

矿产普查勘探丛书

稀土金属

〔苏联〕Л.Е. 艾格尔 著

中国工业出版社

中国科学院图书馆藏

稀土金属

（第二版）

中国工业出版社

56.5715
161

矿产普查勘探丛书

稀 土 金 属

〔苏联〕Л.Е.艾格尔 著

林 强 译

中国工业出版社

目 录

总 論

第一章 稀土金属概論	1
§ 1. 稀土元素	1
§ 2. 稀土金属的主要性质	9
§ 3. 稀土金属的工业利用	12
第二章 资本主义国家稀土金属工业现状及原料基地	17
第三章 稀土金属地球化学概論	36
§ 1. 稀土金属的分布	36
§ 2. 稀土金属地球化学的某些特征	39
§ 3. 稀土金属在自然作用中的活动規律	48
第四章 稀土金属的工业矿物	51
§ 1. 总述	51
§ 2. 稀土的矿物学特征	58
§ 3. 稀土金属工业矿物簡介	64

专 論

第五章 稀土金属矿床的工业类型	83
§ 1. 内生矿床	100
§ 2. 外生矿床	135
§ 3. 变质成因矿床	148
簡短結論	153
第六章 稀土金属矿床与主要构造单元、侵入杂岩和沉积岩 系的关系	157
第七章 稀土金属矿床的主要普查方法	162
§ 1. 区域地质测量和地质构造测量	164
§ 2. 地球物理方法	168
§ 3. 重砂取样	173
§ 4. 金属量测量普查	175
§ 5. 生物地球化学和地植物普查方法	178
§ 6. 普查工作結果的綜合	179
第八章 在不同比例尺地质测量和专门性普查工作中稀土金 属矿床的普查和评价方法	198

IV

§ 1. 对成矿区和矿区远景的評價	198
§ 2. 远景地区、矿田和个别矿床的查明及初步評價	203
簡短結論	207
第九章 在普查勘探工作中稀土金属矿田和矿床的評價	208
第十章 在初步勘探中稀土金属矿床的評價	212
§ 1. 总則	212
§ 2. 由厚度不大的似层状矿体和层状矿体組成的矿床	216
§ 3. 由厚矿体組成的矿床	216
§ 4. 由呈綫状伸延的矿化带和稳定矿脉組成的矿床	220
§ 5. 由形态复杂的脉状体和似透鏡体組成的矿床	224
§ 6. 风化壳矿床	227
§ 7. 冲积-坡积砂矿	228
§ 8. 滨海砂矿	229
簡短結論	230
第十一章 在詳細勘探中稀土金属矿床的評價	232
第十二章 稀土金属矿床的取样	247
§ 1. 总則	247
§ 2. 普查工作中的取样	249
§ 3. 勘探工作中的取样	249
§ 4. 砂矿的取样	254
§ 5. 工艺取样	255
§ 6. 矿石的技术試驗	258
§ 7. 矿物学取样	258
§ 8. 样品的处理	259
§ 9. 样品的研究	262
第十三章 稀土金属矿床的工艺評價特点及矿石的主要类型	271
第十四章 稀土金属矿床儲量計算特点及各級儲量应具备的条件	279
§ 1. 稀土金属儲量分类	280
§ 2. 設計机关和工业机关对稀土金属矿床勘探程度的要求	290
第十五章 对稀土金属矿床評價的主要技术-經濟指标	291
結語	304
参考文献	309

总 論

第一章 稀土金属概論

§ 1. 稀 土 元 素

在 Д.И. 門捷列夫周期表的第三族第六周期中，有一組原子序数从 57 到 71 的特殊元素，是为“稀土” (Terra Rara—TR)，也称“稀土元素”或“稀土金属”。这些名称是历史形成的，没有什么科学根据。如果根据該組的第一个元素而將它們称为錒系元素，則是比較正确的。

