

高 职 高 专 规 划 教 材

YEJIN YUANLI

冶金原理

卢宇飞 主编



冶金工业出版社

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

高职高专规划教材

冶金原理

主 编 卢宇飞
副主编 陈利生 刘自力 何艳明

北 京
冶金工业出版社
2009

内 容 提 要

本书由冶金基础知识、冶金熔体、火法冶金和湿法冶金四部分内容组成,以冶金生产主要过程为主线,循序渐进、深入浅出地阐述了分解离解、焙烧、炼铁、炼钢、造钕、熔钕吹炼、氯化冶金、火法精炼、熔盐电解、浸出、净化、水溶液电解提取金属等冶金过程的基本原理,内容全面,不仅涵盖了火法冶金和湿法冶金,而且涵盖了黑色金属冶金和有色金属冶金。各章都附有习题与思考题。

本书既可作为高职高专院校冶金技术专业教学用书,也可供其他院校有关专业师生和冶金企业技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

冶金原理/卢宇飞主编. —北京:冶金工业出版社, 2009. 2

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5024-4505-8

I. 冶… II. 卢… III. 冶金—高等学校: 高等学校—教材 IV. TF01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 212799 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 宋良王优 美术编辑 李心 版式设计 张青

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4505-8

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 2 月第 1 版, 2009 年 2 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 17.75 印张; 473 千字; 269 页; 1-3000 册

36.00 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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
物理化学(第3版)(国规教材)	王淑兰 主编	35.00
相图分析及应用(本科教材)	陈树江 等编	20.00
冶金原理(本科教材)	韩明荣 主编	35.00
冶金过程动力学导论	华一新 编著	45.00
冶金物理化学(本科教材)	张家芸 主编	39.00
冶金工程实验技术(本科教材)	陈伟庆 主编	39.00
钢铁冶金原理习题解答(本科教材)	黄希祐 编	30.00
钢铁冶金学教程(本科教材)	包燕平等编	49.00
有色冶金化工过程原理及设备(第2版)(国规教材)	郭年祥 主编	49.00
有色金属真空冶金(第2版)(国规教材)	戴永年 主编	36.00
有色冶金炉(国规教材)	周子民 主编	35.00
有色冶金概论(本科教材)	华一新 主编	30.00
冶金热工基础(本科教材)	朱光俊 主编	36.00
热工测量仪表(国规教材)	张 华 等编	38.00
热工实验原理和技术(本科教材)	邢桂菊 等编	25.00
炼铁设备及车间设计(第2版)(国规教材)	万 新 主编	29.00
炼钢设备及车间设计(第2版)(国规教材)	王令福 主编	25.00
物理化学(高职高专规划教材)	邓基芹 主编	28.00
烧结矿与球团矿生产(高职高专规划教材)	王悦祥 主编	29.00
冶金生产概论(高职高专规划教材)	王庆义 主编	28.00
炉外精炼(高职高专规划教材)	高泽平等编	30.00
冶炼基础知识(职业技术学院教材)	马 青 主编	36.00
铁合金生产工艺与设备(高职高专规划教材)	刘 卫 等编	估 30.00
炼铁原理与工艺(职业技术学院教材)	王明海 主编	38.00
炼钢原理与工艺(职业技术学院教材)	刘根来 主编	40.00
冶金过程检测与控制(职业技术学院教材)	郭爱民 主编	20.00
炼焦化学产品回收技术(职业技能培训教材)	何建平 等编	59.00
铁矿粉烧结生产(职业技能培训教材)	贾 艳 主编	23.00
高炉喷煤技术(职业技能培训教材)	金艳娟 主编	19.00
高炉炉前操作技术(职业技能培训教材)	胡 先 主编	25.00
高炉热风炉操作技术(职业技能培训教材)	胡 先 主编	25.00
炼钢基础知识(职业技能培训教材)	冯 捷 主编	39.00
转炉炼钢生产(职业技能培训教材)	冯 捷 主编	58.00
连续铸钢生产(职业技能培训教材)	冯 捷 主编	45.00
氧化铝生产工艺(职业技能培训教材)	王 捷 编	26.00
氧化铝生产设备(职业技能培训教材)	陈 聪 主编	42.00
电解铝生产工艺与设备(职业技能培训教材)	王 捷 编	29.00

