

苏联高等学校教学用书

稀有金属冶金学教程

Г. А. 麦耶尔松

А. Н. 泽里克曼

著

冶金工业出版社

苏联高等学校教学用书

稀有金属冶金学教程

Г.А. 麦耶尔松 A.H. 澤里克曼 著

冶金工业部有色金属工业管理局編譯科
中南矿冶学院稀有金属冶金教研組 合譯

冶金工业出版社

本書系根据苏联冶金出版社出版的 Г. А. 麦耶尔松和 А. Н. 澤里克曼合著的“Металлургия редких металлов”一書 1955 年版譯出。原書經苏联高等教育部审定为高等学校冶金系教学参考書。

原書的評閱者为教授、博士 К. А. 布尔沙科夫，化学博士 Н. Х. 阿布里科索夫，列宁格勒矿业学院有色金属及稀有金屬冶煉教研室。

内容包括稀有高熔点金屬（鎢、鉬、鈮、鈳、釷、鈾、鋳）和稀散金屬（镓、銦、鉍、銻、碲、碲和鏷）的制取和每种金屬的物理化学性質及应用范围。此外，并叙述了用各种原料制取稀有金屬化合物及制取純金屬和重要合金的工艺过程及理論基础。

此外，我們还将苏联稀有金屬研究院及“胜利者”工厂，組織讀者討論本書所提的意見及作者本人在討論会上的發言，附在該書后面供我国讀者参考。

本書可作为高等工业学校冶金系、化工系和綜合性大学化学系的教学用書，也可供冶金專業工程技術人員参考。

Г. А. Мейерсон и А. Н. Зеликман
МЕТАЛЛУРГИЯ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ
Металлургиздат (Москва-1955)

稀有金屬冶金学教程

冶金工业部有色金屬工业管理局編譯科 合譯
中南矿冶学院稀有金屬冶金教研組
冶金工业出版社出版（北京市灯市口甲45号）

北京市书刊出版业营业許可証出字第 093 号

北京五三五印刷厂印 新华書店发行

1960 年 4 月 第一版

1960 年 4 月北京第一次印刷

印数 4,515 册

开本 $850 \cdot 1168 \cdot \frac{1}{32}$ • 497,000 字 • 印张 $20 \frac{28}{32}$ •

統一書号 15062 · 2029 定价 2.30 元

目 录

序 言	1
概 論	4
第 1 节 关于稀有金属的概念	4
第 2 节 稀有金属的分类	10
第 3 节 苏联稀有金属工业的发展史	14
第 4 节 从矿石原料中提取稀有金属的各主要工艺方法概述	17

第一篇 鎢、鉬冶金

第一章 鎢、鉬概述	21
第 5 节 簡史	21
第 6 节 鎢和鉬的性質	22
第 7 节 鎢和鉬化合物的性質	26
第 8 节 应用范围	40
第二章 三氧化鎢的生产	45
第 9 节 鎢的矿物、矿石及精矿	45
第 10 节 鎢精矿的处理方法	50
第 11 节 黑鎢矿精矿的分解	53
第 12 节 溶液的净化	59
第 13 节 从溶液中析出鎢化合物	62
第 14 节 白鎢矿精矿的处理	68
第 15 节 三氧化鎢的成本	76
第 16 节 鎢酸中杂质的清除和三氧化鎢的制取	77
第三章 鉬化合物的生产	83
第 17 节 鉬的矿物、矿石及其选矿	83
第 18 节 輝鉬矿精矿处理方法概述	88
第 19 节 輝鉬矿精矿的氧化焙燒	89

第20节	純三氧化鋁的生产	101
第21节	由低品位精矿和生产殘料中回收鋁	113
第22节	鋁鉛矿精矿的处理	117
第四章	金屬鎢和金屬鉬的生产	119
第23节	用氫还原三氧化鎢的物理化学基础	119
第24节	用氫还原三氧化鎢的实践	128
第25节	檢查鎢粉顆粒組成(粒度)的方法	135
第26节	用氫还原三氧化鉬	138
第27节	用碳还原三氧化鎢的物理化学条件	140
第28节	用碳还原三氧化鎢的实践	146
第29节	电解法制取鎢和鉬	150
第30节	密致可鍛性鎢的生产	151
第31节	用陶瓷冶金法生产密致可鍛鉬	177
第32节	煉制的鉬	179