稀土的研究历史开始于 1794 年，当时芬兰化学家 И. 加多林 (Гадолин) 在研究瑞典伊特比 (Иттерби) 的新矿物 (以后为了紀念他而將該矿物命名为硅鉍鉾矿 [гадолинит]) 时，发现了一种新的金属氧化物，并称之为鉍土。1803 年，德国和瑞典化学家在研究硅鉍石矿物时同时发现了“鉍土”。大約过了 40 年以后，从鉍土中成功地分离出鉍、鉿和釷的氧化物，而从鉍土中則成功地分离出錒、鉍和 Di (дидим) ① 的氧化物。到 1905 年已經发现了 14 种稀土元素，只有鉿在当时还未在自然条件下发现，它是在 1947 年在鉍的分裂产物中发现的 (表 1)。

除錒系元素外，属于稀土的还有鉍。这个元素位于周期表的第三族第五周期中，其物理-化学性质与錒系元素相似，在自然界中与它們一起共生 (表 2、3)。

对稀土元素譜綫和磁性的詳細研究表明：它們的原子构造是十分相似的。錒系元素各个电子层中的电子个数是相同的，只有

① Di (Дидим) 后来也成功地被分解为鐳、釷、釷和釷的氧化物。

有关稀土的若干历史資料

表 1

(据赫維什 [Хевеши], 1929; 魏科斯 [Weeks], 1948; 科尔热烏 [Коржеву], 1954; 哈尔 [Hall], 1957; 柯崗 [Коган], 1961等資料)

元素 名称	符号	原子 序数	发现年代 及发现人	名称的由来
钇	Y	39	1794(钇土) — 加多林 1828 (钇的氧化物)	源出于 Иттерби (伊特比) — 見 鎗
镧	La	57	1839— 莫贊杰尔	源出于希腊字“лантано” — 隐藏
铈	Ce	58	1803(铈土) — 別尔采魯斯 1825 (铈的氧化物)	紀念1801年发现的 Цереры (谷 神星)
镨	Pr	59	1885— 維尔斯巴赫	源出于希腊字 “празеос” — 淡綠 和 “дидимос” — 孿生子; 镨盐呈淡 綠色, 而 Di 盐呈玫瑰色
钕	Nd	60	1885— 維尔斯巴赫	源出于希腊字 “неос” — 新和 “ди- димос” — 孿生子; 从 Di 土中分离 出来的
钷(拟)	Pm	61	1947— 馬林斯基和 格兰登宁	紀念古希腊神話中的英雄—Про- метей (普洛米修士)
钐	Sm	62	1879— 列科克捷布 阿博德兰	源出于 鈮 钇 矿 (самарскит) 矿 物, 此矿物的名称是为了紀念在伊 尔明山发现它的俄国矿业工程师 В.Е.薩馬尔斯基 (Самарский) 的
铕	Eu	63	1900— 杰馬尔謝	源出于 Европа (欧洲)
钆	Gd	64	1886— 列科克捷布 阿博德兰	紀念发现钇土的化学家加多林 (И.Гадолин)

續表 1

元素 名称	符号	原子 序数	发现年代 及发现人	名称的由来
铽	Tb	65	1843— 莫贊杰尔	紀念 Иттерби (伊特比) — 見鐳
鐳	Dy	66	1886— 列科克捷布 阿博德兰	源出于希腊字 “диспрозитос” — 难以达到的, 因为很难将它与其他的 稀土元素分离开
钬	Ho	67	1879— 科列維	紀念瑞典首都斯德哥尔摩—古代 羅馬人称之为 Гольмия (哥尔摩)
铒	Er	68	1843— 莫贊杰尔	紀念伊特比—見鐳
铥	Tm (Tm)	69	1879— 科列維	源出于杜列 (Туле) — 一个半传 說国家 (地球的北极) 的古老名称
镱	Yb	70	1879— 馬林雅克	紀念瑞典的一个小鎮 Иттерби (伊特比), 在这座小鎮附近产有含 稀土矿物的伟晶岩。在产自伊特比 的矿物中首次发现了稀土
镱	Lu	71	1907— 烏尔宾	紀念留捷齐 (Лютеция) — 巴黎 的古代名称

