

YEJIN
GONGYI DAOLUN

冶金工艺学

主 编 郭 遼

副主编 郑 明

中南工业大学出版社

冶金工艺导论

主 编 郭 逵

副主编 郑 明

134-14



中南工业大学出版社

B 17799

冶金工艺导论

主编 郭达 副主编 郑尉

责任编辑 秦瑞卿

*

中南工业大学出版社出版

中南工业大学印刷厂印装

湖南省新华书店发行

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 11.125 字数: 269千字

1991年8月第1版

1991年8月第1次印刷

印数: 0001—5000

*

ISBN 7-81020-376-2/TF·021

定价: 3.45 元



前 言

本书全面而简明地阐述了冶金原料及其预处理、钢铁、铜、铅、铋、铝、钨、钛六种主要的有色和稀有金属冶金的原理及工艺。

通过学习本课程，学生能够了解有关金属矿产资源情况和冶炼工艺的基本知识。本课程也能为冶金专业的学生进行认识实习作一定的专业知识准备；对有些专业的学生，为学习物理化学、冶金原理、传递过程理论、机械零件等课程打下一定的专业基础；对文科专业的学生能扩大专业知识面，了解冶金的基本工艺过程，为今后的工作创造一定的条件。因此本书可作有色冶金专业以及冶金相关的专业，如矿物工程、材料工程专业和冶金院校的热能工程、化工工程、管理工程、技术经济、环境工程、科技外语、社会工作与管理等专业的冶金概论课的教材。本书对于从事科技工作的管理人员和冶金企事业单位的干部也是一本实用的专业参考书。

该教材曾作为内部发行的铅印本，已在我校十一个专业和另外八所院校的有关专业使用了多年。为了适应教学的需要，我们在总结经验的基础上，又听取了各方面的意见，结合所能收集到的有关资料，对原教材进行了修改、增删，现正式出版与读者见面。

本书主编郭远副教授，副主编郑明副教授。其中绪论及第一、二、三、四、五、六章由郑明编写，第七、八、九章由李仕雄编写。中南工业大学郭昌槐副教授审查了第一章，彭蓉秋教授审查了第四、五、六章，刘茂盛副教授审查了第八、九

章。安徽省马鞍山钢铁设计研究院成黔庆、罗文富两位高级工程师分别审查了第二、三章。在编写过程中还得到了我校有色冶金教研室的老师和同志的关怀、支持和帮助，在此谨致以诚挚的谢意。

限于编者的水平和编写时间短促，书中难免存在一些缺点和错误，恳请广大读者给予批评、指正。

编 者

1991年5月于中南工业大学

目 录

前 言

绪 论..... (1)

第1章 矿物工程

1.1 金属在地壳中的分布..... (11)

1.2 矿物、矿石、矿床..... (14)

1.3 选矿..... (81)

第2章 铁冶金

2.1 概述..... (50)

2.2 炼铁原料及其冶炼前准备..... (51)

2.3 高炉炼铁工艺流程、设备、操作..... (59)

2.4 高炉冶炼基本原理..... (71)

2.5 高炉冶炼产品及技术经济指标..... (81)

2.6 其它炼铁方法..... (83)

第3章 钢冶金

3.1 概述..... (86)

3.2 纯氧顶吹转炉炼钢..... (87)

3.3 平炉炼钢..... (96)

3.4 电炉炼钢..... (102)

第4章 铜冶金

4.1 概述..... (110)

4.2 炼铜原料、炼铜方法及工艺流程..... (113)

4.3 反射炉、电炉熔炼..... (118)

4.4 密闭鼓风炉熔炼..... (129)

