

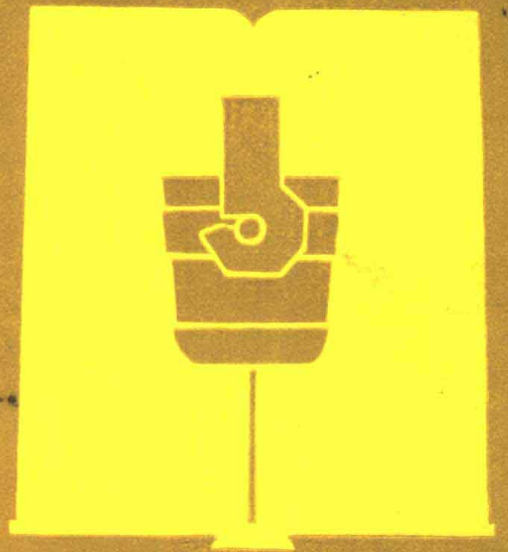
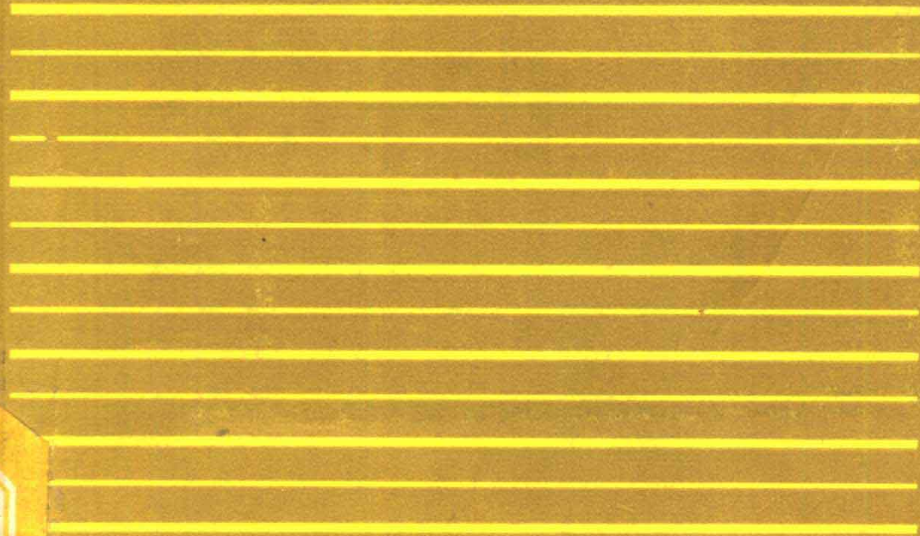
960334

● 高等学校教学用书 ●

TP810.1  
7402

# 重 金 属 冶 金 学

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

# 重 金 属 冶 金 学

东北工学院 陈国发 主编

冶金工业出版社

098109

(京)新登字036号

冶金工业出版社

冶金工业出版社

冶金工业出版社

高等学校教学用书

重金属冶金学

东北工学院 陈国发 主编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷33号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 20 字数 464 千字

1992年5月第一版 1992年5月第一次印刷

印数00,001~2,000册

ISBN 7-5024-0966-1

TF·224(课)定价5.15元

## 前 言

根据1986~1990年冶金教材的出版规划,按照有色金属冶金专业(本科)的“重金属冶金学”课程教学大纲,编写了本书。该书包括铜、铅、锌、镍、锡、金、银和铂族(铂、钯、铑、铱、钌、铇)共十三种金属的冶金方法。按照有色金属冶金专业教学计划的要求,本书着重于叙述提取冶金过程的基本理论和比较成熟的冶金工艺,同时介绍国内外重金属冶金领域的科技发展。

书中将类似的冶金过程只在某一金属冶金中作重点阐述,如冰铜熔炼、电炉和闪速熔炼放在铜冶金,烧结焙烧、还原熔炼和烟化过程放在铅冶金,沸腾焙烧和湿法冶金放在锌冶金等等。这样,可以避免不必要的内容重复。

本书共分七个部分,绪论和第二、五章由陈国发编写,第一章由贺家齐编写,第三、六章由宋庆双编写,第四、七章由赵素藩编写。陈国发担任主编。

由于水平所限,书中难免有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

1990.12.

