

一 鋰、鈷、鉍

此組元素在化學性質上與鉀、鈉相似，同屬於門德列也夫周期表的鹼族元素。

鋰在地殼中的含量，根據維諾格拉多夫的測定（1949年），重量百分比為 $6.5 \times 10^{-3}\%$ 。其中價離子的半徑為 0.78 \AA 。鋰主要集中於岩石圈的上部，即存在於由花崗岩、霞石正長岩的殘余熔漿所成的偉晶岩中，在地球深部很少存在。據熱化學方面的數據及隕石的分析資料，可以指出它主要聚集於矽酸鹽質隕石內，而不聚集於鎳-鐵或硫-鐵質隕石中。根據戈爾德施密特的研究，在早期分異的各種火成岩中，鋰的含量一般較低， Li_2O 常在 0.002% 以下。中性岩石中鋰的含量略有增高，據歐洲各地的分析， Li_2O 常在 0.0035% 與 0.025% 之間。花崗岩及鹼性岩類的岩石中 Li_2O 的含量增高可達 $0.0016-0.115\%$ （奧斯陸地區）。在上述岩石中鋰的存在，是與鐵鎂等元素有關，這是因為它們之間離子半徑比較相近（ $\text{Mg}^{++}-0.78 \text{ \AA}$ ， $\text{Fe}^{++}-0.83 \text{ \AA}$ ）。因此可認為含於岩漿分異早期和中期的岩石中的鋰，主要是以類質同像狀態存在於鐵鎂礦物中，沒有單獨鋰礦物的形成。鋰的大量聚集或含鋰礦物及其礦床的形成，主要是在偉晶岩期及氣成—熱液期。

鋰礦床：含鋰礦物已經知道在百餘種以上，但其中可作為礦物原料的只有幾種，即鋰輝石（ $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ ）、鱗云母（ $\text{KLi}_{0.5}\text{Al}_{1.5}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$ ）和鐵鋰云母（ $\text{KLiFeAl}(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$ ）等。它們的成因多與鋰在殘余熔漿和氣水溶液中的富集有關。此等礦物和鋰礦床可以在以下幾種地質條件中形成：

（1）霞石正長偉晶岩：其中常含少量的鋰云母和富鈣鱗云母（ $\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$ ），此種類型很少能形成工業礦床。

（2）含鋰花崗偉晶岩：這種類型在工業上甚為重要，其中所含礦物有鋰云母、鱗云母、葉長石（ $\text{Li}(\text{AlSi}_4\text{O}_{10})$ ）、鋰輝石、磷鋁石（ $\text{LiAl}(\text{F},\text{OH})\text{PO}_4$ ）等，並經常伴生有綠柱石、鉍榴石及其他稀有元素礦物。根據費爾斯曼的研究，此種含鋰偉晶岩屬於 F 相和 G 相的產物，按弗拉索夫的共生構造分類則屬於稀有金屬交代類型，其主要特徵在於偉晶岩具有良好的帶電性及早期礦物有顯著被交代的現象。

（3）氣成—熱液礦脈：其中含有鐵鋰云母、鱗云母、錫石、鎢錳鐵礦、綠柱石、黃玉、螢石等礦物。伴隨礦床的形成，圍岩常遭受雲英岩化。此種礦床往往是錫、鎢、鋰及鉍等組份的綜合礦床。

（4）礦泉及鹽湖：世界各地的許多溫礦泉中，

鋰鹽濃度極大。例如德國的久爾克海姆溫泉，法國維希礦泉，靠近英國的雷德魯斯的“Wheel uifford”溫泉等均有鋰鹽的聚集。其含量（ LiCl ）為 $39.1-372$ 毫克/公升。在鹽湖中亦常有鋰，美國加利福尼亞州 Searles 湖水中含有 LiCl 0.32% ，當這種鹽水的比重為 1.2 時，則每公升鹽水中即含 372 毫克的氯化鋰。在其他地區如西西伯利亞的許多鹽湖及鹹海—里海盆地的無口鹽湖，都同樣發現有鋰。

鈷和鉍在地殼中的平均含量分別為 0.03% 和 0.0007% （據維諾格拉多夫 1949 年的數據）。鈷的地球化學特性與鉀甚為相似，這是因為二者的化學性質及離子半徑的近似。鈷的離子半徑為 1.49 \AA ，鉀為 1.33 \AA ，相差不超過 11% ，故在含鉀礦物中往往見到鈷替換鉀的現象，但因鈷的靜電引力稍弱，有集中於晚期結晶的鉀礦物中的傾向，故而富集於岩石圈的最上部。鉍與鈷相似，其離子半徑為 1.63 \AA ，與鉀相差不超過 18% ，因此少量的鉍能夠進入含鉀礦物中。含鈉礦物通常很少有鉍。由於鈷和鉍在地球化學性質上的相似，在自然界中此二元素常富集於同種礦物內，如天河石、紅綠柱石及綠柱石等。鉍可以形成單獨礦物鉍榴石（ $(\text{Cs},\text{Na})[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ），但其中也常含有百分之几的鈷。如果殘余熔漿中還有少量鋰時，則鋰鈷鉍共同聚集，在這種情況下，鋰雲母中常可發現含有少量的鈷和鉍。

