

# 湘南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的造岩矿物特征及其成因意义

伍光英<sup>1,2</sup> 肖庆辉<sup>3</sup> 陈辉明<sup>1</sup> 马铁球<sup>4</sup> 冯艳芳<sup>2</sup> 闫全人<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;  
3. 国土资源部信息中心, 北京 100812; 4. 湖南省地质调查院, 湖南 长沙, 410011)

**摘要:**湘南地区燕山期成矿花岗岩有 3 种类型, 其主要造岩矿物化学成分和种属明显不同; 矿物的化学成分变异特征均显示出壳幔岩浆混合成因的特点: ①角闪石均属于钙质角闪石亚类。②MC 型早期次花岗岩中的黑云母多属镁质黑云母; CM 型晚期次花岗岩中的黑云母主要为铁质黑云母; C 型花岗岩中的黑云母主要为铁叶云母-铁黑云母, 且多为铁锂黑云母。3 类型花岗岩中黑云母的成分变异呈线型关系, 暗示有成因联系。③3 类型花岗岩中斜长石有明显区别, MC 型多为中长石, CM 的多为更长石, C 型多为钠长石。斜长石环带构造发育程度不同, CM 型早期次单元花岗岩中的斜长石环带最发育。④CM 型花岗岩及其暗色微粒包体中的碱性长石主要属于相对富钾的正长石, 包体中的个别属歪长石, 表明其形成温度较高; C 型花岗岩中碱性长石为相对贫钾的钠正长石及微斜长石。⑤造岩矿物特征和成分变异显示了成矿花岗岩的形成与壳幔岩浆混合作用有关, 形成 MC 型和 CM 型早期次单元花岗岩的岩浆演化主要是岩浆混合作用, 而 CM 型花岗岩晚期次的花岗岩类和 C 型花岗岩类的岩浆演化可能还存在分离结晶作用。

**关键词:**矿物成分; 造岩矿物; 锡多金属矿; 花岗岩; 湘南

**中图分类号:** P588.12<sup>1</sup>      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2008)05-0888-14

南岭地区不同时代、不同类型花岗岩的分布十分广泛<sup>[1-4]</sup>。南岭地区是中国重要有色金属成矿带之一, 由于绝大多数矿床与燕山期花岗岩有着直接联系, 长期以来对花岗岩的研究<sup>[4-11]</sup>多数与成矿花岗岩有关。湘南锡多金属矿集区(简称研究区)位于南岭中段北缘, 是南岭多金属成矿带的一个重要组成部分(图 1)。研究区丰富的金属矿产与燕山期花岗岩关系密切, 如柿竹园、骑田岭、香花岭、黄沙坪、宝山、大义山、水口山、川口、瑶岗仙、铜山岭等大型-超大型多金属矿, 都产于燕山期花岗岩类岩体或其附近围岩之中。近年来笔者通过对燕山期 3 种类型成矿花岗岩的地质岩石地球化学特征等方面的研究, 发现均显示出壳幔岩浆混合成因的特点<sup>[7-10]</sup>。笔者通过成矿花岗岩主要造岩矿物特征, 尤其是对矿物的化

学成分变异机制的研究, 以全面深入探讨花岗岩与成矿的关系。

## 1 区域地质背景

研究区位于扬子陆块与华夏陆块之间的钦—钱结合带上<sup>[12]</sup>, 地层自震旦系—第四系均有分布, 可划分为前震旦系、震旦系—志留系、泥盆系—中三叠统、晚三叠统一白垩系和新生界 5 个构造层, 构成以晋宁和加里东构造层为基底, 海西—印支构造层为盖层的二元结构<sup>[1-3]</sup>。研究区经历了 6 次大的构造运动, 其中加里东运动、印支运动、尤其是燕山运动最为强烈。

早古生代末的华夏陆块与扬子陆块在茶陵—郴州一带碰撞拼贴作用, 在陆块拼贴带的边缘隆起的



闪长斑岩、花岗斑岩等;含大量的暗色微粒铁镁质包体,伴生基性脉岩;岩体多呈小岩体或岩脉群产出。矿物组合为斜长石、钾长石、石英和黑云母,多含角闪石;副矿物为含磁铁矿的钛铁矿+锆石+独居石组合类型。产 Cu、Pb、Zn、Sb 和 Ag 等多金属矿。成岩成矿时代主要为燕山早期,属于镁质准铝质的钙碱性系列花岗岩类。

C 型花岗岩:包括瑶岗仙、香花岭、宝峰仙、上堡等花岗岩序列,以黑云母二长花岗岩为主,次有二云母二长花岗岩、二(白)云母正长花岗岩、白云母正长花岗岩、碱长和花岗斑岩等;岩体常呈岩株、岩枝和岩滴产出,伴生少量基性脉岩。矿物组合为斜长石、钾长石、石英和黑云母,含少量白云母;副矿物为钛铁矿+锆石+独居石组合类型;产 Sn、W、Nb、Ta 和稀土矿。成岩成矿时代主要为燕山早期;属铁质过铝质的钙碱性系列花岗岩类。

CM 型花岗岩:包括骑田岭、千里山、诸广山、大义山和锡田等花岗岩序列,以(角闪石)黑云母二长花岗岩为主,次有角闪石黑云母花岗闪长岩、黑(二)云母二长花岗岩、二(白)云母正长花岗岩等;晚期次单元含较多暗色微粒铁镁质包体,伴生基性岩墙或岩脉。岩石矿物组合为斜长石、钾长石、石英和黑云母,早期次单元则含少量角闪石,晚期次单元含白云母。副矿物为钛铁矿+锆石+独居石组合类型;部分早期次单元副矿物为含磁铁矿的钛铁矿+锆石+独居石组合类型。黄玉、锡石、黑钨矿、磷钇矿、黄铜矿、萤石、辉锑矿等含量高。矿化介于 MC 型和 C 型 2 类之间,早期次铁质至镁质准过铝质至弱过铝质的钙碱性系列花岗岩类有弱的 Cu、Pb、Zn 等多金属矿化,晚期次铁质弱过铝质-过铝质钙碱性系列花岗岩类产 Sn、W、Nb、Ta 和稀土矿。

### 3 主要造岩矿物特征及其成因探讨

#### 3.1 角闪石

角闪石主要产于 MC 型的石英闪长岩、花岗闪长岩或英云闪长岩中,(如铜山岭、水口山及宝山等岩体)以及 CM 型的花岗岩体早期次单元的角闪石黑云母花岗闪长岩、(角闪石)黑云母二长花岗岩中(骑田岭、大义山、千里山等岩体)。在 MC 型和 CM 型花岗岩中一般小于 5%;包体中含量较高,为 5%~

16%。C 型香花岭、宝峰仙等花岗岩中偶见。

##### 3.1.1 基本特征

角闪石镜下呈绿色—暗绿色,正中突起,斜切面消光角  $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ , $\{100\}$ 简单双晶常见。产出形式有多种:一是呈自形—半自形短柱状晶体,与其他造岩矿物镶嵌伴生,常见溶蚀结构,为岩浆早期结晶的矿物相。其次,呈自形—半自形柱状或针柱状的晶体,与黑云母、磁铁矿、钛铁矿、磷灰石和锆石等一起构成 5~15 mm 大小的暗色矿物团块或斑块;有的角闪石还具筛孔结构,筛眼中为消光位各异的他形粒状石英,显示出岩浆混合作用的特征。三是暗色微粒包体中的角闪石,呈自形—半自形短柱状,偶见呈半自形—他形不规则状;分布在斜长石和钾长石粒间,包裹或部分包裹基质中的斜长石,显示其形成较晚<sup>①</sup>。

##### 3.1.2 成分特征

角闪石主元素含量和晶格参数见表 1。MC 型铜山岭花岗岩角闪石的 CaO 和 MgO 的含量最高。CM 型花岗岩及其中包体的角闪石成分变化不大,岩石中角闪石的 MgO 和 TiO<sub>2</sub> 的含量比包体的角闪石的低。角闪石 MF 值变化为 0.19~0.53,大部分为 0.25~0.40,都较低。

CM 型骑田岭花岗岩角闪石的 MF 值为 0.19~0.39,较小;包体角闪石的 MF 值略大。如 CM 型骑田岭的微粒包体中的角闪石的 MF 值为 0.25~0.53,略大于其寄主岩石角闪石的 MF 值 (0.22~0.39),包体的角闪石相对富镁贫铁。

MC 型铜山岭等花岗岩 MF 值为 0.53,最大。C 型花岗岩的角闪石 MF 值为 0.20~0.34,中等。MC 型—CM 型—C 型花岗岩中角闪石的 MF 值总体略有减小,CM 型中变化最大。

按照 Leake 等<sup>[8]</sup>的分类方法,都属于钙质角闪石组。除铜山岭位于阳起石区和骑田岭的微粒包体位于浅闪石区外,其他样品均位于铁浅闪石区。

##### 2.1.3 成因探讨

角闪石的 Si-Ti 变异图解<sup>[13]</sup>中(图 2),MC 型铜山岭岩体的角闪石应属于退变质成因的或交代成因,这与在镜下发现该角闪石经过蚀变作用的特征一致。九嶷山岩体的角闪石呈自形—半自形的晶形,没有蚀变,投在 II 区和 IV 区的重叠区,是中酸性岩浆直接结晶的产物。

①中国地质调查局宜昌地质调查中心(付建明等). 中南地区基础地质综合研究项目阶段成果报告(2002-2010), 2005.