EA 55/03

## 绪 论

金属元素按其性质、产状、产量及用途等差别分为有色金属（非铁金属）和黑色金属（铁金属）。有色金属是指铁、铬、锰以外的金属。在有色金属中又分重金属、轻金属、贵金属和稀有金属四大类。有色重金属是指铜、铅、锌、镍、锡、钴、锑、汞、镉、铋等二十多种金属，它们的共同点是比重都大于5.0。

本书并没有对所有重金属的提取理论和工艺都进行叙述和讨论，而仅编写了铜、铅、锌、镍、锡五种重金属的冶金。由于冶金科学的内在联系，在熟练掌握本书内容的基础上，可以举一反三，融会贯通。

本书还编入了贵金属冶金的内容。贵金属包括金、银和铂族金属铂、钌、铑、钯、铱及铕。这些金属元素的相当大数量是伴生在重金属矿床中，在重金属生产过程中必须考虑综合回收这些元素。因此贵金属的提取无疑是重金属矿产资源综合利用的重要组成部分，编入重金属冶金中一起讨论，也是很相宜的。

不同金属的生产和使用标志着人类社会发展的不同历史时期，如铜器时代、铁器时代等等。可见，铜是人类最早发现和使用的金属之一，在距今8000年以前人类已经使用铜。在石器时代之后，首先出现的是铜器时代。我国商周时期（公元前十六世纪以后），青铜的冶炼和铸造技术已经很发达。在湖北省大冶县境内发现的铜绿山矿冶遗址是我国目前已发现的规模最大、保存最完整的古代铜矿冶炼遗址，至迟也始于西周末年。从发掘的炼铜遗址看，铜绿山采用鼓风竖炉炼铜至少也有2700年的历史了。

人类开始认识的是自然铜，并用它打成锥和钉等工具。稍后，又使用了退火和加工硬化等技术。在伊朗境内曾发现此类实物。

我国古代铅字作铅。铅也是人类史前金属。炼铅术和炼铜术大致始于同一历史时期。至公元前1600~1400年，铅已成为常见金属。欧洲炼铅最早是西班牙和希腊。公元前7000~5000年，埃及便先后发现了金、银和铅。罗马在公元前已能炼铅和制造铅管、铅皮和铅币。英国伦敦博物馆现在陈列有公元前3800年的铅像。

我国约在公元前2000年已用铅造币，称为铅刀。尚书禹贡记载，商朝以前在山东已生产铅，并列为贡品。墨子有“禹造粉”，淮南子有“铅之与丹，异类殊色”之说。公元前我国已用铅制铅白和铅丹，远比欧洲早得多。商代青铜器铸造已用铅，即铅青铜。安阳殷墟出土有铅器。西周的铅戈含铅达99.75%。宋应星《天工开物》载有铅矿物的种类和炼铅方法。明陆容《菽园杂记》记载了含银硫化铅矿的冶炼方法。古代的铅往往与铜制成合金使用。因铅质软且表面易氧化失色，在古代不宜做工具、武器或装饰品，所以不如铜铁那样在人类发展中起那么大的作用。到十六世纪铅才有工业规模生产。至十九世纪中叶，人类发现铅的抗酸、抗碱、防潮、比重大、能吸收放射性射线以及能制造各种合金和蓄电池等新性质和新用途之后，炼铅工业才获得重大发展。

锡也是古老金属，最初是在熔炼自然铜和锡矿石或处理铜锡矿石的混合物偶然获得铜锡合金（锡青铜），构成了人类古代文明的整个时代——青铜时代。人类熟悉纯锡则较迟。

公元前3000年苏美尔人已能冶炼含锡较高的青铜，用来制造斧和镑等工具。锡石炼锡始于公元前2000年。我国至迟在商代已能炼锡。安阳殷商遗址已出土锡块和锡戈，虎面铜盔上有镀锡层。战国时期的《周礼·考工记》详述了各种用途的青铜中铜和锡的配比。我国古代称铅锡合金为锡镞。欧洲古代产锡地主要是康沃尔、波希米亚和萨克森等。

