

文章编号:1671-4814(2013)04-234-09

福建紫金山外围东留花岗斑岩体 地质特征及成矿作用分析*

周延,陈世忠,武玲,邱金亮,骆学全,张传林

(南京地质矿产研究所,南京 210016)

摘要:福建紫金山及其外围地区分布的浅成-超浅成斑岩体与成矿密切相关。紫金山外围东留花岗斑岩体位于福建省武平县境内,花岗斑岩体内外接触带普遍发育强烈的矿化蚀变带。通过对东留花岗斑岩体进行野外地质调查及全岩地球化学分析,结果表明东留花岗斑岩体具有过铝质 A 型花岗岩的特征:富硅、钾、铁,贫钙、钠、镁, A/CNK 值大于 1.1,分异指数高,富集 HFSE、Ga、LREE、Y(Ce),亏损 Ba、Sr、P、Ti,具有强烈的铕负异常。东留花岗斑岩体作为矿化蚀变岩石的母岩,可能为矿化作用提供热源和成矿物质,具有寻找锡多金属矿的前景。

关键词:花岗斑岩体;全岩地球化学分析;成矿作用;东留;紫金山;福建

中图分类号:P588.12⁺1

文献标识码:A

武夷山成矿带南部的紫金山及其外围地区存在许多与浅成-超浅成斑岩体有关的典型矿床,如紫金山铜金矿床、红山铜矿床和岩背锡矿床,研究表明这些典型矿床的形成均与斑岩体(花岗斑岩、花岗闪长斑岩为主)有关,成矿物质主要来自花岗质岩浆^[1-12]。本课题组在位于紫金山外围的福建武平东留地区发现大规模的超浅成斑岩体,其矿化特征明显。本文选择其中的花岗斑岩体为研究对象,以野外地质资料为基础,对其岩石地球化学特征、矿化蚀变特征及成矿作用进行研究,试图揭示东留花岗斑岩体的岩石成因及其与成矿的关系。

1 区域地质背景

研究区位于武夷山北北东向隆起带与南岭东西向构造带的复合部位,处于会昌-(上杭)云霄北西向构造带、南平-宁化(瑞金-洛口)北东东向构造岩浆岩带、连城-上杭北北东向断裂带的交汇部位,属于武夷山成矿带南部,其成矿地质条件优越。研究区发育大量的中生代侵入岩体,岩体产状为岩基、岩

株、岩瘤及岩脉等,类型以花岗岩类为主,发育少量中基性岩。岩石组合及岩石成因差异较大,花岗岩类岩石总体上以 I 型/分异 I 型及 A 型为主^[13-16]。在中生代大规模岩浆活动的背景下,研究区发育众多小型中酸性斑岩体,它们与成矿关系最为密切。

2 花岗斑岩体特征

本次研究对东留花岗斑岩体、接触带蚀变岩以及斑岩体的主要围岩大东坑岩体(主体岩性为二长花岗岩)分别采集岩石样品,磨制光薄片并进行主量、微量、稀土元素定量分析测试,结果见表 1 及表 2。

2.1 野外产状及岩石学特征

东留花岗斑岩体主要分布于中-下元古界片岩、片麻岩地层和下侏罗统大东坑岩体(二长花岗岩)中,多呈小岩株状产出,其侵入接触关系明显(图 1)。花岗斑岩内外接触带发现黄铁矿化、硅化、叶腊石化等矿化蚀变现象,斑岩体中见少量晚期闪长岩脉、辉绿岩脉、石英斑岩脉和石英脉等。

* 收稿日期:2013-01-11 改回日期:2013-03-27

基金项目:中国地质调查局地质调查项目《江西-福建羊角-东留圩地区矿产远景调查》(项目编号:矿调[2004]12-1号)资助。

第一作者简介:周延(1982~),男,工程师,从事矿产资源勘查与研究工作。

东留花岗斑岩具斑状细粒显微文象结构,斑晶主要有石英、钾长石、斜长石、黑云母,含量 10~35%不等,粒径 0.2~10 mm,其中石英多被熔蚀,呈浑圆状或港湾状。钾长石呈自形、半自形板状。斜长石呈自形宽板状或板柱状。黑云母呈片状、绿

泥石化或退变为白云母;基质矿物粒径 0.01~0.2 mm,石英多与钾长石共生,具显微文象结构。矿物百分含量:石英 20~30%,钾长石 45~50%,斜长石 15~20%,黑云母 2~3%;副矿物有磁铁矿、钛铁矿、磷灰石等。

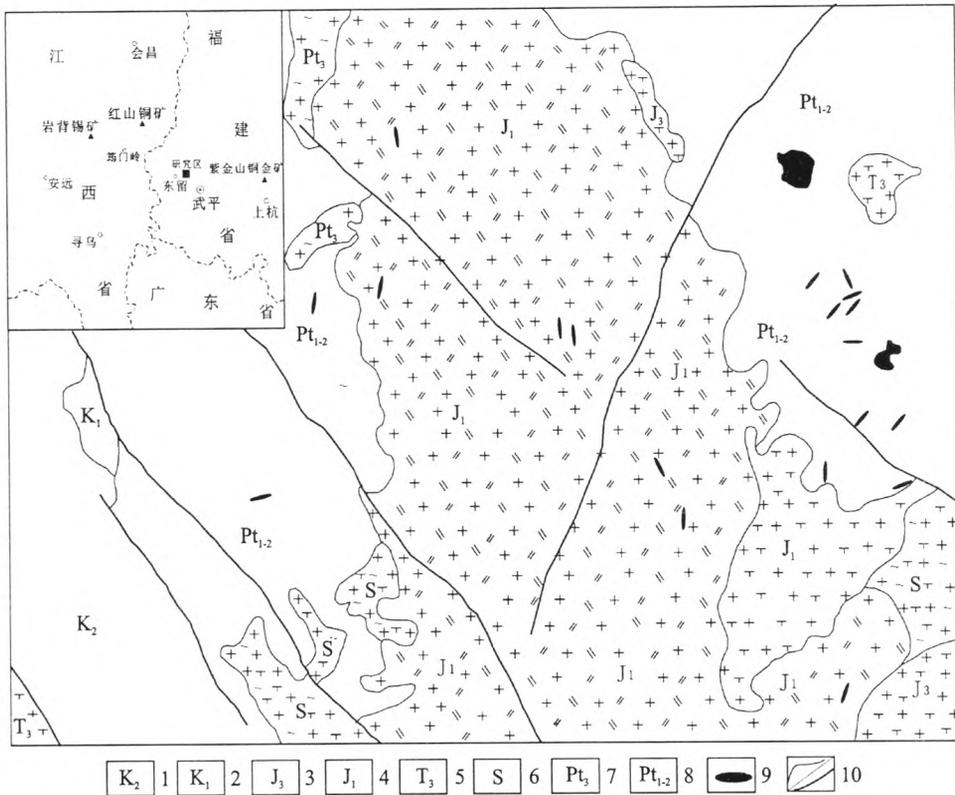


图 1 福建紫金山外围东留花岗斑岩体地质略图(底图据①简化)