第二篇 鈿、鈳冶金

第五章	鈿、鈳概述	184
第33节	簡史	184
第34节	鈿和鈳的性質	184
第35节	鈿和鈳化合物的性質	187
第36节	鈿和鈳的应用范围	192
第六章	鈿和鈳化合物的生产	195
第37节	鈿和鈳的矿物、矿石和精矿	195
第38节	精矿处理的产品	198
第39节	鈿鉄矿-鈳鉄矿精矿分解方法概述	199
第40节	苛性鈉熔化法处理鈿鉄矿-鈳鉄矿	201
第41节	苛性鉀或碳酸鉀熔合法处理鈿鉄矿和鈳鉄矿	207
第42节	鈿与鈳的分离	209
第43节	用氫氟酸分解鈿鉄矿-鈳鉄矿	220
第44节	鈳鈿鈳精矿的处理	221
第45节	鈳与鈿和鈳的分离	223
第46节	氯化法处理鈳鈿鈳原料	225

第七章 金属钽和金属铌的生产	229
第47节 金属热还原法的基本概念.....	229
第48节 生产粉状钽的钠热还原法.....	238
第49节 电解法生产钽粉.....	241
第50节 钠热还原法和电解法生产钽的比较.....	247
第51节 五氯化钽的镁热还原法.....	248
第52节 金属铌的生产.....	250
第53节 密致可锻性钽的生产.....	253
第54节 金属钽残料的再生.....	262

第三篇 钒 冶 金

第八章 钒的概述	264
第55节 钒的性质.....	264
第56节 钒的化合物.....	265
第57节 钒的应用范围.....	270
第九章 钒原料的处理	273
第58节 矿物、矿石及矿石精矿.....	273
第59节 由铁矿石中提取钒.....	274
第60节 可锻纯金属钒的制取.....	287

第四篇 钛、锆冶金

第十章 钛和锆的概述	290
第61节 简介.....	290
第62节 钛和锆的性质.....	290
第63节 钛和锆的化合物.....	296
第64节 钛和锆的应用范围.....	307
第十一章 钛化合物的生产	314
第65节 钛的矿物、矿石及精矿.....	314
第66节 处理钛精矿所得的产品.....	317
第67节 钛精矿分解方法概论.....	317
第68节 从钛铁矿生产二氧化钛.....	320
第69节 由榍石和钙钛矿生产二氧化钛.....	334

第70节	四氯化钛的生产	335
第十二章	锆化合物的生产	342
第71节	矿物、矿石和精矿	342
第72节	处理锆英石精矿所得的产品	345
第73节	分解锆英石精矿的方法	346
第74节	用苛性钠熔合法分解锆英石	346
第75节	用石灰烧结法分解锆英石	349
第76节	从溶液中析出锆	351
✓第77节	锆氟酸钾的生产	355
✓第78节	四氯化锆的生产	356
第79节	锆与铪的分离	363
第十三章	粉状和海綿状金属钛和金属锆的生产	370
✓第80节	二氧化钛的钙热还原	371
✓第81节	二氧化锆的钙热还原	375
✓第82节	用氯化钙还原二氧化钛和二氧化锆	375
✓第83节	四氯化钛的还原	377
✓第84节	用镁还原四氯化锆	389
✓第85节	锆氟酸钾的钠热还原	396
第86节	用电解法制取钛和锆	399
✓第87节	钛粉和锆粉的可燃性及安全技术条例	405
第十四章	密致可锻性钛和锆的生产	407
✓第88节	碘盐的热分解	407
✓第89节	用金属陶瓷法生产可锻性钛	413
✓第90节	用熔化法生产可锻性钛	414
✓第91节	用金属陶瓷法制取可锻性锆	422
✓第92节	熔化法生产可锻性锆	425
✓第93节	生产可锻性钛和锆的各种方法比较	431

