稀有元素的普查和勘探方法（續）

Н·И·金兹布尔格　Н·В·彼德罗夫斯卡婭

最近以前，工业方面主要是要注意內生矿床，而近年来对外生矿床已大大注意了。現在已从其中开采，或將来可以开采銣、鋰、鎵、鍺、硒及稀土。現在世界上鋯、鈮、稀土及少許鈾主要是产自砂矿。

硷性岩上的风化壳具有很大意义，对于开采稀土、鈮和鋯就更加有远景。

鈾、含硒砂岩和富含鈾与稀土的瀝青頁岩和磷灰岩型矿床，具有很大远景。煤及沉积鉄矿已是获取鍺的主要来源之一；在鋁土矿中已查明有鎵的巨大儲量，在錳矿里則有鈷的巨大儲量。走向稳定，規模巨大和加工簡單决定了利用此类矿床很高的經济价值。

毫无疑問，稀有元素沉积矿床的远景还远沒有完全搞清楚。地質人員应該对沉积矿床的成分进行較仔細的研究，在标志很好的情况下（如含瀝青質很高，有磷化合物的混入物及放射性很强等等），应对样品进行光譜分析和化学檢查分析。所有煤矿、鋁土矿、鉄矿、錳矿及鹽类矿床，都应进行檢查和研究。

稀有元素的变質矿床几乎沒有进行研究，其占世界产量上的比重一般极小。但同时，近年来已証明某些变質成因的矿床中，首先是变質砂矿和礫岩中，稀有元素有高度工业富集的資料。

同样也应当指出，对噴出岩及与其有关的矿床研究得很不够。有些噴出岩將来可能含有銣（白榴熔岩）、硒及其他稀有元素的混合物。

× × ×

对比了各类稀有元素矿床地質特征之后，可以指出以下几种共同情况：

1. 稀有金屬內生矿床在成因上与一定类型的侵入杂岩有关，所謂一定类型即在成分上表現了某些專屬性并且一般都富含揮发性組份的特点。

一切有工业价值的鋰、鉈、鈹、銣以及錫、鎢、鉬、鉍矿床和一部分稀土及鈮矿床，均与酸性（花崗岩質）侵入杂岩有关。絕大部分帶有分散元素混合物的綜合性矿床也都与該侵入杂岩有关。

最主要的鋯、鉿、鈮及鈰組或釔組稀土矿床（后兩組稀土矿床与硷性和半硷性花崗岩类有关）均与酸硷性侵入杂岩（霞石正長岩、硷性正長岩及花崗岩）有关。

最后，与超基性-硷性侵入杂岩有关的是鈮、鈦及鈰組稀土矿床。

与基性和超基性岩漿有关的仅是帶有硒和碲混合物的硫化銅-鎳矿床及銅矿床。其他与基性杂岩和侵入岩共生的稀有元素矿床尙不清楚。

2. 除了上一类决定母岩及与其有关的稀有金屬矿床成分共同特点的專屬性而外，还有某些局部性的專屬性，这种專屬性决定着每一成矿区各矿床成分的特殊細节。

例如，在某一矿产区中同一类型的多金屬矿床帶有固定的銦的侵入物，而在另一地区則几乎沒有銦，而典型的混合物却是鎘。有些矿区矿石中有鈷的混合物，而有些矿区則沒有鈷。各地含稀有金屬的偉晶岩有的富含鉭有的則缺少鉭、鋰、鉈、等。

这种情况給勘探及普查人員提出了一項任务，即要在自己工作中查明和利用每一个有勘探对象的矿产区的特殊地球化学特点。

3. 稀有金屬矿化作用不仅在空間上，而且在时間上发育得都不平均。

在岩漿作用和岩漿期后作用过程中是各种稀有元素組合堆积的典型阶段：

（1）在岩漿阶段，与花崗岩岩漿和硷性岩漿有联系的則造成了鈧和稀土的局部集中。在分散元素中（銅鎳矿石类型中）主要确定有硒，碲次之。在火山噴气当中，由于火山岩系的关系也有同样的元素，这一点是比較特殊的。

