

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

火成岩中的副矿物

李 应 运

(北京大学地質地理系)

副矿物是岩石中的次要成份,其分布很广但含量却很少,約占岩石成份的1%左右。所以往往在手标本中不易引起注意。

最常見的副矿物有鋁英石、榍石、磷灰石、褐帘石、鈦鉄矿及磁鉄矿等。

許多副矿物中都含有稀有元素或其本身即为稀有矿物及貴重矿物。有些对某种岩浆岩来說是特征的,如鋁英石大多数出現在花崗岩及各种鹼性岩中,在基性岩中便很少見。磷灰石虽在基性岩中也有,但主要却富集于鹼性岩,特別是霞石正长岩中。此外,常常利用副矿物成份进行火成岩体的对比或借以了解岩浆結晶作用过程的条件。所以副矿物的研究有着巨大的理論意义和实际意义。

要确定副矿物在岩石中的含量往往应用詳細的人工重砂分析方法,或通过电磁分离、重液分离等把不同分离的矿物再加以确定,有时在双目鏡下作仔細研究,必要时可作光譜分析或化学分析。但是利用薄片中副矿物統計法是最簡便而迅速的方法,只有当这种矿物的含量很少而变化又很大时,在薄片才不一定能遇見它們。对有經驗的地質学者甚至可以用肉眼估計在岩石中某种矿物的含量,实践証明其誤差也不一定是很大的。

結晶順序問題

副矿物在岩浆岩形成过程中晶出的先后問題,爭論已久。罗森布施所倡导并为許多地質学者所慣用的“副矿物先結晶”的准則,已逐漸为以后的許多事实所修正。

山特早已指出,在岩浆中一种少量的矿物(如磷灰石、榍石和鋁英石)一般地說可能是最后結晶的成份而不是最先結晶的成份。

近年来 W. W. 穆尔皓斯的研究說明:大多数的副矿物是晚成的。但他沒有举出任何証明来否定这些矿物早期結晶的可能性。

根据 E. A. 庫茲涅佐夫对烏拉尔岩石的研究結果,許多副矿物如磷灰石、鋁英石等在花崗岩形成的时候是和矽酸及鹼性热液共同出現的,在这些花崗岩中鋁英石往往包裹在黑云母及斜长石里面,有时候大量的鋁英石也进入到晚成的組份——石英和鉀长石之中。

鋁英石常常具有比較完整的晶形,所以一般認為是早期結晶的矿物,但是在自然界中却有許多与此不符的現象:例如(1)鋁英石常常与含有揮發份的后期岩浆矿物磷灰石、榍石、云母等伴生;(2)在噴出岩(粗面岩、玄武岩)空隙中,鋁石呈晶簇的小晶体;(3)根据拉克魯依的資料,馬达加斯加的霞石岩中所含有的鋁英石,有7%常貫入母岩的裂隙之中。兰卡瑪等也从地球化学的观点出發說明鋁英石不可能在岩浆結晶作用的早期形成。在挪威的鋁石正长岩中,鋁英石是晚期結晶的。

榧石对斜长石來說通常是比較晚期的組份,而对鉀长石和石英而言,它的自形程度最好,是較早的組份。因为作为榧石中的主要組份之一——鈦,它不能形成簡單的矽酸盐(TiSiO_4),鈦往往与其他一些陽离子(如 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 等)一起形成复矽酸盐。在岩石中这几种元素还是比较多的,由于鈣的化合物形成时的温度比鈉鉀要高一些,所以鈦便首先与鈣結合成榧石。不过,例外也是很多的,榧石同样也可以包含正长石、霞石及輝石,这种现象見于苏格兰的阿新特(Assynt)和挪威的芬县等地。

磷灰石是一种含揮發份的副矿物,在岩石中常常形成細小柱状晶体,当岩浆中开始出现第一批含揮發性組份的矿物(如含 OH 根的角閃石、黑云母等)时,磷灰石便开始晶出,但由于磷和鈣結合得較早一些,所以磷灰石晶体常常被包裹在角閃石的顆粒中,并且它和角閃石及黑云母一样常常是密切共生的。

此外,就是对同一种矿物來說也不一定在岩石晶化的同一时期完全晶出。例如磁鉄矿在熔岩流中生成較大的晶体,在基質中則分散成細粉末状,在氧化了的鉄鎂矽酸盐中則呈粒状侵染体,这些不同形态的磁鉄矿很可能不是在同一时期形成的。火成岩中的磁鉄矿結晶可以比斜长石及橄欖石晚,但一般它趋向于分异岩浆中較早結晶。W. W. 穆尔皓斯曾發現安山岩中的流綫環繞着磁鉄矿晶体,这一点証明磁鉄矿是早結晶的。

