



# 国外稀土文选

江苏工业学院图书馆  
藏书章

.94  
022  
3

全国稀土信息网  
中国稀土学会情报专业委员会  
一九九六年八月

## 前 言

本文选共选人8篇译文，涉及稀土的分离提纯、稀土市场、贮氢材料、磁性材料，稀土在钢中应用等方面，可供稀土科研、生产、管理方面的读者参考。

本文选由全国稀土信息网办公室组织编印，周玉林、赵建春、刘耀、张钧、李莉萍、王文联、靳铁柱、宋锡斌、伍虹等参加了译校工作，由高金良负责编辑、出版工作。由于编校者水平有限，加之编辑出版时间仓促，会有不少错误和不妥之处，衷心希望读者批评指正。

编者

1996年8月

## 目 录

美国矿务局1994年稀土年评 .....	1
稀土市场 .....	19
日本稀土工业战后五十年回顾 .....	37
贮氢合金中的可溶元素对电池性能的影响 .....	43
稀土在钢中的应用 .....	49
用化学气相迁移反应法提取和分离稀土的研究 .....	53
通过表面镀层提高NdFeB磁体抗腐蚀性的研究 ( I盐雾试验 ) .....	70
通过表面镀层提高NdFeB磁体抗腐蚀性的研究 ( II 各种溶液中的电化学特性 ) .....	78

# 美国矿务局1994年稀土年评

(1995年9月出版)

稀土元素在地壳中含量比较丰富，其中铈的含量最高，为万分之零点六，在地壳所含元素含量排位中居第25位；镱的含量最少，含量为万分之零点零零五，占第61位。稀土是1787年由瑞典中尉卡尔·阿雷尼乌斯在瑞典的伊特比村附近的长石、石岩矿中采集黑色的硅铍钇矿石时发现的。稀土元素化学结构相近，很难分离。直到1794年，芬兰化学家约翰·加多林才从硅铍钇矿石中分离出一种新元素，实际上它是钇的氧化物。稀土金属的颜色介于铁灰色到银白色间，质地柔软，具有韧性和延展性；而且稀土金属通常有很强的化学活性，尤其在高温下或精炼提纯后。所有稀土金属中铈的熔点最低，为798℃；在大气压下，液态铈比固态铈密度大；镱的熔点最高，为1663℃。稀土的这些独特性能在许多领域获得了应用。

1994年，美国稀土矿产量有所增长。同年，美国经济强力反弹，通货膨胀率仅为2.1%，美国国内的稀土消耗量估计增长了5%，据报道，国内主要稀土厂家的销售收入也有所上升（如表1所示）。石油裂化催化剂、汽车尾气催化转换器和永磁体对稀土的需求量有所增长，而电视机、X射线增光剂和照明设备对荧光粉需求量保持原有水平。钇主要用于灯用荧光粉和阴极射线管荧光体以及结构陶瓷和氧传感器的生产。

1994年，美国铈的消耗量仍然很小。由于铈金属和化合物主要用作冶金研究试剂和分析试剂，故铈的工业需求量极低。特殊照明灯和半导体对铈的需求量更低。

## 立法和政府规划

1994年跨越美国政府94、95财政预算年度。1994年国防预算审定报告于1993年11月30日颁布，有效期至1994年9月30日。上届国防预算报告中有关国防储备