鈷和鉍的礦床：從上述鈷與鉍的地球化學特性，得知這兩種元素極為分散，不易集中。它們很少形成單獨的礦物，而主要是加入某些其他礦物（鋰雲母、白云石、長石，特別是天河石等）的晶格中。這兩種元素的原生聚集首先發生在花崗岩殘余熔漿，尤其是在花崗偉晶岩脈和氣成雲英岩中。含鈷和鉍的偉晶岩主要形成於費爾斯曼分類中的 F—G—H 相。其特點是有大量含鋰礦物與鉍榴石共生。鈷和鉍的另一礦床類型為含有光鹵石的沉積鹽類礦床，例如德國斯塔斯費爾特鹽類沉積礦床即屬此種類型。在光鹵石和鉀鹽中，鈷的含量為 $0.015-0.037\%$ 。除鈷鹽外，該地還析出過鉍鹽，但其含量較低，僅及鈷鹽的 2% 左右。

二 鉍

鉍是門德列也夫周期表中第二周期的元素，其二價陽離子的半徑為 0.34 \AA 。鉍與氧的配位數與矽相似，永遠為 4。因矽與鉍的配位數相同和離子半徑的近似，所以鉍可以加入到矽酸鹽的結晶晶格架中，將矽氧四面體替換成鉍氧四面體的現象。但是這種異價替換不會經常發生，僅在成礦作用中的一定條件下才產生。因此可以想到由於鉍離子被廣泛分布的矽酸鹽所捕獲，而產生完全分散的現象，實際上是不可能

的，其原因在于 Be^{2+} 与 Si^{4+} 的能量系数上有重大差别，只有在有其他（如钛、锆、稀土等）具有较高能量系数的元素与铍同时进入矽酸盐，而能补偿由铍替换矽所引起的能量损失的情况下，才会产生前述的替换。但这种条件在岩浆分异的初期和中期往往是不具备的。因此可以使铍长期保存在岩浆中，至晚期尤其是在伟晶岩及热液期发生聚集。

铍的另一重要特征是铍氧四面体的构造与矽氧四面体相似，并且两者的半径也甚相近。同样，与铝氧四面体虽在半径上有某些差异，但在构造上仍甚相似。因此在这些复合物之间可以互相替换，但这种替换往往是在碱性介质条件下产生。这一特征说明了铍在碱性岩内，易成类质同像分散于矽酸盐矿物中，而不能聚集。

地壳中铍的重量克拉克值，据维诺格拉多夫（1949年）的资料为 $6 \times 10^{-4}\%$ 。从铍的地球化学性质及所测得的数据上来看，它是典型的亲石元素。主要聚集于岩浆分异末期残余熔浆及溶液中，分布在岩石圈的最上部。

在与花岗岩有关的伟晶岩的作用中，铍的富集发生于伟晶岩形成的晚期。相当于微斜长石-纹长石矿物结晶块体形成后，在 SiO_2 过饱和的情况下伴随挥发组份，开始晶出含铍矿物绿柱石 ($Be_3Al_2(Si_6O_{18})$)。这种铍的矿化可以延续至气成-热液阶段，直到伟晶岩末期锂云母和云英岩带分离后始终止。形成铍矿化的两个主要地球化学因素为：（1）在相对封闭系统条件下不断产生挥发组份的聚集，（2）碱性成分，尤其是钠的高度集中。

含铍花岗岩侵入体形成时如果不具备形成伟晶岩的热力条件，则与氟、锂、钨、锡、钼等成分共同聚集于气成-热液矿脉中，形成铍的气成-热液矿床。

含铍花岗岩与石灰岩接触，通常在接触带中铍的含量显著增高。部分可形成单独矿物如日光榴石 ($Mu_8(BSiO_4)_6S_2$)，铍榴石 ($Fe_8(BeSiO_4)_6S_2$)，金绿宝石 ($BeAl_2O_4$) 及似晶石 (Be_2SiO_4) 等。部分铍以类质同像加入其他矽酸盐矿物中如云母（金云母、珍珠云母）、符山石等。

铍矿床：按着已知各种铍矿床的成因及矿物共生的特征，对它们可进行如下的分类：

（1）含铍的伟晶岩矿床：主要分布于中深花岗岩侵入体的内外接触带中。按费尔曼的研究含铍伟晶岩相当于 D-E 相，共生矿物有黄玉、绿柱石、白云母、微斜长石、纹长石（有时为天河石）等，在硼-氟伟晶岩及相当于 F-G 相的钠-锂伟晶岩中亦常见少许绿柱石，惟其意义不如前者重要。根据各地实

际工作的资料，在此种类型矿床中，绿柱石的含量介于 $0.2\% - 0.5\%$ 之间，高于此范围的很少。

（2）气成-热液矿脉：此类矿床的形成与钨钼铁矿-石英、锡石-石英矿床的脉状及云英岩型矿床有密切关系。所有此类矿床均分布于中深的酸性和超酸性花岗岩发育的地区。我国南方诸省多此类矿床，矿体为脉状。主要伴生矿物有长石、石英、钨钼铁矿及铁锂云母等。矿脉两侧围岩遭受不同程度的云英岩化现象。绝大多数气成-热液铍矿床都是绿柱石-钨钼铁矿或绿柱石-锡石的综合矿床。

（3）矽岩型铍矿床：矿床形成于小型花岗岩侵入体与灰岩的接触带中。伴生矿物有萤石、磁铁矿、云母、符山石、辉石、绿帘石等。由于主要造岩矿物常呈薄层状分布，故使矿石具有条带状构造。含铍矿物主要为日光榴石、铍榴石、金绿宝石、似晶石等。此类矿床的重要特征之一是铍矿物的颗粒甚为细小，不易辨认。另一特征是在普通造岩矿物中（符山石、云母）也常见铍的聚集，最显著的是符山石，经常含氧化铍至百分之一或更高。