锌在古代是被人类制成黄铜做装饰品应用。黄铜古名瑜石。我国是最早掌握炼锌技术的国家。在《天工开物》中称锌为倭铅。从出土文物的化学分析和史籍记载看，可能在北宋末年（12世纪初）即已使用金属锌。至16~18世纪，我国的锌已向欧洲出口。至明朝，炼锌技术已达较高水平。此时炼锌在山西太行一带，其次在湖南荆衡一带。在西南地区发现清代以前使用过的炼锌坩埚。炼锌在英国始于1738年，德国始于1746年，至19世纪法国和比利时的平罐炼锌才有较大的发展。

镍是既古老又年轻的金属。古代埃及、中国和巴比伦人都曾用含镍量很高的陨铁制作器物。中国是很早使用铜镍合金的国家，古代云南生产的白铜中含镍很高，在欧洲曾称白铜为“中国银”。到1751年，瑞典矿物学家克朗斯塔特（A.F.Cronstedt）才分离出金属镍。镍用于工业，是近一百多年的事。

在贵金属系列中，金和银被人类发现和使用最早。早在新石器时代，人类已识别黄金。埃及、美索不达米亚等地区在公元前3000年已采集黄金制作饰物，到公元前2000年已达到很高的工艺水平，从埃及法老墓中发现的埃及图坦卡门金棺即为一例。中国至迟在商代中期（公元前13~14世纪）已掌握了制造金器的技能，如河北藁城、河南安阳出土的殷商文物中便有金箔。从西周墓里发掘出的包金兽面和各种形状的金片，表明当时已掌握“鍍金”方法。春秋中期后，出现了所谓“错金银”工艺。陕西咸阳出土的战国（公元前475~221年）错金银云纹鼎便是这种工艺的产品。战国时期已用金作货币，如楚国的饼金“郢爰”。河北满城出土的西汉（公元前206~24年）金缕玉衣和错金博山炉，是汉代冶铸工匠的杰作。

约在公元前3000年人类便掌握了炼银技术。乌尔和美索不达米亚等地区出土有公元前3000年的银制品。在拉加什曾发现公元前2800年的银瓶。中国古代称银为“白金”。早在春秋时期（公元前8~5世纪）已有“错金银”工艺。《山海经》列举出“银之山”十处，宋代《云麓漫钞》和明代《菽园杂记》等著作都详细记述了银矿的开采和灰吹法炼银技术。

南美洲印第安人很早就知道铂。西班牙人到达南美后，在找寻金时遇到了铂，称自然铂为“小银”（Platina）。由于铂很难与金分离并使金首饰加工困难，故当时认为它是“讨厌”的东西。中国古代金匠也从砂金中发现了铂，称它为“毒银”或“金刺”。1803年英国人沃拉斯通（W.H.Wollaston）确立了提纯铂的工艺，同时还从铂的王水溶液中分离出两个新的元素钯和铑。钯（Palladium）来源于希腊神话中智慧女神Pallas，铑（Rhodium）因其盐类具有玫瑰红色而以希腊字rhodon（玫瑰）命名。1804年英国人坦南特（S.T Tennant）从自然铂的王水不溶物中发现了锇和铱。因锇的四氧化物具有强挥发性并有与氯气相类似的刺激味，铱的盐类呈多种色彩，分别以希腊字osme（气味）和iris（虹）命名为osmium和iridium。1844年俄国人克拉乌斯（K.Knays）发现钌，以拉丁文Ruthenia（俄罗斯）命名为ruthenium。

