

稀有元素矿床学

成都地质学院

第七教研室

1966.5

稀有元素礦床学

(适用稀有元素矿产地质及勘探专业)

樂世伟 編

成都地质学院第七教研室

1966.4.

前 言

由于各方面需要，在近几年来教学工作的基础上，根据“稀有元素矿产地質及勘探”专门化的教学要求，编写了这本教材，作为“矿床学原理”的补充。其内容主要是阐明稀有元素的某些成矿特点，各种成因类型的稀有元素矿床的形成条件，形成作用及其他特征。为了避免与“矿床学原理”的重复，有关矿床成因方面的一般问题，如岩浆期后矿床成矿溶液的来源，矿液的性质，有用组分搬运与沉淀的方式，沉淀的原因，交代作用，空间分带，围岩蚀变，成矿的深度与温度以及矿石建造等，本书均未涉及。

全书分绪论、岩浆岩矿床、伟晶岩矿床、气成热液矿床、热液矿床、外生矿床、变质矿床及成矿规律等八章。其中岩浆岩矿床、伟晶岩矿床及气成热液矿床是本书的重点。较详细的阐述了稀有元素在这三个成矿作用中的地球化学行为、成矿条件、成矿方式、成矿规律及经济价值。热液矿床、外生矿床及变质矿床在本书中未详细讨论。因为稀有元素在其中多呈伴生组份的形式存在，一般不形成独立的稀有元素矿床。

教材中部分内容虽不是教学大纲所要求的，但考虑到“因材施教”的原则，特用小号字排印，以便学习较好的同学参考。

本教材在编写过程中，得到了党组织的大力支持和教研室全体同志的大力协助。并承蒙李唐泌教授和陈尚迪同志系统审阅，第七教研室陈殿芬、刘集银、冯子道、矿床教研室李承德、闻谔、岩石教研室李德惠、付公勤等同志分别进行了有关部分的审阅，提出了宝贵的意见，在此一并致谢。

由于编者思想，业务水平有限，理论基础不够，教学、科研和生产经验不足，在运用地球化学、物理化学原理解释稀有元素的成矿作用时，错误之处难免，文字措辞也可能有不妥之处。务请同志同学们在试用本教材发现缺点与错误后，来信指正，以便再版时修正补充，不胜感谢之至！

成都地质学院第七教研室

巢世伟

1965.2. 修

目 录

前 言	
第一章 緒 論	1
§1. 稀有元素矿产及矿床	1
§2. 稀有元素矿床学的任务及研究方法	2
§3. 稀有元素矿床学的研究概况	4
§4. 稀有元素矿床的成因分类	5
第二章 稀有元素岩浆岩矿床	9
§1. 概 述	9
§2. 稀有元素岩浆岩矿床的形成条件	9
一、岩浆的存在及其活动	9
二、稀有元素岩浆岩矿床形成的构造环境	13
§3. 稀有元素岩浆岩矿床的形成作用	14
一、岩浆的結晶作用与稀有元素矿化	14
二、岩浆岩中稀有元素矿化的主要形式——副矿物	17
三、岩浆的汽化分异作用与稀有元素矿化	19
四、具工业价值的稀有元素岩浆岩矿床的条件	21
§4. 各类型稀有元素岩浆岩矿床的主要特征	21
一、与基性—超基性岩有关的稀有元素岩浆岩矿床	21
二、稀有元素花崗岩岩浆岩矿床	23
三、稀有元素碱性岩浆岩矿床	26
§5. 稀有元素岩浆岩矿床的研究方面及方法	33
第三章 稀有元素伟晶岩矿床	36
§1. 概 述	36
一、伟晶岩的产出特征	36
二、伟晶岩的結構构造特征及矿物成分	36
三、伟晶岩的經濟价值	42
§2. 稀有元素花崗伟晶岩矿床的形成条件	43
一、伟晶岩熔融体	43
二、构造环境对伟晶岩形成作用的影响	43
三、伟晶岩的形成与围岩的作用	45
§3. 稀有元素伟晶岩的形成作用	47
一、伟晶岩形成的阶段性	47

