

稀有分散与放射性元素矿床论文集

(第一集)

科学出版社

稀有、分散与放射性元素 矿床论文集

(第一集)

科学出版社

1959

稀有、分散与放射性元素矿床论文集
(第一集)

科学出版社出版 (北京朝阳门大街 117 号)
北京市书刊出版业营业许可证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

1959 年 12 月 第 一 版	书号: 2013 字数: 240,000
1959 年 12 月 第一次印刷	开本: 787×1092 1/16
(印) 0001—4,000	印张: 10 1/3

定价: 1.40 元

編 者 的 話

鑑于目前各方面对有关希有、分散与放射性元素矿床資料的迫切需要,我們特收集了分散在各有关刊物(地質科学、地質論評、科学通报、原子能等)上的論文汇编成“希有、分散与放射性元素矿床論文集”(第一集)以便讀者参考。

在本文集中蒐集了論文二十二篇,另有七篇譯文作为附录。在前二十二篇文章中,主要内容是論述了研究希有、分散元素矿床的方法,对各种希有元素矿物的鑑定;并較詳細的闡明了各种希有元素的矿床类型,对鈹、銻、鉭及希土等元素的地球化学也作了綜合性的探討;同时对希有元素矿物研究的概况也作了一些闡述。附的譯文中主要論述希土元素的用途和希有元素矿床的工业意义;同位素的地球化学,地球岩石及隕石中的同位素成分,以及鈾在岩石中的存在形式、矿床类型和普查方法等。这些論文对目前我国研究希有、分散和放射性元素矿物原料均具有一定的参考价值。

目 录

編者的話	i
稀有元素矿物及地球化学研究工作中的某些問題	郭承基 1
热液硫化矿床中的一些稀有分散元素及其找矿方向	彭琪瑞 20
某地花崗伟晶岩的类型及其成因	郭承基 32
某地花崗伟晶岩类的矿物——地球化学調查研究工作	司幼东 37
稀有元素新类型矿床——含鉍花崗岩的发现	司幼东 39
一种新的稀有元素矿床类型的发现	郭承基 41
稀有元素矿床的成因类型	林傳仙 43
銩和釷的地球化学	郭承基 47
鉍的地球化学	王中剛 55
中国鉍矿床的成因类型及工业类型	袁忠信 65
試談某地含綠柱石伟晶岩矿床类型及找矿标志	夏 琿 73
研究稀有元素新矿物的意义	王德孚 76
稀有元素矿物学的发展概况	王德孚 81
对伴生稀有元素矿床进行评价工作的程序和方法	王中剛 84
我国的一个天青石矿	林明智、陈树珍 89
我国产釷石类矿物的研究	郭承基、张 靜 92
某地新发现的易解石	张培善 93
某地含釷和希土的碳酸盐岩的发现	彭琪瑞 101
矽噯岩中褐帘石的发现	刘长龄 103
漫談希土	张培善 105
稀有元素矿物的鑑定	郭承基 110
矿物中鈾的存在状态	中国科学院地质研究所矿物化学試驗室 116

附 录

希土元素的工业意义	Б. И. 柯 岡 118
稀有元素矿床及其意义	А. А. 別烏斯 127
同位素地球化学	А. П. 維諾格拉多夫 133
地球岩层及隕石的同位素組成	А. П. 維諾格拉多夫 149
鈾在岩石中存在的形式	В. И. 格拉西莫夫斯基 159
鈾矿床的普查方法	В. Г. 麦尔科夫 164
工业鈾矿床的成因类型	Д. Я. 苏拉日斯基 172

希有元素矿物及地球化学研究工作中的某些問題

郭 承 基

希有元素矿物与其他一般矿物比較，由于它在自然界产出較少以及另外某些原因，过去缺乏系統的研究。但最近希有元素在工业上的用途日漸增加，而且已經成了发展近代国防工业、重工业以及新技术等方面所不可缺少的重要原料，因此就要求我們从各种角度来对所有的希有元素进行綜合性的研究，其中也包括了希有元素矿物及地球化学的研究工作。

二十世紀以前，尤其在十九世紀上半期，矿物工作主要停留在矿物的一般物理性質的描述及鑑定方面，而对于矿物的成因則未予以应有的重視。

須知矿物的一般物理性質和化学性質只是矿物反映出来的一些表面現象，而不是本質。假如对于矿物的本質問題沒有概括的了解，那末那些現象就成了孤立的、互不相干的东西，有时甚至成为一些很难理解的东西。在这种情况下，当然就更談不到什么“科学的預見性”了。而事实上科学的发展首先要求我們把一些現象在正确的理論基础上統一起来，进一步通过某些現象去研究事物的本質問題，以丰富我們的理論知識，反过来再以理論知識来指导生产实践。

究竟什么是矿物的本質問題呢？在这里，我們可以借用別杰赫琴院士的一段話来解答这个問題：“……所有这一切証明一个事实，就是在現代矿物学史上展开了新的一頁，矿物学的新紀元开始了。今天，如不接触化学組成，不研究結晶构造，要想知道矿物的性質已經是不可思議的了”（見“矿物学教程”，136頁）。由別杰赫琴院士的这段話里，我們不难看出：今后矿物的发展方向主要應該是結晶构造与化学組成相結合（結晶化学）的方向。只有在这种基础上，我們才有可能真正了解矿物的性質。笔者在論述矿物的溶解現象时，曾經提出这样的意見：“……支配矿物的溶解因素，可以区別为內因和外因两种，而这两种因素是密切联系着的。在这里所謂內因就是指矿物的本質而說的。什么是矿物的本質呢？决定矿物本質的是矿物的化学組成和矿物的結晶构造。……矿物的分解或溶解就是为了打破矿物中各种質点（离子、原子或分子）的結合关系，使它們从矿物中解放出来所采取的一种必要措施”（“矿物的化学鑑定法”，9頁）。