我国有色重金属资源丰富，品种齐全。资源特点是复合矿多，有的品位较低。因此，矿物资源的综合利用，既可充分回收价组份，又能避免环境污染，是一个至关重要的课题。

# 目 录

## 绪论

1 铜冶金 .....	1
1.1 概述 .....	1
1.1.1 铜的性质 .....	1
1.1.1.1 铜的原子结构 .....	1
1.1.1.2 铜的物理性质 .....	1
1.1.1.3 铜的化学性质 .....	2
1.1.2 铜的主要化合物及其性质 .....	3
1.1.2.1 硫化铜 .....	3
1.1.2.2 硫化亚铜 .....	3
1.1.2.3 氧化铜 .....	3
1.1.2.4 氧化亚铜 .....	3
1.1.2.5 铜的硅酸盐 .....	4
1.1.2.6 铜的铁酸盐 .....	4
1.1.2.7 硫酸铜 .....	4
1.1.2.8 铜的氯化物 .....	4
1.1.3 铜的用途及产销 .....	5
1.1.4 铜的矿物、矿石及精矿 .....	6
1.1.5 铜的生产方法 .....	7
1.2 冰铜熔炼的理论基础 .....	8
1.2.1 冰铜的概念及其组成 .....	8
1.2.2 冰铜生成的主要反应 .....	9
1.2.3 冰铜的相关系 .....	9
1.2.4 冰铜的主要性质 .....	11
1.2.5 炉渣的组成 .....	12
1.2.6 炉渣及炉渣与冰铜的相平衡 .....	13
1.2.7 液态炉渣的主要性质 .....	15
1.2.8 铜在炉渣中的损失 .....	15
1.3 铜精矿的反射炉熔炼 .....	18
1.3.1 概述 .....	18
1.3.2 反射炉熔炼的理论基础 .....	19
1.3.2.1 反射炉中的传热 .....	19
1.3.2.2 主要的化学反应 .....	21
1.3.2.3 转炉渣在反射炉中的脱铜 .....	22
1.3.2.4 反射炉熔炼中其它杂质金属的行为 .....	23
1.3.2.5 反射炉熔炼的产物 .....	23
1.3.3 反射炉的构造 .....	24

1.3.4	反射炉熔炼的操作	24
1.3.4.1	燃料的燃烧	24
1.3.4.2	料坡的维护	25
1.3.4.3	炉床的控制	25
1.3.5	反射炉熔炼的技术经济指标	25
1.3.5.1	单位生产率	25
1.3.5.2	燃料率	25
1.3.5.3	金属回收率	25
1.3.6	反射炉熔炼技术的进展	26
1.4	铜精矿的密闭鼓风炉熔炼	27
1.4.1	概述	27
1.4.2	密闭鼓风炉熔炼的基本原理	27
1.4.2.1	密闭鼓风炉的热工特性	27
1.4.2.2	密闭鼓风炉熔炼的物理化学过程	28
1.4.3	鼓风炉的构造及操作	30
1.4.3.1	密闭鼓风炉的构造	30
1.4.3.2	密闭鼓风炉操作要点	30
1.4.3.3	密闭鼓风炉熔炼的主要技术经济指标	31
1.5	铜精矿的闪速熔炼	32
1.5.1	概述	32
1.5.2	闪速熔炼的基本原理	33
1.5.2.1	闪速熔炼的主要化学反应	33
1.5.2.2	硫化物颗粒在气流中的运动速度	34
1.5.2.3	硫化物颗粒在高温气流中传热方程	34
1.5.3	奥托昆普闪速炉熔炼实践	35
1.5.3.1	奥托昆普闪速熔炼工艺	35
1.5.3.2	奥托昆普闪速炉的自动控制	36
1.5.3.3	奥托昆普闪速炉的构造	37
1.5.3.4	闪速熔炼炉的产物	38
1.5.3.5	闪速熔炼的技术经济指标	38
1.5.4	印柯闪速炉熔炼工艺	38
1.6	铜精矿的电炉熔炼	39
1.6.1	概述	39
1.6.2	电炉熔炼的理论基础	40
1.6.2.1	电能的转变	40
1.6.2.2	电能和温度的分布	41
1.6.2.3	炉渣的对流和热交换	42
1.6.2.4	电炉中进行的主要化学反应	42
1.6.3	矿热电炉	42
1.6.4	电炉供电系统	43
1.6.5	电炉熔炼的实践	43



