

浙东沿海富碱花岗岩地球化学特征 及其构造环境探讨

蒋叙良

(浙江省地质矿产研究所)

主题词: 富碱花岗岩; 岩石地球化学; 构造环境; 浙东沿海

提 要: 在浙东沿海地区存在一条北北东向线型展布的、规模可观的富碱侵入岩带, 岩带由碱长花岗岩和碱性花岗岩组成。其岩石地球化学特点是高硅 ($\text{SiO}_2 > 76\%$)、富碱 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 8.2\%$)、低铝 ($\text{Al}_2\text{O}_3 < 12.5\%$)、贫钙镁 ($\text{CaO} < 0.4\%$ 、 $\text{MgO} < 0.2\%$)、富集 Rb、Th(U)、Nb(Ta)、Zr、Zn 和 Ga 等元素; 稀土元素模式曲线具缓右倾“V”字形, 铷亏损强烈。上述地球化学特征与福建魁岐碱性花岗岩基本一致并类似澳大利亚东南 Lachlan 褶皱带 A 型花岗岩。研究表明, 该富碱花岗岩带是燕山晚期岩浆演化后期产物, 受区域深断裂控制, 即可能是处于活动大陆边缘的深断裂在拉张条件下由深源富碱岩浆上侵而成。

浙东沿海地区(镇海—温州断裂东侧)燕山晚期侵入岩广泛分布, 其中富碱花岗岩尤为发育, 构成宽约 50~70km, 长大于 400km 的北北东向颇具特色的高硅富碱侵入岩带(图1)。

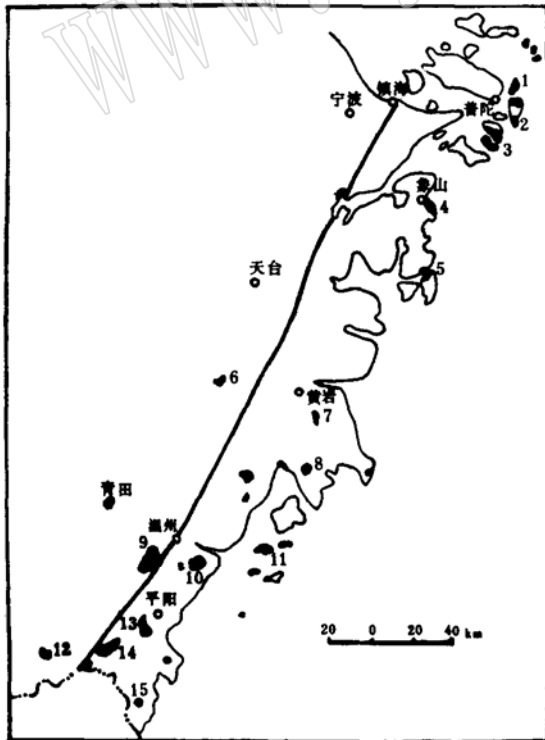


图 1 浙东沿海地区富碱花岗岩分布略图

Fig. 1 Outline map of the alkali-rich granites distribution in the coastal area of east Zhejiang

图中黑色部分为富碱花岗岩, 岩体编号及名称同表 3

本文对该岩带的岩石学、岩石地球化学特征及其形成构造环境等作了初步总结和探讨。

一、岩石学特征

本岩带的富碱花岗岩是指 $(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$ (分子比) > 0.9 的碱性和偏碱性两类花岗岩(表1), 包括了本区出现的大部分钾长(碱长)花岗岩、含黑云母晶洞钾长(碱长)花岗岩、含碱性钠闪石(霓石)的晶洞钾长(碱性)花岗岩等。其中晶洞碱性花岗岩只占少数, 但在本区(岩带)为典型的碱性花岗岩, 如桃花岛、青山、瑶坑等岩体。

富碱花岗岩, 除少数呈岩基产出外, 一般为岩株、岩枝状。单个岩体出露面积几—几十平方公里, 侵入的 latest 地层为下白垩统朝川组。K-Ar 年龄为 80~70Ma (徐步台, 1984)^[1]。

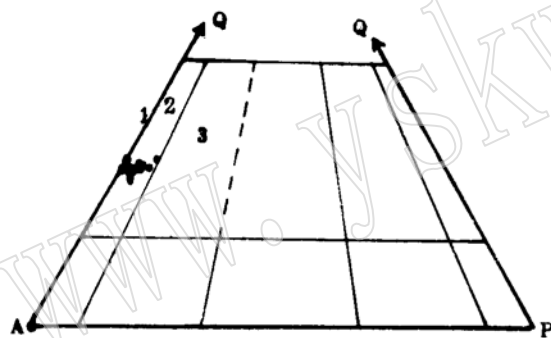


图 2 花岗岩的 Q-A-P 图(据 I. U. G. S., 1972)

Fig. 2 Q-A-P diagram for granites (I. U. G. S., 1972)

1—碱性花岗岩; 2—碱长花岗岩; 3—正长花岗岩

表 1 花岗岩的化学分类
Table 1 Chemical classification of granites

| 岩石类型 | $(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$ (分子比) |
|------|--------------------------------|
| 碱性 | ≥ 1 |
| 偏碱性 | $1 > \sim > 0.9$ |
| 钙碱性 | < 0.9 |

