

稀有元素的普查和勘探方法

H·H·金茲布爾格

H·B·彼德羅夫斯卡姬

目前，對於如何擴大稀有元素原料的問題，對各國來說都具有極其重大的意義。

如所周知，由於這些元素能利用於工業，因而揭開了一個新的技術發展時代。從利用這些元素可以製取原子能、半導體儀、電子真空器件、電子管及生產自動化設備等，就可以看出其重要性。

為了使這種原料資源能夠保證稀有金屬工業的飛躍發展，就必須對稀有金屬的礦床類型、礦床規模，及其普查和評價的有效方法，得出一個清楚的概念。

稀有元素可以了解為分布很少的元素，但這在很大程度上都是假定的。

最初，銻、金、鋁、銻、鎢也被列入了稀有金屬組（費爾斯曼1939）。某些學者甚至到目前還把硼、鈾、鈦、鉬，算做稀有元素（費良德1953）。但是，大多數的研究家們都把這組元素的範圍看的比較窄，就象附表1所列出的那樣。

通常，是把那些最近幾年來能用於工業的元素算做稀有元素。稀有元素的特點就是自然富集比較少見，並具特有的礦化現象。

多數的稀有元素都不能形成單獨有工業價值的礦床，而僅僅作為其他金屬礦中的混入物出現。因而在這種情況下，稀有元素僅在某些大礦床中才有重大的價值。

據此，可把礦床分成兩個工業類型：

a. 具有獨立工業價值的稀有元素礦床。

陽紅色層的花崗岩，在廣東有穿過紅色層的花崗岩。如果衡陽紅色層同後一紅色層為同時，那麼，廣東湖南確有三期花崗岩，可以和香港對比。這一問題尚待研究。燕山期的噴發岩也很複雜，在北京西山中生代噴發岩有三個時期：（1）晚期侏羅紀中性噴發岩（髻髻山系）；（2）白堊紀酸性噴發岩（東嶺台流紋岩）；（3）三疊侏羅紀（？）的玄武岩（過去稱為輝綠岩），吉林也有此相當的兩個時期噴發岩系在山東有以酸性岩為主的青山系凝灰礫岩，時代已肯定為下白堊紀，所以它應相當於東嶺台系。浙江、福建有

6. 伴生於其他有用礦產中的稀有元素礦床。為了簡便起見，於附表2中暫時把它們叫做“獨立礦床”和“伴生礦床”。

銻、鉍、銻、鈾、鉬、鉍和稀土元素的大部分礦床，即能組成單獨礦物的元素所構成的礦床，都屬於第1類型。

第2個類型包括不能組成單獨礦物的分散元素的礦床，其中也包括某些稀土元素礦，鉍礦、鉍礦等。此外尚存在有過渡型的礦床，其中稀有元素的價值與主要金屬的價值相似。但這種類型的礦床數量並不多。

類型的界限是假定的，可以改變，但進行類型劃分卻是非常重要的，因為礦床類型不同，對其進行普查、勘探和評價的要求也不同。

應當強調的是，所有的稀有元素礦床都是綜合性的礦床，亦即是說每個礦床通常都包括有幾種貴重的礦物成分。把它們加以充分的探明和利用具有重大的意義，這常常是決定礦床命運的重要因素。

稀有金屬礦床成因類型是根據不同的稀有和“非稀有”元素的有規律的地球化學結合特點，及其在地質發展中所占的地位來決定的。但其最終還要根據稀有金屬礦床所有的工業性能而定。

