

文章编号: 0379-1726(2003)01-0075-06

富锂氟花岗岩中存在岩浆成因 铁/锂白云母的实验证据

李福春^{1,2}, 朱金初², 饶冰², 王年生²

(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 南京大学 地球科学系 内生金属成矿机制研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘 要: 通过花岗岩-HF-H₂O 体系的熔化-结晶实验, 在 570~700 ℃、100 MPa 条件下获得了与淬火玻璃共存的石英+碱性长石+云母+萤石的矿物组合。电子探针分析结果表明, 实验产物中除黑云母外, 还有一部分为铁白云母和锂白云母, 这说明浅色云母可以形成于岩浆条件, 同时为自然界中存在岩浆成因锂白云母花岗岩和二云母花岗岩提供了新的实验证据。

关键词: 铁白云母; 锂白云母; 岩浆成因; 熔化-结晶实验; 富锂氟花岗岩

中图分类号: P599

文献标识码: A

0 引 言

在富锂氟含稀有金属花岗岩的成因问题上, 长期以来一直存在着岩浆说与交代说之间的激烈争论。蒙古翁岗岩^[1]、美国黄玉流纹岩^[2]、秘鲁麦库萨尼岩^[3]和中国湖南香花岭岩^[4]以及这些岩石中熔体包裹体^[5]的发现, 使越来越多的学者站到了岩浆说一边。同时, 高温高压实验也为岩浆说提供了非常有说服力的证据。Kovalenko^[6]、Glyuk *et al.*^[7]和熊小林等^[8]在花岗岩-HF-H₂O 体系的实验产物中发现了含黄玉的矿物组合。同时, 熊小林等的研究还证明, 实验产物中云母的成分相当于铁锂云母或黑鳞云母^[8]。李福春等^[9]在花岗岩体系的熔化-结晶实验产物中发现了八面体萤石。但迄今为止, 还没有在相近体系的实验产物中发现白云母或锂云母这两个演化端员矿物的报道。黑云母和黑鳞云母属于岩浆成因, 这在研究者中早已形成广泛的共识。而白云母和锂云母的成因长期以来一直存在争议。我们在花岗岩-HF-H₂O 体系的熔化-结晶实验产物中发现了大量自形的云母晶体, 并从中鉴定出了接近白云母端员的铁白云母和锂白云母, 这一实验结果将成为富锂氟花岗岩中存在岩浆成因铁白云母和(或)锂

白云母的有力证据。

1 实验条件和方法

实验初始试料为湖南香花岭钾长石钠长石花岗岩(样号为 XHL-29)粉末(402 号样品为 XHL-29 加 0.15% 的 SnO₂), 其主要矿物为石英、钾长石和钠长石, 次要矿物为白云母、黄玉和萤石等。XHL-29 样品的化学成分见表 1。

本文实验以 HF 的形式加入 F, 这样可使实验体系富氟和保持过铝性质。天然含黄玉花岗岩体系 F 含量为 1%~6%, 本文实验体系中 F 含量为 2.2%。考虑到对实验产物的熔体相和流体相同时进行研究的需要, 我们选择了较大的水/岩比(1:1 和 1.5:1)。

实验在南京大学内生金属成矿机制研究国家重点实验室内冷式快速淬火高温高压装置上完成。温度和压力的测量误差分别为 ±3 ℃ 和 ±3 MPa。根据熊小林等^[8]的相平衡实验结果, 在压力为 100 MPa 条件下, F 含量等于 2% 的钠长花岗岩-HF-H₂O 体系的液相线温度为 760 ℃, 固相线温度为 550 ℃。因此, 我们选定实验压力为 100 MPa, 结晶温度区间为 570~750 ℃。

收稿日期: 2001-11-21; 接受日期: 2002-03-19

基金项目: 国家自然科学基金(49873017); 高校博士点基金(1999028420); 南京大学内生金属成矿机制研究国家重点实验室开放课题(059925)

作者简介: 李福春(1964-), 男, 博士, 地球化学专业。

表 1 实验初始试料化学成分和实验产物中一些云母晶体的电子探针分析结果(%)

Table 1 Chemical components (%) of starting material and electron microprobe analyses of mica from experimental products