据 Shand 等(1972), 洪大卫等(1987)

用 CIPW 方法计算标准矿物分子, 投入 Q-A-P 图(图2)。投影点集中落在碱长花岗岩区; 少数投点落在 QA 线上, 结合岩石化学和含碱性暗色矿物特点, 把这部分岩石称为碱性花岗岩, 以区别于碱长花岗岩。

岩石的主要造岩矿物及含量见表2。

岩石具中—细粒花岗结构和文象结构, 局部可见花斑结构, 晶洞构造十分普遍(碱性花岗岩中尤为发育), 晶洞大小不等, 一般为几—十几毫米, 晶洞内发育石英晶簇、钾长石及黑云母(闪石)等矿物。岩石的结构构造特征, 反映了富碱花岗岩侵位较高的特征。

表 2 富碱花岗岩的矿物平均含量

Table 2 Content of the minerals of alkali-rich granites

| 岩石类型 | 主要造岩矿物含量(%) | | | | 副矿物组合 |
|-------|-------------|-------|------|---------------|---------------|
| | 微斜长石 | 石英 | 斜长石 | 暗色矿物 | |
| 碱长花岗岩 | 50—60 | 25—30 | 5—10 | 黑云母、铁矿物等, 1—3 | 锆石—榍石(磷灰石)—萤石 |
| 碱性花岗岩 | 60—75 | 20—25 | 0—5 | 0—1* | 锆石—独居石—萤石 |

* 碱性花岗岩中暗色矿物主要为钠闪石、霓石、锥辉石、黑云母等。

资料来源: 据1/20万宁波、黄岩、温州等幅和1/5万柴桥、黄岩、山门等幅区调报告综合。

桃花岛含钠闪石晶洞碱性花岗岩体中的钠闪石, 呈柱状和针状, 充填在石英、长石颗粒的空隙间。镜下具明显的多色性, Np' —深蓝色, Nm' —蓝色, Ng' —淡黄绿色, 吸收性 $Np' > Nm' > Ng'$ 。

副矿物锆石在碱长花岗岩中以普通锆石为主, 变生锆石次之; 碱性花岗岩中则以变生锆石为主, 次为普通锆石。变生锆石多为长柱状, 少量为四方双锥, 锆石长宽比为2:1—3:1; 普通锆石则主要为四方双锥晶形, 锥面(111)发育, (100)或有或无, 长宽比为1:1。锆石晶形反映出具有深源花岗岩锆石特征。

二、岩石地球化学特征

1. 常量元素

本岩带中有代表性的15个富碱花岗岩的岩石化学分析结果列于表3。由表3可以看出富碱花岗岩(碱长和碱性花岗岩)的化学成分特点是高硅($\text{SiO}_2 > 76\%$)、富碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 8.2\%$)、低铝($\text{Al}_2\text{O}_3 < 12.5\%$)、贫钙镁($\text{CaO} < 0.4\%$ 、 $\text{MgO} < 0.2\%$)。碱性花岗岩与我国东南沿海山东崂山和福建魁岐碱性花岗岩化学成分基本一致, 碱长花岗岩也可与澳大利亚Mumbulla A型花岗岩对比(见表3)。

从岩石化学成分上看, 碱长花岗岩和碱性花岗岩在 Al_2O_3 、 CaO 、 K_2O 和 Na_2O 的含量上略有不同, 因而表现在 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ 、 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (分子比)和 AR 值有所差别, 前者分别为0.93—1.04、0.91—0.99、3.81—4.56; 后者分别为0.95—0.98、0.99—1.01、4.88—6.58。按Shand(1972)的分类, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ (分子比) > 1 的花岗岩属于过铝花岗岩, 因此本带的碱长花岗岩属偏碱的过铝花岗岩。由于碱性和偏碱性花岗岩的 CaO 含量都很低($< 0.4\%$), 对于贫钙的花岗岩来说, 只要 Na_2O 、 K_2O 、 Al_2O_3 含量稍有不同, 其分子比值就会有变化, 因此, 对碱性花岗岩来说很容易向偏碱性的过铝花岗岩过渡。碱性花岗岩和偏碱性过铝花岗岩共存于一个杂岩体内, 也是世界上大多数碱性花岗岩区(如尼日利亚—尼日尔、科西嘉岛、蒙古汗博格多、新英格兰等地)的共同特点。本区的富碱花岗岩带也不例外。因此通常把这两种花岗岩都归属于碱性花岗岩(A型)范围内。

从表3中各种参数值得知, 富碱花岗岩具有分异指数(DI)、铁镁指数(FMI)、氧化指数(OXI)高, 固结指数(SI)低的特点。分异指数、铁镁指数高和固结指数低, 反映了晚期分异岩浆的特点, 氧化指数高说明这类岩体相对定位较浅, 这与前述岩石结构构造特征相吻合。

前面已经指出, 碱长和碱性花岗岩在铝饱和程度上有所不同, 这在 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ (分子比)上有明显反映。这两类花岗岩的CIPW标准矿物亦有明显差别, 在碱长花岗岩中出现有少量的 an 和 c 矿物, 而碱性花岗岩中 c 矿物消失, 出现少量的 ac 矿物。