Fig. 1 Geological sketch map of the Dongliu granite porphyry bodies in the periphery of Zijinshan, Fujian Province

1-上白垩统砾岩、砂岩、粉砂岩;2-下白垩统凝灰岩;3-上侏罗统正长花岗岩;4-下侏罗统二长(正长)花岗岩;5-上三叠统正长花岗岩;6-志留系糜棱岩化正长(二长)花岗岩;7-上元古界糜棱岩化二长花岗岩;8-中-下元古界片岩、片麻岩;9-花岗斑岩;10-地质界线及断层

2.2 主量元素地球化学特征

东留花岗斑岩体主量元素地球化学分析结果见表 1。由表 1 可知,东留花岗斑岩体富铝,Al₂O₃ 含量 12.62~13.00%,平均值为 12.82%;A/CNK 为 1.59~1.72,均大于 1.1;A/NK 值 1.61~1.73, CIPW 计算结果出现标准矿物刚玉分子,在 A/CNK-A/NK 图解(图 2)上,样品全部落入过铝质区,表明东留花岗斑岩体属于过铝质花岗岩。Fe₂O₃ 和 CaO 相对华南花岗岩平均值^[17] 含量偏低,Fe₂O₃ 含量平均值为 1.61%,而 CaO 含量平均值仅为 0.04%;Na₂O 平均含量为 0.1%,Na₂O 含量的异常低值可能与该区岩石蚀变导致 Na 流失有关^[18]。岩体富硅、富钾,SiO₂ 含量为 75.97~76.48%,高于华南花岗岩平均值 72.75%^[17];全碱

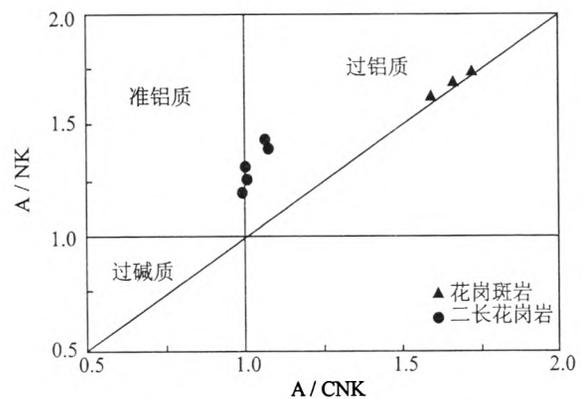


图 2 研究区花岗岩类 A/CNK-A/NK 判别图解

Fig. 2 A/CNK vs. A/NK discrimination diagram for the granites in the studied area

含量 ALK 值为 6.82~7.16%,AR 为 3.19~3.6,在 SiO₂-K₂O 图解上(图 3)样品落在钾玄质系列

① 中国地质调查局南京地质调查中心,江西-福建羊角-东留圩地区矿产远景调查报告,2008.

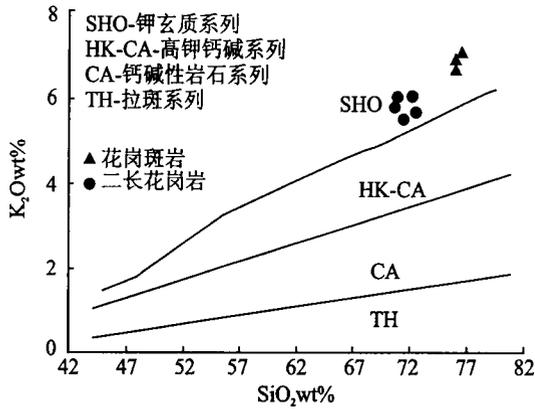


图3 研究区花岗岩类 SiO₂-K₂O 判别图解

Fig. 3 SiO₂ vs. K₂O discrimination diagram for the granites in the studied area

内。分异指数(DI)值为 89.98~90.47, 高于华南花岗岩平均值^[17]; 固结指数(SI)值为 3.07~3.29, 低于华南花岗岩平均值^[17]。

表1 东留花岗斑岩、蚀变岩及大东坑二长花岗岩主量元素地球化学分析结果(%)

Table 1 Geochemical analysis results of major elements for the Dongliu granite porphyries and altered rocks and the Dadongkeng adamellites

