

高等学校教学用书

稀有金属冶金学

下 册

A. H. 澤里克曼著

中南矿冶学院稀有金属冶金教研组译



中国工业出版社

NO. 8-1

北京图书馆有限公司出品

75

压敏胶型

双线书标



54.45

目 录

第二篇 稀土金属和钍

第六章 概論	275
第1节 鑷系元素的性质及用途	277
物理性质 (277) 化学性质 (281) 鑷系元素化合物的一般性质 (285) 用途 (286)	
第2节 钍的性质和用途	291
物理性质 (291) 化学性质 (292) 钍化合物的一般性质 (298) 用途 (300)	
第3节 稀土金属及钍的矿石原料	302
第七章 独居石精矿的处理	309
第1节 独居石的硫酸分解法	309
第2节 由硫酸盐溶液中提取钍和稀土元素	311
第3节 由硫酸盐溶液中提取钍和稀土元素	319
第八章 钍化合物的制备	323
第1节 选择沉淀法及溶解法	324
中和法 (324) 草酸钍的析出 (325) 草酸盐净化法 (327)	
碳酸盐净化法 (328) 氟化钍的沉淀 (329)	
第2节 萃取净化法	330
第九章 稀土金属的分离方法	336
第1节 分步结晶法	337
第2节 分步沉淀法	341
第3节 选择的氧化或还原法	350
第4节 盐类的分步热分解法	356
第5节 离子交换法	356
第6节 萃取法	361
第7节 鑷系元素的全分离流程	365

第十章 稀土金属的生产	372
第1节 生产金属的原始化合物	372
无水氯化物 (373) 无水氟化物 (375)	
第2节 熔炼稀土金属所用的耐火材料	376
第3节 稀土金属的电解制取	377
第4节 制取镧系金属的金属热还原法	380
第十一章 金属钪的生产	386
第1节 二氧化钪的还原	386
第2节 氟化钪的还原	389
第3节 钪的电解生产	391
氟化钪的电解 (391) 氯化钪的电解 (393)	
第4节 钪的碘化物精炼法	396
第5节 致密钪的制取	398
钪的熔化 (398) 钪的粉末冶金 (400)	

第三篇 稀有分散金属

第十二章 镓	403
第1节 镓的性质及用途	403
第2节 镓的原料来源	405
第3节 从氧化铝生产的残料中提取镓	406
第4节 从铝电解精炼的残料中提取镓	412
第5节 从锌生产的残料中提取镓	413
第6节 纯镓化合物的制取	414
第7节 金属镓的制取	415
第8节 高纯镓的制取	416
第9节 镓的贮藏	418
第十三章 铟	419
第1节 铟的性质及用途	419
第2节 铟的原料来源	421
铟在锌生产中的行为 (423) 铟在铅生产中的行为 (424)	
第3节 由一些富铟产品中提取铟的方法	426
铟精矿的制取 (426) 由溶液中析出粗铟 (429)	

第4节 由各种类型的原料中提取铟的工艺流程的实例	430
第5节 粗铟的精炼方法	435
选择置换法 (435) 电化学法 (436) 铟的化学精炼法 (438) 真空蒸馏法 (441) 区域熔炼及从融体中“拉”铟法 (441)	
第十四章 铈	442
第1节 铈的性质及用途	442
第2节 铈的原料来源	444
第3节 由一些生产残料中提取铈的各种方法的评述	447
火冶金富集法 (447) 水冶金法 (448)	
第4节 由生产残料中提取铈的工艺流程	450
包括火冶金富集作业及氯化铈析出作业的流程 (450) 包括 $Tl(OH)_3$ 析出作业的水冶金流程 (453) 汞齐法提取铈 (454) 包括以重铬酸盐形态析出铈的水冶金流程 (459)	
第十五章 锆	461
第1节 锆的性质及用途	461
物理性质 (461) 锆及其化合物的化学性质 (461) 锆的氧化物及氢氧化物 (463) 锆的硫化物 (464) 氯化锆 (465) 锆的用途 (465)	
第2节 锆的原料来源	467
在处理硫化物原料时锆的行为 (470) 在处理煤的过程中锆的行为 (471)	
第3节 从各种类型的原料中提取锆	471
各种方法的一般评述 (471) 由各类原料中提取锆的各种工艺流程的实例 (472)	
第4节 四氯化锆的净化及二氧化锆的制取	481
化学净化法 (482) 精馏净化法 (483) 锆的盐酸萃取净化法 (483) 二氧化锆的制取 (485)	
第5节 金属锆的制取	486
用氢还原 GeO_2 (487)	
第6节 用于半导体电子学中的特纯锆及单晶锆的制取	487
用分步再结晶法净化锆 (488) 区域再结晶 (区域熔炼) 法 (491) 单晶锆的制取 (496) 锆质量的检查方法 (499)	

