

榮 靈 璧 編



# 稀有元素找矿标志

地 質 出 版 社

稀有元素找矿标志

編 者 榮 灵 璧

出版者 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可証出字第000号

发 行 者 新 华 書 店

印 刷 者 地 質 出 版 社 印 刷 厂

北京市安定門外六鋪炕40号

印数(京) 1—3,900册

1959年8月北京第1版

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub>

1959年8月第1次印刷

字数 20000

印张 1

定价(10) 0·15元

統一書号: 15038·746

# 目 录

|              |    |
|--------------|----|
| 前言.....      | 1  |
| 什么是稀有元素..... | 3  |
| 找矿标志.....    | 4  |
| 一、岩性标志.....  | 5  |
| 二、矿物标志.....  | 18 |
| 結束語.....     | 30 |
| 参考文献.....    | 32 |

## 前 言

随着我們祖国社会主义建設一日千里的突飞猛进，新的科学技术不断提高的情况下，稀有元素矿产就成为不可缺少的东西。例如，我們要发展原子能工业，就必须有足够的鈾、鋰、鉍等資原；要制造电子计算机、雷达及各种探測仪、电视机、爱克斯光机等，都离不开鎢、鎂、錒、銻、硅、鋇和鈮等元素；要制造高速度交通工具，如人造地球卫星、火箭和噴气式飞机等，就需要鈹、鋳、鈦；氢化銻是制造光电池感光层的特殊材料<sup>①</sup>；而硼的氢化物又是火箭的特种燃料<sup>②</sup>。从上述事例中可以看出，稀有元素矿产在我国社会主义建設中多么重要啊。

解放前，由于反动政府不重視矿产資源的开发，稀有元素矿产也和其他地下宝藏一样，被打入冷宮，几乎处于无人过問的境地；解放后，在党中央和毛主席的英明领导下，为了使我們祖国更加繁荣富强，最大限度地滿足我国人民日益增長的物質和文化需要，为了巩固国防和捍卫世界和平，稀有元素矿产的勘探工作和其他矿产一样得到了足够的重視，因而获得了空前未有的发展。

1958年党中央提出“全党全民办地質”的战斗号召后，“向地球开战，要大地献宝”的口号响遍全国各地，无数的人民群众，在党的领导下，风起云涌地出入于高山深谷之間，进行着找矿探宝的工作。仅1958年群众找到的矿点就有16万

① D. T. 赫尔德：氢氧化物化学导論 第35頁

② 同① 第87頁

余处，发现和勘探的大矿区达数百个。与此同时，稀有元素的找矿和勘探工作，也得到前所未有的发展。虽然如此，为了满足我国工业的高速度发展，必须更快地找到更多的矿产，为了胜利地完成这项任务，有必要将各地的找矿经验和书本上的知识及时加以汇集交流，使更多的人知道寻找有关矿种的知识和方法，再找出更多、更富、更全、更广的矿产来。这本小册子就是达到这种目的，参考有关书籍和文献资料编写的，以供从事找矿同志们的参考。但由于笔者水平低，掌握资料还不够多，因此，写得不夠全面和錯誤之处是难免的，請讀者和專家們及时提出指正。此外，在编写过程中承周济群、李庆云等同志的大力协助，特地在此表示感謝。

## 什麼是稀有元素

所謂稀有元素，主要是指那些在地殼中分布稀少的元素，其在地殼中平均含量小於0.001%。這些元素只有在足夠高的生產力發展水平下，才能開始生產與應用；而且直到目前，它們的生產和應用仍然是相當少量的。地殼中這種稀有元素有50餘種，如鋰（Li）、鈹（Be）、鈳（Zr）、鈮（Nb）、鉭（Ta）、釷（Re）、鎢（Ge）、鈾（U）和稀土族元素等都是。它們又可分為四類：（1）鋰、鈹、鈮、鉭、鈳、……等，能獨立形成有價值的礦物堆積；（2）能形成單獨礦物，但主要依靠加工或冶煉其他金屬或非金屬礦物時方能得到的，如硒（Se）、碲（Te）、鎘（Cd）、鎳、鈦（Ti）、和稀土族元素、……等是；（3）不能形成單獨礦物、而只能以類質同象混入物或是構成機械混入物的方式存在於其他礦物的晶格中的，如鎳（Ga）、銦（In）、鉍（Rb）、鉛（Pb）、銻、……等是；（4）具有天然放射性的元素又自成一類，稱為放射性元素，如鈾、釷（Th）、鐳（Ra）、錒（Ac）……等是。習慣上（2）、（3）兩類又稱為分散元素。