| 样号 | D8989-1 | D8989-2 | D8989-3 | D8989-4 | D8989-5 | D8971-1 | D8971-2 | RJ-65 | RJ-66 | RJ-67 | |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-----------------------|
| 顺序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 岩石类型 | 蚀变岩 | 蚀变岩 | 花岗斑岩 | 花岗斑岩 | 花岗斑岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 华南花岗岩 ^[17] |
| SiO ₂ | 78.88 | 79.62 | 76.12 | 75.97 | 76.48 | 71.13 | 71.42 | 71.9 | 72.18 | 71.72 | 72.75 |
| TiO ₂ | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.33 | 0.34 | 0.35 | 0.43 | 0.46 | 0.21 |
| Al ₂ O ₃ | 11.85 | 11.85 | 13.00 | 12.83 | 12.62 | 13.33 | 13.71 | 12.35 | 13.56 | 13.71 | 13.57 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.26 | 1.69 | 1.41 | 1.42 | 1.99 | 2.55 | 2.48 | 0.86 | 1.97 | 1.65 | 2.67 |
| FeO | — | — | — | — | — | — | — | 1.9 | 1.24 | 1.06 | — |
| MnO | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| MgO | 0.45 | 0.35 | 0.28 | 0.27 | 0.29 | 0.56 | 0.54 | 0.51 | 0.4 | 0.51 | 0.75 |
| CaO | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 1.60 | 1.18 | 1.55 | 1.22 | 0.71 | 1.6 |
| Na ₂ O | 0.09 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 2.42 | 2.74 | 2.93 | 2.16 | 2.31 | 3.02 |
| K ₂ O | 3.90 | 3.81 | 6.71 | 6.92 | 7.06 | 5.95 | 6.15 | 5.25 | 5.48 | 5.99 | 4.07 |
| P ₂ O ₅ | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.12 | 0.13 | 0.1 | 0.15 | 0.13 | 0.08 |
| LOI | 2.49 | 2.27 | 2.00 | 1.86 | 1.49 | 2.13 | 1.51 | 1.29 | 0.73 | 0.59 | — |
| 总量 | 100.09 | 99.86 | 99.81 | 99.52 | 100.24 | 100.18 | 100.24 | 100.04 | 99.56 | 99.38 | — |
| ALK | — | — | 6.83 | 7.05 | 7.14 | 8.36 | 8.86 | 8.26 | 7.68 | 8.40 | 7.09 |
| A/CNK | — | — | 1.72 | 1.66 | 1.59 | 1.0 | 1.03 | 0.92 | 1.16 | 1.18 | 1.1 |
| A/NK | — | — | 1.73 | 1.68 | 1.61 | 1.28 | 1.22 | 1.17 | 1.43 | 1.33 | 1.45 |
| DI | — | — | 89.58 | 89.84 | 90.47 | — | — | 88.15 | 86.89 | 89.50 | 84.2 |
| SI | — | — | 3.65 | 3.42 | 3.52 | 5.59 | 5.14 | 5.39 | 4.21 | 5.11 | 7.14 |
| AR | — | — | 3.19 | 3.40 | 3.60 | 3.55 | 3.95 | 3.85 | 3.14 | 3.71 | 2.75 |
| σ | — | — | 1.40 | 1.49 | 1.53 | 2.50 | 2.78 | 2.30 | 2.00 | 2.39 | 1.69 |
| R1 | — | — | 3424 | 3368 | 3348 | 2420 | 2286 | 2494 | 2700 | 2502 | — |
| R2 | — | — | 274 | 272 | 268 | 464 | 420 | 436 | 418 | 372 | — |

注: 1-2 为花岗斑岩接触带矿化蚀变岩石, 3-5 为花岗斑岩, 6-10 为大东坑岩体主体岩石。1-7 由南京大学现代分析中心测定, 分析仪器: ARL9800XP+型 X-射线荧光光谱仪; 8-10 引自 1:25 万瑞金市幅区调报告。

2.3 微量元素地球化学特征

东留花岗斑岩体微量元素分析结果及相关参数见表 2。由表 2 可知, 东留花岗斑岩体富集 K、Rb、Cu、Zn 等大离子亲石元素, 明显富集 Cr、Y、Nb、Ta、Hf、Th 等高场强元素。轻微亏损 Cs、Ba, 强烈亏损 Sr, 这可能与后期蚀变引起 Sr 的流失有关(如斜长石多遭受蚀变, 具强烈绢云母化)。在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 4)上可以看出, Ba、Sr 和 Ti 处有明显下凹, Ba、Sr、Ti 的亏损可能反映了成岩过程中斜长石、磷灰石和钛铁矿等分离结晶^[19]。

2.4 稀土元素地球化学特征

稀土元素分析测试结果及相关参数见表 2。由表 2 可知, 东留花岗斑岩体稀土元素总量(含 Y)较高, 为 208.32~318.22, 平均值为 274.25; LREE/HREE 为 3.17~3.49, 平均值为 3.33; (La/Yb)_N

表 2 东留花岗斑岩、蚀变岩及大东坑二长花岗岩微量元素、稀土元素地球化学分析结果($\times 10^{-6}$)及其参数

Table 1 Geochemical analysis results and parameters of trace elements and REE for the Dongliu granite porphyries and altered rocks and the Dadongkeng adamellites

