

稀有金属化学

宋玉林 董贞俭 编著

辽宁大学出版社

一九九一年·沈阳

责任编辑 姜全坤
封面设计 邹本忠
责任校对 王东芳

稀有金属化学

宋玉林 董贞俭 编著

*

辽宁大学出版社出版 (沈阳市崇山中路66号)
辽宁省新华书店发行 沈阳市第二印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 21.25 字数: 490千
1991年 8月第1版 1994年 8月第1次印刷
印数: 1-700

*

ISBN 7-5610-1076-1

O·034 定价: 12.00元

(辽)第9号

前 言

在人们已经认识的八十多种金属中，约有六十多种是稀有金属。这些稀有金属与国民经济发展、尖端科学技术以及工农业生产、人民生活密切相关。因此，稀有金属工业的发展，对我们国家的社会主义现代化建设，将起着极其重要的作用，在一定程度上也反映了一个国家的科学技术的发展水平。

由于稀有金属，它们的合金及其化合物具有许多特殊性能，目前已成为冶金、机械、化工、轻工、纺织、电子、医药等工业，尤其是原子能、宇航、卫星、通讯、能源等尖端技术领域内不可缺少的新型材料。世界各国对稀有金属的研究予以高度重视，各国都在竞相研制新产品，开发新用途。我国对于稀有金属的研究极为重视。现在已建立了较为完善的冶炼、加工、应用等体系，拥有一整套的专业研究队伍。

从已出版的有关稀有金属的专著来看，大部分是叙述稀有金属的选矿、冶炼及其加工应用，很少谈到它们的化学。作者认为，为了进一步推动稀有金属工业的发展和社会主义现代化建设事业，很有必要从化学观点出发，写出一本《稀有金属化学》专著。因为，不论从事稀有金属选矿、冶炼的，还是进行稀有金属加工应用的，都需要掌握大量的化学知识。尤其要掌握稀有金属各个元素及它们的大量化合物的化学反应、化合物的合成及其性质和应用。本书将是从事稀有金属工业的工程技术人员的重要参考书。

《稀有金属化学》一书，保持稀有金属概念和分类的框架，从稀有金属和化学结合上出发，把各个稀有金属作为化学元素周期系中的一个化学元素来考虑，全面地、系统地、大量地阐明它们的物理、化学性质、化学反应、化学变化、化合物

的合成、性质及其应用等。这本《稀有金属化学》，也将是无机元素化学的重要补充，所以，本书对各类高等学校从事化学、化工、冶金、环保、材料等专业的教师、学生、研究生、实验室工作者都是重要的教材或参考资料。

本书按稀有金属分类作为章节共七章，稀有放射性金属一章，不包括人工合成放射性元素，着重介绍自然界存在的几个放射性的稀有金属铀、钍、镭。每章从各个稀有金属的发现与存在谈起，对稀有金属及其化合物的物理性质，特别是化学性质进行了系统、全面的论述，并概括地介绍了稀有金属的分离、回收方法和生产工艺流程。同时对它们在各个部门的应用作了较详尽的介绍。作者查阅和收集了近年来国内外稀有金属的有关文献和资料，力图使本书反映出稀有金属化学领域的基本现状和最新成就。书中列举了大量的化学反应方程式，并阐述了许多稀有金属的新配合物和金属有机化合物的性能和应用。此外，还概括地介绍了稀有金属的毒性。

本书由辽宁大学宋玉林、董贞俭同志、沈阳汽车工业学院战凯同志共同编著。由于作者水平有限，加之时间仓促，书中缺点错误在所难免，望各方面专家和读者不吝赐教给予指正。

本书由吉林大学化学系曹锡章教授审阅并提出宝贵意见，特此致谢。

编 者

1989年

目 录

第一章 绪论	1
1.1 稀有金属的概念	1
1.2 稀有金属的分类	4
1.3 稀有金属工艺学的特点	7
1.4 稀有金属及其化合物在经济建设中的应用	9
1.5 稀有金属化学	10
第二章 稀有轻金属化学	12
2.1 锂	12
2.1.1 锂的发现与存在	12
2.1.2 锂及其化合物的性质	13
2.1.3 锂及其化合物的用途	36
2.1.4 锂的冶炼方法	40
2.2 铷和铯	47
2.2.1 铷、铯的发现与存在	47
2.2.2 铷、铯及其化合物的性质	50
2.2.3 铷、铯及其化合物的用途	68
2.2.4 铷、铯的冶炼方法	71
2.3 铍	75
2.3.1 铍的发现与存在	75
2.3.2 铍及其化合物的性质	76
2.3.3 铍及其化合物的用途	88
2.3.4 铍的冶炼方法	91
第三章 稀有分散性金属化学	97
3.1 镓	97
3.1.1 镓的发现与存在	97
3.1.2 镓及其化合物的性质	99

