

廖 世 明 等 譯

# 稀土金属文集

(性能与应用)

国工业出版社

● ● ● ● ●

# 稀士全國文集

（性理與經學）

國立臺灣大學

54.45  
711

# 稀土金屬文集

(性能与应用)

廖世明等譯

3k990/26

中国工业出版社

在这本文集中收集有22篇文章，主要内容是介绍稀土元素的基本性能、稀土合金知识和稀土金属在冶金工业中的应用情况等。文章中列有详细的合金相图和性能数据等等，可供从事金属材料、稀有金属及合金生产的工作人员参考。

## 稀 土 金 属 文 集

(性能与应用)

廖世明等译

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑

(北京灯市口71号)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $14\frac{3}{4}$ ·插页2·字数334,000

1964年11月北京第一版·1964年11月北京第一次印刷

印数0001—2,640·定价(科六)2.40元

\*

统一书号: 15165·3147(冶金-515)

## 譯 者 的 話

我們編譯這本文集的目的是向讀者介紹稀土元素的性能、稀土合金和稀土在冶金工業中應用情況。因此，從國外文獻中選輯了22篇有關的文章集成一冊。這些文章中不僅介紹了稀土元素的一般情況，稀土元素的化學、物理及力學性能，以及其合金化理論和合金相圖等新資料，而且敘述了稀土元素在鋼鐵工業、高溫合金、難熔金屬及輕金屬合金中應用所取得的成就，等等。

由於廣泛開展稀土元素的研究工作還是最近十多年的事，因此這些研究成果還不夠成熟，尚未取得一致的結論。稀土金屬的基本性能與使用效果往往由於不同研究者採用的材料的純度、試驗規模及試驗技術等的不同而得出相差很大的結果，甚至互相矛盾的結果。本文集有些文章中也有類似的情況。同時，有許多報導還僅僅是試驗室的結果，尚有待於進一步的探討。因此，讀者在應用這些資料時希加以注意。國外最近也出版了幾本類似本文集的書籍，也介紹給讀者作為參考：

F.H.Spedding和A.H.Daane: The Rare Earths. 1961.

K.A.Gschneidner: Rare Earth Alloys. 1961.

E.V.Kleber: Rare Earth Research. 1962.

Е.М.Савицкий 等: Сплавы Редкоземельных Металлов. 1962.

譯者 1963年

07598

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 1. 稀土金属.....                 | 1   |
| 2. 从电子排列認識稀土元素的特性.....       | 49  |
| 3. 稀土金属、铈和钇的物理性能.....        | 69  |
| 4. 稀土金属、铈和钇的力学性能.....        | 87  |
| 5. 稀土合金合金化理論.....            | 118 |
| 6. 稀土金属、铈和钇的二元系合金相图.....     | 126 |
| 7. 钇与其他金属的作用.....            | 282 |
| 8. 稀土金属問題.....               | 292 |
| 9. 稀土的实际应用.....              | 315 |
| 10. 稀土在冶金、陶瓷及金属陶瓷中的应用.....   | 332 |
| 11. 生鉄中加铈作变性处理的特点.....       | 340 |
| 12. 稀土在鋼中的应用.....            | 344 |
| 13. 硫和稀土对低合金电炉鑄鋼力学性能的综合影响... | 356 |
| 14. 铈在碳鋼中的习性.....            | 387 |
| 15. 少量稀土和硼对結構鋼性能的影响.....     | 397 |
| 16. 稀土对不銹鋼的影响.....           | 406 |
| 17. 稀土对耐热鎳鉻合金性能的影响.....      | 417 |
| 18. 稀土对V A 族金属塑性的影响.....     | 422 |
| 19. 稀土对鑄造鉍塑性的影响.....         | 427 |
| 20. 稀土金属在难熔金属的高温合金中的应用.....  | 434 |
| 21. 鎂和稀土金属的变形合金.....         | 452 |
| 22. 鎂和稀土金属的鑄造合金.....         | 462 |