由於這個原故，所有在最近時期所提出來的分類都根據上述各原則：稀有元素礦床屬於那一個成因劃分的組、族（Саймство）和類型。並參考了某些其他的因素。

顯然，分類的最大單元是把礦床分為內生礦床、外生礦床和變質礦床，其中稀有元素的濃集是很不同的。

在第1類里面，又劃分出幾個礦床族；如岩漿礦床，偉晶岩礦床，氣成礦床和熱液礦床。而其中的每一種礦床又分出許多類型和亞類。

根據最近幾年的研究工作可以看出：礦床和不同類型侵入雜岩之間的关系、含礦介質的性質和矿石成

廣泛分布的流紋岩，浙東流紋岩之下尚有屬於中性噴發岩的俯沓層和與之伴隨的中性凝灰礫岩，如果說俯沓層相當於髻髻山，則流紋岩必相當於東嶺台，但閩浙流紋岩確位於下白堊紀板頭系之下，其時代似應為晚期侏羅紀，也就是和髻髻山系相當。這裡噴發岩的時代問題還存在矛盾。總的來說，我國東部至少有兩個燕山噴發時期，一在晚期侏羅紀一在白堊紀，岩石組成在各區多有不同。是否有三個噴發時期，相當於三個侵入時期，也是值得進一步研究的。

稀有元素組中主要元素一覽表 表 1

元素	化学符号	原子序	原子量	发现年代
A. 生成純矿物的稀有元素				
鐳 釷 錒 釷 釷 釷 釷	Li	3	6.940	1817
	Be	4	9.013	1828
	Rb	37	85.48	1861
	Zr	40	91.22	1891
	Nb	41	92.31	1860
	Cs	55	132.91	1860
	Ta	73	180.88	1802
鈾組稀土元素				
鐳 釷 釷 釷 釷 釷 釷	La	57	138.92	1839
	Ce	58	140.13	
	Pr	59	140.92	
	Nd	60	144.27	
	Pm	61	(145)	
	Sm	62	150.43	
	Eu	63	152.0	
釷組稀土元素				
釷 釷 釷 釷 釷 釷 釷 釷 釷 釷	Y	39	88.92	1907
	Gd	64	156.9	
	Tb	65	159.2	
	Dy	66	162.46	
	Ho	67	164.94	
	Er	68	167.2	
	Tu	69	169.4	
	Yb	70	173.04	
	Lu	71	174.99	
	B. 大部分不能生成純矿物的稀有元素(分散元素)			
釷 釷 釷 釷 釷 釷 釷 釷 釷 釷	Sc	21	44.96	1879
	Ga	31	69.72	1875
	Ge	32	72.60	1886
	Se	34	78.96	1817
	In	49	114.76	1863
	Te	52	127.61	1782
	Hf	72	178.6	1923
	Re	75	186.31	1924
	Tl	81	204.39	1861

于这一組。該工业类型为特有的矿化鈉長岩和极典型的具有远景的、且帶有燒綠石、鈾鈾矿等碳酸岩类型。

因含矿侵入体类型和促进成矿作用的介質成分的不同而所影响到的矿石成分的变化列于第2表內。

应強調的是，大多数的这組矿床都可以当做稀有元素单独开采的对象，并且这些稀有元素以广大的綜合体存在。同时除了当做主要开采对象以外，还可以順便提取許多元素的混合物。其中最典型的元素是鈾，有时是鈾等。

在一种磁鉄矿砂卡岩类型中，其他分散元素如硒和鈾、鈾、鈾、銅起着重大的作用。

在帶有硫化物矿化現象的含鉄硅卡岩中，可見到呈混合物狀的鈾。

这組矿床的地质情况比偉晶岩区的地質更为复杂，仅可以指出某些有典型意义的特点。

鈉長岩和云英岩类型的交代矿床在侵入体的頂板部分有广泛的发育。其矿化强度随深度的加大而剧烈的变弱。在母岩侵入体的大片地段，以自交代作用广泛的分布为其特点。同时，在以后阶段，这种作用活动的产物多集中在侵入体破裂地带。有工业价值的稀有金屬矿化現象常和它有关。其发育带沿着在后期形成的構造侵入体发育。追索这个構造可以給地質普查人員一个指导綫索。在圈定远景地段和矿带时，必須要仔細的对成矿前和伴生有稀有金屬的各种岩石的变化組合进行測图。在这方而，鈉長石化、云英岩化的标志，岩石中富含氟的現象有着特殊的意义。利用地球化学制图法(金屬測量)和放射性測量进行編制構造图和成矿图可能取得很大的成效。有时利用水化学普查法也可能取得效果。