二、伟晶岩形成的地球化学特征·····	49
三、稀有元素在伟晶岩形成作用中的地球化学行为·····	50
§4. 稀有元素花岗伟晶岩的分类及各类型的主要特点·····	53
一、分 类·····	53
二、各类型稀有元素花岗伟晶岩的主要特点·····	57
§5. 稀有元素碱性伟晶岩·····	61
§6. 稀有元素伟晶岩矿床的研究方面及方法·····	63
第四章 稀有元素气成热液矿床·····	68
§1. 概 述·····	68
§2. 钠长石化云英岩化矿床·····	71
一、一般特征·····	71
二、交代蚀变作用及矿物成分·····	71
三、稀有元素的矿化·····	75
四、钠长石化云英岩化矿床的形成作用·····	78
§3. 云英岩化及云英岩矿床·····	81
一、一般特征·····	81
二、交代蚀变作用及矿物成分·····	82
三、稀有元素的矿化作用·····	83
§4. 钠长石化及钠长岩矿床·····	86
§5. 碳酸岩矿床·····	90
一、一般特征·····	90
二、碳酸岩产出的地质构造特征·····	90
三、碳酸岩的矿物, 化学及地球化学特征·····	93
四、碳酸岩的成因·····	95
§6. 气成热液矿床的研究方面及方法·····	100
第五章 稀有元素热液矿床·····	102
§1. 概 述·····	102
§2. 热液矿床中的分散元素·····	103
§3. 稀土热液矿床·····	106
§4. 稀有分散热液矿床的研究方面及方法·····	107
第六章 稀有元素外生矿床·····	108
§1. 概 述·····	108
§2. 表生作用中稀有元素的地球化学行为·····	109
§3. 与风化壳有关的稀有元素矿床·····	110
§4. 稀有元素沉积矿床·····	112
§5. 稀有元素砂矿床·····	114
§6. 砂矿床的研究方面及方法·····	117
第七章 稀有元素变质矿床·····	118
§1. 概 述·····	118

§2. 受变质矿床.....	118
§3. 变成矿床.....	119
第八章 稀有元素矿床的成矿规律.....	120
§1. 稀有元素矿床的地质条件.....	120
一、稀有元素矿化与区域地球化学特征.....	120
二、稀有元素矿化与侵入岩的关系.....	120
三、稀有元素矿化与构造的关系.....	121
四、围岩对稀有元素矿化的影响.....	122
§2. 稀有元素矿床成矿的地球化学条件.....	122
一、稀有元素矿化与其晶体化学性质的关系.....	22
二、稀有元素的矿化与交代作用的关系.....	123
三、稀有元素的矿化与挥发组分的作用.....	124
§3. 稀有元素成矿的时间及空间.....	124
一、稀有元素矿床的形成年代.....	124
二、稀有元素矿化的空间分布特点.....	125
参考文献.....	126
附录 1 稀有元素矿床成因分类表.....	132
附录 2 阿布杜拉耶夫的岩石矿域划分对比表.....	141

第一章 緒 論

§ 1 稀有元素矿产及矿床

有用矿产 凡能成为人类物质财富的地质形成物均可称为有用矿产，因此它是重要的生产资料与劳动对象之一。在人类社会的发展中，有用矿产被利用的广度和深度与生产力的发展有着密切的关系。随着人类社会的发展，科学技术的进步，有用矿产的范围不断扩大，特别在社会主义制度的国家里，更可以充分利用一切矿产资源，最大限度地满足人民的物质及文化生活的需要。

稀有元素矿产 稀有元素矿产是有用矿产的一种，凡可以从其中获得稀有元素化合物的地质形成物，即为稀有元素矿产。近几十年来由于最新科学技术及尖端工业的发展，稀有元素获得了广泛的应用，成为近代工业的重要原料。随着生产力的发展，稀有元素矿产的使用面及使用量将迅速增加，在国民经济中的重要性将会日趋明显，因此有人把稀有元素誉为“时代金属”。

关于稀有元素的概念与范围，曾有不少人论证过。我们认为稀有元素是在地壳中分布量较少的，工业上开始应用较晚的，主要以分散状态存在的化学元素。其范围应包括：

稀有元素——Li、Be、Rb、Cs、Nb、Ta、Zr 和 Hf。

分散元素——Sc、Ga、Ge、In、Cd、Se、Te、Tl 和 Re。

稀土元素——La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Y、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb 和 Lu。

因此一般所指的稀有元素，应该包括以上三部分共三十三个元素。

按稀有元素成矿的特点，可将其分为三大类：

第一类 可以形成独立矿物，并可聚集成具有工业价值的矿床的元素：Li、Be、Cs、Nb、Ta、Zr、TR。

第二类 能形成某些独立矿物，但一般没有独立的矿床，在工业上主要是从其他矿石中顺便提取的元素：Ge、Ga、Se、Te、Tl、Sc、Cd、In、Re。

第三类 目前尚未发现有独立矿物，总是呈分散状态含于其他矿物中的元素：Rb、Hf。

鉴于目前还有不少人把 W、Sn、Mo、Sb、Hg 等称为“稀有金属”，因此为了与此有所区别，把上述三十三种元素称为“稀有元素”，而不混称为“稀有金属”是恰当的。

稀有元素矿物与矿石

凡以稀有元素为主要组分的自然化合物，称为稀有元素矿物。除此之外，很多稀有元素可以呈类质同象或其他形式进入普通矿物中，但其含量一般不超过 1%。这种矿物可称为含稀有元素矿物。后者对稀有元素的利用和提取上往往占有极重要的地位。

能形成独立矿物的稀有元素有：Li、Be、Cs、Nb、Ta、Zr、TR（稀土）、Se、Te、Ge、In、Ga、Sc、Cd、Tl和Re等。而其中只有Li、Be、Cs、Nb、Ta、Zr及TR等的矿物具有一定的经济价值。Se、Te、Ge、Ga、Sc、Cd、Tl、In和Re等虽可形成独立矿物，但因其矿物分布稀少，一般不形成具有工业价值的矿床。