富碱花岗岩带, 分布于沿海中生代活动大陆边缘。但它同典型的大陆边缘钙碱性岩基(如内华达山脉、南加利福尼亚岩基)相比, 在相同的 SiO_2 含量范围内则 K_2O 、 Na_2O 偏高而 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO 偏低。

图3a、3b, 两种图解从不同角度反映了本区富碱花岗岩岩石类型均属于A型花岗岩。

2. 稀土元素

本带一些主要的碱长和碱性花岗岩的稀土元素特征值列于表4。经球粒陨石标准化后的稀土元素分布模式见图4。

表 3 浙东沿海地区富碱花岗岩的平均化学成分及岩化特征参数
Table 3 Chemical composition and parameters of alkali-rich granites in the coastal area of east Zhejiang

| 序 号 | 岩 体 | 岩 石 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | 特 征 参 数 | | | | | | | | | |
|-----|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 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 | AI | ALI | AKI | Na/K | δ | AR | SI | FMI | OXI | DI |
| 1 | 普陀山 | 76.65 | 0.15 | 12.22 | 0.45 | 0.65 | 0.06 | 0.17 | 0.63 | 3.88 | 4.36 | 0.03 | 8.24 | 1.00 | 0.91 | 1.36 | 2.02 | 4.05 | 1.79 | 0.87 | 0.58 | 94.22 |
| 2 | 菁花山* | 76.33 | 0.10 | 11.91 | 1.05 | 0.68 | 0.06 | 0.02 | 0.34 | 4.14 | 4.52 | 0.03 | 8.66 | 0.96 | 0.99 | 1.39 | 2.25 | 5.17 | 0.19 | 0.99 | 0.76 | 95.16 |
| 3 | 桃花岛* | 76.82 | 0.13 | 11.32 | 1.31 | 0.98 | 0.09 | 0.06 | 0.31 | 4.07 | 4.22 | 0.03 | 8.29 | 0.96 | 1.00 | 1.46 | 2.03 | 5.66 | 1.03 | 0.95 | 0.73 | 95.21 |
| 4 | 爵溪* | 77.13 | 0.15 | 11.84 | 0.95 | 0.54 | 0.04 | 0.13 | 0.30 | 4.00 | 4.57 | 0.01 | 8.57 | 0.98 | 1.00 | 1.32 | 2.15 | 4.86 | 1.28 | 0.92 | 0.78 | 96.52 |
| 5 | 石浦 | 76.79 | 0.10 | 12.17 | 0.79 | 0.63 | 0.04 | / | 0.42 | 4.27 | 4.29 | 0.03 | 8.55 | 0.98 | 0.96 | 1.51 | 2.17 | 5.22 | / | / | 0.72 | 95.70 |
| 6 | 大加坑 | 76.58 | 0.14 | 11.72 | 1.28 | 0.40 | 0.04 | 0.17 | 0.38 | 3.86 | 4.23 | 0.01 | 8.68 | 0.96 | 0.99 | 1.22 | 2.24 | 4.53 | 1.61 | 0.91 | 0.86 | 96.08 |
| 7 | 白枫香 | 76.22 | 0.09 | 12.36 | 0.80 | 0.84 | 0.08 | 0.30 | 0.31 | 3.91 | 4.42 | 0.02 | 8.33 | 1.04 | 0.91 | 1.34 | 2.09 | 4.22 | 2.92 | 0.85 | 0.66 | 96.93 |
| 8 | 东辽 | 77.05 | 0.15 | 12.09 | 1.10 | 0.37 | 0.05 | 0.22 | 0.34 | 3.98 | 4.24 | 0.02 | 8.26 | 1.02 | 0.92 | 1.41 | 2.00 | 4.56 | 2.21 | 0.87 | 0.86 | 95.32 |
| 9 | 陶峰 | 77.47 | 0.15 | 11.87 | 0.88 | 0.44 | 0.05 | 0.14 | 0.16 | 3.88 | 4.66 | 0.01 | 8.54 | 1.01 | 0.96 | 1.26 | 2.12 | 4.63 | 1.40 | 0.90 | 0.80 | 96.84 |
| 10 | 大罗山 | 77.20 | 0.11 | 11.81 | 0.82 | 0.91 | 0.03 | 0.17 | 0.24 | 3.71 | 4.50 | 0.01 | 8.21 | 1.02 | 0.93 | 1.24 | 1.97 | 4.21 | 1.68 | 0.91 | 0.64 | 95.92 |
| 11 | 大门岛 | 76.91 | 0.12 | 12.31 | 0.88 | 0.55 | 0.07 | 0.27 | 0.68 | 4.00 | 4.30 | 0.02 | 8.30 | 0.99 | 0.91 | 1.41 | 2.03 | 4.21 | 2.70 | 0.84 | 0.76 | 94.83 |
| 12 | 毛坑 | 76.79 | 0.07 | 12.18 | 0.81 | 0.69 | 0.06 | 0.21 | 0.38 | 3.67 | 4.69 | 0.01 | 8.36 | 1.00 | 0.93 | 1.19 | 2.07 | 3.81 | 2.09 | 0.86 | 0.70 | 94.84 |
| 13 | 大玉苍山 | 75.41 | 0.19 | 12.69 | 0.72 | 0.73 | 0.08 | 0.26 | 0.45 | 3.92 | 5.05 | 0.02 | 8.97 | 1.00 | 0.94 | 1.18 | 2.48 | 3.96 | 2.43 | 0.85 | 0.66 | 94.14 |
| 14 | 溪头埠* | 76.87 | 0.14 | 11.37 | 1.29 | 0.58 | 0.13 | 0.12 | 0.24 | 4.01 | 4.39 | 0.01 | 8.40 | 0.96 | 1.00 | 1.39 | 2.08 | 5.47 | 1.15 | 0.94 | 0.82 | 95.81 |
| 15 | 瑶坑* | 76.36 | 0.14 | 11.23 | 1.25 | 0.73 | 0.08 | 0.15 | 0.26 | 4.23 | 4.01 | 0.01 | 8.24 | 0.95 | 1.01 | 1.61 | 2.04 | 6.58 | 1.45 | 0.93 | 0.77 | 95.70 |
| | 福建魁岐* | 76.79 | 0.16 | 11.54 | 1.06 | 0.58 | 0.10 | 0.09 | 0.28 | 4.14 | 4.27 | 0.05 | 8.41 | 0.97 | 1.00 | 1.47 | 2.09 | 5.68 | 0.89 | 0.95 | 0.79 | 95.59 |
| | 青岛崂山* | 76.18 | 0.15 | 12.37 | 0.78 | 0.81 | 0.06 | 0.23 | 0.37 | 4.22 | 4.57 | 0.04 | 8.79 | 0.98 | 0.97 | 1.40 | 2.33 | 4.93 | 2.17 | 0.87 | 0.84 | 96.03 |
| | 澳大利亚 | 77.21 | 0.13 | 11.79 | 0.36 | 0.85 | 0.03 | 0.04 | 0.39 | 3.08 | 5.00 | 0.02 | 8.08 | 1.05 | 0.91 | 0.94 | 1.91 | 3.05 | 0.42 | 0.97 | 0.47 | 94.28 |
| | 尼日利亚 | 75.26 | 0.26 | 11.55 | 2.42 | 1.35 | 0.10 | 0.35 | 0.57 | 4.04 | 4.66 | 0.08 | 8.70 | 0.91 | 1.01 | 1.32 | 2.35 | 5.00 | 2.73 | 0.91 | 0.79 | 88.50 |

