

凤城矿物志

中国科学院地质研究所

(内部资料·注意保存)



科学出版社

凤城矿物志

彭琪瑞 邹祖荣 曹荣龙

(内部资料·注意保存)

科学出版社

1963

內 容 簡 介

本矿物志的内容主要是对东北辽宁凤城地区的碱性杂岩体的矿物学研究。其次,还对該地区的地质、地球化学进行了較詳細的討論。該地区的碱性杂岩体为我国目前已知最复杂的碱性岩,其形成的矿物种类繁多,且多为我国首次发现的碱性岩特征的稀有元素矿物,其中并发现新的稀有元素矿物三种,即順家石、凤凰石和賽馬矿;此外,还有一个新的鈦石变种——砷鈦石。在进行矿物研究时应用了多种实验方法。故本矿物志不仅对于与碱性岩有关的稀有元素矿产的地质勘探工作具有指导意义,而且也提供了矿物学和地球化学的基本資料及理論依据。

本矿物志可供从事地质、矿产勘探及矿物学、結晶学与地球化学研究工作的同志們参考。

凤 城 矿 物 志

中国科学院地质研究所編

*

科学出版社出版 (北京朝陽門大街 117 号)
北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 科学出版社发行

*

1963 年 4 月第 一 版	书号: 2712 字数: 135,000
1963 年 4 月第一次印刷	开本: 787×1092 1/16
(京) 0001—1,500	印张: 6 插页: 6

定价: 1.20 元

序 言

凤城碱性杂岩的矿物成分极其复杂，是我国碱性岩区重要的稀有元素矿物产地之一。我們根据 1958—1959 年的地質調查研究結果，在凤城碱性杂岩中观察到的稀有元素矿物有十多种，其中有新矿物三种，新变种一种，另外有三、四种是在我国第一次见到的矿物。在这些矿物中部分已查明具有一定的工业价值，而另外的一部分只具有学术上的意义。为了配合对凤城碱性岩型矿床的普查和地質勘探工作，我們特将收集到的这些矿物进行了晶体测角、X 光繞射、物理和光学性质、化学組成及結晶化学等重要方面的研究。研究結果的一部分已先在其他刊物上发表，这里则收集了大部分的研究成果，汇编成“凤城矿物志”。

为了开展我国碱性岩工作，有助于寻找类似碱性岩型的稀有元素矿床，中国科学院地質研究所，力图使所取得的研究成果及早地与广大讀者见面，故着手整理编写一批矿物志，本册“凤城矿物志”即为一例。事实証明：矿物志对普查找矿和发展矿物学科具有极其重要的意义。今后在工作中，我們还要繼續加强这方面的工作，使矿物志在数量和质量上不断得到增加和提高，以期滿足祖国社会主义建設的需要。

本矿物志是在彭琪瑞教授指导下，由中国科学院地質研究所矿物室（現第四室）全体同志完成的。参加野外工作的有彭琪瑞、曹荣龙、吳钟駱、楊敏之、潘法惠等。在收集材料过程中，中国科学院地球物理研究所、辽宁省冶金局和地質局有关勘探队、冶金部地質研究所等有关协作单位給了很大的帮助并进行了許多学术討論。本所第六室作了岩石和矿物的光譜及化学分析，工厂磨片車間、繪图組和照相組都在工作中給予了大力的协助，特此一并致謝。

本矿物志的矿物物理和光学性质主要系由郭金弟鉴定；晶体测角由郭金弟及邹祖荣負責；矿物的 X 光結晶学、差热分析由彭琪瑞、邹祖荣及矿物物理室其他同志完成。工作过程中还先后有张兰娟和西門露露等参加了部分实验工作。矿物志的总論部分是由邹祖荣执笔写成；矿物各論部分系由彭琪瑞和邹祖荣等执笔编写。

本区的地質研究和本志的实验、研究和编写工作是大跃进时期的工作成果之一，現本着巩固、充实和提高的方針，将本志原稿加以补充和修改，并补做了一部分实验工作。参加原稿的整理、补充和修改的有彭琪瑞和吳钟駱，参加实验工作的有顾雄飞、尹树森、丁奎首、郑志思等。