| 样号 | D8989-1 | D8989-2 | D8989-3 | D8989-4 | D8989-5 | D8971-1 | D8971-2 | RJ-65 | RJ-66 | RJ-67 | |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|--------|-----------------------|
| 岩石类型 | 蚀变岩 | 蚀变岩 | 花岗斑岩 | 花岗斑岩 | 花岗斑岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 华南花岗岩 ^[17] |
| Li | 26.29 | 18.68 | 10.78 | 11.28 | 6.21 | 18.75 | 34.01 | 25.9 | 41.3 | 66.1 | 23 |
| Be | 2.85 | 2.75 | 2.37 | 2.38 | 2.94 | 6.10 | 5.09 | 8.9 | 7 | 10.6 | 3.6 |
| Sc | 2.14 | 1.81 | 2.15 | 2.29 | 1.43 | 6.14 | 5.67 | — | — | — | — |
| Ti | 318.29 | 297.85 | 315.55 | 313.89 | 308.62 | 2236.09 | 2246.55 | — | — | — | 1270 |
| V | 8.08 | 7.70 | 1.86 | 1.73 | 2.09 | 30.99 | 29.34 | 34.7 | 36.8 | 42.7 | 18 |
| Cr | 40.10 | 16.33 | 15.55 | 6.08 | 8.26 | 301.63 | 17.15 | 118 | 180 | 25.4 | 4 |
| Mn | 116.22 | 68.24 | 127.61 | 108.57 | 464.51 | 455.04 | 348.31 | — | — | — | 365 |
| Co | 0.69 | 0.57 | 0.62 | 0.44 | 0.93 | 5.87 | 3.98 | 7 | 6.5 | 4.5 | 2.3 |
| Cu | 4.86 | 4.63 | 10.33 | 8.12 | 8.79 | 8.84 | 1.93 | 12.9 | 24.4 | 10.5 | 4.9 |
| Zn | 14.39 | 4.52 | 77.39 | 71.41 | 85.14 | 36.73 | 31.81 | 55.3 | 73.1 | 98.7 | 47 |
| Ga | 23.46 | 20.81 | 15.59 | 15.29 | 14.17 | 21.49 | 20.38 | — | — | — | 17.2 |
| Rb | 201.49 | 183.76 | 291.07 | 287.42 | 294.65 | 346.55 | 314.35 | 299 | 400 | 325 | 210 |
| Sr | 5.87 | 5.74 | 27.37 | 27.37 | 32.73 | 76.77 | 109.28 | 112 | 100 | 113 | 120 |
| Y | 22.01 | 21.04 | 83.40 | 79.07 | 48.42 | 33.23 | 27.00 | 57.4 | 50.3 | 24.74 | — |
| Zr | 164.29 | 161.75 | 171.86 | 171.87 | 166.99 | 254.78 | 224.60 | 160 | 500 | 177 | — |
| Nb | 35.37 | 36.71 | 39.20 | 40.62 | 38.82 | 22.44 | 21.16 | 25 | 33.1 | 37.1 | 20.3 |
| Mo | 4.90 | 4.80 | 3.43 | 1.25 | 2.84 | 35.13 | 2.36 | 2.8 | 2.2 | 1.91 | 0.97 |
| Cd | 0.18 | 0.08 | 0.17 | 0.13 | 0.27 | 0.31 | 0.17 | — | — | — | 0.07 |
| Sn | 9.49 | 8.55 | 4.68 | 5.01 | 7.08 | 8.56 | 7.92 | 6 | 8 | 125.1 | 2.7 |
| Cs | 4.36 | 4.11 | 3.96 | 4.04 | 4.49 | 7.27 | 7.17 | — | — | — | 4.7 |
| Ba | 214.09 | 112.51 | 318.80 | 336.17 | 363.61 | 477.64 | 760.91 | 510 | 626 | 832 | 410 |
| Hf | 7.68 | 7.50 | 7.88 | 7.83 | 8.10 | 7.20 | 6.30 | — | — | — | 4.9 |
| Ta | 2.65 | 2.74 | 2.97 | 2.88 | 2.93 | 1.80 | 1.59 | — | — | — | 1.8 |
| W | 5.77 | 7.83 | 6.15 | 4.75 | 7.32 | 16.79 | 10.28 | 2.25 | 19.2 | 137.8 | 1.7 |
| Pb | 4.23 | 2.86 | 6.13 | 6.60 | 11.00 | 32.94 | 32.09 | 39.2 | 28 | 59.6 | 30 |
| Bi | 2.03 | 1.06 | 1.65 | 0.55 | 0.82 | 0.22 | 0.26 | 0.87 | 16.9 | 0.29 | 0.32 |
| Th | 11.99 | 9.42 | 25.01 | 25.50 | 23.04 | 47.47 | 42.82 | 46 | 42.3 | 28 | 19.7 |
| U | 2.49 | 2.27 | 4.18 | 3.80 | 4.28 | 10.05 | 7.58 | 7.5 | 7.8 | 3.9 | 4.4 |
| La | 1.02 | 0.74 | 53.71 | 46.17 | 27.68 | 77.12 | 64.03 | 72.1 | 25.6 | 51.83 | — |
| Ce | 2.52 | 1.96 | 27.16 | 31.33 | 41.24 | 141.87 | 119.62 | 145 | 49.1 | 108.94 | — |
| Pr | 0.38 | 0.33 | 16.42 | 14.22 | 8.71 | 16.26 | 13.53 | 15.2 | 7.55 | 11.37 | — |
| Nd | 1.85 | 1.63 | 66.40 | 58.38 | 36.85 | 57.12 | 46.45 | 51 | 25.8 | 39.13 | — |
| Sm | 0.94 | 0.90 | 16.07 | 14.23 | 9.43 | 10.16 | 7.95 | 10.3 | 6.06 | 7.3 | — |
| Eu | 0.03 | 0.03 | 0.80 | 0.70 | 0.39 | 0.90 | 0.95 | 1.02 | 0.72 | 1.38 | — |
| Gd | 1.85 | 1.71 | 15.85 | 14.40 | 9.86 | 8.01 | 6.30 | 9.86 | 5.97 | 6.5 | — |
| Tb | 0.42 | 0.43 | 2.16 | 1.98 | 1.33 | 1.00 | 0.75 | 1.43 | 1.26 | 0.88 | — |
| Dy | 4.00 | 3.79 | 14.72 | 14.07 | 9.62 | 6.57 | 4.84 | 10.5 | 6.89 | 4.95 | — |
| Ho | 0.97 | 0.94 | 3.01 | 2.91 | 2.06 | 1.28 | 0.96 | 2.03 | 1.45 | 0.8 | — |
| Er | 3.30 | 3.04 | 8.57 | 8.58 | 5.95 | 3.65 | 2.82 | 6.27 | 3.8 | 1.93 | — |
| Tm | 0.54 | 0.49 | 1.23 | 1.21 | 0.85 | 0.54 | 0.43 | 1.75 | 0.59 | 0.45 | — |
| Yb | 3.57 | 3.21 | 7.60 | 7.84 | 5.18 | 3.35 | 2.85 | 6.76 | 3.08 | 2.25 | — |
| Lu | 0.60 | 0.50 | 1.12 | 1.13 | 0.75 | 0.52 | 0.45 | 0.87 | 0.47 | 0.43 | — |
| Rb/Sr | — | — | 10.63 | 10.50 | 9.00 | 4.51 | 2.88 | 2.67 | 4.00 | 2.88 | — |
| Rb/Ba | — | — | 0.91 | 0.85 | 0.81 | 0.73 | 0.41 | 0.59 | 0.64 | 0.39 | — |
| 10 ⁴ * Ga/Al | — | — | 2.26 | 2.24 | 2.13 | 3.05 | 2.81 | — | — | — | — |

| 样号 | D8989-1 | D8989-2 | D8989-3 | D8989-4 | D8989-5 | D8971-1 | D8971-2 | RJ-65 | RJ-66 | RJ-67 | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|-----------------------|
| 岩石类型 | 蚀变岩 | 蚀变岩 | 花岗斑岩 | 花岗斑岩 | 花岗斑岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 二长花岗岩 | 华南花岗岩 ^[17] |
| Σ REE | — | — | 318.22 | 296.21 | 208.32 | 361.58 | 298.93 | 391.49 | 188.64 | 262.88 | — |
| LREE | — | — | 180.56 | 165.02 | 124.3 | 303.43 | 252.53 | 294.62 | 114.83 | 219.95 | — |
| HREE | — | — | 54.26 | 52.12 | 35.6 | 24.92 | 19.4 | 39.47 | 23.51 | 18.19 | — |
| LR/HR | — | — | 3.33 | 3.17 | 3.49 | 12.18 | 13.02 | 7.46 | 4.88 | 12.09 | — |
| δ Eu | — | — | 0.15 | 0.15 | 0.12 | 0.29 | 0.4 | 0.31 | 0.36 | 0.6 | — |
| Ce/Yb | — | — | 3.58 | 4 | 7.96 | 42.35 | 41.97 | 21.45 | 15.94 | 48.42 | — |
| (La/Yb) _N | — | — | 4.77 | 3.97 | 3.6 | 15.52 | 15.14 | 7.19 | 5.6 | 15.52 | — |

注:样品序号同表 1,1-7 由南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室采用 ELEMENT2 型高分辨电感耦合等离子质谱仪(ICPMS)测定;8-10 引自 1:25 万瑞金市幅区调报告。