前 言

“冶金原理”是冶金技术专业学生重要的专业基础课程之一，它是学习专业课前的必修课。本书根据高职高专冶金技术专业学生“冶金原理”课程教学大纲编写，内容由冶金基础知识、冶金熔体、火法冶金、湿法冶金等四部分组成。全书以冶金生产主要过程为主线，循序渐进，深入浅出地阐述了分解离解、焙烧、还原熔炼、氧化熔炼、造钎、熔钎吹炼、氯化冶金、火法精炼、熔盐电解、浸出、净化、水溶液电解提取金属等冶金过程的基本原理。本教材内容全面，不仅涵盖火法和湿法冶金，而且涵盖黑色和有色冶金，既适合作为高职高专冶金技术专业的教学用书，也可供高等院校有关专业教师、学生、冶金企业技术人员参考。在使用中，各学校可以结合学生就业方向 and 知识基础情况等实际，酌情确定教学内容和重点。

本教材的特点和追求是：①内容全面系统，涵盖火法和湿法冶金；②循序渐进，深入浅出，力求通俗易懂，例如，书中“吉布斯自由能温度图中专用标尺及其应用”部分就比较通俗易懂；③简明扼要，例如，书中的“还原熔炼”、“氧化熔炼”部分就比较简明扼要；④全书以冶金生产过程为主线展开论述，力求理论联系实际；⑤考虑到对学生物理化学等知识的复习、巩固、归纳、总结、融会贯通及综合应用，教材中增加了冶金基础知识；⑥全书物理量及其单位符号等执行国家相关标准。

本教材由昆明冶金高等专科学校卢宇飞、陈利生、刘自力、黄卉、张文莉、杨贵生和昆明冶金研究院何艳明、云南铝业股份公司杨峰编写。主编卢宇飞，副主编陈利生、刘自力、何艳明。第1章由卢宇飞、何艳明编写，第2章由卢宇飞、张文莉编写，第3章由卢宇飞、何艳明编写，第4章由陈利生、何艳明编写，第5章由陈利生编写，第6章、第7章由卢宇飞、杨贵生编写，第

8章由陈利生编写,第9章由张文莉编写,第10章由陈利生编写,第11章由卢宇飞、杨峰编写;第12章、第13章由黄卉编写,第14章由刘自力编写,第15章由卢宇飞、刘自力编写。

在编写过程中,重庆大学黄希祜、昆明理工大学华一新和陶东平等老师提出了很多宝贵的意见,在此一并表示衷心的感谢!由于编者水平所限,书中不足之处诚请读者批评指正,以利今后修订完善。

编 者

2008年9月

目 录

1 绪论	1
1.1 冶金的概况和原料、产品	1
1.1.1 冶金的发展简史	1
1.1.2 金属的分类	1
1.1.3 矿物、矿石、脉石和精矿	2
1.2 冶金方法及生产工艺流程	2
1.2.1 冶金方法	2
1.2.2 现代冶金生产工艺流程	3
1.3 学习冶金原理课程的意义	4
1.3.1 冶金原理研究的对象、范围	4
1.3.2 冶金原理研究的方法	4
1.3.3 冶金原理课程的作用和地位	5
1.3.4 冶金原理课程的教学任务和目的	5
1.3.5 冶金原理课程的内容和重点	5
2 冶金基础知识	6
2.1 热力学的基本概念	6
2.1.1 系统与环境	6
2.1.2 体系的性质、状态和状态函数	6
2.1.3 过程与途径	8
2.1.4 内能	8
2.1.5 热和功	9
2.2 冶金过程的热效应	10
2.2.1 各种热效应	10
2.2.2 盖斯定律(热效应间的关系)	12
2.3 溶液	12
2.3.1 溶液的概念	12
2.3.2 溶液浓度和含量的表示法	13
2.3.3 活度的概念	13
2.4 化学反应的方向与限度	14
2.4.1 自发过程的方向与限度	14
2.4.2 吉布斯自由能及其应用	15
2.5 化合物标准摩尔生成吉布斯自由能变化的两种表示方式	16
2.5.1 以生成 1mol 化合物为标准表示的 $\Delta_f G_m^\ominus$	16

