

高等学校规划教材  
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

# 有色冶金概论

(第2版)

华一新 主编



冶金工业出版社

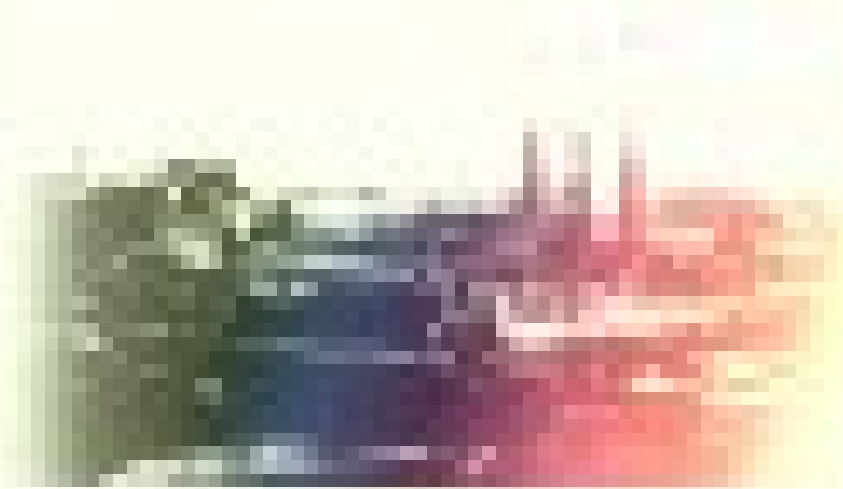
<http://www.cnmp.com.cn>

高等学校规划教材  
《有色金属冶金》系列教材之一

# 有色冶金概论

（第二版）

李一明 主编



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

高等学校规划教材

# 有色冶金概论

(第2版)

华一新 主编

北京  
冶金工业出版社

2007

## 内 容 提 要

本书主要论述了铜、镍、铅、锌、锡、铝、钨、钛八种典型的有色金属冶炼的基本原理、工艺流程、基本设备和生产实践,并以其为代表介绍了有色金属冶金中的主要综合回收工艺。本书内容涉及有色金属冶金中的火法冶金、湿法冶金、电冶金这三种主要的冶金方法;阐述了有色金属冶金过程中的焙烧、烧结、挥发与蒸馏、还原熔炼、氧化吹炼、氧化精炼、电热冶金、真空蒸馏、造钽熔炼、金属热还原、熔析精炼、浸取、溶液净化、水解沉淀、置换沉淀、溶剂萃取、水溶液电解精炼、电解沉积、熔盐电解等基本冶金过程的原理及设备。

本书简明扼要,取材新颖,内容涉及广泛,注重理论联系实际,除可用作冶金工程专业和相关专业的教材和参考书外,也可供从事有色金属冶金工作的科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

有色冶金概论/华一新主编. —2版.—北京:冶金工业出版社,2007.8  
高等学校规划教材  
ISBN 978-7-5024-4293-4

I. 有… II. 华… III. 有色金属冶金—高等学校—教材 IV. TF8

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第106241号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 宋良 美术编辑 李心 版面设计 张青

责任校对 石静 李文彦 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4293-4

北京兴顺印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1986年4月第1版,2007年8月第2版,2007年8月第8次印刷

787mm×1092mm 1/16;15印张;395千字;224页;19401-24400册

30.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

## 第 1 版 前言

本书是根据冶金工业部 1982 年教材工作会议制定的教材计划编写的，为冶金部高等学校非有色冶金专业用书。其内容包括有代表性的八种有色金属，主要论述了它们冶金过程的原理和实践，此外书中还介绍了有色冶金中主要的综合回收工艺。

本书除用作非有色冶金专业教学用书外，亦可供从事有色冶金工作的科技人员参考。

本书由昆明工学院刘飞鹏（第一、四、五、七章）、罗庆文（第二、三、六章）、曾崇泗（第八、九、十章）编写，由罗庆文统一修改定稿。在编写过程中参考了各院校的有关教材，征求了有关教师的意见，特此表示感谢。