第五篇 高熔点稀有金属合金

第十五章	无碳和少碳高熔点稀有金属合金	435
第94节	钨及钼的合金	435
第95节	钨钼合金	449

第96节 鈦基金屬	453
第97节 鋳基金屬	468
第十六章 碳化物硬質合金	471
第98节 鑄造碳化鎢	473
第99节 金屬陶瓷硬質合金	478
第100节 堆焊硬質層用的粒狀混合物	507
第101节 碳化鈦基的抗熱和耐熱合金	508

第六篇 稀有分散性金屬

第十七章 鎳	515
第102节 鎳的性質	515
第103节 鎳的化合物	517
第104节 鎳的應用範圍	519
第105节 鎳的原料來源	520
第106节 自氧化鋁生產廢料中回收鎳	522
第107节 從電解精煉鋁時所獲得的殘陽極合金中提取鎳	527
第108节 從鋅生產廢料中提取鎳	530
第109节 純鎳化合物的制取	531
第110节 金屬鎳的制取	532
第十八章 鈷	533
第111节 鈷的性質	533
第112节 化合物	534
第113节 鈷的應用範圍	537
第114节 鈷原料來源	538
第115节 自火法煉鋅的廢料中回收鈷	540
第116节 自濕法煉鋅生產的廢料中回收鈷	546
第117节 自溶液中電解鈷	553
第十九章 鉍	555
第118节 鉍的性質	555
第119节 鉍的化合物	556
第120节 鉍的應用範圍	559
第121节 鉍的原料來源	560

第 122 节	自生产廢料中提鉍的方法	561
第 123 节	自鋅生产廢料中提取鉍	562
第 124 节	从鼓風爐熔煉鉛时所得的烟塵中回收鉍与鎘	567
第 125 节	自焙燒黃鉄矿所得的烟塵中回收鉍	569
第二十章 鍺		570
第 126 节	鍺的性質	570
第 127 节	鍺的化合物	572
第 128 节	鍺的应用範圍	576
第 129 节	原料来源	578
第 130 节	从鋅生产殘料中提取鍺	580
第 131 节	自处理煤的廢料中提取鍺	585
第 132 节	鍺的制取	590
第 133 节	制取高純度鍺和具有指定特性的鍺單晶	591
第 134 节	鍺殘料的处理	601
第二十一章 硒和碲		603
第 135 节	硒和碲的性質	603
第 136 节	化合物	604
第 137 节	应用範圍	609
第 138 节	制取硒和碲的来源	610
第 139 节	从銅电解精煉的阳極泥中提取硒和碲	612
第 140 节	从硫酸厂和亞硫酸盐法紙漿工厂烟塵中提取硒	622
第 141 节	从含金矿石中提取硒	626
第二十二章 銻		627
第 142 节	發現历史	627
第 143 节	銻的性質	627
第 144 节	銻的化合物	628
第 145 节	銻的应用範圍	632
第 146 节	原料来源	632
第 147 节	从廢料中提取銻的工艺	633
第 148 节	金屬銻的生产	634
参考文献		636

序 言

稀有金屬在現代工業技術上的作用正在日益增大。稀有金屬在頗大程度上決定着像特种鋼生產、硬質合金和熱強合金生產、電工技術、電真空技術以及一系列新興工業部門的發展。最近十年來，有許多新的金屬進入了工業應用的範圍；稀有金屬的生產規模在擴大，產品品種也在增多。

與我國在蘇維埃政權年代建立起來的稀有金屬工業順利發展的同時，也培養了大批這些金屬的冶金及化學工藝方面的工程技術幹部。為了在設有有色金屬冶金專業的所有高等院校中培養具有廣博專業知識的冶金工程師，開設了稀有金屬課程和相應的專門課程。

最近二十年，在我國曾經出版了一系列關於稀有金屬化學和物理化學性質方面的以及關於某些稀有金屬冶金方面有價值的書籍。

1932年出版的И.Я.巴什洛夫所著的一部書是蘇維埃文獻中第一部批判性地綜合稀有金屬生產技術的著作，然而這部書現在看來當然是陳舊了。

必須編著反映稀有金屬冶金領域現狀的稀有金屬冶金教科書的時機早已成熟了。

編寫這樣的教科書時，應當考慮到稀有金屬冶金的特點之一是生產技術的不斷進步，因此，必須通過對比研究現行的生產方法和設想的未來的方法的途徑來反映稀有金屬冶金工業技術的發展。