在最近几年所探明的新的稀有元素矿床类型的地質一通常和硷性和超基性侵入体有关的碳酸岩，是很有价值的。这些矿床規模很大，含鈾特富。如果能用露天开采法进行大規模的开采时，可以估計到，在最近几年，这种矿床是获取鈾矿和稀土元素(除磷原料外)最重要的来源之一。还可能順便开采含于燒綠石中的鈾。

大部分的碳酸岩类型矿床分布在地台上，分布在地台的边缘地带。仅仅个别的矿床发现于地槽区(但也靠近地台边缘)。它們到处都和大的区域断裂有关。某些研究家們(叶依曼1955)曾經指出，这些矿床除和硷性超基性岩侵入体有关外，还与暗色岩有关。碳酸岩的年代极不相同：由元古代加里东、海西宁到第三紀的后吗。碳酸岩体呈岩株狀、岩鐘狀(圓形和橢圓形)，以及穿过侵入岩体的岩牆或矿脉。岩株面积从零点几平方公里到15平方公里。碳酸岩体和特有的硷性超基性岩体有关。断面形状为圓形，且呈同心圓構造为其特点。碳酸岩常常位于杂岩体的中心，而这些杂岩体的外部則常为輝石岩。可見到大量的切穿这些岩石(放射狀的或环狀的)的岩牆。

碳酸岩的成分是以粗粒的碳酸鹽(80%)为主，主要是方解石；白云岩和鉄白云石則少見，菱鉄矿則更为少見。磁鉄矿、磷灰石、黑云母或金云母、硷性長石、輝石硷性角閃石則为其特有的杂质(到20%)。最有价值的矿物为燒綠石。此外，还有鈾鈾矿、鈾鈾矿、鈾鈾矿等。有时，这些矿物聚集在风化壳里面，并且有很大的实际意义。

关于碳酸岩成因问题极为复杂，仍然还是一个争论的焦点。一些学者认为碳酸岩是搬运来的、重新生成的沉积型的碳酸盐岩石；另一些学者则认为碳酸岩是火成的，且交代性质的气成热液作用在里面起着重要作用。后面一种观点有着较充分的依据。

考虑到碳酸岩矿床在地質上的特点，我们认为在普查这种类型矿床时，应当集中在地台和地槽的边缘地带，在不同年代岩层的接触带，在沿着大的区域断裂地带，特别是在硷性超基性侵入体发育的地方。

配合航空磁测、放射性测量和航空摄影测量进行普查工作是很有效率的，而在地面需测制构造图、重砂测量，对靠近硷性侵入岩体和靠近侵入岩体风化壳出露的碳酸盐岩石进行详细研究和取样。

(四) 热液矿床

这一类稀有金属矿床是热液成因的，其规模也是极其巨大而且种类繁多。此类矿床所具有的意义并不比以上矿床小。

与矿床伴生的有花岗岩及硷性杂岩侵入体，是为稀有金属矿床中的两个极为不同的主要“分枝”。当与硷性岩石共生时，稀土矿床有时则有铀矿床——与酸性花岗岩类侵入体有关的热液矿床具有一种特殊的性质。所谓分散元素组在这种矿床中起着重要作用，前者在主要是铜、铅、锌、钼、锡、铁等金属矿石中仅形成小的混入物。此类矿床中集中有硒、碲、铟、铊、镓及铯等主要储量。正如上面所说的，要查明这些顺便提取的稀有元素的原料的资源需要一些特殊的方法。

由于直到最近对矿石中分散元素的存在估计不足，或是完全没有估计，因此所有正在勘探的有色和贵重金属矿床应进行分散元素的检查和取样。同时，最好要考虑到根据进行类似工作的经验所确定的以下几种情况。