1.6.5.1	电炉熔炼的炉料准备	43
1.6.5.2	电炉熔炼的操作要点	44
1.6.5.3	电炉熔炼的技术经济指标	45
1.7	火法炼铜的其它方法	46
1.7.1	瓦纽柯夫法	46
1.7.2	诺兰达法	47
1.7.3	连续炼铜法	48
1.7.3.1	连续炼铜的热力学	48
1.7.3.2	三菱法	49
1.8	冰铜的吹炼	51
1.8.1	概述	51
1.8.2	冰铜吹炼的理论基础	51
1.8.2.1	冰铜吹炼的热力学简析	51
1.8.2.2	冰铜吹炼过程中各组分变化规律	52
1.8.2.3	转炉吹炼的供风	57
1.8.3	转炉的构造及操作实践	58
1.9	粗铜的火法精炼	60
1.9.1	概述	60
1.9.2	铜火法精炼的理论基础	60
1.9.2.1	氧化过程	60
1.9.2.2	还原过程	62
1.9.3	火法精炼炉的构造及操作实践	63
1.10	铜的电解精炼	66
1.10.1	电解精炼的理论基础	67
1.10.2	铜电解精炼的设备及操作实践	69
1.10.3	电解液的净化	71
1.11	铜的湿法冶金	72
1.11.1	焙烧-浸出-电积法	72
1.11.2	高压氨浸法	75
1.11.3	常压浸出法	76
1.11.4	细菌浸出法	76
<b>2</b>	<b>铅冶金</b>	<b>79</b>
2.1	概述	79
2.1.1	铅的性质	79
2.1.1.1	物理性质	79
2.1.1.2	化学性质	79
2.1.2	铅的主要化合物的性质	79
2.1.2.1	硫化铅	79
2.1.2.2	氧化铅	80
2.1.2.3	硅酸铅	80

2.1.2.4	硫酸铅	80
2.1.2.5	氯化铅	80
2.1.2.6	碳酸铅	80
2.1.2.7	亚铁酸铅	80
2.1.3	铅的用途	80
2.1.4	炼铅原料	81
2.1.5	铅的提取方法	81
2.1.5.1	氧化还原熔炼法	81
2.1.5.2	反应熔炼法	82
2.1.5.3	沉淀熔炼法	83
2.2	硫化铅精矿的烧结焙烧	83
2.2.1	概述	83
2.2.2	硫化铅精矿烧结焙烧的理论基础	83
2.2.3	烧结焙烧时铅精矿中各组分的行为	87
2.2.3.1	硫化铅	87
2.2.3.2	碳酸铅	87
2.2.3.3	铁的硫化物	87
2.2.3.4	铜的硫化物	87
2.2.3.5	硫化锌	87
2.2.3.6	硫化镉	87
2.2.3.7	金银	87
2.2.3.8	砷、锑、锡、镉、铋的硫化物	87
2.2.3.9	脉石成分	87
2.2.4	铅烧结焙烧前的炉料准备	88
2.2.4.1	对化学组成的要求	88
2.2.4.2	对物理性质的要求	88
2.2.5	带式烧结机的构造及其操作	90
2.3	铅烧结矿的鼓风炉还原熔炼	94
2.3.1	概述	94
2.3.2	铅鼓风炉还原熔炼的理论基础	95
2.3.3	还原熔炼时烧结矿各组分的行为	98
2.3.3.1	铅的化合物	98
2.3.3.2	铁的化合物	98
2.3.3.3	锌的化合物	98
2.3.3.4	铜的化合物	98
2.3.3.5	砷、锑、锡、镉、铋的化合物	99
2.3.3.6	金银	99
2.3.3.7	脉石成分	99
2.3.4	燃料燃烧的完全程度和还原能力	99
2.3.4.1	燃料燃烧的完全程度	99
2.3.4.2	鼓风炉的还原能力	100

2.3.5	铅鼓风炉的构造及其操作 .....	101
2.3.6	铅鼓风炉的熔炼产物 .....	103
2.3.6.1	炉渣 .....	103
2.3.6.2	铅冰铜及其处理 .....	104
2.3.6.3	黄渣及其处理 .....	105
2.3.6.4	烟尘和烟气 .....	105
2.3.7	铅鼓风炉渣的烟化处理 .....	105
2.4	直接炼铅 .....	108
2.4.1	概述 .....	108
2.4.2	直接炼铅的理论基础 .....	109
2.4.3	直接炼铅方法 .....	111
2.4.3.1	波里顿法 .....	111
2.4.3.2	柯明科法 .....	111
2.4.3.3	圣约瑟夫法 .....	111
2.4.3.4	沃克拉法 .....	111
2.4.3.5	诺兰达法 .....	112
2.4.3.6	奥托昆普法 .....	112
2.4.3.7	QSL法 .....	112
2.4.3.8	基夫赛特法 .....	113
2.5	粗铅的精炼 .....	114
2.5.1	概述 .....	114
2.5.2	粗铅的火法精炼 .....	115
2.5.2.1	粗铅除铜 .....	115
2.5.2.2	除砷锑锡 .....	116
2.5.2.3	加锌提银 .....	118
2.5.2.4	铅的除锌 .....	120
2.5.2.5	精炼除铋 .....	121
2.5.3	粗铅的电解精炼 .....	123
2.5.3.1	电极反应过程 .....	123
2.5.3.2	铅电解精炼时杂质的行为 .....	123
2.5.3.3	铅电解精炼的实践 .....	124
2.6	硫化铅精矿的碱法熔炼 .....	125
2.6.1	概述 .....	125
2.6.2	铅精矿加碱熔炼 .....	125
2.6.3	渣冰铜的湿法处理 .....	125
2.7	湿法炼铅 .....	127
2.7.1	氯化物浸出法 .....	127
2.7.2	碱浸出法 .....	128
2.7.3	胺浸出法 .....	128
2.7.4	氨性硫酸铵浸出法 .....	128