（2）偉晶岩阶段的特点是鈹、鋰、鉈、銣、鈮和稀土高度集中。它們的分散元素中伴有鉿和鈧。

（3）在气成-热液阶段，与酸性岩漿有联系的則繼續堆积了大量的鈹和鋰附帶有氟，有时还有錫、鎢、鉬。硷性岩漿可形成大量的鈮、鋯等稀土的富集，有时还有鉭、鉬、鈦。在分散元素中除鈧和鉿之外，由于是气成热液作用的晚期阶段，硒和鍺便开始富集。

（4）热液阶段是所有分散元素聚集的一个主要阶段，与其同时还有重金屬硫化物析出。这一阶段主要集中有硒、碲、銦、鉈、銣，以及一部分鍺和鎵。

与个别岩漿有关的热液作用繼續造成稀土的富集，反映了它們一种"貫通的"性質。

（5）外生作用在特殊条件下可造成鎵和鋁碲一起聚集，鍺和煤一起聚集，鉈和錳一起聚集，鋰、銣、鉈和鹽类沉积物一起聚集等。

4. 在每一个成矿作用阶段，由于稀有分散元素和某些非稀有元素在地球化学上連接过于紧密，因而它們在各种矿石的矿物組份和含矿岩石里面有集中的

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

趋向。这在对矿化点进行評价时必須要加以考虑的。因为在稀有元素含量一般較低的情况下，它們的这种分散可以达到相当大的数量。为了充分的对矿床进行評价，就必須在加工过程中充分的研究含稀有元素矿物的性質，确定各矿物中的元素平衡情况，并且还要搞清那一部分元素可用現代的矿石加工方法提取出来。

稀有元素矿床总的地質特点、探明和評价其远景的方法，以及在这方面所应进行的某些地質任务就如上所述。

无需置疑，今后的勘探和普查工作，將会扩大对稀有元素天然富集規律性的了解。应当在最近期內利用这些規律性来寻找建立最重要的稀有金屬工业的可靠原料基地。

稀有元素內生矿床的成因类型 表2

組	主要稀有元素	矿床类型	矿床类型的概述（貴重矿物下加横綫）	有用組份（主要組份下加横綫，括号中为混合物）	工业价值
1	2	3	4	5	6
		一、岩漿矿床			
成因上与花崗岩类有关	Nb	1.含鈮鉄矿的花崗岩	侵入岩，富含副矿物主要为鈮鉄矿、鋯石、独居石、	Nb(Zr,TR)	（独立矿床）
成因上与超基性碱性侵入体有关	TR Nb	2.鈦、鋯、鈣、鈰矿暗霞正长岩富异性石霞石正长岩	富含鈦、鋯、鈣、鈰矿、磷灰石、异性石、榍石的岩石	Ce,Ya,Nd,Nb (fi,fa)	
		3.磷灰石—霞石岩	含稀土元素混入物的磷灰石—霞石岩	P(T)	規模巨大的稀土矿床（伴生矿床与"独立矿床"）
		4.鈰鈣鈦矿—鈦磁鉄矿岩	具鈣鈦矿的鈰鈣鈦矿—鈦磁鉄矿岩	fi,Nb(f)	
在成因上与基性侵入体有关	Se	5.銅鎳硫化矿床	底部硫化矿体与侵染带和陆台区里的輝长岩块有关	Cu，Ni,Pt及其它分散元素	規模巨大的矿床（諾里尔斯克、萨德貝里等）、（"伴生矿床"）
		二、偉晶岩			
成因上与花崗岩侵入体有关	Be	1.綠柱石—白云母偉晶岩	具有綠柱石，鈮鉄矿、曲晶石混入物的白云母偉晶岩矿床，	白云母 Be Nb	規模不等的云母矿床，可順便开采綠柱石
		2.鉭波偉晶岩	含綠柱石、鈮鉄矿、錫石、鋰蓝鉄矿的偉晶岩	Be Ta Sn(Nb, Li)	有时含鉭很富的規模不等的矿床
	Li	3.含鋰偉晶岩	偉晶岩，其中含有鋰輝石、綠柱石、透鋰长石、磷鋁石、鉭鉄矿有时亦具有鋰云母、鉭榴石、錫石等	Li(Cs,Rb) Be (Ta,Lu)	鋰(Li)矿床的重要类型，尙可順便提取鉭等元素
	Ta	4.鈾—稀土元素偉晶岩	含白云母的偉晶岩、其中有瀝青鈾矿、磷釷矿、曲晶石、独居石、黑稀金矿；在某些矿床里还見有褐釷鉭矿、黑稀金矿、矽鈹釷矿、鈮釷矿、奧勃魯契夫矿	陶瓷原料：鈾、釷組稀土元素 (Se,Be,Nb	陶瓷原料矿床，可順便开采少量的鈾和稀土元素
成因上与碱性和亚碱性花崗岩类和正长岩有关，	TR	5.矽鈹釷矿偉晶岩	具有矽鈹釷矿、褐釷鉭矿、Триалит，矽鈦鈰釷矿、褐稀土石的偉晶岩	釷組稀土元素	規模不大的矿床
	Nb	具有易解石的烧綠石—鋯石偉晶岩	含烧綠石、鋯石、易解石、矽鈦鈰釷矿、鈮鈣矿的长石偉晶岩	陶瓷原料(Ta, TR)Nb,Zr	陶瓷原料矿床，可順便开采少量的Zr,Nb及稀土元素

