

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

伍光英^{1,2} 肖序常¹ 肖庆辉³ 王 涛¹ 闫全仁¹
陈辉明¹ 马铁球⁴ 柏道远⁴

(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 湘潭 411100)

提 要: 湘南地区燕山期成矿花岗岩的主元素地球化学特征可划分为 3 种类型, 不同成矿花岗岩形成的岩浆演化机理有明显差异: (1) 成矿花岗岩的 K_2O/Na_2O 比值较高, 均显示高钾钙碱性-钾玄岩系列特征。(2) MC 型与 CM 型早期次单元花岗岩相对贫硅、碱, 富钙、镁、铁, 铝质指数 (A/KNC) 较低, 碱度指数 (KN/A) 都不高, 属镁质-铁质准铝质的高钾钙碱性系列花岗岩类, 总体显示出 I 型花岗岩的特征。C 型和 CM 型晚期次单元花岗岩相对富硅碱、贫镁钙, 属铁质弱过铝质-过铝质钾玄岩系列-高钾钙碱性系列花岗岩类; 岩石的 FeO^T/MgO 值明显高于一般 I 型和 M 型花岗岩, 较高的 FeO^T 值又与高分异的 I 型花岗岩相区别, 总体显示出 S 型花岗岩的特征。(3) 成矿花岗岩的 F 或 Cl 含量高, 岩浆向过铝质方向或过碱性方向演化, 晚期岩浆中的高场强元素浓度增大, 导致 MC 型与 CM 型的花岗岩的早期次单元多有 Cu、Pb、Zn、Sb 等多金属化, C 型和 CM 型的晚期次单元花岗岩则常有大型 Sn、W、Pb、Zn、Nb、Ta 和稀土等矿化。(4) 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: 主元素; 地球化学特征; 多金属矿; 花岗岩; 湘南

中图分类号: P588.12⁺¹ **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)-0217-15

1 区域地质背景

湘南锡多金属矿集区(简称研究区)位于南岭山脉中段北缘, 是南岭中段多金属成矿带的一个重要组成部分(图 1)。在大地构造上, 研究区主要位于扬子陆块与华夏陆块之间的钦-钱结合带上, 地层出露较齐全, 自震旦系—第四系均有分布, 大致可划分为前震旦纪、震旦纪—志留纪、泥盆纪—中三叠世、晚三叠世—白垩纪和新生代 5 个构造层^[1-2]; 其中, 震旦系—志留系、泥盆系—中三叠统占总面积的 75% 以上, 构成了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。

据现有资料, 研究区经历了 6 次构造运动, 其中

加里东运动、印支运动、尤其是燕山运动最为强烈。早古生代末的加里东运动在研究区表现为华夏陆块与扬子陆块在茶陵—郴州一带碰撞拼贴。碰撞的结果是伴随有岩浆的侵入活动, 在陆块拼贴带的边缘隆起区, 形成茶陵—郴州—蓝山以中酸性、酸性花岗岩为主体的岩浆岩弧形带。

以晚三叠世—早侏罗世地层与下伏地层之间的不整合为特征的印支运动, 是研究区显生宙以来经受的第二次大的构造运动, 最主要的特征是基底滑移、叠瓦式逆冲推覆。

继印支运动后, 于侏罗纪—早白垩世间, 由于太平洋板块和印度洋板块俯冲作用的影响, 形成了一个挤压—剪切聚敛环境, 研究区乃至华南地区发生

收稿日期: 2007-12-17; 改回日期: 2008-01-26

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(1212010310206、200213000035、1212010633803)资助。

作者简介: 伍光英, 男, 1965 年生, 博士, 研究员, 从事矿物学、岩石学、矿床学研究; E-mail: wguangying@163.com。

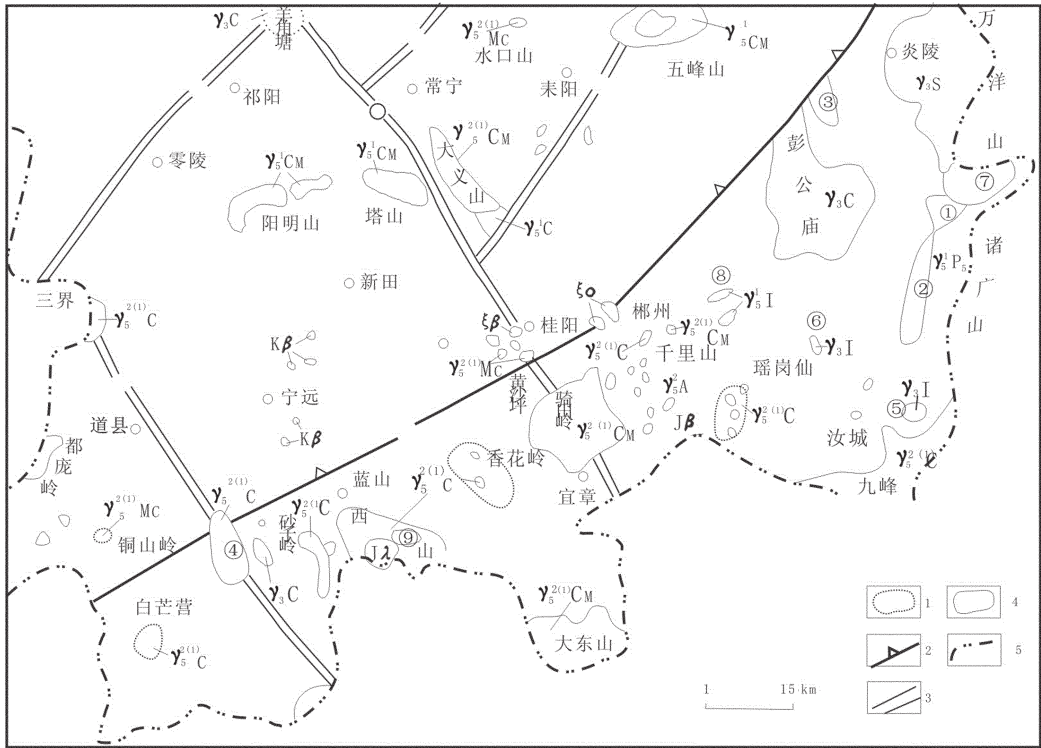


图1 湘南多金属矿集区岩浆岩分布略图

γ_3S —加里东期挤压型花岗岩; γ_3C —加里东期陆壳改造型花岗岩; γ_3I —加里东期同熔型花岗岩; $\gamma_3^{(1)}C$ —印支期陆壳改造型花岗岩; $\gamma_3^{(1)}CM$ —印支期过渡型花岗岩; $\gamma_3^{(1)}I$ —印支期同熔型花岗岩; $\gamma_3^{(2)C}$ —燕山早期第一次陆壳改造型或C型花岗岩; $\gamma_3^{(2)C}$ —燕山早期第二次陆壳改造型或C型花岗岩; $\gamma_3^{(2)CM}$ —燕山早期CM型花岗岩; $\gamma_3^{(2)Mc}$ —燕山早期MC型花岗岩; γ_3^A —燕山晚期碱性花岗岩; ξO —燕山期安山质火山角砾岩; $J\lambda$ —侏罗纪流纹岩; $J\beta$ —侏罗纪玄武岩; $K\beta$ —白垩纪玄武岩; 岩体编号: ①—桂东; ②—东洛; ③—东风; ④—雪花顶; ⑤—益将; ⑥—雷公仙; ⑦—寨前; ⑧—高垄山; ⑨—两江口; 1—隐伏花岗岩; 2—陆内深俯冲带; 3—深大断裂带; 4—花岗岩体出露边界线; 5—省界

Fig.1 Distribution of magmatic rocks in the polymetallic deposit concentration region in Hunan

γ_3S —Caledonian compressional granite; γ_3C —Caledonian continental crust—reworked granite; γ_3I —Caledonian syntectic granite; $\gamma_3^{(1)}C$ —Indosinian continental crust—reworked granite; $\gamma_3^{(1)}CM$ —Indosinian transitional type granite; $\gamma_3^{(1)}I$ —Caledonian syntectic granite; $\gamma_3^{(2)C}$ —early Yanshanian S-type or first continental crust—reworked granite; $\gamma_3^{(2)C}$ —early Yanshanian C-type or second continental crust—reworked granite; $\gamma_3^{(2)CM}$ —early Yanshanian CM-type granite; $\gamma_3^{(2)Mc}$ —early Yanshanian MC-type or syntectic granite; γ_3^A —late Yanshanian alkali granite; ξO —Yanshanian andesite breccia; $J\lambda$ —Jurassic rhyolite; $J\beta$ —Jurassic basalt; $K\beta$ —Cretaceous basalt. Granite intrusions; ①—Guidong; ②—Dongluo; ③—Dongfeng; ④—Xuehuading; ⑤—Yijiang; ⑥—Leigongshan; ⑦—Zaiqian; ⑧—Gaolongshan; ⑨—Liangjiangkou. 1—Hidden granite; 2—Intracontinental deep subduction belt in Chinese literatures and maps; 3—Deep fault; 4—Outcrop line of granite; 5—Provincial border

了最大的一次构造-热事件, 以强烈的岩浆活动和多金属成矿活动为基本特征。

研究区丰富的多金属矿产多与燕山期岩浆活动存在密切的联系, 近几年发现的与骑田岭、大义山、锡田等花岗岩有关的锡多金属矿产, 因具有寻找超大型锡多金属矿产的潜力而备受关注^[4-13]。笔者为了总结不同成因的花岗岩类序列及其成矿专属性, 将研究区各花岗岩类序列, 归并为4个花岗岩类岩

石组合谱系类型, 其中, 燕山期成矿花岗岩类可划分出3个花岗岩类岩石组合谱系类型^①:

幔壳混合型花岗岩 (MC型花岗岩) 包括铜山岭、大坊、水口山、宝山等花岗岩类序列, 以花岗闪长岩为主, 次为石英闪长岩、英云闪长岩、二长花岗岩及石英闪长斑岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩等, 岩石中有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。产大型-特大型Cu、

①伍光英. 湘东南多金属矿集区燕山期花岗岩类及其大规模成矿作用, 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2005.

