

世界稀土资源现状

张博, 宁阳坤, 曹飞, 杨卉芃

(中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 国土资源部多金属矿评价与综合利用重点实验室, 河南省黄金资源综合利用重点实验室, 河南 郑州 450006)

摘要: 稀土由于其特有的物理化学性质被广泛应用于现代工业的各个方面, 并将在未来工业体系中发挥着越来越重要的作用。本文首先对稀土的性质以及主要矿物和矿床类型进行了介绍; 然后分析了全球稀土矿资源概况, 整体上看全球稀土资源非常集中地分布在几个稀土资源大国的大型、超大型稀土矿床; 最后, 文章对全球稀土矿资源的开发利用趋势、价格变化进行了分析, 结果表明近年来随着中国一系列稀土管制政策的实行和稀土价格的上涨, 各国新开稀土矿山数量和稀土产量均有明显增加, 世界稀土生产依赖中国单边供应的局面将会改变; 随着稀土在高新技术领域的广泛应用, 稀土需求量特别是重稀土需求量将会急剧增加。

关键词: 稀土资源; 储量; 产量; 矿山; 矿床

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.04.002

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 04-0007-06

1 稀土的性质

稀土一词起源于18世纪, 从1751年瑞典化学家 A. Cronstedt 在瑞典的巴斯特奈斯发现硅铈石开始, 到1947年美国的 J. A. Marinsky 从原子能反应堆用过的铀燃料中分离出钷为止, 前后经历了近200年, 17种稀土元素才被全部发现^[1-5]。稀土元素是元素周期表ⅢB族中原子序数为21、39和57~71的17种元素的总称, 常用R或RE表示。稀土元素在地壳中的丰度^[6]。

铈、钇、钆含量最高, 均超过 20×10^{-6} , 其在火成岩和地壳上部的丰度, 比钨、钼、钴、铅都多。其次镧、镨、钕含量较高, 均在 10×10^{-6} 以上, 铥和镱含量最少, 均小于 1×10^{-6} 。

稀土元素具有两个突出的特点: 由于电子结构和化学性质相近, 不同稀土元素通常共生, 因此化学性质非常相似, 这使得稀土元素彼此分离非常困难; 又因4f亚层的轨道电子被外层的5s和5p层电子有效地屏蔽, 不能参与成键, 因此物

理性质差异明显, 这给稀土元素的开发应用, 特别是新材料领域的应用创造了多方面的机遇。稀土元素独特的物理和化学性质使其具有诸多其他元素所不具备的光、电、磁特性, 被誉为新材料的“宝库”^[7-10]。

2 稀土的主要矿物与主要矿山

稀土元素在地壳中主要以矿物形式存在, 目前已经发现的稀土矿物在250种以上, 但能够用于生产稀土的工业矿物仅有10余种。主要稀土矿物如下。

(1) 独居石(Ce, La, Y, Th)[PO₄] 又名磷铈镧矿, 呈棕色、黄褐色、红色、间或有绿色, 具有强玻璃光泽, 硬度5.0~5.5, 性脆, 比重4.9~5.5, 电磁性中弱。

独居石矿物成分中稀土氧化物含量可达50%~68%, 溶于HClO₄、H₂SO₄、H₃PO₄, 类质同象混入物有Y、Th、Ca。主要产在稀有金属碳酸岩、花岗岩、云霞正长岩、云英岩、石英岩、混合岩及风化壳与砂矿中。独居石矿石中一般含

收稿日期: 2017-02-17;

基金项目: 国家自然科学基金(51404220); 国土资源公益性行业专项(201311024-2)资助。

作者简介: 张博(1984-), 博士, 助理研究员, 主要从事矿产综合利用技术研究工作。

有放射性的钷元素，对环境有害，因此近些年产量呈下降趋势。

(2) 氟碳铈矿 (Ce, La) $[\text{CO}_3]\text{F}$ ，呈红褐色、黄色、浅绿或褐色。矿石具有玻璃光泽，其硬度为 4~4.5，比重为 4.72~5.12，性脆，有时具放射性，呈弱磁性。