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

組	主要稀有元素	矿床类型	矿床类型的概述（貴重矿物下加横綫）	有用組份（主要組份下加横綫；括号中为混合物）	工业价值
1	2	3	4	5	6
			三、气成—热液矿床		
			（云英岩、矽卡岩、自变質岩体）		
成因上与花崗岩类有关 a)发育于鋁矽酸岩的介質中	Be	含鈹云英岩	云英岩带；典型矿物有綠柱石、鉄鋰云母、黑鎢矿（富含鈮）、鋰鉭矿、錫石	Be(W,Li)	"独立"鈹矿床的重要工业类型
	Li	含鋰云英岩	云英岩带；典型矿物有鉄鋰云母、鋰云母、磷鋁石、錫石、黑鎢矿、綠柱石	Li(Se,Lu)	規模巨大的低品級鋰矿矿床
б)发育于碳酸盐介質中	Be	矽鈹石—螢石的交代变質形成	碳酸盐岩类交代带。发育有螢石、矽鈹石、金綠宝石、日光榴石、鋰珍珠云母、錫石	F Be Li Sn (Se)	規模巨大的鈹矿床
	Be	含鈹矽卡岩	含磁鉄矿、金綠宝石、日光榴石、螢石等的矽卡岩带	F Be F Sc	規模巨大的鈹矿床
	Se	磁鉄矽卡岩	矽卡岩，具有硫化物	Fe,Cu,Ce	規模中等和不大的矿床
		a)具鈾矿类和硒化物；	鋼矿化現象，或在特殊为亚类中具有硒鈾矿化現象（交錯脉及細脉）；	U Sc	
	Ce	б)具黄鉄矿和黄銅矿，并杂有鍺的混入物	除去磁鉄矿、赤鉄矿、藍青鈾矿，还有Co 和 Ni 的砷化物和Bi,Pb,Cu的硒化物		"伴生"型鍺矿床
в)发育于超基性岩中	Be	含鈹云母岩	含綠柱石、矽鈹石、金綠宝石、螢石、鋰鉭矿的交代变質形成	Be F	規模巨大的含鈹富矿
在成因上与碱性正长岩有关 a)发育于鋁矽酸盐介質中	TR Zr	有稀土元素矿化現象的鈉长岩	褐釔鉭矿、釔易解石、水鋯石、烧綠石、黑稀金矿、矽鈹釔矿、磷釔矿、鈦鉄矿、藍青鈾矿	TR Zr U Th	稀土矿床的重要工业类型
发育于碳酸盐介質中	Be TR	鈉长石—螢石交代的形成，其中有稀有元素的矿化現象	螢石、矽鈹石、金綠宝石、日光榴石、独居石、氟碳鈣鈰矿	Be TR F Nb	具有复杂的加工工艺过程的規模很大鈹—稀土元素矿床
在成因上与霞石正长杂岩有关	Nb Zr	烧綠石—鋯石鈉霞正长岩和鈉长岩	鈉长岩发育带；典型矿物有烧綠石、鋯石、水鋯石、钛石、方鈣鋯鈮矿	鋯、鈮、針、鈰組稀土元素（鈰、鑭、鑽）	鈮—鈰矿床，其中可能提取到鈰組稀土元素
成因上与超基性碱性杂岩体有关	Nb	烧綠石碳酸岩	大型碳酸岩矿体；其典型矿物为：烧綠石、鈮鉄矿、鈰鈮鈣矿、鈮鈣矿、磷灰石、鈦鉄矿、斜鋯石、磁鉄矿	鈮、鈰組、鈮、鈰、針、磷、鋯、	鋰的大型工业矿床，其中可以順便提取鈰組磷灰石的稀土元素
			四、热液矿床		
成因上与角斑—細碧噴发杂岩体有关	Se	鋅銅矿床（黄鉄矿型斑岩銅矿型等）	主要为硫化矿体和硫化浸染矿化带 黄鉄矿占矿石的 70～90% 主要的貴重矿物为黄銅矿和閃鋅矿。尙有重晶石混入物	Cu Zn,Au Se Fe Cd (Te?)	大型矿床，可在矿石加工产物中順便提取Se和Te