Pb、Zn、Sb 和 Ag 等多金属矿。

壳源铝质花岗岩(C 型花岗岩)包括瑶岗仙、香花岭、宝峰仙、上堡等花岗岩类序列,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、碱长和花岗斑岩等花岗岩类。岩体常呈岩株、岩枝和岩滴状产出,伴生少量基性脉岩。产大型—特大型 Sn、W、Nb、Ta 和稀土矿。

壳幔混合型花岗岩 (CM 型花岗岩) 包括骑田岭、千里山、诸广山复式岩体之南岩体、大义山之关口和锡田之贺家田等花岗岩类序列,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)云母二长花岗岩或二云母二长花岗岩、二(白)云母正长花岗岩等花岗岩类。岩体中常有大量的暗色微粒铁镁质包体,伴生基性岩墙或岩脉。矿化介于上述两类型之间,早期次单元有弱的 Cu、Pb、Zn 等多金属矿化,晚期次单元则产大型—特大型 Sn、W、Nb、Ta 和稀土矿。

2 成矿花岗岩的主元素地球化学特征

2.1 岩石化学分类与命名

本次对 52 个花岗岩类岩石样品的主元素含量进行了测试,样品分布在 3 个成矿花岗岩类型中的 17 个序列中大小不等的岩体中;本次统计利用前人分析数据 183 个(表中列出 23 个),共 242 个岩石主元素含量(表中列出 75 个)(表 1),各成矿花岗岩岩石组合谱系类型的岩石主元素含量为该类型中各成矿花岗岩类岩体/序列的岩石主元素含量的平均值(表 2)。

按 De La Roche 的 R_1-R_2 岩石化学分类^[4],研究区燕山期 3 个类型中的代表性岩体的岩石化学分类(图 2~3),简述如下:

MC 型花岗岩,以花岗闪长岩为主,部分为石英闪长岩、英云闪长岩,少部分为二长花岗岩类等岩石组合谱系。

C 型花岗岩,由二长花岗岩、正长花岗岩、碱长花岗岩和酸(碱)性花岗斑岩等构成的岩石组合谱系。

CM 型花岗岩,介于上述两类岩石组合谱系的花岗岩类之间,岩体中岩石以二长花岗岩为主体,早期次单元可出现花岗闪长岩,晚期次单元都有正长花岗岩和碱长花岗岩。

对比实际矿物分类^[4],结果基本一致,仅 MC 型的石英闪长岩和 CM 型的花岗岩序列中的早期次单元的花岗闪长岩的样品,其投影点有碱性程度升

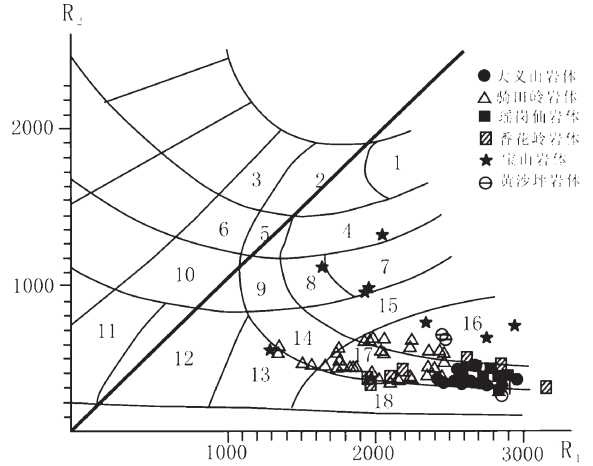


图 2 花岗岩岩石化学分类图解

- 1—辉长苏长岩;2—橄榄辉长岩;3—碱性辉长岩;4—辉长岩;
- 5—二长辉长岩;6—正长辉长岩;7—闪长岩;8—二长闪长岩;
- 9—二长岩;10—正长闪长岩;11—霞石正长岩;12—正长岩;
- 13—石英正长岩;14—石英二长岩;15—英云闪长岩;
- 16—花岗闪长岩;17—花岗岩;18—碱性花岗岩

Fig.2 Chemical classification diagram for granite

- 1—Gabbro-norite;2—Olivine gabbro;3—Alkali gabbro;
- 4—Gabbro;5— Monzogabbro;6—Syenite gabbro;7—Diorite;
- 8—Monzodiorite;9— Monzonite;10—Syenite diorite;11—Nepheline syenite;12— Syenite;13—Quartz syenite;14—Adamellite;
- 15—Tonalite;16— Granodiorite;17—Granite;18—Alkali granite

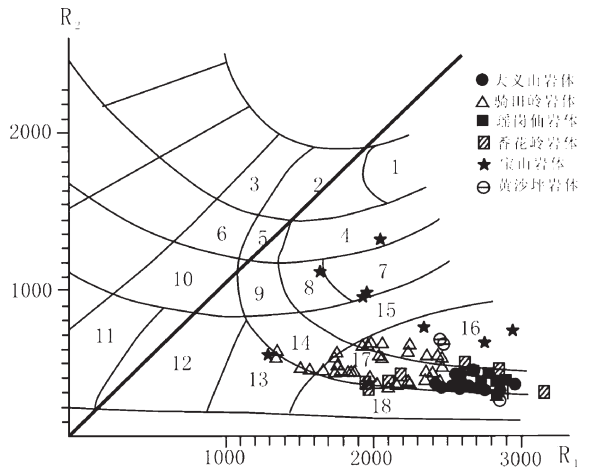


图 3 花岗岩岩石化学分类图解

- 1—辉长苏长岩;2—橄榄辉长岩;3—碱性辉长岩;4—辉长岩;
- 5—二长辉长岩;6—正长辉长岩;7—闪长岩;8—二长闪长岩;
- 9—二长岩;10—正长闪长岩;11—霞石正长岩;12—正长岩;
- 13—石英正长岩;14—石英二长岩;15—英云闪长岩;
- 16—花岗闪长岩;17—花岗岩;18—碱性花岗岩

Fig.3 Chemical classification diagram for granite

- 1—Gabbro-norite;2—Olivine gabbro;3—Alkali gabbro;
- 5— Monzogabbro;6—Syenite gabbro;7—Diorite;8—Monzodiorite;
- 9— Monzonite;10—Syenite diorite;11—Nepheline syenite;
- 12— Syenite;13—Quartz syenite;14—Adamellite;15—Tonalite;
- 16— Granodiorite;17—Granite;18—Alkali granite

表 1 湘东南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的化学成分及参数
 Table 1 Composition and parameters of Yanshanian mineralized granites in polymetallic deposit concentration zones in southeastern Human

| 样号 | 类型 | 岩体 | 单元 | 岩 性 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | 灼失 | ∑ | Mf | A/CNK | KN/A | FeO ^T /MgO | K ₂ O/Na ₂ O | σ | AR | 资料来源 |
|--------|-----|-----|-----|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|--------|------|-------|------|-----------------------|------------------------------------|------|------|------|
| C18-1 | | | 半边月 | 花岗岩 | 66.55 | 0.48 | 13.79 | 1.34 | 3.17 | 0.08 | 1.27 | 3.94 | 3.03 | 3.69 | 0.26 | 1.75 | 99.35 | 0.34 | 0.85 | 0.65 | 3.55 | 0.80 | 1.92 | 2.22 | 本文 |
| C18-2 | | 宝山 | | 花岗岩长质角砾岩 | 57.35 | 0.47 | 14.00 | 3.00 | 2.48 | 0.08 | 0.55 | 7.79 | 3.31 | 3.69 | 0.25 | 5.48 | 98.45 | 0.16 | 0.59 | 0.67 | 9.96 | 0.73 | 3.41 | 1.95 | |
| 何-1 | | | 大坊 | 石英闪长斑岩 | 61.32 | 0.58 | 15.89 | 2.28 | 3.10 | 0.15 | 1.47 | 5.57 | 2.32 | 4.97 | 0.34 | 1.30 | 99.29 | 0.34 | 0.82 | 0.58 | 3.66 | 1.41 | 2.90 | 2.03 | ① |
| 2355 | | | 老盟山 | 花岗岩长岩 | 59.16 | 0.52 | 15.67 | 3.68 | 4.35 | 0.10 | 4.91 | 4.26 | 2.39 | 3.34 | 0.00 | 1.20 | 99.58 | 0.53 | 1.02 | 0.48 | 1.64 | 0.92 | 2.03 | 1.81 | 本文 |
| H54 | MC型 | 水口山 | 方冲 | 石英闪长岩 | 61.89 | 0.72 | 14.85 | 2.00 | 4.50 | 0.09 | 2.73 | 3.69 | 2.67 | 3.64 | 0.35 | 2.08 | 99.21 | 0.44 | 0.99 | 0.56 | 2.38 | 0.90 | 2.11 | 2.03 | |
| 3 | | | | 石英闪长岩 | 59.12 | 0.72 | 15.48 | 4.18 | 3.07 | 0.22 | 2.41 | 4.69 | 3.28 | 3.93 | 0.22 | 2.34 | 99.66 | 0.39 | 0.85 | 0.62 | 3.01 | 0.79 | 3.22 | 2.11 | ② |
| D137-1 | | | 黎指冲 | 二长花岗岩 | 71.08 | 0.31 | 12.54 | 0.40 | 3.18 | 0.1 | 0.56 | 2.1 | 2.93 | 3.28 | 0.09 | 1.69 | 98.26 | 0.22 | 1.03 | 0.67 | 6.39 | 0.74 | 1.37 | 2.47 | ③ |
| S4 | | | 六豆桥 | 花岗岩长岩 | 67.86 | 0.38 | 15.07 | 1.40 | 2.47 | 0.03 | 1.15 | 3.04 | 3.3 | 4.14 | 0.21 | 1.34 | 100.39 | 0.35 | 0.98 | 0.66 | 3.37 | 0.83 | 2.23 | 2.39 | ④ |
| HD62 | | 铜山岭 | 大坊 | 石英闪长岩 | 68.21 | 0.41 | 15.14 | 0.98 | 2.79 | 0.07 | 1.19 | 2.44 | 2.68 | 4.24 | 0.22 | 2.43 | 100.80 | 0.37 | 1.13 | 0.59 | 3.17 | 1.04 | 1.90 | 2.30 | ⑤ |
| HI | | | 荒塘岭 | 正(碱)长花岗岩 | 74.96 | 0.12 | 12.27 | 0.83 | 0.97 | 0.05 | 0.01 | 0.47 | 3.06 | 5.07 | 0.05 | 1.41 | 99.27 | 0.01 | 1.08 | 0.86 | 180.00 | 1.09 | 2.07 | 4.53 | ⑤ |
| D218 | | | | 正长花岗岩 | 75.72 | 0.10 | 12.27 | 0.11 | 2.17 | 0.00 | 0.08 | 0.55 | 3.4 | 5.09 | 0.02 | 0.72 | 100.23 | 0.06 | 1.01 | 0.90 | 28.50 | 0.98 | 2.20 | 4.92 | ⑤ |
| C22 | | | 陈家 | 正长花岗岩 | 75.63 | 0.24 | 11.78 | 0.46 | 2.10 | 0.04 | 0.34 | 0.89 | 2.72 | 4.98 | 0.06 | 0.35 | 99.59 | 0.19 | 1.03 | 0.84 | 7.53 | 1.20 | 1.82 | 4.10 | |
| C41 | | | | | 75.38 | 0.15 | 11.8 | 0.55 | 2.60 | 0.04 | 0.15 | 0.61 | 3.07 | 4.99 | 0.02 | 0.12 | 99.48 | 0.08 | 1.02 | 0.89 | 21.00 | 1.07 | 2.01 | 4.71 | 本文 |
| C40 | | | | | 75.68 | 0.16 | 11.99 | 0.32 | 2.47 | 0.05 | 0.18 | 0.76 | 3.06 | 4.59 | 0.03 | 0.20 | 99.49 | 0.10 | 1.05 | 0.83 | 15.50 | 0.99 | 1.79 | 4.00 | 本文 |
| C43 | | | 南溪 | 二长-正长花岗岩 | 73.75 | 0.21 | 12.36 | 0.32 | 2.97 | 0.05 | 0.24 | 1.13 | 2.97 | 5.27 | 0.04 | 0.15 | 99.46 | 0.12 | 0.98 | 0.86 | 13.71 | 1.17 | 2.21 | 4.14 | 本文 |
| YQ-B5 | | | | | 74.44 | 0.09 | 12.34 | 0.98 | 0.43 | 0.00 | 0.29 | 0.95 | 3.35 | 5.73 | 0.01 | 1.24 | 99.85 | 0.28 | 0.92 | 0.95 | 4.86 | 1.12 | 2.62 | 5.31 | ⑤ |
| C55 | | | 大山里 | 二长花岗岩 | 71.13 | 0.41 | 13.26 | 0.73 | 3.27 | 0.06 | 0.49 | 2.21 | 3.34 | 4.1 | 0.11 | 0.3 | 99.41 | 0.18 | 0.95 | 0.75 | 8.16 | 0.81 | 1.97 | 2.85 | |
| YQ-B6 | CM型 | 骑田岭 | | | 71.44 | 0.27 | 13.12 | 0.92 | 0.48 | 0.00 | 0.33 | 1.82 | 3.18 | 7.31 | 0.06 | 0.57 | 99.50 | 0.31 | 0.8 | 1.00 | 4.24 | 1.51 | 3.87 | 5.71 | ⑤ |
| C24 | | | 廖家洞 | | 71.57 | 0.48 | 12.9 | 0.58 | 3.02 | 0.06 | 0.60 | 1.77 | 2.82 | 5.29 | 0.13 | 0.20 | 99.42 | 0.23 | 0.95 | 0.80 | 6.00 | 1.23 | 2.30 | 3.47 | 本文 |
| YQ-19 | | | | | 72.17 | 0.30 | 13.21 | 0.88 | 2.75 | 0.05 | 0.36 | 1.30 | 3.12 | 5.11 | 0.07 | 0.15 | 99.47 | 0.15 | 1.01 | 0.81 | 10.08 | 1.08 | 2.32 | 3.62 | |
| C21 | | | | | 71.28 | 0.26 | 12.5 | 1.01 | 2.19 | 0.04 | 0.45 | 0.62 | 2.85 | 6.00 | 0.10 | 1.12 | 98.42 | 0.21 | 1.02 | 0.89 | 7.11 | 1.38 | 2.77 | 5.15 | ⑤ |
| C23 | | | | 二长花岗岩 | 67.89 | 0.61 | 13.74 | 1.49 | 3.65 | 0.08 | 0.66 | 2.45 | 3.14 | 5.09 | 0.21 | 0.30 | 99.31 | 0.19 | 0.91 | 0.78 | 7.79 | 1.07 | 2.72 | 3.07 | |
| C47 | | | 仰天湖 | | 69.49 | 0.59 | 13.03 | 0.82 | 4.08 | 0.07 | 0.86 | 2.31 | 2.93 | 4.8 | 0.18 | 0.15 | 99.31 | 0.24 | 0.92 | 0.77 | 5.70 | 1.08 | 2.26 | 3.03 | |
| C48-1 | | | | | 68.38 | 0.73 | 13.17 | 0.78 | 4.50 | 0.09 | 1.07 | 2.81 | 2.86 | 4.26 | 0.23 | 0.40 | 99.28 | 0.27 | 0.91 | 0.71 | 4.93 | 0.98 | 2.00 | 2.61 | 本文 |
| C60 | | | | | 67.96 | 0.75 | 13.47 | 1.24 | 3.90 | 0.08 | 0.95 | 2.52 | 2.87 | 4.84 | 0.24 | 0.50 | 99.32 | 0.25 | 0.93 | 0.74 | 5.41 | 1.11 | 2.38 | 2.86 | 本文 |
| T-27 | | | 黄家湾 | 花岗岩长岩 | 70.49 | 0.47 | 13.61 | 0.59 | 2.97 | 0.05 | 0.59 | 2.19 | 3.00 | 4.68 | 0.14 | 0.65 | 99.43 | 0.23 | 0.97 | 0.73 | 6.03 | 1.03 | 2.15 | 2.89 | 本文 |
| | | | | | 67.64 | 0.86 | 12.60 | 1.80 | 4.32 | 0.15 | 1.10 | 2.50 | 2.92 | 4.46 | 0.30 | 0.85 | 99.50 | 0.25 | 0.89 | 0.76 | 5.56 | 1.00 | 2.21 | 2.91 | ⑥ |