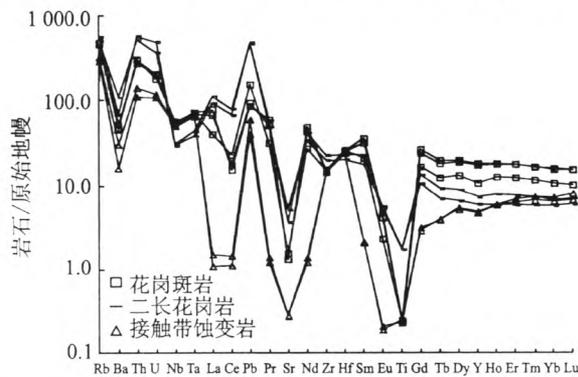


图 4 研究区花岗斑岩、二长花岗岩及蚀变岩微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace element spidergram for the granite porphyries, adamellites and altered rocks in the studied area

为 3.6~4.77,平均值为 4.11,可见研究区花岗斑岩体的稀土元素分异较明显^[20]。在稀土元素球粒陨石标准化分布模式图上(图 5)总体表现为海鸥型曲线。 δ Eu 值为 0.12~0.15,平均值为 0.14,具强的铕负异常,这表明斜长石的分离对岩浆分异演化起了重要作用^[21]。

3 讨论

3.1 岩石分类及构造环境

为判别东留花岗斑岩体岩石分类及构造环境,本文利用其主体围岩大东坑岩体的二长花岗岩与其进行对比(表 1、表 2)。从主量元素看,东留花岗斑岩体与大东坑岩体二长花岗岩都具有富硅、钾、铁,贫钙、钠、镁的特点,都具有准铝质—过铝质的特征(图 2),同属高钾玄武质系列(图 3),主要氧化物 harker 图解(图 6)显示二者具有一定的线性关系;从微量元素及稀土元素特征来看,在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 4)上二者形态基本一致,在稀土元素球粒陨石标准化分布模式图(图 5)上二者形态也基本一致,二者的稀土元素丰度亦十分接近,东留花岗斑岩体的 Ce 相对亏损,可能是因为它在

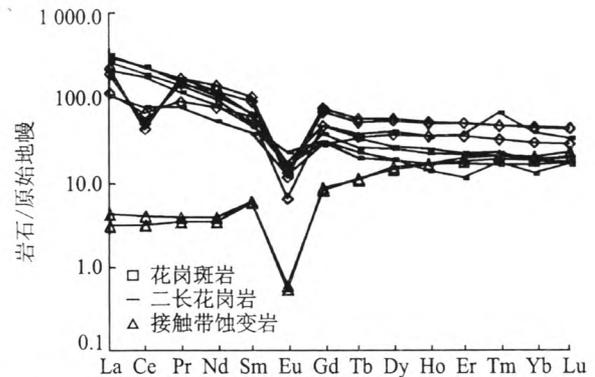


图 5 研究区花岗斑岩、二长花岗岩及蚀变岩稀土元素球粒陨石标准化分布模式图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns for the granite porphyries, adamellites and altered rocks in the studied area

地表氧化环境下,Ce³⁺变为 Ce⁴⁺而流失导致的^[15]。以上研究表明,东留花岗斑岩体与其围岩大东坑岩体具有相似的地球化学特征。结合二者野外接触关系,可判断东留地区发育的花岗斑岩体是大东坑岩体岩浆侵位后期的产物,二者应具有同源性。

对研究区的岩石进行进一步研究发现,东留花岗斑岩体与大东坑岩体(二长花岗岩)符合一般 A 型花岗岩的特征,如富硅、钾、铁,贫钙、钠、镁,高 FeO^{*}/MgO、Ga/Al,富集 HFSE、Y(Ce),低 Ca、贫 Fe 和 Mg,强烈亏损 Ba、Sr、Eu、P、Ti^[22],在(K₂O+Na₂O)-10000 * Ga/Al、Zr-10000 * Ga/Al、Nb-10000 * Ga/Al 关系图(图 7)中,大东坑岩体(二长花岗岩)全部落入 A 型花岗岩区域,而东留花岗斑岩体则在不同图解中落入不同区域,可能是由于东留花岗斑岩体属于岩浆后期高度分异结晶的产物,因而不适用部分判别图解的缘故。

在花岗岩类构造环境判别图解(图 8)中,东留花岗斑岩体均落入板内环境,而大东坑岩体(二长花岗岩)则位于同碰撞(或火山弧)环境与板内环境结合处,说明大东坑岩体可能形成于碰撞后期并向板内环境转化的阶段。