其實“稀有元素”一詞，應理解為由於某種原因，目前生產還不夠多的化學元素，它是一個帶有歷史性的概念。例如，自古以來即為人們所了解的金（Au），誰也不稱它為稀有元素；可是，地殼中含量比金多20倍的鐳（Pr），由於還很“年輕”而被列為稀有元素了。又如鎢（W），在七、八年前，人們還將它划於稀有元素之列，但是隨着工業生產水

平的不斷提高，近年來，某些國家已將其歸入普通有色金屬元素中去了。因此，有人把稀有元素稱為“進步元素”，隨着人們了解和掌握大自然的能力不斷地提高，其內容亦有所改變。

這裡還有必要談一下什麼是“稀土族元素”，它包括那些元素？科學家告訴我們，稀土族元素包括鐳（La）、鈾（Ce）、鐳（Pr）、釹（Nd）、鉕（Pm）、釷（Sm）、鈾（Eu）、釷（Gd）、銩（Tb）、鐿（DY）、釷（Ho）、鉕（Er）、銩（Tu）、鐿（Yb）、鐿（Lu）等15種元素。由於它們的化學性質相似，區別甚小，物理性質亦相似，並且也常共同存在於一些礦物內，表現着一致的地球化學特性，因而形成特殊的稀土族元素。其名稱的來源，是因為在自然界中用以提取這類元素的礦物比較罕見，同時它們的氧化物與鋁、鈣等成土元素的氧化物類似，所以叫做稀土族元素。習慣上，稀土族元素又分為鈾亞族稀土（包括鐳、鈾、鐳、釹、鉕、釷、鈾）和釷亞族稀土（包括釷和釷及其餘的元素）。

由於稀有元素在地殼中含量稀少，絕大部分又不能形成獨立的礦物；就是能形成獨立礦物的，也常以副成分礦物的形式分散於母岩中，很少富集成有價值的礦床。儘管它是如此稀少，有價值的礦床是多麼巧妙地隱藏於地下，但是，在掌握新技術的新中國地質工作者面前，在廣大的群眾的慧眼下，仍一個接着一個地從地下被找出來，乖乖地為社會主義工業建設服務。

## 找 礦 標 志

這裡所談的找礦標誌是一種找礦綫索，依靠這種綫索，

我們就能順利地、事半功倍地找到預期的矿产。它包括如何認識矿物及如何認識矿床露头。大家都知道，要找矿，就必須首先認識有关的矿物，不然就等于瞎子捉青蛙，是捉不到的。例如要找鉍矿，就應該先認識綠柱石、金綠寶石、硅鉍石和日光榴石等含鉍矿物，同時還要了解這些矿物在岩石中的产狀，也就是辨識鉍矿床的露头。

找矿标志是理論与实践密切結合的东西，沒有理論，它將是表面的、局部的、經不起考驗的标志；沒有实践，則將陷入鑽牛角尖，成为空想，而沒有实际效用。

从找矿标志的性質来談，可以把它分为地形的、地层的、構造的、岩性的、矿物的和植物的六种。关于矿产的地形、地层、構造和植物等的标志已有專門文章論述过，这里不准备談，下面我們將着重談談与稀有元素矿产密切相关的岩性和矿物方面的找矿标志。

## 一、岩性标志

岩性标志，也就是說，什么样的石头可以作为找矿的綫索。它可理解为岩漿源母岩的特性及与圍岩的選擇交代作用，矿床与岩石的性質等。人們知道，几乎所有的稀有元素都可以在偉晶岩<sup>①</sup>和碱性岩（如霞石正長岩等）中找到。根据岩石学的理論、碱性岩多分布于超基性岩和花崗岩类岩体内或其边緣部分；而花崗偉晶岩，一般則多出現于花崗岩类岩体的頂部、或其边緣部分，或其周圍不远的圍岩内。