做为地質学的一个分支來說，首先應該強調矿物学与地質学的密切关系；而在另一方面，矿物学与岩石学、矿床学、地球化学以及物理和化学也都有不可分割的关系。由于矿物学与許多其他学科相关联，所以在矿物学領域中的研究分工以及对于矿物学本身任务的具体了解上，或多或少就可能产生不同的看法和做法。事实上这种分歧目前仍旧是存在的。一般把矿物学的主要内容，分为下面三大部分：

1. 矿物地质;
2. 矿物物理;
3. 矿物化学。

✓ 矿物地质主要是研究成矿作用、矿物的产状和共生以及矿物的成因,目的在于了解矿物的分布和富集规律,为找矿提供必要的资料。这样便与矿床学和岩石学发生了非常密切的关系,有时在这些学科之间不容易划出一条明显的界限来。无论在研究内容和工作方法上,这些学科都有很多相同或类似的地方。但是从工作的重点来说,它们之间的区别仍旧是很明显的。因此在野外进行矿物地质的调查研究工作时所用的方法,其中有一部分(如区域地质测量工作、一般岩石工作等)与其他的地质学科所用的方法是相同的。而另外有一部分则主要是用于矿物的调查方面的。这些方法的实质是:以成因观点研究矿物的性质(如晶形、颜色、大小等)、共生组合、世代、结晶顺序、各种矿物在矿体中的水平和垂直分布、有用元素的富集规律、围岩蚀变、交代顺序和次生变化等等。所有这些都需要结合区域成矿特征,紧密地把它联系起来。

在这里我们有必要着重地强调成因观点,因为只有这样,才能把那些在表面上看来好象互不相关的一些事实有机地联系在一起,合理地指出找矿方向。例如花岗岩伟晶岩中钨铁矿-钽铁矿族矿物晶形的变化与成因的关系,以及淡色电气石在寻找稀有元素矿物资源方面所具有的意义,就是一些生动的例子。在另外一方面,假如离开了成因观点,则对于矿物的共生组合、矿物的世代以及结晶顺序等项研究工作就不可能得出正确的结论。早期结晶的矿物可以与晚期结晶的矿物,由于某种原因(例如交代、裂隙充填或次生变化等)密接地伴生*在一起。在这种情况下,就要求我们以成因的观点来仔细地分析这些事实,否则就不可避免地会把伴生当作共生,从而严重地影响到研究工作的顺利进行。直到目前为止,还有很多人认为矿物的结晶顺序应该在室内根据显微镜的观察来进行研究,这是不正确的,至少说这是不够全面的。因为根据少数矿石或矿物切片的观察,往往不能获悉全面的事实,有时甚至得到与事实完全相反的结论。这里我们只要举出一个事实来,就可以说明白这个问题。在矿物组合复杂的矿体内,这些矿物的结晶,一般有早有晚。但这并不是说一种矿物结晶完全结束后,才有另外一种矿物相继结晶。更普遍的是,当某一种早期开始结晶的矿物还没有结束以前,而另外有一些矿物也开始结晶。在这种情况下,就很可能产生结晶开始较早的矿物包裹结晶开始较晚的矿物的反常现象。这种现象虽然在室内工作中不容易区别,但在野外则可以清楚地看出来。所以矿物结晶顺序的研究工作,主要应该在野外进行,另外辅以必要的室内工作,这样才可以比较全面地得出正确的结论。

从成因的观点出发,必然导致对于矿物的理解方面的某些根本性的变化。即对于任何一种矿物,都是与其成因联系在一起来看,这是与描述矿物学派的根本分歧点之一。例如对于花岗岩伟晶岩中的绿柱石来说,我们不仅要了解它的产地和生成时代,

* 建议把在成因上没有关系的生长在一起的矿物称为伴生,以与共生区别。

同时要了解它产于哪一种类型的伟晶岩，是原生的还是由交代生成的？假如是原生的話，它的結晶早晚如何？所有这些都是我們在开始研究以前，必須首先要弄清楚的問題（在繪制矿物产状图或矿脉素描图时，对于成因不同的同一种矿物有必要用不同的符号来表示）。惟有这样，我們才有可能把矿物的物理和化学性質与其成因联系起来，并进一步反过来根据矿物的物理和化学性質推論其成因。綠柱石的折光率以及其中铍金属的含量与其成因方面的关系，就是一个很好的例子。

此外在关于矿物成因的領域內，也包括了晶体的生长和矿物中包裹体等方面的研究。

✓ 矿物物理是研究矿物的物理性質的，其中包括矿物的結晶形态及結晶构造、矿物的光学性質、热学性質以及其他一般的物理性質。不难理解，矿物物理与物理学有非常密切的关系。但是从矿物学的角度来看，也主要是利用物理学的方法及物理学的某些原理来研究矿物，与純粹的物理学是有所区别的。

已如上述，結晶构造是矿物的重要性質之一，矿物的其他性質往往由晶体的构造类型所决定。例如一般以离子鍵为主要結合形式的矿物在极性溶媒中比較容易溶解，但在非极性的溶媒中則溶解困难；而以共价鍵为主要結合形式的化合物則与此相反。矿物解理的产生同結晶格架中各构造单位之間的联結力的方向有关，即解理面同联結力最小的方向相一致。矿物的比重与結晶构造的关系，在石墨和金刚石这两种化学成分完全相同的同質异象体之間，表現得非常明显，前者的比重約为 2.2，而后者的比重則約为 3.5。又如矿物的硬度与阳离子的配位数有关，在一般情形下，当晶体中阳离子的配位数增大时，其硬度也增高。所有这些事实，都說明矿物的一般性質与結晶构造之間的依賴关系。