1. 矿石中分散元素的含量一般是十万分之几和百万分之几，因而需要利用非常灵敏和精确的分析方法。保证测定到0.001%的方法都已经不够准确了。现在已经研究出了对In、Ga、Ge进行的灵敏的光谱分析方法；而铊的光谱测定灵敏度还很小。碲的光谱测定方法正在研究（苏联），硒仅是用化学分析进行测定；

2. 在绝大多数情况下分散元素都与硫化物有密切关系，其中有些元素如硒、碲在黄铁矿、黄铜矿等硫化物晶格中用类质同象的形式置换了硫；有些元素（铟、镓、铯、锶）与铜锌化合物共生，而有些元素（铯）则与钼等共生。所以，在检查矿床的评价时首先应该对矿石加工厂制出的精矿，尽可能是选择精矿进行取样。其中分散元素的含量应比矿石中者高几

倍，对分散元素的分析正是为较详细的取样，是选择区分不够工业价值的第一步；

3. 从矿石中及从其加工的产品中提取分散元素的技术加工还未详细地研究出来。因此，地质工作者应当为了查明带有贵重元素的矿物而特别仔细地采集和分析单矿物样品，并编制矿物元素对照表，这可列为较详细工作的第二阶段的任务中；

4. 不仅在不同类型矿石中发现分散元素的含量不稳定，就是在每一类型甚至在个别矿物中也发现了分散元素的含量不稳定，特别是假如这些矿物属于不同的形成时期的话。所以，单个样品的分析可能表示不出什么来，而需要深思熟虑地选择它们的系列；

5. 地质工作者考虑到稀有元素分析的成本相当高之后，不得不力求样品数量能够减到最少数。获取初步的、具有工业储量块段的样品，是可以利用联合样品办法来解决，这种联合样品应该是在圈定块段范围内同一类型的矿石中。

分散元素的储量此时只可按低级（C₂级）计算。

在普查和勘探新的对象时，矿石的取样和评价应当对“非稀有”和稀有金属的组合同时进行，并且要考虑它们一般的地球化学共生情况，作为某一地区和某一类型矿石的稀有元素组合的特征。

兹将含各种不同分散元素组合的各类矿床特征简单叙述于下：

铜矿及铜锌矿 世界各地的铜矿及铜锌矿中都含有一定的硒的混合物及少许碲；有时有少量的铊、锶、铯、铷。

其中硒起主要作用。可作为特征的是，它的主要供给者是铜矿的加工厂和从铜的电解提纯产物以及灰份中提取硒的工厂；硫酸工业占第二位。

所谓黄铁矿型矿床具有很大的价值，此种矿床是一些巨大的，最大的长几公里，厚几十至几百公尺，浸染状的矿层，产在角斑岩细碧岩建造片理化岩石中。

此类矿床的地质在乌拉尔、里奥庭托（西班牙）及南斯拉夫等地区研究得都很清楚。

此类矿床的特点是生于钠长斑岩及其凝灰岩中，短轴褶皱所控制并与辉绿岩和斑岩岩墙的发育区共生。这些特点可以作为该类型矿石一般找矿的标志。

黄铁矿占矿石体积的70—90%。贵重矿物有黄铜矿及闪锌矿，经常的混合物有黝铜矿，有时有斑铜矿、磁黄铁矿、白铁矿，它们分布得很不均匀。矿石的构造常为不均一状，条带状、块状、角砾状，时常还有胶体状。

硒和碲一般均匀分布在硫化物中，很明显是在硫化物中置换硫，但是它的富集是与较晚期的黄铜矿

和黃鐵礦共生有關。硒和碲的比例在3:1和1:1之間變動。有碲化物存在,但其作用很小。在氧化帶中硒移動得很厲害,在上部很貧乏,正象其他分散元素一樣,進行露頭評價時應特別小心;在氧化帶的下部,根據資料聚集有自然硒,有時則非常富集(達百分之几)。這種地段需要特殊取樣。

