

# 稀有金屬礦床的新類型

A. И. 金茲堡

本文簡要地描述了近年來新發現的，在成因上與酸性-鹼性侵入岩組及超基性-鹼性侵入岩組有關的，極有遠景的稀有元素礦床類型。最有實際價值的是獨立岩漿礦床（層理化了的侵入體，其中並有富集各種副礦物的層位）和氣成-熱液礦床，尤其是雲英岩化的花崗岩、網狀脈和雲英岩化帶、鈉長岩和碳酸岩。本文對位於第三紀或白堊紀海洋的沿岸帶中陸台上的獨居石-鎔石-鈦鐵礦隱伏砂礦予以特別的注意。

在進行廣泛的，旨在尋找稀有元素礦床的普查工作時探明了大量各種不同類型的礦床。其中某些礦床規模巨大，適宜露天開采。

不久以前地質人員的注意力主要還是集中在普查幾乎包括所有主要稀有元素礦床工業類型的近代砂礦和內生礦床方面。直到目前對外生礦床的普查，尤其對變質礦床的普查顯然是注意得不夠的。而且人們早已知道，在許多現代海洋的海灘上聚集了龐大數量的海洋浪沖洗的自然重砂。此類沿岸砂礦常常延伸數十公里，一般都富含重組份礦物，首先是富含鈦鐵礦、鎔石、獨居石，偶爾也遇見富含副礦物的典型沙丘沉積。

發現這類位於第三紀海洋沿岸帶的古代隱伏海成砂礦是有很大價值的。如果說不久之前稀有金屬的主要普查工作還是集中在褶皺地區內，那麼隨着古代隱伏海成砂礦的發現普查工作也就逐步地涉及到陸台型沉積層。近年來獲得了一系列嶄新的成就——發現了與白堊紀海洋沿岸帶有關的這類海成砂礦；同時也揭露了變質的泥盆紀地層——富含鈦、鎔、鈮和稀土礦物的砂岩層。最後，查明與其本身成因條件相似的，但又是古老元古代的完全變質的岩層——富含赤鐵礦，金紅石和鎔石的石英岩層也是有很大意義的。

必須注意下面一個頗有興趣的規律：如果近代海成砂礦的成分是以鈦鐵礦、鎔石和獨居石為主的，那麼，在第三紀海相沉積中鈦鐵礦常常發生某種程度的變化，而且除鈦鐵礦以外，也遇見白鈦石化的鈦鐵礦和白鐵石。在較老的海洋沉積中幾乎所有的鈦鐵礦都變成了白鈦石。至於涉及前寒武紀石英岩層，其中既沒有鈦鐵礦的存在也沒有白鈦石的存在，但是，却有獨特的與鎔石共生的赤鐵礦—金紅石集合體；鎔石並未經受任何一種很深的蝕變。但應指出，И. 蘭姆道 (Рамдор, 1957) 曾在維持瓦特爾斯蘭變質砂礦中也描述了鈦鐵礦類似的蝕變及其如何變成金紅石集合體的現象。

在古老的完全變質的砂礦中，除金紅石或銳鈦礦、鎔石和獨居石外，個別情況下尚聚有大量的鈦鈾

礦。這就是安大略州（加拿大）布萊因達、里維爾區中著名的綜合性鈾-稀土變質礦床，它們不僅在鈾而且在稀土的來源方面都有首要的意義。

值得指出，在古老的變質砂礦沉積中幾乎經常發現熱液活動（或是活動論擁護者認為的“假熱液”活動）。這些活動從外觀上看是一些發育在變質岩層中的石英細網脈，某些時候在類似的地層中出現鈾和鈾的礦化現象也是極其典型的；而且鈾來源於變質砂礦的某些副礦物中（曲晶石或水鎔石、獨居石、鈦鈾礦，某些含鈾的鉍-鈮酸鹽），也不是不可能的。

富含稀有元素礦物和鈦礦物（尤其是鈦鐵礦或白鈦石〔常含鈮的〕、鎔石、獨居石，其次是磷鉍礦、鈦鈾礦、褐鉍鈾礦和其他鉍-鈮酸鹽）隱伏海成砂礦、變質砂礦和礫岩的發現，對從事普查稀有元素礦床的地質人員就面臨着一項新的任務：研究古地質，旨在劃分宜於重礦物富集的古老海洋和窪地的沿岸地段，以及遠景地區的廣泛普查工作和沿岸沉積地層的成分的詳細研究。

我們只列舉了一個隱伏砂礦的例子，目的在於表明研究各種稀有元素外生礦床和變質礦床類型的重要性。

但是必須考慮到，除砂礦以外，其餘的大部分外生礦床所含的稀有元素，只能作為在沉積礦床中對其他礦產進行綜合開采時才能得到的伴生組份。屬於這類外生礦床者有：很多的鹵素形成物；富含鎔、鈾、鈹和其他稀有元素的煤礦床；常含鈾、鉍、鈮、稀土及偶爾含硒的油頁岩；富含鈾、稀土和鎔的磷酸鹽岩；有時可從其中順便提取鈾、鈦、鎳的鋁土礦；沉積型的鐵礦和錳礦等等。

