

重 金 属 冶 金 学

主 编 彭 容 秋

● 中南工业大学出版社 ●

内 容 提 要

本书包括重金属提取冶金的基本原理、生产工艺流程、主要冶金设备、冶金工艺技术经济指标等内容,可供有色冶金专业本科学生作教材用。各章节都附有一些思考题,可作为课堂讨论和课后复习参考用。本书内容取材广泛,内容新颖,综合了各种现代冶金方法,可供从事重金属冶金生产和科研设计的人员参考。

[湘]新登字 010 号

重 金 属 冶 金 学

彭容秋 主编

责任编辑:彭达升 秦瑞卿

*

中南工业大学出版社出版发行

湖南财经学院印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本:850×1168 1/32 印张 12.625 字数:305 千字

1991年8月第1版 1994年1月第2次印刷

印数:1001—3000

*

ISBN 7-81020-368-1/TF·020

定价:11.00 元

编 者 的 话

重金属一般包括铜、镍、钴、锌、镉、铅、铋、锡、铟、汞等十种金属，它们的冶炼既有许多特性也有许多共性。根据多年来的教学实践，我们认为只有以共性为主、详细阐述共性、适当照顾特性，才能达到精简教学内容、突出教学重点的目的。对于有色冶金专业的学生来说，将来从事冶金的具体对象是非常广泛的，在校的有限学习时间内，不可能把每个金属的具体生产知识学深学细，也完全没有必要。所以在校学习的目的，是在掌握基本知识的基础上，着重在发现问题，分析问题的能力培养上。这本《重金属冶金学》就是根据这种教学实践，在原有讲稿的基础上综合编写的。全书共分三篇，第一篇为重金属造钨熔炼，主要包括铜、镍冶金。第二篇为重金属还原熔炼，主要包括锌、铅、锡、铟、铋冶金。第三篇为重金属湿法冶金，主要包括锌及其它金属的湿法冶金。

本教材由彭容秋主编，并编写第一篇；张训鹏编写第二篇；鲁君乐编写第三篇。

本教材虽然是在多年的教学讲稿基础上编写的，但它是一种新的编写方法，不可能完善，肯定有不少错误，欢迎批评与指教，至为感激。

编者于1990年10月

目 录

前言	(1)
----	-------

第一篇 重金属造钨熔炼

第一章 造钨熔炼的原料及冶炼方法	(5)
第一节 造钨熔炼的原料	(5)
第二节 铜镍矿物原料的冶炼方法	(9)
第二章 造钨熔炼的基本原理	(12)
第一节 造钨熔炼的物料及产物	(12)
第二节 硫化物熔炼的物理化学变化	(13)
第三章 重金属造钨熔炼的生产实践	(49)
第一节 熔池熔炼	(49)
第二节 闪速熔炼	(76)
第三节 鼓风炉造钨熔炼	(94)
第四章 钨的吹炼	(97)
第一节 钨的吹炼目的	(97)
第二节 钨的吹炼反应	(98)
第三节 吹炼的生产实践	(101)

第四节	吹炼过程的发展	(104)
第五章	铜镍的精炼	(107)
第一节	铜的火法精炼	(108)
第二节	铜的电解精炼	(115)
第三节	镍的电解精炼	(130)

第二篇 重金属还原熔炼

第六章	还原熔炼的原料及冶炼方法	(141)
第一节	还原熔炼的原料	(141)
第二节	铅锌锡锑铋汞的冶炼方法	(143)
第七章	硫化矿焙烧与烧结原理	(150)
第一节	焙烧和烧结焙烧的目的	(150)
第二节	氧化焙烧过程	(152)
第三节	焙烧过程的动力学	(154)
第四节	铅锌精矿焙烧热力学	(156)
第五节	硫酸化焙烧	(160)
第六节	烧结化学	(163)
第七节	各组分在焙烧过程中的挥发行为	(166)
第八章	焙烧和烧结焙烧的生产实践	(170)
第一节	锌精矿沸腾焙烧	(170)
第二节	铅精矿和锌铅精矿的烧结焙烧	(175)
第九章	还原熔炼的基本原理	(183)
第一节	概述	(183)

第二节	还原熔炼原理与反应	(185)
第三节	锌的还原挥发与冷凝	(194)
第四节	还原熔炼的炉渣、铅铋和黄渣	(204)
第十章	还原熔炼的生产实践	(209)
第一节	火法炼铅	(209)
第二节	火法炼锌	(217)
第十一章	硫化矿的直接熔炼	(229)
第一节	直接得到金属的冶炼方法	(229)
第二节	铅的直接熔炼	(231)
第十二章	还原熔炼粗金属的精炼	(244)
第一节	粗金属精炼方法	(244)
第二节	锌的火法精炼	(246)
第三节	铅的火法精炼	(249)
第四节	铅的电解精炼	(263)

