

稀有元素地质概论

陈德潜 编著



地质出版社

稀有元素地质概论

陈德潜 编著

地质出版社

内 容 简 介

本书扼要地论述了稀有元素的定义、分类、发现简史、性质及各种用途，并系统介绍了稀有元素的地球化学特性、稀有元素工业矿物与在我国发现的新矿物的鉴定特征、鉴定方法与程序、国外稀有金属矿床的综合分类、若干典型矿床实例、稀有金属矿床的普查勘探与综合研究方法以及国外稀有金属的科研动态与发展远景等。

本书可供有关的地质、岩矿、科研人员与地质院校的师生及知识青年们阅读参考。

稀有元素地质概论

陈德潜 编著

*

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑 殷维翰

地质出版社出版

(北京西四)

沧州地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: $850 \times 1168^{1/32}$ 印张: $7^{5/8}$ 插表6个 字数: 198,000

1982年1月北京第一版·1982年1月北京第一次印刷

印数1—2,580册·定价1.40元

统一书号: 15038·新725

序

稀有元素——这是现代工业、国防与尖端技术的维生素，创造人间奇迹的桥梁。当你看到那宇宙飞船在月球上着陆，人造卫星在太空里遨游，原子弹和氢弹在猛烈地爆炸，或者当你在观看彩色电视与使用打火机时……，可曾想到各种各样的稀有元素正在那里大显神通？正由于稀有元素在国民经济与国防上的极端重要性，近三十年来，资本主义世界中稀有金属资源迅速增长，相继找到了不少大而富、易采选的矿床类型，并研制出若干成本低、效率高的选冶工艺流程。我国也拥有丰富的稀有金属矿产资源，建国以来，在找矿、勘探和科研方面取得了显著的进展，但与国外相比还有一定的差距，如某些急需矿种的储量仍不足，而另一些矿种虽有很大储量但选冶尚未过关，无法利用，这就直接影响到我们为实现“四化”所必需提供的原料保证。我们为了进一步推动我国稀有金属矿产的普查、勘探与科研工作而决定编写此书，以供有关的专业人员工作参考。全书共分七章。第一章绪言，主要阐明稀有元素的定义、种类及其在现代化建设中的作用；第二章稀有元素的发现简史、性质和用途，重点在用途方面；第三章稀有元素的地球化学特征，首先根据最新资料讨论了稀有元素在地壳中的平均含量，然后从稀有元素在门捷列夫周期系中的位置及关系出发阐述了各种稀有元素的地球化学特性；第四章稀有元素矿物及其鉴定方法，其中着重介绍了50多种稀有元素工业矿物以及在我国首次发现的16种稀有元素新矿物的鉴定特征，最后根据作者与同行们的体会总结了稀有元素矿物的鉴定方法和程序，并略述了相似矿物的鉴别方法；第五章稀有金属矿床类型及其地质特征，对国外已查明的各种稀有金属矿床进行了综合分类，并结合我国的实际情况介绍了3个国外典型矿床实例，

以供找矿之借鉴；第六章稀有金属矿床的工作方法，对国内外行之有效的普查、勘探与综合研究方法作了扼要的介绍。第七章国外稀有金属的科研动态与发展远景，对稀有金属新的应用领域、发展趋势、未来需求量的估计与扩大资源的新途径等作了论述。在附录中还列出了各种稀有金属产品的最新价格、国外各类稀有金属矿床的工业品位与当前世界各国稀有金属的工业储量等资料，以供工作参考。

在本书的编著过程中，曾得到地质出版社副总编辑殷维翰、地质部地质矿产司高级工程师朱凯、中国地质科学院研究员蒋溶、郭宗山、陈正、副研究员黄蕴慧、刘梦庚、武汉地质学院教授彭志忠等的指导与帮助，陈正、朱凯与殷维翰等同志在百忙之中审阅了文稿，并提出了很宝贵的意见；王文瑛、郭凤九同志协助完成了部分电子探针与显微照相；朱念秀、王晓虹与周国容同志清绘了插图；作者仅向他们表示深切的谢意。但由于作者的水平有限，加以时间较仓促，书中定有一些不妥或遗误之处，恳望读者批评指正。