由于水平所限，书中一定存在不少缺点和错误，请读者批评指正。

编 者

1985 年 2 月

## 第 2 版 前 言

“有色冶金概论”一直是冶金工程专业和其他相关专业的重要专业基础课程之一，特别是把原来的“冶金物理化学”、“钢铁冶金”和“有色金属冶金”三个专业合并成“冶金工程”一个专业以后，一些高校把《有色冶金概论》(第 1 版)一书作为冶金工程专业学生学习有色金属冶金课程的教材和教学参考书，在培养专业知识面宽、综合素质好、具有创新能力的通用型人才方面，起到了积极的作用。本书第 1 版自 1986 年出版以来，深受读者欢迎，取得了较好的社会效益。但由于出版时间较早，书中的一些内容已经不能完全反映有色金属冶金工业的现状和发展趋势，因此，在征得原作者同意的基础上，我们对该书重新进行编写和修订，以便使其在冶金工程及相关专业的人才培养中发挥更好的作用。

本书由昆明理工大学华一新(第 1、2、8、9 章)、张旭(第 4、6、10 章)、朱云(第 7 章)、李坚(第 3 章)、陈为亮(第 5 章)编写和修订，由华一新统一修改定稿。

由于水平所限，书中可能存在不足，敬请读者批评指正。

编 者

2007 年 3 月

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 金属及其分类 .....	1
1.2 矿物、矿石和精矿 .....	2
1.3 冶金的概念及冶金方法分类 .....	3
1.3.1 火法冶金 .....	3
1.3.2 湿法冶金 .....	3
1.3.3 电冶金 .....	4
<b>2 铜冶金</b> .....	5
2.1 概述 .....	5
2.1.1 铜的性质和用途 .....	5
2.1.2 炼铜原料 .....	6
2.1.3 铜的生产方法 .....	6
2.2 造钼熔炼 .....	7
2.2.1 造钼熔炼的基本原理 .....	7
2.2.2 造钼熔炼的铜钼 .....	9
2.2.3 造钼熔炼的炉渣 .....	10
2.2.4 造钼熔炼的方法 .....	13
2.3 铜精矿的密闭鼓风炉熔炼 .....	13
2.3.1 密闭鼓风炉熔炼的原理 .....	13
2.3.2 密闭鼓风炉熔炼的实践 .....	14
2.4 铜精矿的反射炉熔炼 .....	15
2.4.1 反射炉熔炼的原理 .....	15
2.4.2 反射炉熔炼的实践 .....	18
2.5 铜精矿的电炉熔炼 .....	19
2.5.1 电炉熔炼的原理 .....	19
2.5.2 电炉熔炼的实践 .....	20
2.6 铜精矿的闪速炉熔炼 .....	22
2.6.1 闪速熔炼的原理 .....	22
2.6.2 奥托昆普闪速炉熔炼 .....	23
2.6.3 国际镍公司氧气闪速炉熔炼 .....	29
2.6.4 闪速熔炼的优缺点 .....	30