三 钨和稀土元素

过去曾有某些学者过分的强调了钨和稀土元素在地球化学上的关系，根据戈尔德施密特的研究，钨的地球化学特性与铷及二价铁相似，这主要是因为它们之间离子半径的相近。从离子半径上来看，钨和钷或钬等元素不可能形成类质同像，而与二价铁和镁则可以成功类质同像，同样与锆、钽、锡、铌和钽等亦可形成类质同像。在岩浆岩的铁镁矽酸盐矿物内常含有钨，锡石中我们亦可见到有 $ScNbO_4$ 的加入。有时钨钼铁矿明显的呈 $FeWO_4$ 和 $ScNbO_4$ 或 $ScTaO_4$ 的混合晶存在。因此从上述情况可以看出，钨与二价或四价元素有关，而与三价的铝、铁或钷等的关系较小。

爱博哈特（G. Eberhard）及其他学者认为大量的钨存在于气成锡矿床的矿物中，如铁锂云母可含有 Sc_2O_3 达 0.01% ，在氟磷酸钨矿（Triplite）中 Sc_2O_3 的含量达 0.05% ，钨钼铁矿中为 $0.05 - 0.1\%$ ，白钨矿中含 0.001% ，在锡石中可含 $0.1 - 1\%$ 。从钨的地球化学特征，可知钨主要聚集于钨锡矿床中。事实上这种矿床在现代也正是钨的主要来源。

稀土元素包括原子序数由57至71的所有元素，由于钷的化学性质与稀土元素相似，所以也有人把它包括在稀土元素内。因为稀土元素的最外电子层的构造相同，使得这些元素间的化学性质极其相似，因此直到今天，在试验室内用普通化学的方法来分离它们还是很困难的。这一特征说明了在自然条件下矿物形

成过程中为什么稀土元素总是共同產出的。

按稀土元素的化学性質，它可分为两个亞族：即鈾土族，包括瀾(La)、鈾(Ce)、鐳(Pr)、釹(Nd)、鉅(Pm)、鈺(Sm)、鎳(Eu)等，釹土族包括釹(Y)、釷(Gd)、錫(Tb)、鐳(Dy)、鈹(Ho)、鉕(Er)、鈳(Tm)、鐳(Yb)、鐳(Lu)等。这些元素的离子半徑多在1.22—0.99 Å之間，較氫(0.83 Å)为大。由其离子半徑，可以預知它們不能在礦物結構中代替鉄鎂而大量分散于岩漿分異早期的各种岩石中，这一点与氫是不同的。因为稀土元素的这一特性，使它往往聚集于残余岩漿中，在花崗岩及霞石正長岩以及与之相关的偉晶岩內，含量有所增高。

戈尔德施密特將稀土元素在礦物內的形成分成三类：

(1) 稀土元素，尤其是其中的三价元素是礦物的必要組份，如氟鈾瀾礦(La, Ce...)₃F₃，氟碳酸鈣鈾礦Ca(Ce, Ca...)₂(CO₃)₂F₂，淡紅矽酸釹礦(Y₂Si₂O₇)，矽酸釹礦(Y₂FeBe₂Si₂O₁₀)，独居石(Ce, La)PO₄，鈹酸釹礦(Y, Er...)₄(Nb, Ta)₆O₂₁等。在这些礦物中，我們可以确定鈾土族元素常聚集在独居石內，釹土元素則聚集在淡紅矽酸釹礦或磷酸釹礦(YPO₄)內，所有稀土元素包括釹在內頗为均匀的分布在某些矽酸釹礦內。此类礦物的形成大部与残余岩漿，尤其是与花崗偉晶岩及霞石正長偉晶岩有关。在少数情况下，稀土元素礦物的形成与热液或气成礦床或者与石灰岩中的接触礦床有关。

(2) 稀土元素在礦物內为次要組份，并作为普通造岩元素的代替物存在。在已知的許多礦物中，稀土元素代替二价鈣、鋇或鉛，如方解石、碳酸鋇礦、磷灰石、螢石、白鐳礦及其他很多含鹼土族元素的礦物即是。綠帘石Ca₂(Al, Fe)₃Si₃O₁₂(OH)与褐帘石(Ca, Ce)₂(Al, Fe)₃Si₃O₁₂(O, OH)即屬此类礦物中的連續系列，二价鈣被三价稀土元素代替，相应的三价鋇被二价鉄代替。

(3) 兩价稀土元素存在于含有某些一价和二价离子(鉀、鋇、鉛)的礦物中。

稀土元素礦床：稀土元素礦物很多，但一般可作为礦物原料的只有数种：如鈾鈣鈹礦(Ca, Ce)(Ti, Fe)O₃，鈉鈾鈣鈹礦(Na, Ce, Ca...)(Nb, Ti)O₃，黃綠石(Na, Ca, Ce...)(Nb, Ta)O₆F，氟碳酸鈣鈾礦，独居石，磷酸釹礦，褐帘石，矽酸釹礦及鈹酸釹礦等。具有工業意义的礦床大致可分为三类：

1. 含稀土元素的偉晶岩礦床：主要的組成物有斜長石、微斜長石等，并富含黑云母。稀有元素礦物有

褐帘石，独居石，磷酸釹礦，黑稀金礦，鉍鉄礦，鉍鉄礦，鈹英石，鈹酸釹礦等等。按費爾斯曼对偉晶岩的分类，此类礦床应屬于B相和C相的產物，主要特征就在于其中常含有 Ta, Nb, Ti, Y, U, Th, Zr, P 等元素的礦物。瑞典、苏联和加拿大等地区都有此类礦床分布，成礦时代絕大部屬于前寒武紀。