4.5	闪速炉熔炼	(135)
4.6	冰铜转炉吹炼	(140)
4.7	粗铜的火法精炼	(146)
4.8	铜的电解精炼	(150)
第5章	铅冶金	
5.1	概述	(155)
5.2	炼铅原料、炼铅方法和工艺流程	(157)
5.3	铅精矿烧结焙烧	(160)
5.4	铅烧结块鼓风炉还原熔炼	(165)
5.5	粗铅精炼	(174)
第6章	锌冶金	
6.1	概述	(183)
6.2	炼锌原料和方法	(185)
6.3	锌精矿焙烧	(188)
6.4	湿法炼锌	(195)
6.5	火法炼锌	(208)
第7章	铝冶金	
7.1	概述	(218)
7.2	炼铝原料和方法	(220)
7.3	氧化铝生产基本原理	(222)
7.4	拜耳法生产氧化铝	(223)
7.5	碱石灰烧结法生产氧化铝	(239)
7.6	拜耳-烧结联合法	(247)
7.7	铝电解生产	(249)
第8章	钨冶金	
8.1	概述	(266)
8.2	钨冶金原料及原则流程	(271)
8.3	钨精矿分解	(274)

8.4	纯钨化合物的制取	(281)
8.5	三氧化钨的生产	(295)
8.6	氢还原法生产钨粉	(297)
8.7	致密钨的生产	(302)
第9章	钛冶金	
9.1	概述	(305)
9.2	钛的资源和生产原则流程	(309)
9.3	钛渣的生产	(316)
9.4	粗四氯化钛的生产	(325)
9.5	粗四氯化钛的精制	(333)
9.6	金属钛的生产	(340)

绪 论

0.1 冶金工业在国民经济 中的地位和作用

冶金工业是整个原材料工业体系中的重要组成部分，它与能源工业和交通运输业一样，是构成国民经济的基础工业部门。任何一个国家要实现自己的独立和富强，除决定于政治因素以外，还必须大力加强本国的工业体系的建设，尤其是建立独立的、完整的冶金工业体系。

人们常将从矿石或精矿生产金属的工业部门叫冶金工业。矿石和精矿是由各种有用矿物组成的，因而从地壳或海洋中，直至其它的星球中探寻有用矿物，进行科学的采掘，从矿石或精矿中冶炼加工成多种金属材料，运用于人们生产、生活的各个领域，从而构成了冶金工业的有机联系。所以，国民经济各部门所使用的黑色金属、有色金属和稀有金属都是冶金工业的产品。只有冶金工业产品的不断增长，才有工业、农业、交通运输业，乃至当代崛起的第三产业的迅速发展和提高。

众所周知，人类社会之所以能发展到今天，无论在那一个方面，都闪烁着工业制品的光辉，其中冶金工业的产品更是大放异彩。从人类的日常生活用品到高精尖的科技领域的新型材料的使用，都离不开冶金工业的进步和发展。因此，冶金工业是人类文明史中的一株奇葩。

我们非常熟悉的钢铁，是黑色金属的一种。人类使用的金属中，铁和钢要占90%以上。

以铁而言，机械工业上制造机身、机座和一些受不到冲击和拉力的零件都可用铸铁制造。日常生活中用的铁锅、铁铲、火炉、水管、铁窗、铁门、铁架等等亦可用铁做成。钢的用途更广，工业上制造火车、汽车、拖拉机、轮船、机器和枪炮等都离不开钢。把钢轧成各种形状的板、管、型材的话，可以说是万能的，大到盖厂房，造桥梁，铺铁路等，小到手表的游丝、钢笔尖和注射针头，无处不用钢材。无缝钢管和许许多多的工业发生密切联系，在工农业生产上，它被称为工业的“血管”。用在石油、化工厂的设备必须是经得住高压和耐酸的无缝钢管。各种钢板从天空飞行的飞机到陆地行走的大小车辆都需要它，甚至日常生活中处处都可遇到用钢板制成的器械和用具，如搪瓷用品，热水瓶的外壳，缝纫机的部件，钟表零件，就连小小的钢笔尖都是用薄钢板制成的。钢轨是大家熟悉的一种钢材。修造一条五百公里左右长的铁路需要四万多吨的钢。如此巨大的用量，其它金属是无法比拟的。