2.6.5	闪速熔炼的发展趋势 .....	31
2.7	铜精矿的艾萨/奥斯麦特熔炼 .....	31
2.7.1	艾萨/奥斯麦特熔炼炉的原理 .....	31
2.7.2	艾萨/奥斯麦特熔炼的实践 .....	32
2.8	铜铈的吹炼 .....	33
2.8.1	铜铈吹炼的原理 .....	34
2.8.2	铜铈吹炼的实践 .....	36
2.9	其他炼铜方法 .....	38
2.9.1	诺兰达炼铜法 .....	38
2.9.2	三菱法连续炼铜法 .....	39
2.9.3	白银炼铜法 .....	40
2.9.4	瓦纽科夫炼铜法 .....	41
2.9.5	基夫塞特熔炼法 .....	42
2.9.6	卡尔多转炉熔炼法 .....	43
2.9.7	特尼恩特熔炼法 .....	44
2.9.8	离析法炼铜 .....	46
2.10	粗铜的火法精炼 .....	46
2.10.1	粗铜火法精炼的原理 .....	46
2.10.2	火法精炼的实践 .....	47
2.11	铜的电解精炼 .....	48
2.11.1	电解精炼的电极反应 .....	48
2.11.2	铜电解精炼的条件控制 .....	49
2.11.3	铜电解精炼的设备和指标 .....	50
2.12	湿法炼铜 .....	50
2.12.1	湿法炼铜的浸出剂 .....	51
2.12.2	湿法炼铜的浸出方法 .....	52
2.12.3	湿法炼铜的实践 .....	53
3	镍冶金 .....	56
3.1	概述 .....	56
3.1.1	镍的性质和用途 .....	56
3.1.2	炼镍原料 .....	57
3.1.3	镍的生产方法 .....	57
3.2	硫化镍精矿的火法冶炼 .....	57
3.2.1	炉料的准备 .....	58
3.2.2	闪速炉熔炼 .....	59
3.2.3	镍铈的吹炼 .....	59
3.2.4	高镍铈的缓冷和磨浮分离 .....	60
3.3	氧化镍矿的火法冶炼 .....	60



3.3.1	炉料的准备 .....	60
3.3.2	电炉还原熔炼镍铁 .....	61
3.3.3	电炉还原硫化造钽熔炼 .....	62
3.3.4	镍钽的吹炼 .....	62
3.4	硫化镍的电解精炼 .....	63
3.4.1	电解精炼的电极过程 .....	64
3.4.2	阳极液的净化 .....	64
3.5	羰基法生产镍 .....	66
3.5.1	羰基法的基本原理 .....	66
3.5.2	原料制备 .....	67
3.5.3	高压合成羰基镍 .....	67
3.6	硫化镍精矿的湿法冶炼 .....	70
3.6.1	硫化镍精矿的加压氧氨浸 .....	70
3.6.2	硫化镍精矿的硫酸化焙烧—浸出法 .....	71
3.7	高镍钽的湿法冶炼 .....	71
3.7.1	硫酸选择浸出提取镍 .....	72
3.7.2	高镍钽的氯化浸出提取镍 .....	73
3.8	氧化镍矿的湿法冶炼 .....	75
3.8.1	红土矿的还原—氨浸 .....	75
3.8.2	红土矿的热压酸浸 .....	76
<b>4</b>	<b>铅冶金 .....</b>	<b>78</b>
4.1	概述 .....	78
4.1.1	铅的性质和用途 .....	78
4.1.2	炼铅原料 .....	79
4.1.3	铅的生产方法 .....	79
4.2	铅精矿的烧结焙烧 .....	80
4.2.1	烧结焙烧的目的和方法 .....	80
4.2.2	硫化铅精矿的焙烧过程和烧结过程 .....	81
4.2.3	烧结焙烧的实践 .....	83
4.3	铅烧结块的鼓风炉熔炼 .....	85
4.3.1	还原熔炼时烧结块各组分的行为 .....	85
4.3.2	铅鼓风炉熔炼的实践 .....	87
4.4	硫化铅精矿强化熔炼新技术简介 .....	90
4.5	粗铅的精炼 .....	91
4.5.1	粗铅的火法精炼 .....	91
4.5.2	铅的电解精炼 .....	94
<b>5</b>	<b>锌冶金 .....</b>	<b>98</b>
5.1	概述 .....	98