2. 含稀土元素礦物的高温热液鉄礦床：礦体生于石灰岩中，共生礦物有磁鉄礦，螢石，鈉長石，鈉角閃石，鈉輝石，金云母及白云礦和鄂博礦等。

3. 砂礦床：由前述地球化学特性，得知稀土元素是花崗岩和鹼性岩漿礦物的組成部分，这些礦物一般在地表風化帶中很穩定。因此当母岩破碎时，便聚集在砂礦中，有时并大量富集。現在國外所开采的几乎都是砂礦床。这些砂礦床多分布在古老的地盾上或其附近，尤其在有片麻岩及偉晶岩的地区。按砂礦的类型則主要是河流冲積及海濱堆積类型，尤其是后者更为重要。

四 鈳 与 鈹

这两种元素的原子序数为40和72。由于瀾族元素离子半徑的减小(即所謂“瀾族元素压缩”)使鈳与鈹二元素的离子半徑甚为相近，鈳为0.87 Å，鈹为0.86 Å，兼因它們电价相同，所以鈳与鈹在化学性質及地球化学性質上極为相似。

鈳在地壳中的平均含量为0.02% (維諾格拉多夫)，在岩漿分異过程中，早期結晶的岩石里，鈳的含量很低，例如在超基性內，根据哈佛賽和吳斯特林(Hevesy, Wurlin 1934)的資料，鈳含量为0.008%，在輝長岩內为0.014%。在花崗岩中鈳的含量增至0.046%。从这些数据可以看出鈳主要聚集于岩漿分異的晚期和末期。

鈹在地壳中的平均含量为0.00032%。因其含量低，并且在性質上又与鈳極为相似，所以在自然界中还未曾發現有鈹的单独礦物存在，而都是与鈳共生。不含鈳的礦物，其中一定不含鈹，鈹为鈳礦物所独有。哈佛賽曾經指出所有鈳礦物及鈳鹽中都有鈹，而其含量的变化也較小。HfO₂与ZrO₂的比从0.007到0.5。鈹在鈳礦物中的含量大致有这样的規律，即通常在鹼性岩石中的鈳礦物里所含有的鈹，都比鈣鹼性岩石鈳礦物里的为低，尤其是花崗岩。例如產在霞石正長岩中鈳英石內的鈹都比產在花崗岩中的要低一些，前者HfO₂与ZrO₂的比值为0.015，后者为0.04。

鈳礦床：現在已知有工業价值的含鈳礦物只有两种，即單斜鈳礦(ZrO₂)和鈳英石(ZrSiO₄)。由于單斜鈳礦中含鈳量最高且化学成分簡單，所以它是适

于加工的最好的含鋳原料。鋳礦床可分为如下几种类型:

(1) 鹼性火成岩的礦床: 礦石为含霞石的火成岩, 有时含有大量的含鋳礦物, 甚至可成为主要的造岩礦物之一。含鋳礦物有單斜鋳礦、鋳英石和異性石等。巴西聖保羅省發現有此类礦床, 單斜鋳礦產于鈦鉄霞輝岩中, 按礦物和化学成分, 这种岩石是霞石正長岩与輝岩之間的一种岩石。因为附近有很富的砂礦床, 故此类原生礦床实际上并未被利用。

(2) 含鋳花崗偉晶岩礦床: 由于其中鋳的含量往往很低, 故不易成功有工业意义的礦床。

(3) 含鋳鹼性偉晶岩礦床: 多分布在霞石正長岩發育地区, 含鋳礦物为鋳英石, 有时可供开采。

(4) 砂礦床: 主要分布在原生礦床及富含鋳礦物的火成岩附近以及海濱地区。印度目前正在开采的阿剌伯海岸鋳英石、独居石、鈦鉄礦砂礦床, 断續延長达120公里, 最富地段含鋳3—5%, 含鈦鉄礦达60%。澳洲太平洋海岸巴林市附近亦有此类砂礦床, 其中含有鋳英石和金紅石。因为鋳总是与鉛共生, 所以鋳英石是最重要的提鋳原料。

五 鈳 和 鈿

鈳和鈿的化学和地球化学性質甚为相似, 因此在自然界中常成对產出。我們很少發現不含鈿的鈳礦物以及不含鈳的鈿礦物。虽然它們在性質上有很多相似之处。但由于鈳和鈿之間的結合性質还不如稀土元素及鋳与鉛等元素結合的密切, 所以在不同的地質条件下它們富集的程度还是有所不同的。

从有关鈳和鈿的地球化学性質了解, 它們是典型的親石元素。在測定硫化物相隕石时, 从未發現过鈳和鈿。从它們在地球上的分布看, 主要是聚集在岩石圈的最上部。根据藍卡瑪(1948)發表的数据, 火成岩中平均含有0.0024%的鈳和0.0021%的鈿。各类火成岩中鈳和鈿的平均含量如下:

| 岩石名称 | 鈳克/噸 | 鈿克/噸 | 鈳:鈿 |
|-------|----------|------|-------|
| 單礦岩 | 0.3 | 0.7 | 0.4 |
| 超基性岩 | 16 | 1.0 | 16.0 |
| 榴輝岩 | 3 | 0.7 | 4.3 |
| 輝長岩 | 19(7) | 1.1 | 17.3 |
| 閃長岩 | 3.6(50) | 0.7 | 5.1 |
| 花崗岩 | 50(30) | 4.5 | 4.8 |
| 正長岩 | 30 | 2.0 | 15.0 |
| 霞石正長岩 | 310(100) | 0.8 | 387.5 |
| 鹼基性岩 | 10 | 1.2 | 8.3 |