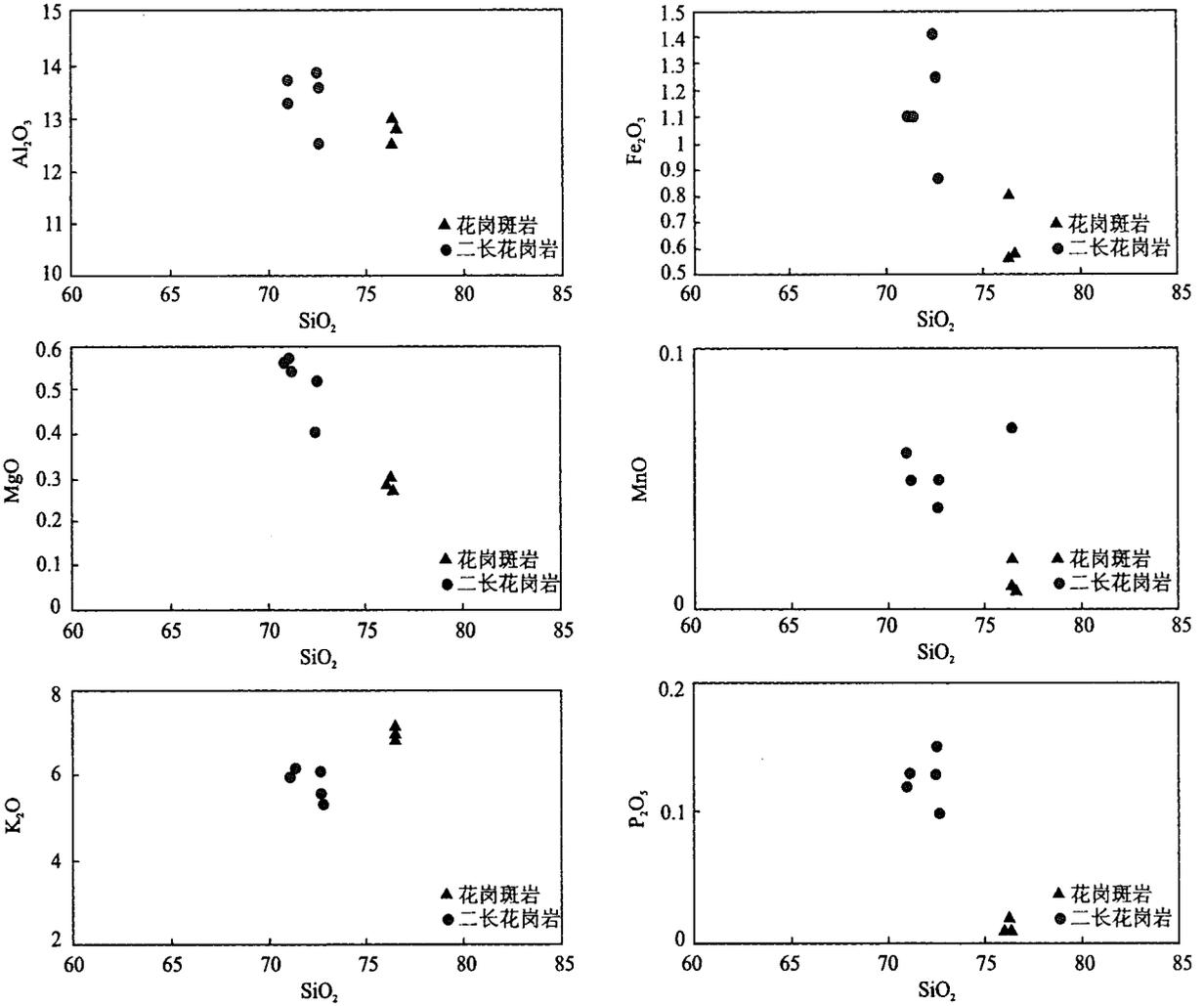


图 6 东留花岗斑岩、大东坑二长花岗岩主要氧化物 Harker 图解

Fig. 6 Harker diagrams of major oxides for the Dongliu granite porphyries and the Dadongkeng adamellites

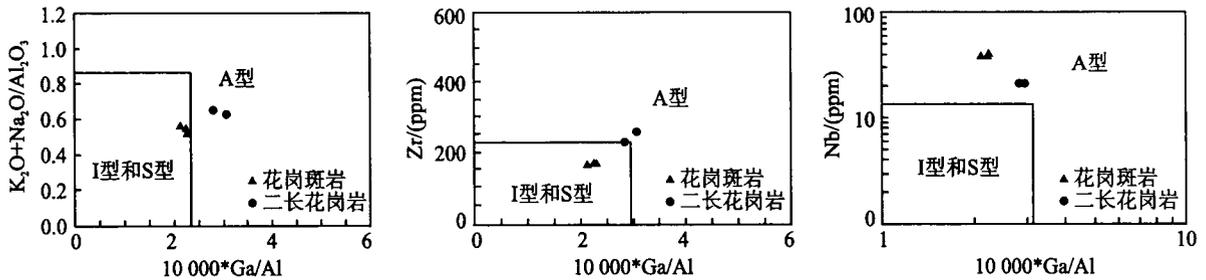


图 7 花岗岩 $(K_2O+Na_2O)-10000 * Ga/Al, Zr-10000 * Ga/Al, Nb-10000 * Ga/Al$ 关系图(底图据参考文献[23])

Fig. 7 K_2O+Na_2O vs. $10000 * Ga/Al, Zr$ vs. $10000 * Ga/Al$ and Nb vs. $10000 * Ga/Al$ diagrams for granites

A-A 型花岗岩;I-I 型花岗岩;S-S 型花岗岩

1:5 万中村幅、羊角(半幅)地质图说明书中指出大东坑岩体全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 172Ma,时代为燕山早期早侏罗世。前人对武夷山成矿带南部燕山早期花岗岩做了大量详细的研究工作,如王德滋早在 1985 年就指出 A 型花岗岩无一例外地与拉伸的构造背景有关^[13];李献华对南岭及邻区燕山早期花岗岩的研究发现,I 型/分异 I 型花岗岩在时空上和 A 型酸性、基性火山/侵入岩以及碱性岩密切共生,构成了一个比较典型的板内非造山火成岩组

合^[14],反映了燕山早期南岭及邻区大陆岩石圈以伸展背景为主;陈培荣等在赣南-闽西地区也发现燕山早期 A 型花岗岩和双峰式火山岩^[15],显示后碰撞的岩石圈伸展构造环境。