5.1.1	锌的性质和用途 .....	98
5.1.2	锌的资源 and 炼锌原料 .....	99
5.1.3	锌的生产方法 .....	99
5.1.4	锌的牌号和化学成分 .....	100
5.2	硫化锌精矿的焙烧 .....	100
5.2.1	焙烧的目的和要求 .....	100
5.2.2	焙烧时硫化锌精矿中各成分的行为 .....	101
5.2.3	硫化锌精矿的沸腾焙烧 .....	102
5.3	火法炼锌 .....	104
5.3.1	火法炼锌的基本理论 .....	104
5.3.2	密闭鼓风炉炼锌 .....	105
5.3.3	粗锌的精炼 .....	110
5.3.4	火法炼锌新技术 .....	111
5.4	湿法炼锌 .....	112
5.4.1	锌焙砂的浸出 .....	112
5.4.2	硫酸锌溶液的净化 .....	119
5.4.3	硫酸锌溶液的电解沉积 .....	120
5.4.4	湿法炼锌新技术 .....	125
6	锡冶金 .....	127
6.1	概述 .....	127
6.1.1	锡的性质和用途 .....	127
6.1.2	炼锡原料 .....	128
6.1.3	锡的生产方法 .....	128
6.2	锡精矿的炼前处理 .....	129
6.2.1	锡精矿的精选 .....	129
6.2.2	锡精矿的焙烧 .....	130
6.2.3	锡精矿的浸出 .....	131
6.3	锡精矿的还原熔炼 .....	131
6.3.1	还原熔炼的理论基础 .....	131
6.3.2	锡精矿的反射炉熔炼 .....	133
6.3.3	锡精矿的电炉熔炼 .....	135
6.3.4	锡精矿的强化冶炼技术发展 .....	136
6.4	锡炉渣的熔炼 .....	137
6.4.1	加石灰石的熔炼法 .....	137
6.4.2	加硅铁熔炼法 .....	138
6.4.3	烟化炉硫化挥发法 .....	138
6.5	粗锡的精炼 .....	139
6.5.1	粗锡的火法精炼 .....	139

6.5.2	粗锡的电解精炼	142
<b>7</b>	<b>铝冶金</b>	<b>144</b>
7.1	概述	144
7.1.1	铝的性质和用途	144
7.1.2	炼铝原料	145
7.1.3	铝的生产方法	145
7.2	铝土矿的选矿	145
7.2.1	国内外几种类型铝土矿的选矿研究及生产实践	146
7.2.2	强化铝土矿脱硫和除铁	147
7.2.3	高硅铝土矿选矿	148
7.2.4	尾矿综合利用	149
7.3	氧化铝生产	149
7.3.1	电解炼铝对氧化铝质量的要求	149
7.3.2	氧化铝生产的特点	150
7.3.3	拜耳法生产氧化铝	151
7.3.4	碱石灰烧结法生产氧化铝	157
7.3.5	拜耳—烧结联合法生产氧化铝	162
7.4	金属铝生产	164
7.4.1	概述	164
7.4.2	铝电解质的某些性质	164
7.4.3	电解槽的结构	166
7.4.4	铝电解槽中的电极过程	167
7.4.5	电解槽的操作	169
7.4.6	铝液净化	170
7.4.7	铝电解的主要技术经济指标	170
<b>8</b>	<b>钨冶金</b>	<b>173</b>
8.1	概述	173
8.1.1	钨的性质及用途	173
8.1.2	钨的原料	174
8.1.3	钨的生产方法	174
8.2	钨精矿的分解	175
8.2.1	苏打烧结分解	175
8.2.2	黑钨精矿的碱分解	177
8.2.3	白钨精矿的苏打水溶液分解	178
8.2.4	白钨精矿的盐酸分解法	179
8.2.5	非标准钨矿原料分解	179
8.3	钨酸钠溶液的净化和钨酸的生产	180