目 录

序言	(v)
一、区域地质概况	(1)
二、凤城碱性杂岩系	(1)
三、区域地球化学某些特点	(4)
四、区域矿物概论	(9)
五、矿物各论	(14)
(一) 矽酸盐类矿物	(14)
1. 锺英石	(14)
2. 鈹石	(19)
(1) 砷鈹石——鈹石的一个新变种	(19)
(2) 鈹石	(29)
3. 黑榴石	(31)
4. 榍石	(34)
5. 符山石	(36)
6. 閃叶石	(38)
7. 順家石——一个属于黄长石类的新的含鈹矿物	(39)
8. 賽馬矿——一个新的含稀土、鋁、鎢的鈹矽酸盐矿物	(49)
9. 葡萄石	(56)
10. 异性石	(58)
11. 霓石	(61)
12. 鈉鉄閃石	(63)
13. 黑云母	(63)
14. 霞石	(64)
15. 沸石	(65)
(二) 氧化物类	(67)
16. 鈹鉄矿	(67)
17. 金紅石	(68)
18. 板鈹矿	(71)
19. 鈹鋁鈣鈾矿	(74)
(三) 磷酸盐类	(91)
20. 鳳凰石——一个新的鈾、鈹磷酸盐矿物	(91)
21. 磷灰石	(98)
(四) 硫酸盐类	(99)
22. 重晶石	(99)

(五) 氟化物类.....	(100)
23. 萤石	(100)

一、区域地質概況

凤城碱性岩区按大地构造单位属于辽东台背斜，位于东西向营口台凸与太子河台間的过渡区的南緣。沿前震旦系、震旦系、寒武系各地层与侏罗系砂砾岩接触处，为一近于东西向的巨深断裂带。在燕山运动时，規模巨大的碱性岩漿則沿此带侵入，形成了分布面积較广，岩体数目較多的碱性岩羣，其中以顾家及賽馬岩体的規模最大和最主要。

在碱性杂岩出露区域范围内所分布的地层，主要的有下列几种：

1. 前震旦系：主要为大理岩及千枚岩；
2. 震旦系：南芬統綠色頁岩、桥头統石英岩；
3. 寒武系：石桥統灰岩、泥質灰岩、张夏統条带状灰岩；
4. 侏罗系：大堡統砂砾岩，含有煤层、三箇岭統砾岩。

前震旦紀大理岩为賽馬岩体的主要围岩，而寒武紀灰岩則为顾家岩体的主要围岩。

二、凤城碱性杂岩系

組成凤城碱性杂岩岩体的岩石，主要为侵入岩相，次为噴出岩、伟晶岩及其他热液脉状体产物。岩体略呈东西向的橢圓形产出。按矿物成分、結構构造和岩石的化学成分特点，本区碱性杂岩可划分为以下岩組和岩相特征，茲簡述如下：

(一) 侵入相岩石

I. 正长岩-碱性正长岩

此为組成碱性杂岩的主要岩石，是构成凤城碱性杂岩体的主体部分，主要沿霞石正长岩边緣分布，呈明显的环带状产出。

岩石呈淡紅色，淡灰紫色，风化面为蓝褐色，一般为中粗粒，部分为細粒及伟晶状、半自形至自形粒状結構，块状构造，部分具似粗面状构造。正长伟晶岩常具原生晶洞构造，其中有时填充着自形的四方双錐鋁石晶簇。

組成矿物主要为正长石，有时有达5%左右的黑云母、霞石，副矿物为鋁石、磷灰石、黃鉄矿。

II. 霞石正长岩

按矿物成分的数量比值及其结构特征可分为：

1. 流霞正长岩

主要分布于顾家碱性岩体的西北部和赛马岩体的南部。岩石为淡灰色，半自形中粒状结构，局部具有明显的粗面状构造。主要组成矿物为显微条纹长石、霞石、霓石及少量的黑云母。副矿物有榍石、磷灰石和沸石。

长石灰白色，自形，板状晶体，含量不少于 75%。霞石呈紫红色、粉白色，多为半自形至他形，极少具有自形，存在于长石晶体间，风化程度较深，表面多呈混浊状，晶体边缘或晶面裂隙间常被钠沸石所取代。霓石为短柱状或针状，深绿色至黑绿色，自形完全，一般成单体晶粒均匀分布于岩石中，含量达 10—15%。

2. 异性霞石正长岩

主要分布于赵山及奈马岭等地，呈岩钟或岩瘤状，产于碱性正长岩和霓霞正长岩中。

岩石呈暗绿色至灰绿色，一般为细粒结构，部分具有粗粒似斑状结构和伟晶结构。主要组成矿物为霓石、霞石、显微条纹长石、钠长石，副矿物有钛铌钙锶矿、异性石、閃叶石、赛马矿、榍石等。

长石为灰色、浅绿色至无色，透明，自形板状晶体，含量 25—35%。霓石为绿色针状、毛发状及纤维状集合体，呈毛发状者，常构成团包状或放射状，散染于长石晶体中者，以放射状的居多。在霞石晶体中则呈团包状出现，含量 25—35%，在暗色异性霞石正长岩中，其含量可增加至 50% 以上。霞石肉红色，半自形至他形，大部被鳞片状沸石所代替，含量达 30—45%。