当然矿物的某些性質，除了与結晶构造有关以外，与化学組成之間也有密切的关系。例如矿物的比重，与組成这种矿物的元素的原子量、原子价和离子半径的大小有关。在原子价相同和离子半径类似的情况下，矿物的比重与組成这种矿物的元素的原子量成正比。在鈮鉄矿-鉭鉄矿族矿物中，由 Nb 和 Ta 含量的不同而显示出不同的比重，即比重随 Ta 的含量的增加而增大。又如矿物的硬度与化学組成之間的关系，可以由刚玉(Al_2O_3)和单水鋁矿($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)來說明，前者的硬度为 9，而后者的硬度为 7，即由于单水鋁矿含有水分而硬度变小。

由以上所列举的一些簡單事实，已經可以使我們看出研究矿物化学組成的重要意义。但是它的意义决不仅止于此，至少我們还可以指出下面几点：

(1) 矿物的鑑定——單純地为了鑑定矿物，在大多数的情况下不必要研究其化学組成。一般只要进行一些簡單的物理或化学方面的試驗，并結合矿物的产状、晶形以及其他一些普通的性質，就可以达到鑑定的目的。但是有一些矿物，尤其是某些稀有元素矿物，在鑑定时往往需要研究其化学組成，否則就不可能得到正确的鑑定。例如震旦矿、黑稀金矿及复稀金矿这三种矿物的分別鑑定等。

(2) 在矿物的研究工作中，一般鑑定應該是不成問題的。但是为了进一步的研究工作，例如研究矿物的結晶构造、光学性質与化学組成的关系以及矿物的热学性質

等問題时,往往首先有必要确定其化学組成,然后研究工作才能順利进行。

(3) 矿物的变种或新种的決定,在大多数的情况下,研究其化学組成是比較有效而且可靠的办法。例如鈮鉭矿和鈣鈮鉭矿的區別,即在于这两种矿物中 CaO 的含量不同。假如不从化学組成的研究着手,就很难区别它們。对于每一种新矿物的确定,除了研究其結晶性質以外,更重要的是研究其化学組成方面的特征,否則在絕大多数情况下就很难正确地決定其是否为新种。

(4) 在成类质同象体的矿物中,有一大部分是很难由物理方法确定的。为了区别这些矿物,在目前还没有比研究其化学組成更为有效的方法。例如鉻尖晶石类矿物的鑑定,用X射綫等方法是不能达到目的的。同样有很多等构造的矿物,例如鈰石-鈰鈰矿、鈰石-鈰英石以及独居石-矽鈰石(Huttonite)等,就不可能由X射綫粉末繞射譜彼此区别。

(5) 某些有用矿物的分选、加工以及矿量計算和其工业类型的決定等,往往需要事先研究其化学組成。尤其是当矿石中含有某些有害成分时,为了除去这些有害成分的影响,就須研究构成矿石的矿物的化学組成。这样就可以确定有害成分存在于哪一些矿物,然后采取适当的措施,将这些矿物与有用矿石分开。另外一种情况是,当对于某种矿床(例如鋰矿和鎳矿等)进行評价时,仅仅知道某种有用成分(例如 Li_2O)的含量往往是不够的,事实上还需要了解其存在状态(化合状态),即需要研究有关矿物的化学組成和进行物相分析。首先決定有用矿物的量,然后进行其中有用成分的分析。同样在計算鈹的矿量时,仅仅測定矿石中鈹的含量是不够的,还必须进行矿物分析,以除去不可能回收的鈹,然后才能正确地算出有用鈹的矿量。

(6) 矿物生成后所受的变化,常常在其化学組成上表現出来,有时甚至根据矿物中有关成分的分子比之間的关系,可以推知其蝕变或变質的程度。

(7) 在地球化学及矿物成因的研究工作中,矿物的化学組成具有特殊的意义。尤其是矿物的共生关系、結晶順序、矿物生成当时的物理化学环境(如氧化还原电位及氫离子的浓度等)、某些成分的来源、分散和富集以及有用矿物的找矿等都与矿物的化学組成有非常密切的关系。在这里,我們不可能逐条地予以全面的說明,仅列举出以下一些具体的实例,以供参考。

根据多数地区研究的結果証明,綠柱石中鈹的含量与其成因有关。例如在早期生成的原生綠柱石中, BeO 的含量比較高,而由交代作用生成的綠柱石,其 BeO 的含量則較低。在花崗伟晶岩中,鈮鉄矿-鈰鉄矿族矿物化学組成的变化,与其結晶的早晚有关,即由早期的富于鉄(Fe^{2+})和鈮(Nb^{5+})的鈮鉄矿,到晚期变为富于錳(Mn^{2+})和鈰(Ta^{5+})的鈰鉄矿*。当岩浆殘液中,鈰鈮和鈰比較富而希土类元素缺乏的特殊情况

* 鈮鉄矿-鈰鉄矿族矿物主要与 $\text{Fe}(\text{NbO}_3)_2$ 、 $\text{Mn}(\text{NbO}_3)_2$ 、 $\text{Fe}(\text{TaO}_3)_2$ 及 $\text{Mn}(\text{TaO}_3)_2$ 四种成分有关。所謂早期的富于 $\text{Fe}(\text{NbO}_3)_2$ 和晚期的富于 $\text{Mn}(\text{TaO}_3)_2$ 只不过是一种概略的情况,实际上根据蝕象的研究,在結晶过程中这四种成分的变化关系是非常复杂的,甚至于在很小的一块标本上也可以看到各部分成分的复杂变化。因此由化学分析所得到的結果,只是各种成分不同的鈰鈰鉄矿的一种平均值,而并非代表純粹的矿物。这种情形并不仅仅限于鈰鈰鉄矿,其他矿物如鉻尖晶石,也存在有同样的問題。研究这些矿物的微結構具有重要的意义。

