

河北峪耳崖金矿花岗岩矿物学地球 化学特征与岩浆演化^{*}

赵海玲 邓晋福 狄永军 赵世柯 杨秋利 张继林

(中国地质大学 北京 100083)

(峪耳崖金矿 河北宽城 067601)

摘 要 通过花岗岩的矿物学和 REE 特征研究, 探讨花岗岩岩浆的演化。正长花岗岩和碱长花岗岩中的斜长石分别为更长石和钠长石, 两种花岗岩中的碱性长石均为正长石, 从正长花岗岩到碱长花岗岩 Or 含量增加, 正长花岗岩和碱长花岗岩的黑云母分别为镁黑云母和铁黑云母, 矿物学特征和 REE 特征均表明从正长花岗岩岩浆向碱长花岗岩岩浆演化的趋势。应用分离结晶岩石学混合计算表明, 从正长花岗岩岩浆大约分离结晶出 6%~24% 的斜长石和 5%~7% 的黑云母, 形成 69%~88% 的碱长花岗岩岩浆。从正长花岗岩岩浆向碱长花岗岩岩浆演化, 岩浆的密度减小, 粘度增加, 聚合程度增加。

关键词 花岗岩; 矿物学; REE; 岩浆演化; 河北

分类号 P588.121; P574.2

峪耳崖花岗岩主要有正长花岗岩和碱长花岗岩两种类型, 它们的交接处为正长—碱长花岗岩。关于正长花岗岩和碱长花岗岩之间的关系问题一直存在着争议, 这不仅是岩石学问题, 而且对成矿预测有重要意义。本文主要通过花岗岩的矿物学和 REE 特征以及岩石学混合计算, 探讨两种类型花岗岩岩浆之间的演化关系。

1 矿物学特征

斜长石 净化边结构, 个别具环带结构, 中心多绢云母化。斜长石成分上的共同特点是 Or 含量较低(小于 3.4%), 几乎为纯的 Ab—An 二元固溶体体系。从图 1 可以看出, 正长花岗岩中的斜长石($A_{n24} \sim A_{n9}$)主要为更长石, 碱长花岗岩中的斜长石($A_{n9} \sim A_{n1}$)则为钠长石, 如图 1 中箭头所示, 总体上从正长花岗岩到碱长花岗岩形成了一个向富碱方向演化的趋势。

碱性长石 多为条纹长石, 具正条纹结构, 有时包裹自形半自形的斜长石。条纹长石的主晶部分 Or 含量为 75.5%~96.1%, Ab 含量为 3.9%~24.5%, 几乎不含 An($< 0.1\%$), 钠长石条纹 Ab=95.8%, 正长花岗岩和碱长花岗岩中碱性长石均为正长石, 但从正长花岗岩(Or=75.5%~85.4%)到碱长花岗岩(Or=91.9%~96.1%), Or 含量增加。图 1 反映了花岗岩岩浆是向富碱的方向演化。在 100MPa 压力下, 利用 Stormer (1975)^[1] 和 Powell (1977)^[2] 的方

1998 年 1 月 21 收稿。

第一作者简介: 赵海玲, 女, 1946 年生, 博士, 教授, 岩石学专业。

^{*} 国家黄金局 (92—94—96)、地矿部基础性研究项目 (2—1—96—331) 资助。

法计算的正长花岗岩中条纹长石的出溶温度为 514℃，利用Haselton(1983)^[3]的方法计算为 501℃，因此推断条纹长石出溶温度大约在 501~514℃之间。

黑云母 自形一半自形、它形均可见到，均具白云母化现象。碱长花岗岩中的黑云母含量少，为铁黑云母并且多已绿泥石化，正长花岗岩中的黑云母为镁黑云母。本区花岗岩中黑云母的 M' 大于 31， MF 大于 0.39， Al^{VI} 低，小于 0.31，从正长花岗岩向碱长花岗岩 MF 值减小，说明了黑云母的铁含量是逐渐增加的。这一特征与华南花岗岩和长江中下游拗陷带的花岗岩（洪大卫，1982）^[4]、中内华达岩基（Dodge，1969）等 I 型花岗岩从早期到晚期铁含量增加的特征是一致的。

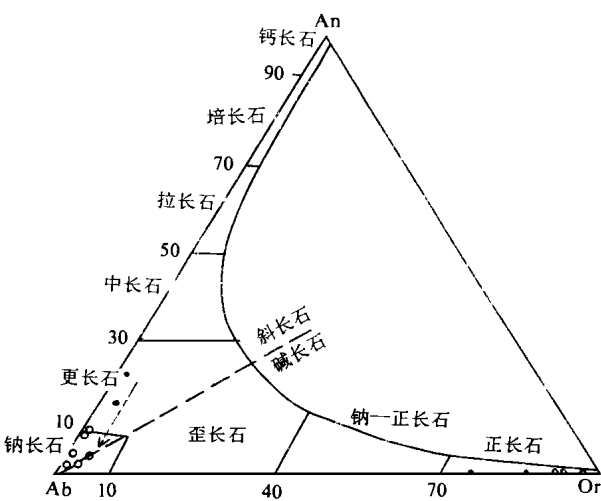


图 1 长石类矿物分类图

Fig. 1 Classification diagram of feldspars
(引自 Smith, 1974)