续表 1

| 样号 | 类型 | 岩体 | 单元 | 岩性 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Mf | A/CNK | KN/A | FeO/MgO | K ₂ O/Na ₂ O | σ | AR | 资料来源 | |
|--------|----|-----|-----|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|--------|------|---------|------------------------------------|------|------|------|----|
| C48 | | | 黄家湾 | 花岗岩 | 66.1 | 0.86 | 14.07 | 1.06 | 4.50 | 0.09 | 1.10 | 2.84 | 2.98 | 5.06 | 0.27 | 0.60 | 0.91 | 0.74 | 5.05 | 1.12 | 2.80 | 2.81 | | |
| C54 | | | | 花岗岩内长岩 | 65.92 | 0.82 | 14.32 | 1.23 | 3.98 | 0.09 | 1.08 | 3.01 | 3.02 | 4.97 | 0.25 | 0.71 | 0.91 | 0.72 | 4.82 | 1.08 | 2.79 | 2.71 | | |
| D201-7 | | 骑田岭 | | 闪长质包体 | 53.84 | 3.09 | 9.52 | 4.26 | 12.98 | 0.30 | 3.51 | 3.82 | 1.54 | 3.42 | 0.68 | 0.86 | 0.72 | 0.65 | 4.91 | 1.46 | 2.27 | 2.18 | ③ | |
| C20-2 | | | | | 56.71 | 1.83 | 14.86 | 2.20 | 7.48 | 0.18 | 1.98 | 4.22 | 3.35 | 4.75 | 0.52 | 0.93 | 0.91 | 0.27 | 4.89 | 0.93 | 4.79 | 2.48 | | |
| QT-36 | | | | | 55.96 | 1.78 | 14.52 | 3.32 | 6.22 | 0.22 | 2.26 | 4.32 | 2.91 | 5.11 | 0.52 | 1.76 | 0.80 | 0.71 | 4.22 | 1.15 | 4.96 | 2.48 | ⑥ | |
| S181 | | | 小江 | | 73.85 | 0.03 | 14.22 | 0.17 | 1.46 | 0.12 | 0.10 | 0.27 | 3.42 | 4.68 | 0.05 | 0.84 | 1.27 | 0.75 | 16.30 | 0.90 | 2.13 | 3.54 | | |
| G17 | | | 下螺形 | 正长花岗岩 | 74.14 | 0.13 | 14.66 | 0.55 | 1.48 | 0.09 | 0.27 | 0.58 | 2.58 | 3.96 | 0.08 | 0.79 | 1.53 | 0.58 | 7.52 | 1.01 | 1.37 | 2.5 | | |
| 27-26 | | | | | 74.29 | 0.08 | 13.21 | 0.28 | 2.17 | 0.07 | 0.15 | 0.60 | 2.82 | 4.9 | 0.02 | 0.90 | 1.20 | 0.75 | 16.33 | 1.14 | 1.90 | 3.54 | 本文 | |
| G4 | | | 青洞 | 二长花岗岩 | 74.46 | 0.21 | 12.59 | 0.84 | 2.10 | 0.07 | 0.38 | 0.73 | 2.94 | 4.49 | 0.08 | 0.38 | 0.927 | 0.19 | 1.14 | 7.74 | 1.00 | 1.75 | 3.52 | |
| G-6 | | | | | 71.8 | 0.20 | 13.56 | 0.64 | 2.84 | 0.05 | 0.23 | 0.66 | 3.34 | 5.13 | 0.12 | 1.04 | 0.961 | 0.11 | 1.11 | 15.13 | 1.01 | 2.49 | 3.95 | |
| H49 | | | 介头 | 正长花岗岩 | 74.24 | 0.08 | 13.99 | 0.60 | 1.12 | 0.06 | 0.31 | 0.37 | 3.24 | 4.65 | 0.06 | 0.62 | 0.934 | 0.25 | 0.74 | 5.55 | 0.94 | 1.99 | 3.44 | 本文 |
| G18 | | 大义山 | | | 76.09 | 0.06 | 11.92 | 0.23 | 2.58 | 0.03 | 0.13 | 0.66 | 2.87 | 4.77 | 0.01 | 0.12 | 0.947 | 0.08 | 1.08 | 21.62 | 1.09 | 1.76 | 4.09 | |
| G5831 | | | 杉树排 | | 73.72 | 0.12 | 14.4 | 0.39 | 1.80 | 0.01 | 0.15 | 0.58 | 3.3 | 4.55 | 0.06 | 0.62 | 0.970 | 0.11 | 1.26 | 14.60 | 0.91 | 2.01 | 3.20 | 本文 |
| H50 | | | | 二长-正长花岗岩 | 75.05 | 0.09 | 12.04 | 2.07 | 1.00 | 0.03 | 0.10 | 0.62 | 2.82 | 5.08 | 0.02 | 0.27 | 0.919 | 0.06 | 1.07 | 30.70 | 1.18 | 1.95 | 4.32 | |
| G5612 | | | | | 72.64 | 0.38 | 12.83 | 0.25 | 3.40 | 0.05 | 0.58 | 0.89 | 2.55 | 5.25 | 0.13 | 0.38 | 0.933 | 0.22 | 1.12 | 6.29 | 1.35 | 2.05 | 3.64 | |
| G17-9 | | | 道士仙 | | 73.13 | 0.26 | 13.81 | 0.41 | 3.80 | 0.06 | 0.20 | 1.09 | 1.92 | 5.02 | 0.14 | 0.15 | 0.999 | 0.08 | 1.31 | 21.05 | 1.72 | 1.60 | 2.74 | |
| G19-1 | | | | | 73.38 | 0.11 | 14.49 | 0.54 | 1.16 | 0.07 | 0.23 | 0.51 | 3.66 | 4.52 | 0.10 | 0.59 | 0.936 | 0.20 | 1.22 | 7.39 | 0.81 | 2.20 | 3.40 | 本文 |
| G5819 | | | 岩前 | 二长花岗岩 | 73.66 | 0.18 | 13.22 | 1.26 | 2.08 | 0.07 | 0.23 | 0.80 | 3.30 | 4.26 | 0.06 | 0.31 | 0.943 | 0.11 | 1.15 | 14.52 | 0.85 | 1.86 | 3.34 | |
| G27-25 | | | | | 72.69 | 0.22 | 13.12 | 0.21 | 2.96 | 0.06 | 0.15 | 0.74 | 3.26 | 5.34 | 0.07 | 0.36 | 0.918 | 0.08 | 1.05 | 21.13 | 1.08 | 2.49 | 4.27 | |
| H2 | | | 大湖 | 正长花岗岩 | 75.51 | 0.11 | 12.68 | 0.50 | 1.52 | 0.05 | 0.22 | 0.46 | 3.10 | 5.12 | 0.03 | 0.73 | 100.03 | 0.17 | 1.10 | 9.18 | 1.09 | 2.08 | 4.34 | 本文 |
| H6 | | | 山洋坑 | | 75.82 | 0.05 | 12.03 | 0.20 | 2.45 | 0.06 | 0.12 | 0.70 | 3.18 | 4.7 | 0.02 | 0.15 | 99.48 | 0.08 | 1.04 | 22.08 | 0.97 | 1.89 | 4.25 | |
| H5 | | 锡田 | 八木寨 | | 75.52 | 0.07 | 12.06 | 0.54 | 2.28 | 0.08 | 0.20 | 0.62 | 3.23 | 4.45 | 0.01 | 0.42 | 99.48 | 0.11 | 1.07 | 14.10 | 0.91 | 1.81 | 4.07 | |
| H8 | | | 贺家田 | 二长花岗岩 | 73.99 | 0.16 | 13.01 | 0.23 | 2.25 | 0.04 | 0.22 | 1.08 | 2.86 | 5.65 | 0.04 | 0.01 | 99.54 | 0.14 | 1.02 | 11.27 | 1.30 | 2.34 | 4.05 | |
| 4901 | | | | | 74.9 | 0.2 | 12.69 | 0.17 | 3.2 | 0.03 | 0.19 | 0.97 | 2.87 | 5.54 | 0.05 | 0.27 | 99.83 | 0.14 | 1.02 | 11.16 | 1.27 | 2.22 | 4.20 | ⑦ |
| H1 | | | 光泉 | 花岗岩内长岩 | 70.9 | 0.41 | 13.67 | 0.32 | 3.12 | 0.08 | 0.75 | 1.72 | 2.9 | 5.03 | 0.14 | 0.28 | 99.37 | 0.28 | 1.02 | 4.65 | 1.14 | 2.25 | 3.13 | |
| C21 | | | | | 76.16 | 0.02 | 12.5 | 0.35 | 0.78 | 0.02 | 0.07 | 0.86 | 3.87 | 4.29 | 0.01 | 0.56 | 99.49 | 0.10 | 0.99 | 16.14 | 0.73 | 2.01 | 4.14 | 本文 |
| C36 | | 千里山 | | 正长花岗岩 | 76.01 | 0.04 | 12.5 | 0.51 | 1.12 | 0.07 | 0.18 | 0.64 | 2.86 | 4.94 | 0.02 | 0.5 | 99.39 | 0.17 | 1.11 | 9.06 | 1.14 | 1.84 | 3.92 | |
| C10 | | | 太平里 | 二(正)长花岗岩 | 75.59 | 0.08 | 12.2 | 0.23 | 2.18 | 0.05 | 0.17 | 0.75 | 3.13 | 4.81 | 0.03 | 0.35 | 99.57 | 0.11 | 1.04 | 14.18 | 1.01 | 1.93 | 4.17 | 本文 |

