

有色金属总论

# 有色金属提取冶金

铜镍钴

## 手册

锌镉铅砷

锡锑汞

A HANDBOOK  
FOR EXTRACTIVE METALLURGY  
OF NONFERROUS METALS

铝

镁

钨钼铋

钛锆铪

有色金属总论

钒铌钽

稀土金属

贵金属

冶金工业出版社

现代化设备

能源与节能

TF 803-62

Z

43

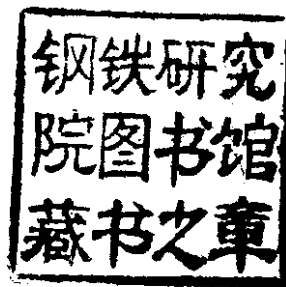
# 有色金属提取 冶金手册

## 有色金属总论

《有色金属提取冶金手册》编辑委员会 编

本卷主编 赵天从 何福煦

GTO5/25



冶金工业出版社

• 228445

(京)新登字036号

## 内 容 提 要

本卷主要内容包括金属的基本性质及其分类；有色金属生产发展简史；工业矿物原料及矿产资源的储量和产地；有色金属商品的标准；有色金属的用途、供需和价格；国外重要有色冶炼厂和精炼厂的概况；世界较大的跨国有色冶金公司；有色金属学会和同业组织及有色金属的战略储备等。

本书适用于从事有色金属提取冶金方面的生产、科研、设计、情报等人员和大专院校专业教师、研究生及高年级学生，亦可供需要了解有色冶金历史、现状及今后发展动向的企业生产管理人员参考。

### 有色金属提取冶金手册

#### 有色金属总论

《有色金属提取冶金手册》编辑委员会 编

本卷主编 赵天从 何福煦

责任编辑 刁传仁

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷30号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 9.375 插页 1 字数 245 千字

1992年10月第一版 1992年10月第一次印刷

印数 00,001~2,500册

ISBN 7-5024-0961-0

TF·222(课外)定价12.00元

# 《有色金属提取冶金手册》

## 编辑委员会

主任：赵天从

副主任：傅崇说 何福煦 梅 焯  
郑蒂基

委员：（依姓氏笔划为序）

龙远志	卢宜源	任鸿九	陈文修
汪锡孝	李洪桂	何福煦	杨重愚
杨济民	林振汉	夏忠让	郑蒂基
钟海云	赵天从	赵秦生	唐帛铭
莫似浩	徐日瑶	宾万达	梅 焯
傅崇说	彭容秋	潘叶金	

秘书：任鸿九（兼） 卢宜源（兼）  
江绍策

# 总 序 言

《有色金属提取冶金手册》是为有色金属工作者编写的一套较全面的工具书和参考书。凡从事有色金属提取冶金方面的生产、科研、设计、情报等科技人员都可从中找到简明扼要的现代资料。这套手册也可作为有色冶金专业教师、研究生及高年级学生的辅助教材，并可供需要了解有色冶金历史、现状及今后发展动向的企业经营管理人员参考。在不大的篇幅内系统介绍各种主要有色金属的生产是本手册的特点。

这套手册介绍了10种重金属、4种轻金属、9种高熔点稀有金属、全部稀土金属及金银铂钯等贵金属的发展史略，介绍了这些金属的提取冶金有关的物理化学、工业矿物原料、冶炼和精炼方法、工艺技术参数、现代化生产设备，有色金属提取冶金的能源与节能等，内容叙述详略适当，数据翔实可靠。

这套手册分为14卷陆续出版。

参加这套手册的编写人员主要为中南工业大学有色冶金系的教授和副教授。各卷的书名及其主编人如下：

- |           |     |         |
|-----------|-----|---------|
| 1. 有色金属总论 | 赵天从 | 何福煦     |
| 2. 铜镍钴    | 夏忠让 |         |
| 3. 锌镉铅铋   | 彭容秋 |         |
| 4. 锡铋汞    | 汪 健 | 赵天从     |
| 5. 铝      | 杨重愚 | 龙远志 杨济民 |
| 6. 镁      | 徐日瑶 |         |
| 7. 锂和铍    | 汪锡孝 |         |
| 8. 钨钼铼    | 李洪桂 |         |
| 9. 钛锆铪    | 莫似浩 | 林振汉     |
| 10. 钒钽铌   | 赵秦生 | 钟海云     |