1980年冬于北京

中国地质科学院

目 录

第一章 绪言	(1)
第二章 稀有元素的发现简史、性质和用途	(4)
一、既轻又软的高能金属——锂.....	(4)
二、从光电管到离子火箭——铷和铯.....	(11)
三、引人注目的空间金属——铍.....	(12)
四、“宇宙太空时代的金属”——铌和钽.....	(13)
五、为原子能与冶金工业服务的伙伴——锆和铪.....	(14)
六、冶金与石油工业的强大支柱——稀土“十六姐妹” ..	(14)
七、当代新技术的重要原料——九个分散“弟兄”	(15)
八、原子锅炉的“燃料”——铀和钍.....	(17)
第三章 稀有元素的地球化学特征	(24)
一、稀有元素在地壳中的分布量.....	(24)
二、稀有元素在周期表上的位置及关系.....	(29)
三、各种稀有元素的地球化学特性.....	(32)
(一) 锂.....	(32)
(二) 铷和铯.....	(35)
(三) 铍.....	(37)
(四) 铌和钽.....	(40)
(五) 锆和铪.....	(48)
(六) 稀土元素.....	(49)
(七) 分散元素.....	(58)
(八) 铀和钍.....	(67)
第四章 稀有元素矿物及其鉴定方法	(79)
一、稀有元素工业矿物的鉴定特征.....	(79)

(一) 锂、铯矿物类·····	(80)
(二) 铍矿物类·····	(85)
(三) 铌钽矿物类·····	(89)
(四) 锆铪矿物类·····	(112)
(五) 稀土矿物类·····	(119)
(六) 分散元素矿物类·····	(125)
(七) 铀钍矿物类·····	(127)
二、我国发现的稀有元素新矿物的鉴定特征·····	(133)
三、鉴定的方法与程序·····	(146)
第五章 稀有金属矿床类型及其地质特征·····	(153)
一、概述·····	(153)
二、典型矿床实例·····	(163)
(一) 美国犹他州斯波山含羟硅铍石蚀变凝灰岩矿床·····	(163)
(二) 加拿大伯尼克湖坦科高钽花岗伟晶岩矿床·····	(171)
(三) 澳大利亚兰杰1号不整合脉型铀矿床·····	(177)
第六章 稀有金属矿床的工作方法·····	(189)
一、普查与勘探方法·····	(189)
二、综合研究方法·····	(193)
第七章 国外稀有金属的科研动态与发展远景·····	(199)
一、锂·····	(199)
二、铷和铯·····	(200)
三、铍·····	(201)
四、铌·····	(201)
五、钽·····	(202)
六、锆·····	(203)
七、铪·····	(203)
八、稀土元素·····	(204)
九、分散元素·····	(205)
十、铀·····	(205)

十一、钍.....	(206)
附录	(207)
一、稀有元素矿物晶体照片图版.....	(207)
二、各种稀有金属产品的价格表.....	(213)
三、国外各类稀有金属矿床的工业品位表.....	(219)
四、当前世界各国稀有金属的工业储量表.....	(224)
五、各种稀有金属与其氧化物的换算系数表.....	(224)
六、稀有元素矿物名词索引.....	(229)
(一) 中文索引.....	(229)
(二) 英文索引.....	(231)
主要参考文献	(234)

第一章 绪 言

现在，人类的科学文明已跨进了一个光辉灿烂的新时代——稀有元素时代。“嫦娥奔月”、“龙宫探宝”、“愚公移山”等千百年来流传于民间的神话故事如今已逐渐成为现实。而这种种人间奇迹的发生，除了表明各个现代学科的飞速发展之外，从物质基础上来说，都离不开一件宝物——稀有元素。什么是“稀有元素”呢？所谓“稀有元素”这一名称是在历史上造成的，并不十分科学。大约从十九世纪中叶起，人们把某些较为罕见而且应用有限的元素称之为“稀有元素”，以后就一直沿用下来。现在归纳起来，构成稀有元素的条件一般有四：

1. 在地壳内的含量稀少，一般低于 $10^{-2}\%$ ；
2. 不易富集成矿，如锆、铷等稀有元素的含量虽比铜、铅、锌等普通元素高，但不易富集成矿，尤以分散元素为最典型；
3. 提取比较困难，如稀土元素的含量并不少，也容易成矿，甚至形成大矿，但因冶炼与分离困难，而被称为“稀土”；
4. 地区分布不平衡，如钨、钼等元素在多数国家列为稀有元素，但在我国钨、钼的储量相当丰富，所以不列为稀有元素。