下,可以形成很少見的鈮鉭鐵鈾矿 $[(\text{Fe}, \text{Mn}(\text{UO}))(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6]$. 在同一条花崗伟晶岩中产出的褐帘石,其中 ThO_2 及 FeO 的含量往往由下盘到上盘逐漸減少。关于矿物的化学組成与找矿的联系,可以举鋰云母、石榴石及黑鎢矿等为例。当鋰云母中 SnO_2 的含量达千分之几时,則可能有比較大量的錫石与鋰云母共生;在石榴石的化学組成中,假如有較高量的希土类元素存在时,則可能找到黑稀金矿、鈮鉭矿及褐鉭鈮矿等矿物;当黑鎢矿中有 Nb 及 Ta 时,則往往同时有钪 (Sc) 存在。另外根据某些矿物的化学組成,有时可以推論它們在成因上与那一种岩石有关。例如有一种矿物,从其化学組成上来看,其鈾族希土类元素的含量远远地高于鉭族希土类元素,鈮高于鉭,鈾的含量高而几乎不含鈾。那末这种矿物在成因上就很可能与富于 Na 的硷性岩石有关,而且另外还可能发现一些經常存在于硷性岩中的矿物(包括含 Be、Zr 等希有元素的矿物)。这种推論,当然需要結合野外地質工作来获得最后的証实。

从以上极概括的論述中,我們也可以看出矿物的化学組成的研究工作,在国民經济及学术上的重大意义。从地球化学的角度来看更是如此。但是对于这些意义,在某些方面我們还缺乏足够的認識。往往在引用或研究这些数据时,忽略了矿物中元素共生的相关关系及其所暗示的成因和找矿意义。因此就迫切要求我們对于矿物化学組成方面的数据不断进行理論性的总结,以期充分發揮数据的作用。

地球化学是地質科学中的一个分枝,因此不难想象地球化学的发展与地質学,尤其是与矿物学、矿床学及岩石学是分不开的。而在另外一方面地球化学与物理、化学和最近成长起来的結晶化学也有着非常密切的关系。所以在实质上地球化学是一門綜合性的学科。也正因为如此,一般它也很容易与矿物学或化学等学科混淆起来,与矿物化学同样,被誤解成为純粹的矿物学或化学。当然这也是不正确的。地球化学是一門独立的科学,有其自身的目的、任务及研究方法。主要是通过地壳中元素分散、富集及迁移过程的研究,掌握有用矿床形成的規律性,并因而預測在什么样的地区可以找到有用的矿床。由其任务不难看出地球化学的研究工作,不单纯在学术上具有很大的意义,同时在国民經济上具有更重要的实际意义。

在上述的基础上,現在提出关于希有元素矿物及地球化学研究工作中的几个問題,以待磋商:

1. 矿物地球化学的野外工作方法

一般的野外地質工作是大家都很熟悉的,但是往往忽略了野外的矿物和地球化学工作,这对于我們整个的工作不能不說是一个很大的损失。从矿物和地球化学的观点出发,在野外除了进行区域地質的調查工作以外,还必须进行矿物及地球化学方面的工作,而且这些工作无疑地應該是野外地質工作中的一部分。从工作順序來說,与一般的野外地質工作可以有一些出入。在通过有关資料的閱讀,或很短時間的輪廓性的考察以后,就應該从研究最直接的具体材料开始,即从矿体本身的观察开始。关于这一点,費尔斯曼曾經在他所著的“趣味地球化学”一书中(中譯本第 419 頁)进行了論述:“地質学家和岩石学家的野外工作,都是从研究一般的地質情况、地質构

造和各种岩石的相互关系这些方面着手的;为了达到这些研究的目的,他們通常應該先广泛地了解整个区域的一般情况;其次才能开始詳細研究某一个地段的具体情况。但是地球化学家的野外工作通常不是这样做的;由于工作性質不同,一定要从研究具体的材料入手,也就是从研究矿床本身入手”。从費尔斯曼的这一段話里,我們完全可以体会到,对于矿物和地球化学工作者來說,在工作順序上从研究矿床本身着手是正确的,而且是必要的。假如条件允許的話,野外調查最好組織混合队,吸收有关人員参加,分工合作,各尽所长,这可能是一种比較好的方式。

为了更全面地解决矿物和地球化学方面的問題,在野外进行詳細的矿物調查工作是首要的先决問題,否則無論在室內进行如何精細的研究,也是很难达到預期的成果的。首先應該把矿物当作具有時間性和空間性的运动的物体来看待。所謂時間性主要是指矿物結晶期的早晚,而空間性則是指矿物在矿体中所存在的部位。当然在大的一方面,矿物的時間性和空間性与成矿期及成矿区也有一定的联系。矿物的性質是变化的,而其变化是有規律的,研究这种規律性應該是近代矿物学的特征之一。矿物的变化所以具有一定的規律性,在很大程度上是由矿物的成因条件所决定的。矿物的成因是一个非常复杂而又非常重要的問題,目前我們在这一方面了解得还不够。即使如此,当我們进行矿物的調查研究工作时,仍旧應該从成因的观点着手。例如在調查同一条伟晶岩或热液矿脉中的矿物时,首先有必要根据成因把它們分为原生、交代、充填及次生等几期,在每一期中又可根椐生成(結晶)的早晚分为几个世代,这样我們不仅可以弄清楚矿物的共生关系、交代順序、矿化过程、以及矿物的产状(如晶形、顏色……)与成因方面的联系,而且还可以正确地作出矿物的生长順序图来。在矿物生成順序图的基础上,考虑矿物的化学組成,可以概略地繪出伟晶岩或热液矿脉发展过程中某些主要元素的变化图以及在各阶段元素分布的相关关系。在伟晶岩地区,当有属于同一岩浆輪迴的多数伟晶岩脉存在时,則这些伟晶岩之間在类型、分带、交代作用、矿物組合、以及矿物的性質和某些矿物的数量等方面,应有一定的渐变关系。这种关系往往以在成因上有关的侵入岩体为中心,向外围逐漸发生变化。在調查伟晶岩或热液矿床时,找出这种变化的規律性是非常必要的。因为这样我們就可以在成因的基础上把許多的伟晶岩脉联系起来,并为希有元素矿物的找矿、勘探和伟晶岩类型的划分提供有利而可靠的根据。这种規律性由于其他的原因(例如围岩岩性对于矿化作用的控制)可能遭受到某种程度的破坏,但找出規律性被破坏的原因以后,便可以得出另外的一种規律性。在我們研究了这种关系之后,就可以概略地把某一地区在成因上有关的伟晶岩和某些重要元素的变化情况,用簡明的图表示出来。无疑地,这对于区域地球化学特征的了解上是很有意义的。