超额部分的处理仍沿用了下来。1995年度的国防预算审定报告于1994年10月5日颁布，适用于1994年最后3个月。到1994年底，美国额外的稀土库存达457吨。

表1 美国稀土统计数字（除标明外都以吨REO计）<sup>a</sup>

	1990	1991	1992	1993	1994
稀土精矿产量	22700 <sup>b</sup>	16500 <sup>c</sup>	20700 <sup>c</sup>	17800 <sup>c</sup>	20700 <sup>c</sup>
出口					
钪化合物	1730	1370	1940	1620	4460
稀土金属	241	71	44	194	329
矿石和精矿	NA	459 <sup>d</sup>	—	—	—
稀土化合物	1460	1790	1310	1090	2420
铁钪发火合金	83	2100	2430	4270	3020
进口 <sup>h</sup>					
独居石	440	—	—	—	—
稀土金属、合金、氧化稀土及化合物	4490	6110	5330	6670	7620
年终稀土厂家库存量	W	W	W	W	W
实际消费量 <sup>h</sup>	28700	22100	21400	17000	17800
年终稀土价格(美元/公斤)					
氟碳铈矿精矿(REO计)	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87
独居石精矿(REO计)	1.19	0.93	0.41	0.40	0.46
混合稀土金属	11.02	11.02	12.68	12.68	12.68
矿山 <sup>e</sup> 和选厂雇员人数 <sup>e</sup>	397	411	372	352	NA
进口逆差量 <sup>f</sup> 占实际消费量百分数	20	25	33	8	NA

h: 估计数字.

NA: 数字不详.

W: 不包括倒闭公司财产数字.

a: 1994年数据由USBM提供.

b: 本数字包括氟碳铈矿提取的稀土量, 由Unocal公司年度报告提供.

c: 本数字只包括从氟碳铈矿提取的稀土量, 由钼公司公布.

d: 资料来自《商贸信息服务杂志》.

e: 包括加利福尼亚的稀土矿, 佛罗里达州的矿物砂生产厂, 新泽西矿物砂尾矿

处理厂。其中福州和新州的矿生产独居石而是职工数字不详。

f:进口总量 - 出口总量 + 政府调整数量 + 行业库存改变量。

g:只包括出口量。

1994年美国调整了对加拿大和墨西哥两国的稀土税率，而对其他国家的稀土（包括钪和钇）税率未作改动。6641号总统公告宣布贯彻1994年1月1日生效的北美自由贸易协定，因此调整了对加拿大和墨西哥的稀土税率。美国以北美自由贸易协定为基准对加拿大和墨西哥的关税进行了适当的削减，而对其他国家的关税通过关贸总协定乌拉圭多国谈判确定。关贸总协定乌拉圭多国谈判于1994年11月结束，新的税率方案于1995年1月1日生效。版号为2690的美国新税率细目表列出了美国1994年的稀土税率；2831号细目表及7月增补表列出了1995年的稀土关税税率。以上两表均由美国国际贸易委员会编制；2831号表由政府印刷办公室发行，文件号为949-011-00000-3。

## 生产

《稀土、钪和钇》是美国矿务局调查收集的一份有关美国稀土精矿产量的统计资料。两家满负荷生产的稀土矿山接受了调查；但出于保密，没有披露其产量。1994年美国有两家矿山生产稀土。美国已连续两年成为世界第二大稀土生产国。两个稀土生产公司是钼公司和联合矿物有限公司。钼公司在加利福尼亚的芒廷帕斯露天开采氟碳铈矿。钼公司的稀土精矿产量居美国首位，居世界第二位。据公司发言人说，钼公司的精矿产量按REO计，从1993年的17754吨增至1994年的20664吨。

联合矿物有限公司在处理钛锆矿的同时回收其副产物—独居石。联合矿物有限公司是澳大利亚雷尼森戈德菲尔兹联合公司的子公司，它在佛罗里达州的格林科夫斯普林斯经营一个矿山。1994年，由于对含钪稀土矿的需求量有所下降，该公司独居石产量下降了27%。

1994年，美国有三家公司生产高纯稀土。其中，钼公司在加利福尼亚州芒廷

帕斯的稀土分离厂从氟碳铈矿石中提取高纯稀土化合物。罗纳·普朗克基础化学制品公司在得克萨斯的费里波特分离厂从稀土中间化合物中提取高纯稀土化合物。另外还有位于田纳西州查塔努加的格雷斯戴维森公司以氯化稀土和其他中间稀土化合物为原料生产用于石油裂化催化剂的高纯稀土。

除了从独居石和其他稀土矿物中提取少量钇外，绝大部分钇主要依靠进口原料制取。

1994年，美国共有三家公司生产钪。它们生产不同品位的高纯氧化钪，其纯度最高可达99.999%。萨斯维尔化工公司(Sausville chemical Co.)在新泽西州的加菲尔德(Garfield, NJ)工厂精炼钪富集物，以生产氧化钪、氟化钪、碳酸钪、氯化钪和醋酸钪。波尔德科技公司(Boulder Scientific Co.)在科罗拉多州的米德工厂加工钪，它所用的钪富集物原料来源很多，主要产自蒙大拿州达比附近的克里斯特尔芒廷(Crystal Mountain)的萤石废矿中的钪钇石尾渣。而位于伊利诺斯州厄巴纳的APL Engineered Materials公司也从事金属钪和钪化合物的生产。