3.1.3	镓及其化合物的用途	112
3.1.4	镓的萃取分离	114
3.1.5	镓的冶炼方法	117
3.2	铟	123
3.2.1	铟的发现与存在	123
3.2.2	铟及其化合物的性质	126
3.2.3	铟及其化合物的用途	136
3.2.4	铟的萃取分离	139
3.2.5	铟的冶炼方法	141
3.3	铊	147
3.3.1	铊的发现与存在	147
3.3.2	铊及其化合物的性质	149
3.3.3	铊及其化合物的用途	158
3.3.4	铊的萃取分离	160
3.3.5	铊的冶炼方法	160
3.4	铋	165
3.4.1	铋的发现与存在	165
3.4.2	铋及其化合物的性质	167
3.4.3	铋及其化合物的用途	185
3.4.4	铋的萃取分离	188
3.4.5	铋的冶炼方法	188
3.5	碲	192
3.5.1	碲的发现与存在	192
3.5.2	碲及其化合物的性质	193
3.5.3	碲及其化合物的用途	202
3.5.4	碲的冶炼方法	204
3.6	铷	208
3.6.1	铷的发现与存在	208
3.6.2	铷及其化合物的性质	209
3.6.3	铷及其化合物的用途	225
3.6.4	铷的冶炼方法	228

3.7 铈	232
3.7.1 铈的发现与存在	232
3.7.2 铈及其化合物的性质	234
3.7.3 铈及其化合物的用途	248
3.7.4 铈的萃取分离	250
3.7.5 铈的冶炼方法	250
第四章 稀有高熔点金属化学	257
4.1 钛	257
4.1.1 钛的发现与存在	257
4.1.2 钛及其化合物的性质	259
4.1.3 钛及其化合物的用途	282
4.1.4 钛的冶炼方法	287
4.2 锆和铪	296
4.2.1 锆、铪的发现与存在	296
4.2.2 锆、铪及其化合物的性质	300
4.2.3 锆及其化合物的用途	312
4.2.4 铪及其化合物的用途	314
4.2.5 锆、铪的冶炼方法	316
4.3 钽	321
4.3.1 钽的发现与存在	321
4.3.2 钽及其化合物的性质	323
4.3.3 钽及其化合物的用途	341
4.3.4 钽的冶炼方法	343
4.4 铌与钼	348
4.4.1 铌、钼的发现与存在	348
4.4.2 铌、钼及其化合物的性质	352
4.4.3 铌及其化合物的用途	360
4.4.4 钼及其化合物的用途	363
4.4.5 铌、钼的冶炼方法	365
4.5 钨	375
4.5.1 钨的发现与存在	375

4.5.2	钼及其化合物的性质	377
4.5.3	钼及其化合物的用途	394
4.5.4	钼的冶炼方法	397
4.6	钨	400
4.6.1	钨的发现与存在	400
4.6.2	钨及其化合物的性质	402
4.6.3	钨及其化合物的用途	414
4.6.4	钨的冶炼方法	417
第五章	稀有贵金属化学	427
5.1	钨	428
5.1.1	钨的发现与存在	428
5.1.2	钨及其化合物的性质	428
5.1.3	钨及其化合物的用途	443
5.2	铼	444
5.2.1	铼的发现与存在	444
5.2.2	铼及其化合物的性质	445
5.2.3	铼及其化合物的用途	456
5.3	钼	457
5.3.1	钼的发现与存在	457
5.3.2	钼及其化合物的性质	458
5.3.3	钼及其化合物的用途	470
5.4	铱	472
5.4.1	铱的发现与存在	472
5.4.2	铱及其化合物的性质	473
5.4.3	铱及其化合物的用途	487
5.5	铱	487
5.5.1	铱的发现与存在	487
5.5.2	铱及其化合物的性质	490
5.5.3	铱及其化合物的用途	500
5.6	铂	501
5.6.1	铂的发现与存在	501

