

解 读 地 球 密 码

丛书主编 孔庆友

工业维生素

稀 土

Rare Earth
The Vitamin of Industry

本书主编 郭加朋

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

稀土是金属元素，不稀也非土。经过漫长的153年，这一家子17姐妹才陆续被发现。如今它们在各个行业中发挥出了奇异的功能。你知道它们的名字怎么读吗？它们有什么神奇作用吗？让我们走进稀土的神秘世界吧！



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

解 读 地 球 密 码

丛书主编 孔庆友

工业维生素 稀 土

Rare Earth

The Vitamin of Industry

本书主编 郭加朋



● 山东科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工业维生素——稀土 / 郭加朋主编. —济南: 山东
科学技术出版社, 2016.6

(解读地球密码)

ISBN 978-7-5331-8367-7

I. ①工… II. ①郭… III. ①稀土族—普及读物
IV. ①O614.33-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 141414 号

丛书主编 孔庆友

本书主编 郭加朋

参与人员 张朋朋 焦丽香 张燕挥

解读地球密码

工业维生素——稀土

郭加朋 主编

主管单位: 山东出版传媒股份有限公司

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路16号

邮编: 250002 电话: (0531)82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdpress.com.cn

发 行 者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路16号

邮编: 250002 电话: (0531)82098071

印 刷 者: 山东泰安新华印务有限责任公司

地址: 泰安市灵山大街39号

邮编: 271000 电话: (0538)6119313

开本: 787 mm× 1092 mm 1/16

印张: 6.25

版次: 2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷

ISBN 978-7-5331-8367-7

定价: 32.00 元

普及地質科學知識
提高民族科學素質

李延棟

2016年九月

传播地学知识，弘扬科学精神，
践行绿色发展观，为建设
美好地球村而努力。

翟裕光
2015年10月

贺 词

自然资源、自然环境、自然灾害，这些人类面临的重大课题都与地学密切相关，山东同仁编著的《解读地球密码》科普丛书以地学原理和地质事实科学、真实、通俗地回答了公众关心的问题。相信其出版对于普及地学知识，提高全民科学素质，具有重大意义，并将促进我国地学科普事业的发展。

国土资源部总工程师

编辑出版《解读地球密码》科普丛书，举行业之力，集众家之言，解地球之理，展齐鲁之貌，结地学之果，蔚为大观，实为壮举，必将广布社会，流传长远。人类只有一个地球，只有认识地球、热爱地球，才能保护地球、珍惜地球，使人地合一、时空长存、宇宙永昌、乾坤安宁。

山东省国土资源厅副厅长

编著者寄语

- ★ 地学是关于地球科学的学问。它是数、理、化、天、地、生、农、工、医九大学科之一，既是一门基础科学，也是一门应用科学。
- ★ 地球是我们的生存之地、衣食之源。地学与人类的生产生活和社会可持续发展紧密相连。
- ★ 以地学理论说清道理，以地质现象揭秘释惑，以地学领域广采博引，是本丛书最大的特色。
- ★ 普及地球科学知识，提高全民科学素质，突出科学性、知识性和趣味性，是编著者的应尽责任和共同愿望。
- ★ 本丛书参考了大量资料和网络信息，得到了诸作者、有关网站和单位的热情帮助和鼎力支持，在此一并表示由衷谢意！

科学指导

李廷栋 中国科学院院士、著名地质学家

翟裕生 中国科学院院士、著名矿床学家

编著委员会

主 任	刘俭朴	李 琥				
副 主 任	张庆坤	王桂鹏	徐军祥	刘祥元	武旭仁	屈绍东
	刘兴旺	杜长征	侯成桥	臧桂茂	刘圣刚	孟祥军
主 编	孔庆友					
副 主 编	张天祯	方宝明	于学峰	张鲁府	常允新	刘书才
编 委	(以姓氏笔画为序)					
	卫 伟	方 明	方庆海	王 经	王世进	王光信
	王怀洪	王来明	王学尧	王德敬	冯克印	左晓敏
	石业迎	刘小琼	刘凤臣	刘洪亮	刘海泉	刘继太
	刘瑞华	吕大炜	吕晓亮	孙 斌	曲延波	朱友强
	邢 锋	邢俊昊	吴国栋	宋志勇	宋明春	宋香锁
	宋晓媚	张 峰	张 震	张永伟	张作金	张春池
	张增奇	李 壮	李大鹏	李玉章	李金镇	李勇普
	李香臣	杜圣贤	杨丽芝	陈 军	陈 诚	陈国栋
	范士彦	郑福华	侯明兰	姚春梅	姜文娟	祝德成
	胡 戈	胡智勇	贺 敬	赵 琳	赵书泉	郝兴中
	郝言平	徐 品	郭加朋	郭宝奎	高树学	高善坤
	梁吉坡	董 强	韩代成	潘拥军	颜景生	戴广凯
书稿统筹	宋晓媚	左晓敏				