從沉積岩中含稀有元素觀點出發，至今有許多沉積岩還是研究得很不夠的，例如，海綠石層、土狀螢石，加里福尼亞含 0.5—0.7%  $\text{Li}_2\text{O}$  (Гекторит) 的膨潤土（蒙脫石的）礦床，充填各種富含許多稀有元素特別是稀土鈾等動植物化石的沉積層。

沉積岩中稀有元素含量的測定，不僅在直接發現

沉积矿床方面具有很大的价值,而且在查明矿区的独有特征、肯定稀有元素搬运地区等方面也是具有很大的价值,某些时候还可以对时代不明的沉积层进行对比。这方面可以举很多例子加以说明,例如蒙脱石、铝土矿或盐湖的高量铯是与这些地区中有大量铯析出的规模巨大的含铯伟晶岩有关;而铯在煤中的聚集则与它从多金属矿床或铁矿石中的析出有关。因此研究沉积岩中稀有元素的含量某些时候是可以帮助揭露大型内生矿床的。

## 稀有元素的内生矿床

在转向主要矿床(内生的)类型探讨之前,首先必须强调指出,直到目前为止,我们对那些与喷发岩层有关的稀有元素矿床还是不够了解的。所有已知的铯矿、铍矿、铈矿、铈矿、钽矿、钼矿和稀土矿在成因上只与花岗岩侵入岩组和硷性侵入岩组有关。根据现有的实际材料可以说目前至少有两种不同类型的、形成于各种构造条件的(陆台的和地槽的)和成分显著差别的硷性侵入岩组。

发育在陆台中的硷性侵入岩组经常是中间类型的侵入体。一般说来它们包括许多成分极为复杂的岩系(С. Даш),其间主要的是超基性岩组:纯橄岩、常有辉岩、霞霓钠辉岩、霓霞岩、磷霞岩,直到成分接近正长岩的淡色霞石长石岩和长石岩,在所有这些岩石中交代现象,特别是霞石岩交代作用广泛发育。根据J.C.博罗丁的材料(1958),这些超基性-硷性侵入岩组岩石成分的多样性,在很大程度上是由各种交代作用的发育而引起的。

在地壳褶皱带中则发育有数种成分不同的硷性侵入岩组,它们包括典型的霞石正长岩、硷性正长岩和硷性花岗岩,一直到各种白岗岩。

由此可见,大部分内生稀有金属矿床的侵入母岩都是花岗岩酸性-硷性和超基性-硷性侵入岩组,在这些岩组中有岩浆矿床、伟晶岩矿床、气成热液矿床和热液矿床的产出。因此必须注意矿床有没有三条仿佛平行的枝脉存在,因为矿床本身所具有的独特的成矿特征都是与其中的每一条枝脉有关(金兹堡1958)。因此,与酸性(花岗岩)侵入岩组有关的是所有具工业价值的内生铯矿床、铍矿床、铈矿床、钽矿床,部分稀土矿床;与酸性-硷性岩组有关的主要是内生钼矿床、铈矿床、钽矿床、稀土矿床;与超基性-硷性岩组有关的则是具工业价值的铈矿床、钪族稀土矿床以及钽矿床和磷(磷灰石)矿床。

## 岩浆矿床

稀有元素的岩浆矿床主要是含稀有元素副矿物包

裹体的成岩岩体,正如所有最新的岩石著作表明,这些副矿物一般比造岩矿物形成的阶段更晚,但它远远不能相同地解答问题,它们是否由于岩浆体用本身形成的,还是它们的形成同自交代气成热液作用的参与有关。

岩浆矿床总蕴有很丰富的储量,因为火成岩本身就是岩浆矿床的矿石,由于金属副矿物的含量不大,因此这种矿床一般说来价值是不大的。只有在下面指出的某些特殊情况下,它们才具有特别重大的实际意义,并且成为最重要的稀有元素矿床工业类型。

1. 在火成岩的某些岩体中可以分出若干富含大量副矿物的地段,例如,某些层理化的超基性-硷性岩体,它们主要是流霞正长岩-磷霞岩-异性霞石正长岩系列的岩组,而其中又可分成若干富含大量钙铈钽铈的个别层位。在这些层位(钙铈钽铈磷霞岩和暗霞正长岩)中钙铈钽铈矿实质上就是造岩矿物。诚然,这些层位是有很大价值的,而且也是易于开采的。

2. 近年来在工业方面开始广泛地利用各种富铝的岩石,特别是广泛利用各种类型的霞石岩。在提取铝为宗旨的霞石正长岩处理过程中,还可以顺便回收全部包括在其中的副矿物,不论它们的含量有多少。此外,在这些岩石的工艺加工过程中,也可以回收全部存在于霞石中的分散元素,首先是回收铯。