深部的 N 层例外, N 层中由于 4f 能級的关系, 电子个数由鐳的 18 个增至鐳的 32 个 (表 2)。釔和鐳系元素的区别是: 它的 4f 能級中没有电子, O 层 (5S 能級) 中只有两个电子, P 层中也没有电子。

鐳系元素有一个突出的特点, 这就是“鐳系收縮”, 所謂鐳系收縮就是它們与周期表垂直各族的其他元素不同, 当元素原子序数增加时, 它們的离子半径不是增加, 而是减少: 由 La 的 1.18 Å 减至 Lu 的 0.85 Å (見表 2), 这就决定了鐳系元素之間具有十分密切的地球化学关系^①。

① 如果不专门指出是利用其他研究者的数据, 那么这里和后面所引用的离子半径, 都是根据格林 (Green, 1959) 的数据。

稀 土 金 属 电

元素名称	原子序数	离子半径 M^{3+} , Å			电 子 在 各		
		原子量, 据格林,	据格林,	据戈尔德 施密特, 1933	K	L	
		1959	1959①		1s	2s	2p
镧	57	138.92	$\frac{1.18}{1.18}$	1.22	2	2	6
铈	58	140.13	$\frac{1.07}{1.11}$	1.18	2	2	6
镨	59	140.92	$\frac{1.06}{1.10}$	1.16	2	2	6
钕	60	144.27	$\frac{1.04}{1.08}$	1.15	2	2	6
钐	61	(147)	$\frac{1.02}{—}$	—	2	2	6
铕	62	150.35	$\frac{1.00}{1.04}$	1.13	2	2	6
钆	63	152.00	$\frac{0.98}{1.02}$	1.12	2	2	6
铈	64	157.26	$\frac{0.97}{1.01}$	1.11	2	2	6
铈	65	158.93	$\frac{0.93}{0.96}$	1.09	2	2	6
铈	66	162.51	$\frac{0.92}{0.95}$	1.07	2	2	6
铈	67	164.94	$\frac{0.91}{0.94}$	1.05	2	2	6
铈	68	167.27	$\frac{0.89}{—}$	1.03	2	2	6
铈	69	168.94	$\frac{0.87}{—}$	1.01	2	2	6
铈	70	173.04	$\frac{0.86}{—}$	1.00	2	2	6
铈	71	174.99	$\frac{0.85}{—}$	0.99	2	2	6
铈	39	88.92	$\frac{0.92}{—}$	1.06	2	2	6

① 格林的离子半径是根据配位数值 6 (分子) 和 8 (分母) 计算的。

子 层 构 造

表 2

电 子 能 级 中 的 分 布

M			N				O			P
3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	6s
2	6	10	2	6	10	0	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	1	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	2	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	3	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	4	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	5	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	6	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	7	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	8	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	9	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	10	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	11	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	12	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	10	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	14	2	6	1	2
2	6	10	2	6	10	0	2			