表 1 角闪石的电子探针分析结果(%)  
Table 1 Microprobe analysis of hornblendes (%)

岩体	九嶷山花岗岩		铜山岭	骑田岭花岗闪长岩—二长花岗岩		骑田岭暗色包体				
	D116	D117	D139-1	D203-1	D201	XN08-3	XN08-4	XN10-1a	XN10-1b	ZK601
SiO <sub>2</sub>	42.23	44.63	51.31	41.55	42.85	41.37	42.87	43.47	42.54	44.36
TiO <sub>2</sub>	1.34	1.48	0.27	0.76	1.39	1.23	2.14	1.77	1.74	1.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.15	7.57	3.39	8.74	7.95	8.41	8.11	7.64	8.02	8.03
*Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.99	6.78	0.80	2.39	5.49	0.53	3.32	3.21	4.97	5.25
*FeO	24.93	21.29	17.29	24.44	21.77	24.61	20.79	18.54	20.23	14.86
MnO	0.72	1.04	1.02	0.79	0.69	0.24	0.40	0.40	0.74	0.48
MgO	3.28	4.79	10.77	4.19	5.33	4.69	6.52	7.84	5.98	9.40
CaO	10.33	10.11	11.95	10.60	10.55	10.29	10.25	10.23	10.25	10.37
Na <sub>2</sub> O	2.08	1.68	0.53	2.36	2.02	2.59	2.37	2.19	1.97	1.87
K <sub>2</sub> O	1.24	0.97	0.29	1.46	1.26	1.32	1.27	1.30	1.40	1.26
Total	99.29	100.34	97.62	97.28	99.30	95.28	98.04	96.59	97.84	97.59
Si	6.62	6.78	7.62	6.62	6.62	6.69	6.64	6.75	6.62	6.71
Al <sup>IV</sup>	1.38	1.22	0.38	1.38	1.38	1.31	1.36	1.25	1.38	1.29
Al <sup>VI</sup>	0.13	0.13	0.22	0.26	0.07	0.30	0.12	0.15	0.10	0.15
Fe <sup>3+</sup>	0.59	0.78	0.09	0.29	0.64	0.06	0.39	0.38	0.58	0.60
Ti	0.16	0.17	0.03	0.09	0.16	0.15	0.25	0.21	0.20	0.20
Fe <sup>2+</sup>	3.27	2.70	2.15	3.26	2.81	3.33	2.69	2.41	2.63	1.88
Mn	0.10	0.13	0.13	0.11	0.09	0.03	0.05	0.05	0.10	0.06
Mg	0.77	1.08	2.39	1.00	1.23	1.13	1.51	1.81	1.39	2.12
Ca	1.74	1.65	1.90	1.81	1.75	1.78	1.70	1.70	1.71	1.68
Na	0.63	0.49	0.15	0.73	0.61	0.81	0.71	0.66	0.60	0.55
K	0.25	0.19	0.05	0.30	0.25	0.27	0.25	0.26	0.28	0.24
Total	14.33	15.33	15.11	15.84	15.60	15.87	15.66	15.62	15.58	15.47
M*	0.16	0.23	0.50	0.21	0.26	0.25	0.32	0.39	0.30	0.46
MF	0.19	0.29	0.53	0.23	0.30	0.25	0.36	0.43	0.35	0.53
10 <sup>8</sup> Pa	4.16	3.44	0.19	4.80	3.88	4.62	4.03	3.64	3.99	3.81
深度 km	13.71	11.35	0.16	15.85	12.82	15.25	13.31	12.02	13.18	12.56

注:M\*=Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>+Mn),MF=Mg/(Mg+Fe)原子比;资料来源:中国地质调查局宜昌地质调查中心付建明等,中南地区基础问题综合研究项目阶段成果(2002-2010)。

CM型骑田岭花岗岩和微粒包体中的角闪石主要分布在Ⅱ区,其次为Ⅳ区,显示既有基性岩火成成因的角闪石的特点,又有中酸性岩浆岩角闪石的特点;也说明包体为火成成因的同生包体。

在角闪石的成因分类图上<sup>[14]</sup>(图3),花岗岩及包体中的角闪石都落在壳幔混合源区,说明可能是基性岩浆与酸性岩浆混合作用的产物。CM型花岗岩及微粒包体中的角闪石的TiO<sub>2</sub>含量相对较高,且包体与花岗岩中的投影范围重叠,暗示它们之间有成因联系,显示出壳幔岩浆混合成因角闪石的特点。

### 3.2 黑云母

黑云母是花岗岩及暗色微粒包体中最常见的暗色矿物。不同花岗岩体中含量一般在3%~10%。普遍具

有明显的多色性,棕褐—浅黄色,部分为黄绿—无色。

#### 3.2.1 形态特征

呈自形—半自形板片状单晶散布黑云母;部分晶体被溶蚀后呈蚕蚀状。常常包裹有早期结晶的锆石、磁铁矿和磷灰石等,但在花岗岩类岩石和闪长质包体中的黑云母包裹的磷灰石有不同特点,前者为短—长柱状晶形,后者以针状晶形为主。

呈板状、鳞片状集合体的黑云母;与角闪石、磁铁矿、锆石、磷灰石等构成暗色矿物团块或斑点,见于CM型骑田岭、大义山、千里山、砂子岭等花岗岩和MC型铜山岭、水口山、宝山等花岗岩中;C型香花岭、宝峰仙、西山等花岗岩中也有暗色矿物团块,但团块中没有角闪石。

呈填隙状分布在长石与石英粒间黑云母;有的

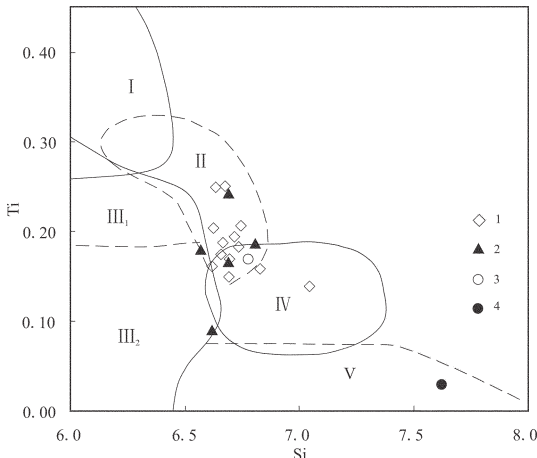


图2 钙角闪石的成因分类

I—火山岩中的火成角闪石；II—基性超基性岩中的火成角闪石；III<sub>1</sub>—中级变质岩中的角闪石；III<sub>2</sub>—高级变质岩中的角闪石；IV—中酸性侵入岩中的角闪石；V—退变的或交代成因的角闪石；1—包体；2—骑田岭；3—九嶷山；4—铜山岭

Fig.2 Genetic classification of Ca-hornblende

I—Igneous hornblende in volcanic rocks; II—Igneous hornblende in basic and ultrabasic rocks; III<sub>1</sub>—Hornblende in middle-grade metamorphic rocks; III<sub>2</sub>—Hornblende in high-grade metamorphic rocks; IV—Hornblende in intermediate-acid intrusive rocks; V—Hornblende retrometamorphic or metasomatic origin; 1—Inclusion; 2—Qitianling; 3—Jiuyishan; 4—Tongshanling