2.7.5	加压浸出法 .....	128
2.7.6	硫酸铁浸出法 .....	129
2.7.7	硝酸浸出法 .....	129
2.7.8	直接电解浸出法 .....	129
<b>3</b>	<b>锌冶金 .....</b>	<b>130</b>
3.1	概述 .....	130
3.1.1	锌的性质 .....	130
3.1.1.1	物理性质 .....	130
3.1.1.2	化学性质 .....	130
3.1.2	锌的主要化合物的性质 .....	130
3.1.2.1	硫化锌 .....	130
3.1.2.2	氧化锌 .....	131
3.1.2.3	硫酸锌 .....	131
3.1.2.4	氯化锌 .....	131
3.1.3	锌的用途 .....	131
3.1.4	锌的原料 .....	131
3.1.5	锌的提取方法 .....	132
3.2	硫化锌精矿的焙烧 .....	133
3.2.1	硫化锌精矿焙烧的热力学基础 .....	134
3.2.2	硫化锌精矿焙烧的动力学 .....	136
3.2.3	沸腾焙烧及沸腾焙烧炉的构造 .....	138
3.2.4	沸腾焙烧炉的实际操作 .....	141
3.2.4.1	鼓风压力 .....	142
3.2.4.2	鼓风量 .....	142
3.2.4.3	沸腾层温度 .....	143
3.2.5	沸腾焙烧的技术经济指标 .....	144
3.3	湿法炼锌 .....	145
3.3.1	锌焙砂的浸出 .....	145
3.3.1.1	浸出过程的热力学基础 .....	146
3.3.1.2	中性浸出液中 $Fe^{2+}$ 的氧化及 $Fe^{3+}$ 与As、Sb的共沉淀 .....	147
3.3.1.3	浸出过程的速度和其影响因素 .....	148
3.3.1.4	高温高酸浸出黄钠铁矾沉铁工艺原理 .....	150
3.3.1.5	热酸浸出针铁矿法沉铁新工艺 .....	152
3.3.1.6	赤铁矿法工艺 .....	153
3.3.1.7	硅酸盐在浸出过程中的行为 .....	153
3.3.1.8	浸出设备及其操作 .....	154
3.3.1.9	锌浸出渣的处理 .....	155
3.3.2	硫酸锌溶液的净化 .....	156
3.3.2.1	净化除铜镉 .....	156
3.3.2.2	净液除钴 .....	158

3.3.2.3	净液除氟氯	159
3.3.2.4	锌浸出液净化的设备及生产实践	160
3.3.3	硫酸锌溶液的电沉积	160
3.3.3.1	阳极过程	160
3.3.3.2	阴极过程	161
3.3.3.3	锌电解车间的设备及生产实践	163
3.3.3.4	锌电积过程的技术经济指标	164
3.4	火法炼锌	168
3.4.1	火法炼锌的理论基础	168
3.4.2	竖罐蒸馏炼锌	171
3.4.2.1	炉料的制备	171
3.4.2.2	焦结矿的蒸馏过程	172
3.4.2.3	锌蒸气的冷凝	172
3.4.2.4	竖罐炼锌的产物及技术经济指标	173
3.4.3	横罐炼锌	174
3.4.4	电炉炼锌	174
3.4.5	密闭鼓风炉炼铅锌	174
3.4.5.1	密闭鼓风炉炼铅锌的理论基础	174
3.4.5.2	密闭鼓风炉炼铅锌的技术条件分析	176
3.4.5.3	铅锌密闭鼓风炉的构造及生产实践	177
3.4.5.4	铅雨冷凝器的工作原理	178
3.4.6	粗锌的火法精炼	178
3.4.6.1	熔析法精炼粗锌	178
3.4.6.2	精馏法精炼粗锌	179
3.5	锌冶金的发展	181
3.5.1	硫化锌精矿的直接浸出	181
3.5.2	硫化锌精矿的直接电解	182
3.5.3	等离子炼锌技术	182
3.5.4	喷吹炼锌方法研究	182
4	镍冶金	183
4.1	概述	183
4.1.1	镍的性质	183
4.1.1.1	物理性质	183
4.1.1.2	化学性质	183
4.1.2	镍的主要化合物的性质	183
4.1.2.1	镍的氧化物	183
4.1.2.2	镍的硫化物	183
4.1.2.3	镍的砷化物	184
4.1.2.4	羰基镍	184
4.1.3	镍的用途	184
4.1.4	炼镍原料	184