凡从其中在经济上合算，技术上可能提取出某种（或某几种）稀有元素（或稀有元素化合物）的矿物集合体，即可称为稀有元素矿石。因此稀有元素矿石实际上可以分为两种：一种是由稀有元素矿物组成的稀有元素矿石。另一种是由含稀有元素的矿物（即普通矿物）组成的稀有元素矿石。前者如象由绿柱石组成的铍矿石，由锂辉石或透锂长石组成的锂矿石等，是专门提取稀有元素的矿石。有一定的品位要求。后者如由萤石组成的氟矿石，由含镓铝土矿组成的铝矿石，也可称为稀有元素矿石。但它们一般不是专门提取稀有元素的矿石，稀有元素只作为提取主要金属时的附带产品。因此往往没有严格的品位要求。某些矿石中稀有元素的含量，甚至在低于克拉克值的情况下也可顺便收回。

从世界各地稀有元素的生产状况来看,除锂、铍、铯、铷、钽、锆和稀土等主要是从它们独立矿物所形成的矿石中提取外,其余象锗、镓、铊、硒、碲、钼、镓、铟、铪、和铱等都是从其它金属与非金属矿石中附带提取的。如锗主要是从多金属矿石、煤及泥炭中提取,镓主要来自锡石与黑钨矿的精矿或含稀土元素矿物的矿石中。大部分的硒来自黄铁矿型铜矿、多金属矿、砷矿、钼—铜—钴矿及沉积钼矿等矿石。

稀有元素矿床 凡受某种或某几种地质作用的影响,在地壳某部分形成稀有元素矿石的堆积,且在规模上达到工业开采的要求,经济技术上能够开采者,即为稀有元素矿床。由第一种类型的稀有元素矿石堆积成的矿床称为独立的稀有元素矿床,如锂辉石伟晶岩矿床,含绿柱石的钠长石化云英岩化花岗岩矿床,稀土氟碳酸盐和独居石的热液矿床等。这类稀有元素矿床正是本课程研究的对象。由第二种类型的稀有元素矿石堆积的矿床称为伴生稀有元素的矿床(或稀有元素的伴生矿床),如伴生有 Ge、Ga、In、Cd 元素的多金属矿床,含 Nb、Li、Be、Ga 等元素的铝土矿床等,这类矿床虽然也是很多稀有元素的重要矿床类型,但由于它们在普通矿床学中已作了详细的讨论,这里将不再重复。

近几年来,由于稀有元素矿床原料的要求量迅速增长,加工技术的进步,使许多岩体变成了矿体。如含铌铁矿,褐钨铌矿,绿柱石的花岗岩体,含烧绿石的碳酸岩体等,都是目前稀有元素矿床的重要工业类型。这类矿床虽品位较低,但却规模很大,矿化均匀,很适合大规模的机械化开采,机械化选矿。可大大降低稀有元素精矿的成本。

§2 稀有元素矿床学的任务及研究方法

稀有元素矿床学是矿床学的一部分。它以稀有元素形成的矿床为研究对象。其任务主要是研究稀有元素在各个成矿阶段的地球化学行为, 稀有元素形成矿床的条件, 形成作用及其分布规律。为寻找及勘探稀有元素矿床提供理论基础。

由于稀有元素本身具有不同的地球化学性质，因此具有某些独特的成矿特点。成矿的具体条件，成矿的方式均有别于一般矿床。在普通矿床学中已无法将其内容全部包罗进去。为了加速稀有元素矿产地质学的发展，有必要专门讨论稀有元素的成矿特征，考证其成矿溶液的来源，稀有元素迁移的方式以及富集成矿的条件等。在此基础上进一步闡

明各种稀有元素矿床在地壳中分布的规律性，以便有效地指导稀有元素矿产的找矿勘探工作。因此研究稀有元素矿床的具体任务是：

(1) 研究稀有元素矿床形成的地质、地球化学和物理化学等条件及形成作用，阐明构造、围岩和岩浆岩等对稀有元素成矿的控制作用，阐明矿区内不同稀有元素矿床在空间与时间上分布的规律，预测未知矿床，指导找矿工作。