综上所述,对东留花岗斑岩体岩石分类及构造环境的分析与区域地质背景是一致的,说明东留花岗斑岩体具有 A 型花岗岩的特征,形成于板内伸展的构造环境。

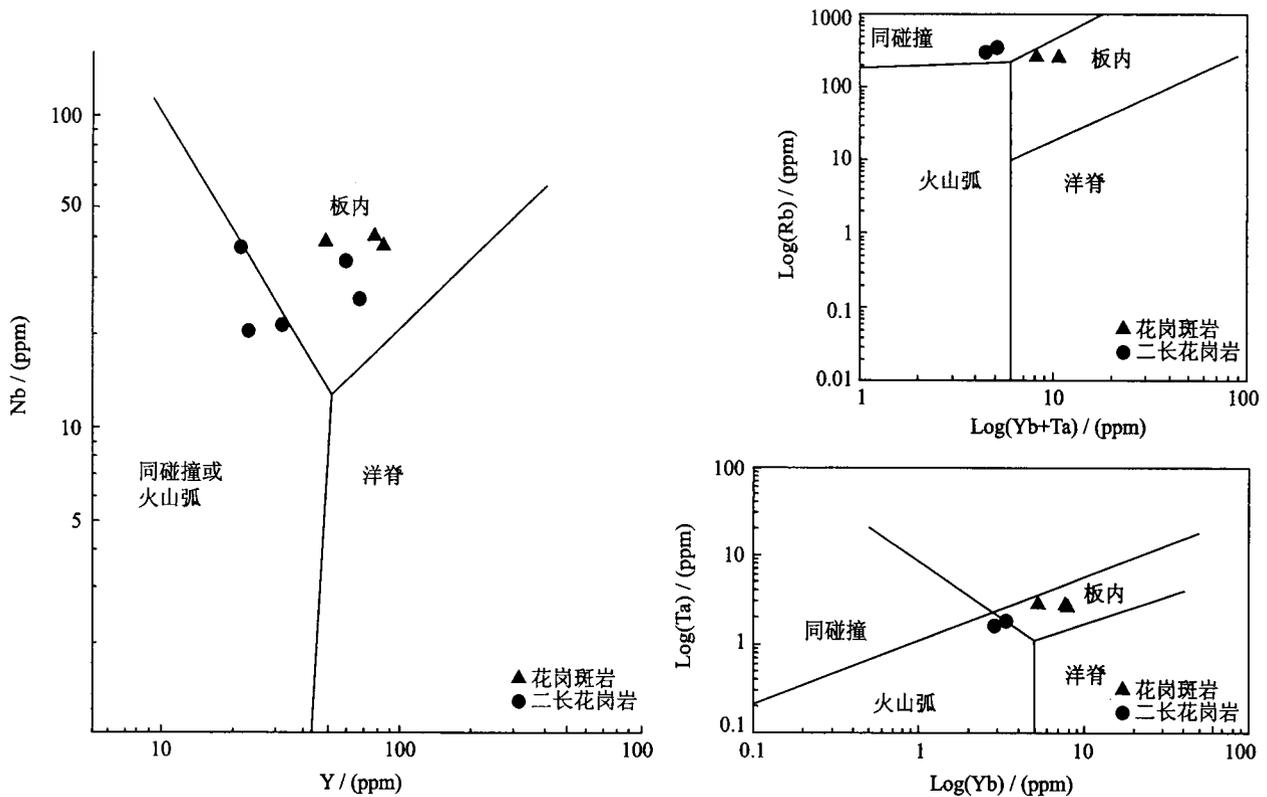


图 8 研究区花岗岩类构造环境判别图解(底图据参考文献[24])

Fig. 8 Discrimination diagrams showing tectonic settings of granites in the studied area

3.2 矿化蚀变作用

在东留花岗斑岩体内外接触带普遍发育破碎蚀变带,宽几十米不等,两侧围岩为中一下元古界片岩、片麻岩。蚀变岩石严重挤压破碎,原岩辨识不清,与花岗斑岩体呈渐变过渡关系,具硅化、黄铁矿化、叶腊石化、绿泥石化现象,黄铁矿呈星点状、细脉状浸染,脉宽0.2~0.5cm不等。从微量元素原始地幔标准化蛛网图(图4)中可以看出,接触带蚀变岩Rb、Ba、Th、U、Nb、Ta、Zr、Hf、Ti等微量元素丰度与东留花岗斑岩体相差无几,特别是高场强元素

Nb、Ta、Hf、Th含量基本一致。说明东留花岗斑岩与接触带蚀变岩具有明显的成因关系,花岗斑岩可能作为矿化蚀变岩石的母岩,为矿化作用提供热源和成矿物质。

3.3 与周边典型矿床中斑岩体对比研究

前人曾对紫金山铜金矿、红山铜矿及岩背锡矿做了大量研究工作,尤其对岩体中成矿斑岩体进行了深入研究^[1-12],本文收集了最新研究成果,将东留花岗斑岩体与这些典型矿床中的成矿斑岩体做了详细对比(表3)。

表 3 东留花岗斑岩体与部分典型矿床中斑岩体特征对比

Table 3 Contrast of characteristics of porphyry bodies in the Dongliu area and other typical deposits

| 斑岩体名称 | 东留花岗斑岩 | 紫金山花岗闪长斑岩 | 红山花岗(闪长)斑岩 | 岩背花岗斑岩 |
|----------|---|--|--|---|
| 主要地球化学特征 | 富硅、钾、铁,贫钙、钠、镁,过铝质;富集Cr、Y、Nb、Ta、Hf、Th等高场强元素,亏损Ba、Sr、Eu、P、Ti;稀土元素总量较高,轻稀土富集,强Eu负异常。 | 高钾钙碱性岩系,相对富Na ₂ O, A/CNK值平均为0.97;岩石富K、Rb、U、Th,贫Ti、Nb、Ta、Ba、Sr;稀土元素总量较低,属轻稀土富集型 ^[2] 。 | 高硅、高钾和过铝;亏损Sr、Ba、Nb、P、Ti和Y等元素,富集Rb、Th等元素,Rb/Sr及Rb/Ba比值高 ^[1] ;轻稀土富集,具中等负铕异常 ^[3] 。 | 富硅、偏碱性、富钾、铝弱过饱和;Rb/Sr及Rb/Ba比值高、富Ga、Ga/Al比值大、富高场强元素(如Nb、Zr);弱Ce负异常,强Eu负异常 ^[1,4,5] 。 |
| 成岩时代 | 晚于172 Ma | 第一期103 Ma,第二期97 Ma ^[6] | 99 Ma ^[7] | 128.1±3.3 Ma ^[8] |
| 岩浆来源 | | 幔源组分和中下地壳物质部分熔融 ^[2] | 壳幔混合的特征 ^[1] | 有较多幔源组分参与 ^[1] |

| 斑岩体名称 | 东留花岗斑岩 | 紫金山花岗闪长斑岩 | 红山花岗(闪长)斑岩 | 岩背花岗斑岩 |
|----------|-------------------------|--|--|---|
| 岩石分类 | 具有过铝质 A 型花岗岩的特征 | 壳幔混合源 I 型花岗岩 ^[4,9,10] | | 铝质 A 型花岗岩 ^[1] |
| 构造地质背景 | 岩石圈伸展背景 | 伸展作用张性构造环境 ^[10] | 拉张的构造背景 | 拉张的构造背景 |
| 成矿(矿化)作用 | 蚀变岩石的母岩,可能为成矿提供热源和成矿物质。 | 主要成矿母岩 ^[10] 、成矿热液及成矿物质主要来自岩浆体系 ^[1] 。 | 矿石铅同位素表明铅主要来自岩浆岩 ^[11] ;隐爆角砾成分主要为花岗斑岩质 ^[12] ;为矿床提供热源,成矿流体中有部分岩浆水 ^[3] 。 | 锡矿体赋存于含黄玉花岗斑岩与次流纹斑岩的内外接触带中 ^[4] 。 |

通过对比发现这些典型矿床的形成均与中生代火山期后高位侵入的斑岩体密切相关,成矿斑岩体的形成时代跨度较大(91 Ma~128 Ma);成矿热流体均有岩浆流体参与;构造背景均为伸展作用张性构造环境;岩浆来源具有壳幔混合的特征。东留花岗斑岩体与这些典型矿床中的斑岩体在岩石地球化学特征、成矿时代、地质背景等方面具有类比性,特别是与岩背锡矿具有高度的对比性。