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

組	主要稀有元素	矿床类型	矿床类型的概述（貴重矿物下加横綫）	有用組份（主要組份下加横綫；括号中为混合物）	工业价值
1	2	3	4	5	6
成因上与花崗岩类侵入体有关	Te Se In Cd Te	多金屬矿床	主要为硫化物交代矿体、矿层、矿脉和分散矿化带。以黄鉄矿为主。有方鉛矿、閃鋅矿、黝銅矿。还見有鎘化物	Pb Zn Cu(Au), Te,Se,Cd,In, Ga,Ge,Fe	大型矿床。对具有綜合价值的矿石进行加工时可附带提取分散元素
	Se Re	銅鉬矿床及鉬矿床	裂隙带里的石英矿脉、网状脉及浸染矿化。其典型矿物为：輝鉬矿、黄銅矿、黄鉄矿、黝銅矿、輝鉍矿等	Mo Cu (Se, Re,Fe),(In)	
	In (Se) TR	鎢矿与錫矿床	石英矿脉、与綠泥石矿脉、网状脉和分散矿化带，在有些亚类里則与云英岩化現象有关。分散元素在硫化物錫石、黑鎢矿里呈混入物出現；有时含 Bi, Pb 的硒化物和 Bi, Pb, Au, Ag 的鎘化物，有些亚类含磷釵矿、褐帘石	Sn W(在亚类型中含稀土元素 In,Sn,Ca)	可順便进行小規模与中等規模的开采
	Te (Se)	金矿床和綜合性的金—多金屬矿床，金—砷矿床，金—鎘矿床和金硒矿床	石英矿脉，脉状带、网状脉、和侵染矿化矿田。在各种不同的亚类里石英与碳酸盐、鈉长石、冰长石共生 金屬矿物里有黄鉄矿，毒砂、硫化物及 Cu,Pb,Zu, Bi,As 的硫盐，Bi,Pb, Au,Ag 的鎘化物分布較少（但在金—鎘亚类里分布量大） 在稀有的金—硒亚类里分布着硒化物		規模不等的矿床，可順便較少量地开采分散元素（在极少見的亚类里价值增大）
	Se	硒矿床	沿破碎带的含矿赤鉄矿—碳酸盐脉和浸染矿化。金屬矿物中主要为鎳和銅的硒化物（硒鎳矿）Pb 的硒化物（硒鉛矿）Hg 的硒化物等。		唯一富硒的矿床，阿根廷 美国等地較小的矿床。
	Se U	鈾—鎳—鈷—硒矿床	破碎带內网状脉和浸染矿化，內含石英、碳酸盐、綠泥石和电气石，以及 Fe,Cu 的硫化物，Co和Ni 的砷化物，鈾矿类和硒化物	U Cu Co Se (Co)	稀見的但規模很大的矿床，可順便开采硒(比屬刚果)
		汞—銻矿床	破碎带里的网状脉、浸染矿化；石英—碳酸盐脉及夹脉含辰砂、輝銻矿、黄鉄矿、白鉄矿；有时还有鎘化物	Hg (Sb,Te, Fe?)	多半是小型和中型的矿床，可能順便开采少量的分散元素
在成因上与碱性和亚碱性花崗岩正长岩以及正长輝长岩的杂岩体有关	TR	含稀土元素的多金屬矿床	含有多金屬矿化（方鉛矿、閃鋅矿、黄鉄矿）和稀土矿化（独居石、磷釵矿、釵灰鉛石、氟碳鈣鈰矿、水鉛石、鉄鈦石）的石英—长石—絹云母矿体。	Pb, Zn, TR (Mo, Zn, In, Sn, Cu, Hf, Cd, Ag,等)	綜合性大型多金屬—稀土矿床