括号中的数字系根据戈尔德施密特的資料(1937)。閃長岩中鈳和鈿的平均含量, 按藍卡瑪的数字顯然是太低了。从上表所列数字看来, 鈳和鈿在岩漿

分異的晚期聚集。顯然在花崗岩中富集鈳和鈿, 而富集最多的是鈿。虽然鈳也集中在花崗岩中, 但与鈿不同, 含鈳最多的岩石是正長岩和霞石正長岩。含于岩漿分異早期和中期岩石中的鈳和鈿不成独立礦物, 而是隱藏在其他礦物結晶構造里。据尼格里及戈尔德施密特等人的意見, 鈳和鈿在礦物內可以代替鈳和鋳等元素, 因为它們的离子半徑相似, Ti^{4+} 为0.64 Å, Nb^{5+} 为0.69 Å, T^{5+} 为0.68 Å。事实上在含鈳或鋳的礦物內时常可以發現有鈳和鈿。

鈳和鈿集中在偉晶岩中, 顯然是它們的重要地球化学特性之一。在花崗偉晶岩及霞石正長偉晶岩內常集中大量的鈳和鈿, 而形成許多鈳、鈿礦物, 并有时可以構成有工业价值的礦床。鈳和鈿在偉晶岩中的聚集程度往往是不同的, 这可能是由于在成礦时殘余岩漿內鈳和鈿的含量不同所致。如在尼日利亞產出的偉晶岩中, 差不多只含鈳, 而含鈿很少。在澳洲西部產出的鈿鉄礦偉晶岩中, 适得其反, 含鈿多而含鈳少。根据一般的經驗戈尔德施密特曾指出, 在很多情况下鈳礦物常在偉晶岩作用早期生成, 而鈿礦物稍晚。含鈳、鈿的偉晶岩中通常有稀土元素紧密伴生, 成为稀土元素的鈿、鈳酸鹽, 在这些鹽类礦物里往往也都含鈳和鋳。

鈳、鈿礦床: 对鈳和鈿而言, 可作为礦物原料的礦物有鈳鉄礦($(Fe, Mn) Nb_2O_6$), 鈿鉄礦($(Fe, Mn) Ta_2O_6$), 黄綠石($(Na, Ca, \dots)_2 (Th, Ti, \dots)_2 O_6 (F, OH)$)和鈉鈳鈣鈿礦($(Na, Ca, Ca) (Nb, T) O_3$)等。鈳鉄礦中 Nb_2O_5 的含量可达82.7%, 鈿鉄礦中 Ta_2O_5 的含量可达86.1%, 鈉鈳鈣鈿礦含 Nb_2O_5 可达11%, 黄綠石含 Nb_2O_5 可达63%, 含 Ta_2O_5 可达77%, 富含鈳土族元素的变种黄綠石中 Nb_2O_5 可达56.43% (有的資料为62%)。世界各地已知礦床, 按成因可分成如下几种类型:

(1) 早期岩漿礦床: 含鈳的鈉鈳鈣鈿礦以副礦物存在于霞石正長岩中。由于其含量較低, 兼因在技術上分离鈳和鈳的困难, 因此此类礦床的价值, 在現階段还是不大的。

(2) 晚期岩漿礦床: 含鈳、鈿礦物的形成与鈉長石化有关。礦石为霞石正長岩, 有时因鈉長石化而变为鈉長岩。已确定的礦物有黄綠石及鋳英石等。鈉長石化帶分布于正長岩內时有益礦物主要为复稀金礦($(Y, Ca, Ce, U, Th) (Ti, Nb, Ta)_2 O_6$)及鋳英石。鈉長石化分布于鹼性花崗岩內时, 有益礦物为鈳鉄礦及鋳英石等。此类礦床通常有工业价值。