因此，“稀有元素”这一概念是相对的，随地区与时间的不同，是可以改变的。现在我们来给稀有元素下一个定义：稀有元素——这是一类克拉克值（元素在地壳内的平均含量）低或极低并且不易富集成矿的、而为现代工业、国防与尖端技术所必需的金属或非金属元素。

稀有元素的分类各国稍有不同，我们将五十三种元素划为稀有元素类，并根据元素的特性分为以下四组：

1. 主体稀有元素组：包括锂（Li）、铷（Rb）、铯（Cs）、铍

(Be)、铌(Nb)、钽(Ta)、锆(Zr)、铪(Hf)等8个元素。

2. 稀土元素组：包括镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钷(Pm)、钐(Sm)、铕(Eu)、钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、钬(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(Lu)、与钇(Y)等16个元素。

3. 分散元素组：包括铟(In)、镓(Ga)、锗(Ge)、镉(Cd)、硒(Se)、碲(Te)、铊(Tl)、铼(Re)与钪(Sc)等9个元素。

4. 放射性元素组：包括钋(Po)、砹(At)、氡(Rn)、钫(Fr)、镭(Ra)与锕系共20个元素，但这里我们主要讨论铀(U)、钍(Th)两个元素。

在上述四组元素中，第1.2.4.组元素在自然界常能形成独立的矿物与矿床，而第3组元素常不能形成独立的矿物与矿床，多作为伴生组分赋存在其它金属矿床中。对于以上的分组需要说明两点：

1. 应该说，在狭义的稀有元素分类中是不包括放射性元素的，但我们从广义的角度出发，把它们列入了。因为一方面它们既符合稀有元素的定义，另一方面从地球化学特性、元素共生及找矿上看，放在一起也是方便，有利的。

2. 钪的归类问题，近来还有人把钪归入稀土元素组，但事实上钪与稀土元素的地化性质仍有较大的差别，在自然界的富集规律也不相同，根据钪的特点，我们将其归入分散元素组。

除了上述的五十三种元素外，有些国家还将钛(Ti)、钨(W)、锡(Sn)、钼(Mo)、铋(Bi)、锶(Sr)、钡(Ba)、硼(B)等也列入稀有元素行列。

如果按元素的金属性与非金属性来划分的话，在上述五十三种元素中除硒、碲为非金属与氡为气体外，绝大多数为金属元素，所以笼统地又可将它们称为稀有金属。

在现代工业的发展中，稀有金属工业是一个新兴的部门，虽然某些稀有金属早在十九世纪就开始生产与应用，但由于受到当时技术条件的限制，其生产规模和应用范围都非常有限。直到第二次世

界大战期间，稀有金属的作用才有了显著的提高，当时，稀有金属的生产主要集中在工业发达的德国和美国。战后几十年来，尤其是近二十年来，世界稀有金属工业突飞猛进，到目前为止，在一些工业发达的国家中，稀有金属的应用几乎进入到所有的技术部门，如冶金、机械，燃料化学、玻璃陶瓷、建筑材料、农业、纺织、食品、医药等，特别是在国防军工、导弹火箭、电子技术，原子能工业、宇宙航行等尖端科技部门中，稀有金属已成为必不可少的维生素，成了极重要的战略资源。今天，要想了解某个国家的现代化程度如何，只要看一下它的稀有金属工业发展的侧面就可以想见了。我们应当看到，从战后到现在，仅仅三十多年的时间，稀有金属工业的发展与应用就取得了如此辉煌的成就，而稀有金属的新用途正在日益发展，其矿产资源也正在日益扩大，因此，完全可以预料，稀有金属在未来世界中将越发显得重要，它将在更大的程度上造福于人类。