显然,严格地确定副矿物結晶的先后問題是相当复杂的,至今也还没有得到完滿的解决,这是因为具体的情况不同,則表現的事实也不一样。不过,在岩浆凝結过程中副矿物的晶出是有阶段性的,而且不同成份的副矿物,其表現也不一样,这取决于岩浆結晶作用时的物理-化学条件。

在火成岩中的分布

副矿物在火成岩中相当广泛地分布着,从結晶分异作用的观点来看,它的分布是有一定規律性的。

事实表明,大多数副矿物富集于岩浆作用后期的产物中,如鋇英石、独居石及很多鈾和稀土矿物在伟晶岩及伟晶花崗岩中都很富集,而且往往發育在岩脉的中心部份。磷灰石則常常富集于在矽酸不足的情况下作为花崗岩浆分异作用后期产物的鹼性正长岩及霞石正长岩中,甚至造成有用矿产。

表 1

鋇英石(Zr SiO_4)是火成岩中主要含鋇的矿物,其中 ZrO_2 的含量約 67%。根据 A. П. 維諾格拉多夫用光譜分析所确定的鋇英石数量,它在基性岩中含量是很微小的,在橄欖岩中其平均含量为 0.005%,在輝长岩及閃长岩中为 0.035%。有时达 0.12%,在基性石英閃长岩中为 0.061%,而在花崗岩中則为 0.078%。

岩 石	鋇英石的含量(%)
含石英达 1% 的岩石……	0.0
含石英自 1—15% 的岩石	0.0046
含石英 15—25% 的岩石	0.0085
含石英 25—35% 的岩石	0.024
含石英多于 35% 的岩石…	0.003(?)
西謝尔特花崗岩……	0.01

从上述的統計数值里可見鋇英石的含量是随着岩石酸度的升高而增加的,并且比較集中于晚期結晶的岩石中,究其原因当与鋇元素本身的地球化学特性有关。

鋇在周期表中与矽是同族元素,二者有密切的关系,因而它在地球上产出时也具有亲石的特性。这一点从 E. A. 庫茲涅佐夫所分析的烏拉尔岩石中鋇英石含量的数值里可得

到很好的說明。其分析結果見表 1。

因此庫茲涅佐夫得出結論說: 任何一个不含石英的岩区, 都不会有鋯英石出現。这个結論是否具有广泛的代表性尚待进一步証实, 但岩石中鋯英石的含量随石英增加而增加的这一事实却是很明显的。

所以自然界中作为主要含鋯矿物之一的鋯英石多富集于酸性岩, 特别是岩浆期后的伟晶期岩石里, 同时也产于鹼性岩及其后的伟晶岩中, 至于在其他岩石中則不多見。由于鋯英石是一种非常稳定的矿物, 加以耐机械、化学風化的力量都很强, 所以在其后的地質年代里大部份仍存于残积物中, 它是重要的鋯矿来源之一, 有时鋯英石形成規模較大的砂矿床。澳洲是世界最大的产鋯区域, 巴西的巴可斯·特·克来斯高原含霞石的岩石中产生大量的鋯英石, 并形成可采的砂矿床。在我国山西鹼性岩發育的区域内, 寻找这种有用矿产的可能性, 据目前所知也是有希望的。

榍石 $[\text{CaTi SiO}_4 (\text{O.O H. F.})]$ 是火成岩中, 特别是花崗岩中, 分布很广的副矿物之一, 含鈦 41% 左右。鈦的矿物占火成岩总成份的 1.5%, 而在不同类型的岩石中鈦以不同的矿物形态出現, 花崗岩中 85% 以上的鈦都呈类質同像混在黑云母中, 榍石所含的鈦仅是極小的一部份而已。

榍石不仅广泛地分布于酸性岩——花崗岩中, 同时在中性及中酸性的岩石中也很普遍, 我国燕山期的許多花崗岩及河北房山花崗閃长岩的副矿物中也同样有不少的榍石。榍石和鋯英石一样也产于鹼性岩中, 特别是与其有关的伟晶岩中。

笔者曾对华山花崗岩中的包裹体及接触带內的岩石进行过研究, 發現其中特別富含榍石, 个别晶粒达 4 毫米大小, 这可能是由于岩浆混染作用而产生的。

在酸性及鹼性的岩石中榍石是主要的鈦矿物之一, 而在基性岩中鈦矿物則不是榍石, 而常常是鈦鉄矿、鈦磁鉄矿及金紅石等, 这些都屬早期分离的氧化物。所以在基性及超基性岩中, 榍石的含量是很少的而且甚至根本没有。不过由鈦鉄矿及金紅石組成的海滨砂矿却有經濟价值, 并有独居石及鋯英石共生。