注: 浙东沿海地区富碱花岗岩化学成分主要据浙江省区域地质志(1985).
 AI = Na₂O + K₂O (wt%); ALI = Al₂O₃ / (Na₂O + K₂O + CaO) (分子比);
 FMI (铁镁指数) = (Fe₂O₃ + FeO) / (Fe₂O₃ + FeO + MgO);
 δ (里特曼指数) = (Na₂O + K₂O) / (SiO₂ - 43); Na/K = Na₂O / K₂O (原子比);
 DI (分异指数) = Q + Or + Ab (CIPW 标准矿物成分);
 * 为碱性花岗岩;
 AKI = (Na₂O + K₂O) / Al₂O₃ (分子比);
 SI (固结指数) = 100 × MgO / (Fe₂O₃ + FeO + MgO + Na₂O + K₂O);
 OXI (氧化指数) = 2Fe₂O₃ / (2Fe₂O₃ + FeO);
 AR (碱度率) = (Al₂O₃ + CaO + Na₂O + K₂O) / [Al₂O₃ + CaO - (Na₂O + K₂O)].

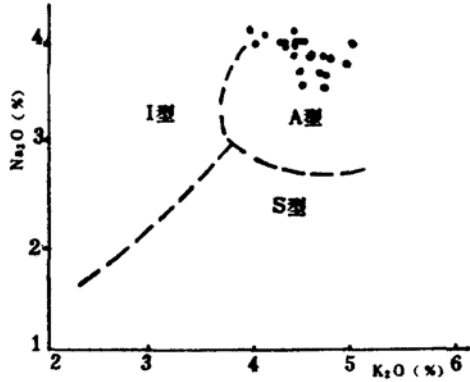


图 3a 岩石类型图解(据Collins, 1982)

Fig. 3a Diagram of rock types (after Collins, 1982)

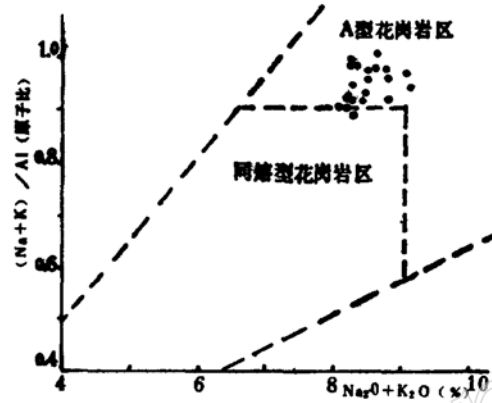


图 3b 岩石类型图解(据刘昌实, 1989)

Fig. 3b Diagram of rock types (after Liu Changshi, 1989)