(2) 研究矿体的形状，大小及产状。阐明形状，产状及大小的控制因素及变化规律，并确定矿床的规模。

(3) 研究稀有元素矿石的物质成分和结构构造，阐明稀有元素的分布、存在形式、含量以及它们在空间与时间上的变化规律，以便确定矿石的质量、形成条件和加工工艺特性。

(4) 确定矿床类型，为评价、勘探及开采矿床提供必要的可靠的地质资料。

与其他自然科学一样，稀有元素矿床学的研究也必须在辩证唯物主义的思想指导下进行。其研究方法与普通矿床学一样。只是对稀有元素矿床来说，具有更强的精确性与综合性。这是因为稀有元素矿物成分复杂，一般方法不易鉴定，稀有元素的分离及分析均较困难等。因此在研究稀有元素矿床时，不但在野外要仔细地 and 系统地进行观察、编录与研究。而且必须利用一系列近代的分析鉴定方法，以便精确地测定矿石中稀有元素的含量和存在形式等。在研究稀有元素矿床时，综合性的特点也必须充分的考虑，因为稀有元素的重要地球化学特性之一，就是具有较强的分散性。在各个成矿阶段，不仅稀有元素之间密切共生，而且与普通元素的关系也很密切。这就要求在研究稀有元素矿床时，从以下三个方面体现综合性的特点：第一，应把稀有元素的地球化学性质，矿物特征及成矿特点等几方面综合起来进行研究；第二，各种研究方法密切配合综合使用；第三，对矿石中的各种稀有元素进行综合评价，综合利用。

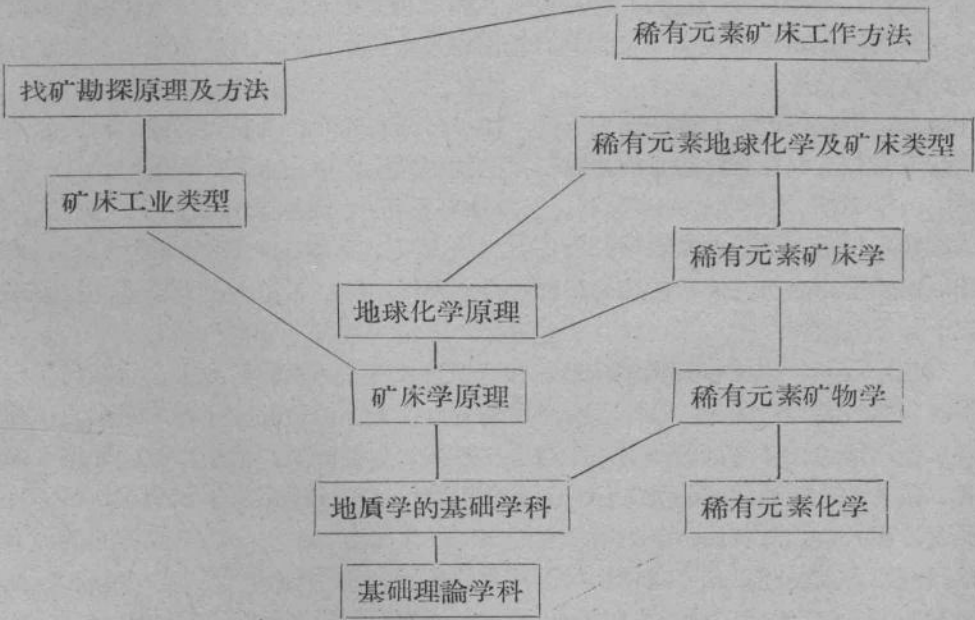


图1 稀有元素矿床学与其他地质学科的关系示意图

稀有元素矿床学是稀有元素矿产地质学的一部分。它不仅与稀有元素矿物学、稀有元素地球化学及稀有元素矿床工作方法等有着密切的关系，而且与普通矿物学、岩石学、找矿勘探原理与方法等不能截然分开。此外，稀有元素矿床学的研究也必须以数理化等基础理论科学，构造地质、地史学、古生物学以及区域地质学等地质科学为基础，从下图（图1）可以看出稀有元素矿床学与其他科学的关系。图中虽未列出探矿工程学、矿石工艺学及矿物原料经济学等学科，但由于矿产与国民经济有密切的关系，因此矿床学与这些学科也有紧密的联系。

§3 稀有元素矿床学的研究概况

稀有元素矿床学的发展与近代工业及最新科学技术的发展有着密切的关系。因此它的研究历史并不长。一般认为，稀有元素在尖端工业技术上的广泛应用是从本世纪40年代开始的。

由于稀有元素在军事工业生产上的重要意义，第二次世界大战以后，稀有元素矿产的生产量不断增长，各国对稀有元素矿床的研究也重视起来。在短短几十年时间内，稀有元素矿床学的研究取得了重大的成果。这主要表现在以下几个方面：

第一，发现了一系列新的稀有元素矿床类型。这不仅大大扩大了稀有元素的矿物原料基地，而且也充实了矿床学的理论。如对铌与稀土有重要意义的碳酸岩矿床，其工业价值是1940年才被确定的。目前世界各国已找到了很多这类矿床，并已成为世界铌矿的主要来源。近年来还由于地质和地球化学研究方法的改善，以及矿石加工技术的进步，使许多岩浆岩变成了极有远景的稀有元素矿产资源，如含铌铁矿花岗岩，含褐钇铌矿花岗岩，含铌钙铈矿的霞石正长岩等都是近年来各国十分重视的研究对象。研究较早的尼日利亚花岗岩体，其中的铌铁矿也是1945年在焦斯高原西部的黑云母花岗岩中发现的。与岩浆期后交代作用有关的含绿柱石花岗岩也是近几年来才被确定的一种极为重要的铍矿床类型。不久前发现的含细晶石花岗岩及含铍火山凝灰岩矿床也已引起了各国地质工作者们的重视。