稀 土 金 属 的

(根据美国St. Elol Corporation公司的资料,

元素	原子序数	原子量	价电子	晶格类型和参数, Å	原子半径, Å	离子半径, 厘米 ³	离子半径, M ³⁺ , Å	密度, 克/厘米 ³
Y	39	88.92	Ⅲ	六方, $a_0=3.64$, $c_0=5.73$	1.80	19.7	1.06	4.472
La	57	138.92	Ⅲ	α -La, 六方, $a_0=3.76$; $c_0=12.15$ β -La, 立方面心, $a_0=5.30$	1.870 1.872	22.43 22.48	1.22	(6.192) 6.19
Ce	58	140.13	Ⅲ (Ⅳ)	α -Ce, 六方 $a_0=3.65$; $c_0=5.96$ β -Ce, 立方面心, $a_0=5.16$	1.81 1.817	20.7 20.58	1.18	(6.768) 6.73
Pr	59	140.92	Ⅲ (Ⅳ)	α -Pr, 六方, $a_0=3.61$; $c_0=11.83$ β -Pr, 立方面心, $a_0=5.15$	1.824 1.821	20.79 20.71	1.16	(6.769) 6.78
Nd	60	144.27	Ⅲ	六方, $a_0=3.65$; $c_0=11.79$	1.818	20.60	1.15	7.007
Sm	62	150.35	(Ⅲ) Ⅲ	斜方, $a_0=8.996$; $c_0=7$; $\alpha=23^\circ 13'$	1.804	20.0	1.13	(7.54) 7.49
Eu	63	152.0	(Ⅲ) Ⅲ	立方体心, $a_0=4.59$	2.042	29.0	1.13	5.425
Gd	64	157.26	Ⅲ	六方, $a_0=3.64$; $c_0=5.78$	1.794	19.79	1.11	7.868
Tb	65	158.93	Ⅲ (Ⅳ)	六方, $a_0=3.59$; $c_0=5.66$	1.773	19.11	1.09	8.253
Dy	66	162.51	Ⅲ	六方, $a_0=3.59$; $c_0=5.66$	1.769	18.97	1.07	(8.565) 8.556
Ho	67	164.94	Ⅲ	六方, $a_0=3.56$; $c_0=5.62$	1.759	18.65	1.05	8.799
Er	68	167.27	Ⅲ	六方, $a_0=3.56$; $c_0=5.60$	1.748	18.29	1.04	(9.058) 9.15
Tu	69	168.94	Ⅲ	六方, $a_0=3.52$; $c_0=5.56$	1.742	18.12	1.04	9.318
Yb	70	173.04	(Ⅲ) Ⅲ	立方面心, $a_0=5.47$	1.933	24.75	1.00	6.959
Lu	71	174.99	Ⅲ	六方, $a_0=3.51$; $c_0=5.56$	1.737	17.96	0.99	9.849

① 表中…号表示“没有资料”。

主 要 性 质

表 3

发表在Metal progr, 1959, V.75, №6, p-112)

捕获热中子的 有效截面, 靶恩	熔 点, °C	沸 点, °C (计算的)	0°C时的比热, 卡/克分子·°C	熔 化 ΔH , 千卡/克分子	蒸 发 ΔH , 千卡/克分子	导 热 性, 卡/厘米·秒·度	0°C时的比电阻, 欧姆·厘米 10^6	正 常 电 位, 伏	磁 化 率 (CGS)
1.38± 0.14	1522	3030	6.01	4.1 94	0.035	80	-2.37	弱(+)	
8.9± 0.3	920±5	4230	6.65	2.4 93	0.033	62.4	-2.52	115×10^{-6}	
0.70± 0.08	804±5	2930	6.89	2.2 92	0.026	76.7	-2.48	700×10^{-6}	
11.2± 0.6	935±5	3020	6.45	2.4 79	0.028	73.7	-2.47	5470×10^{-6}	
46±2	1024±5	3180	7.20	2.6 69	0.031	71.8	-2.44	3460×10^{-6}	
5500± 200	1052±5	1630	6.49	2.6 46	...①	88.0	-2.41	1320×10^{-6}	
4600± 400	826±10	1490	6.00	2.3 40	...	81.3	-2.41	224×10^{-6}	
46 000 ±2000	1350±20	2730	11.20	3.7 72	0.021	40.5	-2.40	磁性性物体	
44±4	1360	2530	6.54	3.9 70	...	...	-2.39	172×10^{-3}	
1100± 150	1485±20	2330	6.72	4.1 67	0.024	56	-2.35	590×10^{-6}	
64±3	1490	2330	6.45	4.1 68	...	87.0	-2.32	437×10^{-6}	
166± 16	1500—1550	2630	6.60	4.1 67	0.023	107.0	-2.30	300×10^{-6}	
118±6	1550—1600	2130	6.45	4.4 51	...	79.0	-2.28	158×10^{-6}	
36±4	824±5	1530	6.00	2.2 32	...	27.0	-2.27	81×10^{-6}	
108±5	1650—1750	1930	6.45	4.6 75	...	79.0	-2.25	179×10^{-4}	