目 录

CONTENTS

Part
1

稀土不稀也非土



稀土元素17姐妹/2

稀土是稀土类元素群的总称，是一个神奇的金属大家族，这一家子共有17姐妹。稀土不稀也非土，按相对原子质量大小和性质相近性，可以分为“轻稀土元素”和“重稀土元素”两类。



稀土元素的特性/4

稀土17姐妹是典型的金属元素。稀土金属一般硬度低，熔点高，具可锻性、延展性及优良的光、电、磁等特性，化学性质活泼。



稀土元素的主要矿物/7

稀土元素在地壳中主要以矿物形式存在，其赋存状态有作为矿物的基本组成元素、作为矿物的杂质元素、呈离子状态被吸附于某些矿物的表面或颗粒间。稀土矿物在各类岩浆岩中的含量，按“超基性岩→基性岩→中性岩→酸性岩”的顺序逐渐增高，目前用于工业提取稀土元素的矿物主要有氟碳铈矿、独居石矿、磷钇矿。

Part
2

稀土元素史籍揭面纱



轻稀土元素/13

轻稀土元素包括镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镱等8种，它们具有较低的原子序数和较小质量。



重稀土元素/17

重稀土元素包括铈、镨、钕、铕、钆、铽、镱、铈、钐等9种，它们具有较高的原子序数和较大质量。

Part
3

奇功异能话稀土



“点石成金”的现代工业维生素/26

稀土不仅可以在工业生产中作为各种添加剂如石油化工业的催化剂、玻璃陶瓷业的添加剂，极大地改善产品性能、增加产品品种、提高生产效率，同时还在提高农作物产量、增强动植物的抗病能力、治疗烫伤、皮肤杀菌消炎等方面具有重要作用，被誉为“人类健康的保护神”“种植业的丰产素”。



未来新材料宝库/35

稀土元素具有特殊的光、电、磁等物理性能和化学特性，利用这些性质特长，人们可以制造出各种稀土功能材料，如稀土永磁、发光、储氢、稀土转光膜和抗旱保水剂等新材料。

Part 4 稀土成因解密码



稀土成矿基本特征/42

稀土矿床和稀土矿化地区在空间上既分布于稳定地区，亦分布于活动地区；在时代上主要集中在中晚元古代以后的地质历史时期，尤以中晚元古代和中新生代矿化规模大，面积广。



稀土成矿作用/43

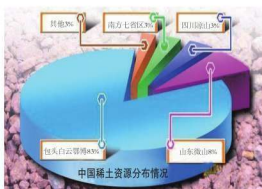
稀土成矿作用按其性质和能量来源可分为岩浆成矿作用、沉积—风化成矿作用和变质成矿作用。



稀土矿床类型/46

根据成矿作用的不同，稀土矿床和稀土矿化地区可以分为岩浆型、沉积—风化型和变质型等3种矿床类型。

Part 5 中国稀土冠全球



中国稀土资源概况/54

中国稀土资源具有成矿条件好、分布面广、矿床成因类型多、资源潜力大、有价元素含量高、综合利用价值大等特点。稀土资源量（REO）约占全世界资源量的40%。中国的稀土矿床在地域分布上具有面广而又相对集中的特点，其中稀土资源总量的97%分布在内蒙古、山东、江西、广东、四川等省区，形成北、南、东、西的分布格局，并具有“北轻南重”的分布特点。



中国著名的稀土矿床/59

中国著名的稀土矿床有白云鄂博铁-铈-稀土矿、山东微山湖稀土矿、四川省冕宁县牦牛坪稀土矿和德昌县大陆槽稀土矿、赣州稀土有限公司足洞稀土矿等。



中国稀土忧思录/68

稀土在造福人类的同时，与之相伴的资源环境问题也在不断凸显。在稀土开发利用过程中，资源的合理利用和环境的有效保护是世界面临的共同挑战

Part 6

全球稀土资源扫描



全球稀土资源概况/75

全球稀土金属资源丰富但分布不均匀，而且勘察程度总体不高。世界上进行稀土开采、选矿生产的国家主要有中国、美国、巴西、印度、澳大利亚等。



国外著名的稀土矿床/80

国外著名的稀土矿山有美国的芒廷帕司稀土矿、贝诺杰稀土矿，加拿大托尔湖稀土矿、霍益达斯湖稀土矿，澳大利亚维尔德山稀土矿和诺兰稀土矿。

参考文献/86

地学知识窗

稀土元素的读音/3 稀土金属制取/7 荧光粉/16 催化剂/27 永磁材料/35 惯导系统/36 三基色节能灯/37 矿床/43 伟晶岩/49 “稀土王国”——赣州市/56 品位、工业品位/67 稀土国家规划矿区/71 边界品位/82