在烏拉尔塔杰尔地区杂岩体中榍石含量的变化是很有趣的, 見表 2 (据 E. A. 庫茲涅佐夫)

从表中我們可以清楚地看出, 在一般的基性及超基性岩中榍石是不存在的, 它实际上是随岩石酸鹼度的增加而增加, 这一点和上述鋯英石的情况十分相似。榍石比較富集于

表 2

岩 石 名 称	榍石的含量(%)
輝岩	0.0
橄欖輝长-苏长岩	0.0
輝长-苏长岩	0.0
輝长岩	0.0
鈉黝帘石化輝长岩	0.3
石英輝长岩和石英閃长岩	0.3
正长岩	0.7
花崗岩	0.5

岩浆分异作用晚期的岩石 (如正长岩等) 中, 这是受揮發份影响的鮮明标志。值得注意的是在鈉黝帘石化輝长岩中榍石的含量与普通輝长岩中相差竟如此悬殊, 根据庫茲涅佐夫的意见, 前者可能曾受到汽化热液作用的影响。

磷灰石 $[(\text{PO}_4)_6 \text{Ca}_{10} (\text{Cl, F})_2 (\text{OH})_2 \text{CO}_3]$ 也是火成岩中最常見的副矿物之一, 其中含 P_2O_5 約 41—42.5%, 火成岩中可能有 95% 以上的磷都存在于磷灰石里面, 它占地壳火成

岩矿物成份的 2.5%。

基性岩中虽也有磷灰石存在,但其絕大部分却富集于鹼性岩及其有关的岩石中,所以磷常常是鹼性火成岩的主要成份之一。在花崗岩中磷灰石的含量在 0.1% 左右。在早期分出的矽酸盐,如純橄欖岩中,磷和鈦的含量都是比較少的。

弗格特曾着重指出:磷与鈦的化学性質虽有很大的不同,但二者却經常伴生,它們常見的矿物(鈦鉄矿、榍石和磷灰石)能在同一环境下从岩浆中分离出来。可見磷元素与鈦元素之間具有密切的地球化学的“血緣”关系。

在自然界中,磷灰石和榍石一样,在正长岩中的含量一般都比閃长岩及花崗岩中增高。这可能是受了岩浆揮發份影响的緣故,例如在岩石的包裹体及角頁岩中磷灰石和榍石往往都是相当多的,在矽喺岩中这两种矿物也很普遍。

火成岩中磷灰石富集时,也同样可以形成有用矿床,苏联科拉半島的契俾那脫特拉的伟晶霞石正长岩,就是一个例子,我国山西临县的鹼性岩中也含有不少的磷灰石。火成岩中的磷灰石同时也是沉积磷矿的来源之一。

磁鉄矿和磷灰石在基性杂岩体中常常是共生的,不过前者在火成岩中的分布与前述各种副矿物有着相反的現象;磁鉄矿在酸性岩中含量很少,而在基性岩中則比較多,它特别富集于基性杂岩体中的較晚的某些分异物里。在烏拉尔的超基性岩中磁鉄矿含量达 3—5%。

总之,磁鉄矿的含量是自超基性岩向酸性岩逐漸地减少的。

研究副矿物的意义

火成岩中的某些副矿物除了可以形成一些有用矿产以外,更重要的是可以利用副矿物的研究来解决一系列重要的地質問題。

火成岩侵入体与矿化的关系及各种岩浆杂岩体之間的对比研究,是当前岩石学中十分迫切而又極其复杂的任务。这些問題的解决有賴于一系列的地質构造学、岩石学、岩石化学、矿物-地球化学等方法的綜合研究。而副矿物成份对比法畢竟也是其中重要方法之一。

副矿物成份对比研究法不外是从下列的两个方面入手的:

(1) 确定所研究各个主体(岩体、岩脉或矿床)的副矿物种类、数量及其比率,然后进行对比。这种方法也叫“重矿物法”,可按重砂分析法同样处理,不过样品的采集是一項关键性的工作,必須采取足够数量(一般在矿床中样品重 2—3 公斤,岩石中可达 20—50 公斤)而又富有代表性的样品。近年来一些地質学者已發現副矿物成分在岩浆結晶过程中有分异作用的現象,因此根据副矿物成份来作岩体的对比时,就必须充分考虑这种作用的影响。譬如說利用不同岩体的各个相当部分进行对比,或許可以避免發生严重的錯誤。

(2) 确定不同主体的同名矿物(如磁鉄矿、榍石、黄鉄矿等)中所含稀有元素及附生元素的种类及其数量,然后再进行对比研究。这种方法是矿物-地球化学法的一部分,为苏联学者 A. B. 拉宾諾維奇^[3]所提出的。稀有元素的測定主要依靠光譜分析来进行,有时也用化学分析的方法。