由于各种元素的地球化学发展史及其專属性有所不同，因而在这兩种岩类中各有其特殊元素。一般說来，在碱性岩

① 这里的偉晶岩系指花崗偉晶岩而言，后文中若未提別的偉晶岩（如碱性偉晶岩）而只談到偉晶岩时，仍是指花崗偉晶岩。

中，主要富集的稀有元素为铌、钼和稀土族元素，其次为钽、钷、镱、钆、铟等；在花崗偉晶岩內則为鋰、铍、鋁、鉍和鈾、釷，其次为鎢、鈹、鈳、鈾、硼及稀土元素等。然而我們只知道这一概略的綫索，就去寻找稀有元素矿产，显然是不够的。我們还必须进一步了解某种矿产与母岩在空間和时间上的关系，以及后期的自交代作用的影响等。只有明白了这些因素以后，才能又多又快地找到我們所要寻找的矿产。下面我們来分別加以叙述。

### (一) 碱性岩

現在有許多人都煉过鋼鉄。我們都知道，由于鋼鉄中所含的碳、硫等成分的不同，一般將它們分为生鉄、鋼及熟鉄三大类；其中鋼又可按其含碳量的多少，并分为高碳鋼、中碳鋼和低碳鋼等。岩石和鋼鉄一样，只不过成分复杂一些而已。科学家們根据岩石中所含的酸性成分（二氧化硅和氧化鋁）、基性成分（鉄、鎂等）和碱性成分（鈉、鉀等）的多寡不同，將火成岩分为超基性岩、基性岩、中性岩、酸性岩及碱性岩等五类。碱性岩主要是指那些碱質（主要是鈉）含量很多，而二氧化硅含量少的岩石。在这类岩石中，沒有石英（二氧化硅）顆粒的出現；部分長石如正長石—— $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ 、微斜長石—— $(\text{K}, \text{Na})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ 等为霞石—— $(\text{Na}, \text{K})[\text{AlSiO}_4]$ 、方鈉石—— $3\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{NaCl}$ 、白榴石—— $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ 、鈣霞石、……等含二氧化硅不饱和的似長石类矿物所取代；至于輝石、閃石等則部分或全部为霓石和碱性閃石取代。由于其成分常变化不定，結構又很复杂，故一般称之为碱性杂岩，顏色較為复杂。現根据碱性岩的产狀、来源和其中稀有元素主要矿床类型的不同，分別叙述如下：

1. 由于其中霞石类（似长石类）与长石类矿物的消长关系，和二氧化硅含量的增多，碱性岩便逐渐过渡为酸性岩（如花崗岩等）。这个过渡系列一般为：霞石正长岩 $\rightleftharpoons$ 碱性正长岩 $\rightleftharpoons$ 正长花崗岩 $\rightleftharpoons$ 碱性花崗岩 $\rightleftharpoons$ 花崗岩；或者为霞石正长岩 $\rightleftharpoons$ 碱性正长岩 $\rightleftharpoons$ 花崗正长岩 $\rightleftharpoons$ 花崗岩。这个系列的岩石大都产于地槽区内，它的成因与花崗岩类岩石有关，一般颜色較淺。其中稀有元素矿物的富集情况是这样的：