序号	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	F	-2F=O	总量
1	402	49.51	0.09	29.03	0.60	5.44	0.29	1.08	0.03	0.35	9.77	1.76	2.66	-1.12	97.75
2	402	43.22	0.03	25.32	1.19	10.75	0.63	2.45	-	0.30	9.56	0.83	3.64	-1.53	95.56
3	402	44.43	0.03	23.18	1.54	13.84	0.69	3.23	0.00	0.31	9.85	0.62	3.99	-1.68	99.40
4	402	43.87	0.05	22.69	1.44	12.92	0.69	3.00	0.01	0.23	9.36	0.68	3.63	-1.52	96.35
5	402	47.04	0.03	26.62	1.07	9.64	0.43	1.81	-	0.36	9.61	1.12	3.02	-1.27	98.34
6	402	58.83	0.01	23.76	0.45	4.07	0.17	0.70	0.01	0.29	7.32	2.44	3.05	-1.28	97.37
7	112	39.12	-	15.98	2.55	22.95	-	5.60	0.07	0.49	8.60	0.32	2.62	-1.10	98.20
8	112	37.60	-	17.78	2.14	19.23	-	7.67	0.02	0.30	7.42	0.21	3.37	-1.42	96.32
9	107	35.97	0.02	27.07	2.02	18.21	0.92	0.57	0.00	0.15	10.48	0.73	2.37	-0.99	96.88
10	105	41.88	-	17.68	2.00	18.02	-	2.18	0.60	0.42	7.32	0.94	1.15	-0.48	94.71
11	105	43.78	-	25.26	1.21	10.91	0.24	1.70	-	0.30	9.88	1.19	3.83	-1.61	100.68
XHL	29	74.31	-	13.26	-	1.54	0.20	-	0.40	3.32	5.07	0.16	1.10	-0.46	99.25

注：“-”表示含量低于检出限；Li₂O = 2.7 / (0.35 + MgO) - 0.13；XHL-29 为实验初始试料。

把实验试料和 HF 溶液装入黄金管中焊封；焊前焊后以及实验后均通过称量法检查焊封质量；在 840 ℃、100 MPa 条件下恒定 24 h 以上，以保证产生均一的熔体，然后在压力保持不变的情况下将温度降至设定值，恒定 72 ~ 200 h 后淬火（其中 402 号样品为分阶段降温实验，详见表 2）；把实验产物制成薄片和探针片进行详细观察，用 JXA-8800M 电子探针测定结晶相和熔体相成分。测定矿物成分的条件为：加速电压 15 kV，束流 1×10^{-8} A，束斑直径 1 μm，F 的读数时间 30 s，其他元素 10 s。

表 2 花岗岩-HF-H₂O 体系熔化-结晶实验条件和结果Table 2 Conditions and products of melting-crystallization experiments in the granite-HF-H₂O system

实验号	θ(℃)	t(h)	固相产物(矿物组合)	结晶相含量(%)
113	800	72	玻璃	0
114	750	72	石英+玻璃	3
105	700	144	石英+碱性长石+云母+萤石+玻璃	10
107	660	96	石英+碱性长石+云母+萤石+玻璃	15
112	620	72	石英+碱性长石+云母+萤石+玻璃	50
402*	570	200	石英+碱性长石+云母+萤石+玻璃	25

注：实验压力 100 MPa，体系中 F 含量 2.2%，固/液比：402 号样品为 1.5 : 1，其余均为 1 : 1；“*”表示分阶段降温结晶实验，温度由 840 ℃经 700 ℃(48 h)、650 ℃(48 h)、600 ℃(48 h)到 570 ℃(56 h)。

2 实验结果

自形石英晶体的六方双锥发育，但柱面不发育，为 β-石英。富钾的碱性长石在 750 ℃条件下开始结

晶，单体呈板状，可见放射状集合体。萤石呈八面体形态，在电子束轰击下产生荧光^[9]。

在温度 ≤ 700 ℃ 的实验产物中出现云母。云母被包裹在熔体玻璃之中，一般单个出现，随机地分布在石英晶体周围的玻璃中。在过冷度较大的实验产物中，可以见到成群出现的云母晶体，甚至可以见到放射状集合体。纵切面呈长条状（图 1），横切面呈片状，有时可见到清晰的假六边形切面（图 2），横切面最大可达 4 μm × 4 μm 左右。