業已確定，在釷前面的七種元素中，當 $4f$ 能級中的電子個數增加時，電子自旋是互相平行的，而釷后面的各個元素，即由釷到鐳的 $4f$ 能級却填充着對前七種元素來講是反平行自旋的電子，這說明在鐳系元素的性質中還存在着次一級的週期(Рябчиков等, 1958)。

鐳系元素原子構造的這個特點，乃是將它們分成各自具有一系列地球化學特點的鈾亞族和釷亞族的基础。在分析化學和制取稀土的工藝學中，這兩個亞族的劃分是根據它們的鹽類在硫酸鈉或硫酸鉀飽和溶液中的溶解度而進行的：

鈾土族包括從鐳到鐳的各個元素，其複硫酸鹽不溶於硫酸鉀或硫酸鈉的飽和溶液中。

釷土族包括的元素為從釷到鐳，其複硫酸鹽溶於過剩的銨金屬硫酸鹽中。

有許多研究者對稀土進行了更細的劃分。穆拉塔、羅澤和卡郎(Murata、Rose、Karron, 1953、1957) 根據各個鐳系元素在獨居石中含量的比例，建議將鈾族分為兩個亞族——鐳亞族(Zr、Ce、Pr)和釷亞族(Nd、Sm、Er、Gd)。Е.И. 謝苗諾夫(1958)反對這種分法，他建議根據主要的偶數元素而將全部稀土分為若干個對偶亞族(парные подгруппы)，並指出在每一對偶的偶數元素和奇數元素之間有明顯的相關性。

由於沒有一個將鐳系元素劃為鈾亞族和釷亞族的統一分類，而其工業價值和缺乏程度又各有不同，因而給稀土原料基地的評價工作造成不便；不同的研究者所提出的分類是不同的，因而他們在評價礦石和礦物時便把不同的元素歸入鈾稀土和釷稀土亞族中。

在對稀土原料基地進行工業評價時，如果根據 Е. И. 謝苗諾夫的建議而將它們分成七個族，那是太多了，但是如果只將它們分成鈾族和釷族，又顯得不夠，因為這樣不能查出富含鈾、鐳和釷的礦物、礦石和礦床，而現代工業對這幾種元素的需求卻是很高的。

为了便于对稀土矿石和矿床进行工业评价，作者建议将中间的几种镧系元素 (Sm、Eu、Gd、Tb) 划分为单独的一族。以此来强调它们对现代工业的特殊意义及专门计算这几种金属资源的必要性。应当指出，由于地球化学条件不同，中间的几种镧系元素可能富集在以钪土为主的矿物（独居石、铈钽铀矿）中，也可能富集在钇-稀土矿物（铈钇矿、硅铈钇矿）中。

由此可见，把镧系元素分成以下三个族，不仅在理论上是正确的，而且在实际上也是合理的：

1. 钪族 Ce、La、Nd、Pr。
2. 钐族 Sm、Eu、Gd、Tb。
3. 钇(镧)族 Dy、Ho、Er、Tu、Yb、Lu。

钇不是镧系元素，必须单独考虑。这就是说，为了在整理矿物和矿石的分析数据时得到对比资料，应当采用以下的稀土分类及其符号：镧系元素和钇（铈除外）加在一起称为稀土的总和 (TR) 或稀土金属的总和；与此相应，它们的氧化物的总和用 TR_2O_3 这个符号来表示。镧系元素 (Ln) 的总和是指从镧到镱（铈除外）所有元素的总和而言， Ln_2O_3 这个符号是表示它们氧化物的总和。镧系元素的钪族或稀土的钪族 (Ln_{Ce})，包括的元素是从镧到镱，钐族 (Ln_{Sm}) 包括的元素是从钐到铽，而钇族 (Ln_Y) 包括的元素则是从镧到镱。钇族镧系元素和钇的总和用 $Ln_Y + Y$ 来表示。