氟碳铈矿易溶于稀 HCl 、 HNO_3 、 H_2SO_4 、 H_3PO_4 ，其机械混入物主要有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 。主要产于花岗岩及花岗伟晶岩，稀有金属碳酸岩，花岗正长岩有关的石英脉，石英-铁锰碳酸盐岩脉以及砂矿中。

(3) 磷钇矿 $\text{Y}[\text{PO}_4]$ ，呈红褐色，黄色或黄绿色。矿石呈玻璃光泽或油脂光泽。其硬度为 4~5，比重为 4.4~5.1，一般具有弱的放射性和多色性。

磷钇矿成分主要为 Y_2O_3 61.4%， P_2O_5 38.6%，同时会有 Yb、Er、Dy、Gd 等钇族稀土元素混入，

并伴随有硅代替磷。磷钇矿主要产于花岗岩和花岗伟晶岩中。

(4) 风化壳淋积型稀土矿，即离子吸附型稀土矿。该类矿物中稀土元素呈离子状态吸附于粘土矿物中，不以化合物的形式存在，这种结构特点使得矿物不需要破碎、选矿等工艺流程，而是直接浸取，即可使稀土与强电解质交换而转入溶液，从而获得混合稀土氧化物。同时离子吸附型稀土矿中经济价值大的重稀土元素含量高，多位于丘陵地带，开采工艺简单，是我国特有的宝贵稀土矿产资源。

世界稀土资源主要分布于中国、美国、澳大利亚等，主要稀土资源国中一批大型、超大型稀土矿山见表 1。这些稀土矿床构成了世界稀土资源的主体^[11-14]。

表 1 世界主要稀土矿山
Table 1 Main rare earth mines all over the world

矿山名称	国别	公司	矿石储量 (万 t)	品位 /%	金属量 (REO, 万 t)	轻稀土 /%	中重 稀土 /%	产能 / (REO, t)	生产 状态
白云鄂博 稀土矿	中国	包钢稀土	72000	5	3600	96	94	100000	在产
冕宁牦牛坪 稀土矿	中国	江西铜业 中国铝业	6579	3.93	278	98	2	30000	在产
Mountain Pass	美国	Molycorp	3160	6.57	207.6	99	1	19000	在产
Bear Lodge	美国	Rare Element Resources	5790	2.68	155.3	94	6	5000	预计 2018 年
Strange Lake	加拿大	Quest Rare Minerals	47250	0.87	411.8	75	25	15000	预计 2019 年
Nechalacho	加拿大	Avalon Rare Metals	17770	1.32	235.3	79	21	10000	预计 2017 年
Hoidas Lake	加拿大	Great Western	280	2.4	6.8	94	6	5000	在产
Mount Weld	澳大利亚	Lynas Corp	1490	9.73	145.4	95	5	22000	在产
Nolans Bore	澳大利亚	Arafura Resources	5590	2.59	145	94	6	20000	环境评估阶段
Dubbo Zirconia	澳大利亚	Arafura Resources	7300	0.89	65.1	74	26	8900	2016 年投产
Yangibana	澳大利亚	Hastings Rare Metals	680	1.52	10.3	12	88	-	可行性研究
Zandkopsdrift	南非	Frontier Rare Earts	4680	1.89	88.6	90	10	8000	预计 2018 年

从表 1 可以看出，中国的稀土矿山具有储量大，品位高的特点，在全球稀土市场具有举足轻重的地位。而近年来随着稀土价格的升高和稀土在各

新兴领域的广泛应用，各国均加强了对稀土矿的开采力度，国外一大批大中型稀土矿山将在未来几年投产。

中国稀土矿的平均入选品位 2.56%，平均入选原矿品位为 1.74%，这主要是由我国稀土分布稀而散，同时贫化率较高的特点造成的。中国稀土矿的回采率为 85.01%，选矿回收率为 82.68%，精矿品位为 63.25%，我国稀土矿储量和产量均居世界第一位，因此中国的稀土采选指标代表了全球稀土矿的采选水平。