402 号样品中的云母具有不规则的环带结构。

在电子探针图像上，内带明显偏亮，外带则偏暗（图 3），这反映了 Fe 和 Mg 含量的差异。云母的电子探针分析结果见表 1。

电子探针无法区分 Fe²⁺ 和 Fe³⁺，而且我们的实验是在未控制氧逸度的条件下进行的，因此正确估算 Fe₂O₃/FeO 比值成为一个颇为棘手的问题。虽然 Droop 提出了计算铁镁硅酸盐矿物中 Fe³⁺/Fe²⁺ 比值的经验公式，但又明确指出该公式不适合于含有阳离子空位的云母类矿物^[10]。我们查阅了大量近年发表各类云母的 Fe₂O₃ 和 FeO 分析数据，发现其 Fe₂O₃/FeO 比值大部分介于 0.06 ~ 0.15 之间。

Tischendorf *et al.*^[11] 最近发表的数据表明，各类云母的 Fe₂O₃/FeO 比值平均约 0.10。我们利用这一平均值估算了实验产物中云母的 Fe₂O₃ 和 FeO 的含量（表 1）。

在用电子探针分析结果讨论云母成分时，Li₂O 含量的确定是另一个难题，因为电子探针无法准确



图 1 105 号样品中云母纵切面 (×700)

Fig. 1 Vertical section of mica of sample 105 (×700)



图 2 402 号样品中假六边形云母晶体

Fig. 2 Pseudo-hexagonal mica crystals of sample 402
×240, 单偏光。

图 3 402 号样品中环带状云母晶体的成分相

Fig. 3 Composition zoning of zoned mica crystal
of sample 402

×1500。测点号从左到右依次为 1~6。

分析它的含量。Tischendorf *et al.*^[11]在对几百个云母含量数据进行回归分析的基础上总结出了计算 Li_2O 含量(%)的经验公式:

$$\text{Li}_2\text{O} = 2.7 / (0.35 + \text{MgO}) - 0.13$$

我们根据该公式计算了 Li_2O 含量,结果列于表 1。根据表 1 中的数据,以 $\text{O} + \text{F} + \text{OH} = 24$ 为基础计算了标准矿物分子式(表 3),其中 OH 按 $4 - \text{F}$ 计算。然后将计算结果投影到三角图上(图 4)。结果表明,实验产物中既可以出现端员组分(黑云母),又可以出现锂黑云母、铁白云母和锂白云母等中间组分。图 5 为具有环带结构的云母切面的某些元素含量变化曲线,内带 Fe、F 和 Mg 含量较高,为黑云母,而外带 Al 含量较高,为铁白云母和锂白云母,说明岩浆成因云母的成分是随着结晶作用而演化的。

表 3 实验产物中云母的标准矿物组成

Table 3 Normal mineral components of mica from experimental products

序号	样号	矿物	K	Na	Al ^M	Fe ³⁺	Ti	Fe ²⁺	Mg	Mn	Li	Al ^N	Si	OH	F	OH/F
1	402	锂白云母	1.74	0.09	3.69	0.06	0.01	0.64	0.22	0.03	0.98	1.09	6.91	2.83	1.17	2.41
2	402	铁白云母	1.83	0.09	2.99	0.13	0.00	1.35	0.55	0.08	0.50	1.50	6.50	2.27	1.73	2.71
3	402	黑云母	1.85	0.09	2.58	0.17	0.00	1.71	0.71	0.09	0.37	1.45	6.55	2.14	1.86	1.15
4	402	黑云母	1.74	0.07	2.30	0.16	0.01	2.43	0.65	0.09	0.40	1.60	6.40	2.33	1.67	1.39
5	402	铁白云母	1.76	0.10	3.27	0.12	0.00	1.16	0.39	0.05	0.65	1.24	6.76	2.63	1.37	1.91
6	402	锂白云母	1.25	0.08	3.62	0.05	0.00	0.46	0.14	0.02	1.31	0.13	7.87	2.71	1.29	2.10
7	112	锂黑云母	1.55	0.13	2.38	0.25	0.00	2.49	0.54	0.00	0.62	1.07	6.93	3.40	0.60	5.66
8	112	锂白云母	1.87	0.09	3.67	0.07	0.00	0.65	0.18	0.00	1.18	1.45	6.55	2.61	1.39	1.88
9	107	锂白云母	1.63	0.21	3.80	0.05	0.00	0.54	0.04	0.01	0.68	0.66	7.34	2.53	1.43	1.80
10	105	黑云母	1.78	0.15	1.42	0.31	0.00	3.12	1.36	0.00	0.21	1.64	6.36	2.65	1.35	1.96
11	105	黑云母	1.54	0.09	1.59	0.26	0.00	2.62	1.86	0.00	0.14	1.82	6.12	2.26	1.74	1.30