活性金属和合金公司是美国主要的混合稀土金属生产厂家。1994年，混合稀土金属、稀土硅化物和其他稀土合金产量下降了25%，高纯金属的产量也见下降。

美国主要的钕铁硼磁体合金生产公司有通用汽车公司的德尔科雷米(Delco-Remy)分部，宾夕法尼亚州威斯特匹兹堡的钕金属公司(Neomet Co.)和亚利桑那州菲尼克斯(Phoenix, AZ)的罗纳·普朗克基础化学制品公司。主要的磁体生产厂家有印地安纳州安德森(Anderson, IN)的德尔科雷米公司，迈阿密州埃德莫尔(Edmore, MI)的日立磁性材料公司，肯塔基州伊丽莎白敦(Elizabethtown, KY)的坩埚材料公司(Crucible Materials Co.)和印第安纳州瓦尔帕莱索(Valparaiso, IN)的IG Technologies公司。



## 消费

在详细调查稀土生产厂家，正确评估进出口总量和准确分析政府储备的基础上，从而得出了美国钍消费量的具体数字。与1993年相比，美国稀土消费量在1994年增长了5%。1994年混合稀土金属、稀土硅化物和其他稀土合金的产量比1993年减少了25%，而稀土合金消费量下降66%。混合稀土合金发货量也下降了63%。由于石油裂化催化剂和汽车尾气催化转换器产业对混合稀土中间化合物的需求增势强劲，其消费量增长了216%。发往国内的混合稀土化合物在1993年只增长了7%，而在1994年却增长了285%。

据稀土主要厂家和用户提供的消息，稀土在不同应用领域中的应用比例如下：石油精炼催化剂，34%；钢铁及合金添加剂，8%；玻璃抛光粉、玻璃添加剂及陶瓷，37%；永磁体，14%；照明、荧光粉、汽灯罩以及科研和其他用途，6%。

美国矿物局商业专家预计，1994年的钇消费量为344吨。国外资料显示钇的终极应用分配情况如下：灯和阴极射线管荧光粉，68%；结构陶瓷及零件，29%；氧传感器及其他用途，3%。美国主要从中国、英国、香港、日本和法国进口钇化合物，进口量百分比依次为：62.8%、29.3%、4.75%、2.18%和0.96%。

## 储备

1994年美国政府的稀土战略储备量为457吨。所储备的稀土中掺入硫酸钠，储存量以REO含量计算；而且由美国国防部后勤司负责所存稀土的销售。

## 价格

1994年，稀土价格起伏不定高低不一。美国氧化铈价格有所上涨，而其他氧化稀土价格同1993年持平。稀土厂家对无钍稀土原料需求的强势增长促进了氯化稀土价格的上升。同时，由于钕磁体市场保持旺势，碳酸钕的价格也随之上涨。总体来说，所有稀土产品都是标价销售，价格变化也不作通知。富有竞争性的价

格政策仍在影响着大部分稀土产品的每日报价。

钼公司氟碳铈矿的报价同去年持平，未浸出的、浸出的和焙烧氟碳铈矿价格按REO计分别为每公斤2.87美元、3.20美元和3.86美元，REO的含量依次为60%、70%、85%。

澳洲独居石的离岸价仍为1994年年终的每吨300到350澳元，其矿石中至少含55%的氧化稀土和氧化钍。由于美元疲软，1994年年终美元对澳元的外汇比价降低了0.10美元。照此汇率换算，澳大利亚独居石价格1994年为每吨233到272美元，而1993年仅为每吨204到238美元，增长幅度很大。

本文作者从几家美国稀土厂家获悉，1994年底钕铁硼合金的离岸牌价为每公斤26.68美元。美国市场销售的多数钕铁硼合金最多含15%的钆和5%的镨；钆的市场价为每公斤54.37美元，按此计算，每公斤钕铁硼合金每添加百分之一的钆，其成本将增加0.54美元。