在本系列碱性杂岩中，稀有元素矿物在早期岩漿分異阶段多呈分散状态，因而不能形成有工业价值的矿床。随着岩漿晚期自交代作用的进行，早期岩漿岩中的稀有元素便逐渐集中起来，形成有价值的矿床。在晚期的自交代作用中，鈉长石化作用起着极其重要的作用。許多資料証实燒綠石—— $\text{NaCaNb}_2\text{O}_6\text{F}$ 、复稀金矿—— $(\text{Y}, \text{Ca}, \text{Ce}, \text{Th}, \text{U})(\text{Nb}, \text{Ti}, \text{Ta})_2\text{O}_6$ 、黑稀金矿、曲晶石、鉬鉄矿—— $(\text{Fe Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$ 、褐鉭鈿矿<sup>①</sup>—— $(\text{Y}, \text{Er}, \text{Ce} \cdots)(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})\text{O}_4$ 、鉛石—— $\text{ZrSiO}_4$ 和水鉛石等稀有元素矿物的富集皆与鈉长石化密切相关。在这种情况下，从碱性岩中可以圈出一些广泛发育着鈉长石化的个别地段来。在該地段上，由于鈉长石化的結果，碱性岩变成了独特的鈉长岩，这种鈉长岩一般呈脉狀、透鏡狀和不規則狀，有时呈团块狀。上述矿物便富集于此鈉长岩中，呈矿集狀或分散狀产出。因此，碱性岩中的鈉长岩可看作是寻找燒綠石、复稀金矿、黑稀金矿、曲晶石、褐鉭鈿矿、鉛石和水鉛石等矿物的标志。根据碱性岩岩石成分的不同，又可將含矿鈉长岩分为下列三种类型：

① 褐鉭鈿矿又称为褐鉭鉿矿。

(1) 如果鈉長石化作用見于霞石正長岩(形成鈉霞正長岩)中時,則主要的稀有元素礦物為燒綠石和鉛石;

(2) 若鈉長石化作用不是發生于霞石正長岩內,而是在鹼性正長岩<sup>①</sup>中發生時,則其中以復稀金礦、黑稀金礦、褐釷鈾礦和曲晶石為主;

(3) 若鈉長石化作用發生于鹼性及半鹼性淡色花崗岩中,則所生成的稀有元素礦物主要是鉍鐵礦及曲晶石。

由此可見,在地槽區與花崗岩有生成關係的鹼性岩中,鈉長石化作用是一個特殊的地球化學成礦階段,其結果形成鈉長岩和上述燒綠石、褐釷鈾礦和鉛石等特殊礦物。在野外,我們可以根据鈉長石化的範圍圈出含礦帶來。我國南部某花崗岩岩體中已發現與其有關的鹼性岩體,它與花崗岩體的過渡關係是這樣的:花崗岩 $\rightarrow$ 鹼性花崗岩 $\rightarrow$ 鹼性正長岩 $\rightarrow$ 方鈉正長岩 $\rightarrow$ 方鈉霞石正長岩。雖然目前這個鹼性岩體還未很好研究,但可預期其中是可能發現有價值的含燒綠石、褐釷鈾礦、復稀金礦和鉛石等重要礦產的鈉長石化地段。

2. 由於鹼性岩中霞石-長石類與鹼性輝石-閃石類的消長關係,以及氧化鈣含量的增多,換句話說,由於鹼性岩岩漿中氧化鋁含量的逐漸減少,而鐵、鎂和氧化鈣等成分漸次增多時,鹼性岩則逐漸過渡為超基性岩。它們之間的過渡關係有時是這樣的:(外邊為)輝岩(有時為純橄欖岩) $\rightleftharpoons$ 霞霓鈉輝岩 $\rightleftharpoons$ 霓霞岩 $\rightleftharpoons$ 磷霞岩 $\rightleftharpoons$ (中央為)碳酸岩(圖1)。這個系列的岩體常組成環狀構造,顏色較暗且複雜。

在這類鹼性岩中,隨著早期岩漿分異成霓霞岩、異性霞

<sup>①</sup> 在花崗岩中,其後期的鈉長石化作用帶(有時產于花崗岩頂部的裂縫中)仍是尋找鉍鐵礦、復稀金礦、黑稀金礦、褐釷鈾礦及曲晶石最好的地段。

石正長岩或暗霞正長岩的同时，鈦鉍鈣鉍矿—— $(Ca, Co, Na)(Nb, Ti)O_6$ 。亦随之析出，多出現于岩体的边缘或底部，呈层狀产出，可以形成儲量极大的矿床。但由于其中 $Nb_2O_5$ 較貧，且不易加工，因此不是目前寻找的对象。由于其岩漿期后自交代作用的结果，产生一种极其特殊的岩石，这种岩石与前述的鈉長岩不同，它基本上为方解石、白云石等碳酸