●—正长花岗岩中的长石；○—碱长花岗岩中的长石

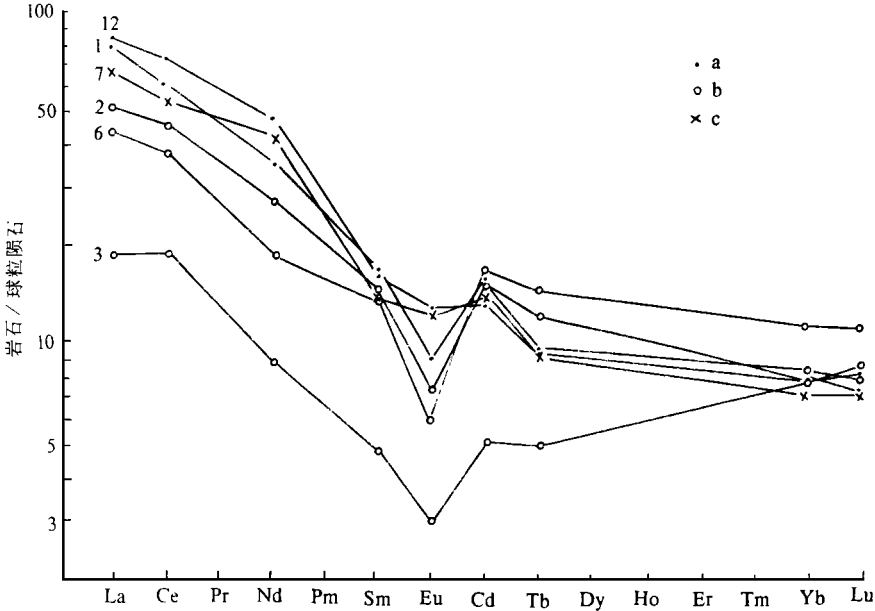


图 2 花岗岩稀土元素配分曲线

Fig. 2 The REE distribution pattern of granite

a—正长花岗岩；b—碱长花岗岩；c—正长—碱长花岗岩

2 稀土元素特征

图 2 示出了本区花岗岩稀土元素的球粒陨石标准化后的配分曲线。花岗岩的 REE 含量和

配分型式上具有相似的特点，说明它们为同源。 $\Sigma\text{REE}=31.1\times10^{-6}\sim123.2\times10^{-6}$ ，LREE 富集， $\text{La}/\text{Lu}=2.28\sim9.75$ ，各种类型的花岗岩均具有负 Eu 异常， $\delta\text{Eu}=-0.1016\sim-0.6022$ ，以 ZK₁₃₀₁—ZK₉₀₂—ZK₂₀₃ 剖面为例，从上至下，花岗岩的岩石类型分别为：正长花岗岩、正长—碱长花岗岩、碱长花岗岩。最上面的正长花岗岩（样号 1）具 Eu 负异常， $\Sigma\text{REE}=104.5\times10^{-6}$ ，正长—碱长花岗岩（样号 7）Eu 负异常明显低于正长花岗岩和碱长花岗岩， $\Sigma\text{REE}=101.4\times10^{-6}$ ，碱长花岗岩（样号 2、6）Eu 负异常最大，且 ΣREE 较低，为 66.4×10^{-6} 。

一般认为，Eu 异常的产生与斜长石的分异有关，斜长石的分异造成了 REE 配分曲线上出现 Eu 负异常。Eu²⁺ 离子半径与 Ca²⁺ 相似，易于置换斜长石中的 Ca²⁺ 离子，而 Eu³⁺ 的半径较小，不能与 Ca²⁺ 离子产生类质同象置换。在 f_{O_2} 低的情况下，Eu 主要以 Eu²⁺ 离子存在，Eu²⁺ 可以置换斜长石中的 Ca²⁺，因此，斜长石的分离结晶使派生岩浆产生 Eu 负异常，但若 f_{O_2} 较高时，Eu 主要以 Eu³⁺ 存在，即使有斜长石的分离结晶也不可能产生 Eu 异常，因此，本区花岗岩中 Eu 负异常的存在，可能反映了本区花岗岩岩浆在形成和演化过程中具有较低的 f_{O_2} 。碱长花岗岩比正长花岗岩的 Eu 负异常大，可能是在还原条件下，碱长花岗岩是由正长花岗岩岩浆中分离结晶出斜长石而形成的。而正长—碱长花岗岩的 ΣREE 介于正长花岗岩和碱长花岗岩之间，反映了在碱长花岗岩岩浆侵入到正长花岗岩中，可能发生了混染作用。