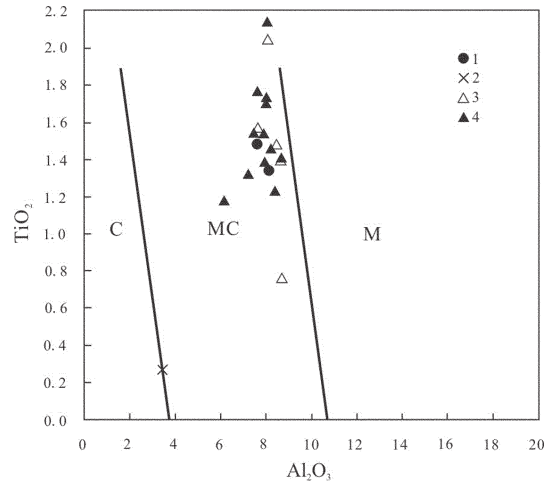


图3 角闪石成因分类图

C—壳源；M—幔源；MC—壳幔混源；1—九嶷山；2—铜山岭；3—骑田岭花岗岩；4—骑田岭包体

Fig.3 Genetic classification of hornblendes

C—crustal; M—mantle-derived; MC—crust-mantle mixing; 1—Jiuyishan; 2—Tongshanling; 3—Qitianling granite; 4—Qitianling inclusion

包裹石英、斜长石、磷灰石、锆石和磁铁矿等矿物构成筛状结构；有的交代、包裹钾长石，它们无疑是岩浆晚期结晶的。这种黑云母主要见于C型花岗质岩中，含量较少。

此外，黑云母可作为角闪石、橄榄石和辉石的反应边。

### 3.2.2 成分特征

黑云母主元素含量和晶格参数见表2，黑云母

的MF值变化为0.07~0.61。其中，MC型花岗岩黑云母的MF值变化为0.37~0.61；CM型花岗岩早期次单元中的黑云母的MF值变化为0.16~0.53，多大于0.25；晚期次单元的黑云母的MF值变化为0.01~0.20；其中的暗色微粒包体中的黑云母的MF值变化为0.24~0.40。C型花岗岩中的黑云母的MF值变化为0.07~0.31，多小于0.25。

在黑云母的Mg-(Al<sup>VI</sup>+Fe<sup>3+</sup>+Ti)-(Fe<sup>2+</sup>+Mn)分类图(图4~5)上，MC型石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩中的黑云母主要为镁质黑云母，少数为富镁的铁质黑云母。CM型黑云母二长花岗岩中的

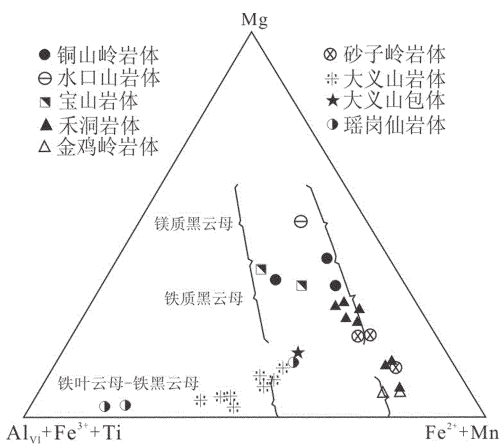


图4 黑云母分类图

Fig.4 Classification of biotite

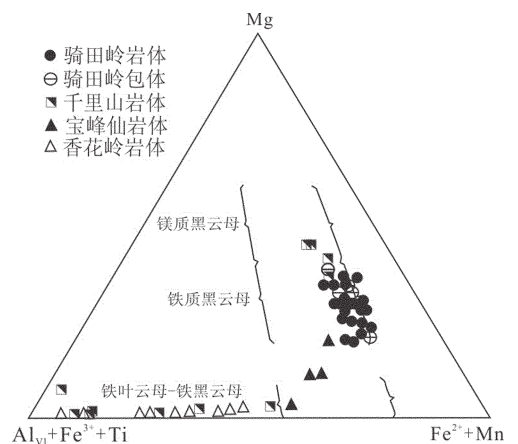


图5 黑云母分类图

Fig.5 Classification of biotite

表 2 黑云母的成分分析结果(%)

Table 2 Analytical results for chemical compositions of biotite (%)

岩体	铜山岭		水口山		宝山		九嶷山		骑田岭																
	岩性	花岗闪长岩	花岗闪长斑岩	二长花岗岩	二(正)长花岗岩	二长花岗岩	花岗闪长岩	闪长质包体	样号	铜-1	方 1	山-1	山-2	D141	D142	D203	XN09	D210	D213	D215	XN08	XN10	XN10		
SiO <sub>2</sub>	34.91	36.21	35.26	34.26	36.12	35.06	36.26	36.55	37.09	37.01	36.67	36.43	36.13	37.17											
TiO <sub>2</sub>	3.52	3.99	4.34	4.06	2.72	2.24	3.83	3.45	4.34	4.08	3.92	3.67	4.50	4.18											
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.29	15.59	14.72	14.97	11.05	13.73	12.00	13.58	12.15	12.06	12.65	12.39	12.21	12.28											
FeO*	20.13	13.74	14.55	17.72	34.84	33.59	27.27	27.61	25.99	27.54	23.63	26.00	25.56	22.90											
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.84	2.45	9.02	4.05																					
MgO	10.63	13.97	9.57	8.64	1.87	1.50	5.98	4.42	6.15	5.90	7.24	6.53	7.24	8.77											
MnO	0.39	0.22	0.33	0.35	0.47	0.42	0.39	0.49	0.09	0.52	0.40	0.26	0.59	0.27											
CaO	0.73	0.42	0.50	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00											
Na <sub>2</sub> O	0.19	0.29	0.40	0.20	0.10	0.02	0.43	0.34	0.67	0.76	0.33	0.59	0.29	0.30											
K <sub>2</sub> O	8.00	8.46	8.80	6.66	9.36	8.93	9.18	9.09	9.17	9.55	9.40	8.77	9.48	9.09											
Total	94.63	95.56	97.49	91.81	96.52	95.49	94.69	95.53	95.03	96.77	93.62	94.64	96.00	94.96											
Si	2.76	2.76	2.77	2.80	3.02	2.95	2.96	3.00	3.01	2.96	2.99	2.98	2.91	2.99											
Al <sup>IV</sup>	1.24	1.24	1.23	1.20	1.06	1.16	1.13	1.13	1.11	1.13	1.13	1.13	1.16	1.13											
Al <sup>VI</sup>	0.10	0.16	0.13	0.24	0.03	0.21	0.02	0.18	0.05	0.01	0.09	0.07	0.00	0.03											
Ti	0.21	0.23	0.26	0.25	0.17	0.14	0.24	0.21	0.27	0.25	0.24	0.23	0.27	0.25											
Fe <sup>3+</sup>	0.11	0.14	0.53	0.25	0.17	0.21	0.19	0.27	0.24	0.16	0.24	0.22	0.19	0.25											
Fe <sup>2+</sup>	1.33	0.88	0.96	1.21	2.27	2.15	1.67	1.63	1.53	1.68	1.38	1.56	1.54	1.30											
Mg	1.25	1.59	1.12	1.05	0.23	0.19	0.73	0.54	0.74	0.70	0.88	0.80	0.87	1.05											
Mn	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02											
Ca	0.06	0.03	0.04	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00											
Na	0.03	0.04	0.06	0.03	0.02	0.00	0.07	0.05	0.11	0.12	0.05	0.09	0.05	0.05											
K	0.81	0.82	0.88	0.69	1.00	0.96	0.96	0.95	0.95	0.97	0.98	0.92	0.98	0.93											
MF	0.47	0.61	0.43	0.42	0.09	0.07	0.28	0.22	0.30	0.27	0.35	0.31	0.33	0.40											
方法	湿化学				探针	探针	探针	探针	探针	探针	探针	探针	探针	探针											
注	本文	本文	本文	本文	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①											

黑云母则以铁质黑云母为主,而 C 型正长花岗岩和碱长花岗岩中的黑云母,则绝大部分为铁叶云母-铁黑云母。

铜山岭、水口山、宝山等 MC 型花岗岩中的黑云母大多属于镁质黑云母,部分为铁质黑云母。宝峰仙、香花岭、瑶岗仙、上堡等 C 型花岗岩中的黑云母全部属于铁叶云母和铁黑云母。骑田岭、大义山、千里山等 CM 型花岗岩的早期次单元及其暗色微粒包体中的黑云母大部分属于铁质黑云母,而晚期次单元花岗岩中的黑云母为铁叶云母和铁黑云母。

不同成矿花岗岩中的黑云母,其种属明显不同。

与铜(铅锌)矿化有关的 MC 型成矿花岗岩的黑云母,多数为镁质黑云母;与钨(钼铅锌)矿化和轻稀土矿化有关的 CM 型花岗岩的黑云母主要为铁质黑云母,部分为铁叶云母-铁黑云母。与锡铌钽(铅锌)和重稀土有关的成矿 C 型铝质花岗岩的黑云母,主要为铁叶云母-铁黑云母,且多为铁锂黑云母。