Part 1

稀土不稀也非土

稀土元素是稀土类元素群的总称。稀土元素是一个神奇的金属大家族，这一家子共有17姐妹，分为“轻稀土元素”和“重稀土元素”两类。稀土硬度低，熔点高，具可锻性、延展性及优良的光、电、磁等特性，化学性质活泼。稀土元素在地壳中主要以矿物形式存在，目前自然界已发现的稀土矿物有250种以上，可用于工业提取稀土元素的矿物主要有氟碳铈矿、独居石矿、磷钇矿等。



稀土元素17姐妹

稀土元素是镧系元素系稀土类元素群的总称，包括钪 (Sc)、钇 (Y) 及镧系中的镧 (La)、铈 (Ce)、镨 (Pr)、钕 (Nd)、钐 (Sm)、铕 (Eu)、钆 (Gd)、铽 (Tb)、镝 (Dy)、钬 (Ho)、铒 (Er)、铥 (Tm)、镱 (Yb)、镱 (Lu)，共17种元素（图1-1），因此常称之为“稀土元素17姐妹”。

稀土元素															
镧 57	铈 58	镨 59	钕 60	钐 61	铕 62	钆 63	铽 64	镝 65	钬 66	铒 67	铥 68	镱 69	镱 70	镱 71	镱 39
镧系元素															
氢	锂	铍	硼	碳	氮	氧	氟	氖	钠	镁	铝	硅	磷	硫	氯
钾	钙	钪	钛	钒	铬	锰	铁	钴	镍	铜	锌	镓	锗	砷	硒
铷	锶	钇	锆	铌	钼	锝	钌	铑	钯	银	镉	铟	锡	锑	碲
铯	钡	镧	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈
钫	镭	镧系	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈	铈

图1-1 稀土元素在元素周期表中的位置

“稀土”得名完全是历史原因。18世纪末期开始，稀土元素才开始陆续被发现。当时人们习惯于把不溶于水的固

体氧化物称作“土”，比如氧化铝被称为铝土，氧化镁叫苦土，氧化铝、二氧化硅的组合物叫陶土、瓷土等。当时用于提取

这类元素的矿物比较稀少，而且获得的氧化物难以熔化，难溶于水，也很难分离，其外观酷似“土壤”，因而称为稀土（图1-2）。



图1-2 不同稀土元素的氧化物

实际上，稀土既不稀也非土。17种稀土元素共占地壳总质量的0.0153%，其总量比铜在地壳的含量还多一半，比锡、钴、银、汞等元素多得多。自然界已发现的稀土矿物超过250种，其中最主要的有氟碳铈矿、独居石矿和磷钇矿等。我国稀

土储量占世界首位，已探明的稀土工业储量占世界的40%以上，而且资源品种齐全，质量优良，分布广泛，遍布内蒙古、江西等18个省、自治区。

稀土元素按照相对原子质量大小和性质相近性，分为“轻稀土元素”和“重稀土元素”两类。

“轻稀土元素”指原子序数较小的镧（La）、铈（Ce）、镨（Pr）、钕（Nd）、钷（Pm）、钐（Sm）、铕（Eu），又称铈族稀土元素。

“重稀土元素”指原子序数比较大的钆（Gd）、铽（Tb）、镝（Dy）、钬（Ho）、铒（Er）、铥（Tm）、镱（Yb）、镱（Lu）以及钇（Y）和钪（Sc），又称钇族稀土元素。

——地学知识窗——

稀土元素的读音

稀土元素的中文分别怎么念？要准确地拼音和音调，比如La念lán。以下是稀土元素的汉语名称及读音：镧（lán）、铈（sh）、镨（pǔ）、钕（nǐ）、钷（pǐ）、钐（shān）、铕（yǎu）、钆（gá）、铽（tè）、镝（dī）、钬（hǔ）、铒（ě）、铥（diū）、镱（yǐ）、镱（lǔ）、钇（yǐ）、钪（kàng）。