# 稀 土 金 属

F. H. Spedding, A. H. Daane

## I. 引 言

由于稀土元素在水溶液中的性质极为相似，因而彼此生成混合晶体。在离子交换技术获得应用以前，要分离这些纯元素的化合物既麻烦而又费时间。所以，获得这些纯元素是非常困难的，而且其价格昂贵。仅仅有少数人研究过这些元素的性质。尽管如此，人们在1940年就知道了许多稀土元素的无机化学知识。金属铈在1827年由Mosander〔1〕制出来了，已经有100年了。1937年Klemm与Bommer〔2〕制取出稀土金属，并测定了其结晶构造、磁化率、密度等。经过上述研究证明，纯金属状的稀土元素并不像一般想像的那样，性质是很近似，经仔细研究后其性质上的区别便很清楚了。

第二次世界大战时期及以后年代里，离子交换技术〔3，4〕有了迅速的发展，可以快速分离出化学纯的化合物。美国原子能委员会Ames试验所分离出大量的（几百公斤）纯氧化物，供给有关单位研究使用。但必须指出，有些工厂仍沿用分步结晶法生产大量的镧和铈，因为用此法分离这两种元素较为经济。溶剂萃取法已在工厂中用来分离铈，特别是用于初步分离中。1949年与1957年在工厂中采用了离子交换技术后，稀土氧化物的价格如表1—1所示。

随此种技术发展的同时，纯稀土元素的应用及其性质的研究才有了可能。在这篇文章中就是着重评述自1939年以来的有关情况，但是不拟包括以前的工作。要研究这些情况可以参考另外的

专门著作，其中例如Welsboch, Urbain, Hopkins, James, Trombe, McCoy, Klemm 等人的著作。Trombe〔5〕也写过一篇稀土元素的评论。

稀土氧化物价格表

表 1—1

| 氧化物（纯度99%以上）            | 1949年，元/克 | 1957年，元/克 |
|-------------------------|-----------|-----------|
| $\text{Eu}_2\text{O}_3$ | 1000      | 12.00     |
| $\text{Dy}_2\text{O}_3$ | 250       | 1.20      |
| $\text{Ho}_2\text{O}_3$ | 900       | 2.20      |
| $\text{Er}_2\text{O}_3$ | 900       | 1.35      |
| $\text{Tm}_2\text{O}_3$ | 2800      | 13.35     |
| $\text{Yb}_2\text{O}_3$ | 330       | 1.35      |
| $\text{Lu}_2\text{O}_3$ | 2000      | 13.35     |
| $\text{Y}_2\text{O}_3$  | 35        | 0.55      |

稀土元素包括周期表中原子序数 58 至 71 的元素。在此范围内，原子核电荷增加，平衡电子填充 4f 副层；所有这些元素的价电子层都有三个电子，因此在水溶液中都呈三价状态。钪（原子序数21）、钇（39）和镧（57）也有三个价电子，在自然界中经常发现这些元素，特别是镧与稀土元素是共生的，所以它们都包括在稀土族内。因此稀土元素占了周期表元素的六分之一，占全部金属元素的五分之一以上。现在用适当的价格在市场上可买到它们，在实际应用上已成为可能。

## I. 稀土金属的制取

由于稀土金属与氧及其他非金属元素如碳、氢与氮有极强的亲和力，因此不能用还原剂（如碳）或活性金属来还原氧化物，制造质量良好的稀土金属。稀土金属通常是用下列方法制取的。

- i) 用活性金属还原稀土卤化物。
- ii) 用活性金属还原稀土氧化物，并与蒸馏法相结合来制取。
- iii) 电解稀土的熔盐。

这些方法扼要地分别叙述如下：

## 1. 用活性金属还原稀土氯化物

因为稀土氯化物的熔点较低，反应自由能比较有利于还原，故最初用稀土氯化物制取稀土金属。但是，氯化物有吸潮的缺点。Bommer 与 Hohmann〔6〕继续了 Klemm 与 Bommer〔2〕的工作，将镧、钐、铈、镨和铈的氯化物同钾作用，得到与 KCl 渣混合的稀土金属。他们没有将金属与 KCl 渣分离，便用来测定这些元素的某些性质。