注:云母分子式以 $\text{O} + \text{F} + \text{OH} = 24$ 为基础计算;序号同表 1。

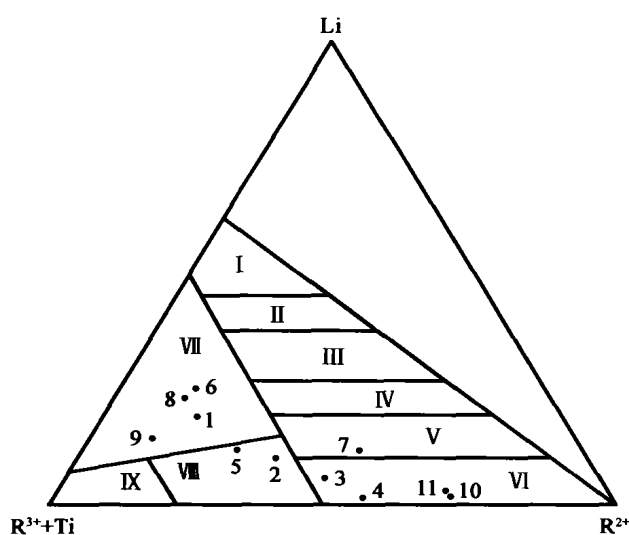


图 4 实验产物中云母投影图

Fig. 4 Projection diagram of mica of the experimental products
序号同表 2。R²⁺代表 Fe²⁺ + Mg + Mn²⁺, R³⁺代表 Fe³⁺ + Al^{VI}。

I. 锂云母; II. 绿鳞云母; III. 铁锂云母; IV. 黑鳞云母;
V. 锂黑云母; VI. 黑云母; VII. 锂白云母; VIII. 铁白云母;
IX. 白云母。

3 讨论

华南稀有金属花岗岩中云母类矿物包括两个演化系列,一为 Fe-Al 系列,即黑云母→黑鳞云母→高铁白云母→铁白云母→白云母;另一为 Fe-Li 系列,即黑云母→黑鳞云母→铁锂云母→铁质锂云母→锂云母。黑鳞云母属于岩浆成因,这一点在研究者中已形成共识,争论的焦点在白云母和锂云母等演化端员矿物的成因上。

在一般情况下,花岗岩中的白云母主要为交代

成因。由于早期岩浆熔体中缺少足够的 Al₂O₃,使得岩浆成因的白云母含量十分有限^[12]。在很宽的压力范围内,白云母的稳定区落在花岗岩最低熔融温度曲线之下,因此在普通花岗岩中一般不能以原生矿物出现^[12]。稀有金属花岗岩体系中高度富集的 Li 和 F 等挥发分可以大大降低岩浆的固相线温度^[13-16],在 100 MPa 条件下可降至 550 °C 以下^[14]。对于华南主要稀有金属花岗岩(特别是雅山花岗岩)来说,白云母的稳定区在很宽的压力范围内能够落在花岗岩初熔温度曲线之上^[17]。因此,含矿岩体中的白云母能够在固相线温度之上稳定存在,即从钠长石花岗质岩浆中直接晶出白云母是完全可能的。