2.5.2 以 1mol 单质反应为标准表示的 $\Delta_f G_m^\ominus$	16
2.6 化学平衡	16
2.6.1 化学平衡的概念	16
2.6.2 化学反应的等温方程式和标准平衡常数	17
2.6.3 化学平衡的移动	19
2.7 冶金相图基础知识	21
2.7.1 相律	22
2.7.2 二元相图	24
2.7.3 三元系相图	29
习题与思考题	34
3 冶金熔体和熔渣	35
3.1 冶金熔体简介	35
3.1.1 金属熔体	35
3.1.2 冶金熔盐	35
3.1.3 冶金熔盐	36
3.2 冶金熔渣	36
3.2.1 冶金熔渣的概念和组成	36
3.2.2 熔渣在冶金中的作用	38
3.2.3 冶金熔渣的酸碱性	39
3.2.4 熔渣的结构	41
3.2.5 熔渣的物理化学性质	45
习题与思考题	48
4 化合物的分解-生成反应	50
4.1 概述	50
4.1.1 化合物分解-生成反应的基本概念	50
4.1.2 化合物分解-生成反应及其吉布斯自由能变化	50
4.1.3 化合物分解-生成反应进行方向的判断	50
4.2 氧化物分解-生成反应	53
4.2.1 几个常用名词的基本概念	53
4.2.2 氧化物吉布斯自由能图	54
4.3 碳酸盐的分解-生成反应	61
4.3.1 碳酸盐分解-生成反应的热力学规律	61
4.3.2 碳酸钙分解-生成反应的热力学规律	62
4.4 硫化物的分解-生成反应	62
4.4.1 气态硫的结构	62
4.4.2 硫化物的分解-生成反应热力学	63
4.4.3 硫化物吉布斯自由能图的应用	64

4.5 氯化物的分解-生成反应	65
习题与思考题	66
5 硫化物焙烧	67
5.1 概述	67
5.1.1 焙烧的概念和目的	67
5.1.2 硫化物焙烧的反应类型	67
5.1.3 各种硫化物焙烧在冶金中的用途和共同特点	67
5.1.4 金属硫化物焙烧最终产物的分析判断方法	67
5.2 Me-S-O 系平衡图在硫化物焙烧过程中的应用	68
5.2.1 等温下 Me-S-O 系平衡图的绘制原理和在硫化物焙烧中的应用	68
5.2.2 Me-S-O 系迭印平衡图在焙烧过程中的应用	71
5.2.3 温度对焙烧产物影响的图解分析	71
5.3 硫化物氧化焙烧	73
5.4 硫化物硫酸化焙烧	74
5.5 硫化物氧化还原焙烧	77
习题与思考题	78
6 还原熔炼	80
6.1 概述	80
6.1.1 钢铁生产方法简介	80
6.1.2 金属氧化物还原的热力学原理	81
6.1.3 燃料的燃烧与还原能力	82
6.2 氧化物的间接还原	83
6.2.1 CO、H ₂ 还原金属氧化物的热力学原理	83
6.2.2 CO 还原铁氧化物的平衡图	85
6.2.3 H ₂ 还原铁氧化物的平衡图	86
6.2.4 浮氏体的还原	86
6.3 氧化物的直接还原	87
6.3.1 氧化物直接还原的热力学原理	87
6.3.2 铁氧化物的直接还原	90
6.4 碳的气化反应及其对铁氧化物还原的影响	92
6.4.1 碳的气化反应	92
6.4.2 碳的气化反应对还原反应的影响	93
6.5 复杂氧化物的还原	94
习题与思考题	95
7 氧化熔炼	96
7.1 概述	96
7.1.1 钢和铁的主要区别	96