稀土元素的特性

稀土17姐妹是典型的金属元素，均位于元素周期表的ⅢB族内，特别是镧系的15种元素（La—Lu），均位于周期表的同一格内，且其电子多少都发生在4f壳层中，故它们的物理化学性质具有一

定的相似性。但是，它们本身是17个不同的元素，在电子结构、原子及离子半径等方面有着显著的不同，所以各自又有自己独特的特性（表1-1）。

表1-1 稀土元素结构一览表

原子 序数	元素名称及元 素符号	电子构型		原子半径 ($\times 10^{-10}\text{m}$)	离子半径 ($\times 10^{-10}\text{m}$)		
		原子	M^{3+}		RE^{2+}	RE^{3+}	RE^{4+}
21	钪 (Sc)	$[\text{Xe}] 3\text{d}4\text{s}^2$	$[\text{Ar}]$	1.641		0.68	
39	钇 (Y)	$[\text{Xe}] 4\text{d}5\text{s}^2$	$[\text{Kr}]$	1.801		0.88	
57	镧 (La)	$[\text{Xe}] 5\text{d}^16\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^0$	1.877		1.061	
58	铈 (Ce)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^15\text{d}^16\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^1$	1.824		1.034	0.92
59	镨 (Pr)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^36\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^2$	1.828		1.013	0.90
60	钕 (Nd)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^46\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^3$	1.821		0.995	
61	钷 (Pm)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^56\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^4$	(1.810)		(0.979)	
62	钐 (Sm)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^66\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^5$	1.802	1.11	0.964	
63	铕 (Eu)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^76\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^6$	2.042	1.09	0.950	
64	钆 (Gd)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^75\text{d}^16\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^7$	1.802		0.938	
65	铽 (Tb)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^96\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^8$	1.782		0.923	0.80
66	镝 (Dy)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{10}6\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^9$	1.773		0.908	
67	钬 (Ho)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{11}6\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{10}$	1.766		0.894	
68	铒 (Er)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{12}6\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{11}$	1.757		0.881	
69	铥 (Tm)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{13}5\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{12}$	1.746	0.94	0.869	
70	镱 (Yb)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{14}6\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{13}$	1.940	0.93	0.858	
71	镥 (Lu)	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{14}5\text{d}^16\text{s}^2$	$[\text{Xe}] 4\text{f}^{14}$	1.734		0.848	

一、稀土元素的物理性质

稀土元素为一组呈铁灰色到银白色有金属光泽的金属，硬度低，具可锻性和延展性。其密度、熔点、沸点、电阻率、升华热等物理性质差别较大（表1-2）。

表1-2

稀土元素物理性质一览表

原子序数	元素名称及元素符号	密度 (g/cm ³)	熔点 (℃)	沸点 (℃)	电负性	电阻率 (μΩ·cm) (25℃)	硬度 (HB)	升华热 (kJ/mol)
21	钪 (Sc)	2.990	1 541	2 836	1.3	66		377.8
39	钇 (Y)	4.478	1 522	3 338	1.2	80	80—85	427.4
57	镧 (La)	6.174	918	3 464	1.1	62.4	35—40	431.0
58	铈 (Ce)	6.771	798	3 433	1.05	76.7	25—30	422.6
59	镨 (Pr)	6.782	931	3 520	1.1	73.7	35—50	355.6
60	钕 (Nd)	7.004	1 021	3 074	1.2	71.3	35—45	327.6
61	钷 (Pm)	7.2	1 042	3 000	1.2			
62	钐 (Sm)	7.536	1 074	1 794	1.2	88	45—65	206.7
63	铕 (Eu)	5.259	822	1 529	1.1	81.3	15—20	144.7
64	钆 (Gd)	7.895	1 313	3 273	1.2	137	55—70	397.5
65	铽 (Tb)	8.272	1 365	3 230	1.2	116	90—120	388.7
66	镱 (Dy)	8.536	1 412	2 567	1.2	56	55—105	290.4
67	铥 (Ho)	8.503	1 474	2 700	1.2	87	50—125	300.8
68	铒 (Er)	9.051	1 529	2 868	1.2	107	60—95	317.1
69	铥 (Tm)	9.332	1 545	1 950	1.2	79	55—90	232.2
70	镱 (Yb)	6.977	819	1 196	1.1	30	20—30	152.1
71	镥 (Lu)	9.842	1 663	3 402	1.2	79	120—130	427.6