因此，我们说那里有生产，那里就需要钢铁，这一点都不过分，所以有时称钢铁为工业材料中的主力。

钢铁用途如此之广，但随着科学技术的迅猛向前发展，工业不断地朝原子能、高速、高温、高压及自动化和遥控方向发展，钢铁的质量、品种和性能都远远不能达到科技要求的水平，这就需要各种有色金属作为它的添加剂而形成各种合金钢，如加入铬、镍、钨、钛、钒等化学元素，可以使钢材增加某一特殊性能。

有色金属和稀有金属，它们的耗用量只占金属总量的5%左右。由于这些金属具有许多特殊的优良性能，例如它们分别具有导电、导热性好，密度小，化学性能稳定，耐热、耐酸碱

和耐腐蚀，工艺性好等特性，是电气、机械、化工、电子、轻工、仪表、航天工业不可缺少的材料，是其他材料所不能代替得了的。

有色金属和稀有金属是重要的基础材料，也是重要的战略物资，用途是极其广泛的。从基本的生产、生活用具到航天、原子能、微电子等尖端科学技术都需要有色金属和稀有金属。因此，有色金属和稀有金属的开发和利用，对实现社会主义四个现代化起着举足轻重的地位。又如上所述，有色金属和稀有金属具有许多的独特的优良性能，从而决定了它在各个领域中的特殊用途。比如飞机的结构材料，铝合金和钛合金占整个重量的一半以上。雷达、导弹、原子反应堆、核潜艇、人造卫星等尖端产品，就需要铜、铝、镍、钛、钼、钨、钽、铌、铍、锆等二、三十种有色金属和稀有金属。据统计，每生产1万台拖拉机，就需要用铜、铝600t；每生产1万台汽车，就需要铜、铝350t。在常用的1000个钢材品种中，含有各种有色金属的铜就有800多种。日常生活中的必需品，如门锁、电灯、勺、钟表、电视机等，所需的有色金属有十多种。因此，有色金属工业的发展有利于军工和民用产品的更新换代，而且对新技术革命会起到巨大的推动作用。

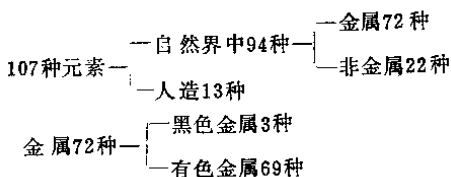
我国的有色金属资源比较丰富，品种比较齐全，其中钨、锡、稀土金属等7种有色金属储量占世界首位。铝等5种金属储量占世界第二位。传统的出口商品有钨、锡、锑、铜、汞等，创汇率很高，每年可为国家换回大量的外汇。因此，有色金属工业应成为我国的优势产业之一。

我国国民经济建设的“七、五”规划中，提出了在有色金属中优先发展铝，积极发展铅锌，有条件地发展铜，有选择地发展其他金属的方针，是符合我国国情，带有战略意义的正确方针。

0.2 金属和金属的分类

金属通常都具有高强度和优良的导电性、导热性、延展性，和其中部分金属还具有放射性。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107种，其中94种存在于自然界中，13种是人造的。自然界的94种元素，其中金属元素72种，非金属元素22种。金属元素中，黑色金属元素3种，有色金属元素69种。



金属元素根据其性质、产状、用途、产量及其冶炼方法的特点，习惯上划分为黑色金属和有色金属两大类型。我国、苏联和东欧的一些国家都是这样进行分类的。而美、英、日本等一些国家把金属分成铁金属和非铁金属两大部分。这里所指的铁金属是黑色金属，非铁金属即为有色金属。

然而，黑色与有色、铁与非铁金属的划分，都是人为所规

定出来的，并没有严格的科学论证。严格地说，按铁和非铁来划分可能更确切，因为这样既有其生产工艺上的需要，也具有应用上的实际意义。按有色和黑色金属的分类方法，有色金属并不是所有金属都具有鲜明的颜色，实际上仅有两种有颜色的金属，即玫瑰红色的铜及黄色的金，其他金属只是在银灰色或淡红色的色调上有些差别而已，所以称有色金属只不过是一种标志，相对于黑色金属而言，这些都是非铁金属。下面按有色、黑色金属进行分类：