Trombe 与 Mahn〔7〕在钼坩埚中用镁还原氯化物制取了铈、钐和钐。因为上述反应是在氮与氧化碳气氛中进行的，故产品中含有较多的非金属杂质。在合金中要得到这些金属的最大产出率，加入大量过剩的镁是必要的。一般情况下，Nd—Mg 合金的产出率为 42%，Gd—Mg 合金的产出率为 52%。如在真空中缓慢加热，可以除去镁而得到纯度为 99% 的稀土金属。

Keller〔8〕在衬有耐火氧化物的反应弹中，用钙还原氯化物制铈，生产规模为一公斤时产出率为 95%。为了保持足够的反应热量，往反应弹里每克分子  $\text{CeCl}_3$  中加入 0.5 克分子碘与需要量的钙。产品中若含 2% 的钙，则用真空重熔法除去〔9〕。Spedding〔10〕引用上述方法制造镧、铈与钐。但不适宜用来制钐和钐。制钐时，只能得到氯化亚钐；制钐可以得到粉状的和海绵状的钐，但不能与炉渣分离。Eastman〔11〕及其同事在钼坩埚中，于惰性气氛下用钙还原氯化物制取 35 克铈时，产出率为 99%。经真空重熔后，产品含 1% 钙。用铈、铈、钾作还原剂，得不到产品。Spedding 与 Daane〔12〕在钼坩埚中用钙还原镧、铈、铈、钐与钐的氯化物，稀土金属产出率大于 95%。用上法只能将钐、铈和铈的氯化物还原成二价金属。Onstott〔13〕用铈还原溴化钐，可以得到金属，产出率为 50%。

## 2. 用活性金属还原稀土氟化物

由于稀土氯化物的吸潮性和难以制备，故用钙还原重稀土氟

化物 (Gd, Y) [12], 結果不佳。可用比較容易制造的氟化物來生產這些金屬。此外, 還需要在較高溫度下熔化重稀土金屬, 氯化鈣渣則在坩堝內沸騰起泡, 結果得不到好的塊狀金屬。氟化物則沒有這些缺點。

稀土氟化物用下列方法製造。

(1)  $\text{RE}^{\text{III}}\text{F}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  的沉淀在  $100^\circ\text{C}$  脫水,  $400^\circ\text{C}$  干燥。

(2) 加熱至  $350-400^\circ\text{C}$ , 用二氟化銨使  $\text{RE}_2\text{O}_3$  轉化為  $\text{REF}_3$ 。

(3)  $\text{RE}_2\text{O}_3$  在  $\text{HF}$  蒸氣下加熱至  $700^\circ\text{C}$ , 轉化為  $\text{REF}_3$ 。

Spedding [14] 詳細報導了這些方法。

氟化物無吸潮性也不吸收空氣中的水份。如果要得到純度高含氧低的金屬, 則氟化物應該脫氣並加以保護。

Mahn [15] 在約  $800^\circ\text{C}$  下, 用過量鎂還原稀土氟化物制取稀土合金。反應是在 10 份  $\text{CaCl}_2$ 、10 份  $\text{NaCl}$  與 1 份  $\text{CaF}_2$  組成的溶劑下進行的。爐料中含稀土 30—50%, 相當於合金中含約 20% 稀土。用蒸餾法去掉鎂而得到富稀土產物。實踐表明, 此法適于製造鐳、鐳、釷和鈾的鎂合金, 但對鈾和鈾則不適用。

Spedding 與 Daane [10, 16, 17] 用鈣還原氟化物制取釷與除鈾、鎢和鐳以外的其他全部稀土金屬。用鉬作反應容器最佳, 鉍、鉬和鎢也用來作過反應器。反應混合物在氬氣中加熱至  $1430^\circ\text{C}$  (氯化鈣渣的熔點) 或加熱至所制取的金屬的熔點。溫度較高, 可使爐渣和金屬分離得更為完全。生產規模為幾克至 15 公斤時, 產出率為 97% 至 99% [14]。稀土元素蒸氣壓低, 故真空熔煉可以除去鉍中的鈣而稀土損失較少。15 公斤規模的試驗是在特殊的爐子中進行的, 如圖 1—1, 該裝置能將液體金屬鑄入水冷銅模中, 不冷卻爐子並繼續往反應坩堝中加料, 每天可以生產 90 公斤金屬。金屬中的主要雜質是鉬, 在低熔點金屬中含 300—400 ppm,