多金屬礦床是分散元素,特別是碲、銻和鎢等分散元素的第二個主要來源。

如所周知,此類分散元素最常見的类型是石灰岩中的交代礦體以及火山沉積岩和花崗岩等里面的礦脈和透鏡體。研究者將它們分為高溫和低溫兩種礦石建造。

礦床的礦物經確定有黃鐵礦、方鉛礦、閃鋅礦、黃銅礦和自鐵礦的組合,它們的比例有些變化;另外有不固定的石英、方解石混合物,時常還有重晶石、毒砂、磁黃鐵礦及鉛的硫鹽混合物。

分散元素的性狀一般和前述的銅礦性狀相似,但其組成成分有些不同。碲起着極大作用。除銻而外,銻、鎢具有工業價值,其來源就是閃鋅礦、黃銅礦,特別是硫鹽。

評價此類礦石中的分散元素的方法與評價黃鐵礦類礦石的方法相同。在其余的热液礦床中對於順便開采硒和碲來說,價值最大者乃是銅鉛礦床。與鋅一起可提取碲,後者在輝鉬礦中成類質同象混合物。在個別地區錳礦和錳礦中含有數量相當高的銻,有時還有硒(或碲化物),而在個別亞類中含有稀土(磷鉍礦、褐帘石)。

金礦床在其礦石中照例有一定的碲的混合物,經常成各種碲化物。一般分為特殊的金-碲类型礦床,

個別的則屬綜合类型。科羅拉多克里普-克列克礦床即是一例。據B.林格瑞的資料(1928年),該礦床含金0.1%,含碲0.20%,碲或碲化物出現。同樣也發現有金硒礦和純硒礦,除了硒和碲之外金礦石特別是金-多金屬礦石中還有銻和鉍。

在汞錳礦石中發現有硒,有時還有鉍。

金礦中稀有元素的儲量同錳礦中的一樣,也是不大,比銅礦和多金屬礦中的儲量少許多倍,在選擇勘探對象時應該考慮。同時應該注意到,在加工礦石時可以得到分散元素含量相當高的精礦。所以,所有精礦的取樣問題仍應作為一個任務(普查時則是採取洗選破碎的礦石時所得到的重粒級精礦)。

總之,在普查和勘探分散元素的热液礦床時,有利的標志就是硫化物和硫鹽(特別成分複雜者)的大量聚集,以及一系列成礦階段的存和和硫鹽參加的晚期成礦組合的發育。勘探和評價的方法即是系統取樣和對礦石進行系列分析,以及對元素在礦石中存在的形狀進行專門研究。

與礫性岩石有成因關係的一類礦床在热液礦床中占有獨特的位置。多金屬礦床及稀土礦床即屬此類,例如一種含硫化物、錳石和稀土礦物的石英-長石-絹云母礦床。

“獨立”型的稀土礦床(含氟碳錳礦和氟碳鈣錳礦的螢石-重晶石-方解石礦體)和具綜合價值的鐵礦床(稀有金屬礦化起很大作用),同樣也有着很大意義。這些类型在工業上還沒有完全掌握,但很有遠景。這几類礦床的普查標志就是與礫性雜岩體的關係,在這種岩石中廣泛發育的交代現象及破碎帶中構造的控制。(未完)

云南省遍地發現草煤泥煤

省地質局建議全省各地提煉石油和化肥

本刊訊: 根據調查材料,雲南全省一百多個縣都發現草煤泥煤,它的生成時代較新,富含有機質,生長在氣候溫熱,空氣潮濕、池沼較多的盆地中,池沼中的植物很容易生長,其植物本身的脂肪便存於這種黑色多水的草煤泥煤中,是一種很好的石油原料。含油率一般在10%以上。已知東北地區採用成堆干餾法提煉原油,加工後可產汽燈油、輕柴油、重柴油、化肥硫酸氨、石蠟及瀝青,礦渣破碎後可作肥料。成堆干餾的設備簡單,技術簡單,操作方法易學,對交通不便山區的經濟發展有重大意義。

為此,雲南省地質局黨組最近向省委作了報告並附有提議全省各地開展用草煤泥煤提煉石油和化肥的方法。