表 4 碱长和碱性花岗岩的稀土元素参数

Table 4 REE parameters of alkali-feldspar and alkali granites

| 岩体名称 | ΣREE* (ppm) | ΣCe/ΣY | δEu | La/Yb | La/Sm | Y/ΣREE | 资料来源 |
|---------|-------------|--------|------|-------|-------|--------|---|
| 桃花岛 | 245.49 | 1.77 | 0.20 | 7.81 | 15.90 | 0.14 | 浙江省区域地质志, 1985 毛健仁等, 1989 ⁽²⁾ |
| 瑶坑 | 151.04 | 1.18 | 0.21 | | | | |
| 普陀山 | 113.75 | 3.56 | 0.31 | | | | |
| 钱仓 | 257.02 | 3.32 | 0.51 | | | | |
| 大罗山 | 205.35 | 2.74 | 0.18 | | | | |
| 白枫岙 | 410.98 | 3.01 | 0.30 | 14.69 | 5.65 | 0.15 | 浙江省第五地质大队, 1986 |
| 大玉苍山 | 234.13 | 3.30 | 0.33 | 15.74 | 5.62 | 0.12 | 浙江省第十一地质大队, 1989 |
| 青岛崂山 | 166.85 | 4.16 | 0.35 | 14.73 | 11.72 | 0.13 | 周亚东等, 1989 ⁽³⁾ |
| 福建魁岐 | 155.12 | 2.57 | 0.22 | 7.32 | 11.32 | 0.18 | 洪大卫等, 1987 ⁽⁴⁾ |
| 澳大利亚蒙布拉 | 405.46 | 2.39 | 0.32 | 6.85 | 3.93 | 0.20 | W.J., 柯林斯等, 1983 ⁽⁵⁾ |

* 稀土元素含量用等离子光谱(ICP)测定。

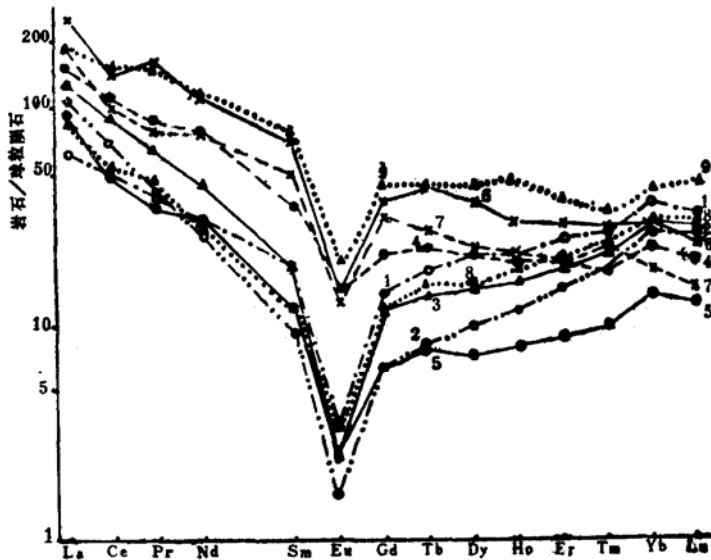


图 4 碱长和碱性花岗岩的稀土元素分布模式

Fig. 4 REE patterns of alkali-feldspar and alkali granites

1—瑶坑; 2—桃花岛; 3—普陀山;
4—钱仓; 5—大罗山; 6—白枫岙;
7—大玉苍山; 8—魁岐; 9—蒙布拉

从表、图反映出, 桃花岛、瑶坑等碱性花岗岩同福建魁歧碱性花岗岩稀土特征基本相同。普陀山、大罗山等碱长花岗岩稀土元素的总体变化特点也类似于澳大利亚蒙布拉A型花岗岩。稀土元素分布模式的共同特点是曲线形态基本相同, 均为缓右倾斜的V字型, 具有明显的钨亏损, 碱性花岗岩比碱长花岗岩Eu亏损更强烈。两者具有相似、平行的稀土配分型式, 表明它们为同一成因系列的产物。

3. 微量元素

已有的一些岩石微量元素资料列于表5, 表中同时列出了K₁时期流纹质岩、区内I型(同熔型)花岗岩和福建魁歧钠闪石晶洞碱性花岗岩、澳大利亚蒙布拉A型花岗岩以及世界酸性岩类维氏值(1962)的数据, 以便比较。微量元素经原始地幔标准化的分布曲线见图5。

由表5、图5可以看出, 本带富碱花岗岩特别是含碱性暗色矿物的晶洞碱性花岗岩的微量元素与福建魁歧钠闪石碱性花岗岩(晶洞)以及澳大利亚蒙布拉A型花岗岩较接近, 经标准化后的曲线型式一致。它们的共同特点是: 不相容元素(或大电荷阳离子)Rb、Th(U)、Nb(Ta)、Zr、Ga等较富集, Ti(Fe)、Ni、Cr、Co、Zn等表征深源特征的元素与区内含SiO₂量相当的I型(同熔)花岗岩相比略偏高, 这些元素的丰度较高, 说明了富碱花岗岩相对于同熔型花岗岩来自更深的部位。

同时, 这些资料还清晰地反映了本带早白垩世的流纹质火山岩和富碱花岗岩在微量元素丰度上较接近以及经标准化后的曲线呈现同步变化, 体现了它们之间的一致性, 揭示了早白垩世流纹质火山岩和富碱花岗岩在物质来源和成因上有着密切联系。

表5 富碱花岗岩的微量元素含量(ppm)