在本书中，凡是引用其他研究者的矿石和矿物分析数据，都尽可能地根据目前通用的符号和稀土分类核对过。

§2. 稀土金属的主要性质

由于对稀土金属及其化合物性质的大力研究，近年来就这个问题出现了大量的文献，详见 Б. И. 柯岗 (1961) 编的图书索引。

所有的稀土金属皆具灰色，但色调不同，钇也具灰色，显银白色光泽。镧、铈、钐、铕、钆和铈适于锻造、热轧、冷轧和压力处理。钐性脆而坚硬。

化学成分纯的稀土金属具有很高的导电性，但随着金属纯度

的降低而急剧下降。电子逸出功由 2.54 电子伏特(鎔)至 3.3 电子伏特(鐳和釷)。某些稀土金属及其盐类是很强的顺磁性物质。

钆是一种天然的铁磁性物质,而镨及原子数序在 64 以上的其他稀土金属只是在低温条件下才能成为铁磁性物质。

稀土的同位素成分极为复杂:钪、镧、铈、钕和钇在自然界中只以一种同位素的形式出现;镨、铈和镧各有两个同位素;钆有四个同位素;铈有六个;而铈、钐、钕、镨和铈各有七个同位素(图 1)。某些稀土金属的天然同位素具放射性,其半衰期由 1.1 分(Er^{164})至 2.4×10^{14} 年(Lu^{176})。

在稀土的稳定同位素和放射性同位素中有许多是铀和钍在核子反应堆中分裂的产物,可以人工制取。钍目前在自然界中尚未发现,只能通过分裂铀的办法获取。工业意义最大的放射性同位素 Tu^{170} ,可以在原子反应堆中通过核反应(n, γ)从天然的 Tu^{169} 中获取。目前,每一种稀土元素都有 8 个(Tu)至 17 个(Gd)人造同位素(I. Bradford, 1956)。

现将稀土金属的主要物理性质列于表 3。

某些稀土金属具有一种非常重要的性能:它们能捕获热中子,这决定它们对原子技术具有特殊的意义。与硼相比,镨的捕获热中子的截面为它的 1.5 倍,鎔为它的 6 倍,钆为它的 9 倍,钐为它的 60 倍,而稀土的个别同位素,其捕获热中子的截面还要大,这由表 4 中可见。

就化学性质看,所有的稀土元素都是典型的金属,但其金属性质随原子序数的增加而略有降低。稀土的硬度相当于锰、钴和镍的硬度。就离子电位值看,稀土接近镁、低氧化铁、钴和镍。就溶解度(0.5×10^{-6} — 7.8×10^{-6} 克分子/升)看,稀土的氢氧化物最接近于 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶解度 4.9×10^{-6} — $\text{Ni}(\text{OH})_2$ (溶解度 6.0×10^{-6} 克分子/升) (Щербина, 1959)。所有的稀土都可在冷水中分解,但速度很慢,加热后则变快;在空气中氧化,特别是有水蒸气存在时更是如此,但是中间的几种镧系元素(Gd、Sm、Tb)不易氧化,在一般条件下可以长期保存其表面的夺目光泽。稀土金属

与硼相比稀土金属的个别同位素及其某些化合物

捕获热中子的最大能力

表 4

元素及其同位素①	吸收热中子的截面, 靶恩 (10^{-24} 平方厘米)
B	755
Sm	$5\,500 \pm 200$
Sm ¹⁴⁹ (13.84%)	$50\,000 \pm 20\,000$
Eu	$4\,600 \pm 400$
Eu ¹⁵¹ (47.77%)	$9\,000 \pm 3\,000$
Eu ¹⁵⁵ (人造)	$14\,000 \pm 4\,000$
Gd	$46\,000 \pm 2\,000$
Gd ¹⁵⁵ (14.73%)	$70\,000 \pm 20\,000$
Gd ¹⁵⁷ (15.68%)	$160\,000 \pm 60\,000$
Dy ₂ O ₃	2 312
Gd ₂ O ₃	92 013
Eu ₂ O ₃	9 212