5.6.2	铂及其化合物的性质	503
5.6.3	铂及其化合物的用途	515
5.7	稀贵金属配合物的应用研究现状和前景	518
5.7.1	在均相络合(配位)催化技术中的应用研究	518
5.7.2	在治癌方面的应用研究	520
5.7.3	在电镀方面的应用研究	525
5.7.4	在感光化学中的应用研究	526
5.7.5	稀贵金属配合物一维导体的研究	527
5.7.6	在日光制氢方面的应用研究	527
5.7.7	在固氮、固二氧化碳方面的应用研究	528
5.8	稀贵金属的冶炼方法	529
5.8.1	稀贵金属的原料来源	529
5.8.2	稀贵金属的冶炼方法	530
第六章	稀有稀土金属化学	545
6.1	稀土金属的发现与存在	546
6.2	稀土金属的通性	551
6.2.1	稀土金属的电子层结构	551
6.2.2	镧系元素的氧化态	552
6.2.3	镧系收缩	553
6.2.4	镧系元素的光谱性质	555
6.2.5	镧系元素的磁性	557
6.2.6	镧系元素的标准电极电势	558
6.3	稀土金属及其化合物的性质	559
6.3.1	稀土金属的物理性质	559
6.3.2	稀土金属的化学性质	561
6.3.3	稀土金属的重要化合物	563
6.3.4	稀土金属的毒性	589
6.4	稀土金属及其化合物的用途	591
6.4.1	冶金工业	592
6.4.2	化学工业和石油工业	594
6.4.3	玻璃、陶瓷工业	597

6.4.4	原子能工业	600
6.4.5	电子技术和电器工业	601
6.4.6	农业和医学	602
6.4.7	现代新技术	604
6.5	稀土金属的分离方法	605
6.5.1	溶剂萃取法	605
6.5.2	离子交换法	617
6.6	稀土金属的冶炼方法	623
6.6.1	稀土金属的精矿分解	623
6.6.2	稀土金属的冶炼方法	637
6.6.3	稀土金属的精炼与提纯	642
第七章	稀有放射性金属化学	643
7.1	稀有放射性金属的发现与存在	643
7.2	稀有放射性金属的性质	645
7.2.1	稀有放射性金属的物理性质	645
7.2.2	稀有放射性金属的化学性质	646
7.2.3	铀、钍、镭的重要化合物	647
7.3	稀有放射性金属的用途	658
主要参考文献		660

第一章 绪 论

自然界中各式各样、千变万化的物质都是由 100 多种化学元素所构成的。这些化学元素是人类在长期实践、认识、发展的过程中逐步发现的。它们之中有些被认为是常见（普通）元素，而另一部分则被认为是稀有元素。稀有元素中的金属元素，被统称为“稀有金属”。稀有金属这个概念是历史发展逐渐形成的，沿用至今，已被世界各国所承认。稀有金属大部分是在十九世纪和二十世纪发现的，其中一半以上的金属是在 1860 年至 1924 年间发现的。世界上各个国家对稀有金属的研究极为重视，出版发行了许多有关稀有金属的选矿、冶炼、分离、提取和应用等方面的专著和期刊。这些成果对稀有金属的发展起了巨大的推动作用，为我们充分利用稀有金属为人类服务提供了重要的依据。那么，究竟哪些元素是稀有金属？为什么把它们叫稀有金属？稀有金属又分为哪几类呢？

1.1 稀有金属的概念

在门捷列夫元素周期系中，每族金属中都有稀有金属。稀有金属一般是指在地壳中分布相当分散，并总是和其它矿物混杂在一起的金属。它们很少形成单独的矿床，既不象黄金，能直接采得金灿灿的金块，也不象铁、铜矿，只须通过高温熔炼，即可很容易地制得金属单质。大多数稀有金属居住分散，隐蔽四方，混杂在其它元素的矿床中，很不容易被人发现，更难使它们集合起来，提炼出纯净的稀有金属。对于一些常见的有色金属，人们发现与认识得较早，如我国早在公元前就已经发现并应用了铜、铅、锌。但是，稀有金属绝大多数是在十八世纪以后才被发现的，因而人类对它们认识得较迟，应用也较晚。最早发现的稀有金属钽和钨，也不过只有二百年的历史，其它的稀