本文实验产物中云母呈自形晶体分布于硅酸盐熔体之中,充分说明这些云母是岩浆结晶过程中形成的;黑云母、锂黑云母、铁白云母和锂白云母都能同时存在,这与野外地质事实相符,同时也说明天然富锂氟花岗岩中至少有一部分锂白云母是在岩浆阶段形成的。云母内带是在温度较高时形成的,FeO 和 MgO 含量也较高。随着温度的降低和结晶作用的进行,熔体中 Li 和 Al 相对富集,而 Fe 和 Mg 等相对贫乏,有利于云母向端员组分的方向演化。深色云母(如黑云母、黑鳞云母)和浅色云母(如铁白云母、锂白云母)可以在岩浆阶段共生,有时出现内有深色云母外有浅色云母的环带状结构。本文实验结果说明,岩浆结晶分异可以形成环带状结构的云母,即白云母花岗岩可以是岩浆成因的。

熊小林等^[18]的实验证明,在 500 ~ 580 °C 条件下可以结晶出成分相当于铁锂云母或黑鳞云母的云母晶体。而本文出现更接近端员组分的云母类型,这可能与实验体系中 H₂O 和 F 含量有关。前一个体系

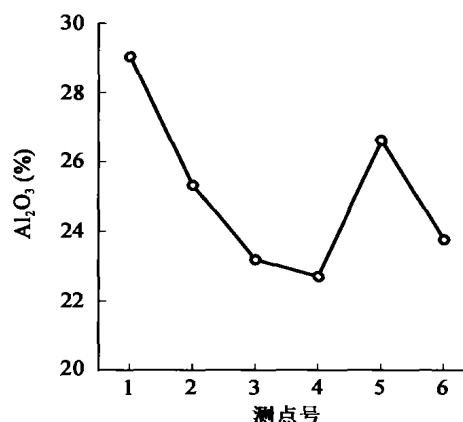
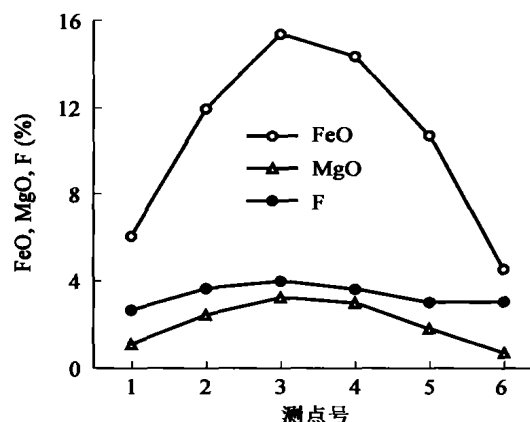


图 5 402 号样品中云母的某些元素含量变化曲线

Fig. 5 Variations of FeO, MgO, F and Al₂O₃ in mica of sample 402

测点位置见图 3, 从左到右依次为 1 ~ 6。

中 F 含量 6%, 水/岩比 1:4, 有利于形成 F 含量较高、水含量较低的矿物——黄玉; 后一个体系中 F 含量 2.2%, 水/岩比 1.5:1, 则有利于结晶出 F 含量较低而水含量较高的铁白云母或锂白云母。随着结晶分异作用的进行, 残余熔体中 F 含量增高, 但是为什么晚期结晶的云母 F 含量反而降低呢? 这个问题有待于进一步研究。很可能是, 环带中间的黑云母形成于萤石结晶之前或与萤石同时结晶, 而边部的锂白云母和铁白云母形成于萤石结晶之后。

体系中 F 的存在使岩浆固相线温度大大地降低^[13], 从而使通常被认为是典型热液矿物的白云母和锂云母能够在固相线之上形成。在岩浆结晶的早期, 体系中 F 含量较低, F 对熔体中钙长石组分的缓冲作用较小。随着石英的晶出, 残余熔体中 SiO₂ 含量降低而 Al₂O₃ 和 F 含量升高, 这为形成 (铁) 锂白云母创造了条件。

应该指出的是, 对于富锂氟花岗岩来说, Li 和 H₂O 等挥发分对熔体的性质和实验结果都有显著的影响。但由于电子探针目前还难以准确测定 Li 和 OH 的含量, 它们的含量只能通过估算获得, 这可能会影响云母的定名。

实际工作中通常假定 OH-F 位置完全被 OH 和 F 占据, 并根据 $OH = 4 - F$ 进行处理。这对组分比较复杂的云母来说过于简单化。通常, 云母分子式中 $OH + F$ 并不等于 4 (以 24 个 O 为基础), 即出现所谓“水过剩”或“水不足”的情况^[18]。但是, 对于相同实验体系来说, 这种系统误差对讨论云母成分的演化趋势不会有太大的影响。