- |           |         |
|-----------|---------|
| 11. 稀土金属  | 潘叶金     |
| 12. 贵金属   | 卢宜源 宾万达 |
| 13. 现代化设备 | 陈文修 梅炽  |
| 14. 能源及节能 | 唐帛铭     |

在收集素材的过程中得到了校内外不少同志的大力支持，特此致谢。

《有色金属提取冶金手册》编辑委员会

1990年10月

## 本卷序言

本卷作为《有色金属提取冶金手册》书的第一卷，取名为《有色金属总论》，是对有色金属各个方面的一个轮廓介绍，用以囊括并集中其他各卷所不便详述或缺略，然而又是应当了解的金屬常識。本卷内容包括：金属的基本性质及其分类，有色金属生产发展简史，工业矿物原料及矿产资源的储量和产地，国外重要有色冶炼厂和精炼厂的概况，商品金属的标准及用途，金属的产销状况，市场价格，世界大的跨国有色冶金公司有色金属学会和行业组织，有色金属的战略储备等。

书中的单位均用法定计量单位，但汞按市场惯例计量（每瓶76磅折合34.47kg汞），金属的市场价格用美元或英镑表示。矿物名词、外国人名和地名、厂矿及其所属公司名称等只在首次出现时在其后的括号内注有原文。

本卷1~3、9~10章由赵天从撰写，4~8章由何福煦撰写。在撰写过程中，王立川、刘醒泉、夏忠让、彭容秋、卢宜源、龙远志、徐日瑶、恽顺芳、杨重愚、汪锡孝、罗天开、李洪桂、孙培梅、莫似浩、周良益、张永柱等同志提供了许多宝贵资料，笔者在此表示衷心的感谢。

由于笔者水平有限，书中难免存在缺点和错误，诚恳希望读者批评指正，俾在再版时订正。

编者

1990年12月

# 目 录

<b>第一章 有色金属的分类</b> .....	1
第一节 金属元素的定义及其主要性质.....	1
第二节 金属在元素周期表中的位置及其分类.....	4
第三节 金属元素按地球化学的分类.....	6
第四节 金属按提取冶金学科的分类.....	6
第五节 有色金属按现代用途的分类.....	8
<b>第二章 有色金属生产发展史略</b> .....	9
第一节 金属元素的发现或验证年份.....	9
第二节 有色金属生产发展史略.....	10
<b>第三章 有色金属的矿物和矿床</b> .....	37
第一节 重金属的主要矿物和矿床.....	37
第二节 轻金属的主要矿物和矿床.....	53
第三节 高熔点稀有金属的主要矿物和矿床.....	59
第四节 稀散金属的主要矿物和矿床.....	67
第五节 贵金属的主要矿物和矿床.....	69
第六节 稀土元素.....	71
<b>第四章 有色金属资源的储量及其地理分布</b> .....	73
第一节 有色金属在地壳中的平均丰度.....	73
第二节 世界主要有色金属的储量及其地理分布.....	74
<b>第五章 有色金属提取冶金方法概述</b> .....	123
第一节 有色金属提取冶金的一般方法.....	123
第二节 有色金属提取冶金工艺流程的分类.....	131
<b>第六章 有色金属商品的标准</b> .....	135
第一节 标准化组织.....	135
第二节 我国现行的有色金属冶金产品的标准.....	139



<b>第七章 有色金属的用途、供需和价格</b> .....	162
第一节 有色金属的世界贸易.....	162
第二节 重金属的用途、生产、消费及价格.....	164
第三节 轻金属的用途、生产、消费及价格.....	200
第四节 高熔点稀有金属的用途、生产、消费及价格.....	214
第五节 贵金属的用途、生产、消费及价格.....	230
<b>第八章 有色金属冶金工厂及跨国冶金公司</b> .....	241
第一节 世界主要有色金属冶金工厂.....	241
第二节 世界一些大的跨国有色冶金公司.....	245
<b>第九章 有色金属的学会、行业组织及科研机构</b> .....	262
第一节 有色金属的学会.....	262
第二节 有色金属的行业组织.....	267
第三节 有色金属的科研机构.....	275
<b>第十章 有色金属的战略储备</b> .....	281
第一节 资本主义国家的有色金属供需情况.....	281
第二节 资本主义国家有色金属的战略储备.....	284
主要参考文献.....	286