第三篇 重金属湿法冶金

第十三章	重金属湿法冶金的流程	(270)
第一节	湿法冶金原则流程举例	(270)
第二节	湿法冶金原料及冶金过程	(272)
第十四章	重金属湿法冶金的浸出过程	(277)
第一节	锌焙砂酸性浸出	(277)
第二节	细菌浸出	(317)
第三节	碱浸	(320)

第四节	硫化矿的直接浸出	(329)
第十五章	浸出液的净化	(334)
第一节	硫酸锌溶液的净化方法	(334)
第二节	有机溶剂萃取法	(354)
第十六章	从水溶液中提取金属	(366)
第一节	硫酸锌溶液的电解沉积	(366)
第二节	氢还原法	(391)
主要参考文献		(395)

前 言

世界上的金属生产，从产量来说，重金属铜、锌和铅分别占据第三、四、五位，其它重金属镍、锡、铋、钴、镉、铊和汞的产量也占有相当的地位。所以重金属冶金工业应该是国民经济中重要的基础工业。

下面以1987年为例列出了世界上重金属的产量与消费量（单位：万吨），从中可以看出重金属在国民经济中的重要作用。

	铜	锌*	铅	镍	锡	铋*	钴*	镉	汞*	铊
产 量	1018	685	563	78	20	8	3.0	1.93	0.8	0.47
消费量	1044	680	559	85	23	12	3.0	1.99	0.8	

* 为估算数据

这十种重金属的矿床大多是多金属共生矿。除锡的矿物外，其它金属主要是以硫化矿的形态存在。所以从重金属矿物原料中回收硫，是重金属冶金工业的一项重要任务。目前世界上有大部分硫酸是重金属冶金工厂生产的。我国目前重金属冶金工厂年产硫酸量达140多万吨，占全国硫酸产量的20%左右。除硫以外，重金属矿物原料中还伴生有多种稀散金属和贵金属。所以重金属冶金工厂也是生产稀散金属和贵金属的工厂。重金属冶金工厂可以向国家提供20多种金属及其化工产品，包括了元素周期表中ⅢA、ⅣA、ⅤA、ⅥA各主族和ⅠB、ⅡB和Ⅶ族中的大部分金属元素，如下表所示。

重金属的冶炼根据矿物原料和各金属本身特性的不同，可以采用火法冶金、湿法冶金以及电化冶金等方法。但从目前的产量及金属种类来说，是以火法冶金为主的。重金属的冶炼方法，基本上可分为三类。第一类是硫化矿物原料的造锍熔炼，属这一类的金属有铜、镍及其伴生金属钴。第二类是硫化矿物原料先经焙烧或烧结后，再进行炭热还原生产金属，属于这一类的金属有锌、铅和镉。锡是氧化矿物原料，亦属炭热还原冶炼法。第三类是焙烧后的硫化矿或氧化矿用硫酸等溶剂浸出，然后用电积法或其它方法从溶液中提取金属，简称湿法冶金。属于这类方法的金属主要有锌、镉、镍和钴。十种金属的主要冶炼方法概括在表1中。

几乎所有重金属的生产都是首先生产出粗金属，然后再进行精炼。精炼的方法有火法精炼与电解精炼。

本教材就是按上述三大类方法进行编写的，其精炼方法的内容也按金属归类在这三类方法中一并叙述。

表1 十种重金属的冶炼方法

金属	原料	预处理	金属生产	精炼	主要回收的元素
铜	硫化矿	焙烧、造锍熔炼	转炉吹炼	电解	S, Au, Se, Te, Bi, Ni, Co, Pb, Zn, Ag
	氧化矿	浸出—萃取	电积		
镍	硫化矿	造锍熔炼—磨浮	炭还原	电解	Co, Pt及Pt族, S, Cu
	氧化矿	造锍熔炼、焙烧	还原		
	混合矿	加压氢浸	加压氢还原		
钴	铜镍矿伴生	硫酸化焙烧—浸出	还原—电解		Co
锌	硫化矿	烧 结	炭还原	精 馏	S, Cd, In, Ge, Ga, Co, Cu, Co, Pb, Ag, Hg
		焙烧—浸出—净化	电 积		

续表 1

金属	原料	预 处 理	金属生产	精 炼	主要回收的元素
镉	烟 尘 净化渣	浸 出—净 化	锌 置 换 电 积	精 炼	Tl
铅	硫化矿	烧 结	炭 还 原	电 解 火法精炼	S, Ag, Bi, Tl, Sn, Sb, Se, Te, Cu, Zn
铋	硫化矿 铅铜伴生物		铁 还 原 炭 还 原	电 解 火法精炼	Pb, Cu, Ag, Te
锡	氧化矿	精选—浸出—焙烧	炭 还 原	火法精炼 电 解	Cu, Pb, Bi
铟	硫化矿	焙 烧 浸 出	炭 还 原 电 积	火法精炼	Au, S, Se, Te
汞	硫化矿	焙 烧	热 分 解		Hg

