兴的特大型铜矿。按照一般标准，铜矿规模凡是探明储量在50万吨以上的为大型，300万吨以上的为特大型，而德兴铜矿已经探明的已达800多万吨，根据已经掌握的资料判断，它的远景储量还可能进一步扩大。现在这个矿已经被确定为我国将要新建的有色金属基地之一，正在积极开发建设中。继德兴铜矿之后，又在西藏昌都地区发现了一个储量为640多万吨的特大型斑铜矿床。

国外铜矿(金属量)储量(万吨)

表 1-6

国家或地区	探明储量	国家或地区	探明储量
美国	9070	秘 鲁	2270
智利	8160	日本及太平洋岛屿	1910
非洲	4830	墨西哥	1630
苏联	3530	拉美其它地区	1540
欧洲	2270	中 东	360
加拿大	2270	澳大利亚	270
国外总计		37180	

第四节 炼铜方法

铜是很早就被人类提炼和利用的金属。我国传说中的“黄帝采铜首山”、“禹铸九鼎”以及文献中记载的“胆铜法”都足以说明我们的祖先早已掌握了火法炼铜和湿法炼铜的技术。在技术上,从湖北大冶出土的春秋时期炼铜遗址的炉渣,渣含铜仅为0.9%,就可看出已相当于法国里昂十九世纪的水平;在产量上,我国清乾隆、嘉庆年代,仅云南一省年产铜一万多吨,就相当于苏联1926年全国的产量(1.2万吨)。

目前,世界上的炼铜方法,仍是我国早已利用的火法和湿法。

一、火法炼铜

在古代,人们开采的都是富铜矿。富氧化铜矿,可以直接还原熔炼而得到金属铜;如为富硫化铜矿,则要经过氧化焙烧后,再进行还原熔炼。但因还原熔炼的回收率低,产出的铜质量不好,所以此法已被人们所淘汰。

近代的炼铜原料,多数是品位不高的硫化铜矿,故必须经精选后才能熔炼。硫化铜精矿的火法熔炼,一般包括三个过程:首先把铜矿熔炼成冰铜,其次把冰铜吹炼成粗铜,最后把粗铜精炼成纯铜。精炼又分火法精炼和电解精炼。

把铜精矿熔炼成冰铜这一过程,由于所用的炉子不同,又分鼓风炉熔炼、反射炉熔炼、电炉熔炼、闪速熔炼以及其它的熔炼。根据不同方法和不同熔炼设备,铜精矿在熔炼前有的不必经过任何加工,即可直接熔炼;有的则要经过混捏;有的要经过干燥;有的要经过制粒;有的要经过焙烧;有的要经过烧结。尽管对精矿的预备处理不同,但经熔炼后所得的产品都是冰铜。

吹炼,一般是在转炉中进行。吹炼的原料是冰铜,产品是粗铜。

近来,国内外有把熔炼和吹炼两个过程在一个设备中进行的,即往炉内连续加入精矿,连续地产出粗铜。目前这种工艺,多数还处于试验阶段。

吹炼产出的粗铜,先经过火法精炼,除去杂质,产出火法精炼铜。这种铜一般还不能满足各个部门、特别是电气工业部门的要求,还要进一步进行电解精炼。电解精炼,还可以进一步回收金、银等有价金属。

在熔炼和吹炼过程中产出的炉气,含有 SO_2 ,可以用来制造硫酸。

火法炼铜工艺的原则流程,如图1-1所示。

二、湿法炼铜

无论贫矿或富矿,也无论是氧化矿或硫化矿,都可用适当的溶剂把矿石中的铜溶解出

来，而得到含铜的浸出液，然后再从溶液中提取铜。像这种用溶剂从矿石中提取铜的冶金过程，称为湿法炼铜。

湿法炼铜，有的也要经过预备作业，如把铜矿石或精矿经过焙烧等。湿法炼铜的工艺原则流程如图1-2所示。

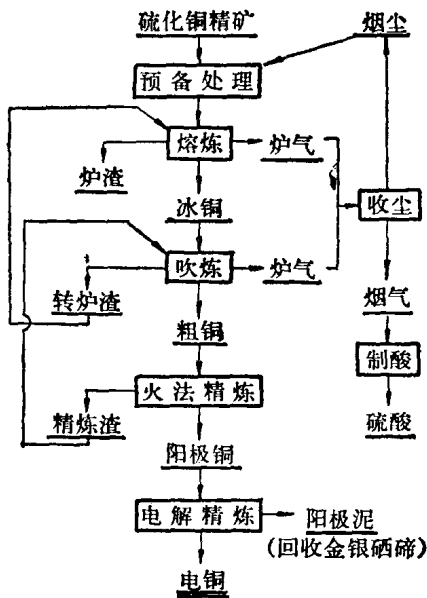


图1-1 火法炼铜原则流程图

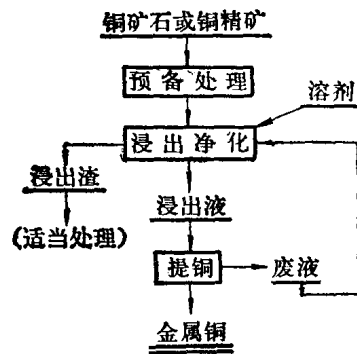


图1-2 湿法炼铜原则流程图

三、炼铜方法简评

炼铜方法有火法和湿法两大类，对这两类方法的评述，形成所谓“水火之争”。

目前，在国外评述炼铜方法，主要是围绕能否节省能源；能否防止公害；能否利用低品位矿（包括综合利用）这三大课题来进行。

火法处理硫化铜精矿，生产率高、能耗低、电铜质量好、利于回收稀、贵金属，这些是它的优点；对大气污染严重，不能直接处理贫矿，这些是它的缺点。但近年来，一些省能、高效、能有效地控制大气污染的冶炼工艺，得到了迅速的发展，所以火法炼铜，仍占主要地位，约占总产铜量的80%。