稀土元素的七组分图（图 3）表明从正长花岗岩到碱长花岗岩，Ce 和 Nd 的相对量逐渐减少，曲线从左下方逐渐向右上方移动，反映了岩浆从正长花岗岩岩浆向碱长花岗岩岩浆演化的特点。

3 分离结晶模式

正长花岗岩和碱长花岗岩的野外地质关系、岩石学^[5]、矿物学、REE 特征均表明了正长花岗岩岩浆向碱长花岗岩岩浆演化的趋势。由正长花岗岩岩浆演化成碱长花岗岩岩浆的主要机制可能是斜长石和黑云母的分离结晶作用。采用最小二乘法模拟原理对本区花岗岩岩浆的演化机理进行了分离结晶的岩石学混合计算，其结果列于表 1。计算结果给出斜长石和黑云母分离的比例，同时给出各氧化物的残差（ $r=\text{实际值}-\text{估计值}$ ）和残差平方和（ Σr^2 ）。本文用岩石化学的平均成分和矿物探针分析结果的平均成分配对进行了计算。由表 1 可以看出，本区花岗岩混合计算结果的 Σr^2 很小，最大不超过 3.30。计算结果表明从正长花岗岩岩浆中分离出斜长石和黑云母可以演化为碱长花岗岩岩浆。从正长花岗岩岩浆中分别分离出 6.02%~23.93% 的斜长石和 5.29%~6.66% 的黑云母，可以获得 68.73%~87.99% 的碱长花岗岩岩浆。

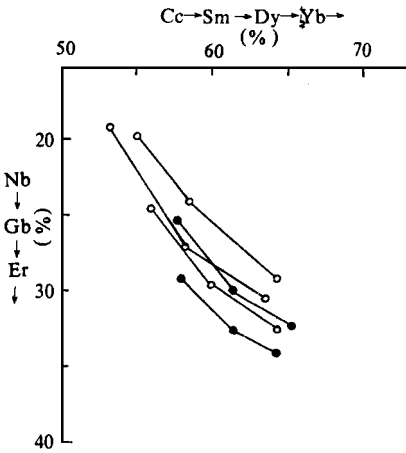


图 3 (Nd→Gd→Er) — (Ce→Sm→Dy→Yb) 图解
Fig. 3 (Nd→Gd→Er) — (Ce→Sm→Dy→Yb) diagram
● — 正长花岗岩；○ — 碱长花岗岩

4 岩浆的物理性质与岩浆演化

岩浆的密度计算结果表明，正长花岗岩岩浆的密度为 2.41~2.44 g/cm³，碱长花岗岩

浆的密度为 2.39~2.42 g/cm³，由正长花岗岩岩浆演化为碱长花岗岩岩浆，岩浆的密度是向减小的方向演化。

表 1 混合计算结果表
Table 1 Results of mixing calculation

	子岩浆	分离矿物		母岩浆	估计值	残差	组分	比例
	ez10	ez91—Pl	ez91—Bi	ez91				
SiO ₂	76.50	64.92	36.18	70.53	70.52	0.0079	碱长花岗岩	0.6873
TiO ₂	0.05	0.00	3.06	0.25	0.24	0.0119	Pl	0.2393
Al ₂ O ₃	11.85	21.67	13.061	4.741	4.20	0.5407	Bi	0.0666
FeO	1.03	0.07	21.61	2.34	2.16	0.1765		
MnO	0.11	0.02	0.83	0.17	0.14	0.0343		
MgO	0.88	0.00	10.02	0.42	1.27	-0.8520		
CaO	0.59	3.06	0.00	1.66	1.14	0.5223		
Na ₂ O	4.30	9.96	0.60	4.00	5.38	-1.3786		
K ₂ O	4.50	0.62	9.77	3.70	3.89	-0.1918		
P ₂ O ₅	0.14	0.00	0.04	0.27	0.100	0.1711		
				Σr ²	3.2901			
	ez10	ez24—Pl—1	ez24—Bi	ez24				
SiO ₂	76.50	61.93	36.46	72.99	72.97	0.0241	碱长花岗岩	0.8799
TiO ₂	0.05	0.17	3.44	0.12	0.24	-0.1163	Pl	0.0602
Al ₂ O ₃	11.85	22.75	12.86	12.47	12.48	-0.0057	Bi	0.0529
FeO	1.03	0.24	18.26	2.01	1.89	0.1229		
MnO	0.11	0.11	1.70	0.15	0.19	-0.0434		
MgO	0.88	0.07	11.87	1.36	1.41	-0.0467		
CaO	0.59	4.83	0.00	1.05	0.81	0.2403		
Na ₂ O	4.30	9.29	0.44	4.10	4.37	-0.2656		
K ₂ O	4.50	0.29	9.78	4.30	4.49	-0.1945		
P ₂ O ₅	0.14	0.00	0.00	0.32	0.12	0.1968		
				Σr ²	0.2382			
	alka	Pla	Bia	seyno				
SiO ₂	74.72	66.16	36.32	71.62	71.61	0.0098	碱长花岗岩	0.8385
TiO ₂	0.08	0.06	3.25	0.19	0.28	-0.0878	Pl	0.1008
Al ₂ O ₃	12.63	20.35	12.96	13.66	13.46	0.2017	Bi	0.0630
FeO	1.34	0.11	19.92	2.51	2.39	0.1208		
MnO	0.08	0.13	1.27	0.09	0.16	-0.0702		
MgO	0.37	0.03	10.95	0.66	1.00	-0.3429		
CaO	0.69	3.19	0.00	1.38	0.90	0.4798		
Na ₂ O	4.95	9.42	0.52	4.47	5.13	-0.6632		
K ₂ O	3.94	0.33	9.78	3.86	3.95	-0.0928		
P ₂ O ₅	0.07	0.00	0.02	0.18	0.06	0.1200		
				Σr ²	0.8785			