① 括弧内数字表示该同位素在天然元素中的含量。

經加热后可与氢 (200° 以上)、氮 (800° 左右)、硫、磷和其他非金属起反应, 据此在炼鋼和炼鉄时可将这些元素排除。稀土金属几乎能和所有的金属熔成合金, 并能与各种有机物和无机物形成絡合物。它們的絡合物的稳定性是从鈾到鐳有規律地增加的, 分离稀土元素的現代方法 (离子交換) 正是以此为基础的。由于参与化学反应的照例是外电子层中的电子和下一个电子层的一个电子, 因此在外层軌道 P 上各有两个电子的稀土元素, 一般都是三价的, 能形成 R_2O_3 型氧化物。但是, 由于它們的原子构造具有某些特点 (見表 1), 故鈾、鐳和釷能形成高价氧化物 CeO_2 、 Pr_2O_{11} 和 Tb_4O_7 , 而鈾、鎢和鐳在还原条件下可呈二价状态存在, 此时它們能形成稳定程度不同的盐类。

稀土金属硫化物的熔点很高 ($CeS 2450^{\circ} \pm 100$, $La_2S_3 2150^{\circ}$)。稀土元素跟各种易熔金属制成的合金 also 具有很高的熔点 ($PrGa_2 1470^{\circ}$; Pr_2Sn 、 La_2Pb 和 $Ce_2Pb 1400^{\circ}$, $Ce_4Bi_3 1630^{\circ}$, 等等)。

茲將稀土金屬化合物最重要的一般性質列於表 5。

稀土金屬某些化合物的一般性質

表 5

(據波波夫、科奴德松, 1957; Rare earths metals, 1953; Heavy Minerals Co, 1957 等資料)

化 合 物	性 質
氧化物	鈾、鐳和釷能形成高價氧化物, 相應地為: CeO_2 、 Pr_2O_3 和 Tb_2O_3 , 其餘的稀土元素能形成 R_2O_3 型的氧化物。對釷、鈾和鐳來講, 已知有 RO 型的氧化物。系難熔的粉末, 不溶於水。除鈾的氧化物外, 鈾族和釷族其他元素的氧化物皆易溶於強酸中。釷族各元素的氧化物不太容易溶於酸中, 因為它們的鹼度較低
氫氧化物	系已知三價元素氫氧化物中最強的鹼類。在水中幾乎不溶; 只具鹼性, 因此不溶於鹼中, 而易與酸類起作用。鹼性隨鐳系元素原子序數的增加而降低
碳酸鹽	不溶於水
氟化物和氧氟化物	不溶於水和酸中, 加熱後可被鹼或濃硫酸分解
氯化物、溴化物和碘化物	易溶於水
氫化物, 硝酸鹽	可被酸和鹼破壞。溶於水。形成各種結晶水化合物
硫酸鹽	無水硫酸鹽 $\text{TR}_2(\text{SO}_4)_3$ 一吸濕性粉末, 其中大多數微溶於冷水中, 加熱後溶解度降低。硫酸鹽和復硫酸鹽的溶解度隨鐳系元素原子序數的增加而增加
磷酸鹽	正磷酸鹽不溶於水, 但溶於各種稀釋的有機酸中
醋酸鹽	可溶, 易水解。
草酸鹽	微溶於水和稀釋的礦物酸中
硼化物	化合物的高價形式是六價硼化物。質硬, 耐熱, 不溶於 H_2SO_4 和 HCl 中, 但溶於 HNO_3 中

§3. 稀土金屬的工業利用

第一個得到工業利用的稀土金屬是鈾。19世紀末它和釷一起