第十六章 铈	501
第1节 铈的性质及用途	501
物理性质及化学性质 (501) 铈的化合物 (502) 铈的用途 (505)	
第2节 铈的原料来源	506
铈在处理辉钼矿过程中的行为 (507) 铈在铜生产中的行为 (508)	
第3节 由烟尘及其他生产废料中提取铈	509
由亚利桑那 (美国) 辉钼矿精矿的焙烧烟尘中提取铈 (510)	
由生产钼酸盐的母液中提取铈 (512) 曼斯菲尔德联合企业从炼铜鼓风炉烟尘中提取铈 (515)	
第4节 金属铈的制取	519
用氢气还原高铈酸钾 (519) 高铈酸铵的还原 (520) 由氯化铈获得的高纯二氧化铈的还原 (523) 电解法制取铈 (524) 卤化物的热离解法 (525) 致密铈的制取 (525)	
参考文献	527

第二篇 稀土金屬和鈰

第六章 概 論

稀土金屬組或鐳系元素包括位于週期系中繼鐳之后而性質與鐳近似的、原子序數由58(銻)到71(鐳)的14個元素，所以鐳也包括在本組中。在化學性質上與鐳類似的元素——銩和釷也常放在本組中研究。這兩種元素（特別是釷）幾乎總是跟鐳系元素一起含於礦物原料中。

鐳系元素在物理化學性質方面彼此是極其相似的，這是由於其電子層的構造特別所致。

大家知道，各種元素的化學性質以及一些物理性質主要是由其最外電子層的構造決定。

但在鐳系元素中隨着原子核電荷的增多（原子序數的增加），其原子的最外二電子層（O層及P層）的結構幾乎沒有變化，因為添加的電子填入了尚未填滿的較內的4f層上（見表64）。

稀土元素一般都系+3價，但其中某些也有+4價和+2價。這一“不正常”價現象正是由於電子層構造有所差異之故。

我們知道，電子的結合是隨亞電子層上電子填滿一半（在f層上是填滿七個電子）或全部填滿14個電子而愈益牢固的，所以銻和鐳（頭數個f電子結合得很弱）以及在其f電子層已填滿一半的釷之后的銩和鐳就出現了+4價（見表64）。鈰(f

电子層几乎已填满一半)、鎔(f 層上有7个电子)和鑷(f 層上有14个电子)就出现了+2价。由于这些元素 f 电子層上的电子较为稳定,所以在许多情况下,仅只外面的 $6s$ 層上的两个电子参与价键。

在 $4f$ 層随着核电荷的增加而得到填充的同时,鑷系元素的原子半径和离子半径逐渐减小。这种所谓“鑷系收缩”的现象也就使得这些元素在性质上有些不同,特别是成为其由銻向鑷碱性递减的原因,也引起了各种盐类的溶解度和络合物的稳定性等方面的差异。

稀土金属通常分为二组:銻组(La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu)和釔组(Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, 和 Y)。