4.1.5	镍的提取方法	184
4.2	氧化镍矿的火法冶金	185
4.2.1	氧化镍矿烧结和鼓风炉熔炼	185
4.2.2	冰镍的吹炼	187
4.2.3	高冰镍的处理	187
4.2.4	氧化镍矿制取镍铁	188
4.2.4.1	电炉熔炼法	188
4.2.4.2	高炉熔炼法	188
4.2.4.3	回转窑法	189
4.3	硫化镍矿的火法冶金	189
4.3.1	硫化镍矿电炉熔炼的炉料准备	189
4.3.2	硫化镍矿的电炉熔炼	189
4.3.3	电炉熔炼产物	192
4.3.3.1	铜冰镍(低冰镍)	192
4.3.3.2	炉渣	193
4.3.3.3	炉气和烟尘	193
4.3.4	铜冰镍的吹炼和吹炼产物的分离	194
4.3.5	氧气顶吹旋转炉吹炼	196
4.4	氧化镍矿的湿法冶金	196
4.4.1	氧化镍矿还原焙烧——低压氨浸	196
4.4.1.1	氧化镍矿选择性还原焙烧	197
4.4.1.2	氨浸	199
4.4.1.3	成品液蒸氨	202
4.4.1.4	碱式碳酸镍的溶解和溶液的净化	202
4.4.1.5	氢还原	203
4.4.2	氧化镍矿的高压酸浸	204
4.5	硫化镍矿的湿法冶金	205
4.5.1	加压氨浸	205
4.5.2	硫酸化焙烧-浸出	206
4.6	镍的精炼	206
4.6.1	镍的电解精炼	206
4.6.1.1	阴极过程	208
4.6.1.2	阳极过程	210
4.6.1.3	造液时的电化过程	210
4.6.1.4	阳极液的净化	211
4.6.2	羰基法生产高纯镍	214
4.6.3	高铜冰镍的浓盐酸浸出精炼	215
5	锡冶金	217
5.1	概述	217
5.1.1	锡的性质	217

5.1.1.1	物理性质	217
5.1.1.2	化学性质	217
5.1.2	锡的主要化合物的性质	218
5.1.2.1	锡的氧化物	218
5.1.2.2	锡的硫化物	218
5.1.2.3	锡的氯化物	219
5.1.2.4	锡的硅酸盐	219
5.1.2.5	硫代锡酸盐	219
5.1.3	锡的用途	220
5.1.4	炼锡原料	220
5.1.5	锡的提取方法	220
5.2	熔炼前的锡矿处理	221
5.2.1	锡精矿的精选处理	221
5.2.2	锡精矿的焙烧处理	222
5.2.3	锡精矿的浸出处理	223
5.3	锡精矿的还原熔炼	224
5.3.1	锡还原熔炼的理论基础	224
5.3.2	锡精矿的反射炉熔炼	228
5.3.3	锡精矿的电炉熔炼	230
5.4	富渣的熔炼	231
5.4.1	加石灰石(石灰)再熔炼法	231
5.4.2	加硅铁(硅)再熔炼法	231
5.4.3	烟化炉硫化挥发法	232
5.5	硬头和烟尘的处理	234
5.5.1	硬头的处理	234
5.5.1.1	烟化炉吹炼硬头	234
5.5.1.2	硬头焙烧后与锡精矿一起熔炼	234
5.5.1.3	熔析法处理硬头	235
5.5.1.4	硅铁法处理硬头	235
5.5.2	烟尘的处理	235
5.6	粗锡的精炼	236
5.6.1	粗锡火法精炼	236
5.6.1.1	熔析和凝析除铁砷	237
5.6.1.2	加硫除铜	238
5.6.1.3	结晶分离铅铋	239
5.6.1.4	氯化除铅	241
5.6.1.5	加铝除铋砷	242
5.6.1.6	加碱金属除铋	243
5.6.1.7	真空蒸馏	244
5.6.2	粗锡电解精炼	245