第二，由于对稀有元素矿床的研究，使很多稀有元素矿物成为工业矿物。如铍的工业矿物原来只有绿柱石，而目前铍石在铍精矿的生产中也占了重要地位。1961年美国的铍矿石中70%的铍精矿是铍石。又如透锂长石，原来在锂精矿的生产中只占极次要的地位，但最近由于大量透锂长石伟晶岩的发现，使其成为仅次于锂辉石的锂的工业矿物。由于含细晶石花岗岩矿床的发现，可以预料，细晶石将会成为重要的钽的工业矿物之一。

第三，近几年来稀有元素矿床地球化学及成矿理论方面的研究工作也取得了很大的进展。对碱性岩体的研究，阐明了分异作用与稀有元素矿化的关系。对碳酸岩矿床成因以及矿物，地球化学方面的研究，加深了对碳酸岩体的认识。由于广泛的开展了对钠长石化云英岩化花岗岩体的研究工作，对稀有元素气成热液矿床有了新认识。虽然伟晶岩的研究史很长，但对花岗岩伟晶岩中稀有元素的地球化学、矿物学以及成矿控制因素等问题的研究工作还是在近几年来才取得了较大的进展。

第四，在稀有元素矿床类型的划分上，近几年来也取得了显著的成绩。先后有不少学者提出了对稀有元素矿床成因分类的原则及系统。（我国有关研究人员提出了对稀有元素

花崗伟晶岩矿床类型的划分意見,有人对气成热液矿床类型的划分作了較多的工作)苏联科学院稀有元素矿物学、地球化学、結晶化学研究所的研究人員对鋰、铍、铋、钽、稀土、锆、钨、铪、铌、钼、碲、鉍等个别稀有元素矿床类型的划分进行了較系統的研究工作。

我国社会主义建設事业的迅速发展,根据工业現代化、农业現代化、国防現代化、科学技术現代化的需要,党和国家十分重视稀有元素矿产的地质勘探事业。組織了专业地质队,专门从事对稀有元素矿床的找矿与勘探工作。几年来已查明了鋰、铍、稀土等主要稀有元素矿产,满足了經济建設与国防建設的需要。也发现了一些新的稀有元素矿床类型及稀有元素矿物,同时对某些主要元素矿区开展了系統的综合研究工作。此外还通过各种形式培养了一批稀有元素矿产地质专业的专业干部,为全面而深入地開展稀有元素矿产的生产与研究工作打下了良好的基础。

§ 4 稀有元素矿床的成因分类

稀有元素矿床的分类对稀有元素矿产的找矿勘探及科学研究工作均有重要的意义,因此有不少学者从事这方面的研究工作。目前 А.И. 金茲堡(Гинзбург) [1,4]的稀有元素矿床成因分类采用較广,因此我們也将以他的分类系統为基础,結合具体情况,作适当的补充。

稀有元素内生矿床的划分主要根据以下四点原則:

第一,在分类系統中应反映出主要的成矿阶段及成矿作用,即岩浆岩形成阶段,伟晶岩形成阶段,气成热液作用阶段及热液作用阶段,以此划分内生矿床的大类;

第二,稀有元素矿床与侵入岩的密切关系也应反映在分类系統中,根据 Ю.М. 謝因曼(Шейнманн, 1961) 等人近几年来研究,与稀有元素有关的侵入岩体可以归納为以下几类:

酸性岩系

碱性岩系 { 酸性—碱性岩
成因不明的碱性岩系
超基性—碱性岩系
基性—碱性岩系

超基性—基性岩系。

第三,在分类系統中还应考虑到有用矿物或有用組分的共生組合特征。因为矿床中物质成分的不同反映了成矿过程中地球化学与物理化学因素的改变。因此以主要矿物或主要組分进一步划分矿床的亚类比較合适;

第四,根据不同成矿阶段的特点,适当考虑围岩对成矿的影响,特别是气成热液矿床,围岩的性质对矿床类型的划分关系很大。

至于外生矿床与变质矿床划分类型的原則,与一般矿床相同,仍以沉积作用与变质作用为依据。

根据上述原則,本书将采用以下成因分类系統:

A. 内生矿床

I、岩浆岩矿床

(1) 成因上与酸性岩(花岗岩)系有关的矿床:

1. 含铈铁矿花岗岩。
2. 含独居石—锆英石花岗岩。
3. 含褐钇铈矿花岗岩。

(2) 成因上与碱性岩系(成因不明的霞石正长岩)有关的矿床:

1. 含异性石及水硅钠铈矿的异性霞石正长岩。

(3) 成因上与超基性—碱性岩系(超基性岩, 霓霞岩, 霞石正长岩与碱性正长岩)有关的矿床:

1. 含钠铈铈矿—铈磁铁矿的橄辉石和霞石—辉石岩。
2. 磷灰石—霞石岩。
3. 含铈铈钙铈矿的暗霞正长岩与磷霞岩。

(4) 成因上与基性—碱性岩系(辉长岩类及其碱性分异体—辉长岩—二长岩, 正长辉石岩和碱性正长岩等)有关的矿床;

1. 含硒、碲的铜—镍硫化物矿床。

II、伟晶岩矿床

(1) 成因上与酸性岩系有关的:

1. 铀—稀土伟晶岩。
2. 绿柱石—白云母伟晶岩。
3. 含钽、铍钠长石化伟晶岩。
4. 钠—锂型伟晶岩。

(2) 成因上与酸性—碱性岩系有关的:

1. 烧绿石—锆英石伟晶岩。
2. 星叶石—锆铀矿伟晶岩。
3. 易解石伟晶岩。
4. 硅铈铈矿伟晶岩。
5. 铈铈金红石伟晶岩。
6. 硅铈铈矿—褐钇铈矿伟晶岩。

(3) 成因上与碱性岩系有关的;

1. 含异性石—水硅钠铈矿—褐硅钠铈矿—閃叶石伟晶岩。
2. 胶绿层硅铈铈矿—绿层硅铈铈矿伟晶岩。
3. 含稀土的紫方钠石—钠沸石伟晶岩。
4. 钠沸石—方沸石—钠长石伟晶岩。

(4) 成因上与碱性—超基性岩有关的;

1. 含铈磁铁矿和铈铈铈矿霞石—辉石伟晶岩。

III、气成—热液矿床:

(1) 在酸性铝硅酸盐的介质中;

1) 成因上与酸性岩系有关的;

1. 钠长石化云英岩化矿床。
2. 云英岩化及云英岩矿床。

2) 成因上与酸性—碱性岩有关的;

1. 含 Nb、Zr 和 TR 的钠长石化及钠长岩矿床。

(2) 在基性铝硅酸盐的介质中;

1) 成因上与酸性岩有关的;

1. 金绿宝石云母岩。

2) 成因上与超基性—碱性岩有关的;

1. 烧绿石碳酸岩。

2. 榍石—磁铁矿—烧绿石交代体。

3) 成因上与基性—碱性岩有关的;

1. 含钽铈铁矿的方柱石化及碳酸盐化的基性岩。

(3) 在碳酸盐的介质中;

1) 成因上与酸性岩有关的;

1. 含萤石—磁铁矿砂卡岩。

2. 硅铈石—珍珠云母—萤石型交代矿床。

2) 成因上与酸性—碱性岩有关的矿床;

1. 含铈磷灰石及其他稀土矿化的萤石钠长岩。

2. 硅铈石—钽石—萤石型矿床。

3. 铈磷灰石—硅铈钽矿—萤石砂卡岩。

IV、热液矿床:

(1) 成因上与酸性岩有关的;

1. 含铍、钨的黑钨矿—锡石—石英脉。

2. 含铍的辉钼矿—石英脉。

3. 含铟、镉的锡石—硫化物矿床。

4. 含锗、铋、硒、碲等铜—钼矿床。

5. 含锗、铋、硒的黄铜矿—辉钼矿矿床。

6. 含锗、镉、硒等黄铁矿型矿床。

7. 含镉、铟、铋、锗的多金属矿床。

8. 硒—碲—钼矿床。

9. 碲矿床。

10. 含碲的铜—钼—钽矿床。

11. 含碲、硒等的钼—钼矿床。

12. 含碲、硒的金矿床。

13. 含碲的黄铁矿—白铁矿矿床。

14. 含碲、铟、镉等胶状方铅矿—闪锌矿—黄铁矿—白铁矿矿床。

15. 含碲、硒的汞—锑矿床。

(2) 成因上与酸性—碱性岩有关的;

1. 长石—霞石—石英脉。

2. 含稀土氟碳酸盐的磁铁矿、赤铁矿—萤石矿床。

3. 含稀土的多金属矿床。

(3) 成因上与超基性—碱性岩有关的;

1. 稀土—碳酸盐矿床。

2. 铁白云母碳酸岩脉。

B. 外生矿床:

I、风化矿床:

1. 与花岗岩有关的风化壳矿床。

2. 与碱性岩有关的风化壳矿床。

3. 与碳酸岩有关的风化壳矿床。

II、沉积矿床:

(1) 盐类沉积矿床:

1. 钾盐矿床。

2. 芒硝、苏打、食盐矿床及盐卤。

3. 硼酸盐矿床。

(2) 铁、锰、铝沉积矿床;

1. 铝土矿矿床。

2. 沉积铁矿床。

3. 沉积锰矿床。

(3) 沉积硫化物矿床。

1. 含铜页岩矿床。

2. 含铜砂岩矿床。

(4) 沉积稀土矿床;

1. 含稀土、铈的磷块岩。

2. 含铈—稀土砂岩。

3. 含稀土、铈沥青页岩。

(5) 煤矿

III、砂矿床:

(1) 残—坡积砂矿

(2) 冲积砂矿床 (河相砂矿)