### 2.2.3 成因探讨

黑云母的种属和成分,特别是 MF 值可以作为花岗岩成因类型的重要判别标志。徐克勤等对华南花岗岩的统计分析后认为,同熔型花岗岩的 MF 值为 0.384~0.626,改造型花岗岩为 0.282~0.367<sup>[15]</sup>。与

续表 2

岩体	大义山							千里山				宝峰仙		香花岭	
	正长花岗岩		二长花岗岩			包体		正长花岗岩		二长花岗岩		二长花岗岩		正长花岗岩	
样号	bi-1	bi-2	bi-3	bi-3	bi-3	bi-4	SN-1	SN-3	S-1	SN-2	宝-1	高-3	6263	铁-1	
SiO <sub>2</sub>	37.23	40.76	36.15	37.01	37.53	38.21	37.52	44.01	45.65	37.84	37.39	34.32	34.33	44.24	40.01
TiO <sub>2</sub>	2.66	0.63	2.39	2.70	3.29	1.13	2.07	0.08	0.78	2.55	2.52	3.59	2.43	0.08	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.12	23.45	20.30	20.50	20.43	23.04	21.43	26.83	27.41	13.65	14.66	12.46	15.68	21.09	20.91
FeO*	20.99	16.20	23.37	22.87	21.76	19.58	21.26	5.18	1.97	18.85	15.92	22.99	24.85	9.98	15.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								4.54	3.60	1.21	2.68	5.98	4.21	2.90	1.83
MgO	2.31	0.94	3.04	2.23	1.74	0.61	2.03	0.11	2.33	10.58	11.62	4.57	2.51	0.10	0.20
MnO	0.80	1.23	0.82	0.90	1.33	1.28	0.88	0.75	0.24	0.36	0.69	0.57	0.40	1.81	0.86
CaO	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.05	0.04	0.23	0.32	0.46	0.22	1.05	0.72	0.11	0.22
Na <sub>2</sub> O	0.19	0.29	0.21	0.20	0.21	0.30	0.13	0.24	0.58	0.17	0.11	0.18	0.21	0.42	0.29
K <sub>2</sub> O	9.66	9.74	9.92	9.87	9.53	9.88	9.67	9.80	9.77	9.06	9.15	8.56	8.61	10.66	10.08
Total	93.98	93.24	96.20	96.29	95.86	94.08	95.03	91.77	92.65	94.73	94.96	94.27	93.95	91.39	90.50
Si	3.11	3.41	2.95	3.03	3.10	3.21	3.09	3.68	3.70	3.00	2.93	2.92	2.92	3.88	3.51
Al <sup>IV</sup>	0.90	0.60	1.06	0.98	0.91	0.80	0.92	0.32	0.30	1.00	1.07	1.08	1.08	0.12	0.49
Al <sup>VI</sup>	1.09	1.72	0.90	1.00	1.08	1.48	1.16	2.33	2.32	0.28	0.29	0.17	0.49	2.06	1.67
Ti	0.17	0.04	0.15	0.17	0.21	0.07	0.13	0.01	0.05	0.15	0.15	0.23	0.16	0.01	0.02
Fe <sup>4+</sup>	0.12	0.09	0.13	0.13	0.12	0.11	0.16	0.29	0.22	0.07	0.16	0.38	0.27	0.19	0.12
Fe <sup>3+</sup>	1.34	1.04	1.46	1.43	1.38	1.26	1.80	0.36	0.13	1.25	1.04	1.64	1.77	0.73	1.16
Mg	0.29	0.12	0.37	0.27	0.22	0.08	0.75	0.01	0.28	1.25	1.36	0.58	0.32	0.01	0.03
Mn	0.06	0.09	0.06	0.07	0.10	0.09	0.56	0.05	0.02	0.02	0.05	0.04	0.03	0.13	0.06
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.51	0.02	0.03	0.04	0.02	0.10	0.07	0.01	0.02
Na	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05	0.52	0.04	0.09	0.03	0.02	0.03	0.03	0.07	0.05
K	1.04	1.04	1.03	1.03	1.00	1.06	1.52	1.05	1.01	0.92	0.92	0.93	0.93	1.19	1.13
MF	0.16	0.09	0.19	0.15	0.12	0.05	0.27	0.02	0.44	0.49	0.53	0.22	0.14	0.01	0.02
方法	探针	探针	探针	探针	探针	探针	探针	湿化学							
注	本文	本文	本文	本文	本文	本文	本文	本文	本文	本文	本文	②	②	②	③

注:来源:①中国地质调查局宜昌地质调查中心付建明等,中南地区基础问题综合研究项目阶段成果(2002-2010);②湖南省区调所 1:5 万蓝山县、临武县幅区域地质调查报告,1989;空白处为未检出或未测试。

此类似,地矿部南岭花岗岩专题组则认为,S型花岗岩中的黑云母的 MF 值小于 0.50,I型花岗岩中黑云母的 MF 值大于 0.50<sup>[2]</sup>。若按这个标准,研究区成矿花岗岩类(包括暗色微粒包体)中大都应属于 S 型花岗岩。但是,近年来的研究显示,许多 C 型花岗岩中黑云母的 MF 值也很低,与 S 型花岗岩中黑云母的 MF 值分布范围重叠,它们的 MF 值小于 0.2。因此,把黑云母的 MF 值作为花岗岩成因类型判别标志时应该区别对待。

在黑云母的 TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成因分类图<sup>[2]</sup>中,研究区 MC 型和 CM 型花岗岩类岩体中的早期次单元花岗岩及包体中的黑云母都落在壳幔混合源区,显

示出岩浆混合成因的特点;CM 型花岗岩类岩体中的晚期次单元花岗岩和 C 型铝质花岗岩类中的黑云母都落在壳源区;从该图上还可看出,3 种类型花岗质岩石及暗色微粒包体中的黑云母的分布范围重叠,且呈直线型关系,暗示它们之间有成因联系。

花岗岩类岩石及包体中的黑云母含量一般为 3%~16%,在角闪石黑云母花岗闪长岩和包体中,含量为 10%~18%,平均为 6%左右。假若岩石中的 MgO 全部进入到黑云母中,在 800℃时花岗质熔体中 MgO 的溶解度为 0.15%<sup>[6]</sup>,以花岗岩类岩石中黑云母的 MF 值求得岩石中黑云母的理论含量为 1.1%~2.5%;若黑云母与花岗岩的密度比为 1.16<sup>[13]</sup>,

则岩石中黑云母所占的体积百分比最大不过 4%。因此,导致研究区成矿花岗岩中黑云母高含量,原因可能是岩石中的黑云母部分是外来基性岩浆混入的再混合作用或继承下来的地壳岩石部分熔融过程中耐熔残余组分的混入,有学者提出了相似结论<sup>[17]</sup>。

### 3.3 斜长石

#### 3.3.1 基本特征

花岗岩及微粒包体中的斜长石含量一般为 15%~35%。呈灰色,风化后略带浅红色,一般呈自形一半自形板状;结晶时间一般早于钾长石和石英。而在钠长石化花岗岩中,发育糖粒状、叶片状、自形板状的钠长石,多沿着钾长石晶体的边缘或裂隙进行交代,有的钠长石或钠-奥长石与石英构成蠕英石交代钾长石。此外,也有直接从岩浆中晶出的钠长石存在。例如香花岭地区的“香花岭岩”岩脉中钠长石呈斑晶出现。

一般而言,MC 型和 CM 型花岗闪长岩和角闪石黑云母二长花岗岩中的斜长石的环带构造要比黑云母二长花岗岩和正长花岗岩中的发育,而 C 型花岗岩中的斜长石几乎没有环带构造。浅成相花岗质岩石的斜长石比中深成相花岗岩类的斜长石环带构造发育。

CM 型花岗岩体的早期次单元花岗岩中,斜长石的成分愈偏基性,环带构造愈发育。此外,不同类型花岗岩中的斜长石,环带构造的特点也有所不同。在 MC 型和 CM 型花岗闪长岩、角闪石黑云母二长花岗岩、黑云母二长花岗岩及正长花岗岩等中深成相岩石中,它们一般以正环带为主,多为间隔式的环带。而浅成相的花岗斑岩中,它们则以韵律式环带为主。由此可见,研究区花岗岩中斜长石的环带构造的发育程度及其特点,在一定程度上反映了岩浆成分和岩浆结晶条件的变化趋势。