本書是根據稀有金屬冶金普通課程和稀有金屬冶金專門化課程的教學大綱編寫的。書中敘述了稀有高熔點金屬（鎢、鉬、鉭、

銻、鈹、鈦、鋳）及分散元素（鎳、鈮、鈹、鎢、錒、釷和鐳）的生產工藝過程。

作者認為有必要特別注意三類工藝实例的講述。

屬於其中第一類的是生產工藝比較穩定并經過詳細研究的那些金屬的生產。以這些金屬的生產過程作為实例來分析稀有金屬冶金方面所採用的一系列過程原理是最為方便的，例如鎢、鉬就屬於這類金屬，鉭部分屬於這類金屬。

另一方面，對於那些由於需要急劇擴大生產規模，而使其生產工藝處於迅速發展階段的金屬，必須予以極大的注意。鈦和鋳可作為這類金屬的实例。

屬於第三類的是那些從化學和冶金生產部門的各種廢料中提取出來的分散性稀有金屬的生產工藝。

關於這些金屬的生產工藝知識，不僅對專門從事這方面工作的人員來說必須掌握，而在有色冶金工業部門工作的所有工程師也應該通曉，因為他們必須順便從一系列有色金屬的生產廢料中提取分散性稀有金屬。

同時必須考慮到，許多稀有金屬生產部門的最終產品是合金。這些合金的生產是總工藝過程的不可缺少的階段，與金屬的生產有密切的關係。例如，碳化物硬質合金的生產，鈦基和鋳基合金的生產以及許多母合金的生產都屬此類。因此，本書根據教學大綱加入了“稀有高熔點金屬合金”這一篇。

對各種生產過程，只要可能，都從物理化學方面加以解釋和對各種不同工藝方案作批判分析。

在本書中，超出普通課程教學大綱範圍的課文系用小號鉛字排印以資區別。

本書第四章、第七章、第十三章至第十六章及第60節系Г·А·麥耶爾松所寫；第一章至第三章、第五章、第六章、第八章至第十二章、第十七章至二十二章系А·И·澤里克曼所寫。概論則系由著者共同寫成。

著者謹向審閱人技術科學博士 К·А·鮑里沙 科夫、Н·С·格列依維爾和 Н·Х·阿布利索夫致謝，同時向莫斯科有色金屬與黃金學院輕金屬冶金教研組、國立稀有金屬科學研究院（Гиредмет）以及全蘇硬質合金科學研究院（ВНИИС）的工作人員致謝，感謝他們給了我們很多寶貴的指示。

概 論

“稀有元素”这一名称包括 Д. И. 門捷列夫周期系中的 61 种元素，其中有 55 种是金屬（見表 1）。

从二十世紀初叶起，在工业上应用的稀有金屬的数目日益增加。沒有稀有金屬的应用，現時就不可能存在和不可能进一步發展像下列这些重要的工业部門：特种鋼、超硬質合金、热穩合金（Жаростойкий сплав）、热强合金（Жаропрочный сплав）以及抗蝕合金的生产，照明电灯、无綫电真空管和 X 射綫器械生产，飞机、汽車和拖拉机制造业用的各种零件的生产、无綫电定位器和光电子仪器的生产以及在發展世界工业技术方面开辟新紀元的原子能的生产。

进一步發展苏联国民經济的任务，要求大大增長优質鋼和有色金屬的生产，發展机器制造业，要求进一步电气化，无綫电化以及發展一系列其他工业部門，为此就需要稀有金屬。这就决定了必須进一步猛烈增加稀有金屬的生产以及扩大工业产品的品种。

第一节 关于稀有金屬的概念

确定已屬於所謂“稀有”元素类的元素的共同特点是很困难的，因为稀有金屬元素类包括 Д. И. 門捷列耶夫周期系中大部分元素（100 种元素中有 61 种是稀有元素）。