此外,对于矿区附近侵入岩中的副成分矿物也应予以充分的注意。假如这种侵入岩与附近的矿体有成因关系,則往往可以在这种侵入岩中发现与存在于矿体中的同样矿物。虽然这些矿物在数量上一般都不很大,但可做为解决矿床成因問題的一个旁証。即在野外工作时,不仅要注意一般的地質現象(如岩石与矿体的接触关系等),同时应充分利用矿物等方面的事实。在这种情况下,利用X射綫光譜进行某些希有

元素含量比的对比(例如 Zr/Hf , Ce/La , Pr/Nd , Th/u , Nd/Ta ……)是一个有效的办法。

假如在某一地区有时代不同的几种花岗岩时,首先就有必要根据地质现象的观察或绝对年龄的测定来确定这些花岗岩的新旧,其次研究它们的分布、岩相、矿物组合以及其中的微量成分等。在分析了某些地区不同时代的花岗岩以及与这些花岗岩有关的矿床以后,我们就有可能提出这样的看法:即存在于同一地区时代不同的几种花岗岩,很可能是由同一个岩浆源分数次侵入的结果。从花岗岩的时代来看,在时间上彼此相隔可能很久,以至于使我们很难把它们连系在一起。但有下面一些事实,使我们不能不怀疑它们之间存在着一定的连系:

(1) 在同一个地区,花岗岩的时代不同时,则一般所伴随的矿床(假如有矿床形成的话)也不相同。例如在某些地区与前寒武纪花岗岩在成因上有关的伟晶岩矿床以希土类元素和放射性元素的铌钽酸盐矿物或铌钽酸盐矿物为主;与海西宁花岗岩在成因上有关的伟晶岩矿床以绿柱石、锂云母等含希有金属矿物和铁、锰的铌钽酸盐矿物(钨铁矿,钽铁矿)为主,而与燕山花岗岩在成因上有关的伟晶岩矿床则以绿柱石为主。

(2) 在同一个地区,时常可能有时代不同的同种类型的矿床,但它们的规模一般大小悬殊,以某一时代的矿床为主,并以另外一个时代的矿床为副。

(3) 存在于同一地区的、时代不同的花岗岩,在某些希有元素的含量方面有一定的差别。例如前寒武纪的花岗岩中放射性元素的含量较高,而晚期的花岗岩则含较高量的铍和锂。

由以上所列举的事实可以看出存在于同一地区的、不同时代的花岗岩,在化学成分及矿物成分方面往往由老到新而发生有规律的变化,由黑云母为主的花岗岩变为以白云母为主的花岗岩。其间还可能有种种过渡的情形,如由含比较大量黑云母的花岗岩过渡到黑云母*含量较低的花岗岩、两云母花岗岩、白云母的含量高于黑云母的花岗岩、最后到以白云母占绝对优势的花岗岩。在希有元素的含量方面,由以含 U 、 Th 、 TR 、 Zr 、 Hf 、 Ti 、 Nb 及 Ta 为主的花岗岩或与这种花岗岩有关的花岗伟晶岩变为以含 Be 为主的花岗岩或花岗伟晶岩,其间同样可能存在有过渡类型。单就花岗伟晶岩的类型来说,例如与时代较老的黑云母花岗岩有关的伟晶岩随着与花岗岩体距离远近的不同可能分成各种类型,在各种类型中希有元素的含量不同,其中有一部分伟晶岩在矿物成分方面与时代较新的伟晶岩可能有共同的地方。但就两个不同时代的全部花岗岩或与这些花岗岩有成因关系的全部伟晶岩来进行对比的话,仍旧可以看出它们在希有元素含量方面的显著差别。世界各地已知的花岗岩体中以黑云母花岗岩为最多,所以各时代不同的花岗岩不一定能在云母类矿物方面彼此区别出来,但对于同一个地区来说,根据综合性的对比研究(例如希有元素的含量、某些元素的含量比、矿物组合、及其含量百分比以及矿物的物理化学性质等)有可能找出它

* 虽然同样为黑云母,而在化学组成上可能与时代不同的花岗岩中的黑云母多少有一些差别。这些差别在希有元素的含量方面可能表现得更为明显。

們的差別和产生这些差別的內在联系。

这种論証总的概念是：岩浆活动在時間方面是繼續的，而岩浆分异作用是在不断的进行着，結果由同一岩浆源在不同的岩浆活动时期，形成了时代不同的几种花崗岩，而岩浆的不断分异，使这几种花崗岩在成分上产生了显著的差异，因而导致与各时代花崗岩所伴随的特有矿床。这种特征一般在矿种或矿量方面表現出来。假如这种論証是可靠的話，那末在希有元素矿床的寻找方面就帶上了很大的預見性，在研究了一定地区各时代花崗岩所伴随的特有元素及其富集条件以后，就使我們有可能預測在什么样的地区可以找到什么样的矿产資源。