花岗岩中斜长石的双晶以钠长石律聚片双晶最普遍,此外有肖钠长石律、钠长-肖钠长石律和卡钠复合律双晶,一般在 MC 型和 CM 型花岗岩中双晶较发育,类型较多。

#### 3.3.2 成分特征

不同类型花岗岩中的斜长石大部分  $Ab > An > Or$ (表 3)。 $An-Ab-Or$  分类图上(图 6,7),明显看出成分变化较宽,总体来看, $An$  为 0~50,主要为钠长石-更长石,次为中长石,个别拉长石。MC 型花岗岩中斜长石的成分主要为中长石,次为更长石和拉

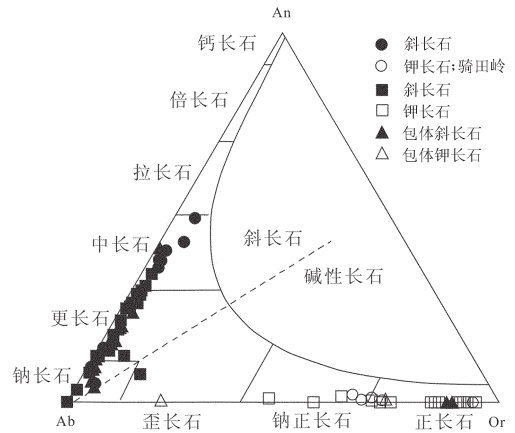


图 6 花岗岩岩体的长石分类图  
西山:1—斜长石;2—钾长石;骑田岭:3—斜长石;  
4—钾长石;5—包体斜长石;6—包体钾长石

Fig.6 Classification of plagioclases from the typical granitic bodies

长石。C 型铝质花岗岩中斜长石主要为中长石,次为更长石,少量钠长石。

CM 型的骑田岭、大义山、千里山等花岗岩体与微粒包体中的斜长石  $An$  值变化没有明显的区别,  $An$  值大多数小于 30, 这说明包体与其寄主岩石是在相近的物理化学条件下同时的结晶。但斜长石的成分非常复杂,成分变化大。CM 型花岗岩体的早期次单元花岗岩中,斜长石多为更长石,次有中长石,个别拉长石,而晚期次单元花岗岩中斜长石多为钠长石,次有更长石。这与岩石中斜长石的环带结构发育的现象是一致的。其环带斜长石核的成分具有 3 个分布范围,即钠长石核、更长石核和中长石核,核均受到了熔蚀。岩体早期次单元花岗岩中斑晶环带斜长石常见钠长石熔蚀核向外变为具环带结构的中长石;熔蚀核外有一窄的富钙质带,并且富钙质带中有较多孔洞,其外带向富钙的方向演化,如大义山岩体。在骑田岭、千里山(角闪石)黑云母二长花岗岩中还见到一种类似环斑结构的现象,熔蚀核为钾长石和石英,向外变为更长石,而最外边为中长石。骑田岭微粒包体中的拉长石向外变为具环带结构的中长石和钠长石,熔蚀核可能是混合前基性岩浆的残余斑晶。

#### 3.3.3 成因探讨

CM 型花岗岩体中的斜长石成分的变异暗示岩浆发生了基性和酸性岩浆混合作用,证据如下:

①一般情况下,酸性岩中的斜长石为更长石和



钠长石,在核部可出现中长石,不会出现拉长石熔蚀核,因为拉长石一般是较基性岩的成分。

②钠长石熔蚀核向外结晶出一窄的中—拉长石带,并出现针状磷灰石包体带,而针状磷灰石是一种淬火结构,反映了热的岩浆遇到冷的岩浆快速结晶的过程,这种情况只有在岩浆混合的情况下才可能发生。

③岩体中既具有钠长石熔蚀核和更长石熔蚀核,也具有拉长石熔蚀核,说明它是酸性岩,而不是基性岩。

④在同一薄片,可见斜长石中更长石熔蚀核向边部正常方向演化,却也有钠长石熔蚀核向外结晶拉长石或中长石的反向演化的情形,这几种现象

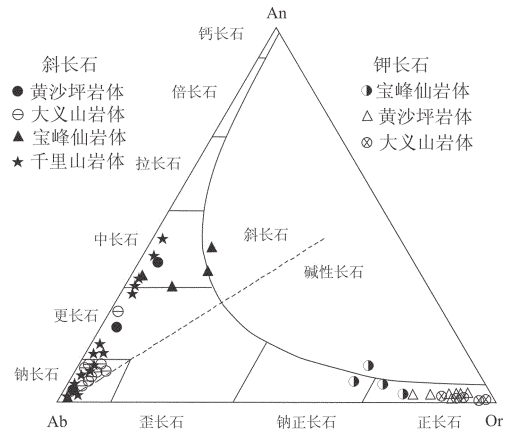


图7 花岗岩岩体的长石分类图

Fig.7 Classification of Plagioclases from the typical granite bodies

表3 斜长石成分电子探针分析结果/%

Table 3 Microprobe analysis of the chemical composition of plagioclases/%

岩体	样号	岩性	测定物	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	An	Ab	Or	注
西山	D301	二长花岗岩	斑晶	63.09	0.01	21.95	0.15	0	0	8.37	7.19	0.35	0	101.09	38.4	59.7	1.9	
	斑晶		58.29	0.01	25.8	0.12	0.01	0.01	7.5	6.88	0.53	0.08	99.22	36.4	60.5	3.1	③	
	D15-1	英安流纹(斑)岩	斑晶	53.14	0	27.54	0.3	0	0	10.85	5.42	0.88	0.02	98.13	50.0	45.2	4.8	
	D17-1		基质	64.82	0	21.82	0.15	0	0.01	2.31	11.4	0.1	0.01	100.62	10.0	89.5	0.5	
骑田岭	D203-1	二(正)长花岗岩	基质	64.14		20.62					11.14	0.05	0.37	96.32	0.0	99.7	0.3	
			斑晶	60.95		24.23	0.12	0.05		5.78	9.28	0.25	0.26	100.92	25.3	73.4	1.3	③
			基质	64.83	0.01	21.15	0.09			2.88	11.07	0.22	0.26	100.51	12.4	86.4	1.1	
	D210-1	二长花岗岩	基质	60.65	0.01	23.24	0.13	0.29		1.63	9.51	2.4	0.49	98.35	7.5	79.3	13.2	③
			斑晶	60.33		24.03	0.28	0.19		5.78	9.05	0.38	0.2	100.24	25.6	72.4	2	
	D213-1	二长花岗岩	斑晶	57.65		25.35	0.25	0.3		7.77	7.78	0.46	0.22	99.78	34.7	62.9	2.5	③
			基质	62.06		22.12	0.3			4.1	10.11	0.36	0.3	99.35	18.0	80.2	1.9	
	D215-1	(二长)花岗闪长岩	斑晶	59.76	0.14	24.73	0.06	0.11		6.79	8.86	0.33	0.33	101.11	29.2	69.1	1.7	③
			基质	65.23	0.07	20.61	0	0.05		2.1	11.69	0.25	0.37	100.37	8.9	89.8	1.3	
	XN08-3	(二长)花岗闪长岩	基质	64.16		21.26		0.1		0.95	11.47	0.86	0.39	99.19	4.2	91.3	4.5	
			基质	62.93	0.1	22.32	0.08			3.98	10.42	0.49	0.26	100.58	17.0	80.5	2.5	③
			基质	61.95	0.24	22.8	0.19	0.07		4.78	10.22	0.27	0.30	100.82	20.3	78.4	1.4	
斑晶			61.67	0.03	23.88	0.25			5.52	9.20	0.64	0.06	101.25	24.1	72.6	3.30		
XN09-1	二(正)长花岗岩	基质	63.20		21.61	0.25			3.38	10.54	0.35	0.58	99.91	14.8	83.4	1.8	③	
		斑晶	58.98		24.72	0.09	0.12	0.02	6.02	8.44	0.46	0.12	98.97	27.6	69.9	2.5		
XN10-1 a	包体	基质	63.74	0	21.76	0.02	0.03		3.47	10.47	0.09	0.4	99.98	15.4	84.1	0.5		
		基质	62.29	0.16	22.68	0.12			4.13	9.84	0.22	0.15	99.59	18.6	80.2	1.2		
XN10-1 b	包体	基质	59.43	0.07	23.37	0.08	0.05		5.40	8.91	0.27		97.58	24.7	73.8	1.5	③	
		基质	62.55	0.18	22.1	0.1	0.14		3.58	10.25	0.46	0.36	99.72	15.8	81.8	2.4		
ZK601	包体	斑晶	60.13	0.19	24.14		0.08	0.06	6.11	8.85	0.14		99.7	27.4	71.8	0.7		
		斑晶	55.54	0.01	26.73	0.25			9.02	6.88	0.2		98.63	41.5	57.3	1.1		