从表 1 可見，粗綫方格中的稀有元素分布在周期系的各个不同族中，并且相应地具有不同的性質。無論是按在元素周期系中的位置，或者按物理化学性質的共同性都不能将这些元素归納为一类。

稀有元素的共同特点是在自然界中分布量很少这一概念也是沒有根据的，这从表明各种元素在地壳中（在所研究的部分——

[illegible]

鋤系元素

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
140.908	140.908	144.24		150.43	152.0	156.9	159.2	162.46	164.94	167.27	168.94	173.04	174.99

元素在地壳

十进级	含量范围%	元素及其重			
I	10-50	C 49.13	Si 26.00		
II	1-10	Al 7.45	Fe 4.20	Ca 3.25	Na 2.40
III	1-10 ⁻¹	Ti 0.61	C 0.35	Cl 0.20	P 0.12
IV	10 ⁻¹ -10 ⁻²	F 0.08	Ba 0.03	N 0.04	Sr 0.035
V	10 ⁻² -10 ⁻³	Kb 8×10^{-3}	Li 5×10^{-3}	Y 5×10^{-3}	B 5×10^{-3}
VI	10 ⁻³ -10 ⁻⁴	Sc 6×10^{-4}	As 5×10^{-4}	U 4×10^{-4}	Be 4×10^{-4}
VII	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁵	Se 8×10^{-5}	Sb 5×10^{-5}	Nb 3.2×10^{-5}	Ta 2.4×10^{-5}
VIII	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶	Hg 5×10^{-6}	Pd 5×10^{-6}	Ru 5×10^{-6}	Os 5×10^{-6}
IX	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁷	Nc 5×10^{-7}	Au 5×10^{-7}	Re 10^{-7}	
X	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁸	Kr 2×10^{-8}			
XI	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁹	Xe 3×10^{-9}			
XII	10 ⁻⁹ -10 ⁻¹⁰	Ra 2×10^{-10}			
XIII	10 ⁻¹⁰ 以下	Pa 7×10^{-11}	Po 5×10^{-14}		

深約 16 公里的地壳中) 的分布情况的表 2 可知。最初由 克拉克編制的地壳組成表后来已經訂正得相当精确了。

在研究元素在地壳中的分布情况这一事业上, 苏联学者 B. И. 維尔納德斯基院士、A. E. 費尔斯曼院士、A. И. 維諾格拉多夫院士以及 B. Г. 赫洛平院士等都作出了很大的貢獻。

在表 2 中, 稀有金屬的下方均划有橫綫。从該表的数据可見, 所謂“稀有金屬”大多数是在地壳中分布量很少的。但其中有許多种稀有金屬分布量比早已知道的, 而且在工业技术上已掌握得很好的金屬多得多。例如, 鈦在元素分布量序列中占第十位, 其在地壳中的含量大于大家所熟知的而且分布很广的元素之含量, 像碳、銀、鎳和許多其他元素。

不久以前开始在工业技术上应用的一些稀有金屬, 例如鋳、鈦、鋰、鋁、鉍, 它們在地壳中的含量都大于那些在工业技术上已普遍应用的金屬如, 鉛、錫、汞、銀等。

除分布量(在地壳中的含量百分数)以外还必須考虑到元素的分散程度, 即它在金屬矿床中的聚集能力。

例如, 鎢和鎳在地壳中的含量多于銻、銀、鉍, 元素鉍和鈾的分布較金和汞广。

但是, 我們覺得鎳、鈾、鉍和鎢似乎要比汞、銻、金和銀稀有得多, 因為它們不能够或者很少能够形成独立的矿物和矿床。它們是以类質同像的雜質形态分散于別的矿物的晶体中。

由于这些元素的分散性以及未能被集中聚积, 使得長期未能被發現, 仅仅是在研究出能够發現和定量極微量元素的光譜分析法以后, 才有可能發現它們。

这样一来, 在地壳中的分布量少, 虽然是大部分稀有金屬的特征, 但仍然不能錯誤地認為这是稀有金屬类所有金屬的共同特点。

稀有金屬在工业技术上的应用比其他金屬要晚得多。这种情况是所有稀有金屬的最共同的特点。