这种分组原则,最先是基于鑷系元素的硫酸盐与硫酸钠或硫酸钾所形成的一些硫酸复盐溶解度的不同。这与两组金属在物理性质上的某些差异也是相符合的。

然而,两组之间却没有明显界限,鎔有时又被归于釔组。

近来在文献中,采用了輕鑷系元素(由鑷到釷諸元素)和重鑷系元素(由釷到鑷諸元素)的这两个术语。

当人工制得各种超铀元素(錒, 釷, 鐳等等)后,注意到其性质不仅与铀、钍近似,而且与鑷系元素近似。因而导致目前公认的一种论点,即在元素周期系中,与鑷系元素相似,繼鑷之后应有錒系元素,这些錒系元素的特点是 $5f$ 电子層在填充。錒系元素的头几个元素較鑷系元素的头几个元素更易出现高于+3的原子价,但是随着 $5f$ 电子層的填充,其等于三价的氧化程度更为稳定。銻和釷的四价化合物的化学性质极其相似。稀土元素的矿物几乎全都含有釷,而且也是釷的主要来源,所以在处理稀土原料时要同时考虑提取其中的釷和稀土元素。这证明了將稀土金属冶金和釷冶金置于同一篇中讲述是正确的。

第 1 节 鑷系元素的性質及用途

物理性質

所有稀土元素，都系典型金屬，其金屬光澤介於鐵和銀之間。其中某些可以形成帶顏色的鹽類的元素，則略具淡黃色光澤(如鐳，釷及其他元素)。大部份稀土金屬均成密集六方晶格或面心立方晶格結晶；釷(菱形構造)和鐳(體心立方構造)，則例外(見表65)。

鑷系元素電子層的構造(按麥格爾斯的資料[1]) 表 64

元 素	符 号	原子 序数	N				O			P	所出現的 价 数
			4S	4P	4d	4f	5S	5P	5d	6S	
鐳	La	57	2	6	10	—	2	6	1	2	+3
鐳	Ce	58	2	6	10	2	2	6	—	2	+3,4
鐳	Pr	59	2	6	10	3	2	6	—	2	+3,4(5)
釷	Nd	60	2	6	10	4	2	6	—	2	+3
釷*	Pm	61	2	6	10	5	2	6	—	2	+3
釷	Sm	62	2	6	10	6	2	6	—	2	+2,3
釷	Eu	63	2	6	10	7	2	6	—	2	+2,3
釷	Gd	64	2	6	10	7	2	6	1	2	+3
釷	Tb	65	2	6	10	9	2	6	—	2	+3,4
釷	Dy	66	2	6	10	10	2	6	—	2	+3,(4)
釷	Ho	67	2	6	10	11	2	6	—	2	+3
釷	Er	68	2	6	10	12	2	6	—	2	+3
釷	Tm	69	2	6	10	13	2	6	—	2	+3,(2)
釷	Yb	70	2	6	10	14	2	6	—	2	+2,3
釷	Lu	71	2	6	10	14	2	6	1	2	+3

*註 元素釷系放射性元素，且半衰期不長(約四年)沒有從天然礦物中發現。1947年才在鈾反應堆中由人工制得，和由鈾的分裂碎片中析出。

稀 土 金 属 的

元 素	密 度 克/厘米 ³	熔 点 °C	沸 点 °C	蒸 发 热 ΔH 千卡/克分子
La	6.162	920±5	4515	81
Ce	6.768	804±5	3600	79
Pr	6.769	935±5	3450	79
Nd	7.007	1024±5	3300	69
Sm	7.540	1052±5	1900	46
Eu	5.166	900	1700	40
Gd	7.868	1350±20	3000	72
Tb	8.253	1400 -1500	2800	70
Dy	8.565	1475 -1500	2600	67
Ho	8.799	1475 -1525	2700	68
Er	9.058	1475 -1525	2600	67
Tu	9.318	1500 -1550	2400	51
Yb	6.959	824±5	1800	32
Lu	9.849	1650 -1750	3500	75
Sc	2.995	1550 -1600	2750	73
Y	4.472	1475 -1525	3500	94

註：比电阻系根据文献[2]列出，捕获截面根据文献[4]，其他根据文献[3]