虽然在实验初始试料中加入了 HF 溶液, 但估计不会对氧逸度有明显的影响。因此, 本文实验的氧逸度条件可能接近于实验初始试料的形成条件。实验初始试料属于过铝性质 (S 型), 其中不存在赤铁矿和硫酸盐等矿物, 但出现磁铁矿和硫化物等矿物, 且矿物包裹体中一般 CO₂ 与 CH₄ 共存, CO₂/CH₄ 比值主要在 5~10 之间。根据这些特征判断, 其形成的氧化还原环境具有偏还原性质, 其氧逸度可能在 NiO-Ni 缓冲线与 CO₂/CH₄ 缓冲线范围之间。

4 结 论

尽管本文实验中存在某些不确定因素, 但并不妨碍我们得出以下几个初步的结论。

(1) 随着结晶作用的进行, 云母的成分逐渐变化, 演化的大致趋势是: 黑云母→铁白云母→锂白云

母。

(2) 在岩浆阶段可以形成环带状云母, 其内带为深色云母, 外带为浅色云母。

(3) 铁白云母和锂白云母可以形成于岩浆条件, 说明锂白云母花岗岩和二云母花岗岩都可以是岩浆成因的。

在电子探针分析过程中得到王汝成、张文兰和陈小明三位老师的大力支持, 在此一并表示感谢!

参考文献 (References):

- [1] Коваленко В И, Кузьмин М И, Антипин В С, и др. Топазосодержащий кварцевый кератофир (Онгонит): Новая разновидность субвулканических жильных магматических пород [J]. Доклады АН СССР, 1971, 199(2): 430~433.
Kovalenko V I, Kuz'min M I, Antipin V S, et al. Topaz-bearing quartz keratophyre (ongonite): New variety of subvolcanic vein-type magmatic rocks [J]. Dokl AN USSR, 1971, 199(2): 430~433 (in Russian with English abstract).
- [2] Christaten E H, Burt D M, Sheridan M F, et al. The petrogenesis of topaz rhyolites from the Western United States [J]. Contrib Mineral Petrol, 1983, 83: 16~30.
- [3] Pichavant M, Herrera J V, Boulmier S. The Macusani glasses, SE Peru: Evidence of chemical fractionation in peraluminous magmas [A]. Mysen B O. Magmatic Processes: Physicochemical Principles, Special Publication 1 [C]. University Park, Pennsylvania: Geochemical Society, 1987. 359~373.
- [4] 杜绍华, 黄蕴慧. 香花岭岩的研究 [J]. 中国科学 (B), 1984, 14(11): 1 039~1 047.
Du Shao-hua, Huang Yun-hui. A study on the Xianghualingine [J]. Sci China (B), 1984, 14(11): 1 039~1 047 (in Chinese).
- [5] 常海亮, 黄惠兰. 尖峰岭似伟晶岩黄玉中的熔流包裹体 [J]. 岩石矿物学杂志, 1998, 17(1): 81~86.
Chang Hai-liang, Huang Hui-lan. Melt-fluid inclusions in topaz from the Jianfengling pegmatoid in Linwu Country, Hunan Province [J]. Acta Petrol Mineral, 1998, 17(1): 81~86 (in Chinese with English abstract).
- [6] Коваленко Н И. Взаимодействие гранита с растворами плавиковой кислоты в связи с изучением генезиса фтористых гранитов [J]. Геохимия, 1977, 15(4): 503~515.
Kovalenko N I. Interaction of granite with solution of hydrofluoric acid in connection with study of the genesis of fluoritic granites [J]. Geokhimiya, 1977, 15(4): 503~515 (in Russian with English abstract).
- [7] Глюк Д С, Анфилов В Н. Фазовые равновесия в системе гранит-H₂O-HF при давлении 1 000 кг/см² [J]. Геохимия, 1973, 11(3): 434~438.
Glyuk D S, Anfilogov V N. Phase equilibria in the system granite-H₂O-HF at a 1 000 kg/cm² pressure [J]. Geokhimiya, 1973, 11(3): 434~438 (in Russian).
- [8] 熊小林, 朱金初, 饶冰. 黄玉云英岩成因的初步实验研究