表1—1 地壳的平均化学成分
(地壳厚度16公里, 不包括海洋和大气)

组别	含量极限 (重量)%	化学元素和它们的含量 (重量) %									
I	10~50	O 47.2					Si 27.6				
II	1~10	Al	Fe	Ca	Na	K	Mg				
		8.80	5.10	3.60	2.64	2.60	2.10				
III	1~10 ⁻¹	Ti	H	C							
		0.60	(0.15)	0.10							
IV	10 ⁻¹ ~10 ⁻²	Mn	P	S	Ba	Cl	Sr	Rb	F	Zr	
		0.09	0.08	0.05	0.05	0.045	0.04	0.031	0.027	0.020	
		Cr	V	Cu	N						
		0.02	0.015	0.01	0.01						
V	10 ⁻² ~10 ⁻³	Ni	Li	Zn	Ce	Sn	Co	Y			
		8·10 ⁻³	6.5·10 ⁻³	5·10 ⁻³	4.5·10 ⁻³	4·10 ⁻³	3·10 ⁻³	2.8·10 ⁻³			
		Nd	La	Pb	Ga	Nb	Gd				
		2.5·10 ⁻³	1.8·10 ⁻³	1.6·10 ⁻³	1.5·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻³				
VI	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴	Th	Cs	Pr	Sm	Ge	Be	Sc			
		8·10 ⁻³	7·10 ⁻⁴	7·10 ⁻⁴	7·10 ⁻⁴	7·10 ⁻⁴	6·10 ⁻⁴	6·10 ⁻⁴			
		As	Dy	Er	Yb	U	Ti	Mo			
		5·10 ⁻⁴	4.5·10 ⁻⁴	4·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴			
		Hf	B	Br	Ho	Eu	W	Lu			
		3.2·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	1.6·10 ⁻⁴	1.3·10 ⁻⁴	1.2·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴			
VII	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	Tu	Se	Cd	Sb	I	Bi				
		8·10 ⁻⁵	6·10 ⁻⁵	(5·10 ⁻⁵)	(4·10 ⁻⁵)	(3·10 ⁻⁵)	(2·10 ⁻⁵)				
		Ag	In								
		(1·10 ⁻⁵)	(1·10 ⁻⁵)								
VIII	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁶	Hg	Os	Pd	Te						
		7·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶	1·10 ⁻⁶	(1·10 ⁻⁶)						
IX	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷	Ru	Pt	Au	Rh	Re	Ir				
		(5·10 ⁻⁷)	5·10 ⁻⁷	5·10 ⁻⁷	1·10 ⁻⁷	1·10 ⁻⁷	1·10 ⁻⁷				
X	少于10 ⁻⁸	Ac	Ra	Pa	Po	Pu	Rn				
		(6·10 ⁻¹⁰)	1·10 ⁻¹⁰	1·10 ⁻¹⁰	(2·10 ⁻¹⁴)	1·10 ⁻¹⁵	(7·10 ⁻¹⁶)				

有金属大多是在近一百年内发现的。它们的广泛应用也只是在近半个世纪才得以充分显示。至于大规模的生产稀有金属, 则

是在最近一、二十年内才成为现实。

各种元素在地壳中分布情况的数据是地球物理学家在综合各种岩石的大量分析数据的基础上，经过计算得出厚度为16公里内地壳的组成。按重量百分比计算的地壳组成表，最初是由美国科学家克拉克于1889年编制的，后来经过充实和修正（其中尤以稀有元素的变化最大），使表中数据更加准确。各种元素在地壳中的含量的平均值，称为克拉克值。元素在地壳内的丰度，常采用重量百分克拉克值表示。表1—1列出了各种元素的克拉克值。