而在高熔点金属中含 5000 ppm，其它杂质是 C、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、Si 与 Fe，合計 <300ppm。C、N<sub>2</sub>与O<sub>2</sub> 是从空气中或反应物吸收的气体中而来的。操作不当时O<sub>2</sub>的含量为0.2—0.3%。

Spedding 与 Carlson [14] 用镁合金法制钆，是在鈦坩埚內于惰性气氛中熔化鈣与鎂的混合物，同时加入 CaCl<sub>2</sub> 和 YF<sub>3</sub> 混合物，反应产物为27%（重量）的鎂合金与CaCl<sub>2</sub>—CaF<sub>2</sub> 渣。两者都在1000°C以下熔化。脆合金破碎后，在真空中加热至950°C，經24小时，以除去鎂。結果生成海绵状的金屬顆粒，可以将其压成电极在真空自耗电弧炉內熔化成4吋和6吋的錠。这种产品的化学分析如表1—2所示。

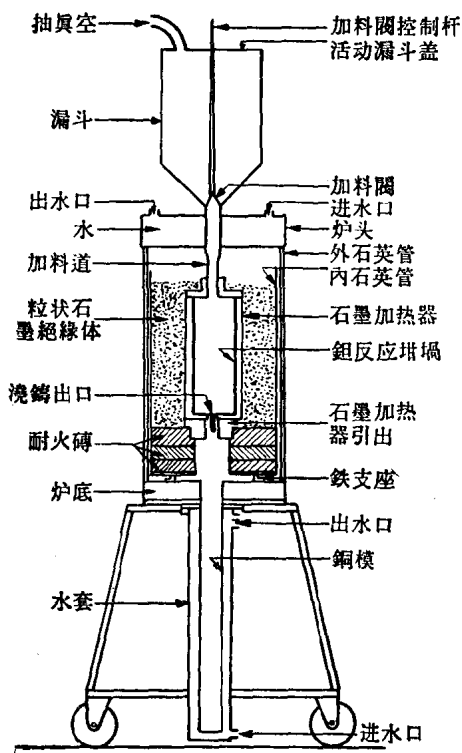


图 1—1 稀土金属生产设备图

用鎂合金法生产的金属钇中的杂质

表 1-2

| 元 素            | 含 量 ppm | 元 素    | 含 量 ppm | 元 素 | 含 量 ppm |
|----------------|---------|--------|---------|-----|---------|
| C              | 74      | Mg     | 15      | Ti  | <100    |
| N <sub>2</sub> | 13      | F      | 52      | Zr  | <100    |
| Fe             | 250     | Cu, Si | <100    | Ta  | <100    |
| Ca             | <10     | Ni     | 200     |     |         |

### 3. 用活性金属还原稀土氧化物

最初許多研究者用碳还原稀土氧化物而得到一些产物。他們认为这些产物是金属。实质上，这只是氧化物和碳化物的混合物，或者是很不純的金属。在不同条件下，用碳还原氧化物并没有得到純金属。可以推想，在适当的条件下，有些方法可以得到純金属。現在已經有一些可用的方法。有些研究者的結果表明，鈔、鎔和鐿是揮发性金属。Daane〔18〕等人拟定了在真空中加热鈔、鎔、鐿氧化物与不揮发的鑪或混合稀土金属制取它們的方法：稀土氧化物与比化学計量多10%的鑪混合物，于鉍坩堝內在真空中加热。还原鈔时，加热溫度为1450°C；还原鎔和鐿时为1200°C。鈔、鎔和鐿由反应混合物中蒸餾出来，在用空气冷却而保持在300至400°C的銅冷凝器上冷凝。冷凝溫度較高时可以得到較大的晶体，和降低沉积金属的发火点。用水冷冷凝器得到的金属置于空气中便閃燃，也从未取得像在高溫下生成的致密金属。鎔較其他稀土元素更易与空气和潮气作用。因此，用Spedding〔19〕等人的設備制取并熔化成錠。鑪是很好的还原剂。混合稀土金属中含有揮发性稀土元素，如鐳和釹，将在金属产品中成为杂质。使用La时，用最小检出量为100ppm的发射光譜也沒有检查出La。其他杂质如Ta、C、Fe和Si也低于100ppm。采用这个方法时必须仔細制取稀土氧化物。任何鈣、鎂及其他揮发性金属都会在产物中出现。如果氧化物是用汞鈉合金或琼斯还原管法从稀土混合物中分离出来，則必須仔細除去第一次沉淀稀土元素而混入的鋅、鈉或汞。否則，这些元素将成为金属的杂