- [J]. 科学通报, 1996, 41(10): 917~919.
- Xiong Xiao-lin, Zhu Jin-chu, Rao Bing. A preliminary experimental investigation on genesis of topaz greisen [J]. Chinese Sci Bull, 1996, 41(10): 917~919 (in Chinese).
- [9] 李福春, 朱金初, 饶冰, 等. 富氟花岗岩中萤石岩浆成因的新证据[J]. 矿物学报, 2000, 20(3): 224~227.
- Li Fu-chun, Zhu Jin-chu, Rao Bing, *et al.* New evidence for magmatic genesis of fluorite in the F-rich granite [J]. Acta Mineral Sinica, 2000, 20(3): 224~227 (in Chinese with English abstract).
- [10] Droop G T R. A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria [J]. Mineral Mag, 1987, 51: 431~435.
- [11] Tischendorf G, Gottesmann B, Forster H, *et al.* On Li-bearing micas: Estimating Li from electron microprobe analyses and an improved diagram for graphical representation [J]. Mineral Mag, 1997, 61: 809~834.
- [12] Yoder H S, Eugster H P. Synthetic and natural muscovite [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1955, 8(5-6): 225~280.
- [13] Manning D C. The effect of fluorine on liquidus phase relationships in the system Qz-Ab-Or with excess water at 1 kb [J]. Contrib Mineral Petrol, 1981, 76: 206~215.
- [14] London D. The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatites [J]. Can Mineral, 1992, 30(3): 499~519.
- [15] 熊小林, 朱金初, 饶冰. 花岗岩-H₂O-HF 体系相关性及氟对花岗质熔体结构的影响[J]. 地质科学, 1997, 32(1): 1~9.
- Xiong Xiao-lin, Zhu Jin-chu, Rao Bing. Phase equilibria in the granite-H₂O-HF system and effect of fluorine on granite melt structure [J]. Sci Geol Sinica, 1997, 32(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- [16] 朱金初, 饶冰, 熊小林, 等. 富锂氟含稀有矿化花岗质岩石的对比和成因思考[J]. 地球化学, 2002, 31(2): 141~152.
- Zhu Jin-chu, Rao Bing, Xiong Xiao-lin, *et al.* Comparison and genetic interpretation of Li-F rich, rare-metal bearing granitic rocks [J]. Geochimica, 2002, 31(2): 141~152 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李福春, 朱金初, 金章东, 等. 钠长石花岗岩中雪球结构形成机理的研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2000, 19(1): 27~35.
- Li Fu-chun, Zhu Jin-chu, Jin Zhang-dong, *et al.* Formation mechanism of snowball texture in albite granite [J]. Acta Petrol Mineral, 2000, 19(1): 27~35 (in Chinese with English abstract).
- [18] 孙世华, 于洁. Fe-Al 云母及铝铁叶云母[J]. 矿物学报, 1984, 14(3): 226~235.
- Sun Shi-hua, Yu Jie. Fe-Al mica and aluminum siderophy [J]. Acta Mineral Sinica, 1984, 14(3): 226~235 (in Chinese with English abstract).

Experimental evidence for presence of magmatic Fe- and Li-muscovite in the Li-F-rich granite

LI Fu-chun^{1,2}, ZHU Jin-chu², RAO Bing², WANG Nian-sheng²

(1. College of Resource and Environment Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Department of Earth Sciences and State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: A mineral assemblage of quartz + alkali feldspar + mica + fluorite, coexisting with melt phase, is obtained in the melting-crystallization experiments above solidus in the F-rich granite-HF-H₂O system at 570~700 °C and 100 MPa. Analytical results by electron microprobe indicate that parts of mica in the run products are Fe-muscovite and Li-muscovite, besides biotite. The results suggest that Fe- and Li-muscovite can be formed under magmatic condition, which provides a new evidence for magmatic genesis of Li-muscovite granite and two-mica granite.

Key words: Fe-muscovite; Li-muscovite; magmatic origin; melting-crystallization experiments; Li-F-rich granite