续表 1

| 样号 | 类型 | 岩体 | 单元 | 岩 性 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | 灼失 | ∑ | Mf | A/CNK | KN/A | FeO ^T /MgO | K ₂ O/Na ₂ O | σ | AR | 资料来源 |
|--------|------|-------|-------|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-----------------------|------------------------------------|------|------|------|
| C8 | CM 型 | 千 里 山 | 神合堂 | 似斑状二长花岗岩 | 75.85 | 0.20 | 11.91 | 0.75 | 1.43 | 0.03 | 0.30 | 1.38 | 2.76 | 4.71 | 0.05 | 0.29 | 99.66 | 0.20 | 0.98 | 0.81 | 7.27 | 1.12 | 1.70 | 3.57 | ⑤ |
| YZ04 | | | | | 73.22 | 0.24 | 12.69 | 0.81 | 2.13 | 0.04 | 0.29 | 1.46 | 2.88 | 5.00 | 0.05 | 0.43 | 99.24 | 0.15 | 0.99 | 0.80 | 10.14 | 1.14 | 2.05 | 3.51 | |
| 2603 | | | | | 74.02 | 0.30 | 12.67 | 1.00 | 0.87 | 0.02 | 0.24 | 0.66 | 3.90 | 4.68 | 0.01 | 1.00 | 99.37 | 0.19 | 1.00 | 0.91 | 7.79 | 0.79 | 2.37 | 4.61 | |
| U-20 | C 型 | 瑶 岗 仙 | 蛤坑 | 正长花岗岩 | 76.38 | 0.02 | 12.23 | 0.29 | 1.36 | 0.35 | 0.13 | 0.60 | 3.12 | 4.60 | 0.11 | 0.76 | 99.95 | 0.13 | 1.09 | 0.83 | 12.69 | 0.97 | 1.79 | 4.02 | ④ |
| C53 | | | | | 74.03 | 0.10 | 13.15 | 0.08 | 1.77 | 0.12 | 0.24 | 1.04 | 2.43 | 5.56 | 0.03 | 0.95 | 99.50 | 0.19 | 1.10 | 0.76 | 7.71 | 1.50 | 2.06 | 3.58 | 本文 |
| C52 | | | | | 76.00 | 0.05 | 12.32 | 0.30 | 1.93 | 0.11 | 0.10 | 0.67 | 3.48 | 4.24 | 0.01 | 0.30 | 99.51 | 0.07 | 1.07 | 0.84 | 22.30 | 0.80 | 1.81 | 3.93 | 本文 |
| U-8 | C 型 | 香 花 岭 | 蛤蟆石 | 二长花岗岩 | 74.84 | 0.02 | 12.38 | 0.44 | 1.45 | 0.27 | 0.23 | 0.98 | 2.64 | 5.24 | 0.11 | 0.82 | 99.42 | 0.18 | 1.05 | 0.81 | 8.22 | 1.31 | 1.95 | 3.88 | ④ |
| C26 | | | | | 74.60 | 0.05 | 11.88 | 0.01 | 1.55 | 0.03 | 0.10 | 2.20 | 2.53 | 6.07 | 0.01 | 0.60 | 99.63 | 0.10 | 0.81 | 0.90 | 15.60 | 1.58 | 2.34 | 4.14 | 本文 |
| C25 | | | | | 74.79 | 0.05 | 13.23 | 0.01 | 2.38 | 0.09 | 0.11 | 0.43 | 3.40 | 4.46 | 0.01 | 0.40 | 99.36 | 0.08 | 1.18 | 0.79 | 21.73 | 0.86 | 1.94 | 3.71 | 本文 |
| C29 | C 型 | 上 堡 | 王家坳 | 二(正)长花岗岩 | 73.86 | 0.03 | 13.51 | 0.27 | 2.30 | 0.06 | 0.16 | 0.82 | 3.35 | 4.63 | 0.01 | 0.40 | 99.40 | 0.10 | 1.12 | 0.78 | 16.06 | 0.91 | 2.06 | 3.51 | ④ |
| 2-H5 | | | | | 73.94 | 0.02 | 13.74 | 0.15 | 1.32 | 0.06 | 0.23 | 0.45 | 3.80 | 5.14 | 0.01 | 0.62 | 99.48 | 0.22 | 1.09 | 0.86 | 6.39 | 0.89 | 2.58 | 4.41 | |
| IV I-1 | | | | | 68.14 | 0.10 | 14.77 | 0.41 | 1.55 | 0.05 | 0.54 | 2.52 | 4.68 | 4.40 | 0.01 | 1.68 | 98.85 | 0.33 | 0.87 | 0.84 | 3.63 | 0.62 | 3.28 | 3.21 | |
| H52 | C 型 | 宝 峰 仙 | 猴山 | 正长花岗岩 | 75.01 | 0.10 | 12.31 | 0.26 | 2.35 | 0.04 | 0.15 | 0.71 | 3.44 | 4.62 | 0.02 | 0.4 | 99.41 | 0.09 | 1.03 | 0.87 | 17.40 | 0.88 | 2.03 | 4.25 | ④ |
| C2 | | | | | 75.45 | 0.08 | 11.92 | 0.10 | 3.08 | 0.05 | 0.13 | 0.70 | 3.10 | 4.84 | 0.01 | 0.51 | 99.97 | 0.07 | 1.03 | 0.87 | 24.46 | 1.03 | 1.94 | 4.39 | |
| C3 | | | | | 74.78 | 0.15 | 12.18 | 0.29 | 2.57 | 0.04 | 0.22 | 1.13 | 2.83 | 5.04 | 0.04 | 0.22 | 99.49 | 0.12 | 1.00 | 0.83 | 13.00 | 1.17 | 1.95 | 3.89 | |
| C7 | C 型 | 黄水垅 | 二长花岗岩 | 73.99 | 0.16 | 12.34 | 0.39 | 3.22 | 0.05 | 0.25 | 0.86 | 2.79 | 5.09 | 0.06 | 0.23 | 99.43 | 0.11 | 1.06 | 0.82 | 14.44 | 1.20 | 2.00 | 3.96 | ④ | |
| C1 | | | | 77.39 | 0.11 | 11.11 | 0.46 | 1.85 | 0.04 | 0.19 | 0.51 | 2.42 | 4.91 | 0.02 | 0.6 | 99.61 | 0.13 | 1.09 | 0.84 | 12.16 | 1.33 | 1.56 | 4.42 | | |
| 湖 220 | | | | 75.77 | 0.01 | 12.03 | 0.40 | 1.30 | 0.01 | 0.26 | 0.68 | 3.12 | 4.70 | 0.01 | 0.6 | 98.89 | 0.22 | 1.05 | 0.85 | 6.54 | 0.99 | 1.87 | 4.20 | | |
| 358-2 | C 型 | 黄 沙 坪 | 牛角冲 | 花岗岩 | 74.02 | 0.09 | 11.74 | 0.46 | 1.63 | 0.06 | 0.16 | 0.72 | 0.41 | 9.42 | 0.01 | 1.00 | 99.72 | 0.12 | 0.96 | 0.93 | 13.06 | 15.11 | 3.12 | 8.48 | ⑧ |
| 273-61 | | | | | 75.12 | 0.09 | 11.50 | 0.33 | 0.70 | 0.04 | 0.28 | 0.78 | 0.54 | 8.90 | 0.02 | 0.91 | 99.21 | 0.33 | 0.96 | 0.91 | 3.68 | 10.84 | 2.77 | 7.65 | ⑧ |
| 273-70 | | | | | 77.00 | 0.11 | 9.61 | 0.35 | 1.15 | 0.05 | 0.47 | 1.55 | 0.36 | 6.00 | 0.01 | 2.44 | 99.10 | 0.36 | 0.97 | 0.74 | 3.19 | 10.96 | 1.19 | 3.65 | ⑧ |