质。

Iandelli [20] 在 1550°C 用铝还原钆的氧化物，蒸馏金属的产量仅为理论值的 20—25%。Onstott [21] 用钙在 1000°C 还原钆的氧化物，经过二次蒸馏，金属产出率为 40%。Achard [22] 将混合稀土氧化物与碳在真空中加热至 1400~1500°C 除去镱。镱中含有其他挥发性稀土金属如铈与铕，经过再蒸馏可以提高镱的质量。冷凝金属中有镱的低价氧化物出现。Trombe [23] 利用镱的挥发性从混合稀土碳化物中分离镱。他认为首先是碳化物分解产生挥发性镱，因为是在石墨容器中蒸馏，所以镱在冷凝过程中再转变为碳化物。

Spedding 与 Daane [24] 发现，许多稀土金属的蒸气压相当高，可在实验室条件下用真空蒸馏法提纯。在温度高于 2200°C 与真空度为  $10^{-5}$  毫米汞柱下，使用钽或钨容器。可得到不含钽，而含 < 150 ppm 氧的纯金属。虽然这一方法是用来制造挥发金属如镱与铈的，但也每炉制出 100 克很纯的钆。Spedding 和 Daane 报导 [16]，因为它们的蒸气压相差很大，真空蒸馏金属碎块，可以有效地分离稀土元素。

#### 4. 电解法制取稀土金属

混合稀土金属（金属是从独居石或轻稀土矿的混合稀土中未经分离而制取的）及其铁合金，是用稀土氯化物（有时用氟化物或氧化物）以熔盐电解方法制取的。混合稀土用于冶金工业。发火的钪合金用作火石，是目前稀土金属的最大消耗者之一。制取混合稀土金属的工艺已经建立，在实践中也取得良好的结果，致使常为电解操作而感到麻烦的实验室研究人员大为惊奇。例如，工业用的无水混合稀土氯化物是在空气中加热熔化水合氯化物制成的，这使氯化物含氯氧化物，但还可以合乎电解要求。另外，电解槽的碳可能是产品中杂质来源，但实际情况并不如此。

下面举出熔盐电解制取纯稀土金属的一些例子。Mazza [25] 研究过用电解法制取镧、铈与镨的条件。根据相图选择 NaCl—

KCl—ReCl<sub>3</sub>的槽成份。鐳、銻与鐳的純度分別为 99.7%，99.8% 与 99.6%。但是，一般采用的熔点不相同，因此这些金属的純度不完全如上述。Eastman 及其同事〔26〕发现，CeCl<sub>3</sub> 与 CeF<sub>3</sub> 可以在 KCl—LiCl 共晶体中电解，CeCl<sub>3</sub> 可以在 CaF<sub>2</sub>—LiF 共晶体中电解，金属产出率为 80%。在 CaF<sub>2</sub>—Li F 槽中电解 CeF<sub>3</sub> 只生成不成块的金属。当其它稀土在銻盐中富集时銻的产出率下降。此方法的电效率 > 50%。La Blanchetais〔27〕制取含铁低的金属銻：用仔細除去 CeCl<sub>3</sub> 溶液中的铁，脱水，再与 KCl 在硅土质槽中用錫作阴极和碳作阳极电解。电解分两步进行。在第二步中用硅土质隔板分开二种純度不同的产物。所得金属銻中含 5ppm Fe 和 < 0.4% Si。用同一方法制 鐳，純度为 99.3%，其中含有 Si 0.1、Pt 0.4、Mg 0.2%。Gray〔28〕研究了电解氯化物与氟化物制銻，金属的純度稍低于用置换法得到的金属。Morrice〔29〕电解 CeF<sub>3</sub>—LiF—BaF<sub>2</sub>，并往其中加入 CeO<sub>2</sub> 制銻，电解是在带夹套的箱中进行的，并排出 CO<sub>2</sub>。用此法制得的銻經真空精炼后純度为 99.9%（詳述于第三部份“电阻”一节）。为了改善熔融电解时稀土金属的收集，Trombe〔30〕用熔融鐳作阴极得到稀土鐳合金，然后在真空中加热去鐳。Fischer〔31〕用相似于上述的方法制取鈰。Trombe 和 Mahn〔32〕电解稀土氯化物、碱金属氯化物和氯化鎂融盐制鐳和鈰，用熔融的 Mg—Cd 合金（含 25%Mg）作阴极，阴极有两重作用：还原剂和减少稀土元素在阴极的活性的合金组分。最終合金分別含 Pr 35、Mg 46、Cd 19%；及 Y24、Mg56 Cd20%。在氬气中将合金加热至 900~1200°C 經真空熔炼除去鎂和鐳。企图用同一方法制取金属鈰，第一步制得成份为 Sm23，Mg55，Cd22% 的合金。但是，在真空蒸餾时，揮发的鈰与鎂未能分离。