Table 5 Content of the trace elements of alkali-rich granites (ppm)

| 岩 石 | Rb | Ba | Th | K | Nb | La | Sr | Nd | Zr | P | Ti | V |
|-----------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|--|-------|-----|------|------|
| 碱性花岗岩 | 223 | 79.3 | 26.8 | 47400 | 28.0 | 81.4 | 13.3 | 62.5 | 413.1 | 480 | 1523 | 3.2 |
| 早白垩世流纹岩 | 175 | 130.0 | 11.0 | 47850 | 25.0 | 57.8 | 78.3 | 43.6 | 214.6 | 504 | 2860 | 22.5 |
| 本区I型花岗岩 | 180 | 457 | 21.6 | 44780 | 18.1 | 35.6 | 35.0 | 22.5 | 116.4 | 189 | 983 | 5.5 |
| 魁歧碱性花岗岩 | 354 | 19.1 | 19.0 | 41900 | 42.3 | 29.2 | 8.3 | 12.7 | 126.1 | 600 | 1588 | 2.3 |
| 澳大利亚A型花岗岩 | 242 | 175.0 | 26.0 | 5000 | 19.0 | 60.0 | 43.0 | 66.9 | 170.0 | / | / | 2.0 |
| 酸性岩维氏值 | 200 | 830.0 | 18.0 | / | 20.0 | 60.0 | 300.0 | / | 200.0 | 1 | 2300 | 40.0 |
| 岩 石 | Cr | Co | Ni | Mn | Cu | Zn | Ga | 资 料 来 源 | | | | |
| 碱性花岗岩 | 10.0 | 1.4 | 3.9 | 703 | 11.0 | 256.8 | 25.7 | 董传万(1988), 浙江省第五、第十一地质大队(1989)和浙江地质矿产研究所(1989)等资料综合。 | | | | |
| 早白垩世流纹岩 | 6.6 | 1.9 | 4.0 | 900 | 12.5 | 88.7 | 20.3 | | | | | |
| 本区I型花岗岩 | 6.1 | 1.1 | 2.5 | 753 | 12.8 | 44.8 | 16.7 | | | | | |
| 魁歧碱性花岗岩 | 5.6 | 1.1 | 4.0 | 863 | 8.0 | 171.4 | 26.4 | 洪大卫等, 1987 ⁽⁴⁾ 。 | | | | |
| 澳大利亚A型花岗岩 | <1 | 1 | <1 | / | 6.0 | 122.0 | 20.0 | W. J., 柯林斯等, 1983 ⁽⁵⁾ 。 | | | | |
| 酸性岩维氏值 | 25 | 5 | 8 | 600 | 20.0 | 60.0 | 20.0 | 维诺格拉多夫, 1962。 | | | | |

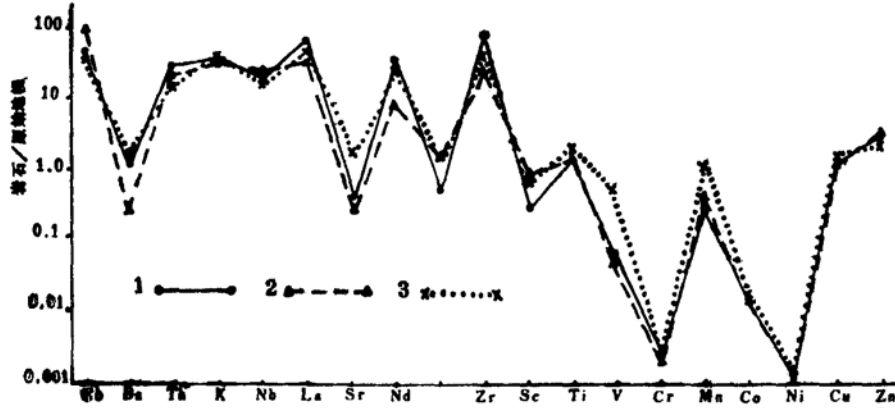


图5 微量元素原始地幔标准化图解

Fig. 5 Primary mantle-normalized trace element patterns

1—本带碱性花岗岩；2—福建魁歧碱性花岗岩；3—早白垩世流纹质岩

4. 稳定同位素

从表6可以看出，本带富碱花岗岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值与福建魁歧、山东青岛—崂山碱性花岗岩（晶洞）基本一致。全岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值 $< 8\%$ ，明显低于S、I型花岗岩类。据报道，典型的未蚀变A型花岗岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 为6—7.5%，证实了区内富碱花岗岩成岩物质来源于上地幔或下地壳。

表6 富碱花岗岩的锶、氧同位素组成

Table 6 Strontium and oxygen isotopic compositions of alkali-rich granites

| 地点 | 岩石类型 | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\text{I})$ | $\delta^{18}\text{O}(\%)$ | 资料来源 |
|------|-------------|---|---------------------------|---------------------------|
| 青田 | 含霓辉石晶洞碱性花岗岩 | 0.7061 | 6.84 | 董传万(1988)*① |
| 大罗山 | 晶洞钾长(碱长)花岗岩 | | 7.65 | 于津生(1987) ^[6] |
| 前村 | 碱长花岗岩 | 0.7103 | | 吴利仁(1984) ^[7] |
| 福建魁歧 | 钠闪石晶洞碱性花岗岩 | 0.7059 | 6.70 | 洪大卫(1987) ^[4] |
| 山东崂山 | 晶洞碱性花岗岩 | 0.7064 | 7.08 | 桂训唐等(1989) ^[8] |