# 第一章 有色金属的分类

## 第一节 金属元素的定义及其主要性质

什么样的元素才叫金属？从化学角度看，金属是指在溶液中容易生成正离子的化学元素，其氧化物与水结合形成氢氧化物而不形成相应的酸。金属之间在化学上的差别主要表现在电化序方面。许多化学反应，尤其是氧化-还原反应，决定于其电极电位的正负及其数值的大小。从物理学角度看，金属的原子外层结构中都含有游离的或易受激化的电子，因而具有良好的导电性(图1-1)和导热性(图1-2)以及金属光泽，并且大都具有一定的延展性。

不具备金属性质的元素称为非金属。但有几种元素，在不同形态具有金属或非金属的性质，称为半金属或类金属。这些元素是碳、硅、锗、砷、锑、硒和碲，它们大都有几种同素异构体，其中有些呈金属或半金属性质，也有些呈非金属性质。例如，呈石墨形态的碳是半金属性质、而呈金刚石结构的碳是非金属性质。硅和锗仅有一种呈金刚石结构的半金属形态。普通形态的锗和锑具有相当好的导电性，但至少都有一种非金属同质异构体。固态的硒大约有二种为半金属和二种为非金属。碲是半金属，也是无定形态。所有这些半金属的氧化物的水溶液都是弱酸性。硒、碲、砷、锑的氧化物在强酸中略带碱性，可算为两性氧化物。

图1-1中的数值是电阻率( $\mu\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$ ,  $0\sim 20^\circ\text{C}$ )的倒数，其中最小的数值用最小的黑圆点表示，最大的数值用最大的黑圆点表示。当然这只是一种定性的对比，对各元素的测定值仍以写在各元素符号下的数值为准，未列出数值的元素，其导电率按所选单位计算均小于 $10^{-3}$ 。图1-1指出，铜、银、金的导电性特别好，而半金属的导电性非常差。

图1-2表明铜、银、金的导热性，由于其原子构型的特殊，



IA											VIA	0					
1	H											H	He				
2	Li 0.71	Be 1.59	IIA								N	O	F	Ne			
3	Na 1.34	Mg 1.59	IIIA		B 0.238	Al 2.09	IVA	VA	VIA								
4	K 0.96	Ca 1.3	IIIB		III B	IV B	V B	VI B	VB	VI B	VI B	VI B	S 0.0029	Cl	Ar		
5	Rb	Sr	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	
			Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Pb	Bi	Po	At	Rn
					0.54	1.67	0.59	0.71	2.93	0.29S	0.389	0.347	0.09	0.21	0.059		
					0.88	0.71	4.22	0.92	0.238	0.63	0.21	0.059					
					0.46	0.67	0.59	4.14	1.13								
					0.67	0.46	0.67	0.59	4.14	1.13							
					0.67	0.46	0.67	0.59	4.14	1.13							

图 1-2 金属的导热性

与图1-1所示的导电性一样,都特别好。元素硫的导热性特别差,可作为代表说明,所有非金属的导热性都是差的,呈金刚石结构的碳的导热性也非常差。图1-2中元素导热率的单位为 $\text{J}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $25^\circ\text{C}$ )。

## 第二节 金属在元素周期表中的位置及其分类

元素周期表是按原子序数排列的,从氢开始原子序数逐一增大,原子核的核电荷和核外电子数也逐一增加,彼此衔接或相互成组的元素在物化性质上都有一定的规律性变化。多年来科学家为了充分表达各种元素的相互关系,曾提出各式各样的元素周期表排列形式,但最通用的只有短表和长表两种形式。短表在1930年以前曾广泛流行,但现代广泛采用长表,如图1-3所示,其中列有已发现的109种元素,其中可称为金属的有93种。长表中的元素分为7个周期和18列,从第4周期开始又分为主(A)、副(B)两组。主组元素位于长表的两侧,是代表性元素或称典型元素,副族元素位于长表的中部,称为过渡元素。

过渡金属元素具有高的熔点,显著的金属光泽和顺磁性。

以上已经述及金属的导电性及导热性,还应举出原子半径与元素周期性的关系,也用黑圆点的大小来表示,如图1-4所示。

图1-4表明,同一周期的元素,从左到右随着核电荷的增加,原子半径由大变小,这是由于原子核对各电子层的作用力增强,使原子半径变小的缘故。但这种递减程度逐渐减小。例如由金至铋,其原子半径均相差无几。又同一族元素从上到下,由于电子层数增多,使原子半径由小变大。众所周知,只有原子半径相近的原子才易于形成共晶或结合成化合物。