Mc coy〔33〕用水溶液电解及同銻汞合金反应，制成銻和鐳的汞合金。但真空蒸餾不能使汞与銻和鐳分离。

Moeller 及其同事〔34〕研究了电解稀土盐的无水溶液制稀土金属，但此法很不可靠。

制取稀土金属的方法正在繼續改进与扩大，很难断定那一种方法最好。例如，Morrice 等与 Knickerbocker 指出电解制鈾是制取这种金属的成功方法，然而，現在又出現一些更完善的方法。

(1) 用鈣或鋰 (La, Ce, Pr, Nd, Gd, Lu) 还原氟化物 (或氯化物)。

(2) 用鈣或鋰还原氟化物，随之經真空蒸餾 (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Sc)。

(3) 在真空中用鏷还原氧化物 (Sm, Eu, Yb)。

(4) 加入鎂和鈣的氯化物，用鈣还原氟化物，再經真空蒸餾除去产品中的鎂 (Y, 及其他稀土金属)。

## II. 稀土金属的性能

### 1. 熔 点

由于能够制出純稀土元素，测定了大量的試样，以及改进了坩埚材料，故能得到比較精确的熔点数据。早期的許多数据，是用純度較差的試样測得的。由于杂质形成共晶体，所以測得这些試样的熔点是共晶体的溫度。例如，含鉄杂质的鈾的熔点与 Fe—Ce 系共晶体溫度 (640°C) 相同。另一个誤差来源，是測視技术不高明，而使熔点数据偏高。有一个时期，鈹的熔点，选用了重物指示器沉入金属試样的溫度；因为不知这种金属在高溫时有結晶轉变。高于轉变溫度，金属很軟，故一度把轉变溫度当作了熔点。

Spedding 与 Daane [35] 使用校正过的热电偶，热分析了大量純金属，求出許多稀土金属的熔点。如果重稀土金属的熔点处在热分析中使用的热电偶可能达到的溫度上限以上，則采用 Pirani 与 Altherthum 法测定熔点 [36]，即用光学高溫計观测接近被加热金属試样的黑体空穴，当金属流入空穴中，发射率虽不大但是有明显的改变，由此可以測得熔点。表1—3列出稀土金属的熔点与轉变溫度。

稀土金属熔点与转变温度

表 1—3

| 元 素 | 熔 点 °C | 转变温度°C | 元 素 | 熔 点 °C | 转变温度°C |
|-----|--------|--------|-----|--------|--------|
| La  | 920    | 868    | Dy  | 1407   | —      |
| Ce  | 795    | 725    | Ho  | 1461   | —      |
| Pr  | 935    | 798    | Er  | 1497   | —      |
| Nd  | 1024   | 868    | Tm  | 1545   | —      |
| Pm  | 1035①  | —      | Yb  | 824    | 798    |
| Sm  | 1072   | 917    | Lu  | 1652   | —      |
| Eu  | 826    | —      | Sc  | 1539   | 1335   |
| Gd  | 1312   | 1262   | Y   | 1509   | 1495   |
| Tb  | 1356   | 1310   | Ac  | 1050   | —      |