图 1. 碱性岩—碳酸岩矿床示意图

鹽矿物所組成，叫做碳酸岩。这种碳酸岩在大多数情况下，出現于本岩系的核心部分，一般为渾圓形的块体。但有时碳酸岩也以环狀或放射狀的脉体出現于各环之間，或橫切各环而到达圍岩之內（如图 1 所示）。

在野外，碳酸岩一般呈致密狀、中-粗粒狀产出。顏色为灰、綠、褐等色，常具条帶狀或流紋狀結構，塑性揉挤現象很显著，并且常被碱性杂岩包围，或其中夾有碱性岩的包裹体，看起来很像高溫区域变質形成的混合岩，或其他后生岩脉，这时只要用几滴盐酸就能將二者区分开来。

在碳酸岩內常見的矿物有燒綠石、磷灰石①—— $\text{Ca}_5(\text{P}\text{O}_4)_3(\text{F}, \text{Cl})$ 、磁鉄矿、菱鉄矿、金云母、鈣鈦矿—— $\text{CaTiO}_3$  (有时为鈦鉍鉄鈣矿)、鈦鉄矿、鉍鉍鈣矿及鈣鉄矿等, 有时还可見到斜鉛石—— $\text{ZrO}_2$ 、阳起石。这类矿床往往是巨大的燒綠石矿床。因此, 超基性岩—碱性岩系中的碳酸岩是寻找燒綠石的最好标志。

另一种情况是在碱性岩岩漿分異的末期, 出現大量的含矿碳酸鹽热液, 使其附近的 (主要是上复的) 石灰岩等遭受强烈的碳酸鹽化, 并在出現較大的方解石、白云石晶体重新形成碳酸岩脉的同时, 析出大量的重晶石、螢石、氟碳鈣鉍矿—— $\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La}, \dots)_2[\text{CO}_3]_2\text{F}_2$ 、氟碳鉍矿 (氟碳鉍鐳矿)—— $(\text{Ce}, \text{La}, \dots)[\text{CO}_3]\text{F}$ 、独居石 (磷鉍鐳矿)—— $(\text{Ce}, \text{La}, \dots)\text{PO}_4$ 、赤鉄矿、方鉛矿、黄鉄矿等。一般地說, 在这类碳酸岩矿床中沒有或很少有磷灰石、磁鉄矿、鈦矿物及燒綠石等矿物存在。因为当氟碳鉍矿、氟碳鈣鉍矿等析出时, 燒綠石已为鉍鉄矿、易解石—— $(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{Fe}, \text{Th})(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_6$  等所替换。实际資料証明, 这类碳酸岩矿床是世界上最大型的稀土矿床②。我国北部某地所发现的巨型稀土矿床, 实际上应属于上述两种碳酸岩矿床的过渡类型。

这类碳酸岩矿床, 多发现于地台区的边緣地帶 (到目前为止, 只发现三个矿床于地槽区的碱性岩中) 它与其基底

① 一般矿床中的磷灰石几乎都含有数量不等的稀土元素, 于是有人設想在与碱性岩有关的碳酸岩矿床中的磷灰石內, 稀土元素应特別富集, 因为碱性岩中的稀土元素含量很高。其实并不是这样, 因为在磷灰石晶格中稀土 ( $\text{TR}^{3+}$ ) 取代鈣 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 时, 要求价 (电荷) 的补偿, 而这种补偿只有在  $(\text{PO}_4)^{3-}$  被  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  取代的情况下, 才能完成。可是在与碱性岩有共生关系的碳酸盐介質中,  $\text{SiO}_2$  的存在是不可能的, 所以在这种矿床的磷灰石中, 一般无稀土元素。

② 这种碳酸岩型稀土矿床, 实际上又是巨大的螢石矿床和重晶石矿床。

褶皺，大斷裂帶噴出的超基性岩體分異出的鹼性雜岩有生成關係。因此，我們要尋找這類礦床，首先就應該到地台區的邊緣地區，有大的斷裂帶、有基底褶皺和有超基性岩體（或鹼性岩體）出露的地區去找。如蒙內蒙超基性岩帶以南，川滇地軸及其東側，哀牢山雜岩的兩側，特別是它的東北側，呂梁山雜岩的東側，以及大別山北麓等地區都有很大希望找到這類礦床。其次為川中地台之北緣、滇緬雜岩區及塔里木地塊之南麓皆有可能發現本類礦床。