* ①浙江东南部青田地区两类花岗岩的特征及成因(硕士论文)。

三、构造环境的探讨

上述岩石学、岩石化学、稀土和微量元素及稳定同位素等资料均表明，本带富碱花岗岩明显不同于区内的I型花岗岩类。据国内外一些学者的研究，这类岩石是在特定的构造环境下形成的。我们结合本带实际地质情况，从以下几方面来讨论其形成的构造环境。

1. 富碱花岗岩与 K_1 火山岩氧化物图解：

浙东沿海地区早白垩世（馆头—朝川组）火山活动主要限于一些断陷盆地或火山洼地内，以中心式火山喷发（溢）为主，形成在成分上以基性—酸性不连续的碱性玄武岩—偏碱质流纹质岩组合为特征的双模式火山活动。在火山喷发活动晚期或稍后，发育有类似的一套侵入岩（辉长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗岩和富碱钾长花岗岩），其中富碱花岗岩是较

晚一次侵入活动形成的。从图6可以看出，富碱花岗岩是 K_1 双模式火山岩中酸性端员——流纹质岩浆进一步分异演化，即岩浆演化晚期向偏酸富碱方向发展的结果。

火山岩（双模式）和富碱花岗岩的岩石化学资料表明，两者都具有富碱特征，因而均可归属于富碱岩浆系列，它们之间形成的构造环境必然有其共同的成因联系。对于早白垩世（馆头—朝川期）以来的火山活动构造环境，目前已有较多的论著^{①②③}，大多认为岩浆活

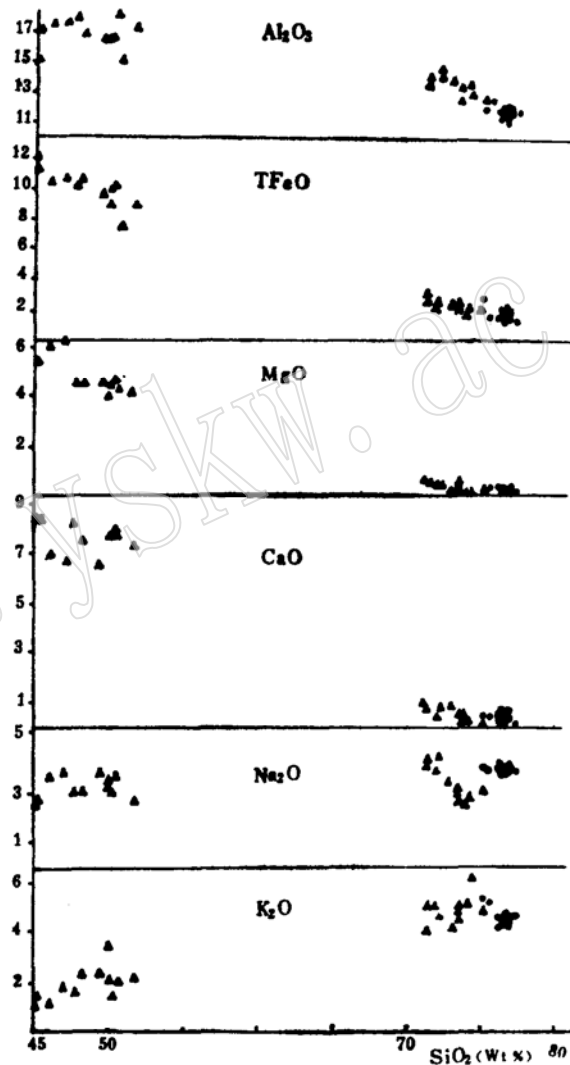


图 6 富碱侵入体与 K_1 火山岩氧化物图解

Fig. 6 Diagram for the oxides of alkali-rich intruded rocks and K_1 volcanic rocks

●富碱花岗岩 ▲ K_1 双模式火山岩—玄武岩、流纹质岩

① 浙江省地质矿产研究所，1989，浙东沿海地区（镇海—温州）一带金、银和含银（金）铅锌矿成矿特征及远景预测研究报告。

② 浙江第五地质大队，1989，运用地质和地球物理、地球化学等方法，研究括苍山火山构造，岩浆演化及成矿系列研究报告。

③ 浙江省第十一地质大队，1989，浙江山口火山洼地火山地质，火山—侵入杂岩及其找矿远景研究报告。

动总的发生于活动大陆边缘拉张环境下,部分地区甚至出现明显的张裂(一般有裂无谷)构造环境。本区早白垩世双模式火山岩及富碱花岗岩的形成与此环境有关。

2. 富碱花岗岩的 R_1-R_2 图解

将岩石化学成分计算的阳离子参数 R_1 和 R_2 [$R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$; $R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$], 投入Batchelor等(1985)^[10]的 R_1-R_2 图解中(图7), 可以看出, 本岩带的碱长和碱性花岗岩都落于造山期后—非造山期否的碱性—过碱性岩浆作用区内。这些侵位较高的岩体, 可能是开始转入非造山阶段的产物。