(3) 鹼性偉晶岩礦床: 含有鈉鈳鈣鈿礦、鈳鉄金紅石及黄綠石等。

(4) 偉晶花崗岩礦床：含鉬鐵礦及鈳鐵礦等，并常伴生有稀土及放射性元素礦物。按費爾斯曼分類則屬於C相（偉晶岩相）的產物。

(5) 接觸交代（？）型礦床：礦床存在于霞石正長岩與石灰岩的接觸帶內，共生礦物有磷灰石、磁鐵礦及黃綠石或等軸鉍鈣礦等。目前已知黃綠石的最大礦床即屬此種類型。

(6) 氣成高溫熱液礦床：礦床多呈脈狀，主要共生礦物為鉬鐵礦、鉍鐵礦及錫石等，在尼日利亞及南西非洲等地有此類礦床。

(7) 殘積、坡積及沖積砂礦床：已知產地主要分布于尼日利亞，比屬剛果及巴西等地。

六 錳、鎘、銻、鉍、銻、銻、銻、銻

這些元素都是所謂分散元素，在地殼中的含量既小而又不易集中。現將它們的主要化學性質及地球化學性質列如下表：

| 元素名稱 | 原子量 | 電價 | 離子半徑 | 克 拉 克 值 (維諾格拉多夫) |
|------|--------|---|--|----------------------|
| 錳 | 54.94 | + 2 | 1.03 | 5×10^{-5} |
| 鎘 | 112.41 | + 2 | 1.08 | 1.5×10^{-3} |
| 銻 | 114.76 | + 3 | 0.92 | 1×10^{-5} |
| 鉍 | 204.39 | $\begin{cases} + 3 \\ + 1 \end{cases}$ | $\begin{cases} 1.05 \\ 1.49 \end{cases}$ | 3×10^{-4} |
| 銻 | 72.6 | + 4 | 0.44 | 7×10^{-4} |
| 銻 | 78.96 | $\begin{cases} + 6 \\ - 2 \end{cases}$ | $\begin{cases} 0.35 \\ 1.91 \end{cases}$ | 6×10^{-5} |
| 銻 | 127.61 | $\begin{cases} + 6 \\ + 4 \\ - 2 \end{cases}$ | $\begin{cases} 0.89 \\ 1.11 \end{cases}$ | 1×10^{-6} |
| 銻 | 186.31 | + 4 | 0.63 | 1×10^{-7} |

從表列數據可以看出此等元素在地殼中的平均含量極少。在自然條件下它們很少能夠形成單獨礦物，而主要是分散在其他礦物中。因此這些元素的地球化學性質，對其分布和聚集具有重要意義。

錳主要聚集在熱液期的閃鋅礦及方鉛礦中。根據奧夫達爾的數據，可以看出中溫和低溫熱液期的閃鋅礦中含錳最高，相反在高溫熱液期的閃鋅礦中含錳較低，下表列出挪威的各種閃鋅礦內錳的含量情況：

閃 鋅 礦 種 類

- 接觸交代的閃鋅礦（奧斯陸區）0.2%
- 高溫熱液的閃鋅礦（加里東山區）0.2%
- 中低溫熱液的閃鋅礦（加里東山區）0.25%
- 中溫熱液的閃鋅礦（Kongsberg 等地）0.6%
- 中低溫熱液的閃鋅礦（南挪威）0.6%

在方鉛礦中也有錳的發現，惟含量較低，一般不如閃鋅礦內的高。

鎘的地球化學性質與鋁甚為相似，在岩石圈中大部分的鎘潛藏在鋁礦物內，僅有少部分的鎘含于硫化礦物中。現在鎘的主要來源為鋁土礦及閃鋅礦。法國南部的鋁土礦含 Ga_2O_3 為 0.0005—0.008%，荷蘭和英國的某些鋁土礦中含 Ga_2O_3 從 0.001 到 0.01%。我國河南及山東等地的鋁土礦中亦發現有鎘，鎘礦床中的鎘常生于含鋅的礦物內，一般是在中低溫的閃鋅礦及次生鋅礦物內含量較高。

銻的地球化學特性還不十分清楚，但到現在為止我們已經知道它是地殼中極稀少的元素之一，主要聚集在各種硫化礦物中。費爾斯曼曾經指出閃鋅礦，特別是一些含有鉛、鋅、錫、銻而不含銀的硫鹽，我們應當把它們看作獲得銻的最重要的實際來源。根據全蘇礦物原料研究所對蘇聯及其他國家閃鋅礦中銻的分布情況的研究，他們把閃鋅礦分成三組：黑色和黑褐色的鐵閃鋅礦，褐色的閃鋅礦及白褐色、淺灰色或黃色的純閃鋅礦，此外又劃分出所謂“貝殼狀閃鋅礦”等。從分析結果中可以看出銻在暗色閃鋅礦中含量較高，一般可達 0.01—0.1%，在純閃鋅礦及“貝殼狀閃鋅礦”中一般含量較低。戈爾德施密特也曾獲得同樣結論，即在高溫熱液礦床中的閃鋅礦內含銻較高，而低溫礦床中則較低。

銻有時為一價，有時為三價。其一價離子的半徑與鉍相近，所以它能聚集在晚期結晶的含鉍礦物中，如長石、雲母等。銻的三價離子與鉍相似，但它卻很少能進入含鉍的礦物內，因為這樣需要較高的氧化電位。從銻的地球化學性質來看，它具有顯著的親硫元素性質，因此在硫化礦物，尤其在方鉛礦中時常發現有銻。現代作為銻重要來源的是方鉛礦和其他含鉛的硫鹽類礦物，如脆硫砷鉛礦（ $PbS \cdot As_2S_3$ ），硫砷鉛礦（ $2PbS \cdot As_2S_3$ ）及灰硫砷鉛礦（ $4PbS \cdot As_2S_3$ ）等。另在白鐵礦中也有時也發現有銻，并可為工業所利用。

銻的地球化學性質與矽相似，所以它往往集中于矽酸鹽礦物中。英國科學家研究了某些煤田的煤灰，証實煤灰中聚集有銻。在蘇聯的某些煤田的煤灰中同樣也發現有銻，最高含量有達 1% 的。銻還具有親硫特性，所以它又可以與熱液硫化物相伴生。根據戈爾德施密特的研究銻進入硫化物時，與鎘、銻的性質相似，經常與下列四面體的硫化物相結合，如閃鋅礦、纖鋅礦及銻石等。關於銻在閃鋅礦中的分布情況，全蘇礦物原料研究所曾作過研究，他們和研究銻時一樣把閃鋅礦按顏色不同分成三組，另外還分出球狀同心閃鋅礦。銻最常見于各種淺色的閃鋅礦中，而在成礦溫度較高的鐵閃鋅礦中含量很微，在球狀同心