前面已經談到，在本類碳酸岩礦床中，一般都含有一定數量的磁鐵礦、赤鐵礦和放射性元素，因而在該礦床中皆存在着顯著的磁力異常與放射性 $\gamma$ -異常。由於碳酸岩礦床多呈渾圓狀及環狀，故磁力異常及放射性 $\gamma$ -異常的分布亦呈渾圓狀或環狀。根據這個特點，我們可以同時利用磁性及放射性測量，尤其是同時利用航空磁性及放射性測量進行填圖，即可順利地找到這類礦床。

目前，我國已在內蒙、黑龍江、山西、遼寧、山東、四川、雲南、湖北、河南等廣大地區發現了霞石正長岩類鹼性岩體。在這些鹼性岩體中，或其附近應仔細尋找鈉長石化類型及碳酸岩類型的礦床。

## （二）偉 晶 岩

1. 花崗偉晶岩 花崗偉晶岩是現代科學家們研究得最詳細的岩類之一。所謂偉晶岩，主要是指那些不同於母岩（如花崗岩、正長岩、輝長岩、鹼性岩、……等）的脈岩而言，它是從母岩岩漿派生出來的，有下列特點：（1）巨大的礦物顆粒；（2）特殊的結構和構造，常常呈現為礦物顆粒的有規則的連生，很象排列得非常緊密的古代文字（文象結

構)和單礦物的帶狀結構;(3)複雜的礦物共生組合,其中除了與母岩共有的一般礦物(如長石、石英、雲母或霞石、鈉沸石、霓石、紫方鈉石等)外,還含有稀有元素礦物與易揮發的成分(如氟、氯、二氧化碳等)。根據這些特點,在野外很容易與母岩區分開來。現在,我們根據它的形狀、分帶性、自交代作用和與圍岩的關係<sup>①</sup>分別敘述如下:

(1)偉晶岩的形狀大致可將其分為細小的平行脈狀體、不規則的具膨脹部分的脈狀體、透鏡狀體和圓柱狀(或袋狀)體四種。在細小的平行脈狀岩脈中,由於其放熱面大,偉晶岩殘漿冷卻甚易,絕大部分稀有元素還來不及組成自己的礦物晶出,或很少晶出時,整個岩體即已凝結。因此,該脈中的稀有元素分散於各造岩礦物內。而其他形狀的偉晶岩(尤其是膨脹部分),由於其規模大,散熱面小,所以冷卻較慢,稀有元素礦物有充分的时间聚集成自己的晶体(這些晶体往往很大)。因此,當我們尋找稀有元素礦產時,注意力應集中在後面幾種形式的偉晶岩體上。

(2)分帶性:由於上述原因,一般較小的平行脈狀偉晶岩體多為長石和石英晶体連生,組成的文象結構和均粒狀結構。而在膨脹部分、透鏡體、圓柱狀或袋狀的偉晶岩中,因為它的中心部分結晶作用進行緩慢,故在其邊緣均粒帶和文象結構帶的內部,往往出現了由微斜長石等組成的長石帶,並往內即為各種形狀(常為橢圓形)的致密石英塊體組成的中心帶(圖2)。在這種情況下,某些稀有元素有足夠的时间形成自己的礦物晶体(這些晶体顆粒一般比較粗大,易于識別),沉積於各帶之間,或長石帶和石英塊體帶內。然而,這種帶狀構造常常是不完全的,有時只存在文象帶和

① 這些關係也適用於鹼性偉晶岩。

均粒帶兩個帶。在這種呈帶狀構造的偉晶岩中，經常富集的稀有元素礦物為鋰輝石—— $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ 、綠柱石—— $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$  (圖3)、金綠寶石—— $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ 、似晶石—— $\text{Be}_2\text{SiO}_4$ 、鉬鐵礦——鉬鐵礦族礦物和錫石—— $\text{SnO}_2$ 等。