续表 3

岩体	样号	单元	岩性	测定物	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Σ	An	Ab	Or	注	
黄沙坪	273-12	牛角冲	花岗岩	斜长石	64.37		19.72				1.49	10.18	0.92	96.7	20.3	73.5	6.3		
	273-18	方井头	流纹石英斑岩	斜长石	65.95		19.92				0.17	11.40	<0.2	98.4	2.7	95.7	1.6	①	
	GK29-4	上银山	斑状花岗岩		65.51		22.55				3.11	9.34	0.72	101.2	36.9	58.8	4.3		
大义山	g17-5-1	下螺形	正长花岗岩	斑晶 pl	68.28	0.01	19.84	0.04	0.00	0.00	0.26	11.56	0.04	100.0	1.3	97.8	0.2	本文	
				pl2	68.64	0.01	19.98	0.02	0.01	0.00	0.55	11.33	0.10	100.7	2.7	95.8	0.6		
				pl3	68.29	0.00	19.34	0.02	0.00	0.00	0.06	11.72	0.02	99.5	0.3	99.1	0.1		
				pl4	68.13	0.01	19.68	0.01	0.00	0.02	0.23	11.83	0.04	100.0	1.1	98.7	0.2		
				pl5	67.30	0.00	20.11	0.00	0.00	0.00	0.99	11.11	0.20	99.7	4.9	94.0	1.2		
	g3-17				斑晶 ll	69.05	0.01	19.62	0.00	0.01	0.00	0.13	11.81	0.02	100.7	0.6	99.9	0.1	本文
					pl2	66.40	0.01	21.18	0.01	0.04	0.03	0.67	10.51	0.16	99.0	3.3	88.9	0.9	
					pl3	67.32	0.01	20.85	0.04	0.02	0.01	1.36	10.58	0.31	100.7	6.8	89.5	1.8	
					pl4	68.70	0.03	19.83	0.01	0.00	0.01	0.33	11.59	0.23	100.7	1.6	98.0	1.4	
					pl5	68.57	0.01	19.86	0.05	0.00	0.00	0.44	11.59	0.19	100.8	2.2	98.0	1.1	
	g18-5	墨烟瑶	二长花岗岩	基质	66.19	0.02	21.36	0.03	0.07	0.00	2.01	10.29	0.33	100.4	10.0	87.0	2.0	本文	
	g7-19	岩前	二长花岗岩	基质	68.46	0.02	19.55	0.04	0.00	0.00	0.31	11.51	0.22	100.1	1.5	97.4	1.3	本文	
	斑晶 l			67.96	0.00	19.69	0.00	0.00	0.02	0.08	1.61	0.17	99.5	0.4	98.2	1.4			
	pl2			67.27	0.01	20.32	0.03	0.00	0.02	0.93	10.59	0.36	99.6	4.6	89.6	2.1			
	pl3			66.26	0.05	21.45	0.00	0.03	0.00	1.50	10.18	0.86	100.3	7.4	86.1	5.1			
pl4	63.28			0.00	23.27	0.00	0.03	0.02	4.59	8.85	0.21	100.3	22.8	74.9	1.2				
g4-18			pl5	66.72	0.04	20.91	0.04	0.01	0.00	1.80	10.76	0.08	100.4	8.9	91.0	0.5			
千里山	D-1	梅子垅	细粒正长花岗岩	斜长石	67.53	0.00	19.95	0.07	0.00	0.46	0.46	11.21	0.12	99.8	2.2	97.1	0.7	本文	
	D-2	邓家仙		斜长石	68.40	0.00	20.10	0.00	0.00	0.00	0.13	11.38	0.24	100.2	0.6	98.0	0.0		
	D-3	红旗岭		斜长石	68.45	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.21	11.09	0.00	99.7	1.0	99.0	0.0		
	Q1	太平里	(正)长花岗岩	斑晶 l	67.58	0.00	20.08	0.10	0.00	0.04	0.43	11.35	0.13	99.7	2.0	97.2	2.0	本文	
				pl2	67.51	0.00	20.20	0.11	0.00	0.06	0.39	11.07	0.07	99.4	1.9	97.7	0.0		
				pl3	66.53	0.00	19.72	0.00	0.00	0.00	3.30	11.32	0.22	101.1	13.7	85.2	1.1		
	Q2			pl4	64.81	0.00	22.25	0.00	0.00	0.00	2.73	10.03	0.55	100.4	12.7	84.3	3.0		
				斑晶 l	65.59	0.00	21.25	0.00	0.00	0.00	1.53	10.82	0.68	99.9	7.0	89.4	3.7		
				pl2	68.87	0.00	20.09	0.00	0.00	0.00	0.25	11.19	0.69	101.1	1.2	95.0	3.9		
	Q3	神合堂	似斑状二长花岗岩	pl3	66.03	0.00	21.28	0.00	0.00	0.00	1.76	10.52	0.60	100.2	8.2	88.5	3.3		
				斜长石	60.00	0.00	24.51	0.00	0.00	0.00	6.10	7.33	0.12	98.1	31.3	68.0	0.7		
				斜长石	60.44	0.00	26.71	0.00	0.00	0.00	6.35	7.24	0.19	100.9	31.3	68.0	0.7		
	Q4			斜长石	60.90	0.00	23.49	0.00	0.00	0.00	7.22	8.11	0.26	100.0	32.5	66.1	1.4	本文	
				斜长石	59.07	0.00	24.72	0.00	0.00	0.00	8.91	7.57	0.38	100.7	38.6	59.4	2.0		
	Q5	大吉岭		斜长石	60.90	0.00	23.49	0.00	0.00	0.00	7.22	8.11	0.26	100.0	32.5	66.1	1.4		
斜长石				57.41	0.00	25.22	0.00	0.00	0.00	9.83	7.10	0.39	99.9	42.5	55.5	2.0			
斜长石				59.75	0.00	25.07	0.13	0.00	0.04	5.89	8.40	0.39	99.7	27.3	70.5	2.1	本文		
高-3			斜长石	58.65	0.00	25.65	0.20	0.04	0.00	6.75	7.74	0.40	99.4	31.8	66.0	2.3			
			斜长石	61.48		19.32				2.07	8.07	1.43		29.3	60.6	10.1			
			斜长石	59.77		22.28				3.21	7.57	2.32		38.3	47.9	13.8	②		
高-2	黄水垅	二长花岗岩	斜长石	59.05		22.4				3.65	6.8	2.38		43.2	42.7	14.1			
			斜长石	66.65		20.1				2.62	9.68	0.43		32.9	64.4	2.7			

注: ①湖南黄沙坪铅锌矿床地质特征及成矿规律研究报告,1997; ②湖南省地质调查院 1:25 万道县幅区调报告, 2004; ③中国地质调查局宜昌地质调查中心付建明等,中南地区基础问题综合研究项目阶段成果(2002-2010);空白处未检出。

表 4 碱性长石电子探针分析(%)