第一篇 重金属造钨熔炼

第一章 造钨熔炼的原料及冶炼方法

第一节 造钨熔炼的原料

重金属造钨熔炼的原料主要有含重金属的硫化矿物和氧化矿物。重金属硫化矿物主要包括有铜、镍、铅、锌、铋、汞等金属的硫化矿物。由于造钨熔炼这部分内容主要涉及铜和镍，下面重点叙述铜、镍硫化矿物原料。

铜、镍硫化矿物主要有：黄铜矿 (CuFeS_2)、斑铜矿 (Cu_3FeS_3)、辉铜矿 (Cu_2S)、镍黄铁矿 [$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$]、镍磁黄铁矿 [$(\text{Ni}, \text{Fe})_7\text{S}_8$]、钴镍黄铁矿 [$(\text{Ni}, \text{Co})_9\text{S}_8$]。

目前世界上约 90% 的铜和 60% 的镍是由从化矿中提炼的。最常见的是黄铜矿、镍黄铁矿和镍磁黄铁矿。

现在工业上开采的铜镍硫化矿床，大都是多金属复合矿床，由许多矿物共生在一起，其中铜矿石的最低品位为 0.4% ~ 0.5% Cu，镍矿石的最低品位为 0.5% Ni。伴生的硫化矿物有黄铁矿、闪锌矿、辉钼矿等，其含量往往达到必须综合利用的程度，有的还可称为铜镍矿、铜锌矿。铜、镍矿石中一般含有 Au、Ag、Pt 及铂族元素等贵金属和 Se、Te 等稀有金属。

目前，开采品位愈来愈低，能够进行直接熔炼的富矿很少。开采出来的贫矿，在冶炼之前，一般应进行选矿富集并分选出几种富精矿。一些铜、镍硫化精矿的化学成分列于表1-1中。

从精矿化学成分分析中知道，主金属Cu与Ni的含量不很高，而铁和硫的含量往往大于主金属的含量。所以在铜镍硫化精矿的冶金过程中，首先应考虑提取Cu、Ni和回收S，同时应该考虑很好地分离Fe。

精矿中的脉石矿物主要有石英、石灰石、云母等。这些脉

表1-1 铜镍硫化精矿的化学成分(%)

化学成分	Cu	Ni	Fe	S	Zn	Pb	As	
铜精矿	1	25.9	—	24.5	33.2	6.1	2.25	1.33
	2	28.2	—	2.5	10.0	0.5	1.0	0.12
	3	17.72	—	32.75	29.70	—	—	—
	4	16.44	—	32.04	39.10	0.56	0.19	—
镍精矿	1	2.75	5.32	29.24	20.54	—	—	—
	2	3.80	5.60	30.0	18.94	—	—	—
	3	0.5	7.5	40	28	—	—	—
化学成分	Sb	Bi	Ag	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	
铜精矿	1	0.84	0.27	0.01	—	—	0.9	4.7
	2	—	—	—	4.9	5.8	7.9	16.9
	3	—	—	—	3.04	—	4.19	3.77
	4	—	—	—	—	0.67	0.48	7.84
镍精矿	1	—	—	—	11.10	1	1.77	13.46
	2	—	—	—	11.43	2.0	1.07	20.20
	3	—	—	—	2	4~5	—	12

石矿物中的主要成分是 SiO_2 、 CaO 、 MgO 和 Al_2O_3 。在镍精矿中难熔脉石的含量很高，因此在选择冶炼方法时应特别注意。

金、银、铂族元素及硒、碲等稀贵金属是精矿中一定伴生的元素，在冶炼中如何富集回收，是需要高度重视的。铜镍冶炼厂应该又是贵金属冶炼厂。许多工厂不仅从精矿中回收 Au 、 Ag 、 Pt ，往往还同时通过处理金精矿或含金石英矿来提高金银的产量。

硫化精矿的粒度都很小，比表面积很大，具有很大的化学反应能量，与氧发生氧化反应迅速，同时可以放出大量的热能。表1-2所示为某铜精矿和镍精矿在氧化和造渣时的发热值。

表1-2 硫化精矿和几种燃料的发热值

硫 化 精 矿、 燃 料	发热值 (10^6J/kg)
1. 烟 煤	27.9
2. 重 油	43.0
3. 高炉煤气	2.67
4. 铜精矿 (29.5%Cu, 26.0%Fe, 31.0%S)	
冶炼产出: ①51%Cu的冰铜、炉渣、 SO_2	1.67
②80%Cu的白冰铜、炉渣、 SO_2	2.79
③粗铜、炉渣、 SO_2	3.29
5. 镍精矿 (7.5%Ni, 41.0%Fe, 27.8%S)	
冶炼产出: 34%Ni的冰镍, 炉渣, SO_2	3.03