美国的标准混合稀土金属价格保持在1993年每公斤12.68美元的水平上，其市场价为每公斤9到13美元之间。

单一稀土金属市场中，金属钇和钆的价格略有上升，而镨和钐的价格有所下降；其他稀土金属价格基本未变。就高纯稀土金属而言，磁体级金属钆的价格为每公斤29美元，蒸馏级金属镨的价格为每公斤24000美元。

表2为钼公司稀土氧化物在芒廷帕斯 (Mountain Pass) 的离岸价，1994年底有效，有效期30天。表3为钼公司稀土化合物在芒廷帕斯的离岸价，1994年底有效，有效期30天。表4为罗纳·普朗克公司稀土产品在新泽西州新不伦瑞克 (New Brunswick) 的离岸价，1994年底有效，有效期30天。

氧化钪价格未见公布。本文公布的氧化钪价格是美国稀土供应商提供的。不同纯度的氧化钪及相应价格如下：99%，1600美元；99.9%，3300美元；99.99%，5200美元；99.999%，9000美元。可以看出，氧化钪价格比1993年略有上升。

表2 钼公司氧化稀土价格

氧化稀土产品	纯度 <sup>a</sup> (%)	数量(公斤)	价格(美元/公斤)
铈(5310)	96.00	90.72	17.42
铈(5350)	99.00	90.72	23.15
镨	96.00	22.68	132.28
铽	98.00	22.68	143.30
铈	99.99	11.34	992.06
钆	99.99	24.95	121.25
镧	99.99	136.08	19.29
铈(5400)	96.00	136.08	14.88
铈(5410)	99.90	22.68	88.18
镨	96.00	136.08	37.04
铈	96.00	24.95	66.14
铽	99.90	20.00	826.72
钇	99.99	22.68	115.74

a:指总REO含量百分比

表3 钼公司稀土化合物价格

稀土化合物产品名称	纯度 <sup>a</sup> (%)	数量(公斤)	价格(美元/公斤) <sup>b</sup>
碳酸铈	99.0	68.04	21.49 <sup>c</sup>
硝酸铈	96.0	136.08	6.39
氯化稀土	46.0	113.4	2.76
碳酸镧	99.9	79.38	13.01
碳酸稀土	60.0	68.04	4.74
氯化稀土	46.0	113.4	2.31
硝酸稀土	39.0	113.4	3.86
碳酸铈	96.0	136.08	9.92

a:与REO纯度计算法相同

b:以REO价为基础

c:以每磅CeO<sub>2</sub>价为基础

约翰逊马太爱沙联合公司公布的金属钪价格如下：纯度99.99%，块状，升华处理的树枝形晶体，瓶装，氩气保护，价格为每克191美元；纯度99.9%，250微米粉末，瓶装，氩气保护，价格为每克559美元；纯度99.9%，块状，真空冶炼，瓶装，氩气保护，每克为257美元；纯度99.9%，薄片状，厚度为0.025毫米，瓶装，氩气保护，规格为25mm × 25mm，每片为117美元。

Aldrich化学公司列出的钪化合物的纯度及相应的价格如下：纯度为99.9%的水合醋酸钪的价格为每克37美元；99.99%的氯化钪水合物，每克49.75美元；99.9%的硝酸钪水合物，每克54.80美元；99.9%的硫化钪水合物，每克56.65美元。用于标准分析设备的钪离子吸收标准溶液每百毫升为19.80美元，钪ICP/DCP标准溶液每百毫升为304.40美元。

表4 罗纳·普朗克公司氧化稀土价格

氧化稀土产品	纯度 (%)	总量 (公斤)	价格 (美元/公斤)
铈	99.50	25	22.95
铈	99.95	25	37.80
镧	95.00	20	110.00
铒	96.00	20	190.00
铕	99.99	10	990.00
钆	99.99	50	130.00
钪	99.90	10	485.00
镧	99.99	25	23.00
铈	99.99	2	5500.00
铈	95.00	20	19.70
镨	96.00	20	36.80
钆	96.00	25	125.00
铈	99.90	5	685.00
铈	99.90	5	3600.00
铈	99.00	10	230.00
铈	99.99	50	88.00