3. 霓霞正长岩

分布比较普遍，在赵山、双顶山、奈马岭和复兴堡子一带均有出露。

岩石呈灰白色、灰绿色，半自形中至粗粒状结构，部分具似粗面状构造。主要组成矿物有条纹长石、霞石、霓石及少量黑云母，副矿物有榍石、磷灰石、钠沸石，偶而有少量的萤石。

长石呈灰白色，半自形晶体，双晶发育，显微条纹构造也较常见，含量 45—65%。霞石呈他形，部分为半自形，极少具有自形，风化面呈污浊状，晶体边缘或中部，常为钠沸石所代替，含量达 15—25%。霓石呈针状或长柱状，深绿色至绿色，自形完全，一般为单体晶粒分散于霞石或长石中，其含量达 10—15%。黑云母呈片状，略具定向排列。

4. 黑榴磷霞岩

在五道沟及奈马岭等地有所分布，呈似层状产于霓霞正长岩内。

岩石砖红色，中粗粒半自形结构。主要组成矿物为红色霞石(75—80%)、黑榴石(10%左右)、凤凰石(5—10%)、显微条纹长石(3—5%)、榍石及少量霓石和黑云母。霞石多已绢云母化，并满布赤铁矿细粒，但长石很新鲜。

(二) 噴出相岩石

I. 响 岩

主要分布于双頂山頂部及五道沟一带, 呈明显的岩頸状穿插正长岩和碱性正长岩。

岩石黑色至灰綠色, 致密块状构造。組成矿物有霞石、白榴石、正长石、黑云母、霓石。白榴石及透长石为斑晶, 霞石的晶粒也較常見, 石基由黑云母和长石組成。岩石受后期热力作用較明显, 重結晶現象比較普遍。

(三) 伟晶岩及岩漿期后脉状体

I. 伟 晶 岩

在凤城碱性岩出露范围内, 总的說来, 伟晶岩发育程度是很差的。在所发现的伟晶岩中, 一般脉体都很小, 延伸也很短, 实际意义不大。按种类可分为:

1. 碱性正长伟晶岩

在五道沟、复兴堡子和赵山一带有所分布, 主要呈脉状产于正长岩和碱性正长岩內。脉寬一般 20 多厘米, 极少达到 1 米以上, 长可达数十米。

岩石主要由鉀微斜长石和条紋长石及少量的霓石和黑云母組成, 副矿物有金紅石、鋯英石、磷灰石、榍石、鈦鉄矿。长石晶粒一般在 2—5 厘米之間, 有时也有更粗大的。

2. 霞石正长伟晶岩、异性正长伟晶岩及异性霞石正长伟晶岩

在赵山和奈馬岭一带有所分布, 主要呈不規則状或囊状賦存于异性霞石正长岩和霓霞正长岩中, 并和母岩呈明显的过渡关系, 分带現象显著, 应属霞石正长岩及异性霞石正长岩同期分异产物。

