

漫游稀土世界

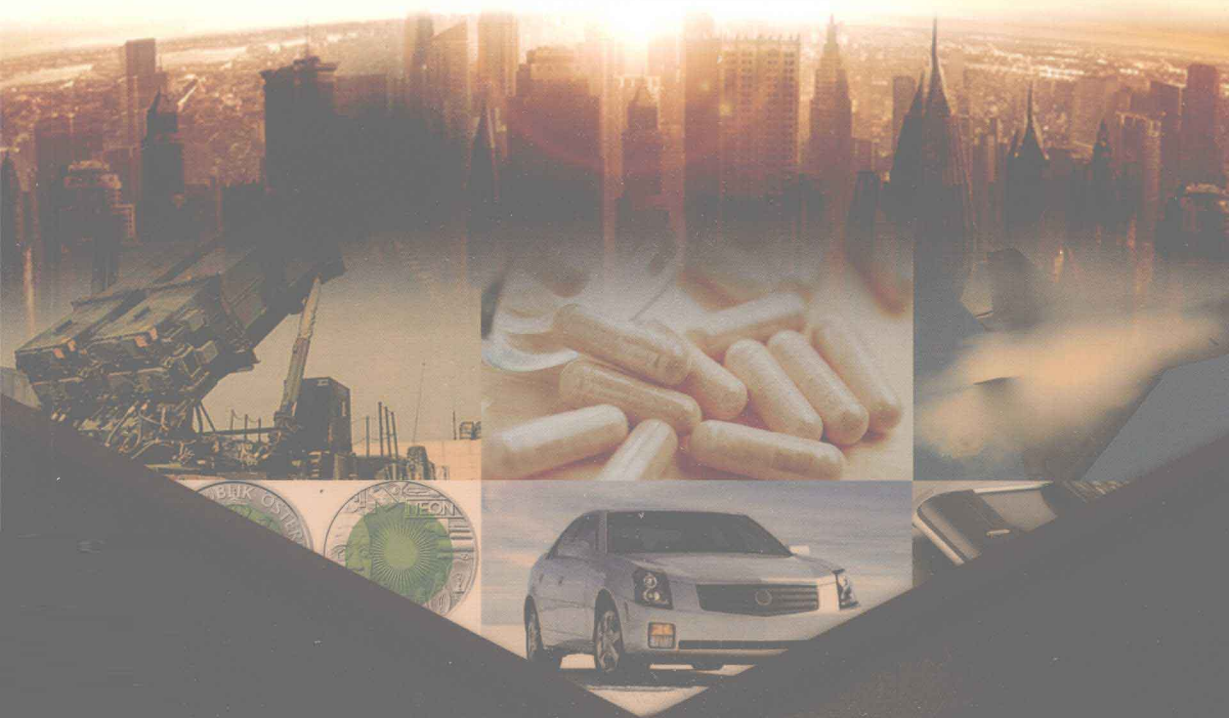
神奇的稀土，让我们的生活更精彩

中国工程院院士何继善作序

首部系统介绍稀土的科普著作

Wandering In The World Of Rare Earth

李国华 胡素娟 张炫辉 编著



稀土是什么 稀土是怎样发现的 稀土有哪些本事 稀土分布在哪里



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

李国华 胡素娟
张炫辉 编著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

漫游稀土世界

Wandering In The World Of Rare Earth

神奇的稀土
让我们的生活更精彩

中国工程院院士何继善作序
首部系统介绍稀土的科普著作

稀土是什么 稀土是怎样发现的 稀土有哪些本事 稀土分布在哪里



图书在版编目(CIP)数据

漫游稀土世界/李国华,胡素娟,张炫辉编著.