5.6.2.1	硫酸亚锡-硫酸-甲酚磺酸电解液电解	245
5.6.2.2	硫酸-苯酚磺酸电解液电解	247
5.6.2.3	硫酸-氨基磺酸电解液电解	247
5.6.2.4	硫酸-硅氟酸电解液电解	248
5.6.2.5	碱性电解液电解	248
<b>6</b>	<b>金银冶金</b>	<b>250</b>
6.1	概述	250
6.1.1	金银的性质	250
6.1.2	金银的用途	251
6.1.3	金银的原料	251
6.1.4	金银提炼方法	251
6.2	混汞法提取金银	252
6.2.1	混汞法的基本原理	252
6.2.1.1	湿润过程	252
6.2.1.2	汞齐化过程	253
6.2.1.3	影响混汞效果的因素	253
6.2.2	混汞法的实际操作	254
6.2.3	汞膏的处理	254
6.2.4	混汞的安全措施	255
6.3	氰化法提取金银	255
6.3.1	概述	255
6.3.2	氰化法的基本原理	256
6.3.3	氰化法的生产实践	257
6.3.4	金银沉淀及金泥处理	260
6.3.4.1	锌置换沉淀法	260
6.3.4.2	金泥的处理	260
6.3.4.3	炭浆法	262
6.3.5	脱金溶液的处理	263
6.3.5.1	净化法	263
6.3.5.2	再生回收法	263
6.4	提取金银的其它方法	263
6.4.1	硫脲法提取金银	263
6.4.1.1	硫脲的基本特性	263
6.4.1.2	硫脲溶金的理论基础	264
6.4.1.3	硫脲法提金的实践	265
6.4.2	水溶液氯化浸出法	265
6.5	从银锌壳中提取金银	266
6.5.1	银锌壳的脱铅	266
6.5.2	银锌壳的蒸馏	266
6.5.3	贵铅的灰吹	267



6.6	从阳极泥中提取金银	267
6.6.1	概述	267
6.6.2	阳极泥脱铜脱硒	268
6.6.3	阳极泥的火法熔炼	270
6.6.3.1	熔炼成贵铅	270
6.6.3.2	贵铅的氧化精炼	270
6.6.4	金银合金的分离方法	271
6.6.5	银电解精炼	273
6.6.6	金电解精炼	274
6.7	从废料中回收金银	276
6.7.1	金的回收	276
6.7.1.1	从废液中回收金	276
6.7.1.2	从合金废料中回收金	277
6.7.2	银的回收	277
6.7.2.1	从含银废液中回收银	277
6.7.2.2	从银合金废料中回收银	278
7	铂族金属冶金	279
7.1	概述	279
7.1.1	铂族金属的性质	279
7.1.1.1	物理性质	279
7.1.1.2	化学性质	279
7.1.2	铂族金属的主要化合物的性质	280
7.1.3	铂族金属的用途	280
7.1.4	铂族金属资源	281
7.2	提取铂族金属的原料准备和富集	283
7.2.1	铜镍硫化矿冶炼中铂族金属的富集	283
7.2.2	从二次铜镍合金生产铂族金属精矿	283
7.2.3	从镍阳极泥中富集铂族金属	285
7.3	铂族金属的分离	288
7.3.1	蒸馏法分离钨钼	288
7.3.2	选择沉淀金钯	290
7.3.3	铂与铑钌分离	293
7.3.4	铑钌分离	294
7.4	铂族金属的精炼	296
7.4.1	铂的精炼	296
7.4.2	钯的精炼	298
7.4.3	铑的精炼	299
7.4.4	钌的精炼	300
	主要参考文献	301