7.1.2 炼钢的基本任务	96
7.1.3 现代炼钢方法及其发展趋势	97
7.2 炼钢熔渣	97
7.2.1 熔渣的来源、组成和作用	97
7.2.2 熔渣的性质	97
7.2.3 熔渣的传氧作用	99
7.3 杂质的氧化方式——直接氧化和间接氧化	99
7.4 氧化物的 $\Delta_r G_m^\ominus - T$ 关系图	100
7.5 元素氧化的分配系数	101
7.6 炼钢过程的基本反应	102
7.6.1 钢液中铁的氧化	102
7.6.2 脱碳	103
7.6.3 锰的氧化	105
7.6.4 硅的氧化	106
7.6.5 脱磷	107
7.6.6 脱硫	108
7.6.7 脱氧	111
7.6.8 脱气	115
7.6.9 选择性氧化——不锈钢去碳保铬	117
习题与思考题	119
8 造钎熔炼和熔钎吹炼	120
8.1 造钎熔炼	120
8.1.1 造钎熔炼的概念和目的	120
8.1.2 造钎熔炼基本原理	120
8.1.3 熔钎及其组成	120
8.1.4 造钎熔炼过程主要反应	121
8.1.5 造钎熔炼热力学分析	121
8.1.6 熔钎的形成	122
8.1.7 Cu-Fe-S 三元系状态图及其应用	122
8.1.8 冰铜的主要性质	125
8.2 熔钎吹炼	126
8.2.1 熔钎吹炼的目的	126
8.2.2 熔钎吹炼的基本原理	127
习题与思考题	129
9 氯化冶金	131
9.1 概述	131
9.2 金属与氯的反应	131

9.3	金属氧化物的氯化反应	132
9.4	金属氧化物的加碳氯化反应	134
9.5	金属硫化物与氯的反应	135
9.6	金属氧化物与氯化氢的反应	136
9.7	金属氧化物与固体氯化剂的反应	137
9.7.1	CaCl ₂ 作氯化剂	137
9.7.2	NaCl 作氯化剂	139
9.8	氯化反应的动力学简介	140
	习题与思考题	141
10	粗金属的火法精炼	142
10.1	概述	142
10.1.1	粗金属的概念	142
10.1.2	粗金属火法精炼的目的	142
10.1.3	粗金属火法精炼方法	142
10.2	化学精炼	143
10.2.1	氧化精炼	143
10.2.2	硫化精炼	148
10.3	物理精炼	150
10.3.1	熔析精炼	150
10.3.2	萃取精炼	151
10.3.3	区域精炼	153
10.3.4	蒸馏精炼	156
	习题与思考题	159
11	熔盐电解	160
11.1	熔盐电解在冶金中的应用	160
11.2	熔盐电解炼铝主要过程和原理	160
11.2.1	熔盐电解炼铝基本过程	160
11.2.2	电解质的组成及其性质	162
11.2.3	冰晶石-氧化铝熔体的结构	162
11.2.4	两极主反应	164
11.2.5	两极副反应	164
11.3	阳极效应	166
11.3.1	阳极效应现象和特征	166
11.3.2	临界电流密度	166
11.3.3	阳极效应发生机理	166
11.3.4	阳极效应的利弊与管理	168
11.4	电流效率	168

11.4.1	电流效率的概念	168
11.4.2	电解槽理论产铝量	169
11.4.3	电解槽实际产铝量	169
11.4.4	电解槽平均电流效率	169
11.4.5	电解效率低的原因	170
11.4.6	提高电流效率的途径	172
11.5	电能消耗和电能效率	175
11.5.1	电能消耗	175
11.5.2	电能效率(电能利用率)	176
11.5.3	槽电压和槽平均电压	176
11.5.4	降低电能消耗的途径	178
11.6	熔盐电解质的物理化学性质	179
11.6.1	熔盐的初晶温度	179
11.6.2	熔盐的密度	181
11.6.3	熔盐的黏度	181
11.6.4	熔盐的蒸气压	182
11.6.5	熔盐的电导和电导率	182
11.6.6	熔盐的离子迁移数	183
11.6.7	熔盐的界面性质	184
11.6.8	添加剂对熔盐电解质物理化学性质的影响	186
	习题与思考题	187
12	水溶液的稳定性与电位-pH图	189
12.1	概述	189
12.1.1	湿法冶金及其主要过程	189
12.1.2	水溶液中物质稳定性的影响因素	189
12.2	水的稳定性	193
12.2.1	水的不稳定性及其主要反应	193
12.2.2	水的电位-pH图	193
12.3	电位-pH图	195
12.3.1	电位-pH值图的绘制	195
12.3.2	电位-pH值图中的点、线和区域意义	197
12.3.3	多金属的电位-pH值图	198
	习题与思考题	198
13	浸出	199
13.1	概述	199
13.1.1	矿物浸出	199
13.1.2	浸出原料	199