每公斤钪金属锭的价格是氧化钪的两倍，而更高纯度的蒸馏后的金属钪的价

格是其氧化物价格的五倍。

### 进出口贸易

1994年，美国稀土进口总量为6670吨，价值4100万美元。进口额同1993年相比增长了14%，稀土出口额也有所上升。美国稀土发货量为10000吨，价值为5000万美元，比1993年增长了41%。

表5 美国从各国进口的稀土总量

	1993		1994	
	总量(公斤)	价值(美元)	总量(公斤)	价值(美元)
氧化铈, 氢氧化铈, 碳酸铈, 硫酸铈, 氯化铈, 草酸铈				
澳大利亚	24600	262000	28000	290000
比利时	7900	59000	12000	43700
中国	669000	2850000	718000	3150000
法国	281000	2670000	879000	7590000
德国	2310	62800	8940	204000
印度	128000	168000	60600	67300
日本	148000	3860000	173000	4010000
俄罗斯	2310	7670	91	1350
英国	4320	39900	3700	54100
其它国家	1410	37300	7220	19700
合计	1270000	10000000	1890000	15400000
氧化稀土, 氢氧化稀土, 硝酸稀土, 及其它化合物(不包括氯化稀土)				
巴西	9000	38100	—	—
中国	382000	3620000	397000	4300000
法国	4420000	26100000	4410000	22100000
德国	4080	502000	16800	1290000
香港	—	—	45100	640000
日本	145000	8200000	190000	8940000
挪威	731	140000	19700	3420000
俄罗斯	3960	362000	6610	154000
英国	4600	268000	47400	2900000

其它国家	7480 <sup>r</sup>	219000 <sup>r</sup>	6410	618000
合计	4980000	39400000	5140000	44400000
<b>无铈混和稀土氧化物</b>				
澳大利亚	4460	179000	7680	36300
比利时	9000	26100	—	—
中国	60000	1260000	202000	4410000
爱沙尼亚	9040	26700	—	—
法国	71100	4810000	51800	3120000
德国	6900	837000	9600	149000
印度	28900	92900	—	—
日本	38200	1930000	9470	994000
英国	14300	802000	70900	1130000
其它国家	7670 <sup>r</sup>	597000 <sup>r</sup>	3200	147000
合计	249000	10600000	354000	10300000
<b>混合稀土金属或合金</b>				
巴西	20400	142000	29900	197000
中国	161000	1550000	169000	2230000
日本	1230	140000	3880	127000
哈萨克斯坦	—	—	16400	74900
俄罗斯	3280	113000	14100	74400
英国	9650	674000	50200	1670000
其它国家	360 <sup>r</sup>	27900 <sup>r</sup>	620	83000
合计	196000	2640000	284000	4450000
<b>无铈混合氯化稀土</b>				
比利时	—	—	24000	183000
中国	315000	4150000	317000	4020000
法国	1	8000	7670	101000
印度	1900000	1580000	1840000	1560000
日本	24000	1360000	77200	3190000
俄罗斯	7210	61200	16000	288000
瑞典	51200	391000	—	—
英国	56200	427000	132000	1920000
其它国家	3470 <sup>r</sup>	115000 <sup>r</sup>	1620	85400
合计	2360000	8090000	2410000	11400000
<b>铈铁和其它发火合金</b>				
澳大利亚	15800	292000	8140	195000
比利时	14100	223000	9390	181000
巴西	34800	450000	23200	294000