1. 黑色金属：铁、锰、铬等三种。

2. 有色金属：除铁、锰、铬以外的69种金属元素。有色金属又可分为：

(1)重金属：比重超过4.5的金属元素。有铜、镍、钴、铅、锌、铋、锡、镉、铟和汞共十种。

(2)贵金属：金、银、铂、钨、钽、钨、铼、钼等八种。

(3)轻金属：铝和镁等二种，比重小于4.5。

(4)稀有轻金属：铍、锂、铷、铯等四种。比重小于4.5。

(5)稀有高熔点金属：钨、钼、钽、铌、钒、钛、锆、铪、铪等共9种。

(6)稀有分散性金属：镓、铟、铊、铷等四种。

(7)稀土金属：钪、钇、镧、镧系元素等共十六种。

(8)放射性金属：镭、钋、钋、钋、钋、钋系元素共十一种。

(9)碱金属和碱土金属：钾、钠、钙、锶、钡等五种。

以上所列的有色金属分类，也可归纳成为四大类型，即重金属、轻金属、稀有金属和贵金属。而每种类型金属的性质、产状及其冶炼方法都有其特殊性。

黑色金属（包括锰、铬）的冶炼方法均为火法。重金属生产可分为火法和湿法冶炼。轻金属的密度小、活性大，多采用

熔盐电解法和金属热还原法进行生产。贵金属金、银、铂等，一部份可由矿石提取外，大部份都是从铜、镍、铅、锌冶炼厂的副产品（阳极泥）中回收的。稀有金属在地壳中的含量不一定少，主要是过于分散，没有富集的矿床，或难于开采和冶炼，在工业上应用比较晚的缘故。它们有的熔点高，硬度大，耐腐蚀；有的没有形成单独矿床，只能从金属工厂或化工厂的废料中进行提取；有的提取异常困难；有的含有放射性元素。因此，稀有金属的冶炼方法是多种多样的。

从废金属及含金属的废料中回收金属，现在已引起全社会的重视。随着有色金属应用范围的扩大，充分回收和有效地利用再生有色金属，具有极其重要的意义和重大的经济效益。据报道，回收再生有色金属与原矿中提取金属相比，在基建投资方

面要降低90%，能耗方面，铝为 $\frac{1}{3}$ ，锌为 $\frac{1}{3}$ ，铜为 $\frac{1}{6}$ ，镍为

$\frac{1}{9}$ ，镁为 $\frac{1}{37}$ ，生产费用方面铝40~50%，铜35~40%，锌25~

30%。再生金属的用量在西方工业发达的国家中占很高比例，铜占全部铜用量的37~46%，铅占30~47%，锌占20~28%，铝占19~34%。美国正在加速发展再生铝的生产，仅在1960~1979年就节省了基建投资35亿美元，1979年节约能源约400亿度电。美国已在有色金属冶金领域内建立了再生冶金部门，一般工厂为1~3万t/年，现仍在扩大规模。目前美国已有三个大于10万t/年规模的再生铝厂。

0.3 冶金和冶金方法

冶金是一门研究如何经济地从矿石或精矿和其他材料中提

取金属，并使之经过加工处理，适于人类应用的科学。

广义的冶金包括矿石的开采、选矿、冶炼和金属加工。由于科学技术的进步和工业的发展，采矿、选矿和金属加工已形成一门独立的学科。因而目前的冶金是指矿石或精矿的冶炼。

又由于冶金主要是采用化学的方法，因而常称为化学冶金；同样，冶金是由原料中提取金属，也常称之为提取冶金。

冶金和其他学科领域一样，涉及的范围很广，它与化学、物理化学、热工、化工、仪表、机械、计算机等有极其密切的关系。由于原料条件的不同和金属性质的差异，冶金方法是多种多样的。根据冶炼方法的不同，大致可分为三种类型。