閃鋅礦中亦見有銻，含量通常為0.01—0.1%。根據戈爾德施密特所引用的資料，銻常進入低溫熱液形成的閃鋅礦和纖鋅礦中，其含量為從0.005%到0.3%，而接觸類型的閃鋅礦中一般含銻僅為0.0005%，極少有達0.005%的。此外在其他許多硫化礦內有時也聚集有較多量的銻，如烏拉爾地區的許多礦床即是。戈爾德施密特認為銻還具有強烈的親鐵性質，因此他推測在沉積成因的氧化鐵礦石中，可能富集有銻。

銻在煤中的聚集具有重大的實際意義。在蘇聯許多煤田中銻的富集程度均很高，尤其是未變質的煤具有最大的價值，而無煙煤中含銻往往很低。

硒的地球化學性質與硫相似，並能夠進入含硫礦物的結晶構造內。根據戈爾德施密特的研究，硒常常聚集於氣成及高溫熱液硫化床中，含量常達十萬分之几，中低溫的礦床含硒則較低，僅為百萬分之几或更低。同樣，由於硒與硫性質的相似，也往往使它富集在火山成因的硫磺礦床中。另在某些高溫的碲金礦床及低溫的金銀礦床中，有時也有硒的聚集。現代硒的主要來源為各種硫化礦床，尤其是含銅黃鐵礦和多金屬礦床。在開采主要組份時，硒被附帶提取。

碲的地球化學性質至今尚不完全了解。據戈爾德施密特的資料，碲常聚集於硫化礦床中。瑪松曾發現碲往往含於方鉛礦內，含量可達0.1%，這一點，以後曾被奧夫達爾在挪威的硫化礦床工作中所証實。此外在硫化銻和鉛礦床以及某些金礦床中，亦常有碲的聚集。現在碲的主要來源為各種硫化礦床，如含銅黃鐵礦和多金屬礦床以及碲金礦床等。

銻在地殼中含量很少，從不形成單獨礦物。主要是含於其在週期表內鄰接元素的礦物中。根據諾達克的研究，在岩石主要結晶期礦物中，銻的平均含量為 $1 \times 10^{-7}\%$ 。在偉晶岩和其他氣成岩石中，銻常聚集在鉬鐵礦、鈮鐵礦、矽酸鈦鉬礦、鉛英石、鎢錳鐵礦，特別是矽鈹鉬礦中。後者含銻在0.00011%以上。挪威含於偉晶岩中的鈮鐵礦和鉬鐵礦的組合樣品，平均含銻0.0000015%。在熱液形成的岩石中一般含銻較低。但由於銻的地球化學性質與鉬的相似，在輝鉬礦中往往可以發現有銻。瑞典拉尼加爾輝鉬礦中含銻最高達0.25%。諾達克認為這是由於鉬與銻的離子半徑相近，而形成類質同像的結果。現在銻的主要來源就是輝鉬礦。

由前述各種稀有元素的地球化學特性及礦床類型，得知這些元素皆在岩漿分異晚期與末期聚集或成礦。一部分稀有元素可以形成單獨礦物和礦床，一部分所謂分散元素不能形成或很少形成單獨礦物，而主

要是聚集在其他礦物中。由於各種元素在自然條件下，往往是成組產出，故可把前述各種元素的各類礦床根據其富集的地質條件歸納為如下幾種主要類型：

A、內生礦床

一、鹼性岩漿礦床：含 Zr、Nb、Ta 等

二、偉晶岩礦床：

1. 含稀土元素偉晶岩：含 Tb、Ta、Nb、Tu、Zr 等

2. 綠柱石偉晶岩：含 Be、Ta、N、Li 等。

3. 鈉-鋰偉晶岩：含 Li、Rb、Cs、Be、Ta、Sr 等

三、氣成-熱液礦床：含 Be、Li、Cs、Rb、Ta、Nb 等

四、砂礫岩型礦床：含 Be 等

五、熱液礦床：

1. 含稀土元素鐵礦床：

2. 鉬礦床：有 Re

3. 含銅黃鐵礦床：含有 Se、Ge、Te、Ti 等

4. 多金屬礦床：含 In、Cd、Ga、Ge、Te、Se 等

5. 碲金礦床：含 Te、Se 等

6. 鉍礦床：含 Tl

B、外生礦床：

一、煤礦床：含 Ge

二、鋁土礦：含 Gd

三、鐵礦床：含 Ge

四、鹽類礦床：含 Li、Rb、Cs 等

五、砂礦床：含 Tb、Zr、Ti、Ta、Nb 等。

三、關於我國幾種主要類型礦床找礦方向的問題

(一) 含稀有元素的偉晶岩礦床：已知產地分布很廣，所含元素有鉬、鈮、鉍、鋰、鈹及稀土元素等等。按礦床的分布及其分布地區的地質條件，在我國可劃分出如下幾個主要稀有元素成礦區域：

(1) 華夏古陸區：包括江西、湖北、湖南、廣東北部及廣西東北部地區。根據區內古老片麻岩、片岩及前泥盆紀地層的廣泛出露以及晚期地層的不發育，應該認為該地區在地史上曾長期上升。至中生代末經燕山運動，區域繼續隆起並有大量花崗岩的侵入，隨着發生了大規模的稀有金屬礦化作用。含稀有元素偉晶岩多產於花崗岩或其外接觸帶中，主要礦物有長石、石英、綠柱石、石榴石、白雲母、鋰雲母等。屬於弗拉索夫分類中的稀有金屬交代類型。