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

組	主要稀有元素	矿床类型	矿床类型的概述（貴重矿物下加横綫）	有用組份（主要組份下加横綫；括号中为混合物）	工业价值
1	2	3	4	5	6
	TR	稀土矿床	含氟碳鈰矿、氟碳鈣鈰矿、天青石、螢石的螢石—重晶石—方解石矿体。独居石、褐帘石矿、黄鉄矿、矽鈰石、Саха-малит方鉛矿——呈混入物出現在亚类里为含氟碳鈰矿的螢石——重晶石—菱鉄矿矿体。	TR Ba,F (Sr) 在亚类里为Fe	巨大的鈰組稀土元素、螢石和重晶石的矿床。在亚类里尙可开采鉄
	TR	含稀有金屬矿化的鉄矿床	磁鉄矿—赤鉄矿—螢石矿体，其中含稀土元素矿化（氟碳鈰矿、菱鎂鈾矿、Обойт）重晶石、方鉛矿、閃鋅矿	Fe,F (Ce, In, Nd)	巨大的鉄矿床和稀土矿床

稀有元素外生矿床的成因类型　　表3

組	主要稀有元素	矿床类型	矿床类型的概述（典型矿物）	有用組份（主要組份下面划横綫，附生組份放在括号内）	工业价值
1	2	3	4	5	6
残余組(风化壳)	TR	硷性岩上的风化壳稀土矿床	硷性岩上的风化壳；典型矿物为：水菱鈰矿、纖石、Кальк иисит氟碳鈰矿，Церианит磷鈰鑭矿、水磷鈰矿，鈦鈰矿，多水高岭土胶岭石錳的氧化物和氫氧化物、鉄的氫氧化物	鈰組稀土元素、鈰、銷、釩、鈧、鈮、鋯、鈦	有远景的大型稀土元素工业矿床
鋅層沉积組（砂矿）	TR Nb	稀土矿物的冲积（及残积）砂矿	冲积砂矿：独居石、鈮石、褐鈰矿、褐鈰鋼矿；共生矿物有黑稀金矿、鈮鈦矿、鈦鉄矿、鋯石鈦磁鉄矿	鈰組稀土元素、鈮、針、金在某些土矿床的主要工业亚类里有鈰、鈮、鈮；	拥有最大儲量的稀土矿床的主要工业类型
			在某些残积砂矿亚类里，典型矿物为：磷鈰矿、烧綠石、褐鈰鋼矿、黑稀金矿、針石	全部稀土元素和鈰、針、鈮、鈮	稀土元素和鈮儲量不大的工业矿床
	TR Zr	海相（滨海相）独居石—鈦鉄矿—金紅石—鋯石砂矿	海相砂矿；典型矿物有：独居石、鈦鉄矿、金紅石鋯石、	鈰組稀土元物針、鈦、鋯	拥有最大儲量的稀土，鋯石与鈦矿床
		冲积和残积的金砂矿	含金砂矿，有时还含有独居石；偶尔也含鐳化物	Au(Te, TR)	可能順便开采少量稀有元素的規模不等的矿床
沉积和生物沉积組	U TR	夹杂磷有金屬混入物的含鈰磷鈣土	磷灰石組矿物、水磷鈰矿、磷鈰鑭矿	磷、鈾、鑭、鈧、銷、釩、鈦、鏑、鈾、鈾、針	含鈾及稀土元素的磷鈣土的巨大工业矿床
	U TR	磷鈰鑭矿—水磷鈰矿砂和砂岩	磷鈰鑭矿、水磷鈰矿、鑭石、軟錳矿，褐鉄矿、脂鉛鈾矿、含鈾云母	鈰組稀土元素、鈰和鈦、針和鈾	有远景的綜合性稀土元素矿床