因此,目前就有必要详细研究霞石岩中所有最主要岩体的成分和阐明稀有元素,特别是岩体在其中的分布规律,因为在这些岩体的基地上最近几年即将组织铝的生产。

3. 如果在富集稀有元素副矿物的火成岩体上发育有风化壳,岩石遭受强烈的变化,直至分崩离析,而且它们的表面也复有残积层,那么在这一盖层内重组分副矿物就迅速地集中起来。这种残积砂矿如同复于其下的崩解程度不同的火成岩一样,无须利用破碎,借助水力冲击机就可以进行有效的开采,如尼日利亚目前正在开采焦斯高原上的含钶铁矿的风化花岗岩(阿彼利辛、费尔德曼1958)。应该指出,虽然钶铁矿(花岗岩中)和烧绿石(钠闪花岗岩中)的含量很低,但是这些矿床在钶矿开采方面目前仍占首要的地位。

近年来查明了许多花岗岩体,这些岩体中所含的副矿物不仅有独居石和钽石,而且有磷钶矿、褐钶钶矿、黑稀金矿、硅钶矿及其他稀土矿物。发现可以专门从事开采这些矿物的风化花岗岩体并不是不可能的,何况已经发现由这类花岗岩破坏而成的坡积-淤积磷钶矿和褐钶钶矿的砂矿,而且在最近时期它们越来越具有重大的意义。特别应该着重指出找到褐钶钶

矿砂矿的重要性，因为褐钨钽矿是一种极其珍贵的综合性钨-钽原料，而花岗岩体中的褐钨钽矿最富有铈——稀土族中最罕见的元素。

与花岗伟晶岩有关的矿床直到现在还是获得许多稀有元素的主要来源。早在伟晶岩中出现可以手工采取的每须选矿的巨大稀有金属矿物的析出物时就已经对这类矿床引起了注意，而且在最近10—15年内全世界各地都曾检查了所有已知伟晶岩区的稀有元素。花岗伟晶岩直到最近还是获取锂矿（锂辉石、透锂长石、磷铝石、锂云母）、铍矿、铯矿（铯榴石、锂云母）和钽矿的主要来源，在若干地区内还可以从其中顺便开采锡石、铌矿物、稀土矿物，特别是钽矿物、铀矿物、钍矿物，其次也可开采钍矿物。

在稀有金属工业发展的初期阶段，当稀有金属的需求量还是比较少的时候，伟晶岩类型的矿床就是稀有金属原料的主要源地。随着稀有元素需求量的增长就格外明显地表现了利用其他工业类型矿床的趋势。实际上，伟晶岩常常都是一些奇怪而又复杂的形状，它的特点在于矿化现象分布极不均匀、规模不大，因而使得普查-勘探和开采工作的价格极其昂贵。

随着开展稀有元素的细浸染型矿石的工艺研究和选矿方法的拟订，利用储量丰富的其他类型矿床的现实可能性也就产生了。实际上很早以来世界铌、锡、稀土、钍、钽产量，主要还是来源于其他类型的矿床。因此，目前有一切理由可以肯定，最近几年以内伟晶岩矿床在开采铍矿和钽矿方面所起的作用，由于气成-热液铍矿的工业利用扩大以及钽从铌精矿中顺便回收的结果越来越缩小。

最近几年陆续查明了花岗伟晶岩内部构造的特点，也确定了许多伟晶岩体都具有环带状构造，而且岩体的稀有金属矿还产在一定的带中。

在分带伟晶岩研究的基础上，K.A. 弗拉索夫(1952)提出了花岗伟晶岩的构造分类，和某些普查与评价方面的标准；根据这些标准，最有实际价值的是圆形岩体和具环带构造的岩体，其间分异作用表现得最为完全。然近来收集的实际材料却令人信服地证实了，K.A. 弗拉索夫的这些意见，在稀有金属矿床的近代观点方面是经不起批判的，问题在于，环带构造的圆形岩体绝大多数情况下都是规模不大的矿床，其中所含的矿物都是手工易于开采的稀有金属矿物巨晶。在现代的开采规模中，这种小型矿床并不能作为大型厂矿企业的基地。

锂辉石伟晶岩类型，是今后很长时期仍将保持首要意义的花岗伟晶岩的最重要的工业类型；它常常是由大量平行的板状紧邻矿体组成的延伸脉带，特点是沒有表现明显的环带构造（金兹堡1950, 1957）。一

般说来，此种锂辉石矿床都是产在区域构造带中，而且在构造运动多次复活的条件下形成的，虽然每一个别伟晶岩体有时发生分枝、尖灭和膨胀现象，但是整个说来，此种伟晶岩体带沿走向表现极为稳定，常常延伸若干公里，沿倾向长达数百米。稀有金属矿化在这些伟晶岩中分布很均匀，而且锂辉石的数量在矿脉中一般均达20—25%。当钠长石化作用参与锂辉石伟晶岩之际，锂辉石就发生了变质，或为钠长石所交代，这就是一般为什么锂局部搬运到围岩中去的原因。铍矿化现象和钽矿化现象的出现也与钠长石化作用的这些过程有关。