8.3.1	钨酸钠溶液的净化	180
8.3.2	从钨酸钠溶液中析出钨酸	181
8.3.3	钨酸的净化	182
8.4	三氧化钨的生产	183
8.5	致密钨的生产	184
8.5.1	用氢还原三氧化钨	184
8.5.2	致密钨的生产	187
<b>9</b>	<b>钛冶金</b>	<b>189</b>
9.1	概述	189
9.1.1	钛的性质和用途	189
9.1.2	钛的原料	190
9.1.3	钛精矿的处理流程	190
9.2	钛渣生产	191
9.2.1	钛渣生产的原理	191
9.2.2	钛渣生产的实践	192
9.3	人造金红石生产	193
9.3.1	选择氯化法	193
9.3.2	锈蚀法	194
9.3.3	硫酸浸出法	195
9.3.4	循环盐酸浸出法	195
9.4	四氯化钛生产	197
9.4.1	氯化过程的理论基础	197
9.4.2	金红石及高钛渣的氯化	198
9.4.3	四氯化钛的净化	201
9.5	海绵钛生产	202
9.5.1	镁热还原法生产海绵钛	202
9.5.2	钠热还原法生产海绵钛	205
9.6	致密钛生产	206
9.6.1	真空电弧熔炼法生产致密钛	207
9.6.2	粉末冶金法生产致密钛	208
9.7	钛白生产	209
9.7.1	硫酸法生产钛白	209
9.7.2	氯化法生产钛白	212
<b>10</b>	<b>有色冶金中的综合回收</b>	<b>213</b>
10.1	从铜、铅、镍电解阳极泥中回收贵金属	213
10.1.1	金、银的回收	213
10.1.2	铂、钯的回收	215

---

10.2	从铅锌生产中回收锗和铟	217
10.2.1	从铅锌氧化矿冶炼中回收锗	217
10.2.2	从硫化锌、硫化铅精矿冶炼中回收铟	219
10.3	从锡生产炉渣中回收钽、铌、钨	220
10.3.1	苏打焙烧和水浸	221
10.3.2	稀酸脱硅和脱锡	222
10.3.3	氢氟酸分解	222
10.3.4	钽、铌的萃取分离	222
10.3.5	还原和熔炼	222
10.3.6	钨、锡的回收	223
10.4	从氧化铝生产中回收镓	223
10.4.1	第一次深度碳分	223
10.4.2	石灰乳脱铝	224
10.4.3	第二次深度碳分	224
10.4.4	镓的制取	224

# 1 绪 论

## 1.1 金属及其分类

金属是可塑性、导电性及导热性良好，具有金属光泽的化学元素。在目前已发现的 109 种化学元素中，金属元素有 80 多种，非金属元素有 20 多种。金属的分类是按历史上形成的工业分类法分类的。这种分类法虽然没经严格的科学论证，但一直沿用到现在。

现代工业习惯上把金属分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属是指铁、铬、锰三种金属。黑色金属的单质为银白色，而不是黑色。之所以称它们为黑色金属，是由于这类金属及其合金表面常有灰黑色的氧化物。有色金属是指除黑色金属以外的所有金属，其中除少数有颜色外（铜为紫红色，金为黄色），大多数为银白色。有色金属有 60 多种，分为重金属、轻金属、贵金属、稀有金属和半金属五类。

(1) 重金属：一般指密度在  $5\text{t/m}^3$  以上的金属，包括铜、铅、锌、镍、钴、锡、锑、汞、镉、铋。它们的密度都很大，由  $7\sim 11\text{t/m}^3$ 。

(2) 轻金属：一般指密度在  $5\text{t/m}^3$  以下的金属，包括铝、镁、钠、钾、钙、锶、钡。这类金属的共同特点是密度小 ( $0.53\sim 4.5\text{t/m}^3$ )，化学性质活泼。

(3) 贵金属：这类金属包括金、银和铂族金属（铂、铱、钨、钌、铑、钯）。它们因在地壳中含量少、提取困难和价格较高而得名。贵金属的特点是密度大 ( $10.4\sim 22.4\text{t/m}^3$ )，熔点高 ( $1189\sim 3273\text{K}$ )，化学性质稳定。