第二章 稀有元素的发现简史、 性质和用途

在介绍稀有元素的各种用途之前，先概述一下它们的发现简史和主要的物理化学性质（列于表1与表2）。

由表1可看到，大部分稀有元素是在十九世纪到二十世纪发现的，而其中约有一半以上是从1860年至1925年约65年间发现的。这与光谱（包括X射线光谱）技术的发展有密切关系。当然，门捷列夫元素周期系的理论（1869年）对这些元素的发现也曾起到过指导性作用。从表中还可以看到，许多稀有元素在发现以后都要经过几十年的时间才能制得较纯的金属；而投入工业生产则又要经过几十年到上百年的漫长时间，这与它们的物理化学性质特殊，难以分离和提取有关。从表2可见，各种稀有元素具有十分宝贵的“性格”和“品质”，如锂、铍、铷、铯等质轻、坚固，铌、钽、镱、铍、稀土等具有特高的熔点与沸点，铌、钽、锆等具有极强的抗蚀性，镓具有熔点低而沸点高的“脾气”、铀、钍等元素具有强烈的放射性，以及其它许多元素具有较强的延展性，可塑性与导电、导热性等等，所有这些都决定它们在国民经济的各部门中具有重要的应用价值。

下面就分别介绍各种稀有元素的用途：

一、既轻又软的高能金属——锂

比重比水约轻一倍、能被小刀切割的锂金属是一种特殊的高能金属。除了用在传统的玻璃、陶瓷、润滑油、冷冻、空调、制药与橡胶等工业外，锂还具有下述的重要用途：

稀有元素的发现简史 表1

原子序数	元素名称	读音	元素符号	发现时间(年)	发现者	发现经过	首次制得纯金属的时间(年)	投入工业生产的时间(年)
3	锂	里	Li	1817	瑞典J.A.阿尔费特逊	在锂云母与透锂长石中发现	1855	1945以前
4	铍	皮	Be	1798	法国L.N.福克兰	在翡翠(绿柱石)中发现	1828	1898
21	钪	抗	Sc	1879	瑞典L.F.尼尔逊	从硅铍钇矿与黑稀金矿中提取稀土时发现	1937	1956以后
31	镓	家	Ga	1875	法国L.布瓦德朗	从闪锌矿中发现	1875	本世纪五十年代
32	锗	者	Ge	1886	德国C.A.温克勒	同上	1922	1942
34	硒	西	Se	1817	瑞典I.J.柏齐力阿斯	从黄铁矿中制取硫酸时发现	1847	1917
37	铷	如	Rb	1861	德国R.W.本生等	对蒸发其矿泉水得到的卤汁作光谱分析时发现	1882	1930
39	钇	乙	Y	1794	芬兰J.加林多	从硅铍钇矿中发现钇土		1950以前
40	锆	告	Zr	1789	德国M.H.克拉普罗兹	在锆石中发现	1824	1950
41	铌	尼	Nb	1801	英国C.哈契特	从钨铁矿中发现	1928	1944
48	镉	隔	Cd	1817	德国F.斯特罗迈厄	从异极矿中发现		1950
49	铟	因	In	1863	德国F.赖赫等	在闪锌矿中发现		本世纪三十年代
52	碲	帝	Te	1798	M.H.克拉普罗兹	在一种白色金属矿中发现		1939

续表

原子 序数	元素 名称	读音	元素 符号	发现时间 (年)	发 现 者	发 现 经 过	首次制得纯金属 的时间(年)	投入工业生产 的时间(年)
55	铯	色	Cs	1860	德国R.W.本生等	同 铷	1882	1930
57	镧	栏	La	1839	瑞典C.G.莫桑德尔	用稀硝酸处理硝酸铈而获得铈土 与“镧”土		1950以前
58	铈	市	Ce	1803	M.H.克拉普罗兹等	从硅铈石中发现铈土		1950以前
59	镨	普	Pr	1885	德国A.威斯巴克	从几种元素的混合物中发现		1960以前
60	钕	女	Nd	1885	同 上	同 上		"
61	钐	颇	Pm	1947	马林斯基等	在铈的分裂产物中发现人造元素, 1964年从磷灰石中分离出天然元素		"
62	钷	杉	Sm	1879	L.布瓦瑟朗	用氢氧化铈沉淀时发现“钷土” (钷与铈的混合物)		"
63	铕	有	Eu	1896	法国E.A.德马塞	同 上		"
64	钆	乳	Gd	1880	法国J.C.G.马利约克	从铈钇矿中发现		"
65	铽	特	Tb	1843	C.G.莫桑德尔	用发现“镧土”的同样方法研究 铈土时发现		"
66	镱	滴	Dy	1886	L.布瓦瑟朗	在分出的沉淀物中发现“铽土” (铽与镱)		"