法国	50200	612000	36000	489000
德国	3200	66400	—	—
其它国家	82 <sup>r</sup>	10100 <sup>r</sup>	651	7100
合计	118000	1650000	77400	1170000

r: 修改数字

a: 1994年数字由USBM提供, 为三位有效数字, 为并入所列总量中

资料来源: 美国统计局

表6 美国稀土出口量<sup>a</sup>

	1993		1994	
	总量(公斤)	价值(美元)	总量(公斤)	价值(美元)
钪化合物				
比利时	17900	87800	34700	194000
巴西	84300	430000	133000	542000
加拿大	385000	3440000	516000	4700000
法国	40000	423000	33100	186000
德国	64600	589000	38400	247000
香港	86100	618000	68400	448000
印度	5180	66400	49400	165000
意大利	19000	171000	8160	472000
日本	237000	2470000	441000	4880000
朝鲜	211000	1420000	1480000	5350000
马来西亚	467	87000	51000	616000
墨西哥	19500	197000	80100	469000
荷兰	3810	47500	11400	52300
新加坡	229000	834000	771000	3100000
南非	7170	37700	3380	53800
台湾	141000	542000	650000	2330000
泰国	29600	56800	47600	203000
英国	6290	39400	23900	159000
其它国家	34800 <sup>r</sup>	163000 <sup>r</sup>	25000	184000
合计	1620000	11700000	4460000	24400000
稀土化合物				
巴哈马	21400	30000	24900	15800
比利时	791	231000	163000	184000

巴西	55000	224000	790000	1880000
加拿大	99800	335000	149000	416000
智利	88100	104000	1000	7650
芬兰	34800	819000	16000	392000
法国	241000	420000	349000	502000
德国	55000	2070000	11300	615000
香港	5690	232000	57300	115000
以色列	—	—	19500	44900
日本	366000	5780000	212000	2950000
朝鲜	14800	646000	83000	2340000
巴拿马	—	—	11900	27100
菲律宾	—	—	80000	16000
台湾	59200	1740000	151000	1900000
英国	26100	379000	277000	745000
其它国家	19200'	1120000'	20000	341000
合计	1090000	14100000	2420000	12500000
<b>稀土金属</b>				
加拿大	39300	283000	52800	325000
中国	14000	58300	—	—
德国	65300	131000	86300	75300
墨西哥	200	2620	81900	37000
台湾	633	25300	32900	46300
英国	25000	124000	11300	449000
其它国家	17000'	1770000'	8980	637000
合计	161000	2400000	247000	1570000
<b>铈铁和其它发火合金</b>				
阿根廷	77300	530000	31500	108000
澳大利亚	96900	249000	77900	334000
巴林	42500	59800	15100	22100
巴巴多斯	44100	48300	30900	32800
比利时	42400	201000	43200	73400
巴西	41800	80200	1210	35500
加拿大	378000	1880000	581000	2130000
中国	110000	130000	1480	34200
赛浦路斯	26900	35500	40800	42600
丹麦	62100	114000	2430	30400
多米尼加共和国	47100	164000	348	8910
法国	99300	385000	135000	517000



冈比亚	113000	1580000	—	—
德国	284000	826000	500000	984000
希腊	124000	94200	139000	139000
危地马拉	137000	166000	2640	8980
洪都拉斯	35700	124000	—	—
香港	437.000	931000	266000	621000
冰岛	19300	499000	10900	17000
印度尼西亚	9040	32600	11700	11900
爱尔兰	21000	48700	16000	13300
意大利	4120	34200	11100	227000
牙买加	96300	123000	73000	118000
日本	696000	4440000	164000	2100000
约旦	31500	17700	60600	67000
朝鲜	5000	22000	20200	314000
科威特	61000	111000	38400	54600
墨西哥	45500	207000	89000	217000
荷兰	90100	1200000	93300	395000
新西兰	40800	59000	41400	114000
秘鲁	—	—	291000	169000
葡萄牙	—	—	14200	20000
罗马尼亚	31300	132000	—	—
俄罗斯	381	66900	6980	160000
沙特阿拉伯	295000	1640000	91100	201000
新加坡	358000	1280000	119000	331000
台湾	119000	587000	27600	115000
泰国	30100	91900	4750	38300
特立尼达和多巴西	29200	42600	4410	11600
英国	255000	923000	55300	192000
阿拉伯联合酋长国	229000	310000	172000	216000
乌拉圭	634	14600	90	10000
委内瑞拉	16900	36500	1220	54300
其它国家	123000 <sup>r</sup>	861000 <sup>r</sup>	113000	1700000
合计	4810000	20400000	3400000	12000000

r:修订后的数字

a:1994年数据由USBM提供,为并入所列总数中