(2) 南滿地塊區：尤其在遼寧省南部和西部地

区,含稀有元素偉晶岩甚为發育。該区地層以元古界的遼河系分布最广。偉晶岩產于花崗岩、片麻岩及各種片岩中,成礦时代屬前震旦紀。按礦物的共生,逸見吉之助把海城地区偉晶岩分为兩种类型:一类为黑云母黑稀金礦型,圍岩多为片麻岩及角閃片岩等,一类为白云母鈹鐵礦型,圍岩多为黑云母片岩。稀有元素礦物中的黑稀金礦、褐鈹鉬礦、黑鈹鈣鈾礦、鈹鐵礦及黑鈹鉬礦等多產于前一类型中,鈹鐵礦、綠柱石及独居石等則產于后类偉晶岩中。区内偉晶岩常具顯著的分帶性,稀有元素礦物往往產于某一限定的帶中。

(3) 內蒙地軸区:包括內蒙及河北的一部分地区。含稀有元素的偉晶岩多產于古老的片麻岩中,成礦时期为前震旦紀。按郭承基所進行的研究,該区偉晶岩可分为三种类型:

(1) 黑云母型:所含稀有元素礦物为褐帘石、鈹礦、鈹鈹礦、独居石、鋯居石、黑稀金礦、褐鈹鈹礦及鈹鐵礦等,一般不含鈹与鈹的礦物。

(2) 白云母型:所含稀有元素礦物有綠柱石、锂云母、锂輝石、锂电气石、鈹鐵礦、鉍鐵礦及独居石等。

(3) 兩云母型:具有上二类共同的特征,所含礦物为綠柱石、独居石、鈹石、鈹鈹礦、鈹鉍鐵礦、黑稀金礦等。

根据过去調查的資料,該区内以陰山一帶希望最大。

(4) 北疆阿尔泰区:該区屬華力西褶皺帶,在上古生代时會有大量花崗岩侵入,并广泛發育有偉晶岩床。根据礦化作用的特点,区内部分偉晶岩屬于弗拉索夫分类中的稀有元素交代类型。所含礦物为石英、鉀微斜長石、白云母、电气石、磷灰石、石榴石、綠柱石、輝鉍礦、鈹鉍鐵礦,少量螢石、锂云母、黄綠石、砂鈹石等。其中綠柱石含量往往很高。估計还可能含有鈾和鉍等組份。阿尔泰是我國現在已知最大的稀有元素成礦区。

除上述主要成礦区以外,在康滇地軸北部,滇緬結晶雜岩帶、淮陽地盾、山东地塊、秦嶺地軸、大兴安嶺等地区亦有偉晶岩分布,可能存在稀有元素礦物,是需要今后工作时注意的。

(二) 气成-热液礦床:以錫等組份为主,可能伴生的稀有元素有鈹、锂、鈹、鉍、鈉、鉍等。此类礦床在我國南方贛湘粵桂等省最为發育,成礦区呈东北向延展,在千余公里以上。另在遼宁南部,河北北部及阿尔泰等地区仍有类似礦床的分布,惟以錫礦为主很少含鈹,对尋找稀有元素礦床來說,

仍值得注意。从地質条件上推測,在东北北部及东部,兴安長白褶皺帶中也可能發現这类礦床。由產地的分布,可以看出含稀有元素的气成-热液礦床与偉晶岩礦床在成礦地区上大致符合。

(三) 砂礫岩型鈹礦床:已知產地分布在華夏古陸与江南古陸之間的湘桂准地槽区。泥盆紀及其以后曾連遭海侵,故区内多中上古生代的灰岩建造。經燕山运动,伴随大量花崗岩的侵入,發生稀有元素的礦化作用,并形成礦床。成礦时代与贛粵等省含稀有元素偉晶岩及錫錫礦床可能一致。其生成同与南嶺花崗岩有关。此处燕山准地槽区也許有这种礦床,應該注意。

(四) 砂礦床:根据前述稀有元素原生礦床的分布及我國各地区的地質条件,推測在遼宁、山东、河北、內蒙、北疆阿尔泰、广西以及广东和云南南部等地可能找到稀有元素砂礦床。尤其應該注意河流冲積及海濱堆積类型的砂礦。此外在东北北部砂金礦床中,已發現伴生稀有元素礦物,同样是需要今后加以注意的。

其他各类礦床中的稀有元素,多以伴生組份存在,故不拟一一討論,僅希望从事这些礦產勘察或研究人員能够在工作中,考慮到各种稀有元素的地球化学特性,進行伴生組份的檢查,了解其含量及在各种礦物中的分布情况,以便將來有可能对这些礦產進行綜合利用。

“地質月刊”(地質与礦產)啓事

根据國務院精簡刊物,提高期刊質量的指示,地質部決定將“地質知識”和“地質通訊”于1958年1月份起合併。“地質知識”第10期及“地質通訊”第4期都刊登了关于這兩個刊物合併为“地質月刊”的啓事,現決定“地質月刊”改称“地質与礦產”,但因“地質月刊”这个名称已向郵局备案,故暫時保留,容后更改。

一、“地質与礦產”是代表地質部的一个机关刊物:它全面反映和指导管理工作和地質技術工作。它的主要任务是:傳達和闡述有关地質工作的方針政策及各个时期的中心工作;刊登对地質生產有指导意义的論文、譯文和評述,報導祖國的礦產資源勘探情况;介紹地質理論及地質基本知識;介紹國內外地質工作中的各种新技術、新經驗和最新成就,反映职工群众的思想动态和意見。

二、“地質与礦產”的服务对象,主要为地質系統內的行政、技術和政治工作干部以及地質院、校教生和社会上爱好地質工作的讀者。

三、本刊仍繼續接收稿件,來稿請寄本市羊市大街中華人民共和國地質部“地質与礦產”編委会。