3 全球稀土矿资源概况

根据美国地调局调研，截止 2015 年，全球稀土矿石储量为 1.3 亿 t，储量前三的国家为中国 42.31%，巴西 16.92%，澳大利亚 2.46%。其中美国由于提高了稀土矿物的认定标准，使其储量从 1300 万吨降到 180 万 t，储量占比也从 2013 年的 9.29% 降到 2015 年的 1.38%。2015 年全球稀土产量为 12.4 万 t，产量前三的国家为中国 84.68%，澳大利亚 8.06%，美国 3.31%。

近年来，世界各国加大了稀土矿的勘探力度，东南亚、非洲、南美洲各国不断传来探明新的稀土矿的消息。

(1) 中国的稀土资源占比超过 40%，其产量和储量均居世界第一位。中国的稀土资源类型多，储量大，稀土矿物种类丰富，稀土元素较为齐全。中国的稀土矿山主要有内蒙古白云鄂博矿、山东微山矿、四川冕宁矿、南方七省离子吸附型稀土矿和漫长海岸线上的海滨砂矿等。其中内蒙古白云鄂博稀土矿被称为世界第一大稀土矿，早期是作为开采铁矿的伴生矿物回收，主要稀土矿物为氟碳铈矿和独居石。冕宁稀土矿和微山稀土矿是组成相对简单的易选冶稀土矿，矿物均以氟碳铈矿为主，伴生有重晶石等。江西风化壳淋积型稀土矿是我国特有的一种新型稀土矿种，稀土元素以离子形式吸附在黏土矿物上，且以中重稀土元素为主，是一种易选冶的珍贵的稀土矿。

(2) 2015 年之前，美国的稀土储量占比一直在 10% 左右，由于美国稀土矿物认定标准的调整，2015 年美国稀土储量占比为 1.38%。美国稀土资源主要为独居石、氟碳铈矿和作为副产品回收的硅

钹铈矿、黑稀金矿和磷铈矿。1949 年发现的芒廷帕斯矿是世界上最大的单一氟碳铈矿，位于加利福尼亚州的圣贝迪诺县境内，该矿稀土品位 7% 左右。美国的独居石资源为砂矿矿床，主要分布在佛罗里达州、南卡罗来纳州、北卡罗来纳州、爱达荷州、蒙大拿州和佐治亚州等地，储量巨大。

(3) 印度的稀土资源主要为独居石，稀土生产开始于 1911 年，是世界上最早进行稀土生产的国家之一。印度的主要矿床为砂矿，大部分分布在马德拉斯邦、奥里萨拉邦和喀拉拉邦，其中最大的矿床位于印度南部西海岸的特拉范科，在 1911 ~ 1945 年间其供矿量占世界总产量的一半。1958 年，一个规模巨大的独居石和钽铁矿矿床在兰契高原上被发现，是目前印度主要的独居石产地。但是，印度的独居石资源中含有高达 8% 的 ThO_2 ，一定程度上阻碍了稀土资源的开发应用。

(4) 俄罗斯的稀土储量巨大，主要稀土矿物为碱性岩中的磷灰石，主要是伴生矿床位于科拉半岛，此外，在磷灰石矿石中还蕴藏着稀土含量为 29% ~ 34% 的铈铌钙钛矿资源。

(5) 澳大利亚的稀土矿物主要为独居石，大部分是从生产金红石、锆英石和钽铁矿的副产品加以回收，主要矿床包括韦尔德山碳酸岩风化壳稀土矿床和澳大利亚东、西海岸的砂矿床。此外，澳大利亚的稀土矿物还包括磷铈矿和位于昆士兰州中部艾萨山的采铀的尾矿。

(6) 加拿大独立的稀土矿床较少，主要从铀矿开采的副产品中回收稀土，其中位于安大略省布莱恩德里弗-埃利特湖地区的铀矿，是其稀土的主要来源。该矿区主要由钽铀矿、沥青铀矿、独居石和磷铈矿组成，在湿法提铀的同时把稀土作为副产品提取出来。此外，位于纽芬兰岛和拉布拉多省境内的斯特伦奇湖矿，拥有丰富的钇和重稀土资源，位于魁北克省奥卡地区的烧绿石矿，也是一个很大的潜在稀土资源。