由此可见，这类综合性钽铁矿-绿柱石-锂辉石矿床的特点，常常是规模巨大、矿体沿走向和倾向表现很稳定、有用矿产的含量很高，毫无疑问这是一种最有远景的锂矿床类型。

### 气成-热液稀有元素矿床

在最近几年才开始具有首要的实际意义。如果早先一般认为所有这些矿床都是与花岗侵入岩组有关的，那么在目前是累积了大量的实际材料，足以证明气成-热液作用的广泛发育是与酸性-硷性和超硷性-硷性侵入岩组有关。

上述作用具有许多特征：

1. 它们一般发育在侵入岩穹窿体的最顶部，其强度常常随深度的加深表现为明显的减弱。例外的是一些大概在不同深度下形成的碳酸岩层，而且其中的矿化现象在很深的地方也是极为稳定的。

2. 这种作用沿构造带和不大的岩体——穹窿体边缘表现得最为强烈，经常局限在岩体的内接触带中，而在某些情况下也涉及到外接触带。在中間类型的超硷性-硷性侵入体内这种作用一般都发育在岩体的中央地段（火山口）。

3. 各种矿物共生组合的发育，直接与受到交代作用的围岩成分有关。因此，例如位于花岗岩或灰岩中的同一矿床类型的成分就是有显著的不同。

4. 除交代成矿作用广泛分布在体积很大的母岩侵入体部分外，在发育的较晚期阶段内则一般沿裂隙发生集中。由于这点，在同一矿床内，常常有两种不同的成矿类型：受交代作用的变质矿化岩，和贯穿矿脉、细脉或矿化裂隙的变质矿化岩。

5. 挥发组份，首先是氟和碳酸（在碳酸岩层中）在稀有元素的转移方面具有很大的意义，大部分的稀有元素（Be, Nb, Ta, Zr, TR, Sc），看来都是成络合物状转移，络合物中的稀有元素起着中央离子作用，而挥发组份则起着矿化剂（аддыва）的作用。在某些矿床中成功地查明了稀有元素（特别是铍、锂和铯

土) 含量和氟数量之间的直接相关关系。

因为所有的稀有元素络合物, 在pH值一定狭小的范围内是很稳定的, 稀有金属矿化现象在所有这些矿床中的析出, 都受酸度-酸度系统的控制(柯尔仁斯基, 1957)。

气成-热液矿床固然与成分不同的侵入岩组有关, 但它又有本身独特的地球化学特征, 现将这些特征列于表1。

与各种侵入岩组有关的气成-热液过程中的典型元素 表1

元素	花岗岩组	酸性-硷性侵入岩组	超基性-硷性侵入岩组
	石英岩 矽石交代岩	钠长岩	碳酸岩
主要元素	F, B, Sn, W, Mo, Be, Li, As, Bi	F, Nb, Zr, TR, Ti, Th, Mo, Pb	P, Nb, Ce-La, Sr, Ba, F, Ti
次要元素	P, Sc, Ge, Rb, U, Nb, Pb, Zn, Cu	Be, Li, Ta, B, P, U, Zn, Cu, As, Sr, Hf	Zr, Th, U, Ta, Pb, Zn, Sc, Li

与花岗岩侵入岩有关的气成-热液稀有元素矿床, 根据它们在何种岩层中产出的情况可以合理地分成三种类型, 也就是应该划分出发育在铝硅酸盐岩(花岗岩、片岩)、碳酸盐岩(石灰岩、白云岩)和超基性岩(蛇纹岩、閃岩、滑石-綠泥石片岩)中的各种矿床。上述每一类型矿床各自有其本身的特点, 但是所有这些矿床都含极大量的铍和氟。

近年来发现含肉眼不易见到的微小綠柱石微小包裹体的花岗岩体具有很大的价值, 这种岩体在相当大的面积上都含0.02—0.03%BeO。正如A.A. 別烏斯(1956, 1959)的詳細研究証明, 这些花岗岩中的綠柱石都与自交代作用——钠长石化作用和云英岩化作用的发育有关; 而且在某些地段中它还伴生着其他各种金属矿物(黑钨矿, 錫石較少)在交代变質花岗岩中的綠柱石是比黑钨矿, 錫石或輝鉬矿分布更为广泛的一种矿物。在某些地方(片岩頂板以下的穹窿体頂部地段, 頂板的捕虏体下部)云英岩化花岗岩中的綠柱石浸染程度是較富的, 而且这些地段的BeO含量都能达到工业开采的数量。