(3) 湖相砂矿床

(4) 现代海相砂矿床

(5) 古砂矿床

C. 变质矿床:

(1) 受变质矿床;

1. 变质沉积铁矿。

2. 变质砾石矿床。

3. 变质锆石—金红石石英岩。

(2) 变成矿床;

1. 褐帘石与独居石片麻岩及混合岩。

第二章 稀有元素岩浆岩矿床

§1 概 述

岩浆岩矿床是在岩浆岩結晶的同时形成的。即在岩浆岩形成的过程中，发生了有用組份的相对富集，形成了矿床。

岩浆岩矿床是目前鉄、鉻、銅、鎳、鈦、鈮、鉑族、金紅石、金剛石以及某些稀有元素，稀土、鋇、釷的重要矿床类型。

富集某种或某几种稀有元素的岩浆岩体，即为稀有元素岩浆岩矿床，后者除具有岩浆矿床的一般特征外，还有如下特点：

第一，稀有元素岩浆岩矿床往往就是酸性或碱性岩浆岩的一个岩相或某个岩体，其中稀有元素的矿化一般均以副矿物的形式，或均匀地分布在岩体的某个岩相，或在侵入岩体的某个层位中相对聚集。在一般情况下，岩石即为矿石，因此規模巨大；第二，由于稀有元素本身含量很少，因此在岩浆岩結晶阶段，即便会出现某些稀有元素的相对富集，但总的来說，品位均不会太高；第三，稀有元素岩浆岩矿床具有明显的綜合利用的特点，在稀有元素岩浆岩矿床中只有一种稀有元素富集的情况是极少的，而往往同时富集有若干种稀有元素。另一方面稀有元素在岩浆岩結晶阶段还可以各种形式分散在造岩矿物或其他金属矿物中，稀有元素在后者加工冶炼的过程中可以順便提取。其次，稀有元素岩浆岩矿床往往还可与其伴生的残坡积砂矿一起評价，綜合开采利用。

目前世界各国已发现一些具有工业价值或潜在工业价值的稀有元素岩浆岩矿床，有些（如尼日利亚的含鈮鉄花岗岩、苏联罗沃泽尔含鈦鈮鈣鉍矿的碱性岩等）已作为开采的对象。可以肯定，随着加工技术的进步，稀有元素岩浆岩矿床的工业价值将会不断提高。因此研究岩浆岩中的副矿物成分，查明稀有元素在其中分布的規律性，将是稀有元素矿床工作者的一项新任务。

§2 稀有元素岩浆岩矿床的形成条件

一、稀有元素岩浆岩矿床形成的首要条件是岩浆的存在及其活动

岩浆是一种复杂的包含有各种元素及揮发組分的自然硅酸盐熔融体，它的成因及种类，是目前岩石学中的一个爭論問題。不过大多数人认为：第一，有岩浆存在；第二，原始的岩浆成分一般比較复杂；第三，通过分异、同化等作用可使岩浆的成分发生变化，并形成各式各样的岩浆岩及与其有关的各种矿床。

根据岩浆中主要組分的特点，可将其大致划分为超基性、基性、酸性及碱性等三种类型。它們在成分上，除主要元素不同外，微量元素的含量也有极大的差別。

主要組分：包括 O、Si、Al、Fe、Ca、Mg、Na、K 等八种，其次为 H、Ti、Mn、P、S 等，其中 Fe、Mg、Ca 及 Ti、Mn 等在基性与超基性岩浆中較多，而 Si、Al、K、

Na 等則在酸性碱性岩漿中較多（見表 1）。

主要元素在各类岩漿岩中的含量*（%）

表 1

序号	元素	超基性岩	基 性 岩	中 性 岩	酸 性 岩	碱性岩**	备 注
1	O	43.00	44.80	46.10	48.66	41.40	
2	Si	20.20	22.80	26.00	32.30	31.00	
3	Al	2.83	8.76	8.85	7.70	10.78	
4	Fe	9.85	8.56	5.85	2.70	3.43	
5	Ca	7.70	6.72	4.65	1.58	0.98	
6	Mg	14.10	4.50	2.18	0.56	0.45	
7	K	0.50	0.83	2.31	3.34	4.9	
8	Na	0.57	1.94	3.00	2.77	5.2	
9	Ti	0.30	0.90	0.80	0.23	0.13	
10	Mn	0.13	0.22	0.12	0.06	痕迹	
11	S	0.30	0.20	0.10	0.04	——	
12	P	0.12	0.14	0.16	0.07	——	

* 根据 A. П. 維諾格拉多夫 (1962)

** 根据阿尔丹碱性岩体中霞石正长岩的化学成分换算而来^[9]

除上述主要組分外,在岩漿中几乎含有周期表上所有的元素,只是含量相差很大。在不同类型的岩漿岩中,微量元素的含量有明显的不同。如酸性岩漿岩中,一般富含 Li、Be、Rb、Cs、W、Sn、Zn、Pb、U、Th、As 等元素;而在基性-超基性岩漿岩中,則富含 Cr、Ni、Co、Cu;在碱性岩漿岩中, Ba、Sr、Ti、Zr、Nb 等元素的含量較高。