岩石灰綠色, 主要由砖紅色霞石、透明的正长石和草綠色霓石所組成。副矿物有鈦鉀鈣鈉矿、异性石、閃叶石等。

II. 岩 脉

1. 正长細晶岩

分布于奈馬岭一带, 呈脉状穿插碱性正长岩, 脉寬达 10—15 厘米。岩石淡紅色, 显微細晶結構。主要由細粒状正长石組成。

III. 岩漿期后热液矿脉

1. 碳酸盐-鈮石脉

分布于四道沟一带, 呈脉状侵入于寒武紀石灰岩中。

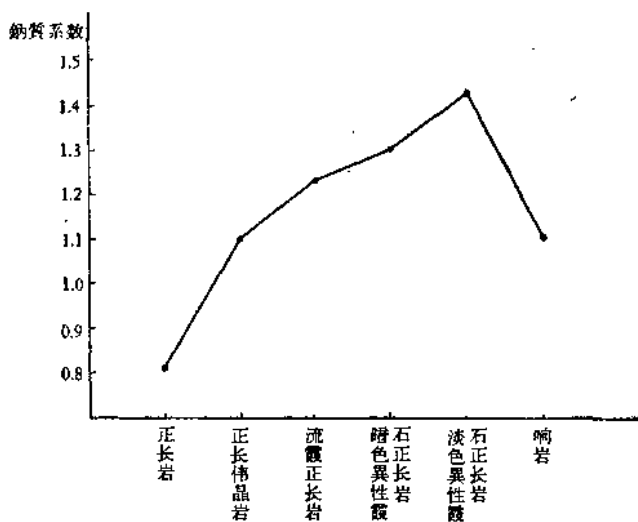


图1 本区碱性杂岩体钠质系数变化

岩石灰綠色，具条带状构造。主要組成矿物为方解石(85%)、霓石(15%)，副矿物有磷灰石、榍石、螢石和鈦石。

2. 石英-长石-鈦石脉

主要分布于四道沟一带，呈脉状侵入于寒武紀石灰岩中。

岩石紫紅色、暗灰色，主要組成矿物为鉀长石、石英、赤鉄矿。碳酸盐化和螢石化作用比較強烈，鈦的矿化作用也較集中。

凤城碱性杂岩各类岩石的钠质火成岩系数的变化情况见图1。

(四) 接触变质作用

在本区碱性杂岩与石灰岩接触处，普遍有接触变质现象，尤以顾家岩体中分布广泛的正长岩与寒武紀石灰岩之间的接触变质作用特为显著而普遍。接触带一般宽达数米，所形成的矽卡岩中发育的矿物种类复杂，晶体常完整而巨大。最普遍的矿物为黑榴石、透輝石、符山石、黑云母、榍石和磷灰石。黑榴石和符山石結晶粗大，符山石晶体大者达十余厘米之长。榍石都呈針状，长达数毫米。此处还有正长石、霓石等矿物。在顾家的四道沟一带的矽卡岩中还有明显的后期热液作用，产出葡萄石和一种含鈹的新矿物——顾家石，它們常呈晶簇产于黑榴石矽卡岩的晶洞中。

三、区域地球化学某些特点

关于本区碱性岩的地球化学是一个异常复杂的问题，对其全面情况的了解还很

不够, 現仅就目前所取得的材料, 对本区碱性岩的地球化学特性作某些概略性的闡述。

在本区碱性岩中, 已确定的元素可划为下列几組:

1. 主要元素: O、Si、Al、Na、K、Fe、Ca、Mg;
2. 次要元素: H、Mn、Ba、Sr、Zn、Pb、Cu、S;
3. 特征元素: Ti、Zr、Nb、TR、Th、Be、P、As、C、F、Cl;
4. 分散元素: Ga、V、U、Ta、Hf、Li、Cr、B 等元素。

从上述情况可以看出, 本区主要为亲氧元素。这和所有鈉质火成岩的地球化学特征相类似。

本区碱性杂岩, 包括两个岩系: 碱性正长岩和霞石正长岩。碱性正长岩中 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{K}_2\text{O} \gg \text{Na}_2\text{O}$, $\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}} = 0.35-0.8$ (分子比), $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.1\%$ 。霞石正长岩中, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \geq \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{K}_2\text{O} \leq \text{Na}_2\text{O}$, $\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}} = 0.7-2$, 而 $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.02-0.48\%$ 。

岩石的化学特点, 与稀有元素的分布有密切联系, 总的来說 Nb、TR 主要賦存于鈉质火成岩系数大于 1 的异性霞石正长岩和磷霞岩中, 而 Zr、Th 則以鈉质火成岩系数小于 1 的碱性正长岩中更为富集。

本区碱性岩含有一定量的 P、C、S 与 F。这些元素对稀有元素的迁移和富集起着很重要的作用。

本区特征元素的地球化学特性簡要叙述如下:

1. Ti 在碱性正长岩中鈦的含量为 0.49%; 在霞石正长岩中为 0.44—1.08%, 平均为 0.74%, 約比正长岩中高 50%。Ti 在岩浆活动阶段部分为含鈦的造岩矽酸盐所吸收, 形成含鈦的黑榴石(TiO_2 6.0—6.7%)、霓石(TiO_2 0.03—0.1% 到 $< 0.03\%$)、鈦輝石和黑云母; 显然这是由于 Ti 与 Fe 的結晶化学性質相类似的緣故, 因为它们的离子半径很相近 ($\text{Ti}^{4+} = 0.68 \text{ \AA}$, $\text{Fe}^{2+} = 0.74 \text{ \AA}$, $\text{Fe}^{3+} = 0.64 \text{ \AA}$), 配位数也都是 6, 晶格能量也差不多 ($\Delta K\text{Ti} = 4.65$, $\Delta K\text{Fe} = 5.15$)。另外由于鈦与鋳的地球化学性質也有些相似, 故在鋳矿物中也有一定数量鈦的分布, 如异性石 (Ti 含量为 0.03%) 和鋳英石 ($\text{Ti} < 0.1-0.01\%$, 个别达 0.1—0.5%)。此外, 在与碱性正长岩接触的砂卡岩中黑榴石极为普遍, 可見鈦在此分布很多。但是应该指出: 鈦被其他矿物所吸收的量还是比较有限的, 因为大量 Ti 仍以单矿物形式出現。