—长沙:中南大学出版社,2011.11

ISBN 978-7-5487-0278-8

I. 漫... II. ①李...②胡...③张... III. 稀土族—基本知识

IV. 0614.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 093561 号

漫游稀土世界

李国华 胡素娟 张炫辉 编著

☐责任编辑 谢贵良

☐责任印制 周颖

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 长沙市宏发印刷厂

☐开 本 710×1000 1/16 ☐印张 10 ☐字数 135 千字

☐版 次 2011 年 11 月第 1 版 ☐2011 年 11 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0278-8

☐定 价 25.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

序

漫游 稀土世界

稀土金属(rare earth metals)又称稀土元素、稀土,是元素周期表ⅢB族中钪、钇、镧系17种元素的总称(常用R或RE表示),这类稀有金属因其用途广泛、作用特殊,被誉为“万能之土”、“工业维生素”、“战争金属”,成为举世公认的战略资源。

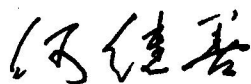
稀土很稀少,却有着神奇的能量。在工农业生产和日常生活中,它时刻与我们相伴,我们每时每刻都能体验到它的存在。离开稀土元素,许多高科技的东西就不那么令人向往了;离开稀土元素,很多工农业生产中的技术与设备就不那么神了;离开稀土元素,日常生活中的很多设施就不那么可爱了。

2009年9月28日美国《华尔街日报》称,如果没有稀土,“我们将不再有电视屏幕、电脑硬盘、光纤电缆、数码相机和大多数医疗成像设备”。该报援引稀土专家拜伦·金的话说,稀土是形成强力磁铁的元素,“很少有人知道强力磁铁是美国国防库存所有导弹定向系统中至关重要的因素”,“没有稀土,你还得告别航天发射和卫星,全球的炼油系统也会停转,稀土是未来人们将更加看重的战略性资源”。

我国是稀土资源大国、稀土产品生产大国和出口大国。可谓之为“稀土王国”,然而在国际上却几乎没有稀土的“定价权”和“话语权”。问题的关键是我们对这个王国知之甚少。

由李国华等撰写的《漫游稀土世界》是一本稀土入门书，以通俗易懂的语言向我们主要讲述：(1)稀土是什么；(2)稀土发现的故事；(3)稀土元素和稀土金属具有什么样的性能；(4)稀土元素和稀土金属在工业生产和日常生活中起什么作用；(5)世界稀土资源的分布；(6)稀土产业的发展状况。这本书把我们引入到这个几乎未知的世界。

该书信息量大、通俗易懂、内容充实，专业而详细地阐述了稀土方方面面的细节。在阅读的过程中，书中的不少观点带给我们很多启示和思考，是一本难得的稀土入门书。我看看看着就有点爱不释手之感。特推荐此书，写下此文，是为序。



中国工程院院士

湖南科协主席

2011年8月

目 录

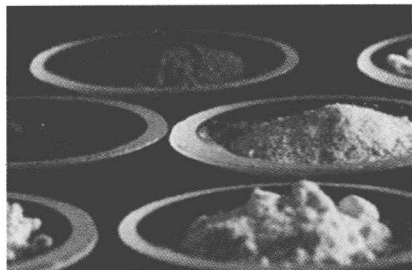
漫游 稀土世界

第一章 稀土的发现之旅	(1)
第一节 钇土家庭的第一个成员——钇	(2)
第二节 铈土家庭的第一个成员——铈	(4)
第三节 钇土家庭的其他成员——铽、镨、钕、钐、铕、铈和钐	(7)
第四节 铈土家庭的其他成员——镧、铈、铈、钐、铈和钐	(13)
第五节 稀土家族中的最后一个成员——钐	(18)
第二章 稀土金属的本事	(28)
第一节 稀土金属独特的性能	(28)
第二节 各类稀土金属的应用	(36)
第三节 稀土在日常生活中的应用	(51)
第四节 稀土在医学等生命科学中的应用	(57)
第五节 稀土在航空工业中的应用	(63)
第六节 稀土在实际应用中的主要特征	(70)
第三章 世界稀土资源	(73)
第一节 概述	(74)
第二节 世界稀土资源分布	(75)
第三节 中国稀土资源与分布	(79)