此外,尚有各种揮发組分,計有 H₂O、Cl、HCl、HF、S、SO₂、B(OH)₃、NH₃ 以及 CO₂、CO、CH₄、N₂、H₂、H₂S 等。

稀有元素在不同类型的岩漿岩中含量也不相同,表现出某种程度的成矿专属性。

在基性和超基性岩中, Sc 往往可在鉄-鎂矿物中达到某种程度的富集。在銅-鎳岩漿矿床中常伴生有 Se 与 Fe。

在酸性岩漿岩中,特别是超酸性岩漿岩中 Li、Be、Rb、Cs、Y、TR、Zr、Nb、Ta、U、Th 等有明显的富集。如与基性和超基性岩漿岩相比,在酸性岩中 Li 的含量可增高几十倍, Rb——几百倍, U——百倍以上。因此酸性岩漿岩是稀有元素矿床成矿的有利母岩。

在碱性岩漿岩中 Sr、Sc、Ti、Zr、Ta、Nb、Y、TR、U、Th 等稀有元素往往可形成独立矿物。

稀有元素在各类岩漿岩中的含量見表 (2)。

从表 (2) 可知,在酸性岩与碱性岩中,稀有元素的含量一般均較高。因此闡明这些元素在酸性岩与碱性岩漿岩中的分布規律和存在形式等,是研究稀有元素岩漿岩矿床的主要任务。

稀有元素在各类岩浆岩中的含量* (%)

表 2

序号	元素	超基性岩	基 性 岩	中 性 岩	酸 性 岩	碱性岩**	备 注
1	Li	5×10^{-5}	1.5×10^{-3}	2×10^{-3}	4×10^{-3}	2.4×10^{-3}	
2	Be	2×10^{-5}	4×10^{-5}	1.8×10^{-4}	5.5×10^{-4}	1×10^{-3}	
3	Sc	5×10^{-4}	2.4×10^{-3}	2.5×10^{-4}	3×10^{-4}		
4	Ga	2×10^{-4}	1.8×10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-3}	1.6×10^{-3}	
5	Ge	1×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.4×10^{-4}	—	
6	Se	5×10^{-6}	5×10^{-6}	5×10^{-6}	5×10^{-6}	—	
7	Rb	2×10^{-4}	4.5×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-2}	2.4×10^{-2}	
8	Sr	1×10^{-3}	4.4×10^{-2}	8×10^{-2}	3×10^{-2}	4.6×10^{-2}	
9	Y	—	2×10^{-3}	—	3.4×10^{-3}	—	
10	Zr	3×10^{-3}	1×10^{-2}	2.6×10^{-2}	2×10^{-2}	10.5×10^{-2}	
11	Nb	1×10^{-4}	2×10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}	
12	In	1.3×10^{-6}	2.2×10^{-5}	—	2.6×10^{-5}	—	
13	Te	1×10^{-7}	1×10^{-7}	1×10^{-7}	1×10^{-7}	—	
14	Cs	1×10^{-5}	1×10^{-4}	—	5×10^{-4}	1×10^{-4}	
15	La	—	2.7×10^{-3}	—	6×10^{-3}	4.6×10^{-3}	
16	Ce	—	4.5×10^{-3}	—	1×10^{-2}		
17	Pr	—	4×10^{-4}	—	1.2×10^{-3}		
18	Nd	—	2×10^{-3}	—	4.6×10^{-3}		
19	Pm	—	—	—	—		
20	Sm	—	5×10^{-4}	—	9×10^{-4}		
21	Eu	1×10^{-6}	1×10^{-4}	—	1.5×10^{-4}		
22	Gd	—	5×10^{-4}	—	9×10^{-4}		
23	Tb	—	8×10^{-5}	—	2.5×10^{-4}		
24	Dy	5×10^{-5}	2×10^{-4}	—	6.7×10^{-4}		
25	HO	—	1×10^{-4}	—	6.7×10^{-4}	—	
26	Er	—	2×10^{-4}	—	4×10^{-4}		
27	Tu	—	2×10^{-5}	—	3×10^{-5}		
28	Yb	—	2×10^{-4}	—	4×10^{-4}		
29	Lu	—	6×10^{-5}	—	1×10^{-4}		
30	Hf	1×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	—	
31	Ta	1.8×10^{-5}	4.8×10^{-5}	7×10^{-5}	3.5×10^{-4}	—	
32	Re	—	7.1×10^{-3}	—	6.7×10^{-8}	—	
33	Th	5×10^{-7}	3×10^{-4}	7×10^{-4}	1.8×10^{-3}	—	
34	U	3×10^{-7}	5×10^{-5}	1.8×10^{-4}	3.5×10^{-4}	—	

* 根据 A. П. 維諾格拉多夫 (1962)

** 根据 C. M. 克拉夫琴柯“中央阿尔丹碱性岩” (1962) [9]