物 理 性 質

表 65

0°C时的 C_p 卡/克分子 °C	比电阻 0°C 欧姆厘米 $\times 10^6$	热中子捕获 截面(巴)	構 造	晶格参数
6.65	62.4	8.9	六方密集堆积	$a = 3.770$ $c = 12.159$
6.89	76.7	0.70	面心立方	$a = 5.1612$
6.45	73.7	11.2	六方密集堆积	$a = 3.6725$ $c = 11.8354$
7.20	71.3	44	同 上	$a = 3.6579$ $c = 11.7992$
6.49	88	6 500	菱形	$a = 8.966$ $c = 23.13$
6.00	—	4 500	体心立方	$a = 4.606$
11.20	$\frac{140.5}{-135.5}$	44 000	六方密集堆积	$a = 3.6360$ $c = 5.7826$
6.54	—	44	同 上	$a = 3.6010$ $c = 5.6936$
6.72	56	1100	同 上	$a = 3.5903$ $c = 5.6475$
6.45	87	64	同 上	$a = 3.5773$ $c = 5.6158$
6.65	107	166	同 上	$a = 3.5588$ $c = 5.5874$
6.45	79	118	同 上	$a = 3.5375$ $c = 5.5546$
6.00	30	36	面心立方	$a = 5.4862$
6.45	79	108	六方密集堆积	$a = 3.5031$ $c = 5.5509$
6.01	—	13	同 上	$a = 3.3090$ $c = 5.2733$
6.01	—	1.38	同 上	$a = 3.6474$ $c = 5.7306$

列出。

稀土金屬的楊氏模數,切變模數和可壓縮性[5] 表 66

元 素	楊氏模數 達因/厘米 ² $\times 10^{-11}$	切 變 模 數 達因/厘米 ² $\times 10^{-11}$	波 桑 系 數	壓 縮 系 數 厘米 ² /公斤 $\times 10^3$
釔	6.63	2.62	0.265	2.09
鐳	3.84	1.49	0.288	3.24
鈾	3.00	1.20	0.248	4.95
鐳	3.52	1.35	0.305	3.28
釷	3.79	1.45	0.306	3.02
鈾	3.41	1.26	0.352	2.56
釷	5.62	2.23	0.259	2.52
鈾	5.75	2.28	0.261	2.15
釷	6.31	2.54	0.243	2.39
鈾	6.71	2.67	0.255	2.14
釷	7.33	2.96	0.238	2.11
釷	1.78	0.70	0.284	7.12

鈾、鐳、鐳和釷一般都具有同素異形体；釷、鈾、釷和鐳也都可能有同素異形体。

在鈾錠，鐳錠和鐳錠中，由于晶型变化的过程很緩慢，而出現兩类型的構造。

鐳系元素的一些物理性質見表65。

表上所列的各种性質中，值得注意的是有些元素的热中子捕獲截面很大：如釷、鈾、鐳。釷的捕獲截面几乎比一切元素都要大。我們举出用以控制核子反应堆作業的鐳和硼的热中子捕獲截面以資对照：鐳为 2500 巴，硼为 715 巴。

呈 2+ 价的元素 Sm, Eu 和 Yb, 其沸点比本組的其他元素显著为低，这也是引人注意的現象。

高純度的稀土金屬具有可塑性，其硬度約为布氏硬度的 20—30 單位。硬度随原子序数的增加而增加。可塑性最良好的要算鐳和鈾[2]。

这些金屬的机械性能和各种雜質的含量有密切的关系。

表66中列出鑷系元素彈性性能的一些物理常數[5]。

稀土金屬的導電率都較低。鑷在溫度 4.7°K 時出現超導電性。

所有的稀土金屬都是順磁性的，但其中某些(釷，鐳)就表現出磁鐵性能。

鈾具有一種有用的特點，當其受中子照射後，即成為一種 γ -輻射體，其輻射具有穿透能力，等於 100 千伏特電壓的 X 光管所放射出的 X 射線的穿透能力。鈾的這一性質已經在實際上得到應用。