续表

原子 序数	元素 名称	读音	元素 符号	发现时间 (年)	发 现 者	发 现 经 过	首次制得纯金属 的时间(年)	投入工业生产 的时间(年)
67	铽	火	Ho	1878	瑞典M.德拉芳登等	在分出的沉淀物中发现“铽土” (铽与镨)		1960以前
68	铒	耳	Er	1843	C. G. 莫桑德尔	同 铽		"
69	铥	丢	Tm	1879	瑞典P. T. 克利夫	从“铒土”中发现		"
70	镱	意	Yb	1907	法国G. 乌班	从“铒土”中发现“镱土”		"
71	镱	鲁	Lu	1907	同 上	从“镱土”中发现		"
72	铪	哈	Hf	1923	德国D. 斯科忒等	进行X射线光谱分析时发现	1953	1953
73	钽	旦	Ta	1802	瑞典A. G. 爱克柏格等	从钽铁矿中发现	本世纪初	1922
75	铌	来	Re	1925	德国W. 诺达克等	在钼矿石中发现	1929	1930
81	铊	驼	Tl	1861	英国W. 克芦克斯	从硫酸工厂的沉淀物(铅室泥) 中发现	1862	1934
90	钍	土	Th	1828	德国J. J 柏齐力阿斯	从钍石中发现		本世纪五十年代
92	铀	由	U	1789	德国M. H. 克拉普罗兹	在土状沥青铀矿中发现	1841	1942

各种稀有元素的主要物理化学性质

表2

原子序数	元素符号	原子量	原子半径(Å)	熔点(°C)	沸点(°C)	比重(20°C)	摩氏硬度	热中子吸收截面(靶/原子)	金属的	
									颜色与光泽	刚、柔性
3	Li	6.941	1.520	179	1317	0.534	0.6	67	银白色	质软,具可塑性
4	Be	9.012	1.113	1284	2970	1.85	35-87 (布氏)	0.0009	浅灰——深灰	具韧性与可塑性
21	Sc	44.956	1.641	1400	2400	3.1		13	银白色	质柔软
31	Ga	69.72	1.221	29.75	1983	5.907	1.5		银白色,微蓝光泽	"
32	Ge	72.59	1.225	937.4	2800	5.32	6-6.5		银灰色	脆性
34	Se	78.96	1.161	217	690	4.81	2		红、灰色	"
37	Rb	85.468	2.475	39	688	1.53	0.3	0.73	银白色	具高度柔软性与可塑性
39	Y	88.906	1.803	1490	3030	4.34	20-30 (布氏)	1.38	灰色,银白色光泽	有延展性
40	Zr	91.22	1.590	1850	4370	6.52		0.2	灰白色	具可塑性
41	Nb	92.906	1.429	2463	5127	8.60	6.5	1.2	钢灰色	具高度可塑性
48	Cd	112.41	1.490	321	765	8.65	2	较大	银白色	质软,富延展性
49	In	114.82	1.626	156.6	2075	7.31	0.9		"	可塑性很大,延展性好
52	Te	127.60	1.432	452	990	6.25	2.3		灰色	脆性

续表

原子序数	元素符号	原子量	原子半径(Å)	熔点(°C)	沸点(°C)	比重(20°C)	摩氏硬度 20—30 (布氏)	热中子吸收截面 (靶/原子)	金属的	
									颜色与光泽	刚、柔性
55	Cs	132.905	2.655	28.5	705	1.90	0.2	29	浅黄色	具高度柔软性与可塑性
57	La	138.906	1.877	920	3454	6.15	"	8.9	灰色	有延展性
58	Ce	140.12	1.824	815	3257	6.8	"	0.73	"	"
59	Pr	140.908	1.828	940	3212	6.75	"	11.2	"	"
60	Nd	144.24	1.822	1024	3180	7.0	"	46	"	"
61	Pm	(147)	—	1080	2460	7.26	"			
62	Sm	150.35	1.802	1350	1778	7.7	"	5500	灰色	性脆、质坚硬
63	Eu	151.96	1.983	1200	1597	5.24	"	4600	"	
64	Gd	157.25	1.801	1350	2730	7.94	"	46000	"	有延展性
65	Tb	158.925	1.783	1360	2530	8.33	"	44	"	"
66	Dy	162.50	1.775	1485	2330	8.56	"	1100	"	"
67	Ho	164.930	1.767	1490	2330	8.76	"	64	"	"
68	Er	167.26	1.758	1550	2330	9.16	"	166	"	"