第四节	世界最大的稀土矿山——中国白云鄂博矿	(84)
第五节	中国南方风化淋积型(离子吸附型)稀土矿床	(90)
第六节	中国四川稀土矿床	(93)
第七节	中国山东微山稀土矿床	(94)
第八节	稀土的赋存状态及种类	(94)
第九节	世界稀土资源的主要特征	(100)
第十节	中国稀土资源的主要特征	(101)
第四章	世界稀土产业	(104)
第一节	世界稀土产业发展史	(104)
第二节	世界稀土生产状况	(109)
第三节	世界稀土消费	(117)
第四节	世界稀土贸易	(126)
第五节	世界稀土价格	(128)
附录一	稀土的性质与特征	(135)
第一节	稀土元素的分类	(135)
第二节	稀土元素的基本特征	(136)
第三节	稀土元素的物理性质	(139)
第四节	稀土元素的化学性质	(143)
附录二	稀土人物——中国稀土之父徐光宪教授	(146)
结束语		(149)
参考文献		(151)
参考网址		(152)

第一章 稀土的发现之旅

稀土，从字面含义是说，“稀”就是少的意思，“土”是我们日常生活中很平常的东西，而稀土中的“土”具体是指金属氧化物。“稀”与“土”结合起来，就是指稀少而又平常的东西，具体是指平时少见的金属氧化物。这些稀少的金属氧化物是如何被发现的呢？



稀土样品

要了解稀土是如何被发现的，先让我们来看看稀土元素 (Rare Earth Elements) 这个大家庭。稀土元素大家族共有 17 个成员，它们位于元素周期表中ⅢB 族，包括原子序数 21 的钪 (Sc)、39 的钇 (Y) 和 57 的镧 (La) 至 71 的镥 (Lu) 15 个元素：镧 (La)、铈 (Ce)、镨 (Pr)、钕 (Nd)、钷 (Pm)、钐 (Sm)、铕 (Eu)、钆 (Gd)、铽 (Tb)、镝 (Dy)、钬 (Ho)、铒 (Er)、铥 (Tm)、镱 (Yb)、镥 (Lu)。这

Rare Earth Elements														Y 39			
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
Lanthanides																	
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr		Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Lu	Y	

稀土元素

(Yb)、镥 (Lu)。这十五个元素位于元素周期表的第六周期的 57 号位置上，即稀土元素大家族这 15 个成员共用一个空间位置，即镧在元素周期表中的位置，又称为镧系元素。

从相互之间的渊源关系来说，这个大家族的 17 个成员来自两个大家庭：一个是钇土家庭，另一个是铈土家庭。现在让我们看看这两大家庭成员是如何被发现并走到世界上的。

第一节 钇土家庭的第一个成员——钇

钇土家庭成员中第一个被发现的是原子序数为 39 的钇，它也是稀土家族成员的老大。将它带到世界上的人是芬兰化学家加多林(Gadolin, Johau 1760—1852)。他关于钇土发现有点传奇色彩。

为什么说有点传奇色彩呢？因为钇的发现首先与一位名叫卡尔·阿雷尼乌斯(Karl Arrhenius)的瑞典军官有关。1788 年，这位可爱的军官来到了瑞典斯德哥尔摩港湾外的乙特比(Ytterby)小镇。阿雷尼乌斯虽然是军官，却有着似乎与军人不相称的业余爱好：研究化学和矿物学、收集矿石。因此，他在闲暇之时常到小镇外散

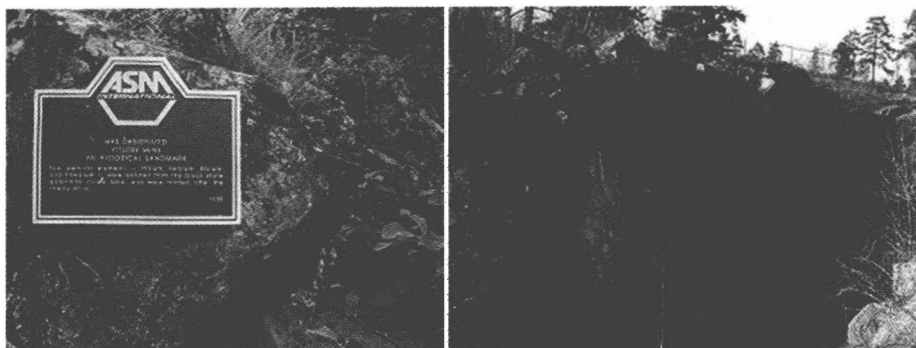


芬兰邮票(1960)
加多林(1760—1852)