围岩蝕变的观察，應該包括在矿体的調查范围以內。由于围岩蝕变不仅可以促成某些矿物的富集(原生分散量)，而且可以影响矿物的共生組合和生成順序的改变。因此在野外进行矿物的系統調查工作时，須注意这一現象。尤其在各矿体的围岩蝕变程度不同的情况下，可能使成因上有关的諸矿体的渐变关系遭受某种破坏，并使我們怀疑到这些矿体的成因关系。

离开成因而談矿物的共生关系是无意义的。在同一矿体内，常常有成因完全不同的矿物生存在一起。由于裂隙的不断生成，而往往有不同的矿化作用。在野外根据裂隙性質的观察来研究矿化作用是必要的。但是裂隙生成的順序一般不容易确定，在这种情况下，我們可以反过来利用矿物地质工作来研究裂隙生成的順序和性質。

此外对于矿体中矿物的次生变化以及附近的砂矿、地下水和植物等也应该予以注意。

以上极其概略地論述了关于矿物的野外調查研究工作。但是一般在进行工作时，首先遇到的困难是鑑定矿物的問題。因为在野外設備比較差的条件下，不可能对矿物的某些性質进行試驗，使鑑定工作发生問題，从而影响到野外調查工作的順利进行。但这种困难基本上是完全可以克服的。在未出发到野外以前，应熟习有关矿物的手标本，通过手标本的观察，了解各种矿物或各类矿物的特征，然后掌握某些重要元素的簡便定性分析方法。一般的定性分析系統，在大多数的情况下用于矿物鑑定并不恰当。我們應該选择在多种元素的存在下不經過分离就可以直接检出某种元素的方法，而且这种方法應該不需要很多試剂和复杂的仪器，这样才符合于野外的需要。在这一方面，磷酸是一种理想的溶剂，利用它可以非常簡便地检查矿物中的 U、Ti、V、Nb、Ta、W、Mo、Ce、S、 SO_4^{2-} 等四十种左右的元素和酸根。根据矿物中主要元素的检查，并結合矿物的其他性質，在大多数情况下就可以达到鑑定矿物的目的。例如一种具有金属光泽比重較大的黑色矿物，在热磷酸中溶解緩慢，經检查有 Nb、Ta、Fe、Mn 而无 U，那末这一种矿物就很可能是鈮鉄矿或鉭鉄矿。又如有一种矿物，用磷酸溶解后，溶液呈現蓝色，同时含有显著的鉄和錳，那末就可以知道所鑑定的矿物是黑鎢矿，并根据其条痕的顏色或比較其 Fe 和 Mn 的含量，还可以决定这种矿物是鎢鉄矿或鎢錳矿。另外有一些矿物在野外根据簡单的检查不容易确定，但是可以确定所鑑定的矿物属于那一族。例如通过 U、Ti、Nb 等元素的检查，可以知道所鑑定的矿物是否属于黑稀金矿-复稀金矿族或鈮鉭矿族。

适当地利用矿物的某些简单性质往往可以达到鉴定的目的。例如在外观上锆榴石与石英不容易区别,但锆榴石溶于磷酸而石英则不溶解,利用这种性质就可以区别锆榴石和石英。又如磷灰石和绿柱石有时不容易区别,但根据其硬度的大小或柱面上晶纹的性质可以区别。当磷钇矿成块状产出时,与独居石不容易区别,但根据 Ce 的检查可以与独居石区别。利用矿物的特有性质,可以简单准确地鉴定出矿物的种类。例如想要知道所鉴定的石榴石是否为日光榴石,并不需要检查其中是否含铍,只要用更简便的方法检查其中是否含硫就可以了。假如在多次反复试验的过程中,能够积累准确地估计某些元素含量的经验(如根据沉淀的多少或颜色的浓淡等),那末将更有助于在野外鉴定矿物。综合地灵活运用矿物学知识(例如矿物的特有产状、物理性质及化学性质),在大多数情况下,即使在野外也可以正确地达到鉴定矿物的目的。

另外是关于找矿的问题。在矿体中寻找矿物,初看起来这好象并不是什么难事,只要有时间,慢慢地找,总会找得着。这是一种缺乏找矿经验的想法。事实上有好些重要的矿物是被漏掉了,在这些矿物中有一部分具有很大的工业价值,有一部分则是研究矿床的形成时代或解决有关矿物化学方面的关键性矿物。

找矿最有效的办法是首先研究找矿标志,这样就不可避免地要考虑成矿期、区域地球化学特征、围岩岩性、矿床成因、矿床分带、矿物共生特征、矿物分布富集规律、交代作用、矿物破碎变色以及次生变化等问题。这样我们就可以找到一般不容易找到的矿物和找出在露头或地表看不见的矿物,这实际上就是我们研究矿物的主要目的之一。

2. 矿物的室内研究方法

在野外系统采集的矿物标本,根据工作上的需要应该在室内进行研究工作。按照正常的工作程序,首先应该进行一般物理性质的检查,然后着手化学组成的研究。对于经验较少的工作者来说,在开始化学组成的研究之前,最好先做光谱分析。

在目前,矿物的化学全分析工作是比较费用和费事的,所以单纯地为了鉴定或其他一些目的,一般是不需要这样做的。但是在进行精细的矿物和地球化学研究工作时,这是一项必不可少的重要工作;尤其对于稀有元素矿物来说更是如此。现以钍石类矿物为例说明如下:

钍的克拉克值($8 \times 10^{-4}\%$)比铀的克拉克值($3 \times 10^{-4}\%$)高,但是钍矿的种类比铀矿要少。直到目前为止,虽然已经发现将近 100 种左右的矿物都含有比较显著量的钍,但是以钍为主要成分的矿物,只不过有八种左右,钍石是其中之一,此外有矽钍石(ThSiO_4 , 单斜晶系)、方钍石(ThO_2)、水矽钍铀矿 $[\text{Th}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}]$ 、矽铀钍钍矿($\text{ThO}_2 \cdot \text{UO}_3 \cdot \text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)、独居石、富钍独居石及易解石 $[(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{Fe}, \text{Th})(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_6]$ 。在这八种的含钍矿物中,独居石和易解石的含钍量,变化范围很大,因此成分比较固定的主要含钍矿物,实际上只有六种。综观含钍矿物有以下几个特征:

(1) 矿物的种类少,这可能与钍的化学性质及地球化学性质有关。钍只有一种

原子价(Th^{4+}), 化学性质比较稳定, 在岩浆分异的过程中, 多半在早期或伟晶岩阶段结晶, 一般在热液矿床中就很少有大量的含钍矿物。

(2) 上述六种主要含钍矿物都成矽酸盐、磷酸盐或简单氧化物, 其中有四种是矽酸盐。另外有不少矽酸盐矿物、磷酸盐矿物及简单氧化物含有比较高量的钍, 如矽钍铈矿、尖锥希土矿、独居石及品质钍矿等。在铈钍酸盐矿物(如钍钍矿、褐钍钍矿)、钍酸盐矿物(如钍钍矿)及钍铈钍酸盐矿物(如易解石、钍易解石、震旦矿)中一般也都含有比较高量的钍, 但是在自然界还没有发现不含钍和希土的单纯钍的铈钍酸盐矿物、钍酸盐矿物及钍铈钍酸盐矿物。这表明钍和 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 及 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 及 O^{2-} 等离子有显著的亲和力, 即使有 Nb、Ta、Ti 存在的情况下也不容易生成钍的钍铈钍酸盐矿物。在这一点上, 钍表现得比钍还要突出。在自然界中尚有少数几种含钍而不含希土或含希土含量很低的钍铈钍酸盐矿物(如钍钍铁钍矿、水钍钙石及钍钍矿等), 但是还没有发现不含钍和希土的钍的钍铈钍酸盐矿物, 即钍和这些元素的结合需要钍和希土做媒介。

(3) 钍石等虽容易发生水解, 但一般含钍矿物都比较不容易风化。因此钍的次生矿物与钍相反, 在自然界发现得很少。一般认为水矽钍钍矿及矽钍钍矿是由风化生成的, 这一点尚有待于作进一步的研究。

钍石有九种变种, 其中不包括水钍石, 根据最近的研究, 水钍石与水矽钍钍矿为同一种矿物。这些变种矿物在物理性质方面彼此都很类似, 一般不容易区别。例如在我国发现的一种新矿物阴山石, 其外观及一般物理性质与钍石和钍钍矿非常类似。而如表 1 所示, 它与钍石、钙钍石不同的地方主要是含有高量的 P_2O_5 及 CaO , 与磷酸钍矿不同的地方是含有大量的 CaO 及相当量的 U_3O_8 。同样从表 1 中可以看出, 钍钍矿与钍石的区别等等也主要须研究其化学组成。

其他象钍石这一类的例子还有很多。矿物学发展到目前的阶段, 要求更精密地进行研究, 不应满足于过去“分大类”的办法。与区别长石类矿物同样, 对于希有元素矿物也应该进行更精密更详尽的研究。唯有这样我们才能更准确地根据矿物性质上的变化去解释某些地质现象, 矿物成因, 并考虑如何进行技术加工和综合利用等方面的問題。

根据矿物的化学组成, 可以弄清楚矿物中元素的共生关系及其共生原因、类质同象置换关系、元素在分布上的相关关系(如 Th 与 Na 及 U 与 K)以及元素的存在状态和有用成分的含量等。甚至在某些情况下, 可以根据矿物的化学组成而推定当时成矿溶液的性质。例如我们研究某一矿物的化学组成为 Ce^{4+} 及 Fe^{2+} 的矽碳酸盐, 那末这种矿物就很可能是在硷溶液中生成的。理由不仅仅是因为碳酸盐在酸性溶液中不稳定, 更重要的是, Ce^{4+} 与 Fe^{2+} 在矿物中的共存, 必须是由硷性溶液结晶时, 才有可能。即 Ce^{3+} 与 Fe^{3+} 在硷性溶液中发生以下的反应:



而这种反应在酸性溶液中是很难发生的。同时通过这种矿物的化学组成的研究, 我们看到了一种很少见的类质同象置换关系。即在阳离子中, 由于 Ce^{3+} 氧化为 Ce^{4+} ,

并且 Ce^{4+} 与 La^{3+} 等铈族稀土元素置换,为了保持电价平衡,部分的 $[SiO_4]^{4-}$ 由 $[CO_3]^{2-}$ 所置换。

对于元素性质的了解,矿物地球化学家与化学家之间有显著的区别。化学家在讨论元素的性质时,很少注意元素的时间性与空间性,而这正是地球化学家经常注意的问题。另外从矿物的角度来看,元素的性质是变化的。即同一种元素,当存在于结晶构造不同的矿物中时,其性质是有区别的。例如褐帘石中的铝和铍,很容易用盐酸或磷酸把它们溶解,而绿柱石中的铝和铍则不然;同样是钙,存在于萤石中的钙只要经过加热就可以观察到它的焰色反应,而对于大多数矽酸盐类矿物中的钙,仅仅由加热是不能辨别的。所以笔者建议最好在论元素的性质时,除了元素的物理性质、化学性质和地球化学性质以外,增加一项“元素的矿物学性质”。在不同的矿物中,即使同一种元素也可能具有不同的物理性质、化学性质和地球化学性质。过去在这一方面,注意得还很不够。今后由于这方面知识的累积,我们相信可以帮助解决和丰富矿物的键性、组成以及有关地球化学方面的问题。