(7) 南非是非洲地区最重要的稀土生产国，其稀土资源主要为独居石。世界上唯一的单一脉状型独居石稀土矿就位于开普省的斯廷坎普斯克

拉尔, 是非洲地区主要的独居石产地。此外, 在布法罗萤石矿中伴生有氟碳铈矿和独居石, 在东南海岸的查兹贝的海滨砂中也有丰富的稀土资源。

(8) 马来西亚的稀土矿物为独居石、铈钇矿和磷钇矿, 主要从锡矿的尾矿中回收, 曾一度是世界重稀土和钇的主要来源。

(9) 巴西的主要稀土资源为独居石, 从 1884 年就开始向德国输出独居石, 是世界上稀土生产的最古老国家。巴西的独居石资源主要为碳酸岩风化壳稀土矿床, 集中于东部沿海, 其巨大的矿床从里约热内卢延伸到北部的福塔莱萨, 长达 643 km 的地区。

4 全球稀土矿资源发展利用趋势

全球稀土产量在 1966 年以前较低, 均没有超过 1 万 t, 随后稀土产量迅速增加, 在 1989 年达到 6 万 t。自 1990 年以来, 全球稀土矿产品产量逐年递增, 至 2006 年全球稀土矿产品产量达到历史最高值 13.7 万 t, 与 1987 年相比增长了 3 倍多, 但随着稀土价格的下跌, 2007、2008 年开始稀土产量有所下降, 2015 年全球稀土产量为 12.4 万 t, 产量前三的国家为中国 84.68%, 澳大利亚 8.06%, 美国 3.31%, 俄罗斯和泰国分列四、五位。未来全球稀土产量仍将持续增加, 除中国外其他地区的稀土产能扩大将成为全球稀土产能增加的主要推动力, 中国在全球稀土产能中所占比例会有一定程度的减小, 但减小幅度不大, 中国仍是世界稀土的主要供给源。

稀土产业是中国具有优势的特色产业, 但是自上世纪 90 年代后期, 中国的稀土资源开始在海外低价流失。随着 1998 年美国宣布关停芒廷帕斯稀土矿, 中国成为世界上最重要的稀土供给国, 从 2003 年开始中国的稀土矿产品产量就占世界稀土总产量的 95% 以上。2002 年以前购买中国稀土产品的国家只集中在美、日、法等少数几个国家, 到 2004 年购买中国稀土产品的国家和地区则达到了 74 个。公开的数据表明: 上世纪 80 年代, 中国

的稀土储量还占世界储量的 85% 左右, 而后就一直下降至 40% 左右。伴随着中国稀土资源加速流失的还有中国生态环境的持续恶化和稀土行业的低水平重复建设, 以及众多出口企业的竞相杀价和恶性竞争。而一些发达国家则乘机加快了稀土战略储备和对本国资源的保护, 以及通过技术封锁, 继续加强对稀土资源的控制。为此, 国家相继出台了出口配额、出口关税等一系列稀土管制政策, 来加强稀土产业的调控力度, 在一定程度上规范了稀土市场秩序, 促进了稀土价格的回升^[15-19]。

由于中国逐年递减稀土出口配额的数量, 同时稀土价格在 2006 年之后快速攀升, 致使美国、加拿大、澳大利亚等国加大了对稀土矿的开采力度, 以应对变局。2010 年 12 月 23 日, 美国铝业公司宣布芒廷帕斯矿于当日恢复开采; 随后, 澳大利亚宣布莱纳公司在 2011 年投产, 年生产能力为 1.1 万 t, 随后产量将增至 2.2 万 t; 日本则谋求稀土原料的供应源多元化, 通过政府开发援助, 与蒙古、越南、印尼等拥有稀土资源的国家加强开发合作, 同时实施替代稀土元素材料的开发计划。2015 年以后, 中国稀土产量占世界稀土总产量比例将有所降低, 在不远的将来, 世界稀土生产依赖中国单边供应的格局将有所改变, 中国稀土产量占世界稀土总产量比例有望降到 70% 左右。