alka 为碱长花岗岩的平均化学成分; seyno 为正长花岗岩的平均化学成分; Pla、Bia 分别为正长花岗岩中斜长石和黑云母的平均成分。
?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.

本文利用 Shaw (1972)^[6] 提出的岩浆粘度 (η) 的计算公式计算岩浆的粘度, 其结果正长花岗岩岩浆的粘度为 $1.49 \times 10^9 \sim 8.80 \times 10^9 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 碱长花岗岩岩浆的粘度为 $2.53 \times 10^9 \sim 2.35 \times 10^{10} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 由正长花岗岩岩浆演化为碱长花岗岩岩浆, 粘度增大。

NBO/T 值表征岩浆的熔体结构, 计算结果正长花岗岩岩浆的 NBO/T 值在 0.0717 ~ 0.1353 之间, 碱长花岗岩岩浆的 NBO/T 值除个别样品外, 在 0.0328 ~ 0.0932 之间, 从正长花岗岩岩浆演化为碱长花岗岩岩浆, NBO/T 值减小, 说明岩浆的聚合程度增加。

参 考 文 献

- 1 Stormer J C, Jr H. A practical two-feldspar geothermometer: Amer. Mineral., 1975, 60, (7/8): 667 ~ 674
- 2 Powell M, Powell R H. Plagioclase-alkalifeldspar geothermometry revisited. Mineral. Mag., 1977, 41 (318): 253 ~ 256
- 3 Haselton H T, Howies G L, Hemingway B S, *et al.* Calorimetric investigation of the excess entropy of mixing in an albite-sandine solid solutions: lack of evidence for Na, K short-range order and implications for two-feldspar thermometry. Amer. Miner., 1983, 68: 394 ~ 413
- 4 洪大卫. 华南花岗岩的黑云母和矿物相及其矿化系列的关系. 地质学报, 1982, 50 (2): 149 ~ 164
- 5 赵海玲, 邓晋福, 杨秋利, 等. 河北省峪耳崖金矿床的花岗岩岩石学特征. 现代地质, 1993, 7 (增刊): 67 ~ 77
- 6 Shaw H R. Viscosities of magmatic liquids: an empirical method of prediction. Amer. J. Sci. 1972, 272: 870 ~ 893

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND MAGMATIC EVOLUTION OF GRANITE IN YUERYA, HEBEI

Zhao Hailing Deng Jinfu Di Yongjun Zhao Shike

(Department of Geology and Mineralogy Resources, China University of Geosciences, Beijing)

Yang Qiuli Zhang Jiling

(Yuerya Gold Mine)

Abstract This paper discusses the evolution of granite magma by mineralogical and geochemical characteristics. Plagioclases in syenogranite and alkali feldspar granite are oligoclase and albite, respectively. Alkali feldspars in granites are orthoclases and increase from syenogranite to alkali feldspar granite. Biotites in syenogranite and alkali feldspar granite are Mg-biotite and Fe-biotite, respectively. Granite magma evolved to alkali-rich and Fe-rich from syenogranite to alkali feldspar granite. REE characteristics suggest an evolution tendency from syenogranite to alkali feldspar granite. Petrological mixing calculation suggests that the evolution of an alkali feldspar granite from a syenogranite is controlled by fractional crystallization.

Key words granite; mineralogy; REE; evolution of magma; Hebei