(4) 稀有金属：通常指那些发现较晚，在工业上应用较迟，在自然界中地壳丰度小，天然资源少，赋存状态分散，难以被经济地提取或不易分离成单质的金属。在 80 多种有色金属元素中，大约有 50 种被认为是稀有金属。稀有金属这一名称的由来，并不是由于其在地壳中的含量稀少，而是历史上遗留下来的一种习惯性的概念。事实上，有些稀有金属在地壳中的含量比一般普通金属要多。例如，稀有金属钪在地壳中的含量占第九位，比铜、银、镍以及许多其他元素都多；稀有金属锆、铯、钒、铷在地壳中的含量，比普通金属铅、锡、汞多。还可以举出一些类似的例子。当然，有许多种稀有金属在地壳中的含量确实是很少的，但含量少并不是稀有金属的共同特征。

根据金属的密度、熔点、分布及其他物理化学特性，稀有金属在工业上又可分为：

1) 稀有轻金属：包括锂、铷、铯、铍。这类金属的特点是密度小（仅为  $0.53\sim 1.859\text{t/m}^3$ ），化学活性大，其氧化物和氯化物都很稳定，难以还原成金属，一般都用熔盐电解法或金属热还原法制取。

2) 难熔稀有金属：包括钛、锆、钨、钼、铌、钽、钨、钽、钨、铪。它们的共同特点是熔点高（例如钛的熔点为  $1933\text{K}$ ，钨为  $3683\text{K}$ ），抗腐蚀性好，具有多种原子价。在生产工艺上，一般都是先制取纯氧化物或卤化物，再用金属热还原法或熔盐电解法制取金属。

3) 稀散金属：包括镓、铟、铊、锗、硒、碲。这类金属的共同特点是极少独立成矿，在地壳中几乎是平均分布的，一般都是以微量杂质形态存在于其他矿物中。如镓存在于铝土矿中，铟存在于有色重金属硫化矿中。因此，它们多富集在有色金属生产的副产品、烟尘和尾渣

中，品位一般在 0.1% 以下，需要采用复杂的工艺进一步富集后才能冶炼成金属。

4) 稀土金属：包括钪、钇及镧系元素（从原子序数为 57 的钪到原子序数为 71 的镧，共 15 个元素）。其共同特点是物理化学性质非常相似，在矿物中多共生，分离困难。冶金上一般先制取混合稀土氧化物或其他化合物，再用溶剂萃取、离子交换等方法分离成单一化合物，最后还原成金属。

5) 放射性稀有金属：包括天然存在的钍、镭、钋和锕系元素中的锕、钍、镤、铀以及人工制造的镅、锔、锎系其他元素和周期表中 104~109 号元素。这类金属的共同特点是具有放射性，它们多共生或伴生在稀土矿物中。

(5) 半金属：又称似金属或类金属，包括硼、硅、砷、碲。其特点是它们的电导率介于金属和非金属之间，并且都具有一种或几种同质异构体，其中一种具有金属性质。

## 1.2 矿物、矿石和精矿

矿物是地壳中具有固定化学组成和物理性质的天然化合物或自然元素。

能够为人类利用的矿物，叫做有用矿物。含有有用矿物的矿物集合体，如其中金属的含量在现代技术经济条件下能够回收加以利用时，这个矿物集合体叫做矿石。有用矿物在地壳中的分布是不均匀的，由于地质成矿作用，它们可富集在一起，形成巨大的矿石堆积。在地壳内或地表上矿石大量积聚具有开采价值的区域叫做矿床。

在矿石中，除了有用矿物之外，几乎总是含有一些废石矿物。这些废石矿物称为脉石。所以，矿石由两部分构成，即有用矿物和脉石。

矿石有金属矿石和非金属矿石之分。金属矿石指在现代技术经济条件下可从其中获得金属的矿石。在金属矿石中，按金属存在的化学状态又分成自然矿石、硫化矿石、氧化矿石和混合矿石。有用矿物是自然元素的叫做自然矿石，例如，自然金、银、铂、元素硫等；硫化矿石的特点是其中有用矿物为硫化物，例如，黄铜矿 ( $\text{CuFeS}_2$ )、方铅矿 ( $\text{PbS}$ )、闪锌矿 ( $\text{ZnS}$ ) 等；氧化矿石中有用矿物是氧化物，例如，赤铁矿 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、赤铜矿 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )、锡石 ( $\text{SnO}_2$ )，一般含氧的矿物，如硅酸盐、碳酸盐、硫酸盐等也包括在氧化矿内；混合矿石内则既有硫化矿物，又有氧化矿物。