① 估計值。

## 2. 蒸 气 压

在对稀土冶金过程的早期研究中，用真空蒸馏除去稀土金属中的Na, Ca, Mg, Cd和Zn等杂质。从稀土在上述过程中的行为可以看出，很多稀土元素是不挥发性的金属。但是有关蒸气压的数据仍然很少。

Ahmann [37] 首先报导了稀土金属蒸气压，他用放射指示剂逸出法测定了铈的蒸气压，因为铈有較低的活性和挥发性，加热温度需要超过设备的設計温度。因此，所得数据不够精确。测定証明，铈的蒸发热較高 ( $108 \pm 3$  千卡/克分子)。Daane [38] 在真空中用石英絲天平测定金属蒸气逸出速度得到了镧与铈的蒸气压。因采用感应加热，温度控制得不好，数据不够精确。后来Spedding与Daane [39] 采用电阻加热，很好地控制温度，用石英絲天平重测了镧、铈、铈和铈的蒸气压，得到比較精确的结果。Gilles与Jackson [40] 用逸出法测定铈的蒸气压的结果与Spedding和Daane相同。但是蒸发热值稍高于Ahmann、Spedding和Daane的数据。Spedding、Barton和Daane [41] 用放射指示剂与直接测定失重的方法测定逸出速度，在 $10^{-1}$ 至 $10^{-7}$ 毫米汞柱压力范围内测得铈的蒸气压。两种测定方法的结果完全吻合。Spedding [19]

用石英絲天平測定鎔的蒸气压时发现鎔較其他稀土金属易揮发。在这一点及其他性质上鎔与碱金属性质相似。Spedding [42, 43] 用质谱仪研究了稀土金属的逸出性质，虽然没有計算出蒸气压，但是很好地测定了蒸发热。

用上述石英絲天平法测定了釷 [44]、釷 [14] 和鎔 [45] 的蒸气压，并計算出蒸发热。稀土金属的蒸气压，列于表1—4。有些重稀土金属的蒸气压不是直接测量而是根据Trombe [23]、Daane [18]、Spedding 及 Daane [35, 36] 的观察作出的估計值。测定此族金属的蒸发性与已知蒸气压的金属相比較就有可能知道更接近这些金属的蒸气压。例如，Habermann [36] 发现，在相同的温度、时间和蒸发面积条件下，鎔較釷多蒸餾二分之一。用原子量校正后，得出鎔的蒸气压为釷的四分之一。Spedding和Daane [16] 分步蒸餾稀土混合金属，分析在不同温度的分餾柱中冷凝的金属，得出混合金属中的金属蒸发次序。Trombe [23] 指出，釷和鎔的揮发性較其他稀土金属更大。

鎔和釷具有較高的蒸气压、低的蒸发热以及其他性质，这說明它們不符合典型的稀土性质。它們易于失去二个S层电子而成二价状态，这与碱土金属生成二价离子的情况相同。鎔和釷的中性原子中4f层常常出現d电子，以完成半填充或完全填充的稳定电子层。这是符合Hund定律的。Spedding, Hanak 与 Daane [19] 的研究指出，在金属状态下明显地为二价性、低熔点、較高蒸气压、較高压缩性、以及結構与其他性质均是比較接近碱土金属。Klemm和Bommer [2] 观察了稀土金属的結構，鎔和釷的原子体积和金属半径接近碱土金属。如下所述鎔与水份的作用也与其他稀土元素不同，而与鈣相似。釷完全不与水份起作用，暴露在空气中不受腐蝕。这是与金属晶体結構有关。

釷 [46] 和釷 [47] 的明显特点，是它們的盐是二价状态，这些金属的气体状态原子增加一个4f电子 [48]。这是因为固体状态結構在 $4f^n$ 和 $4f^{n+1}$ 間具有很小的能差。有可能計算这些元素的內聚能，这个数值較小于稀土族主体的內聚能。但是，其他性质如