13.1.3	浸出溶剂	199
13.1.4	浸出方法的分类	199
13.1.5	浸出过程的主要反应类型	199
13.2	锌焙砂酸浸出	201
13.2.1	锌焙砂酸浸的目的和任务	201
13.2.2	锌焙砂酸浸溶液和 $\text{Me-H}_2\text{O}$ 系的电位-pH 值图	201
13.2.3	$\text{Me-H}_2\text{O}$ 系的电位-pH 值图在锌焙砂酸浸中的应用	202
13.3	硫化矿酸浸出	203
13.3.1	硫化矿酸浸反应类型	203
13.3.2	硫化矿酸浸溶液 $\text{ZnS-H}_2\text{O}$ 系电位-pH 值图	203
13.3.3	$\text{ZnS-H}_2\text{O}$ 系电位-pH 值图在硫化锌矿酸浸中的应用	204
13.3.4	多金属 $\text{MeS-H}_2\text{O}$ 系电位-pH 值图绘制及其在硫化矿酸浸中的应用	205
13.4	金银配合浸出	207
13.4.1	金银配合浸出溶液 $\text{Ag-CN}^- \text{-H}_2\text{O}$ 系电位-pH 值图	207
13.4.2	电位-pH 值图在配合浸出中的应用	209
	习题与思考题	210
14	浸出液的净化	211
14.1	离子沉淀法	211
14.1.1	氢氧化物沉淀法	211
14.1.2	硫化物沉淀法	214
14.2	置换沉淀法	216
14.2.1	置换过程的热力学基础	216
14.2.2	置换沉淀的应用	219
14.3	共沉淀法	220
14.3.1	共沉淀现象	220
14.3.2	共沉淀产生的原因	220
14.3.3	影响共沉淀的因素	221
14.3.4	共沉淀法的应用	221
14.4	溶剂萃取	222
14.4.1	萃取体系	222
14.4.2	萃取的工艺流程	224
14.4.3	萃取过程的基本参数	224
14.4.4	萃取法的应用	225
14.5	离子交换法	227
14.5.1	离子交换过程及用途	227
14.5.2	离子交换树脂	227
14.5.3	离子交换的基本原理	228
14.5.4	离子交换技术分类及应用	228

习题与思考题	229
15 水溶液电解提取金属	230
15.1 概述	230
15.1.1 电解过程	230
15.1.2 电解沉积和电解精炼	230
15.2 电化学基础知识	231
15.2.1 分解电压	231
15.2.2 极化与超电压	233
15.2.3 析出电位及其应用	235
15.3 阴极过程	236
15.3.1 阴极可能发生的反应	236
15.3.2 氢在阴极上的析出	236
15.3.3 金属离子在阴极上的还原	239
15.3.4 阳离子在阴极上的共同析出	240
15.3.5 阴极产物的电结晶过程	241
15.4 阳极过程	243
15.4.1 研究阳极过程的意义	243
15.4.2 阳极反应的基本类型	243
15.4.3 不溶阳极材料及其反应	243
15.4.4 可溶金属的阳极溶解	245
15.4.5 硫化物的阳极溶解	247
15.4.6 阳极钝化	248
15.5 槽电压、电流效率和电能效率	249
15.5.1 槽电压	249
15.5.2 电解产量和电流效率	249
15.5.3 电能效率	251
习题与思考题	252
附录 冶金物理化学数据	253
附表1 各种能量单位之间的关系	253
附表2 一些物质的熔点、熔化热、沸点、蒸发热、转变点、转变热	253
附表3 某些物质的基本热力学数据	254
附表4 某些反应的标准吉布斯自由能变化 $\Delta_r G_m^\ominus = A + BT$	260
附表5 某些物质的标准生成吉布斯自由能变化 (298K)	264
符号说明	266
参考文献	269