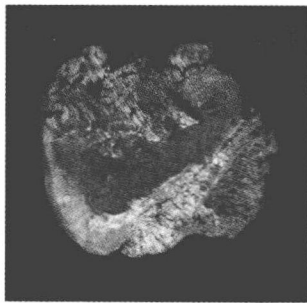
乙特比(Ytterby)小镇旧照(左图)和近照(右图)

步，目的是希望能够收集到一些新的矿石标本，以供自己研究之用。俗话说“功夫不负有心人”，他在小镇外发现了外观像沥青和煤一样的黑色矿物，并取小镇乙特比这一地名将其命名为乙特比矿(Ytterbite)。此后的几年中，这



乙特比矿场(左图, 1989 年美国国际金属学会 ASM 将乙特比矿场列为“历史地标”, 并在矿场已废弃的入口处竖立纪念牌匾; 右图, 该矿场中的乙特比矿)

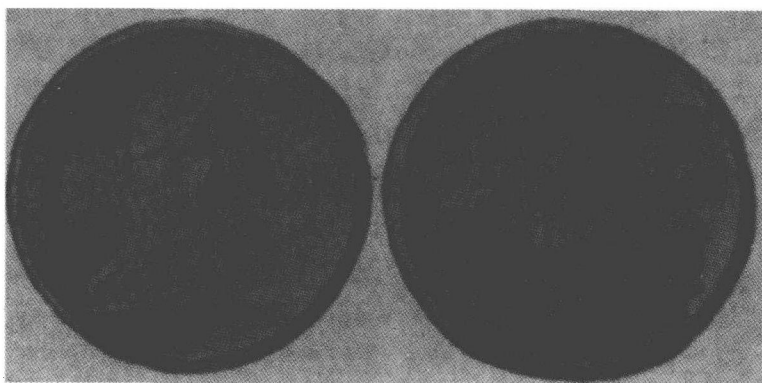
位军官花费了不少时间和精力来研究这种矿石, 但因各方面条件所限, 没有取得令他满意的结果。1794 年, 他的好友芬兰化学家加多林到瑞典旅行, 阿雷尼乌斯特意将乙特比矿带到好友那里并向他请教。加多林对这种新矿物也很感兴趣, 将它带回了芬兰进行仔细的分析, 并发现其中有一种新的金属氧化物, 且含量达 38%。经研究, 这种新的金属氧化物的性质既有点像氧化钙, 也有点像氧化铝, 但与氧化钙和氧化铝相比又有明显的区别, 即既难熔融又难溶解于水。因此, 加多林认为这种新金属氧化物是一种新元素的氧化物, 并将其命名为 yttria(中译名为铈土, 元素名称为铈, 元素符号为 Y), 以纪念这种新金属氧化物的发现地——乙特比小镇。后人经过研究发



铈金属

现，加多林从阿雷尼乌斯那儿得到的这块奇特的石头就是硅铍钇矿($\text{Y}_2\text{FeBe}_8\text{Si}_2\text{O}_{10}$)。尽管当时加多林得到的钇土还不纯，可是人们仍然认为这位化学家兼矿物学家是首先发现稀土元素的学者。为了纪念加多林的这一功绩，后人将硅铍钇矿矿石命名为加多林矿(gadolinite)，并将后来发现的另一种稀土元素(64号元素)命名为gadolinium(中译名钆)。

芬兰化学协会也于1935年设立了加多林基金，并从1937年开始，每年给有突出贡献的芬兰青年化学家颁发一笔加多林奖金和一枚铸有加多林头像的奖章(见下图)，以缅怀这位稀土化学的先驱。因此，世界稀土之父的桂冠属于芬兰化学家加多林。