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

組	主要稀有元素	矿床类型	矿床类型的概述（貴重矿物下加横綫）	有用組份（主要組份下加横綫；括号中为混合物）	工业价值
1	2	3	4	5	6
	U TR	含有鈾及稀土浸入物的黑色瀝青質頁岩	胶質鉄矿、黄鉄矿、白鉄矿	鈾、稀土元素、釩、鉬、硒	工业鈾矿床，从中提取稀土元素、釩鉬、硒
胶質沉积組（氣氧沉积）	Ga	鋁土矿形成物	水鋁矿、一水硬鋁石、Бенит	鋁、鎵、釩、鈦、鍺、鋯、鈮、稀土元素	在提取鋁时可順便提取鎵、釩、鈦
	Ge	沉积鉄矿形成物	褐鉄矿、綠泥石	鉄、釩、鍺、鎵、鈷、鎳、鈧	在沉积鉄矿形成物中富集鍺
	Tl	錳質形成物	軟錳矿、錳土、硬錳矿，褐錳矿	錳、鈷、鉈	錳質形成物中富集鉈
盐沉积組	Li	石盐—芒硝沉积	石盐、芒硝、苏打	鈉、鋰、硼、鎂	是一种重要的鋰矿床类型。鋰含于滷水中
	Li Rb	鉀盐—光卤石沉积	鉀盐、光卤石、石盐、杂卤石等	鉀、銣、銫、鎂、鋰	提取銣的主要工业来源
	Li	含硼沉积	硬硼鈣石、方硼石、白硼鈣石，板硼石、水方硼石、石盐等	硼、鈉、鋰	鋰含于滷水中
生物組	Ce (Se,TR)	煤		鍺、鈧、稀土元素，鈾、鈾	提取鍺和其他稀有元素的重要来源
	TR U	粘土和泥灰岩中的骨骼残余	磷酸盐、磷灰石組里的鈣、黄鉄矿、胶黄鉄矿	磷、碘、鈾、鋼、鈮、釩、鉬、鈷、	稀土元素和鈾的綜合性远景矿床
			变質矿床		
a. 含稀土矿化的結晶片岩	TR	独居石混合岩	独居石	鈰組稀土元素、釷	有工业远景的稀土矿床
6. 变質砂矿	U TR	鈦鈾矿—晶質鈾矿含牛瀝青鈾矿的砾岩	鈦鈾矿、晶質鈾矿含牛瀝青鈾矿、独居石、曲晶石、黄鉄矿、黄銅矿	鈾、鈮、鈮組稀土元素、釷、金、鈦	具有稀土元素远景的世界上最大的鈾矿床
	TR	含独居石的砾岩	独居石、赤鉄矿、磁鉄矿、鈦鉄矿、金紅石	鈰組稀土元素、釷	稀土工业矿床
	Ce	鉄質石英岩	赤鉄矿，磁鉄矿	鉄、鍺、鎳	在磁鉄矿里具有較高的鍺含量

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net