全球稀土贸易从 18 世纪末就已开始, 巴西从 1884 年就开始向德国输出独居石。世界稀土氧化物价格在 1933~1936 年达到了第一个高峰, 为 1.17 万美元/t, 随后价格出现波动, 并于 1948 年达到 1.47 万美元/t 的高值。从 1970 年开始中国加大了稀土的生产和出口, 但稀土氧化物价格却不高, 从 1960 年~1988 年之间, 一直低于 5000 美元/t。随后稀土氧化物价格开始攀升, 在 1990 年达到 1 万美元/t, 之后虽有回落, 但一直保持在 5000 美元/t 以上。在 2006 年之后世界稀土氧化物的价格急速升高, 从 2010 年的 2 万美元/t 升高到 2011 年的历史最高值 5.8 万美元/t, 但之后稀土价格全线下滑, 无论是经济价值较高的重稀土, 还是供应充足的

轻稀土,2014年稀土氧化物价格为5000美元/t,2015年稀土氧化物价格仅为2000美元/吨。

2010年之前,稀土用量最大的领域为催化剂,但近年来其消费量和比重逐渐下降,而永磁体的消费量和比重则呈逐年上升的趋势。2015年,稀土永磁体的消费量和比重均为第一位,占全球稀土用量的26%。从单一元素来说,1997年占据稀土需求量超过一半的钕及其氧化物,消费量逐年下降,到2015年只占据全球稀土需求量的近1/3。另一方面,稀土元素镨、钆、铽和镝消费量比重呈逐年上升趋势,这意味一些稀土元素主要是重稀土元素面临着供应短缺,而一些轻稀土元素将出现产能过剩的问题。2015年,在新能源领域对氧化钆的需求量增加5倍,对氧化镨和氧化镝的需求量增加10倍,市场需求的变化将进一步加剧轻稀土和重稀土的供给矛盾。

在世界经济技术高速发展的背景下,世界发达工业国家将经济增长的动力转向了国防工业和高新前沿技术领域,而稀土由于其所具有的优异的光电性能在国防和高新技术相关的三十多个工业领域均发挥着不可替代的重要作用。特别是新材料、电子信息产业、新能源、航空航天以及节能环保等领域的发展极大地推动了世界各国对稀土产品的需求^[20-23]。2010年以来,全球稀土需求以年均7.1%的速度高速增长,2015年已经达到了18万吨。而在未来,随着各种稀土功能材料的发明,稀土必将在全球工业经济发展的过程中发挥着更加重要的作用。

6 结 语

(1) 世界主要稀土资源储藏国为中国、巴西、澳大利亚、美国、俄罗斯,其中中国储量为世界首位;世界主要稀土供给国为中国、澳大利亚和美国,其中中国产量位居世界首位,常年保持在世界稀土供给总量的85%以上。

(2) 近年来全球稀土的储量和产量均快速增长,随着中国一系列稀土管制政策的实行和稀土价格的增长,世界主要稀土公司均增加了新开稀

土矿山的数量或增加已有稀土矿山的产量,使得中国在全球稀土产量中的占比有所下降,未来世界稀土生产依赖中国单边供应的局面将有所改变。

(3) 近年来全球稀土消费市场发生明显变化,永磁体的消费量和比重均上升到第一位。同时,钕及其氧化物的消费量逐年下降,而镨、钆、铽和镝消费量比重呈逐年上升趋势,未来对重稀土的市场需求将急剧增加,引起供应短缺,而目前占据大部分消费比重的轻稀土将面临产能过剩。

参考文献:

- [1] 周宝炉,李仲学,赵怡晴.世界稀土市场动态及产业对策建议[J].中国稀土学报,2016,34(3): 257-264.
- [2] 杨斌清,张贤平.世界稀土生产与消费结构分析[J].稀土,2014,35(1): 110-118.
- [3] 李俊,李怀仁,冀成庆.稀土开发应用现状与出路[J].云南冶金,2015,44(3): 32-36.
- [4] 杜晓慧.全球稀土矿产资源分布、开发现状以及未来发展格局[J].资源与产业,2014,16(6): 21-28.
- [5] 姚钰.世界稀土市场综述[J].稀土,1994,15(4): 71-73.
- [6] 任旭东.我国稀土矿产资源开采利用现状及发展策略浅析[J].轻金属,2012(9): 8-11.
- [7] 熊家齐.全球稀土市场现状及发展趋势[J].稀土,2006,27(3): 98-101.
- [8] 郑明贵,陈艳红.世界稀土资源供需现状与中国产业政策研究[J].有色金属科学与工程,2012,3(4): 70-74.
- [9] 陈健,吴楠.世界稀土资源现状分析及我国稀土资源可持续发展对策[J].农业现代化研究,2012,33(1): 74-77.
- [10] 谢锋斌,李颖,陆挺,等.未来全球稀土供需格局分析[J].中国矿业,2014,23(10): 5-8.
- [11] 熊家齐.世界稀土市场的分析与展望[J].稀土信息,2008(6): 6-10.
- [12] 刘跃,谢丽英.全球稀土消费现状及前景[J].稀土,2008,29(4): 98-101.
- [13] 陈靖.美国及世界稀土现状及未来预测[J].稀土信息,2014(3): 35-37.
- [14] 李进.世界稀土资源竞争格局分析[J].世界有色金属,2013(4): 60-63.
- [15] 陶春.我国稀土资源产业发展问题及其对策研究[J].稀土,2011,32(3): 98-101.
- [16] 王同涛,富贵,孔江涛,等.我国稀土产业发展的问题及对策建议[J].有色金属工程,2013(3): 23-26.

- [17] 周浩, 张蓬. 我国稀土资源概况及其可持续发展浅析 [J]. 资源与产业, 2011(13): 95-100.
- [18] 刘貽南. 中国稀土出口现状及趋势 [J]. 中国金属通报, 2012(33): 18-21.
- [19] 黄小卫, 张永奇, 李红卫. 我国稀土资源的开发利用现状与发展趋势 [J]. 中国科学基金, 2011(3): 134-137.
- [20] 黄静丽. 世界稀土资源储量分布及供需现状分析 [J]. 中国集体经济, 2015(6): 109-110.
- [21] 龙晓柏, 赵玉敏. 世界稀土供求形势与中国应对策略 [J]. 国际贸易, 2013(3): 23-28.
- [22] 陈秀法, 张振芳, 王靓靓, 等. 全球稀土资源供需及资源潜力分析 [J]. 中国矿业, 2013, 22(12): 1-5.
- [23] 周扬, 张钦礼, 杨志辉, 等. 全球稀土消费预测模型研究 [J]. 工业技术经济, 2013(7): 110-116.

Current Situation of Worldwide Rare Earth Resources

Zhang Bo, Ning Yangkun, Cao Fei, Yang Huipeng

(Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Key Laboratory of Evaluation and Multipurpose Utilization of Polymetallic Ore of Ministry of Land and Resources, Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Gold Resource in Henan Province, Zhengzhou, Henan, China)

Abstract: The rare earth resources are comprehensively applied in all aspects of modern industry because of its unique physicochemical properties. This paper analyzes the physicochemical properties of rare earth elements and category of rare earth minerals. Then, the general situation of worldwide rare earth resources is introduced, which proves that the worldwide rare earth resources distribute in a batch of large-scale rare earth deposits in main rare earth countries. Moreover, the representative companies and minerals in worldwide rare earth resources are recommended and the exploitation and application trend of worldwide rare earth resources are analyzed. Through the investigation of the yield and price with rare earth in the past one hundred years, new rare earth mines and rare earth yields around the world both markedly increase. As the implement of series rare earth control policies and the increase of rare earth price, rare earth supply condition which excessive reliance on Chinese production will change. Meanwhile, the demand of rare earth especially the heavy rare earth will rapidly increase with the widespread application of rare earth in advanced technique fields.

Keywords: Rare earth resources; Reserves; Yield; Mine; Deposit

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告