注: Mf=Mg/(Mg+Fe) 原子比; A/CNK=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) 分子比; KN/A=(K₂O+Na₂O)/Al₂O₃ 分子比; K₂O/Na₂O 分子比; SI=MgO×100/(MgO+FeO+Fe₂O₃+Na₂O+K₂O)·FeO^T/MgO=(FeO+0.9Fe₂O₃)/MgO; σ=(Na₂O+K₂O)/2/(SiO₂-43) 和 AR=(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O)/(Al₂O₃+CaO-Na₂O-K₂O) 均为重量百分比; 资料来源: ①湖南地质调查院, 1:25 万桂阳幅、白沙镇幅、白沙镇幅区域地质志; ②湖南省区域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报告项目阶段成果(2002~); ③湖南地质调查院, 1:25 万道县幅区调报告(2004)和郴州市幅区调报告(2005); ④湖南湘南地质队, 1:5 万永春、宜章豺幅、郴县幅区调报告; ⑤朱金初等, (2003); 岩石化学分析均为重量百分比, 由湖南省岩矿测试研究所完成; ⑥湖南地质研究所《湖南黄砂坪铅锌矿床地质特征及成矿规律研究》。

高的现象。如石英闪长岩进入石英二长闪长岩区, 花岗闪长岩进入二长花岗岩区。可能是由于在利用岩石化学计算标准矿物(CIPW)时, 把角闪石和黑云母中的碱质都计入碱性长石中所致。暗色微粒包体除此之外, 由于部分包体含较多的钾长石和石英捕虏晶, 使碱和硅含量明显增加。

综合岩石矿物学分类, 研究区成矿花岗岩以二长花岗岩为主, 其次为正长花岗岩, 少量花岗闪长岩、碱长花岗岩; 暗色微粒包体的岩石属石英二长闪长岩和石英二长闪长岩, 少量为石英二长岩。其中, MC 型与 CM 型花岗岩序列的早期次单元以二长花岗岩和花岗闪长岩为主; C 型与 CM 型花岗岩序列的晚期次单元以二长花岗岩和正长花岗岩为主。

2.2 主元素成分及有关参数特征

2.2.1 MC 型花岗岩

MC 型花岗岩 SiO₂ 含量一般为 53 %~69 % (表 1), 具有高的 CaO 含量。据铝质指数分类^[14], A/CNK 比值多小于 1, 变化为 0.59~1.18; 碱度指数 (KN/A 比值) 变化为 0.41~0.75, 平均值为 0.55; K₂O/Na₂O 比值多小于 1, 变化为 0.73~1.08, 属准铝质花岗岩类。组合指数 (σ 值) 分类^[14], σ 值一般为 1.35~2.93, 部分大于 3.3; 碱度指数 (AR)^[14] 都表明岩石属钙碱性花岗岩类。在 Frost 等^[15-17] 岩石化学分类图上 (图 4~11), 水口山和宝山等岩体 (序列) 属镁质、准铝质 (个别弱过铝质)、高钾钙碱性岩系, 综合其他岩石地球化学特征及其分布特点来看, 它们应

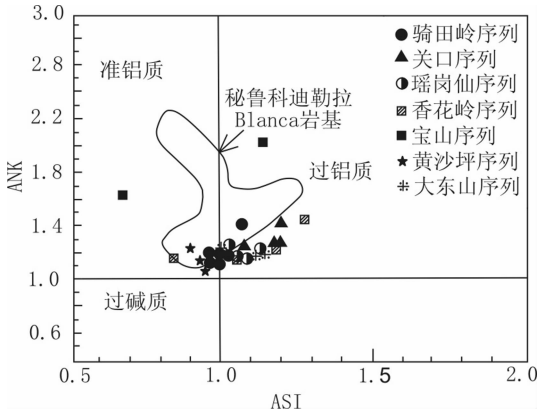


图 4 花岗岩 ANK-ASI 图解 (据参考文献 [14]; Blanca 岩基成分据参考文献 [17])

Fig.4 ANK-ASI discrimination diagram for granite (after Frost et al., 2001; the data of the composition of the Blanca batholith from Petford et al, 1996)

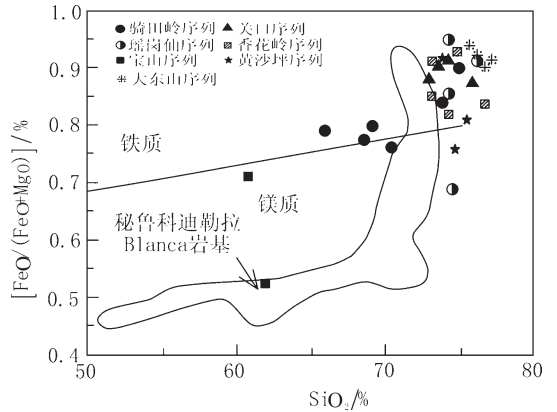


图 5 花岗岩 FeO/(FeO+MgO)-SiO₂ 图解

Fig.5 FeO/(FeO+MgO)-SiO₂ discrimination diagram for granite

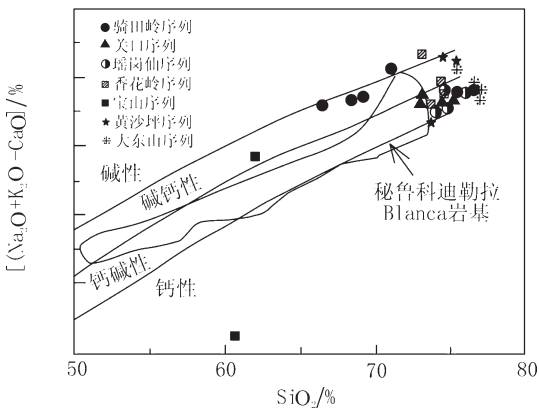


图 6 花岗岩 (Na₂O+K₂O-CaO)-SiO₂ 图解

Fig.6 (Na₂O+K₂O-CaO)-SiO₂ discrimination diagram for granite

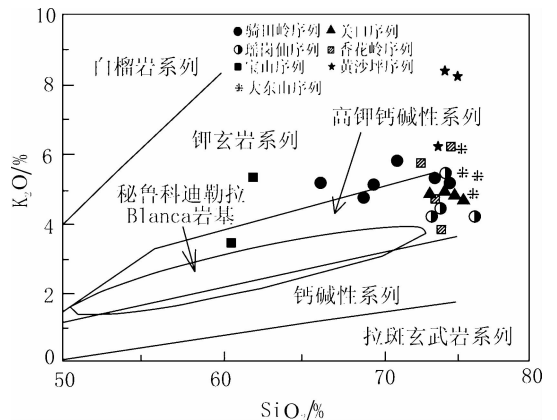


图 7 花岗岩 K₂O-SiO₂ 图解

Fig.7 K₂O-SiO₂ discrimination diagram for granite

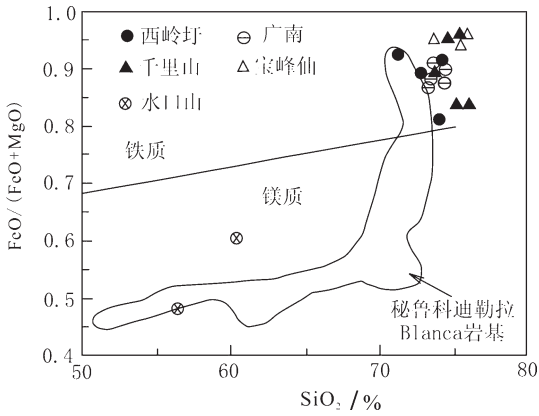


图8 花岗岩 FeO/(FeO+MgO)-SiO₂ 图解^[15,17]

Fig.8 FeO/(FeO+MgO)-SiO₂ discrimination diagram for granite^[15,17]

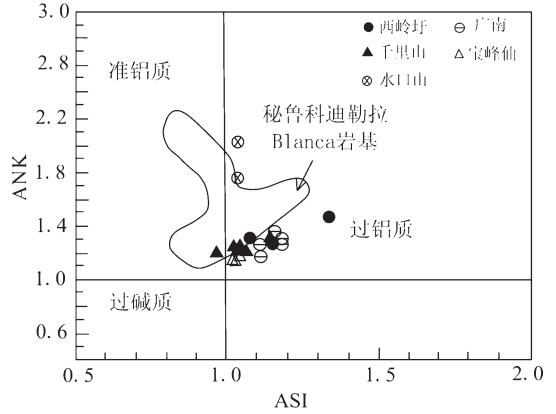


图9 花岗岩 ANK-ASI 图解^[15,17]

Fig.9 ANK-ASI discrimination diagram for granite^[15,17]

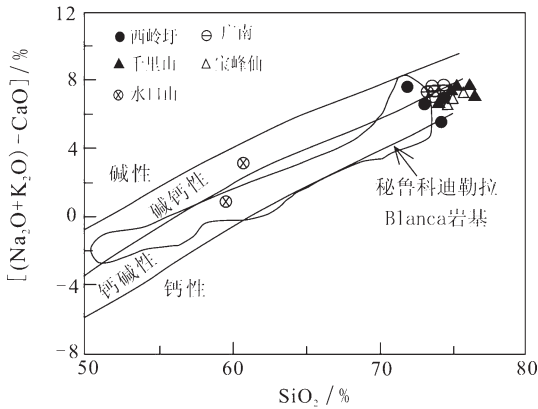


图10 花岗岩 (Na₂O+K₂O)-CaO-SiO₂ 图解^[15,17]

Fig.10 (Na₂O+K₂O)-CaO-SiO₂ discrimination diagram for granite^[15,17]

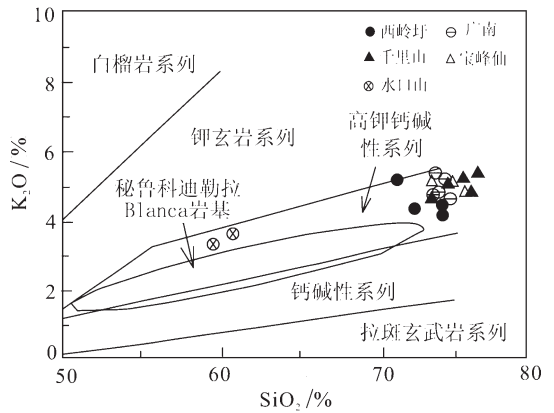


图11 花岗岩 K₂O-SiO₂ 图解^[15,17]

Fig.11 K₂O-SiO₂ discrimination diagram for granite^[15,17]