矿石的名称是根据从其中得出的金属而确定的，例如，铜矿石、铁矿石、锡矿石等。只产出一一种金属的叫单金属矿石；从其中可提取两种以上金属的矿石，称为多金属矿石，如我国攀枝花的钒钛磁铁矿就是有名的多金属矿石。

矿石中有用成分的含量叫做矿石品位，常用百分数表示，例如，品位 1% 的铜矿石，就是矿石中金属铜的含量为百分之一。对于贵金属，由于它们的含量一般都很低，所以其矿石品位常以每吨中含有的克数来表示。

矿石品位没有上限，越富越好，而其下限则由技术和经济因素确定。技术和经济条件的变化，使矿石的下限品位不断改变。过去抛弃的尾矿堆，由于技术进步和国民经济日益增长的需要，今天又被重新利用，这样的事实并不少见。

矿石的品位越低，则获得每吨金属的冶炼费用就越高。所以，为了降低冶炼费用，总是希望矿石品位越高越好。各种选矿方法是提高矿石品位的手段，同时，选矿方法还可用来分开两种以上的有用矿物，以便在冶金过程中对这些矿物分别处理，这对于简化冶金工艺流程和降低冶炼费用都是很有利的。

选矿是用物理或化学方法将矿物原料中的有用矿物和脉石或有害矿物分开，或将多种有用矿物分离开的工艺过程。选矿又称矿物加工。选矿产品中，有用成分富集的部分称为精矿，如

铜精矿、锡精矿等；无用成分富集或有用成分含量最低的部分称为尾矿；有用成分的含量介于精矿和尾矿之间，需要进一步处理的部分称为中矿。

### 1.3 冶金的概念及冶金方法分类

冶金学是研究从矿石或二次金属资源中提取金属或金属化合物，用各种加工方法制成具有一定性能的金属材料的学科。冶金学不断地吸收自然科学，特别是物理学、化学、力学等方面的新成就，指导着冶金生产技术向广度和深度发展。另一方面，冶金生产又以丰富的实践经验，充实着冶金学的内容，发展成为两大领域：物理冶金学和提取冶金学。

研究通过成形加工，制备有一定性能的金属或合金材料的学科，称之为物理冶金学，或称金属学。金属（包括合金）的性能（物理性能及力学性能）不仅与其化学成分有关，而且被成形加工或金属热处理过程产生的组织结构所决定。成形加工包括金属铸造、粉末冶金（制粉、压制成形及烧结）及金属塑性加工（压、拔、轧、锻）。研究金属的塑性变形理论、塑性加工对金属力学性能的影响以及金属在使用过程中的力学行为的科学，则称之为力学冶金学。显然，力学冶金是物理冶金学的一个组成部分。

研究从矿石提取金属（包括金属化合物）的生产过程的科学称为提取冶金学。由于这些生产过程伴有化学反应，又称为化学冶金学。它研究分析火法冶炼、湿法提取或电化学沉积等各种过程及方法的原理、流程、工艺及设备，故又称为过程冶金学。后一名词根据国内冶金工作者的习惯简称为冶金学。也就是说，狭义的冶金学指的是提取冶金学，而广义的冶金学则包括提取冶金学及物理冶金学。提取冶金学的任务是，研究各种冶炼及提取方法，提高生产效率，节约能源，改进产品质量，降低成本，扩大品种并增加产量。