其中鉬鐵礦、鉬鐵礦的粗大晶体分布于長石帶內，接近石英块体的邊緣。而綠柱石、鋰輝石則多生于石英块体帶內及其白云母晶簇內。

(3) 在偉晶作用后期，自交代作用廣泛发育，某些稀有元素礦物即随之而富集起来。經驗証明：鈉長石化作用与錫石、鉬-鉬鐵礦、鋰輝石、綠柱石等礦

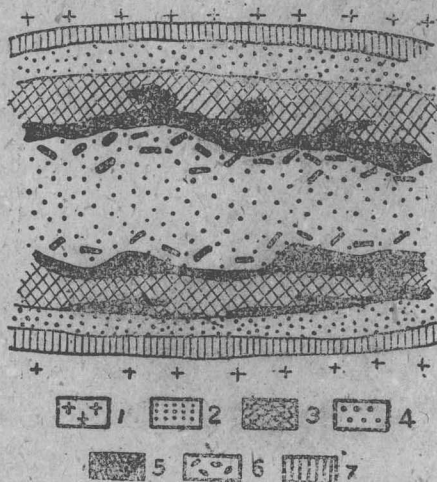


图 2. 花崗偉晶岩的理想分帶及稀有元素礦物所在之位置

- 1—花崗岩；2—文象和花崗岩狀結構的粗晶岩；3—微斜長石，奧長石及微斜長石—鋰輝石帶，块狀結晶；4—石英块，晚期的石英移动帶；5—交代帶：鈉長石、白云母、綠柱石、鉬鐵礦及鋰輝石等；6—稀有金屬礦物的結晶（鋰輝石、綠柱石等）；7—白云母（石英、鈉長石帶及矿脉兩側的粘土帶）

化有关（这时析出的礦物顆粒較小）；而白云母—鋰云母化作用，則常伴有鋰云母— $\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$ 、鉆榴石— $\text{Cs}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)$ 、鉬鐵礦、磷鋁石— $\text{LiAlPO}_4\text{F}$ 、綠柱石（有时有玫瑰色的含鉍綠柱石）等特有礦物。因此在偉晶

岩中，鈉長石化作用廣泛發育的地方就是尋找綠柱石、鉍-鈮鐵礦、鋰輝石、錫石的良好地方；白云母-鋰雲母化作用十分發育處，則是尋找鉆榴石、鉍鐵礦、鋰雲母、磷鋁石、綠柱石的地段。



图 3. 綠柱石  
柱狀雙晶

然而偉晶岩中的長石遭受白云母-鋰雲母化作用時，游離出的石英（圖4）則與雲母密切共生，所以在鋰雲母化階段的後期，常轉變為所謂的雲英岩化。在這種由雲英岩化作用形成的雲英岩<sup>①</sup>帶（或雲英岩脈）中，往往可以找到有價值的鐵鋰雲母—— $\text{KLiFe}^{2+}\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})$ 、黑鎢礦—— $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ （圖

5）、綠柱石、日光榴石、硅鈹石、黃玉，和較少量的錫石、金綠寶石、輝鉍礦、磁鐵礦及螢石（圖6）等。多數資料證明，當這種雲英岩內若含有鈳時，則鈳首先以類質同象混入物的方式富集於黑鎢礦<sup>②</sup>、綠柱石、錫石等礦物中，特

① 首先組成雲英岩的雲母，不一定是白云母或鋰雲母，也常是鐵鋰雲母、黑雲母或鉄葉雲母等。其次，在很多情況下，雲英岩的發生並不直接與偉晶岩有關。由於其生成環境的不同，雲英岩可以直接從岩漿階段過渡而來。這種雲英岩往往出現於花崗岩體的上部，或其上圍岩裂隙內，呈脈狀體，其中有價礦物組合與正文所述的相同。

② 由於鈳和鉍、鉍的離子半徑很接近，因此鉍和鉍也常以類質同象關係存在於黑鎢礦中，我國南方黑鎢礦極富，在找礦時須很好留意。