在火法炼铜中，三十年代前，鼓风机熔炼是主要的；三十年代后，反射炉熔炼，后者居上，在多数地方取代了鼓风机熔炼的地位；七十年代后，闪速熔炼崛起，成为当前能代替反射炉熔炼的、成熟而有效的方法。连续炼铜，也正在发展中。

各个国家的资源不同，原来的炼铜基础各异，所以，现在各工业发达的国家，采用的炼铜方法，尚没有一致的趋向。在日本，闪速熔炼发展很快，所产的铜量，占全国产铜总量的70%；而在美国、苏联，闪速熔炼几乎还是空白，反射炉仍占主导地位。

湿法炼铜，可以根除对大气的污染和处理低品位矿，近年来浸出、提取技术不断发展，所以七十年代以来，湿法炼铜有了较大的发展。世界湿法炼铜的比重，由1968年的3%增加至1975年的15%左右；而美国湿法炼铜的比重则更大。

表1-7为国外各种方法生产的铜所占的比例。

我国炼铜工业也大致如此。火法仍占主要地位。火法中，密闭鼓风机与反射炉并驾齐驱；闪速熔炼已进行了工业试验，正在兴建大型闪速炉。闪速熔炼，大有取代鼓风机熔炼和反射炉熔炼之势。湿法炼铜，近年来也有所发展，但规模较小；所采用的流程，是“焙烧—浸出—电积”流程。

用各种方法生产铜的比例 (%)

表 1-7

生产铜的方法	苏 联	美 国	各 国 平 均
反射炉熔炼	60~65	52.6	50~55.0
其中：生精矿	45~50	42	45~47.0
焙 砂	21~24	10	8~12
鼓风炉熔炼	18~22	23.8	12.0
其中：精 矿	9~11	5.0	7.0
再生物料	9~11	18.8	5.0
电炉熔炼	10~15	—	1.4
闪速熔炼	2.5~3.5	—	13.0
转炉吹炼生精矿	5.0~7.0	6.5	7.0
湿法炼铜	0.1~0.2	17.0	12.0

第二章 硫化铜精矿的密闭鼓风炉熔炼

第一节 概 述

鼓风炉炼铜，历史悠久。鼓风炉，古称竖炉。传统的鼓风炉是敞开式的，炉顶两侧有敞开的进料口，块状炉料及燃料由此装进，空气由炉身下部两侧鼓入，炉气由炉顶烟道排出，熔体汇集炉缸后注入前床。鼓风炉熔炼示意图，见图1-3。

因为热炉气与冷炉料是逆向运动，所以热利用率高；可以通过调整料柱的高度、焦率和空气量，控制炉内气氛以适应熔炼的要求；空气在炉身下部同一水平面鼓入，形成集中的高温区（焦点），熔炼速度快，床能率高；炉子结构比较简单，易于建造，便于维修。因此，鼓风炉熔炼，今天仍占一定的地位。

一、鼓风炉熔炼的目的

近代鼓风炉炼铜，一般都是用硫化铜矿熔炼冰铜。

铜矿石中的含铜矿物，多数是硫化物，也有其它化合物。在鼓风炉熔炼过程中，铜以硫化亚铜的形式与硫化亚铁融合成金属硫化物的共熔体——硫，也称冰铜。

鼓风炉熔炼的目的，在于使炉料中的铜以 Cu_2S 的形式，最大限度地进入冰铜中；其它的有价金属，如金、银、硒、碲等也进入冰铜中，以便进一步回收。至于其它的组分，如 CaO 、 SiO_2 和 FeO 等则组成炉渣。

二、鼓风炉熔炼的方法

鼓风炉炼铜，就其炉内气相成分不同，分为还原熔炼和氧化熔炼。

还原熔炼又分纯还原熔炼和还原硫化熔炼。

1. 纯还原熔炼 主要用来处理品位较高的氧化铜矿。以焦炭供热并作还原剂，焦率达13%以上。熔炼的结果，得到粗铜和炉渣。炉内的主要反应如下：

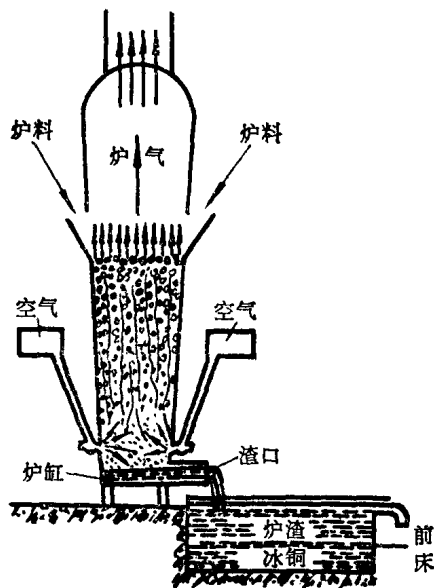
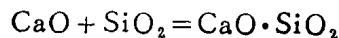
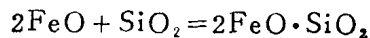
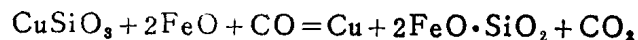
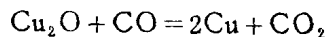
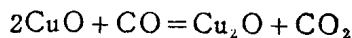
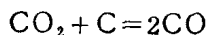
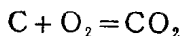


图1-3 鼓风炉熔炼示意图