各种元素在表中按十进制分组：第一组为克拉克值大于10的元素；第二组为克拉克值在10至1之间的元素；第三组为克拉克值在1到0.1之间的元素，依次类推。由表可见，元素在地壳中的分布极不平衡，分布最广的8种元素共占地壳成分的99.6%。而大多数稀有金属在地壳中含量很少。但是，有些稀有金属的分布量却比过去人们熟知的一些金属多得多。如稀有金属锂、钽、铷、铯的分布量多于普通金属砷、锑、铋、银、金的分布量。又如稀有金属钛，在地壳中含量为0.6%，比普通金属铜、铅、锌的存在量大得多，但钛的工业化生产只是从1945年以后才开始，且提取非常困难。因此，钛被认为是稀有金属。另外，有些金属由于在地壳中分布很分散，不能形成单独的矿物和矿床，也被列为是稀有金属。如镓在地壳中总的含量多于常见元素汞、砷和锡，但镓没有单独的矿物，而是以分散的状态存在于其它矿物的晶格中，所以镓属于稀有金属。总之，在地壳中分布量少是一些稀有金属的特征，但却不是全部稀有金属的共同特征。

稀有金属的概念是历史上形成的，带有很大的相对性，它并不是对化学元素进行某种科学分类的结果。但是，这一概念确实被世界各国所公认。不过不同国家划分稀有金属的范围有一定的区别，如钨、钼对世界上大多数国家来说，是稀有

金属，而对某些国家来说，就不是稀有金属。因此，稀有金属概念不是绝对的，它将随着社会生产和科学技术的发展而变化。

1.2 稀有金属的分类

稀有金属的分类有两种，一种是按金属的地球化学特征分类，另一种是按相近的物理化学性质、相似的提取和生产方法以及一些应用上的特征分类。

按金属的地球化学特征, 可将稀有金属分为四类:

(1) 酸性岩浆元素: 锂、铷、铯、镭、钇、铜、锆、钽、铌、钼、钨、钨、铀、钍、锕等及稀土类元素。

(2) 中性岩漿元素：鋁和鈳。

(3) 超基性岩浆元素: 钛、钒、钨、铈、钼、钨及铂。

(4) 硫化矿元素：镓、铟、锗、硒、碲、钨及铋。

根据稀有金属的物理化学性质、生产方法及其应用情况,可将其分为六类。

1. 稀有轻金属：稀有轻金属包括四个化学元素：锂、铷、铯、铍。它们属于元素周期系中第ⅠA族和ⅡA族元素，位于s区。它们的密度都比较小（锂 0.53g/cm^3 ，铷 1.55g/cm^3 ，铯 1.87g/cm^3 ，铍 1.85g/cm^3 ），化学性质活泼，它们的化合物（氧化物、氯化物）非常稳定，很难还原成金属。这四个金属在地壳中均不能呈单独的金属状态存在，其矿物都是复杂的、化学性质稳定的铝硅酸盐类。通常需要用电解熔盐方法或金属热还原法来制取其金属。表1—2 列出稀有金属按性质、用途的分类。

2. 稀有分散性金属：这类金属主要都是元素周期系中ⅢA、ⅣA、ⅥA、ⅦB族元素，位于p区和d区。它们的共同特征是在自然界中没有单独的矿物存在，或即使有单独矿物存在，产量也极少，没有工业开采价值，其存在方式大体上有以下三种：

表1—2 稀有金属按性质、用途分类

在周期系中的族数	金 属	稀有金属类别
I A II A	锂、铷、铯 铍	稀有轻金属
III A IV A V A VB	镓、铟、铊 锗 硒、碲 铋	稀有分散性金属
IV B V B VB	钛、锆、铪 钼、铌、钽 钨、钨	稀有高熔点金属
VI	钨、钼、钨、钨、钨、钨	稀有贵金属
II B	钪、钇、镧及镧系元素（从钪至镥共14个元素）	稀有稀土金属
I A II A III A II B VB	钫 锕 钍 钍及钍系元素（钍、镭、钍及超钍元素） 镭	稀有放射性金属

（1）以类质同象方式置换主矿物中的主要元素，如辉钼矿中的铋置换钼，闪锌矿中的锗置换锌等等。这是稀散金属的主要存在状态。

（2）以微细矿物的细小包裹体、连生体及其它混入物的形式存在于主矿物中，它们在矿物中不参加主矿物结晶格子构造。

（3）以吸附状态存在于其它矿物的裂缝和表面上，一般在表面上比较多。

稀有分散性金属一般都是亲硫元素，常同硫形成化合物，与铜、铅、锌在热液中一起活动，成类质同象置换。其中镓、铟、锗、硒、碲、铋等稀散金属经常存在于铜、铅、锌等多种金属硫化矿中，可通过冶炼或从冶炼的烟尘中提取出来。其中