冶金过程的实现都是以元素物化性质的规律为基础的。例如,根据元素电负性的差别,用活泼元素(如锌)来置换溶液中的 $\text{Cu}^{2+}$ 或 $\text{Ag}^+$ ,从而实现溶液净化或回收金属的目的;根据元素原子半径的差别和其他性质,可用溶剂萃取分离的方法分离性质相近的元素,如用 $\text{P}_{204}$ 萃取分离镍和钴;利用元素蒸气压的差别以

IA							VIA	0
1								
2	Li 1.549	Be 1.123						
3	Na 1.896	Mg 1.598		B 0.98	C 0.914	N 0.92		
4	K 2.349	Ca 1.970		Al 1.429	Si 1.316	P 1.28	S 1.27	
5	Rb 2.48	Sr 2.148		Ga 1.408	Ge 1.366	As 1.39	Sb 1.40	
6	Cs 2.67	Ba 2.215		In 1.660	Sn 1.620	Sb 1.59	Te 1.60	
				Zn 1.379				
				Cu 1.276				
				Ni 1.244				
				Co 1.252				
				Fe 1.260				
				Mn 1.261				
				Cr 1.267				
				V 1.333				
				Ti 1.467				
				Zr 1.597				
				Nb 1.456				
				Mo 1.396				
				Tc 1.358				
				Ru 1.336				
				Rh 1.342				
				Pd 1.373				
				Ag 1.442				
				Cd 1.543				
				Au 1.439				
				Hg 1.570				
				Pt 1.385				
				Ir 1.355				
				Os 1.350				
				W 1.394				
				Re 1.373				
				Ta 1.457				
				Hf 1.585				
				La 1.871				
				Tl 1.712	Pb 1.746	Bi 1.70	Po 1.76	

图 1-4 元素的原子半径

实现真空冶金中分离或提取高纯金属。熟练掌握元素周期表是研究提取冶金技术的重要理论基础。

### 第三节 金属元素按地球化学的分类

金属元素在自然界赋存的状态大致有一定规律性。地球化学工作者把它们分为亲铁、亲铜、亲石和亲气四大类，分别集中于地球的铁、硫化物、硅酸物和大气中，见表1-1。

表 1-1 元素按地球化学的分类 (有些元素跨组)

亲铁元素	亲铜元素		亲石元素	亲气元素
	陨石	地壳		
C P Fe	P S V	S Fe Co	Li Be B O F	H C N
Co Ni Ge	Cr Mn Cu	Ni Cu Zn	Na Mg Al Si Cl	O Cl Br
Mo Ru Rh	Zn As Se	Ga As Se	K Ca Sc Ti V	I 惰性气体
Pd Sn Tu	Ag Cd Te	Mo Rh Pd	Cr Mn Br Rb Sr	
Re Os Ir		Ag Cd In	Y Zr Nb I Cs	
Pt Au		Sb Te Hg	Ba La Hf Ta W	
		Tl Pb Bi	Th U 稀土元素	

对陨石和冶金产物的研究证明了元素在自然界赋存的规律性。有些元素在自然界中交叉存在，是因为铁、硫、氧在不同的场合丰富程度也不相同的缘故。例如，陨石内铁成分高，镍和钴在元素周期表中与铁接近，就成为亲铁元素，而铬则表现为亲铜元素，地壳内的铁远较氧和硫丰富，所以镍和钴与硫结合表现为亲硫元素，而铬则与氧结合表现为亲石元素，这种分类对了解矿床内有价金属的赋存状态和分布具有参考价值。

地球化学的主要任务是研究元素在宇宙和地壳中的丰度和分布，后者无论在宏观上或微观上对提取冶金都具有指导意义。

### 第四节 金属按提取冶金学科的分类

在工业生产上习惯地把金属分为铁和非铁两大类，并把铬和锰与铁列在一起。我国沿用苏联的名称把金属分为黑色金属和有





### 第五节 有色金属按现代用途的分类

在工业上有色金属按现代用途划分为以下几类：

重金属：铜、铅、锌、锡

轻金属：铝、镁、钛

贵金属：金、银、铂族金属

钢铁工业金属：镍、锰、铬、钴、钼、钨、钒、铌和钽

电子工业金属：镉、镓、锗、汞、铟、铯、硒、碲

核工业金属：钍、铀、钍、铯、铷、铍、稀土金属

化学工业金属：铋、铟、铷