鈦具有強烈的亲氧性, 因而主要形成氧化物和复氧化物及矽酸盐。在本区碱性杂岩中鈦的独立矿物有: 金紅石、板鈦矿、鈦铁矿、鈦铌鈣鈾矿、閃叶石、榍石和賽馬矿。金紅石、板鈦矿、鈦铁矿主要发育于正长岩相中, 特别是岩浆演化的伟晶岩阶段达到了相当大的富集, 这和鋳的地球化学性質有所类似。在霞石正长岩中由于鈉的含量高, 和富含稀土、鋇等元素, 因而主要形成鈦铌鈣鈾矿、閃叶石、賽馬矿等的鈉质火成岩的特征矿物。榍石分布的相当普遍, 但以碱性正长岩与石灰岩的接触带中含量較多。这和围岩的同化作用, 导致鈉含量的減低, 鈣的作用增強有着密切联系。鈦

在岩浆期后的作用大大减弱,虽然在中温热液碳酸盐化正长岩脉中发现金红石及钛铁矿的存在,但其量极微,且只局部出现。

2. Nb (Ta) 铌(钽)的地球化学特性与钛极为近似,但铌(钽)在本区碱性岩中的含量远逊于钛。铌(钽)和钛一样都是存在于氧化物(简单的和复杂的)和矽酸盐中。

在正长岩质岩石中,铌的含量极低,铌的较高含量是霞石正长岩的特点。在霞石正长岩中 $Nb:Ti = 0.007$, 由于大量钛的存在,则铌主要分散于含钛的矿物中。但岩浆后期的热液脉中的铌钽石竟含 $Nb_2O_5(Ta_2O_5)$ 达 1.16% 之多(表 1)。

表 1 在不同产状的矿物中钛、铌、钽的含量及其比值变化

矿 物	产 状	TiO ₂ %	Nb ₂ O ₅ %	Ta ₂ O ₅ %	(Nb + Ta):Ti	Ta:Nb
钛铌钙铈矿	异性霞石正长岩	40.79	3.64		0.0054:1	—
钛铌钙铈矿	异性霞石正长岩	36.83	9.49	0.38	0.0157:1	0.025:1
黑榴石	接触带	6.74	0.1839	0.0008	0.0081:1	0.005:1
黑榴石	黑榴磷霞岩	5.97	0.0845	0.0006	0.0092:1	0.005:1
榍石	黑云母流霞正长岩	36.57	0.074	0.014	0.0015:1	0.004:1
钛铁矿	正长伟晶岩	54.25	0.019	0.009	0.003:1	0.16:1
金红石	正长伟晶岩	93.92	0.036	0.019	0.0003:1	0.28:1
板钛矿	正长岩	91.95	0.57	0.02	0.0019:1	0.023:1
赛马矿	异性霞石正长岩	19.84	5.03	0.06	0.153:1	0.007:1
铌钽石	热液矿脉	0.17	1.16		0.042:1	—

另外光谱半定量分析,也发现铌分散于其他矿物中,如锆英石(Nb 0.03—0.01%),异性石(Nb > 0.01%)。

在以上含铌矿物中,钛铌钙铈矿、赛马矿是主要的含铌矿物,以铌为主而钛少的矿物在本区尚未发现。这反映了在岩浆熔融体中钛的含量大大超过铌。

钽在本区碱性岩中含量极少,且完全分散在钛和铌的矿物中,在其他矽酸盐矿物中钽也和铌伴生在一起,但含量极微(表 1)。这是符合于铌的克拉克值远比钽为高[(Nb:Ta = 11.4) (Rankama, 1944, 1948)] 和碱性岩中的铌、钽分布情况的。

3. 稀土元素 钪族稀土的含量高,而钇族稀土极少就是本区碱性杂岩的地球化学特点之一。它们主要赋存于霞石正长岩中。在正长岩中呈分散状态,主要存在于榍石中,但考虑榍石在本区各岩相中均有分布,故被榍石所含的稀土总量估计不会很低。在霞石正长岩各种岩相中,稀土以相当大的量赋存于钛铌酸盐(钛铌钙铈矿)、钛矽酸盐(赛马矿)和磷矽酸盐(凤凰石)中。同时也分散于榍石、异性石中。而在岩浆期后热液脉中的钽石也含有一定量的稀土,此外还发现有少量氟碳铈矿型稀土碳酸盐矿物与钽石共生。