具有很大实际价值的是这样一种岩体, 其間, 除了分散在变質花岗岩中的綠柱石以外, 还見到它一般与产在花岗岩裂隙中的鉄錳云母、黑钨矿或輝鉬矿共同富集的现象。

这就是具有很大实际价值的綜合性黑钨矿-綠柱石或輝鉬矿-綠柱石网状脉状矿床; 它們含有儲量丰富的綠柱石。这类矿床适用露天方法进行开采。

其次, 也可能有这样一种情况, 就是所有导致产生

成矿溶液的空洞的后来构造活动都局限在统一的构造弱化带中。在这种情况下所有含矿細脉都产生在这种以破裂性岩石和糜稜化岩石为代表的矿带中。因为这种弱化带中的构造活动不只一次地出现在整个成矿作用的过程中, 故而这一带内的不同时代含矿細脉的富集是非常高的。类似的矿带长达数百米, 沿走向和倾向表现极其稳定, 特点是厚度大, 铍含量高, 它們是铍矿最佳的工业类型。

上述这些矿床的嶄新类型——含綠柱石花岗岩体, 黑钨矿-綠柱石网状脉以及綠柱石細脉貫穿的糜稜岩矿带, 按其規模, 根本不能与目前世界各地正在开采的伟晶岩矿床或常含綠柱石的石英-錫石-黑钨矿矿系的矿脉相比較。但是也应该估計到, 所有这些矿床中的綠柱石一般都伴生含錳云母。富铍的黑钨矿, 經常含鏷的黃玉、螢石、电气石、偶尔也伴生有輝鉬矿和錫石。

当花岗岩体穿过碳酸岩——灰岩、大理岩或白云岩化灰岩时, 气成-热液作用一般就发育在这些碳酸岩中或者参与通常位于花岗岩体接触带的硅酸岩中, 或者与其分离开来, 开始形成单独的交代产物。第一种情况产生了独特的矿床, 其間, 条带状磁鉄矿-鈣鉄榴石-符山石硅卡岩一般都为螢石、金綠寶石和鉄白云母或黑鱗云母組成的細脉所貫穿, 在很多情况下这些矿物都伴生有硫化物: 磁黄鉄矿、毒砂、間或有白鎢矿和日光榴石。

結果形成了成分极其复杂的多相硅卡岩矿床, 其中的铍矿主要是金綠寶石、日光榴石, 其次是硅铍石。經常也伴有螢石, 而且这种铍矿对硅卡岩矿物本身說来显然是后成的。

气成-热液作用可以发育在碳酸岩石中而不与硅卡岩发生任何关系。这就是那些已知的被硅铍石細脉, 有时被金綠寶石細脉所貫穿的交代螢石矿体和螢石-珍珠云母矿体。中华人民共和国的矿床在成分上十分近似这种类型, 除了磁鉄矿-符山石硅卡岩以外, 上述矿床还是較晚期由螢石、金綠寶石、尖晶石集合体以及黑鱗云母、塔菲石和新的鋰-硅酸盐——香花石集合体組成的細脉的多相发育和矿化现象。这些細脉也被富含大量浸染状錫石的硫化物細脉和交代矿体以及最晚期的胶結上連被碎岩碎屑的螢石-白鎢矿体所穿插。

当超基性岩(蛇紋石、閃岩、閃石片岩和綠泥石-滑石片岩)中发育类似的气成-热液作用时就形成了薄层斜长石脉, 其次形成了石英-斜长石脉, 围岩沿着这些岩脉外围完全发生变質, 变成金云母或黑云母的集合体——即所謂云母岩。A.E. 費爾斯曼当时曾把这些独特的斜长石岩体和伴生斜长石岩的云母岩体

看作是交織式的去硅伟晶岩。

近年来所收集的新的实际材料以及对这些岩体的詳細填图,証明了类似的云母岩在形态、内部构造以及与围岩相互作用方面和典型分带花崗伟晶岩有显著的差别,虽然这些花崗伟晶岩就位于这些围岩之中,但是几乎没有使它們发生变質現象。分带伟晶岩被云母岩貫穿的某些現象虽然也能見到,但是在很多情况下它們都是参与伟晶岩之中,并通过伟晶岩的脉壁边缘带,这就有理由可以認為围岩是在伟晶岩作用下发生强烈变質的。云母岩富集螢石、輝鉬矿的現象,云母岩內沒有伟晶岩体中常見的典型的鈾鉄矿-鉍鉄矿——所有这些事实都有理由把云母产物看作是独特的,但只是发育在超基性岩中的云英岩类似物。

表 2 中为了进行比較曾列举了位于不同成分岩石中的气成-热液矿床內最典型的矿物共生組合。从这

些产在不同围岩中的矿床来看,最有实际价值的是含鉍矿化的矿体,因为这类矿石的选矿技术最为简单。

与酸性-硷性侵入岩組有关的气成-热液矿床是强烈鈉长石化的霞石正长岩、硷性正长岩、硷性花崗岩类和亚硷性花崗岩类或是花崗岩类外围的变成鈉长石或鈉霞石正长岩的沉积-变質岩。在这些完全变質的岩石中常常有細浸染狀的金属矿物——鈷石、曲晶石或水鈷石、各种鉍-鉍-鉍酸盐、鈷石、鈷鉄矿、輝鉬矿、方鉛矿以及其他各种矿物。