属于镁质准铝质的高钾钙碱性系列花岗岩类。

2.2.2 C 型花岗岩

各岩体样品, SiO₂ 含量一般为 73%~77%(表 1)。具有低的 CaO 含量和高的 K₂O 含量, A/KNC 比值多大于 1, 变化为 0.96~1.26, 标准矿物中常出现刚玉, KN/A 比值变化为 0.75~0.98, 平均为 0.81; K₂O/Na₂O 比值多大于 1, 变化为 0.73~1.44; 岩石中有原生白云母、黑云母、刚玉、电气石、黄玉等特征矿物, 属弱过铝质-过铝质花岗岩类。σ 值一般为 1.2~3.19, 部分大于 3.3, AR 值都表明岩石主要属碱钙性花岗岩类, 部分为钙碱性。在图 4~11 上, 瑶岗仙、香花岭、宝峰仙等花岗岩序列绝大多数样品为铁质、弱过铝质(个别准铝质), 且各样品全部落在钾玄岩系列区与高钾钙碱性系列区分界线附近; 综合其他岩

石地球化学特征及其分布特点, 应属于铁质过铝质的高钾钙碱性系列(钾玄岩系列)花岗岩类。

2.2.3 CM 型花岗岩

CM 型花岗岩具有上述两类花岗岩的共同特点, 骑田岭、千里山和大义山之关口序列等早期次单元的二长花岗岩-花岗闪长岩, SiO₂ 含量为 53%~71%(表 1); 具有高的 CaO 含量, A/KNC 比值多小于 1, 变化为 0.61~1.16, 属准铝质花岗岩类。K₂O/Na₂O 比值多小于 1, 变化为 0.75~1.05。在图 4~11 上, 花岗岩类各岩体样品全部落在铁质至镁质、准铝质至弱过铝质和高钾钙碱性系列区; 综合其他岩石地球化学特征及其分布特点, 属于铁质至镁质准过铝质至弱过铝质的高钾钙碱性系列花岗岩类。

骑田岭、千里山和大义山之关口序列晚期次单元

正长花岗岩-碱长花岗岩, SiO₂ 含量为 72%~77%。具有低的 CaO 含量和高的 K₂O 含量, A/KNC 比值多大于 1, 变化为 0.96~1.53, 属弱过铝质-过铝质花岗岩类。K₂O/Na₂O 比值多大于 1, 主要为 0.85~1.34。在图 4~11 中, 绝大多数样品为亚碱性系列, 各岩体样品全部落在铁质、弱过铝质和个别准铝质区, 分布在钾玄岩系列区, 部分高钾钙碱性系列区分界线附近; 综合其他岩石地球化学特征及其分布特点, 它们应属于铁质弱过铝质-过铝质钾玄岩系列-高钾钙碱性系列花岗岩类, 与 C 型铝质岩石花岗岩类相似。

2.2.4 暗色包体

MC 型和 CM 型花岗岩序列的早期次单元中常见大量的暗色微粒包体, 暗色微粒包体与花岗质岩石在主量元素成分上虽有明显的区别, 以贫硅, 富铁、镁和钙为特征, SiO₂ 含量为 53%~63%, 具有高的 CaO 含量和高的 K₂O 含量(表 1)。A/KNC 比值变化为 0.72~0.86, 属准铝质花岗岩类, 岩石中 K₂O/Na₂O 比值变化为 0.93~2.81。在图 6~7 中, 骑田岭暗色微粒包体主要属碱钙性花岗岩类, 部分为钙碱性, 多属于钾玄岩系列; 主要原因是其 K₂O 含量高所致。它们应属于准铝质的钾玄岩系列-高钾钙碱性系列岩石。

3 成因类型及岩浆演化机制探讨

3.1 成因类型判别

MC 型和 CM 型花岗岩各序列的早期次单元花岗质岩石及其中暗色微粒包体相对贫硅、富铁、镁和钙, 其中铝质指数(A/KNC)较低, 总体属于准铝质岩石, KN/A 比值都不高, 具钙碱性岩石特点, 显示出 I 型花岗岩的特征。但岩石的 A/KNC 变化较大, 部分岩石较高, 又显示出 S 型花岗岩的特点。

C 型花岗岩与 CM 型花岗岩各序列的晚期次单元花岗质岩石 KN/A 比值较高, 略大于碱性岩系的最低值 0.85 [18], 与铝质 A 型花岗岩的特征相似 [19]。与世界平均 M 型、S 型和 I 型花岗岩相比, 显示出富硅、碱, 贫铝、钙、镁特点, 而与世界平均 A 型花岗岩相似(表 2)。它们的 FeO^T/MgO 平均值为 3.88~20.17, 明显高于一般 I 型(平均值 2.27)、S 型(平均值 2.38)、M 型(平均值 2.37)花岗岩, 也高于前述的 MC 型和 CM 型花岗岩序列的早期次单元花岗质岩石的对应值(表 1); 较高的 FeO^T 值, 显然又不同于高分异 I 型花岗岩, 后者 FeO^T 值通常低于 1%。

与普通花岗岩相比, C 型花岗岩与 CM 型花岗岩各序列的晚期次单元花岗质岩石的 F 含量明显偏高 [3,5], 变化在 1180×10⁻⁶~19000×10⁻⁶ (大部分大于 1500×10⁻⁶), 但 Cl 含量(32×10⁻⁶~224×10⁻⁶)相对较低 [3,5], 常小于 200×10⁻⁶; 与该类岩体中普遍见到萤石矿物吻合, 且常有大量的电气石出现。MC 型与 CM 型花岗岩各序列的早期次单元的花岗质岩石的 Cl 含量 [3,5] 都大于 230×10⁻⁶。已有研究表明, A 型花岗质岩浆富 F, 则有利于角闪石的分离结晶而使岩浆向过铝质方向演化; 富 Cl, 则有利于斜长石的分离结晶而使岩浆向过碱性方向演化 [18,20], 由于高 F、Cl 含量将使岩浆中的高场强元素浓度增大 [21], 在成因分类图解(图 12)上花岗岩常常投在 A 型花岗岩区, C 型铝质花岗岩就属于这种情况, 香花岭、宝峰仙和瑶岗仙岩体的花岗岩类岩石落入 A 型花岗岩类。因此, 有人 [4] 认为高 F、Cl 含量的 CM 型的花岗岩属于 A 型花岗岩, 如认为骑田岭花岗岩属于 A 型花岗岩, 实际上是指骑田岭、大义山、千里山和锡田等 CM 型花岗岩类中的晚期次单元的花岗岩类岩石, 是岩浆向过铝质方向, 同时又向过碱性方向演化的

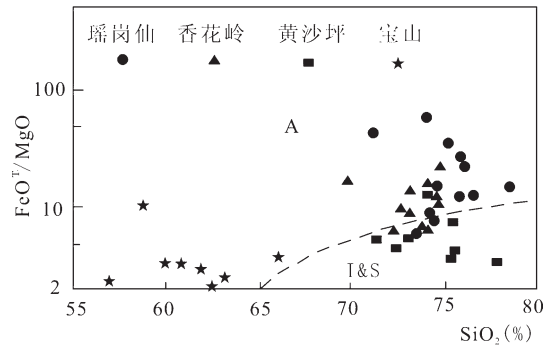


图 12 花岗岩 FeO^T/MgO—SiO₂ 成因分类图
Fig.12 Diagram of FeO^T/MgO—SiO₂ for granite

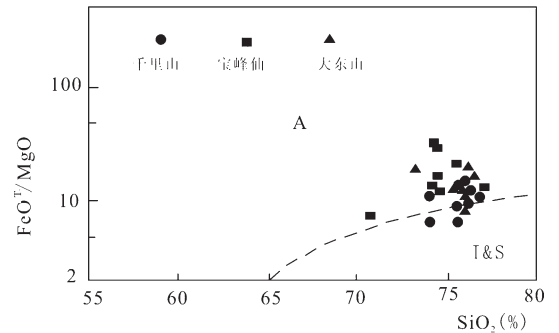


图 13 花岗岩 FeO^T/MgO—SiO₂ 成因分类图
Fig.13 Diagram of FeO^T/MgO—SiO₂ for granite

表 2 湘东南多金属矿集区燕山期不同岩石组合谱系的成矿花岗岩主要化学成分及参数
 Table 2 Main chemical composition and parameters of mineralized granites in different Yanshanian rock associations in polymetallic deposit concentration zones in southeastern Hunan

| 组合谱系 岩性 矿化系列 平均值(样数) | MC 型花岗岩 花岗岩内长岩-石英内长岩 Cu 多金属矿化 平均(33) 均方差 | | CM 型花岗岩 长花岗岩-二长花岗岩(少量花岗岩内长岩) Sn 多金属矿化 平均(28) 均方差 | | C 型铅质花岗岩 二-正长花岗岩 Sn 多金属矿化 平均(46) 均方差 | | 世界花岗岩 ^[14] A 型花岗岩 M 型花岗岩 I 型花岗岩 S 型花岗岩 平均(148) 平均(17) 平均(991) 平均(578) | | | | | |
|------------------------------------|---|-------|---|-------|---|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | SiO ₂ /10 ⁻² | 62.31 | 2.79 | 74.87 | 0.36 | 70.70 | 2.17 | 74.10 | 1.23 | 73.81 | 67.24 | 69.17 |
| TiO ₂ | 0.54 | 0.08 | 0.11 | 0.03 | 0.39 | 0.14 | 0.07 | 0.04 | 0.26 | 0.49 | 0.43 | 0.48 |
| Al ₂ O ₃ | 15.23 | 0.35 | 12.56 | 0.30 | 13.35 | 0.34 | 13.08 | 0.67 | 12.40 | 15.18 | 14.33 | 14.1 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.49 | 1.16 | 0.64 | 0.20 | 0.84 | 0.25 | 0.46 | 0.17 | | | | |
| FeO | 3.03 | 0.37 | 1.52 | 0.32 | 3.00 | 0.80 | 1.77 | 0.23 | 2.70 | 4.10 | 3.23 | 3.37 |
| MnO | 0.11 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.06 | 0.01 | 0.11 | 0.05 | | | | |
| MgO | 1.89 | 0.50 | 0.17 | 0.04 | 0.46 | 0.19 | 0.23 | 0.06 | 0.20 | 1.73 | 1.42 | 1.42 |
| CaO | 3.97 | 0.69 | 0.66 | 0.09 | 1.41 | 0.40 | 0.90 | 0.21 | 0.75 | 4.27 | 3.2 | 2.03 |
| Na ₂ O | 2.38 | 0.24 | 3.03 | 0.02 | 3.13 | 0.25 | 3.26 | 0.44 | 4.07 | 3.97 | 3.13 | 2.41 |
| K ₂ O | 4.13 | 0.46 | 5.05 | 0.16 | 5.10 | 0.25 | 4.80 | 0.30 | 4.65 | 1.26 | 3.4 | 3.96 |
| P ₂ O ₅ | 0.24 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.13 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.09 | 0.11 | 0.15 |
| Mf | 0.39 | 0.01 | 0.12 | 0.03 | 0.18 | 0.05 | 0.17 | 0.04 | | | | |
| A/CNK | 0.94 | 0.06 | 1.09 | 0.05 | 1.02 | 0.07 | 1.09 | 0.07 | | | | |
| KN/A | 0.55 | 0.03 | 0.86 | 0.05 | 0.80 | 0.05 | 0.81 | 0.02 | | | | |
| K ₂ O/Na ₂ O | 0.87 | 0.37 | 1.91 | 0.93 | 1.11 | 0.10 | 1.32 | 0.49 | | | | |