这两个方面的对比研究法,其原则都建筑在这样的基础上,即同源同时代的岩体間或具有成因关系的岩体与矿床之間应当表现在矿物地球化学的一致性上。反之,如果它們之間没有任何的成因关系时,尽管在空間上是共生的,但也沒有这种特点。

曾有許多学者指出过,岩浆期后活动的产物与有成因关系的侵入体物質成份之間(包括副矿物成份)是有規律的联系着。在这种情况下,往往岩体中的副矿物成份与矿脉中的金屬矿物成份之間有着許多共同之点。例如 O. Д. 列維茨基的研究指出,在与天河石斑状花崗岩有关的錫矿床中也存在着天河石矿物。这就充分地反映了它們之間矿物-地球化学的依賴性及其一致性。

事实表明,一定副矿物类型的侵入体常常是一定类型矿化的母岩。据拉宾諾維奇指出:鉛英石类型含鉛和錫,榍石类型含鉬,磷灰石-黃玉-螢石类型含鎢錫。这方面的研究还算刚刚开始,但它已經显示了为苏联学者 A. B. 拉宾諾維奇所提出并为我国学者王嘉蔭教授所建議采用“用副矿物的种类和数量来作侵入体类型的划分”的巨大意义([6]244頁),这样如果和主要矿物成份結合起来就能更确切地划分侵入体的类型,并且同时反映出有可能的成矿联系。

由于矿物形成时的物理-化学条件的差别,所以不同时期及不同情况下各种副矿物的外部特性(如形态、次生变化、包裹体……)也是不一定相同的。在进行副矿物对比研究时,应当密切加以注意。C. Д. 杜洛夫斯基曾指出某区域的华力西期岩石中的鉛英石是柱状的,多为短柱状或双錐体。而加里东期岩石中的鉛英石則成針状的晶体。

一般副矿物中所含的稀有元素約在 48 种以上,而不同的副矿物所含的元素种类是不同的,如榍石是帶有鈮,鋇和稀土金屬的重要矿物,其中鈾系和釷系的稀有元素更占优势^[7]。其他副矿物也是如此,各种副矿物所含稀有元素的特征与岩浆成份有密切关系。所以对对比副矿物的稀有元素及附生元素时必须是在岩石或矿石的同名矿物中进行。应当注意的是,尽管两个不同构造岩浆期的岩石,它們的一般矿物-地球化学特性往往仍有某些相似,这取决于岩石形成时的物理化学条件。

因此副矿物成份对比法不仅能了解岩浆期后产物和火成岩侵入体之間的关系,同时也能闡明同源而不同类型岩石之間的成因关系。

此外,根据副矿物共生关系特点的研究,又可提供一种鑒別沉积岩和火成岩的方法,尤其是对于正負片麻岩的区分^[8]。

結 束 語

火成岩中副矿物的研究是一个內容丰富而饒有趣味的課題,可惜其中很多問題的研究和解决也还是初步的,距离完滿的了解尚相差甚远。不过从本文的簡短叙述中也可以知道,副矿物在岩石中的分布是有一定規律的,它和副矿物的結晶順序一样取决于矿物成份的地球化学特性及岩浆結晶过程中的物理化学条件。

利用副矿物成份对比法解决某些岩石学及成矿关系等方面的問題,具有特別突出的意义。

显然,对副矿物的研究,已經引起了許多国家地質学者們的重視。笔者仅就自己閱讀文献过程中所知道的一些作簡單的介紹,以便和同好者共同学习,望同志們指正。

参 考 文 献

- [1] Кузнецов, Е. А., 1956; Акцессорный минералы в горных породах Урала. Советский геология. Сборник 51.
- [2] Виноградов, А. П., 1956; Закономерности распределения химических элементов в земной коре. Геохимия. №1.
- [3] Рабинович, А. В., 1955; О методики минерало-геохимических исследований интрузивных пород. Труды всесоюзного совещания работников минералого-петрографических лабораторий. Министерства геологии и охраны недр. СССР. Москва.
- [4] Туровский, С. Д., 1953; О минералого-геохимическим признаке генетической связи постмагматических рудных проявления с интрузивными породами. Известия Академии Наук СССР. Серия геологическая, 6.
- [5] W. W. 穆尔哈斯: 副矿物的共生。地質譯丛, 1957 年 4 期。
- [6] 王嘉蔭, 1957; 火成岩(增訂版)。地質出版社。
- [7] 兰卡瑪和薩哈瑪, 1956; 鈦、鋯、鉛的地球化学, 地球化学專輯, 第一輯地質出版社 1956 版。
- [8] 兰卡瑪和薩哈瑪: 磷的地球化学。同上。