如同上面提到的情况一样,这些矿床的矿物成分首先取决于受交代作用的岩石成分。由于交代岩的成分在時間上发生着变化,而且較晚期的侵入岩相就是近似白崗花崗岩的变种,因此,归根結底,形成矿床的成分既与交代作用发育的时间有关,也与統一の硷性侵入岩組的各个相有关。

各种气成-热液鉍矿类型的典型矿物  
(主要矿物相間排列)

表 2

矿床位于花崗岩和片岩中	矿床位于超基性岩中	矿床位于碳酸岩中
綠柱石 $(\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18}))$	鉍矿物 祖母綠、綠柱石 $(\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18}))$ 金綠寶石 $\text{Al}_2(\text{BeO}_4)$ 硅鉍石(фенакит) $\text{Be}_2(\text{SiO}_4)$	金綠寶石 $\text{Al}_2(\text{BeO}_4)$ 硅鉍石 $\text{Be}_2(\text{SiO}_4)$
日光榴石 $(\text{Mn},\text{Fe})_3(\text{BeSiO}_4)_6\text{S}_2$ 硅鉍石(бергманнит) $\text{Be}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2$		日光榴石 $(\text{Mn},\text{Fe})_3(\text{BeSiO}_4)_6\text{S}_2$ 塔菲石 $\text{MgAl}_4\text{BeO}_8$ 香花石 $\text{Ca}(\text{BeSO}_4) \cdot \text{Li}(\text{OH},\text{F})$ 霞石 $\text{Ca}_2((\text{BeAl})\text{Si}_2\text{O}_6)(\text{OH})_2$ 三斜石 $(\text{Ca},\text{Mn})(\text{BeSiO}_4)$
黃玉 电气石 鉄鉍云母 黑鱗云母 磷鉍鉍石 鉍白云母 黑鈷矿 輝鉬矿 錫石 磷鉄鉍矿	典型的伴生矿物 螢石 电气石  黑鱗云母  Li-Be 珍珠云母 白鈷矿 輝鉬矿 錫石 磷灰石	螢石 斧石 鉍鉍鈷石 黑鱗云母  Li-Be 珍珠云母 白鈷矿 輝鉬矿 錫石 磷灰石 尖晶石

所有鈉长岩型的矿床,按其矿化成分,以及与各种岩石的成因联系来看,可以分成三組。

1. 燒綠石鈉长岩分佈最为广泛,成因上与較早期的,以霞石正长岩为代表的侵入岩相有关。其中主要的金属矿物有燒綠石和几乎总是富含鈷(水鈷石)的鈷石,其次也有鈷石;次要矿物有鈾鈣矿,有时有易解石、鉍磷灰石或方鈣鉛鉍矿(具磷灰石結構的,但富含鉍族稀土的矿物)、螢石、輝鉬矿等。令人感趣的是,某些矿床中的鈉长石化作用有时在時間上逐步为較晚期的碳酸盐化作用所代替,一般說来燒綠岩也是与这种作用有关,但是却没有鈷石伴生。必須注意这样一种事实,也就是含大量易解石的鈉长岩通常不含鈷石,或者与之相反。

鈉长石化作用(燒綠石矿化与此有关),常常局限在霞石正长岩中不大的,一般是圓形岩体的內接触带中,但是某些时候鈉长石化作用也发育于围岩的外接触带中。矿化現象的独特的带状分布也是极其典型的,这种分布情况表现为:霞石正长岩的岩体附近集中有燒綠石和鈷石,随着远离岩体燒綠石逐渐开始消失,而后,鈷石逐渐消失,但是却有大量鈷石出現。

在某些矿床中钠长石化作用赋存于延伸许多公里的, 表现明显的构造带中。

2. 褐钨钽矿钠长岩比起上面一种类型要少见得多, 成因上是与成分一般接近亚硷性花岗正长岩的晚期后来侵入岩相有关。与上面一种类型的钠长岩不同, 褐钨钽矿钠长岩具有极高的钨族稀土含量, 并且是钨土矿床最重要的工业类型。这类钠长岩的成分极为复杂; 除褐钨钽矿外, 其中尚见钨易解石型的矿物(易解石的钨-铌类矿物 $Y(Nb, Ti)_2O_6$ )、富含钠和钽的锆石(曲晶石或水锆石)、交代钨易解石和褐钨钽矿的烧绿石组矿物(奥勃鲁契夫矿)、硅钨钽矿、磷钨矿、淡红硅钨矿-钽钨矿、钽铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿及其他许多矿物等。注意这类矿床的钠长石化作用有时逐渐为较晚期的硅化作用代替也是很有意义的。

3. 钨铁矿钠长岩在成因上总是与那些主要以白岗岩为代表的晚期侵入岩相有关。与上面一种类型不同, 钨铁矿钠长岩的矿物较为贫乏, 其中主要的金属组份是与含钽的锆石(水锆石)或含钨的锆石(曲晶石), 其次也与钽石一起共生的钨铁矿。钨铁矿中有时还发育烧绿石型的晚期矿物。