从表中看出，铜精矿或镍精矿进行氧化熔炼，得到适当产品时，放出的热量比高炉煤气的热值还高。因此充分利用精矿本身的这种热能，对降低冶炼过程的燃料消耗有很大的意义。同时，也是保护环境和改善劳动条件所必须注意的。

含有氧化矿物的原料也可以进行造钨熔炼，特别是氧化镍矿物。氧化矿石很难用选矿方法加以富集，一般直接送冶炼厂处理。氧化镍矿通常不含铜、硫、砷和金、银、铂族元素，但往往含有钴。几种氧化镍矿的成分列在表1-3中。

表1-3 几种氧化镍矿的化学成分(%)

	Ni+CO	Fe	Cu	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO
硅镁镍矿	3.0~3.2	12~15	微~0.01	0.7~0.9	37~41	0.5~1.4	22~23.6	0.1~0.8
暗蛇纹石	1.63	12.00	—	1.80	35.3	1.39	29.00	—
红土矿	1.0	40~48	0.01~0.05	5.12	10~17	3~5	3~5	1.5~3

据估计，氧化镍矿中仅红土矿一类便占世界镍储量的75%以上，有相当大的发展前途。目前由氧化镍矿生产的镍约占世界产镍量的30%，随着冶炼技术的提高，此比例还将逐渐增大。

在选择氧化镍矿的冶炼方法时，主要是看原矿中的镍含量及脉石成分。含镍高的硅镁镍矿仍以火法处理较为普遍，而含镍较低的红土矿，则以湿法冶金更为有利。

氧化矿物除了氧化镍矿物外，比较重要的还有氧化铜矿。氧化铜矿目前也是难选的矿物原料，大都直接进行湿法冶金。几种氧化铜矿的化学成分列于表1-4中。

表1-4 氧化铜矿的化学成分(%, Au, Ag g/t)

编号	Cu	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Pb	Au	Ag
1	2.3	28.4	39.68	1.29	2.13	5.24	0.09	0.12	9.47
2	1.180	28.0	7.79	16.0	2.98	2.71	0.24	—	—
3	0.714	47.9	17.44	3.77	1.52	—	微	0.5	4.4

第二节 铜镍矿物原料的冶炼方法

铜镍矿物原料的冶炼方法可分为两大类：火法冶金与湿法冶金。目前世界上的精铜年产量约为 900 万吨，其中 80% 以上是用火法冶金从硫化铜精矿和再生铜中回收的，湿法冶金生产的精铜只占 15% 左右。镍的年产量约为 70 多万吨，同样，火法冶金也占有较大的比例。

根据火法炼铜的现状，其工艺可概括如图 1-1 所示。

从火法炼铜的原则工艺流程图看出，硫化矿经浮选后得到的硫化铜精矿含铜为 20%~30%，可以采用几种不同的冶金炉

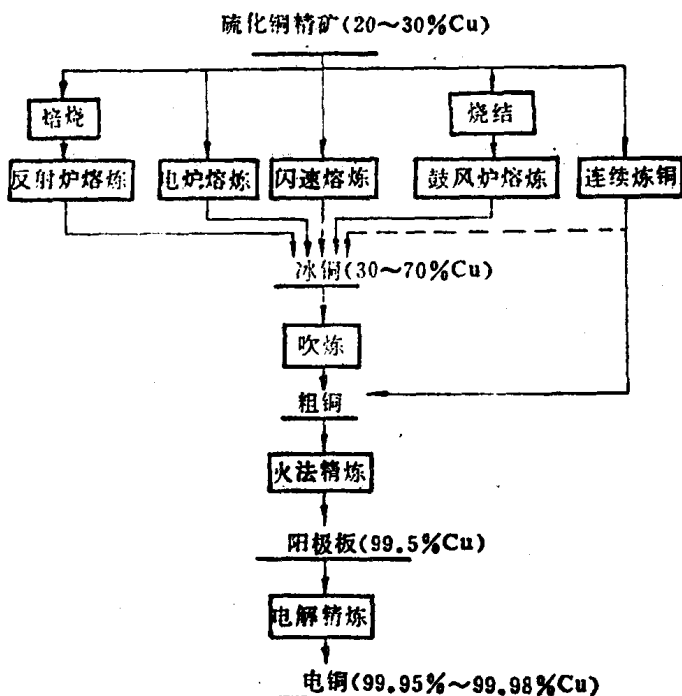


图1-1 火法炼铜原则工艺流程