在研究了矿物的物理和化学性质以后,首先要尽可能把它们联系起来而进行理论的说明。例如说明单位晶格的大小、差热曲线、颜色、比重、硬度以及折光率等与化学组成的关系。然后再把矿物的物理和化学性质与地质产状联系起来,以阐明在成矿作用过程中,随着物理化学条件的改变而产生的矿物性质的变化以及有关元素的分散和富集规律。并在这种基础上,进一步研究某区域主要元素的克拉克值,并与相应的地壳克拉克平均值比较,以决定某区域的地球化学特征。这样

我们不仅可以丰富矿物成因及地球化学方面的知识,而更重要的是可以指出找矿和矿床评价的根据,并为选矿及冶炼提供必要的资料。

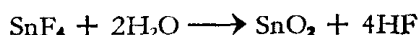
表 1

成分 矿物名	SiO ₂	ThO ₂	U ₃ O ₈	PbO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	CeO ₂	[Y] ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O
钍	18.98	57.91	1.58	0.80	5.79	0.06				2.58	0.36		0.14	0.10		9.50
铀	19.38	52.07	9.96	0.40	4.01	0.33				2.34	0.04		0.11			11.31
钙	21.09	59.35				1.02	0.39	0.23		6.93	0.04	0.73 (Mn ₂ O ₃)		0.67		9.39
铍	16.20	35.96			4.25	1.77	8.55	5.48	5.95	4.00	0.95	2.34	0.11	2.48		9.15
硬砂	20.02	28.39			2.47	6.31(?)						1.78 (Mn ₂ O ₄)		2.33		7.40
磷砂	7.64	70.13			1.38	1.10				0.49	0.29				7.46	11.21
石	17.52	71.65	1.13	0.88	0.31	0.17				1.59		0.28 (Mn ₂ O ₃)	0.14	0.33		6.14
黄	5.82	28.96	10.63 (UO ₂)	0.95	0.88	3.01	11.59	12.57 [Ce, Y] ₂ O ₃		0.73						
那	?	51.47	0.41		12.02	4.10		5.59		1.62	0.12	1.93 (MnO)			0.83	5.64
铁	10.04	42.84	5.22	未测定	4.31	0.48		0.24		14.31	0.23	0.06 (MnO)			11.77	9.19

上述矿物地质、矿物化学及矿物物理三位一体的研究方针,就是我们与描述矿物学派根本的分歧点之一。我们同样要进行矿物的种种物理和化学性质数据的测定,但绝不是为了测定而测定,而是为了解决生产和学术上的某些问题才进行的;同时在成因的基础上把这些数据紧密联系起来,这样就可以使数据变为生动的有机联系体,而充分发挥其作用。因此我们首先考虑的是问题而不是数据,为了解决所存在的问题,才进行必要的某些数据的测定。假如测定折光率可以解决问题,那末我们就没有必要做粉晶照相或其他不必要的工作。

为了阐明某些元素的分散及促成分散的原因,有必要在室内进行岩石和矿物中某些微量元素的测定和其存在状态的研究。例如在黑云母型花岗岩伟晶岩中,很少有铍的单独矿物出现,这很可能与当时的物理化学环境(温度、铍的浓度以及希土等高价元素的浓度等)有关。在这种情况下,为进一步解决这个问题,我们就有必要测定这种伟晶岩中各种矿物中的铍含量,并与两云母型和白云母型伟晶岩中相应的矿物中的铍含量比较。另外在矿物研究工作日臻精密的情况下,单纯根据矿物的主要性质(例如化学组成中的主要组分),有很多问题是得不到充分的解决的,而有待于矿物微变化的研究。例如花岗岩伟晶岩中的云母是伟晶岩的分类和寻找稀有元素矿物的重要标志之一,同样为白云母,而产于两云母型伟晶岩中的白云母与产于白云母型伟晶岩中的白云母应有所不同。但这种区别在主要性质方面表现得并不明显,而在矿物的微变化(例如光轴角、折光率以及U、Ti、Be、Li、Rb及Cs等元素的含量)方面,就很可能有显著的差别。根据这种差别,不仅有助于云母类矿物的研究,同时可以从理论上说明在不同类型的伟晶岩中,富集有不同种类和数量的稀有元素矿物的原因。

为了进一步研究元素分散和富集的规律,除了进行上述的工作以外,还必须进行元素的迁移形式和沉淀富集条件的试验工作。例如锡石往往与萤石或黄玉共生,在这种情况下,Sn可能成 SnF_4 的形式而迁移,并由于冷却,首先水解生成锡石:



然后HF与钙等元素反应而生成萤石或黄玉。在钠长石化特别显著的伟晶岩中,锡石往往与钠长石或叶钠长石有密切的共生关系。即在这种情况下,Sn可能成 $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{F}, \text{OH})_6$ 的形式而迁移,并由此而形成锡石和钠长石。又如在硫化矿床的氧化带中,黄铁矿氧化后可以生成硫酸($\text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{O} + 7\text{O} \longrightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$),硫酸与沥青铀矿等反应生成硫酸铀 $[\text{UO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{U}(\text{SO}_4)_2 + 2\text{H}_2\text{O}]$, $\text{U}(\text{SO}_4)_2 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{UO}_2\text{SO}_4 + 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$, 然后硫酸铀与磷酸或磷灰石等作用生成钙铀云母 $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{P}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ 等磷酸盐类矿物;如与钒酸或砷酸等化合,则生成钒钾铀矿 $[\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ 或砷铀矿 $[(\text{UO}_2)_3(\text{AsO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ 等砷酸盐类矿物。

在矿物学和结晶化学已经获得一定成就的今天,对于元素在矿物中存在状态的问题,在某些方面已经得到了初步的解决。但是仍旧有许多的问题,还需要作进一步的研究。例如在钍石类矿物中,有大量铀和钍的存在,由于这两种元素的离子半径与