0.3.1 火法冶金

是在高温条件下，使矿石或精矿中的有用矿物部分或全部在高温下进行一系列的物理化学反应，达到提取、提纯金属与脉石和其它杂质分离的目的。高温的获得，可以外加燃料，个别的也可以利用自身的反应生成热，比如，硫化矿的氧化焙烧可产生大量的热，不需要外部加入燃料。目前，金属冶炼仍以火法冶金占主导地位。

0.3.2 湿法冶金

在低温下（一般低于 100°C ，现代湿法冶金的高温高压过程，其温度可达 $200^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ）用溶剂来处理矿石和精矿，并在低温溶液中进行一系列的物理化学反应，达到提取、提纯金属与脉石和其它杂质分离的目的。湿法冶金的设备和操作都比较简单，是很有发展前途的冶金方法。

0.3.3 电冶金

它是利用电能来提取、提纯金属的方法，可分为电热冶金和电化冶金。

电热冶金与火法冶金类似，其不同的地方是电热冶金的热量由电能转换而成，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。

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。如果是低温水溶液，在电化学作用下，使金

属从含金属盐类的水溶液析出（如铅电解精炼和锌电积），称为水溶液电化学冶金，亦可列入湿法冶金之中。如果是高温，在电化学作用下，使金属从含盐类熔体中析出的（如铝电解）为熔盐电化学冶金，它不仅利用电能的化学效应，而且也利用电能转变为热能加热金属盐类成为熔体。因此，熔盐电解也可列入火法冶金的一类中。

冶金方法的选择和应用，有时可能是单一的，有时可能是既有火法又有湿法的联合使用过程。

冶金方法的采用，正面临着能源的节省，环境保护，以及综合利用的紧迫问题。在一定程度上，它支配着冶炼厂的生产、设计、建厂和冶金技术的发展。凡是有利于解决这三大课题的技术和方法，都受到普遍的重视，并得到迅速的发展。如重金属无污染提取冶金，世界上各先进工业国，对重金属硫化矿的火法无污染的直接熔炼，湿法无污染的直接浸出以其后的全湿法冶金过程等，作了大量的研究工作，并进行了工业性或半工业性的生产。

此外，冶金方法的采用，除了上述三大课题以外，还有冶金过程的机械化、自动化，也是不可忽视的重要方面。

0.4 冶金工艺流程和冶金过程

0.4.1 冶金工艺流程

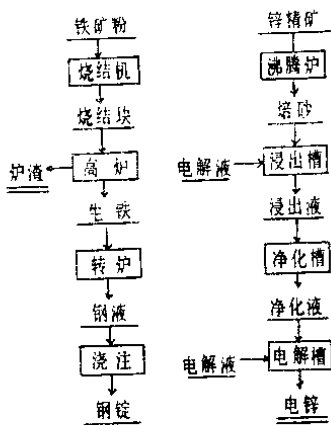
黑色金属矿石的冶炼，一般情况，矿石的成份比较单一，通常采用火法冶金的方法进行处理，即使有的矿石较为复杂，通过火法冶金之后，也能促使其伴生的有价金属进入渣中，再进行处理，如高炉冶炼用钒钛磁铁矿就是属于这种类型。

有色金属矿石的冶炼，由于其矿石或精矿的矿物成分极其

复杂，含有多种金属矿物，不仅要在提取或提纯某种金属，还要考虑综合回收各种有价金属，以充分利用国家资源和降低生产费用。因此，考虑冶金方法时，要用两种或两种以上的方法才能完成。

由矿石或精矿提取和提纯金属不是一步可以完成的，需要分为若干个阶段才能实现，但各个阶段的冶炼方法和使用的设备都不尽相同。把各个阶段系统地连接起来，就构成了某一种金属的冶炼的工艺流程。如果把工艺流程用示意图的方法表示出来，就叫做工艺流程图。

钢铁冶金和湿法提锌的工艺流程简图如下所示



0.4.2 冶金过程

从钢铁冶金和湿法提锌的工艺流程图可知，一种金属的冶炼工艺流程包括几个冶炼阶段，而每一个冶炼阶段可能是火法、湿法或电化学冶金的方法。所以，通常把每一个冶炼阶段