由以上可以看出, 稀土元素在本区所参加的化合物类型比任何其他稀有元素为多, 共計它們存在于以下四种化合物中: 矽酸盐、复氧化物、磷酸盐和磷矽酸盐以及碳酸盐。而使稀土元素能够如此活跃的原因之一是: 这一些化合物或者含多量的鈣, 或者含多量的鈰, 或者二者均有。换言之, 稀土和鈣或鈰一同进入了这些矿物晶体中。这是不难理解的, 因为稀土元素和鈣、鈰的离子半径相近及配位数相同($\text{Ca}^{2+} = 0.99$, $\text{Th}^{4+} = 1.02$, $\text{Ce}^{4+} = 0.94$, $\text{Ce}^{3+} = 1.07$), 故使它們的地球化学行为相近, 而在矿物晶体中彼此以类质同象置换。从下表即可以看出这三种元素在一些主要稀有元素矿物中的关系(表 2)。

表 2 稀土元素在岩浆演变过程的赋存状况及其含量

成矿阶段	产 状	稀 土 矿 物					含 Ca, Th 的共生矿物
		名 称	稀土总含量	$\frac{[\text{Ce}]_2\text{O}_3}{\text{TR}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{TR}_2\text{O}_3:\text{CaO}}{(\text{分子比})}$	$\frac{\text{TR}_2\text{O}_3:\text{ThO}_2}{(\text{分子比})}$	
岩浆期 及伟晶 岩期	正长岩、霞石正 长岩及其伟晶岩	锶石	2.60	80.00	1:58.63	—	铀铁矿、锆石
		铈铈钙锶矿	28.71	100.0	1:1.248	1:0.022	异性石
		赛马矿	19.01	54.06	1:1.03	1:0.0314	异性石、閃叶石
岩浆期 (分异体)	黑榴磷霞岩	凤凰石	33.71	96.82	1:2.945	1:1.178	黑榴石
热液阶段	碳酸盐化	氟碳锶矿	72—76	—	—	—	钍石
		碳酸铈锶矿	47—50	—	<1:1	<1:0.01	方解石
	石英-正长岩脉	砷钍石	2.06	100.0	1:8	1:32.8	石英

注: TR_2O_3 的分子数系以 Ce_2O_3 計算而来。

另一使稀土在本区富集于某些矿物的原因是: 某些絡阴离子在某些岩浆演变阶段的活跃。如岩浆期稀土的聚集与 PO_4^{3-} 的增加有关而形成凤凰石; 在岩浆期后热液阶段的富集, 则与 CO_3^{2-} 作用的增强有着密切的联系。

4. Th 鈰在本区的大量富集是本区地球化学的另一特点, 并且在各个岩浆活动阶段都有鈰参与, 形成矽酸盐和磷酸盐。而与鈰密切共生的元素主要是稀土和鈣。在上面討論稀土时已充分說明了这一点, 不过鈰和稀土的关系更要密切。如在岩浆早期鈰与 $[\text{Ce}]$ 和 Ca 共同进入赛馬矿(含 ThO_2 0.48%)和铈铈钙锶矿(含 ThO_2 1.06%)中, 后来則富集在分异产物黑榴磷霞岩所产的凤凰石中, 其 ThO_2 的含量达 19.64%。值得注意的是锶石中沒有鈰或鈰极少, 这可能是因为锶石主要含鈣, 含稀土很少, 而鈰与稀土的地球化学行为比它和鈣的关系远为相近。此外, 与鈰石同一結構的锆石也不含鈰, 这应是鈰和锆的离子半径相差較大($\text{Th}^{4+} = 1.02 \text{ \AA}$, $\text{Zr}^{4+} = 0.79 \text{ \AA}$)的缘故。但鈰的大量富集是在岩浆期后热液脉中, 它以鈰石状态出現, 且分布很广, 其大量沉淀与螢石化、碳酸盐化和 SiO_2 沉淀有着密切的关系。鈰和稀土在这一阶段漸趋分离, 鈰几乎完全与 SiO_2 結合成为鈰石, 而稀土則主要与鈣和碳結合成为碳酸盐。

5. Zr(Hf) 锆在本区碱性岩中分布广泛, 唯其活动特点与鈰、鈰、稀土有所不同。首先锆只以矽酸盐出現。其次, 大量的锆以简单的矽酸盐——锆石的形式赋存

于正长岩中(正长岩中锆的平均含量达 0.2%),但其较大的富集是在岩浆演化的伟晶岩和钠长石化阶段。在钠长石化带中 ZrO_2 的最大含量达到 1%。在以后温度较低的热液期,没有或者很少有锆的沉淀。

在异性霞石正长岩中,锆呈异性石分出,这显然是由于 SiO_2 的含量低而 Na_2O 过剩的条件下形成的。在 SiO_2 的浓度大和碱大于铝的流霞正长岩中,锆也呈锆石的形式出现。从而说明,锆的结晶形态是依环境而转移的,在不同酸、碱度的环境中各起不同的作用。