化學性質

稀土金屬的化學活性很強，幾乎和所有的元素都起作用，能生成極穩定的氧化物、鹵化物、硫化物；在較低的溫度下都能和氫、碳、氮、磷及其他許多元素起作用。稀土金屬都可使水分解(冷時慢；加熱，則快)，本身可溶於無機酸中。

金屬的氧化及氧化物的性質 室溫下稀土金屬在乾燥空氣及潮濕空氣中的穩定性，決定於其所形成之氧化物的構造及性質，而各有不同。

如，鑷、鈾及鐳在空氣中腐蝕得很快；而釷、鈾和釷的氧化程度就不大，並且在長時間內還保持着其光澤。

鈾和其他稀土金屬在氧化性方面有着很大的差別，即其經氧化所形成的氧化鈾(Ce_2O_3)很容易再氧化成二氧化鈾 CeO_2 。這就是鈾具有自燃性的原因，而其他稀土金屬就沒有此一特點，只富鈾合金才有同樣的現象。

當加熱到 $180-200^{\circ}\text{C}$ 時，所有的稀土金屬都能在空氣中很快的氧化而生成 R_2O_3 型的氧化物(其中鈾，鐳和釷例外，它們則生成 CeO_2 ， Pr_6O_{11} 和 Tb_4O_7)。

研究純鈾的氧化情況時証實，在金屬的表面上首先是形成立方結構的氧化物 Ce_2O_3 薄膜(Ce_2O_3 的正常構造是六方的)，

进而氧化成一層疏松，而帶有裂紋的二氧化物；因为 CeO_2 的克分子体积比金屬和 Ce_2O_3 的克分子体积小，这就使銻可以毫無阻碍地被氧化。致密銻在 320°C 溫度下燃燒，而放出足以使所生成的氧化銻熔化 (CeO_2 的熔点 $\sim 2500^\circ\text{C}$) 的热。

稀土金屬氧化物的稳定性很高，这可以从表 67 中某些稀土金屬氧化物的生成热来判断。为了便于对照，氧化鈣、氧化鎂和氧化铝的生成热亦列出。

稀土金屬氧化物的标准生成热

表 67

氧 化 物	La_2O_3	CeO_2	Nd_2O_3	Gd_2O_3	CaO	MgO	Al_2O_3
生成热， 千卡/克氧原子	143	130	144	145	151.7	146.1	131.1

稀土金屬氧化物的熔点都很高（如 CeO_2 在約 2500°C 下熔化， La_2O_3 則在 2000°C 以上）。在高溫下煅燒过的氧化物，尤

各种稀土元素氧化物的顏色

表 68

氧 化 物	顏 色
$\text{La}_2\text{O}_3, \text{Ce}_2\text{O}_3, \text{Gd}_2\text{O}_3, \text{Tb}_2\text{O}_3,$ $\text{Y}_2\text{O}_3, \text{Dy}_2\text{O}_3, \text{Lu}_2\text{O}_3$	白色
Tu_2O_3	白而略帶淺綠色
Ho_2O_3	淡黃色
Pr_2O_3	綠黃色
Eu_2O_3	淺玫瑰色
Er_2O_3	玫瑰色
Nd_2O_3	淡紫色
$\text{Tb}_4\text{O}_{11}^*$	暗褐色
$\text{Pr}_6\text{O}_{11}^{**}$	黑褐色
CeO_2^{***}	加热时显黄色，冷却后呈白色

* 焙解草酸鹽而得；

** Pr_2O_3 在空气中焙解而得；

*** 存在于 CeO_2 固溶体中的少量杂质鈹（以及銻組元素氧化物的混合物）能使之呈現暗褐色。

其是二氧化鈾，难溶于酸中；在低温下煅烧氢氧化物、草酸盐或其他化合物所得之氧化物，则易溶于酸。兹将镧系元素的各种氧化物之颜色列于表 68 中。

和氢的相互作用 氢在室温下已能为稀土金属所吸收，然而只有加热到 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 时才迅速地发生相互作用，而生成 $\text{RH}_{2.8}$ 型（指铈、镧、镨）或 RH_2 型（如 GdH_2 ）的氢化物。吸收氢时体积增大。