1 绪 论

1.1 冶金的概况和原料、产品

1.1.1 冶金的发展简史

冶金的主要原料是精矿或矿石，主要产品是金属。人类自进入青铜器时代和铁器时代以来，与冶金的关系日益密切。人类衣食住行、从事生产或其他活动使用的工具和设施，都离不开金属材料，而金属材料靠冶金制造。可以说，没有冶金的发展，就没有人类的物质文明。人类早在远古时代，就开始利用金属，不过那时是利用自然状态存在的少数几种金属，如金、银、铜及陨石铁，后来才逐步发现了从矿石中提取金属的方法。首先得到的是铜及其合金——青铜，后来又炼出了铁。从现有考古资料看，伊朗是世界上最早用金属并掌握金属冶炼技术的地区，发现的小铜针、铜锥等距今已有 9000 年以上历史；我国甘肃马家窑文化遗址发现的青铜刀距今已有 5000 年历史；人类最早炼铁是在黑海南岸山区，距今已有 3000 多年的历史；我国使用铁器的历史也有 2500 多年。从使用石器、陶器进入使用金属，是人类文明的重大飞跃。在新石器时期，人类开始使用金属，此时的制陶技术（用高温还原气氛烧制黑陶）促进了冶金的发展，为人类提供了青铜、铁等金属及各种合金材料，人们用这些材料制造生活用具、生产工具和武器等，大大提高了社会生产力，极大地推动了社会的文明进步。

1.1.2 金属的分类

金属通常都具有高强度和优良的导电性、导热性、延展性。除汞以外，金属在常温下都是以固体状态存在。现在已知的化学元素有 116 种，其中金属元素有 94 种。在金属元素中，存在于自然界中的金属有 72 种，人造金属元素有 22 种。现代工业上习惯把金属分为黑色金属和有色金属两大类，铁、铬、锰三种金属属于黑色金属，其余的金属都属于有色金属。有色金属又分为重金属、轻金属、贵金属和稀有金属四类。

重金属——包括铜、铅、锌、锡、镍、钴等，它们的密度都很大，在 $7 \sim 11\text{g/cm}^3$ 之间；

轻金属——包括铝、镁、钙、钾、钠和钡等，它们的密度都小于 5g/cm^3 ；

贵金属——金、银、铂以及铂族元素，这些金属在空中不能氧化，因它们的价值比一般金属贵而得名；

稀有金属——指那些发现较晚、在工业上应用较迟、在自然界中分布比较分散以及在提炼方法上比较复杂的金属，大约有 50 种。稀有金属这一名称的由来，并不是这些金属元素在地壳中的含量稀少，而是历史上沿袭下来的一种习惯性的概念。事实上一些稀有金属在地壳中的含量比一般普通金属多得多。例如，稀有金属钪在地壳中的含量占第九位，比铜、银、镍元素多。稀有金属锆、锂、钒、铈在地壳中的含量比铅、锡、汞多。当然，有许多种稀有金属在地壳中的含量确实是很少，但含量少并不是稀有金属的共同特征。

1.1.3 矿物、矿石、脉石和精矿

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,它们可以富聚在一起,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。金属矿石是指在现代技术经济条件下可从其中获得金属的矿石。而在金属矿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;硫化矿的特点是其中有用矿物为硫化物,如黄铜矿(CuFeS_2)、方铅矿(PbS)等;氧化矿石中有用矿物是氧化物,如赤铁矿(Fe_2O_3)、赤铜矿(Cu_2O);混合矿石内则既有硫化矿物,又有氧化矿物。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,从前抛弃的尾矿堆,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。经过选矿处理而获得的高品位矿石叫做精矿。

1.2 冶金方法及生产工艺流程

1.2.1 冶金方法

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,冶金方法是多种多样的。根据各种冶金方法的特点,进行细致的划分,冶金方法可分为三大类:火法冶金、湿法冶金、电冶金。通常,人们习惯将冶金方法进行粗略划分,划分为两大类:火法冶金、湿法冶金。

1.2.1.1 火法冶金

火法冶金是指矿石(或精矿)经预处理、熔炼和精炼等,在高温下发生一系列物理化学变化,使其中的金属和杂质分开,获得较纯金属的过程。过程所需能源,主要靠燃料燃烧,个别的靠自身的反应生成热。例如,硫化矿氧化焙烧和熔炼、金属热还原等是靠自热进行的。

1.2.1.2 湿法冶金

在低温下(一般低于 100°C ,现代湿法冶金研发的高温高压过程,其温度可达 $200\sim 300^\circ\text{C}$)用熔剂处理矿石或精矿,使所要提取的金属溶解于溶液中,而其他杂质不溶解,通过液固分离等制得含金属的净化液,然后再从净化液中将金属提取和分离出来。主要过程有:浸出、净化、金属制取(用电解、电积、置换等方法制取金属),这些过程均在低温溶液中进行。