加多林奖章的正面和反面
奖章材料中含有稀土金属，奖章正面是加多林教授，反面是五位化学家在做实验

第二节 钪土家庭的第一个成员——钪

钇土家庭的第一个成员面世9年以后，钪土家庭的第一个成员——钪才与世人见面，它也是稀土家族的第二个成员。

用“英雄所见略同”这句话来形容稀土钪的发现过程是十分恰当的。1803年，出于职业的敏感性，德国化学家克拉普罗特(M. Klaproth)、瑞典化

学家贝采里乌斯(J. J. Berzelius)和希辛格(W. Hisinger)均对瑞典瓦斯特拉斯的一种红色重矿石十分感兴趣。德国化学家和瑞典化学家彼此独立地对这种矿物进行了深入细致的研究,克拉普罗特确定了有一种新元素的氧化物存在,称为 ochra(赭色土),因为它在灼烧时出现赭色,元素就被命名为 ochroium,矿石被称为 ochroite。同时,贝采里乌斯和希辛格经过研究也在该矿石中发现了一种新元素的氧化物,称为 ceria(铈土),元素称为



克拉普罗特(1743—1817)
德意志分析化学家和矿物学家

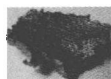
cerium(铈),元素符号定为 Ce,矿石称为 cerite,以纪念当时发现的一颗小行星—谷神星(Ceres)。随着科学研究和分析技术的发展,后人系统研究了这种红色重矿石,发现它是铈硅石,且发现 ochroium 和 cerium 是同一元素。也不清楚是什么原因,经过若干年后,这两个元素名称的命运截然不同,前者被丢弃了,后者被采用了。这也许是后者与小行星谷神星有一定的联系,具有纪念意义吧!同一种元素有两个不同的名称是由于当时的交流与通信条件



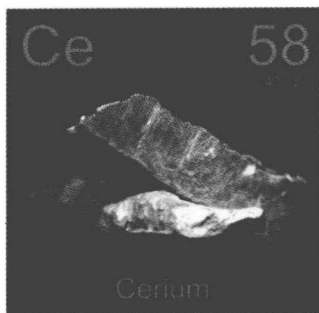
贝采利乌斯(1779—1848)
瑞典化学家



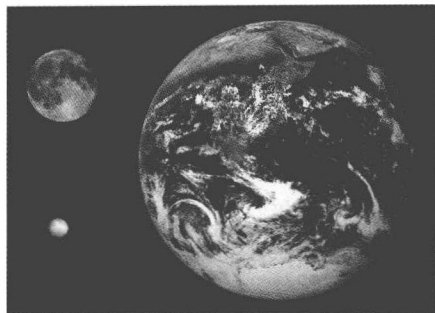
希辛格(1766—1852)
瑞典化学家



所限造成的。如果那时有现在这么多的报纸杂志，如果有现在众多的学术交流平台，如果有现代网络系统，克拉普罗特能够给贝采里乌斯和希辛格发个短信或者通过 QQ 聊天的话，这种情况就不会出现了。



铈金属



哈勃空间望远镜下的谷神星与地球和月球大小的比较图

铈和铈的氧化物被发现以后，又一个问题提出来了，即为什么会将它们的元素称为稀土元素，而不取其他的名称来称呼它们呢？这可以从铈和铈的发现过程看出端倪。在铈和铈的发现过程中，首先是它们的氧化物被发现，然后就依据氧化物的性质来确定元素名称，没有涉及元素单质的问题。导致这种情况出现的根本原因是在发现它们的氧化物后，为了进一步研究各种稀土元素的性质很多人都想获得它们的单质，但经过几十年，各国化学家的种种努力均没有取得满意的结果，直到 1875 年希尔布郎德利用电解熔融铈的氧化物，才获得金属铈。这是今天制取稀土元素金属的一种普遍方法，也说明它们的氧化物和土族元素的氧化物一样很难被还原。正是基于这方面的原因，同时，基于对这些元素有限的了解，当时化学家认为它们很罕见，在地球中的含量也很稀少，而且性质类似于当时已知的“土”，即金属氧化物，如氧化钙、氧化铝和氧化镁等，所以各国化学家便称铈和铈这两种元素为“稀土元素”。后来，随着科学技术的发展以及对稀土元素研究的深入，发现稀土在地壳中的含量并不稀少，但非常分散。衡量元素在地壳中含量(百分比)