注: MC 型花岗岩有桐山岭、水口山、宝山等岩体; CM 型花岗岩有靖田岭、大义山、千里山、锡田等岩体; C 型铅质花岗岩有香花岭、瑶岗仙、宝峰仙等岩体。

结果; 千里山和大东山岩体早期次单元花岗质岩石落入 I 和 S 型, 而晚期次单元的花岗岩类岩石落入 A 型花岗岩类就是很好的例子(图 12), 这就是研究区壳幔岩浆混合作用形成的此类花岗岩的典型, 也是导致此类花岗岩类的早期次单元多有 Cu、Pb、Zn、Sb 和 Ag 等多金属化和晚期次单元常有大型 Sn、W、Pb、Zn、Nb、Ta 和稀土矿化的原因。

3.2 主量元素成分变异与岩浆演化机制

从岩石的主元素成分含量(表 1~2)可看出, 同岩体/序列中从包体—早期次单元—晚期次单元的花岗岩类岩石中镁铁质组分的含量明显减少, 基性程度由高变低。

CM 型花岗岩类以骑田岭花岗岩体为例, 暗色微粒包体的 SiO₂ 含量为 53.84%~63.80%, 平均为 58.48%, 寄主花岗岩的 SiO₂ 含量为 65.84%~75.72%。包体为准铝质(A/KNC 比值为 0.72~1.00, 平均 0.85); 而寄主岩石为准铝质—弱过铝质(A/KNC 比值为 0.89~1.06, 平均 0.97)。包体的全碱含量为 4.75%~10.14%, 变化大; 而寄主岩石为 7.38%~8.90%, 相对稳定。包体的 K₂O/Na₂O 比值为 1.42~4.28; 而寄主岩石的 K₂O/Na₂O 比值为 1.22~2.03, 变化较小。寄主岩石属于碱性—碱钙性系列, 包体属于钙碱性系列(图 6)。在 AFM 图(图 14)中, 包体与其寄主岩石投影点不在一个区, 可能属于不同的岩浆系列, 但在该图上又显示存在线性关系, 暗示它们之间有成因联系。

尽管暗色微粒包体比寄主岩石的 Fe 和 Mg 含

量高得多, 可它们的 Fe/(Fe+Mg) 比值却十分接近, 表现在 FeO—MgO 变异图(图 15)上为很好的线性关系, 与 Bedard^[14] 的壳幔岩浆混合趋势相同, 而明显不同于岩浆的结晶分异趋势; 这表明包体岩浆与寄主岩浆密切相关, 两者在很大程度上是同源的, 即包体是同源包体。

由于岩石中主元素成分变化可以指示岩浆的演化方向, 而花岗质岩浆有多种演化形式可以导致岩浆成分的改变。但反映到各种方式的岩浆作用有关的成分变异趋势是不同的, 给出的变异图就不同。混合作用形成的一套岩石组合, 在主元素二元素组分 C^X—C^Y 变异图上均接近线性趋势, 而经结晶分异, 分离熔融或部分熔融形成的一套岩石组合, 只有在组分分配系数相等时, 才能在二元素(C^X—C^Y)图中呈线性变异关系; 在共分母比值—比值成分协变图中呈直线变异关系, 而在异分母比—比值协变图中呈双曲线变异特点。

骑田岭岩体中所有花岗岩类岩石(含包体)的主元素二元素组分变异图(图 15)中, 花岗岩类各单元的岩石的成分点比较集中, SiO₂ 与 TiO₂、FeO^T、MgO、CaO、P₂O₅ 含量上存在明显的负相关性, 与 Al₂O₃ 之间为极弱的负相关性, 都为线性关系, 即各类岩石的主元素成分(C^X—C^Y)变异图中, 均接近线性趋势; 对花岗质岩浆系统而言, 上述变异图中的元素分配系数可能不相等。其主元素共分母比值—比值成分协变图中呈直线变异关系(图 16~17), 而异分母比—比值协变图中呈双曲线变异特点(图 18~

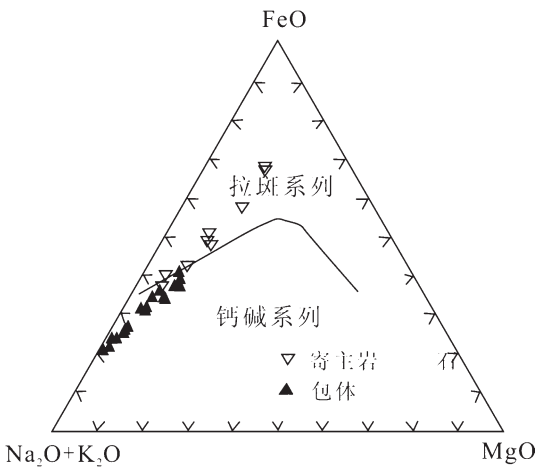


图 14 骑田岭岩体 AFM 图

Fig. 14 AFM diagram for the Qitianling intrusion

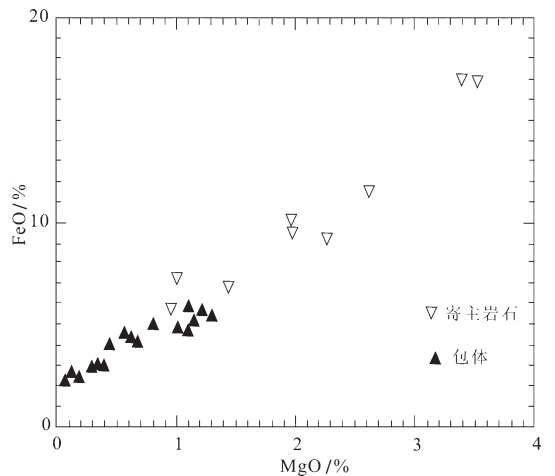


图 15 骑田岭岩体 FeO 与 MgO 变异图

Fig.15 Variation diagram of FeO vs. MgO for the Qitianling intrusion

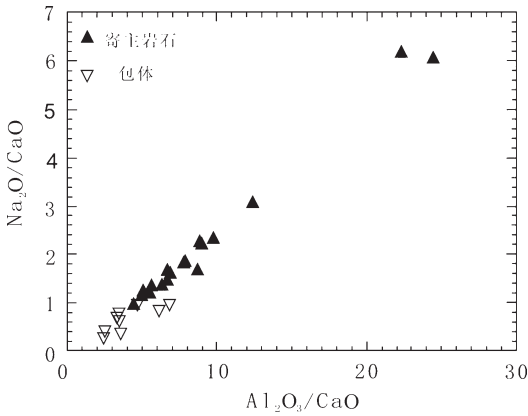


图 16 骑田岭岩体 $Al_2O_3/CaO-Na_2O/CaO$ 协变图
Fig.16 Covariant diagram of $Al_2O_3/CaO-Na_2O/CaO$ for the Qitianling granite intrusion

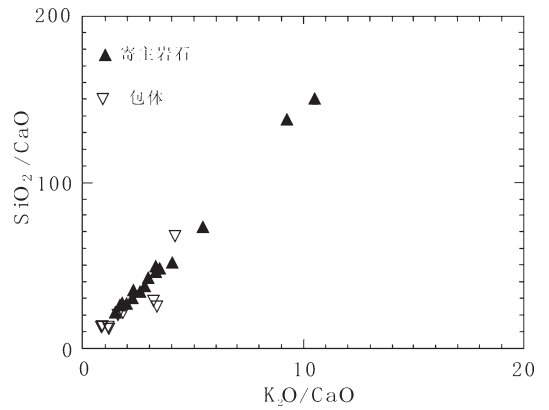


图 17 骑田岭岩体 $SiO_2/CaO-K_2O/CaO$ 协变图
Fig.17 Covariant diagram of $SiO_2/CaO-K_2O/CaO$ for the Qitianling granite

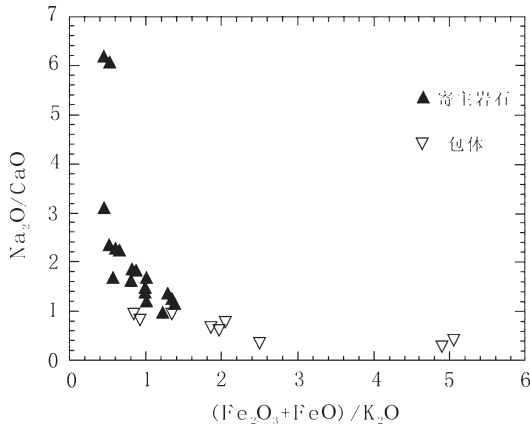


图 18 骑田岭岩体 $(Fe_2O_3+FeO)/K_2O-Na_2O/CaO$ 协变图
Fig.18 Covariant diagram of $(Fe_2O_3+FeO)/K_2O-Na_2O/CaO$ for the Qitianling granite

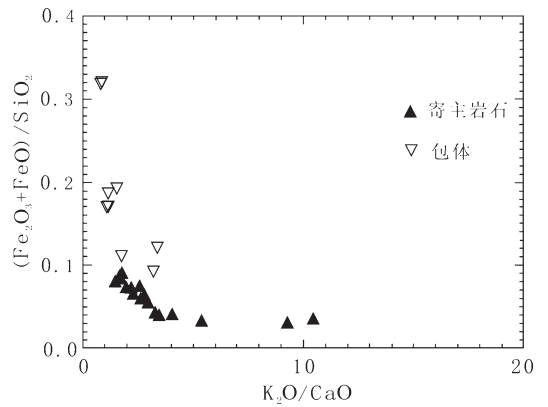


图 19 骑田岭岩体 $K_2O/CaO-(FeO+Fe_2O_3)/SiO_2$ 协变图
Fig.19 Covariant diagram of $K_2O/CaO-(FeO+Fe_2O_3)/SiO_2$ for the Qitianling granite

19),说明骑田岭岩体中的花岗岩类岩石主元素成分的变异机制主要是混合作用。

混合作用的方式有很多,但双扩散作用可能是包体与寄主岩石之间进行成分交换的一种重要方式。目前,大量的实验已经证实在通常情况下 K、Si 和 Na 从寄主岩石向包体一方迁移;而 Ca、Fe、Mg、Ti 和 Al 则由包体向寄主岩石方向迁移,总的趋势是达到成分的平衡;野外研究表明,骑田岭岩体的同化混染作用现象较弱;上述两种机制造成骑田岭花岗岩类岩石成分变异的可能性不大。上述几类主元素协变图特征均表明岩石的成分变异与岩浆混合作用有关,说明两种岩浆之间发生过不同程度物质成分交换。对比暗色微粒包体与其寄主岩石的化学成