当氢气压为 1 大气压时，氢在铈和镧中的溶解度（以每克金属所吸收之氢的厘米³计）如表 69 中所列：

氢在铈和镧中的溶解度

表 69

温 度	300°C	600°C	900°C
铈	184	160	138
镧	192	136	134

Ce, La, Pr 的氢化物的生成热约等于 $40\sim 45$ 千卡/克分子。在真空中将氢化物加热（到 1000°C 以上）即可从中除去氢。氢化物在潮湿空气中不稳定，容易溶解于酸及为碱溶液分解。

和氮的相互作用 氮在温度为 $750\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 下与镧系元素起作用，生成氮化物，大部份成 RN 型（ CeN , LaN 等等）。这类化合物很可能都是耐热而难熔的，但研究尚少。

和碳的相互作用 镧系元素能生成 RC_2 型的碳化物。在高温下熔融金属和固体金属都与碳发生相互作用。将氧化物和碳一起加热到 1600°C 以上也生成碳化物。碳化物在潮湿空气中是不稳定的，容易被水分解，生成碳氢化合物；而更多地是生成乙炔。碳化物能在金属中呈固体存在。

和硫的相互作用 硫蒸汽和稀土金属发生作用生成组成为 R_2S_3 , R_3S_4 和 RS 的硫化物（硫化氢作用于金属氯化物也可获得）。硫化物具有很高的熔点（见表 70）、很高的化学稳定

性和耐热性。其耐热性比一切已知硫化物均高。

某些镧系元素硫化物的熔点

表 70

化 合 物	熔 点 (°C)	化 合 物	熔 点 (°C)
La_2S_3	2100~2150	Nd_2S_3	2200
Ce_2S_3	2000~2200	Sm_2S_3	1900
Ce_3S_4	2500	Y_2S_3	1900~1950
CeS	2450		

 RX_3 型的镧系元素卤化物的熔点及沸点, $t^\circ\text{C}$ 表 71

元素	氟 化 物		氯 化 物		溴 化 物		碘 化 物	
	熔 点	沸 点	熔 点	沸 点	熔 点	沸 点	熔 点	沸 点
镧	1430	2330	855	1750	786	1580	784	1405
铈	1465	2330	805	1730	735	1560	755	1400
镨	1373	2330	779	1710	696	1550	736	1380
钕	1413	2330	773	1690	687	1540	778	1370
钐	1410	2330	740	1670	680	1530	800	1370
铕	1400	2330	631	分解	667	分解	823	分解
钆	1390	2280	626	分解	705	分解	880	分解
铈	1380	2280	612	1580	778	1490	929	1340
铽	1370	2280	591	1550	830	1490	955	1330
镱	1360	2230	657	1530	884	1480	958	1320
镱	1360	2230	721	1510	917	1470	1013	1300
铒	1350	2230	777	1500	953	1460	1023	1280
铥	1340	2230	824	1490	955	1440	1018	1260
镱	1330	2230	857	分解	943	分解	1030	分解
镱	1320	2230	895	1480	960	1410	1048	1210
铈	1390	2230	703	1510	907	1470	1003	1310

因此, 可将其用作耐火材料, 如熔炼金属用的坩埚。这种坩埚甚至可以熔炼如, 铈这样活泼的金属。

和卤素的相互作用 一切卤素在高于 200°C 的温度下均与

鐳系元素發生劇烈的作用，而主要生成三價的鹽。

與鹵素相互作用的強度是由氟向碘遞減。

除三價的鹵化物外，釷和鈾還生成 RX_2 型，鈾生成 RX_4 型的鹽。鐳系元素的鹵化物有着較高的熔點和沸點（見表 71）。

一切無水鹵化物，除氟化物外，吸水性都很強，很容易水解生成 ROX 型的氧鹵化物。

鐳系元素化合物的一般性質

對於鐳系元素來說最具有代表性的是三價化合物。唯獨鈾不在此例，它容易轉變為四價。除鈾而外，鐳及鐳亦生成四價化合物。已知可成二價化合物的有釷、鈾及錒。具有可變價的鐳系元素的氧化還原電位值列在後面表 93 中。