的指标是丰度，稀土元素在地壳中丰度和一般常见元素相当，例如铈的丰度接近锌和锡，钕和钇的丰度接近铌和钴，镧的丰度接近铅和钙，丰度较低的铈、铽、铪、镨也比镉和银高。全部稀土元素在地壳中的总丰度比锌高3倍，比铅高9倍，比金高30000倍。但是，这些稀土元素在地壳中非常分散，很难开采或开采成本极高，具有工业开采价值的很少。因此，仍然沿用当时对它们的称呼，即一直称它们为稀土元素。

另一个问题是，为什么钇和铈先于其他稀土元素被发现呢？因为与其他稀土元素相比，钇和铈在自然界中的含量相对较高。这是它们首先被发现的主要原因之一。但是，钇和铈的发现意义不仅仅在于发现钇和铈这两种新元素，还在于为其他稀土元素的发现提供了线索，其他稀土元素的发现正是源自这两个元素的发现。如果说稀土元素是一新材料的宝库的话，钇和铈就是通往这座宝库的两扇大门。

第三节 钇土家庭的其他成员 ——铽、镨、钆、铒、铈、镱和钫

钇和铈被发现后，虽然当时一些化学家已经意识到，最初发现的钇和铈不是纯净的，但是一直没有办法确定究竟还有什么稀土元素混杂在其中。经过各国化学家和矿物学家的努力，大约40年后，瑞典大化学家琼斯·雅可比·贝采里乌斯(Jons Jakob Berzelius)的门徒——化学家莫桑德尔(C. G. Mosander)给我们带来第一个答案，也使稀土家族成员中的第一对双胞胎——铒和铽面世了。

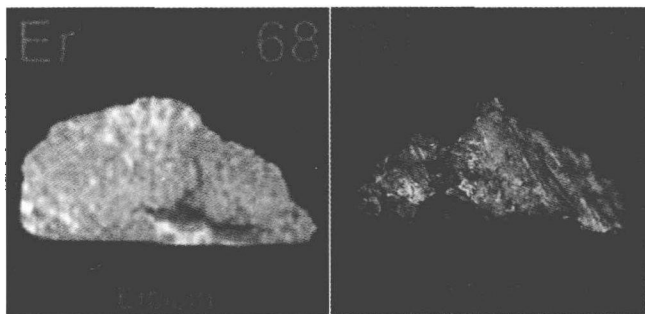


莫桑德尔(1797~1858)
瑞典化学家，贝采里乌斯的学生



1.3.1 稀土家族的第一对双胞胎——铒和铽

莫桑德尔对最初发现的铈土重新进行了仔细的分析研究，并在 1842 年发表的论文中指出：“最初发现的铈土不是单纯 1 种元素的氧化物，而是 3 种元素氧化物的混合物”。他把其中一种仍称为铈土，其余两种分别命名为 erbia 和 terbia(中文译名为铒土和铽土，元素名称为铒和铽，元素符号为 Er 和 Tb)，之所以取这两个名称是为了纪念最初发现含有铈土的那块矿石的产地——乙特比小镇。



铒和铽金属

莫桑德尔杰出的研究成果为解开稀土元素之谜奠定了坚实的基础。然而，铒和铽的发现距离稀土家族的 17 个成员集体“亮相”还有一段漫长的旅程。

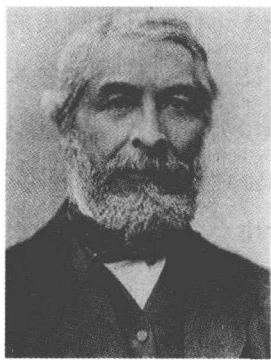
莫桑德尔从铈土中得到铒和铽后，人们必然会产生这样的疑虑，既然铈土是三种元素氧化物的混合物，那么新发现的铒土和铽土会不会也像最初的铈土那样隐藏在其他含量更少的新稀土元素氧化物？