Table 4 Microprobe analysis of alkali feldspars/%

岩体	样号	岩性	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total	Ab	An	Or	注
西山(禾洞)	D107-1	二(正)长花岩	65.86	0.00	18.85	0.07	0.00	0.00	0.05	2.99	12.16	100.0	27.1	0.2	72.6	①
			66.35	0.03	18.56	0.08	0.04	0.00	0.04	2.99	12.41	100.5	26.8	0.2	73.0	
	D16-1 D17-1 D15-1	英安流纹岩(斑)	65.33	0.06	18.07	1.98	0.00	0.17	0.44	3.61	10.86	100.7	32.8	2.2	65.0	①
			62.23	0.00	19.13	1.37	0.02	0.18	0.14	3.51	11.60	98.2	31.3	0.7	68.0	
			61.07	0.02	19.56	0.04	0.00	0.00	0.00	0.74	17.24	98.7	6.1	0.0	93.9	
			60.64	0.06	19.70	0.08	0.01	0.00	0.00	1.16	15.95	97.6	9.9	0.0	90.1	
骑田岭	XN09-1	正长花岗岩	64.79		17.85	0.04				1.78	14.66	99.5	15.6	0.0	84.4	①
			66.43		18.31	0.18	0.08			2.94	13.14	101.3	25.4	0.0	74.6	
	D203-1	二(正)长花岗岩	65.04		17.80	0.20	0.06			0.59	16.29	100.2	5.2	0.0	94.8	①
			64.07	0.30	17.68	0.00	18.00			0.86	15.82	116.8	7.6	0.0	92.4	
			64.71		17.73	0.26	0.14			0.98	15.42	99.3	8.8	0.0	91.2	
			65.42	0.10	17.92	0.02	0.16			1.53	15.41	100.7	13.1	0.0	86.9	
				64.42	0.20	17.87	0.27	0.12		1.63	15.29	100.2	13.9	0.0	86.1	
	D210-1	二长花岗岩	63.60		17.78					0.95	16.17	98.8	8.2	0.0	91.8	①
			64.58	0.01	17.60					0.91	16.31	99.7	7.8	0.0	92.2	
			64.77	0.04	18.22	0.13	0.03		0.01	1.50	15.14	100.2	13.1	0.0	86.9	
	D213-1	二长花岗岩	65.04	0.10	18.18	0.10	0.24		0.29	4.37	11.67	100.4	35.8	1.3	62.9	①
			64.20		17.84	0.00	0.05		0.08	3.44	12.61	98.4	29.2	0.4	70.4	
			63.41	0.11	17.57	0.05	0.02		0.01	0.94	15.98	98.3	8.2	0.0	91.7	
D215-1	(二长)花岗岩	64.63	0.01	18.11	0.06	0.17			0.90	16.18	100.5	7.8	0.0	92.2	①	
		63.67	0.31	17.80					0.78	15.51	98.4	7.1	0.0	92.9		
XN08-3 XN10-1a XN10-1b ZK601	包体	65.59	0.05	18.22	0.15				1.28	15.66	101.1	11.0	0.0	89.0	①	
		64.03		17.98	0.23				1.61	15.41	99.4	13.7	0.0	86.3		
		64.10	0.10	18.10	0.12				1.17	15.25	99.1	10.4	0.0	89.6		
		63.67	0.36	18.00				0.17	2.96	12.73	97.9	25.9	0.8	73.3		
		64.55	0.14	17.83	0.00		0.09		1.10	15.14	99.0	10.0	0.0	90.0		
黄沙坪	GK20-14	花岗岩斑岩	64.08		18.36				0.20	1.98	13.35	97.2	18.0	2.0	80.0	②
			64.94		18.82				0.20	0.66	15.64	100.1	5.9	2.0	92.1	
	273-9	流纹-石英斑岩	65.51		19.24				0.20	0.92	15.13	100.8	8.3	2.0	89.7	
			64.06		19.40				0.20	0.76	15.17	99.4	6.9	2.0	91.1	
	273-18		64.08		18.36				0.20	1.98	13.35	97.2	18.0	2.0	80.0	
	GK20	二长	63.02		18.26				0.20	1.46	13.34	96.1	14.0	2.1	83.9	
	273-61	花岗岩	64.45		18.45				0.20	0.84	15.13	98.9	7.6	2.0	90.4	
宝峰仙	高-1		64.43	0.01	18.19			0.11	0.37	2.17	13.84	99.1	18.6	3.5	77.9	本文
	高-2	二长花岗岩	64.72	0.02	18.12			0.23	0.55	2.54	12.60	98.8	22.2	5.3	72.5	
	高-3		66.28	0.01	17.62			0.22	0.54	3.21	10.85	98.7	29.3	5.5	65.2	
大义山	g17-5 17-13	正长花岗岩	65.19	0.00	18.37	0.00	0.02	0.00	0.02	0.94	15.50	100.0	8.0	0.1	91.5	本文
			64.94	0.00	18.34	0.01	0.04	0.00	0.02	1.44	14.58	99.4	12.2	1.1	88.4	
	g17-9	二长-正长花岗岩	64.99	0.02	18.36	0.00	0.00	0.00	0.02	1.08	15.52	100.1	9.1	0.1	91.7	
			64.40	0.00	18.41	0.07	0.04	0.00	0.02	0.52	16.36	99.9	4.4	0.1	96.4	
	g17-3	二长花岗岩	65.38	0.00	18.41	0.00	0.00	0.00	0.02	0.31	16.86	101.0	2.6	0.1	99.6	

注:空白处为未检出,资料来源:①中国地质调查局宜昌地质调查中心付建明等,中南地区基础问题综合研究项目阶段成果(2002-2010);②湖南省地质研究所,湖南黄沙坪铅锌矿床地质特征及成矿规律研究报告,1997;空白处为未检出。

共存于一种岩石中,难以用分离结晶作用、水压变化来解释。其原因分析是:水压的增加可以引起斜长石发生熔蚀,但钠长石发生熔蚀需要很高的压力,水压增加的幅度不可能达到这么高的压力。其次是岩浆快速上升可以引起斜长石发生熔蚀,但 CM 型花岗岩体为斑状结构,斜长石斑晶发生熔蚀后又重新结晶,这完全是在深部岩浆房发生的,熔蚀不可能是岩浆快速上升至近地表时发生,也不可能在此时再结晶。三是高温的偏基性岩浆加入,热的岩浆加热导致已结晶的钠长石发生熔蚀;这种情况更有可能发生。偏基性岩浆与富钠的岩浆反应,使熔体的组成适合于钠长石结晶,随后又可能有偏基性岩浆加入,这可以由钠长石发生熔蚀后又结晶出中长石得到解释。

### 3.4 碱性长石

碱性长石常常呈斑晶存在于斑状花岗岩类岩石中,基质中也普遍存在,微粒包体中也能见到。不同岩石中的碱性长石普遍具有卡式双晶和格子状双晶,其自形程度整体较低;但不少花岗岩中钾长石巨晶或斑晶的自形程度较高。大多数碱性长石具有数量不等的钠长石条纹,形成条纹长石,特别是正长花岗岩最为普遍。

宝峰仙等 C 型花岗岩的碱性长石常与石英共结形成文象结构和蠕虫状结构。碱性长石斑晶内经常包裹斜长石、石英、黑云母和副矿物。有时可见较大碱性长石斑晶横跨微粒包体和寄主岩石界线。应指出的是,骑田岭、大义山等 CM 型花岗岩中的钾长石见钠奥长石环边,构成似环斑结构,也见由暗色矿物组成的环带(边),显示出动荡构造环境中结晶的矿物结构特征。

碱性长石电子探针分析表明(表 4),其 An 多小于 2%,大多数为 0,具有贫钙的特点。Or 值为 21.50%~94.80%,变化较大,即使在同一薄片中也如此。碱性长石常为  $Or \gg Ab \gg An$ 。总体来说,CM 型花岗岩体及其微粒包体中的碱性长石 Or 值较大;C 型花岗岩的 Or 值较小,但 Or 最小值出现在微粒包体中。在长石的分类图上(图 5~6),CM 型和 C 型花岗岩中的碱性长石主要属于相对富钾的正长石,其次为相对贫钾的钠正长石,CM 型花岗岩包体中的个别碱性长石出现歪长石,表明其形成温度较高。

## 4 结论

(1)角闪石均属于钙质角闪石亚类,MC 型花岗

岩和 CM 型花岗岩及包体中的角闪石显示出岩浆混合成因的特征。

(2)成矿花岗岩中的黑云母成分研究表明,与铜(铅锌)矿化有关的 MC 型成矿花岗岩中的黑云母多为镁质黑云母;与钨(钼铋铅锌)矿化和轻稀土矿化有关的 CM 型花岗岩黑云母主要为铁质黑云母。与锡铌钽(铅锌)和重稀土有关的成矿 C 型花岗岩中的黑云母主要为铁叶云母-铁黑云母,且多为铁锂黑云母。MC 型和 CM 型花岗岩早期次单元及包体的黑云母都显示出壳幔源岩浆混合成因的特征。CM 型的晚期次单元花岗岩和 C 型花岗岩中的黑云母显示壳源岩浆成因。

(3)3 类型花岗岩中斜长石有明显区别,种属不同,CM 型花岗岩的斜长石多为更长石,次为中长石,个别拉长石;CM 型其晚期次单元花岗岩和 C 型花岗岩的斜长石多为钠长石,次为更长石。MC 型和 CM 型花岗闪长岩和角闪石黑云母二长花岗岩中斜长石的环带构造比黑云母二长花岗岩和正长花岗岩中斜长石发育;C 型花岗岩或碱长花岗岩中的斜长石环带构造不发育。斜长石结构特征和成分变异显示了岩浆混合作用特征。