三價鐳系元素的所有氫氧化物均具有鹼性，並且少溶於水和鹼中。其鹼性從鈾到鐳是隨著與鐳系收縮的現象相聯系着的，三價離子的半徑的遞減而順次減弱，因此，鐳系元素氫氧化物之溶度積及其開始沉淀的 pH 值亦從鈾到鐳依次減小（見表 90）。

鐳系元素的氫氧化物溶解於鹽酸、硝酸及硫酸中。

稀土元素化合物無論是處於固體狀態，還是溶液，其吸收光譜都呈鮮明的譜帶和譜綫。茲將波長 2000 Å 到 7000 Å 範圍內的譜帶之相對強度示於圖 90 中。

顯然，在可見光部分（波長範圍從 3900 Å 到 7700 Å），三價的鈾離子與釷離子都應該是無色的。 La^{+3} ， Lu^{+3} 及 Yb^{+3} 離子亦然。不過這些元素之離子的吸收光譜在圖 90 中未列出。

其他稀土元素之離子，則各具有其代表性的顏色（見表 72）。吸收光譜經常用於稀土元素之分離過程作定性和定量的檢驗，同樣也用於化學分析中。

鐳系元素之氯化物、硫酸鹽與硝酸鹽可溶於水，其結晶大都呈各種組成的水合結晶形態。

鐳系元素离子的顏色

表 72

离子	顏 色	离子	顏 色	离子	顏 色
La ³⁺	無 色	Sm ³⁺	淺黃色	Ho ³⁺	黃褐色
Ce ³⁺	無 色	Eu ³⁺	淺玫瑰色	Er ³⁺	紅 色
Pr ³⁺	黃綠色	Gd ³⁺	無 色	Tu ³⁺	淺黃綠色
Nd ³⁺	紅紫色	Tb ³⁺	淺玫瑰色	Yb ³⁺	無 色
Pm ³⁺	玫瑰色	Dy ³⁺	淺黃綠色	Lu ³⁺	無 色
Ce ⁴⁺	橙紅色	Eu ²⁺	淡(草)黃色		
Pr ⁴⁺	在氧化物中呈褐色	Tb ⁴⁺	在氧化物中呈褐色		
Sm ²⁺	深紅褐色	Yb ²⁺	綠 色		

鐳系元素的氟化物及草酸鹽在水和稀無機酸中溶解甚少。在水中難溶的鹽類還有磷酸鹽、碳酸鹽和鉄氰化合物。

多數稀土金屬單鹽能與鹼金屬鹽和鉍鹽以及許多二價元素的鹽類形成復鹽或絡鹽。其中最重要的有鉍或鎂的硝酸復鹽，鈉或鉀的硫酸復鹽，鐳系元素和鹼金屬的碳酸復鹽等。在許多稀土元素的分離過程中都用到這些鹽類。

鐳系元素與各種有機物，例如：草酸，檸檬酸，一系列的氨基多醋酸（硝基三醋酸，二氨四醋酸乙烯 及其它“鉍羧絡合劑”）所構成的絡合物對鐳系元素的分離工藝過程有着很重大的意義。對已知的各種絡合物，E.A. 捷林 齊耶娃都作了論述[102]。

鐳系元素與有機物所構成的各種絡合物在穩定性與溶解度上之差異，普遍地被應用於現代的鐳系元素的分離方法中。

上面僅對鐳系元素化合物作了初步的概論。

鐳系元素各種化合物的物理化學性質還將結合其生產工藝過程分別論述。

用途[6~9a]

稀土金屬用於各技術部門是較久了，然而目前的消費水平