铈与锆是成对元素,但含量很少,在各种含锆矿物中都有铈伴随着出现,而呈分散状态。

6. F、Cl、P、C、S、As 等元素 在本区碱性岩中都有不同程度的富集。它们的存在对稀土元素的浓集起着很大的作用,但在各个不同阶段所起的作用是不同的。在岩浆阶段是以 Cl 和 P 的作用为主。这时 Cl 与 Zr 的关系特别密切,在锆矽酸盐异性石中氯(Cl)的含量达 2.19%。P 在岩浆分异阶段特别富集,并能促使稀土与铈的共同沉淀和集中。在黑榴磷霞岩中凤凰石的高度浓集就说明了这一点。F、C、S、As 的巨大作用主要表现于热液阶段,因为钠长石化、铈石脉的形成都伴随着强烈的萤石化、碳酸盐化和黄铁矿化。本区热液脉中所产的铈石含有砷,故形成了铈石的新变种——砷铈石。此外还在一些地方有方铅矿和闪锌矿的沉淀。

7. Be 铍是本区中最有意义的元素之一。在我们工作的前一阶段并未注意铍在本区中的分布,但后来在顾家附近的四道沟砂卡岩中发现了一个含铍的新矿物——顾家石,含 BeO 达 9.49% 之多。虽然目前还未查明顾家石的分布及含量,但可以肯定铍在本区砂卡岩中获得了富集。这不仅是在我国东北地区第一次发现铍的独立矿物,而且证实了碱性岩浆岩的确具有较高的铍的含量。V. M. 戈尔德施密特(Goldschmidt, 1932)及其学生很早就发现霞石正长岩含铍较任何其他岩浆岩为高,以后的工作也证明此点(希林和察列娃, 1957)。因此这一发现不得不引起我们的注意。其次,以前那些工作都指出:碱性岩中的铍主要分散在造岩矿物中,其伟晶岩虽常产出多种铍的独立矿物,如白闪石、密黄长石、斜方板晶石、双晶石、日光榴石等,但含量都很少。而我们是在与碱性岩有关的砂卡岩中发现了这个新的铍矿物,说明碱性岩浆中的铍还可以在砂卡岩中获得富集。V. M. 戈尔德施密特(1954)曾经指出:花岗岩、正长岩和霞石正长岩的砂卡岩带很可能有铍的富集而成为有经济价值的铍矿床,以后工作也证实花岗岩的砂卡岩带的确有铍的富集,我国发现的香花石即其一例,国外也有一些例子。但我们的工作是在碱性岩的砂卡岩带中首次发现铍矿物的。我们希望在这地区继续进行一些工作,以探明顾家石的分布与含量,还要了解本区砂卡岩中其他矿物以及各类碱性岩中的铍的含量与分布。我们相信,这一工作对于了解碱性岩中铍的地球化学可能提供新的资料。

参 考 文 献

- [1] Goldschmidt, V. M. and C. Peters (1932): Zur geochemie des Berylliums: Gesell. Wiss. Göttingen.

gen, Nachr., Math.-physikal. Kl., Heft 4, 360—376.

- [2] Шалин, Л. Л. и Л. Л. Царева (1957): О распространении бериллия в породах и минералах пегматитовых жил Ловозерских и Хибинских Тунар: Геохимия № 4, 325—333.
- [3] Rankama, K. (1944): On the geochemistry of tantalum, Bull. Comm. geol. Finlande, No. 133.
- [4] Rankama, K. (1948): On the geochemistry of niobium, Ann. Acad. Sci. Fennicae, A, III, 13.

四、区域矿物概論

(一) 矿物种类及其分类

本区所发现的矿物共达四十种以上，它們均为碱性岩漿及其岩漿期后热液活动产物。在这些矿物中，最占优势的是碱性矽酸盐矿物：碱性长石、霞石、霓石、碱性角閃石等，同时出现了鈉质火成岩类的标型矿物：閃叶石、异性石、鈦鉬鈣鉻矿等。在所发现的矿物中，除造岩矿物外，其余主要为鈦、鉬、鈳、稀土、鉍等的稀有元素矿物。按照化合物种类及晶体结构特点，可将本区主要矿物分成以下几类：