分,具有如下特点:一是包体的成分比较分散,寄主岩石的成分比较集中,并且包体相对富 K、 Fe^{2+} 、Mg、Ca,与 Debon^[22]得出的结果一致;二是寄主岩石为正常岩浆演化趋势,而包体则不是,与 Debon^[22]的结论亦吻合。

在花岗岩类中有大量闪长质同生包体,且基性岩石与酸性岩相伴生;而闪长质同生包体及岩石矿物野外和室内观察均显岩浆混合作用的特点^⑧。因此,形成骑田岭等岩体的花岗质岩浆的起源与幔源基性岩浆的侵入有关,花岗岩类岩石成分的演变总体上是岩浆混合作用造成的。笔者曾对 CM 型花岗岩的大义山、千里山等花岗岩类岩浆的演化进行过探讨,均为岩浆混合作用为主的岩浆演化机制^[5,8,23]。需要指出的是,骑

田岭、大义山、千里山岩体中早期次的花岗岩类岩浆的演化主要是岩浆混合作用, 晚期次花岗岩类的形成同时不排除结晶分异作用; 而最末期的花岗斑岩类和基性岩墙的形成是岩浆混溶体的期后补充侵入。

此外, 在 SiO_2 与 K_2O 、 Na_2O 等主要氧化物的哈克图上, C 型质花岗岩岩石的成分点比较分散, 非直线相关的岩浆演化趋势; 所有样品的 SiO_2 与 K_2O 、 Na_2O 之间几乎为不相关^①, 这从另一个侧面说明了该类岩石的富钾特点可能主要是分离结晶作用引起的。

4 结 论

(1) 成矿花岗岩岩石的化学成分及有关参数的分析表明, 不同岩体或岩石之间既有共性, 也存在明显的差别。MC 型花岗岩属于镁质准铝质的高钾钙碱性系列花岗岩类。C 型铝质花岗岩类属于铁质弱过铝质-过铝质的高钾钙碱性系列(钾玄岩系列)花岗岩类。CM 型花岗岩类的早期次单元属于铁质至镁质准过铝质至弱过铝质的高钾钙碱性系列岩石, 与 MC 型花岗岩类相似; 它们的晚期次单元正长花岗岩-碱长花岗岩属于铁质弱过铝质-过铝质钾玄岩系列-高钾钙碱性系列岩石, 与 C 型花岗岩类相似。而所有成矿花岗岩岩石的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值高, 均属于高钾钙碱性-钾玄岩系列岩石, 且 SiO_2 与 K_2O 、 Na_2O 为不相关。

(2) MC 型与 CM 型花岗岩的早期次单元花岗岩及其中暗色微粒包体相对贫硅、碱, 富钙、镁、铁, 其中铝质指数(A/KNC)较低, KN/A 比值也不高, 显示出 I 型花岗岩的特征。但 CM 型花岗岩类早期次单元及其中暗色微粒包体的花岗岩岩石的 A/KNC 变化较大, 部分岩石较高, 又显示出 S 型花岗岩的特点。

(3) C 型花岗岩和 CM 型花岗岩各序列的晚期次单元的花岗质岩石主元素成分相对富硅碱、贫镁钙, 岩石的 FeO^T/MgO 值明显高于一般 I 型、S 型和 M 型花岗岩, 较高的 FeO^T 值又与高分异的 I 型花岗岩相区别。由于高 F、Cl 含量, 导致岩浆向过铝质方向, 同时又向过碱性方向演化, 使岩浆中的高场强元素浓度增大, 花岗岩常显示 A 型花岗岩特征; 并导致 CM 型的花岗岩类的早期次单元多有 Cu、Pb、Zn、Sb 等多金属矿化, 晚期次单元则常有大型 Sn、W、Pb、Zn、Nb、Ta 和稀土等矿床产出。

(4) 通过岩石主元素的成分特征的综合分析, 成矿花岗岩的岩浆起源与幔源基性岩浆的侵入有关, 成矿花岗岩的主元素成分变异总体上是由壳幔岩浆混合作用造成的。MC 型花岗岩类和 CM 型花岗岩类早期次的花岗岩类岩浆的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 型花岗岩类岩石的富钾特点及其岩浆的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. Regional Geology of Hunan Province [M]. Beijing:Geology 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 with English abstract).
- [3] 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).
- [4] 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 of tin deposits in the Qitianling area, Hunan [J]. Geology in China, 2002, 29(1):67-75(in Chinese with English abstract).
- [5] 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, Pan 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).
- [6] 朱金初, 黄革非, 张佩华, 等. 湘南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究[J]. 地质论评, 2003, 49(3):245-252. Zhu Jinchu, Huang Gefei, Zhang Peihua, et al. The emplacement age and material sources for the granites of Cailing superunit, Qitianling Pluton, south Hunan Province [J]. Geological Review, 2003, 49(3): 245-252(in Chinese with English abstract).
- [7] 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

①伍光英. 湘东南多金属矿集区燕山期花岗岩类及其大规模成矿作用. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2005.

- dating and geological of the underground explosion breccia in Baoshan area, Hunan and its significance [J]. *Geoscience*, 2005, 19 (2):198-204(in Chinese with English abstract).
- [8] 马铁球, 伍光英, 贾宝华, 等. 南岭中段郴州一带中、晚侏罗世花岗岩浆混合作用: 来自镁铁质微粒包体的证据[J]. *地质通报*, 2005, 24(7):415-419.
- Ma Tieqiu, Wu Guangying, Jia Baohua, et al. Middle-Late Jurassic granite magma-mixing in the middle segment of the Nanling Mountains, South China: Evidence from mafic microgranular enclaves [J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24 (7):415-419(in Chinese with English abstract).
- [9] 邱瑞照, 周肃, 常海亮, 等. 香花岭花岗岩稀土元素演化 [J]. *现代地质*, 2002, 16(1):53-58.
- Qiu Ruizhao, Zhou Su, Chang Hailiang, et al. Evolution of rare earth elements of granitoid in Xianghualing area, Hunan [J]. *Geoscience* 2002, 16(1):53-58(in Chinese with English abstract).
- [10] 王登红, 陈毓川, 李华芹, 等. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及找矿意义[J]. *地质通报*, 2003, 22(1):50-56.
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Li Huaqin, et al. Geological and geochemical features of the Furong tin deposit in Hunan and their significance for mineral prospecting [J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(1):50-56(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(2):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(2):121-128(in Chinese with English abstract)
- [12] 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 Metallogenic Relations* [M]. Beijing: Science Press, 1981(in Chinese).
- [13] 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).
- [14] 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 Daquan, et al. *The Way of Investigation on Granitoids* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002(in Chinese).
- [15] Frost B R, Barnes C G, Collins W J, et al. A geochemical classification for granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 2001, 42 (11):2033-2048
- [16] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1976, 58(1):63-81.
- [17] Petford N, Atherton M. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca batholith, Peru[J]. *J Petrol*, 1996, 37(6):1491-1521.
- [18] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1987, 95: 407-419
- [19] Sakoma E M, Martin R F, Williams-Jones A E. The late stages of evolution of the Kwadonkaya A-type granite complex, Nigeria, as deduced from mafic minerals[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2000, 30(2):329-350.
- [20] Charvet J, Lapiere H, Yu Y W. Geodynamic significance of the Mesozoic volcanism of southeastern China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1994, 9:387-396.
- [21] 刘昌实, 陈小明, 王汝成, 等. 广东龙口南昆山铝质 A 型花岗岩的成因[J]. *岩石矿物学杂志*, 2003, 22(1):1-10.
- Liu Changshi, Chen Xiaoming, Wang Ruchen, et al. Origin of Nankunshan aluminous A-type granite, Longkou, Guangdong [J]. *Petrologica et Mineralogica*, 2003, 22 (1):1-10 (in Chinese with English abstract).
- [22] Debon F, Lefort P A. Cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, application [J]. *Bulletin de Mineralogie*, 1982, III, 493-510.
- [23] 贾宝华. 湖南花岗岩体侵位机制初步研究[J]. *湖南地质*, 1998, 增刊 10:71-85.
- Jia Baohua. Pilot study of intrude mechanism granitoids in Hunan [J]. *Hunnan Geology*, 1998, supp.10:71-85(in Chinese).

Major element geochemistry and genesis of Yanshanian mineralized granites in the polymetallic deposit concentration region, southern Hunan

WU Guang-ying^{1,2}, XIAO Xu-chang¹, XIAO Qing-hui³, WANG Tao¹,
YAN Quan-ren¹, CHEN Hui-ming¹, MA Tie-qiu⁴, BO Dao-yuan⁴

(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, Xiangtan 411100, Hunan, China)

Abstract: There are three types of Yanshanian mineralized granite distributed in Hunan. Major element geochemical analyses show the following: (1) Mineralized granites have a higher ratio of K_2O/Na_2O and display the features of the high-K, calc-alkaline shoshonite series. (2) The MC-type and early CM-type granites are poor in Si and alkalis (K+Na) and rich in Ca, Mg and Fe with a lower aluminum index (A/KNC) and a lower alkalinity ratio of KN/A, which indicates that those granites have the same characteristics as magnesian and ferruginous, para-aluminous, high-K calc-alkaline rocks, such as I-type granite. The IC-type and late CM-type granites are relatively rich in Si and alkalis and poor in Ca and Mg, belonging to the ferruginous, slightly peraluminous-peraluminous shoshonite series. Their ratios of FeO^T/MgO are notably higher than those of I- and M-type granites and their higher $FeOT$ values indicate that these granites are apparently distinguished from highly differentiated I-type granites, but generally, they show the features of S-type granites. (3) The higher percentages of F and Cl in mineralized granites indicate that the magma of Yanshanian mineralized granites evolved toward the peraluminous or peralkaline one. The increase in concentrations of the HFSE in the late-stage magma led to mineralization of multiple metals such as Cu, Pb, Zn and Sb in the early-stage MC- and CM-type granites and large-scale mineralization of Sn, W, Pb, Zn, Nb, Ta and LREE in the late-stage aluminous C-type and CM-type granites. (4) The formation of the mineralized granites is related with crust-mantle magma intermingling. The magma generating the MC-type and early-stage CM-type granites was sourced from magma intermingling, while the magmatic evolution of C-type and late-stage CM-type granites might also involve fractional crystallization.

Key words: major element; geochemistry; polymetallic deposit; granite; Hunan

About the first author: WU Guang-ying, male, born in 1965, senior engineer, engages in the study of mineralogy, petrology and mineral deposit geology; E-mail: ycwguangying@cgs.gov.cn.