作为冶金原料的矿石或精矿，其中除含有所要提取的金属矿物外，还含有伴生金属矿物以及大量无用的脉石矿物。冶金的目的是把所要提取的金属从成分复杂的矿物集合体中分离出来并加以提纯。冶金分离和提纯过程常常不能一次完成，需要进行多次，通常包括预备处理、熔炼和精炼三个循序渐进的作业过程。

在现代冶金中，由于矿石（或精矿）性质和成分、能源、环境保护以及技术条件等情况的不同，实现上述冶金作业的工艺流程和方法也是多种多样的。根据冶炼金属的不同，冶金工业通常分为黑色冶金工业（或钢铁冶金工业）和有色冶金工业。前者包括生铁、钢和铁合金（如铬铁、锰铁等）的生产；后者包括其余所有各种金属的生产。根据各种方法的特点，大体上可将其归纳为三类：火法冶金、湿法冶金和电冶金。

#### 1.3.1 火法冶金

火法冶金是在高温条件下进行的冶金过程。矿石或精矿中的部分或全部矿物在高温下经过一系列物理化学变化，生成另一种形态的化合物或单质，分别富集在气体、液体或固体产物中，达到所要提取的金属与脉石及其他杂质分离的目的。实现火法冶金过程所需热能，通常是依靠燃料燃烧来供给，也有依靠过程中的化学反应来供给的，比如，硫化矿的氧化焙烧和熔炼就无需由燃料供热；金属热还原过程也是自热进行的。火法冶金过程没有水溶液参加，所以又称为干法冶金。火法冶金是提取金属的主要方法之一，其生产成本一般低于湿法冶金。

火法冶金包括：干燥、焙解、焙烧、熔炼、精炼、蒸馏等过程。

#### 1.3.2 湿法冶金

湿法冶金是在溶液中进行的冶金过程。湿法冶金温度不高，一般低于100℃。现代湿法冶



金中的高温高压过程，温度也不过 473K 左右，极个别情况温度可达 573K。

湿法冶金包括：浸出、净化、制备金属等过程。

(1) 浸出：用适当的溶剂处理矿石或精矿，使要提取的金属呈某种离子（阳离子或络阴离子）形态进入溶液，而脉石及其他杂质则不溶解。这样的过程叫浸出。浸出后经澄清和过滤，得到含金属（离子）的浸出液和由脉石矿物组成的不溶残渣（浸出渣）。对某些难浸出的矿石或精矿，在浸出前常常需要进行预备处理，使被提取的金属转变为易于浸出的某种化合物或盐类。例如，转变为可溶性的硫酸盐而进行的硫酸化焙烧等，都是常用的预备处理方法。

(2) 净化：在浸出过程中，常常有部分金属或非金属杂质与被提取金属一道进入溶液，从溶液中除去这些杂质的过程叫做净化。

(3) 制备金属：用置换、还原、电积等方法从净化液中将金属提取出来的过程。

### 1.3.3 电冶金

电冶金是利用电能提取金属的方法。根据利用电能效应的不同，电冶金又分为电热冶金和电化冶金。

(1) 电热冶金：是利用电能转变为热能进行冶炼的方法。在电热冶金的过程中，按其物理化学变化的实质来说，与火法冶金过程差别不大，两者的主要区别只是冶炼时热能来源不同。

(2) 电化冶金（电解和电积）：是利用电化学反应，使金属从含金属盐类的溶液或熔体中析出。前者称为溶液电解，如铜的电解精炼和锌的电积，可列入湿法冶金一类；后者称为熔盐电解，不仅利用电能的化学效应，而且也利用电能转变为热能，借以加热金属盐类使之成为熔体，故也可列入火法冶金一类。

从矿石或精矿中提取金属的生产工艺流程，常常是既有火法过程，又有湿法过程，即使是以火法为主的工艺流程，比如，硫化铜精矿的火法冶炼，最后尚需经过湿法的电解精炼过程；而在湿法炼锌中，还需要用高温氧化焙烧对硫化锌精矿原料进行炼前处理。