1.2.1.3 电冶金

电冶金是利用电能来提取、精炼金属的方法。按电能转换形式不同可分为两类:电热冶金和电化冶金:

(1) 电热冶金:是利用电能转变为热能,在高温下提炼金属。电热冶金与火法冶金类似,

其不同的地方是电热冶金的热能由电能转换而来，火法冶金则以燃料燃烧产生高温热源。但两者的物理化学反应过程是差不多的。所以，电热冶金可列入火法冶金一类中。

(2) 电化冶金：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。电化冶金又分为水溶液电化冶金和熔盐电化冶金两类：

1) 水溶液电化冶金（也称水溶液电解精炼或水溶液电积粗炼）：如果在低温水溶液中进行电化作用，使金属从含金属盐类的溶液中析出的（如铅电解精炼、锌电积），称为水溶液电化冶金。它是在低温溶液中进行物理化学反应的、典型的湿法冶金，亦可列入湿法冶金之中。

2) 熔盐电化冶金（也称熔盐电解）：如果在高温熔体中进行电化作用，使金属从含金属盐类的熔体中析出的（如铝电解），称为熔盐电化冶金。它不仅利用电能转变为电化反应，而且也利用电能转变为热能，借以加热金属盐类成为熔体。在高温熔融状态下进行物理化学反应是火法冶金的主要特征，因此，熔盐电化冶金也可列入火法冶金一类中。

1.2.2 现代冶金生产工艺流程

火法冶金生产中常见的单元过程有：原料准备（破碎、磨制、筛分、配料等）、原料炼前处理（干燥、煅烧、焙烧、烧结、造球或制球团）、熔炼（氧化、还原、造钼、卤化等）、吹炼、蒸馏、熔盐电解、火法精炼等过程。

湿法冶金生产中常见的单元过程有：原料准备（破碎、磨制、筛分、配料等）、原料预处理（干燥、煅烧、焙烧）、浸出或溶出、净化、沉降、浓缩、过滤、洗涤、水溶液电解或水溶液电沉积等过程。

图 1-1、图 1-2、图 1-3 分别是钢铁冶金、湿法炼锌、硫化铜矿冶炼的流程简图。

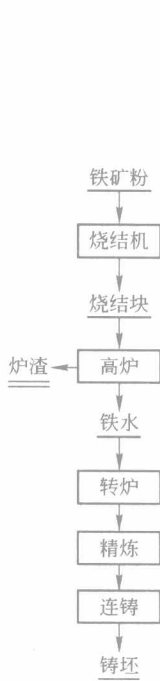


图 1-1 钢铁冶金流程

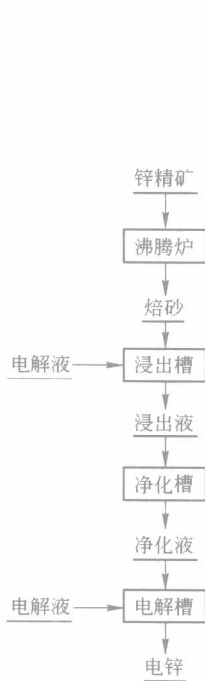


图 1-2 湿法炼锌流程

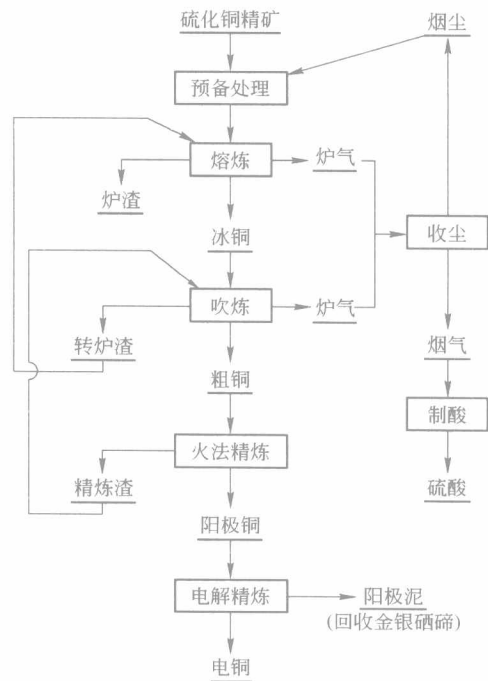


图 1-3 硫化铜矿冶炼流程