(4)CM 型花岗岩及其微粒包体中的碱性长石主要属于相对富钾的正长石,包体中的个别碱性长石还有歪长石,表明其形成温度较高;C 型花岗岩中碱性长石为相对贫钾的钠正长石及微斜长石。钾长石结构特征显示了岩浆混合作用特征。

(5)造岩矿物特征和成分变异显示了成矿花岗岩的形成物质来源为壳幔源,形成 MC 型和 CM 型早期次单元花岗岩的岩浆演化主要是岩浆混合作用,而 CM 型花岗岩晚期次的花岗岩类和 C 型花岗岩类的岩浆演化可能还存在分离结晶作用。

## 参考文献(References):

- [1] 湖南地质矿产勘查开发局. 湖南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1988.  
Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development. Regional Geology of Hunan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988(Chinese with English abstract).
- [2] 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿关系[M]. 北京:地质出版社, 1989.  
Granitoid Research Group of Nanling Project. Geology of Granitoids of Nanling Range and Their Petrogenesis and Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1989(in Chinese).
- [3] 王德滋,沈渭洲. 中国东南部花岗岩成因与地壳演化 [J]. 地学前

- 缘, 2003, 10(3):209-220.
- Wang Dezi, Shen weizhou. Genesis of granitoids and crustal evolution in southeast China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(3):209-220(in Chinese with English abstract).
- [4] 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿的关系[M]. 北京:科学出版社, 1981.
- Geology Department of Nanjing University. Granitoids of Ddifferent Ages in South China and Their Metallogenetic Relations [M]. Beijing: Science Press, 1981(in Chinese).
- [5] 刘铁生. 大义山矿田岩体型锡矿地质特征及矿床成因 [J]. *中国地质*, 2002, 29(4):411-415.
- Liu Tiesheng. Geological characteristics and genesis of rock body-type tin deposits in the Dayishan ore field [J]. *Geology in China*, 2002, 29(4): 411-415( in Chinese with English abstract).
- [6] 魏绍六, 曾钦旺, 许以明, 等. 湖南骑田岭地区锡矿床特征及找矿前景[J]. *中国地质*, 2002, 29(1):67-75.
- Wei Shaoliu, Zeng Qinwang, Xu Yiming, et al. Characteristics and ore of deposits in the Qitianling area, Hunan [J]. *Geology in China*, 2002, 29(1):67-75(in Chinese with English).
- [7] 伍光英, 潘仲芳, 李金冬, 等. 湘南大义山花岗岩地质地球化学特征及其与成矿的关系[J]. *中国地质*, 2005, 32(3):434-443.
- Wu Guangying, Pen Zhongfang, Li Jindong, et al. Geological and geochemical characteristics of the Dayishan granitoids in South Hunan and their metallogenic relations [J]. *Geology in China*, 2005, 32(3):434-443(in Chinese with English abstract).
- [8] 伍光英, 肖序常, 肖庆辉, 等. 湘南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的主元素地球化学特征和成因探讨[J]. *中国地质*, 2008, 35(2): 217-231.
- Wu Guangying, Xiao Xuchang, Xiao Qinghui, et al. Geochemistry of major elements of the Yanshanian metallogenetic granites in the polymetallic deposit enriched zones in Hunan Province, China; Implications for granite generation [J]. *Geology in China*, 2008, 35(2)217-231(in Chinese with English abstract).
- [9] 伍光英, 侯增谦, 肖庆辉, 等. 湘南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的稀土地球化学特征和成岩成矿作用探讨[J]. *中国地质*, 2008, 35(3):410-420.
- Wu Guangying, Hou Zengqian, Xiao Qinghui, et al. Geochemistry of the rare earth elements and metallization of the Yanshanian granites in the polymetallic deposit enriched zones in Hunan Province [J]. *Geology in China*, 2008, 35(3):410-420(in Chinese with English abstract).
- [10] 伍光英, 马铁球, 柏道远, 等. 湖南宝山花岗岩闪长质隐爆角砾岩地质与 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *现代地质*, 2005, 19(2):198-204.
- Wu Guangying, Ma Tieqiu, Bai Daoyuan, et al. Zircon SHRIMP dating and geological of the underground explosion breccia in Baoshan eara, Hunan and its significance [J]. *Geoscience*, 2005, 19(2):198-204(in Chinese with English abstract).
- [11] 邓希光, 李献华, 刘义茂, 等. 骑田岭花岗岩体的地球化学特征及其对成矿的制约[J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 56(02):121-128.
- Deng Xiguang, LI Xianhua, Liu Yimao, et al. Geochemical characteristics of Qitianling granites and their implications for mineralization [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005, 56(02): 121-128(in Chinese with English abstract).
- [12] 洪大卫, 谢锡林, 张季生, 等. 试析杭州-诸广山-花山高  $\epsilon$  Nd 值花岗岩带的地质意义[J]. *地质通报*, 2002, 21(6):348-354.
- Hong Dawei, Xie Xilin, Zhang Jisheng. Geological significance of the Hangzhou-Zhuguangshan-Huashan high- $\epsilon$  Nd granite belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(6):348-354 (in Chinese with English).
- [13] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京:地质出版社, 2002.
- Xiao Qinhui, Deng jinfu, Ma Dashuan, et al. The Way of investigation on Granitoids [M]. Beijing: Geological Publishing House. 2002(in Chinese).
- [14] 陈光远, 周珣若, 等. 胶东郭家岭花岗岩闪长岩成因矿物学与金矿化[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1993.
- Cheng Guangyuan, Zhou Xunruo. Genetic Mineralogy and Gold Mineralization of Guojialing Granodiorite in Jiaodong Region. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993(in Chinese).
- [15] 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿的关系[M]. 北京:科学出版社, 1981.
- Geology Department of Nanjing University. Granitoids of Different Ages in South China and Their Metallogenetic Relations [M]. Beijing: Science Press, 1981(in Chinese with English abstract).
- [16] Leake B E and 21 others. Nomenclature of amphiboles, report of the subcommittee on amphiboles of the Internation Minernation Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names[J]. *Mineral Mag*, 1997, 61:295-321.
- [17] Puziewicz J, Johannes W. Experimentol study of a biotite-bearing granitic system under wafersaturated [J]. *Contrib. Mineral Petrol*, 1990, 435-452.

## Features of rock-forming minerals of Yanshanian mineralized granite in the polymetallic deposit concentration zone in southern Hunan and their implications for granite generation

WU Guang-ying<sup>1,2</sup>, XIAO Qing-hui<sup>3</sup>,

CHEN Hui-ming<sup>1</sup>, MA Tie-qiu<sup>4</sup>, FENG Yan-fang<sup>2</sup>, YAN Quan-ren<sup>1</sup>

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Research Center for Geological Development, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

3. Information Center of the Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China;

4. Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410011, Hunan, China)

**Abstract:** There are three types of Yanshanian mineralized granite in southern Hunan, and the chemical compositions and species of their ore-forming minerals are notably different. The characteristics of variations in chemical compositions of the minerals all indicate a mantle-crust magma mixing origin. Systematic analyses show the following: (1) Hornblendes belong to Ca-hornblende. (2) Biotites in most early-stage MC-type granite are Mg-biotite; those in late-stage CM-type granite are mainly meroxene; and biotites in C-type granite are mainly siderophyllite and meroxene, most of which zinnwaldite. The variation in biotite composition of the three types of granite shows a linear relation, implying a genetic relation. (3) Plagioclases in the three types of granite are significantly distinguished. Plagioclases are mainly andesine in MC-type granite, oligoclase in CM-type granite and albite in C-type granite. The zoning structures of plagioclases are developed to different degrees, with the zoning of plagioclases in the early-stage CM-type granite best developed. (4) Alkali plagioclases in CM-type granite and its dark micro-inclusions are mainly K-rich orthoclase, and a few grains of plagioclase in inclusions are anorthoclase, indicating higher temperatures of plagioclase crystallization. Alkali plagioclases in C-type granite are relatively K-poor microcline and Na orthoclase. (5) The characteristics of rock-forming minerals and their compositional variations indicate that the formation of mineralized granites is related to crust-mantle magma mixing. The magmatic evolution that generated MC- and CM-type early-stage granites was mainly magma mixing, while the magmatic evolution that formed CM-type late-stage granitoids and C-type granitoids might be fractional crystallization in addition magma mixing.

**Key words:** mineral composition; rock-forming mineral; Sn-polymetallic deposit; granite; southern Hunan

---

**About the first author:** WU Guang-ying, male, born in 1965, doctor and senior researcher, engages in research on mineralogy, petrology and mineral deposit geology; E-mail: ycwguangying@cgs.gov.cn.