钨铁矿钠长岩是较好的综合性铌-钽矿类型, 这类矿石与烧绿石-锆石矿石的不同点在于它的工艺加工方法较为简单。

与超硷性-硷性侵入岩组有关的气成热液矿床, 近年来由于其规模巨大以及实际上取之不尽的钨储量, 业已引起世界各国地质人员的注意。这种矿床主要是岩石成分极为复杂的同心圆状——分带圆形岩体, 岩石成分极其复杂, 岩体的边缘地段由辉石、霞石、霓、霓辉岩, 霓霞岩组成, 有些时候由霞石正长岩组成, 虽然岩体的中央部分一般都已完全碳酸盐化, 甚至至于变成碳酸岩类, 但是碳酸盐类产物的交代性质并不会引起大多数地质人员的怀疑, 因为在碳酸岩中经常见有原生岩石的残余物, 最为常见的是霓霞岩残余物。

碳酸盐矿床的分布规律以及它们的构造在“稀有金属碳酸岩”(金兹堡, 拉夫列涅夫[Лавромов], 涅察耶娃, 波查里茨卡娅, 1958)专集中已有详细的论述, 因此就没有必要再在这里详细讨论这个问题, 仅仅可以指出的是苏联地质人员(Л.К. 波查里茨卡娅, Ю.В. 拉夫列涅夫, Л.С. 博罗丁, Е.М. 埃普什捷因, Т.В. 安特列夫等)在研究碳酸岩矿床时所获得的那些新材料。

1. 碳酸岩是长时期间隔中形成的多期产物, 而且作用的最初几个阶段显然是高温的、气成-热液的, 而最后的是低温热液阶段。碳酸岩作用如同与花岗岩

浆有关的热液作用一样, 经历了许多阶段, 其中每一阶段都有一定的副矿和造岩矿物——碳酸盐成分, 不同矿床中也可以出现强度不等的某一作用阶段。

2. 碳酸岩产物的早期阶段有含辉石、金云母、磁铁矿、磷灰石巨晶的钙质岩类。根据Л.К. 波查里茨卡娅的研究, 烧绿石矿化现象并不是参与这些较早期的钙质碳酸岩之中, 并与其中的再结晶带有关。而且烧绿石也与磷灰石和阳起石密切共生。

正如已研究的许多碳酸岩岩体表明, 分佈在其中的烧绿石一般都是极不均匀的。虽然在很多平方公里面积上的大部分碳酸岩类都染有烧绿石, 但是大量烧绿石的富集现象只见于受构造裂隙控制的个别带和地段中。然而未见任何富集烧绿石的矿脉, 矿体的界限是根据化学分析的材料, 参照通用的原则圈定的。按照矿化现象分布的规律, 碳酸岩矿体在某种程度上尚能与网脉状矿床进行比较。

通过勘探性鑽探工作证明, 矿化现象表现稳定, 深度达数百米。实际上在世界各国中并未发现任何一个矿化现象随深度加深而趋于消失的碳酸岩矿床。

3. 晚期阶段显然是热液作用阶段, 这个阶段主要是以铁白云石碳酸岩或隕铁碳酸岩为代表, 碳酸岩中伴有萤石、重晶石、氟碳铈矿, 或氟碳钪钪矿、独居石和硫化物; 特别是黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和其他矿物。所有这些产物很显然是交代式地沿着钙质碳酸岩的一定带而发育的。在这种掺铁作用的影响下烧绿石发生了变化, 并且烧绿石变成钨铁矿的现象乃是许多矿床中表现极为广泛的过程。

临近铁白云石碳酸岩或隕铁碳酸岩形成終了时发育有碳酸岩类的赤铁矿化作用。

因此, 如果V. 皮科拉在碳酸岩综合性文章中分出两种不同类型的碳酸岩-磷灰石-磁铁矿-烧绿石碳酸岩和稀土碳酸岩, 那末由于研究碳酸岩体的结果, 苏联地质人员清楚地知道, 这些类型是相当于超硷性-硷性岩组有关的气成-热液统一过程的各个阶段的。在各种矿床内可以程度不等地出现统一过程的不同时期的阶段。

值得指出, 热液稀土矿床按其成分极象碳酸岩过程的最后阶段, 近年来各国都发现了这类矿床。它们都有这样共同的典型特点, 以致毫无疑问可以将它们划分到统一的热液稀土矿系中去。

现将这个矿系的典型特点叙述如下:

(1) 该矿系的矿床与一定成分的侵入岩体缺乏表现明显的成因联系, 在个别地区的这类矿床附近出露有花岗岩、正长岩, 而在加里福尼亚(美国)的芒廷帕斯巨型矿床地区则有等色岩-正长岩成分的网脉。因此必须提醒注意, 在铁白云石-隕铁相表现强烈的