1.3.2 镱的面世及从镱土中发现的钪、钽、铪、镨和镱

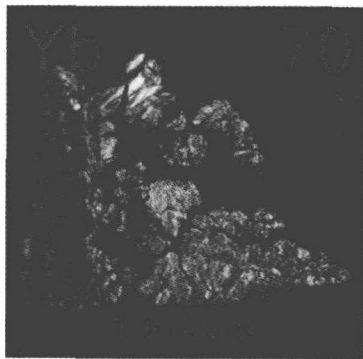
有上述疑虑是合情合理的，也只有敢对前人，尤其是一些影响很大的研究成果进行怀疑，科学研究工作的进步才会有驱动力。100 多年前镱的发

现，以及钪、钽、铪、镨和铕的发现可以很好地证明这个观点。这句话看起来很简单，说起来也很轻松，但是上述六种元素的发现过程却曲折得多。

自 1842 年莫桑德尔从钇土中分离出铈和铽之后，各国化学家和矿物学家一直考虑这样一个问题，即“钇土中除了铈和铽外，是否存在其他新的稀土元素？”为此，他们采用不同的方法和新的技术手段来寻找这个问题的答案。经过 36 年的努力，1878 年法国光谱学家、化学家德拉方坦（M. Delafontaine）又从钇土中分离出一种新土，称之为 philippium，由于各种原因这个新土没有得到承认。同年，瑞士化学家马利纳克（Marignac）又从钇土中分离出一种新土，称之为 ytterbia（中文译名为镱土，元素名称为镱，元素符号为 Yb），取这个名字也是为了纪念首次发现含稀土元素矿石的瑞典小镇——乙特比。这种新土最终获得了承认。

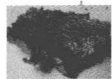


马利纳克 (1817—1894)
瑞士化学家

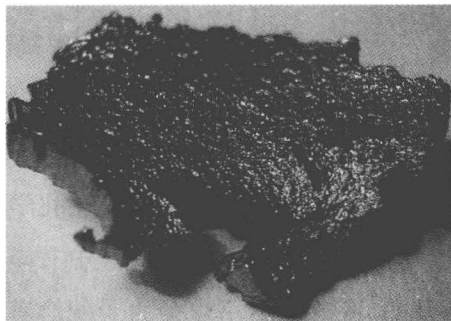


镱金属

从钇中寻找到了镱这种新稀土元素，马利纳克品尝到了发现的喜悦，体验到了成功的快乐。在他享受自己的劳动成果之时，人们自然会进一步深思：既然钇中可以分离出镱，那么镱是否也像钇那样是个混合物，是否也可从中分离出其他稀土元素呢？带着这个问题，许多科学家开展了对镱的详细



而又系统的研究工作。1879 年瑞典化学家尼尔逊(L. Nilson)对镧土进行了详细的研究,期望能测定出稀土元素镧的物理和化学常数,借以验证元素周期律。虽然这项工作未获得预期的成果,但是却“有心栽花花不开,无心插柳柳成荫”,他证明了镧土也是一种混合物,并又从中分离得到了一种新土,称之为 scandia (中文译名为钪土,元素名称为钪,符号为 Sc),这样取名是为了纪念他自己的祖国瑞典所在的斯堪的纳维亚半岛。稀土元素钪的名称“scandia”也从一个侧面反映了尼尔逊先生的拳拳爱国之心。



钪金属



克利夫(1840—1905)
瑞典化学家及地质学家

在 19 世纪 80 年代,门捷列夫的周期律和周期系已被广泛接受。瑞典化学家克利夫(P. T. Cleve)在研究了钪的一些性质后指出,它就是门捷列夫曾经预言的“类硼”元素。尼尔逊在德国化学协会关于发现钪的报道中写道:“毫无疑问,俄罗斯化学家的预言如此极其明显地被证实了。他不但使我们预见到他所命名元素的存在,而且还预先提出了它的一些最重要性质。”克利夫预言和尼尔逊关于钪的论述也很好说明了门捷列夫元素周期表的意义,以及它能够被大家广泛接受的原因。

怀着与马利纳克同样的梦想——从已知的稀土中分离出新的稀土元素,克利夫经过努力从氧化铈中分离出氧化镧和氧化钪后,继续进一步分离又得到两种新元素氧化物,他分别将这两个新元素命名为 holmium 和 thulium(中