4 结论

(1)东留花岗斑岩体显示铝质 A 型花岗岩的特征,构造环境为板内伸展环境,是大东坑岩体岩浆侵位后期的产物。

(2)对比典型矿床(紫金山铜金矿、红山铜矿及岩背锡矿)得出结论:对于成矿作用来说,浅成一超浅成斑岩体的存在是必备条件,成矿斑岩体形成的构造环境尤为重要,三个矿床中的斑岩体均形成于岩石圈伸展背景,这种伸展背景致使幔源组分极易参与成岩成矿作用。

(3)东留花岗斑岩体与典型矿床成矿斑岩体在空间和时间上存在一定的耦合关系,特别是与岩背锡矿斑岩体的特征极为相似。东留花岗斑岩体与围岩接触带常形成一定规模的矿化蚀变带,可能作为矿化蚀变岩石的母岩,为矿化作用提供热源和成矿物质,在类似斑岩体分布区具有寻找锡多金属矿的前景。

致谢:成文过程中江苏地质调查研究院郭刚工程师和长春工程学院门兰静博士给予了指导,在审阅过程中审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此表示感谢!

参考文献

[1] 陈世忠,马明,陈刚,等.武夷山成矿带桃溪隆起、岩浆侵入和区域铜多金属矿成矿作用[J].地球科学,

2010,35(6):969-984.

- [2] 毛建仁,陶奎元,李寄嶠,等.闽西南晚中生代四方岩体同位素年代学、地球化学及其构造意义[J].岩石学报,2002,18(4):449-458.
- [3] 周济元,崔炳芳,陈世忠.江西会昌红山斑岩—隐爆角砾岩型铜矿床地质、地球化学及成因[J].地质学报,1999,73(1):94-95.
- [4] 王德滋,沈渭洲,刘昌实,等.江西岩背火山侵入杂岩的地球化学特征和成因[J].中国科学(B),1994,24(5):531-538.
- [5] 刘昌实,沈渭洲,熊小林,等.江西岩背斑岩锡矿区火山侵入杂岩稀土元素特征和成岩模拟[J].岩石矿物学杂志,1994,13(3):193-203.
- [6] 黄文婷,胡春杰,李晶,等.福建紫金山矿田罗卜岭铜钼矿化斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及成矿岩浆特征研究[J].矿物学报,2011:592-593.
- [7] 苏慧敏,谢桂青,孙嘉,等.江西铜坑埠钼矿和红山铜矿含矿斑岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J].岩石学报,2010,26(3):819-829.
- [8] 梅玉萍,李华芹,王登红,等.江西岩背斑岩锡矿的成岩成矿时代及其地质意义[J].地球学报,2007,28(5):456-461.
- [9] 李文达,毛建仁,朱云鹤,等.中国东南部中生代火成岩与矿床[M].北京:地震出版社,1998.
- [10] 毛建仁,徐乃政,胡青,等.福建省上杭-大田地区中生代成岩成矿作用与构造环境演化[J].岩石学报,2004,20(2):285-296.
- [11] 陈世忠,周济元,崔炳芳.江西红山隐爆角砾岩-斑岩型铜矿床的成因[J].火山地质与矿产,1998,19(4):338-346.
- [12] 周济元,崔炳芳,陈世忠.江西会昌红山隐爆角砾岩筒及其成因和动力学[J].成都理工学院学报,1998,25(2):261-268.
- [13] 王德滋,彭亚鸣,袁朴.福建魁岐花岗岩的岩石学和地球化学特征及成因探讨[J].地球化学,1985,3:197-205.
- [14] 李献华,李武显,李正祥.再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义[J].科学通报,2007,52(9):981-

- 991.
- [15] 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景[J]. 中国科学(D), 2002, 32: 279-289.
- [16] 李献华. 华南白垩纪岩浆活动与岩石圈伸展-地质年代学与地球化学限制[A]. 中国科学院地球化学研究所. 资源环境与可持续发展[C]. 北京: 科学出版社, 1999. 264-275.
- [17] 迟清华, 鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 6-7.
- [18] 柏道远, 陈建成, 马铁球, 等. 王仙岭岩体地质地球化学特征及其对湘东南印支晚期构造环境的制约[J]. 地球化学, 2006, 35(2): 113-125.
- [19] Dupont A, Vander Auwera J, Pin C, et al. Trace element and isotope (Sr, Nd) geochemistry of porphyry and skarn mineralizing Late Cretaceous intrusions from Banat, western South Carpathians, Romania[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37(6): 568-586.
- [20] 王中刚. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [21] 陈佑纬, 毕献武, 胡瑞忠, 等. 桂东复式岩体印支期产铀和非产铀花岗岩地球化学特征对比研究[J]. 岩石矿物, 2009, 29(3): 106-114.
- [22] 吴锁平, 王梅英, 戚开静. A型花岗岩研究现状及其评述[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(1): 57-66.
- [23] Whalen J B, Gurrie K L and Chappell B W. A-type granite: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. Contrib. Min. Petrol., 1987, 95: 407-419.
- [24] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Petrol., 1984, 25: 956-983.

Geological characteristics and mineralization of the Dongliu granite porphyry bodies in the periphery of Zijinshan, Fujian Province

ZHOU Yan, CHEN Shi-zhong, WU Ling, QIU Jin-liang, LUO Xue-quan, ZHANG Chuan-lin
(Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, China)

Abstract

Hypabyssal-ultrahypabyssal porphyry bodies closely related with mineralization are widely distributed in Zijinshan and its peripheral areas. Dongliu granite porphyry bodies are located in the periphery of Zijinshan, Wuping county, Fujian Province. In the endocontact and exocontact zones of the granite porphyry bodies, the strong mineralization-alternation zones are widely developed. Based on the field geological survey and bulk geochemical analysis for the Dongliu granite porphyry bodies, it is indicated that the Dongliu granite porphyry bodies have the characteristics of peraluminous A-type granite, being rich in silicon, potassium and iron, poor in calcium, sodium and magnesium, with $A/CNK > 1.1$, with high differentiation indices, and enrichment of HFSE, Ga, LREE, Y(Ce) and poor in Ba, Sr, P, Ti, and strongly Eu anomaly. It is considered that the Dongliu granite porphyry bodies, as the parent rock of the mineralized altered rocks, may provide heat sources and ore-forming materials for mineralization, having good prospecting potential for tin-polymetallic deposits.

Key words: granite porphyry body; bulk geochemistry analysis; mineralization; Dongliu; Zijinshan; Fujian Province