典型碳酸岩矿床中，照例都有成分接近正长岩、硷性正长岩的长石岩类，个别情况下则有成分接近等色岩的长石岩类的出露。

(2) 该矿系的矿床是延伸的厚层矿化带（其中时常出露围岩的角砾岩），长达数百米的透镜体或矿脉。这种矿床产在各种岩层——白云岩化石灰岩，片麻岩和片岩之中。

(3) 所有的已研究矿床中，广泛分布有常含某些数量稀土的萤石，热液作用的稀土与氟的关系是那样典型，甚至至于在个别矿床中也可以见到稀土和氟含量之间的直接相关关系。因此必须强调指出，这类矿床始终是综合性的，而且其中的萤石常是最重要的组份。

(4) 稀有金属一般是与独居石密切共生的氟碳酸盐类——氟碳铈矿、氟碳铈钍矿、氟碳铈钍矿。氟碳铈矿和独居石析出物的关系彼此间是那样紧密，以至于通常不能用肉眼把它们分开来。除了稀土和独居石的氟碳酸盐外，萤石中总是有少量稀土的存在；有时见褐帘石、易解石、烧绿石、稀土钍石。在这类矿床中主要还有钍族稀土，特别是钍、铈和铈。

(5) 矿床被铁富集现象，是该矿系矿床的典型特点。铁的含量常常是那样高，甚至某些类似的产物都能成为规模巨大的铁矿床。在这类矿床中含铁的主要矿物是基本上组成矿体的菱铁矿、铁白云石、磁铁矿或赤铁矿。根据主要是含菱铁矿或是含赤铁矿的磁铁矿，所有这类矿床可以分为氟碳铈矿-萤石-菱铁矿和氟碳铈矿-萤石-赤铁矿两种。

(6) 这类矿床的特点经常有大量铈和钍的存在，并且钍的含量比铈的含量要高得多。一般重晶石成分都有钍，重晶石在矿体中的数量常达15—20%。

(7) 在矿体本身，特别是在其外围，一般都具有程度不等的钠质交代作用。它们主要呈霓石化晕圈，其次呈钠长石化晕圈，出现在碳酸岩矿体或磁铁矿-赤铁矿矿体的周围，而且这些作用从外观上看有硷性闪石和钠长岩特有的某些矿物出现。

由此可见，热液萤石-稀土矿系的矿体是由方解石、菱铁矿或带磁铁矿的赤铁矿、萤石、重晶石和一般与独居石混杂的氟碳铈矿所组成。某些矿床的氟碳铈矿数量达5—15%（美国芒廷帕斯）。如果考虑到氟碳铈矿和独居石易溶于酸，而且从其中提取稀土的工艺过程不是太困难的，以及考虑到这些矿床规模是巨大的，并且含许多其他的有用组份。那么，毫无疑问，

它们将是最有远景的稀土矿床类型。

## 结 论

由上面概述的情况可知，近年来发现了一系列极有远景的稀有元素矿床类型，它们的特点是规模巨大，多半适宜露天开采。如果早在10—15年前认为最重要的稀有元素矿床类型是伟晶岩类型，那么，目前最有远景的（除锂矿床）应该是岩浆型、气成-热液型和沉积型矿床。

目前最重要和最有远景的稀有元素矿床工业类型有以下几种：

(1) 层理化了的超基性-硷性岩侵入体，其中并有富含铈铈钍矿的层位（铈-铈矿床）；

(2) 地表上的破碎风化岩体，其中含稀有金属副产物（独居石、钍铁矿、褐钨钍矿）；

(3) 锂辉石伟晶岩，主要是一些延伸的脉带（铈-铈-锂矿床）；

(4) 花岗岩体及其周围的受气成-热液作用蚀变的沉积变质岩，含铈云英岩化的花岗岩、网状脉和脉带（铈矿床和铈-铈矿床）；

(5) 含铈硅卡岩和交代成因的萤石矿体，其中含有金绿宝石、硅铈石和日光榴石（工艺加工复杂的铈矿床）；

(6) 发育在蛇纹岩和绿泥石-滑石岩中的气成-热液型的云母产物（铈矿床）；

(7) 钠长石化霞石正长岩及其周围的沉积-变质岩，其间富有烧绿石、锆石和钍（钍-铈-铈矿床）；

(8) 具褐钨钍矿和钍易解石矿化现象的钠长岩（钍-铈-铈矿床）；

(9) 含钍铁矿和锆石的钠长石化的花岗岩岩体（钍-铈矿床）；

(10) 烧绿石碳酸岩（铈矿床）；

(11) 稀土矿系的热液矿床（铈矿床和钍-铈矿床）；

(12) 近代海岸砂矿和砂丘砂矿，以及古代隐伏海成独居石-锆石-铈铁矿砂矿；

(13) 白钨矿-独居石-锆石砂岩；

(14) 古老的变质砂矿以及含蓝青铈矿和钍铈矿。

译自苏联“Геология рудных месторождений 1959.3”

周传永 译