锗可从煤灰中提取出来；镓含在铝矿物中，所以镓可以从生产铝的中间产品和废料中提取；而铟大部分从辉钼矿中提炼出来；也可以从含铜、铋、锗的闪锌矿和其它硫化物矿物中将它们提取出来。

3. 稀有高熔点金属：这类金属全都是元素周期系中ⅣB、ⅤB和ⅥB族的过渡元素，它们从一个元素过渡到邻近的另一种元素，电子填充到内层d轨道上，故都属于d区元素。原子结构上的这一特点，使得这类金属除了物理化学性质和工艺学上的一般特点相近外，应用范围也很相近。它们的熔点很高（熔点最高的钨可达3400℃，最低的钛也达1660℃），因此，它们可用作合金添加剂，加入钢、耐热合金和硬质合金中。在硬度上，这类金属也比其它金属的硬度大得多，而且它们的抗腐蚀性也强于其它金属。

在化学性质方面，这些金属化学性质非常相近，都能生成变价的化合物，有多种氧化态，它们的化合物种类繁多，有的能生成多酸，并形成簇状化合物。所有高熔点金属都能与一系列非金属氧化物反应，生成难熔、坚硬和化学稳定性好的化合物。其中具有重要实用价值的有碳化物、氧化物、硼化物和硅化物。

稀有高熔点金属的矿物化学性质稳定，密度大，硬度也大，因此易形成砂矿。选矿时多采用重选法进行粗选，采用电选、磁选法进行精选。在冶金生产中，这类金属多采用粉末冶金法生产。对于其中的某些金属，近年来开始使用电弧熔炼和电子束熔炼法生产。

4. 稀有贵金属：这类稀有金属包括钌、铑、钯、铱、锇、铂六个金属，同属于周期系中第Ⅷ族，它们全部是过渡元素，d区元素，能生成变价的化合物并有多种氧化态。它们也都是难熔金属，钯是其中最易熔的金属，熔点为1552℃，而最难熔的是铱，熔点达3045℃。

稀贵金属的特点是它们在自然界中经常共生在一起，主要

产于与超基性岩有关的岩石或矿砂中，此类金属在物理和化学性质方面有很多类似之处，并且都很容易形成配位化合物，对酸的抵抗力强。

5. 稀有稀土金属：这类金属包括钪、钇、镧和镧系元素，属于ⅢB族，共17个稀有金属。它们的化学性质十分相似。这是由于它们的原子半径和离子半径大小接近的缘故。尤其是镧系元素从铈到镥，它们的电子填充在4f轨道上，称为f区金属，这是镧系金属性质极为相似的根本原因。镧系金属的另一个特点是形成镧系收缩，这使得它们之间的分离非常困难。一般采用溶剂萃取和离子交换方法分离它们。稀土元素在自然界中都是共生在一起的。分离稀土元素和制取高纯稀土金属的复杂问题现在已经解决。

6. 稀有放射性金属：这类金属的共同特点是都具有放射性，包括钍、镭、钋、镭、锕及锕系元素。锕系元素的特点是从一个元素过渡到另一个元素，电子依次填充到5f轨道上，也称为f区元素。放射性金属以铀和钍矿为典型，具有较强的放射性。有时候放射性金属和稀土金属矿物伴生在一起。大多数矿物由于放射性引起化学上不稳定。由于放射性的存在，就使这类金属矿石的处理方法和加工工艺与其它的稀有金属矿物处理方法有很大的不同。

1.3 稀有金属工艺学的特点

稀有金属在地壳中分布是很不均匀的，从矿石中回收它们或它们的化合物，需要用到许多物理化学变化和化学反应，这也正是稀有金属化学所要研究的内容的一部分。因此，在本节中还要介绍一些稀有金属工艺学方面的知识。

凡是某一种金属集中在一种矿物或是岩石当中，则该矿物或岩石便叫做该金属的矿石。选矿对于稀有金属的回收是很重要的，因为稀有金属矿石组成很复杂，含量一般都很低，许多稀有金属矿石常常是一些复合矿石，如钨—钼矿、铀—钒矿、