I. 矽 酸 盐 类

- | | |
|--------------|-----------|
| 1. 鈳英石 | 14. 普通輝石 |
| 2. 鈳石(包括砷鈳石) | 15. 透輝石 |
| 3. 黑榴石 | 16. 鈉鉄閃石 |
| 4. 榍石 | 17. 黑云母 |
| 5. 符山石 | 18. 絹云母 |
| 6. 閃叶石 | 19. 霞石 |
| 7. 顾家石 | 20. 白榴石 |
| 8. 綠帘石 | 21. 正长石 |
| 9. 賽馬矿 | 22. 鉀微斜长石 |
| 10. 葡萄石 | 23. 条纹长石 |
| 11. 异性石 | 24. 透长石 |
| 12. 霓石 | 25. 鈉长石 |
| 13. 鈦輝石 | 26. 鈉沸石 |

II. 氧 化 物 类

- | | |
|---------|-----------|
| 27. 石英 | 31. 磁鉄矿 |
| 28. 金紅石 | 32. 鈦鉄矿 |
| 29. 板鈦矿 | 33. 鈦鉬鈣鉻矿 |
| 30. 赤鉄矿 | 34. 硬錳矿 |

III. 磷 酸 盐 类

35. 鳳凰石

36. 磷灰石

IV. 碳酸盐及氟碳酸盐类

37. 氟碳鋁矿

39. 方解石

38. 氟碳鋁矿

40. 白云母

V. 硫 酸 盐 类

41. 重晶石

VI. 氟 化 物 类

42. 螢石

VII. 硫 化 物 类

43. 黃鉄矿

45. 閃鋅矿

44. 方鉛矿

46. 黃銅矿

在所发现的矿物中,以矽酸盐及氧化物类最多,分布也最广。磷酸盐、碳酸盐类和螢石次之。而硫酸盐及硫化物类则占更次要的地位。至于其他类矿物尚未得到发现。

在上述四十多种矿物中,鉀鈉长石、霓石和霞石是碱性岩最主要的造岩矿物,因而它们分布得最为广泛和含量最高。

鈦鉍鈣鋁矿、鳳凰石、鈦石、异性石和鉻英石以及顾家石是最主要的稀有元素矿物,但它们仅存在于一定的岩带中。

(二) 矿物的分布、生成次序及其共生組合

在碱性杂岩的形成和碱性岩浆发展过程的各个阶段,本区的矿物共生組合,在时间和空間上,表现为一种矿物集合体被另一种矿物集合体很有规律地相互替代。各种主要矿物在各岩相阶段中的分布及其生成順序见表 3。

从表 3 可以看出,鈦、鉻、稀土矿物的生成時間較长,在岩浆发展各个时期和各个阶段均有晶出,而含鉍、鈦或鋁的矿物的富集則有明显的阶段性。在碱性岩浆演化的全部过程中,各种重要的稀有元素及其矿物的分布和富集特征总结地列入表 4,并討論如下:

1. 含鈦矿物 在异性霞石正长岩及其伟晶岩中,主要形成复杂的矽酸盐(閃鋅石、賽馬矿、楣石)及复杂氧化物(鈦鉍鈣鋁矿)。霓石和鈦輝石中也含有少量的鈦。而在正长岩和碱性正长岩及其伟晶岩中,則主要成楣石和簡單氧化物(金紅石、板鈦矿、鈦鉄矿)分出。黑榴磷霞岩和砂卡岩中的黑榴石含鈦虽不很高(TiO_2 6%左右),

表3 各种主要矿物在各岩相阶段中的分布及其生成顺序

成 矿 阶 段 物	岩 浆 及 伟 晶 岩 阶 段										接 触 变 质 阶 段	岩 浆 期 后 阶 段			
	第一阶段		第 二 阶 段				第三阶段					气 成 热 液 阶 段	钠 长 石 化 带	石 英、长 石、 中 温 热 液 阶 段	鈇 石 脉、 石 英、长 石、 鈇 石 脉
	岩 浆 期	伟 晶 岩 期	岩 浆 期		伟 晶 岩 期		岩 浆 期	伟 晶 岩 期	岩 浆 期	伟 晶 岩 期					
			正 长 岩 及 碱 正	正 长 岩 及 碱 正	早 期 流 纹 正	晚 期 长 岩 霞 石 正									
钙 长 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
金 红 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
钛 铁 矿	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
板 钛 矿	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
榍 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
钾 钠 长 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
霞 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
霓 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
黑 云 母	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
磷 灰 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
霓 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
普 通 辉 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
黑 榴 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
钛 铈 钙 钒 矿	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
赛 马 矿	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
异 性 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
闪 叶 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
透 辉 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
符 山 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
凤 凰 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
顺 家 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
葡 萄 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
钠 长 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
钠 钙 闪 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
萤 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
鈇 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
神 鈇 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
氟 碳 鈇 矿	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
碳 鈇 矿	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
方 鈇 矿	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
黄 铁 矿	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
方 解 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
钠 沸 石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
石 英	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-