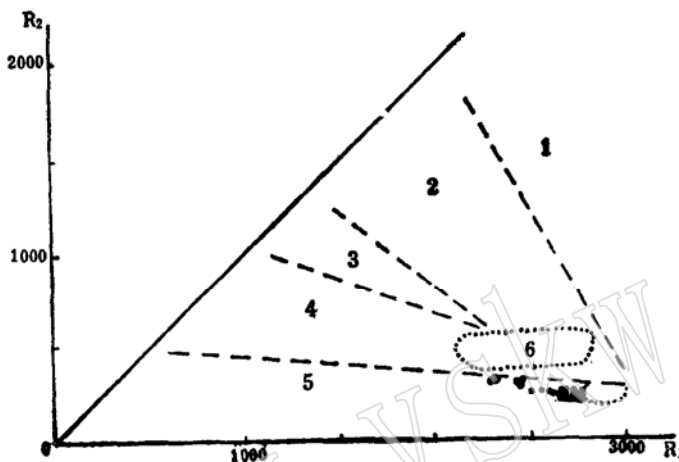


图7 R_1-R_2 构造环境关系图
(据Batchelor等, 1985)

Fig. 7 R_1-R_2 versus tectonic setting diagram

1—地幔斜长花岗岩(拉斑玄武质花岗岩)
—地幔分异的花岗岩; 2—钙碱性、更长花岗岩(消减的活动板块边缘花岗岩)
—板块碰撞前花岗岩; 3—高钾钙碱性花岗岩(加里东型深熔花岗岩—板块碰撞后隆起时花岗岩); 4—亚碱性二长岩(造山晚期花岗岩)—晚造山期花岗岩;
5—碱性、过碱性花岗岩(造山期后花岗岩)—非造山碱性(A型)花岗岩; 6—深熔花岗岩(同造山花岗岩)—同碰撞花岗岩

其次, 据物探等资料综合反映, 沿海地区重力(布格)为正区域异常, 总体上是北东向重力梯度带, 莫霍面深度浅, 深度变化为28—33km, 一般 <29 km; 其西侧(向大陆方向)重力为负区域异常, 莫霍面深度增大, 一般在31—34km。上述特征表明, 沿海地区为地幔隆起区(带), 西侧为地幔拗陷区(带)●。镇海—温州断裂恰处于幔坡变异带。该断裂据梁乃杰(1988)研究认为是一条切穿岩石圈达上地幔的活动大陆边缘具裂谷特征的深断裂^[11]。

综合以上资料, 可将本带富碱花岗岩的形成机制概括如下:

本带燕山早期由于太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲而形成的挤压构造—岩浆喷发活动机制至白垩纪转为挤压松弛—拉张的构造环境。随之, 一些早先形成的挤压性断裂构造, 亦可转化为张性断裂, 如镇海—温州断裂。这种拉张时期的张裂活动, 可能具有裂谷作用的特征, 并伴随产生一种深源富碱岩浆活动。本带早白垩世部分地区的双模式火山岩和富碱花岗岩, 可能就是在这种张裂构造(有裂无谷)环境下形成的。

结 论

1. 浙东沿海地区富碱花岗岩处于活动大陆边缘的地幔上拱(隆起)带, 其分布主要受区域性大断裂控制, 空间上呈显著的线型展布。

2. 富碱花岗岩, 具有高硅富碱低铝贫钙镁的岩石化学特点, 微量元素中富集Rb、Th(U)、

● 浙江省物探大队专题研究组, 1988, 东南沿海区域地球物理场特征及其地质意义。

Nb(TQ)、Zr、Zn等, Ga/Al比值较高, 与福建魁岐碱性花岗岩特征基本相同, 也接近于澳大利亚Lachlan古生代褶皱带的A型花岗岩。

3. 富碱花岗岩(侵入体)是在断裂处于拉张条件下侵位而成的。

本文在写作过程中, 承蒙徐步台、李长江高级工程师和胡永和工程师提供宝贵意见并审阅和修改, 谨此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 徐步台, 1984, 浙江省燕山期花岗岩的同位素地质年代问题, 地球化学, No. 3, 217—225.
- [2] 毛健仁等, 1989, 东南沿海中生代侵入岩与火山岩的时空关系, 南京地质矿产研究所刊, Vol. 10, No. 3, 44—59.
- [3] 周亚东等, 1989, 青岛一崂山A型花岗岩的地质地球化学特征, 南京大学学报(地球科学), No. 3, 92—126.
- [4] 洪大卫等, 1987, 福建沿海晶洞花岗岩带的岩石学和成因演化, 北京科学技术出版社, 60—95.
- [5] 柯林斯, W. J., 比斯姆, S. D. 等, A型花岗岩的性质和起源, 国外矿床地质, 1983, No. 25, 30—46.
- [6] 于津生等, 1987, 花岗岩类岩石H-O同位素体系的纬度和高度效应, 中国科学, No. 12, 1319—1328.
- [7] 吴利仁等, 1984, 华东及邻区中、新生代火山岩, 科学出版社, 154—155.
- [8] 桂训唐等, 1989, 崂山晶洞碱性花岗岩同位素地球化学研究, 岩石学报, No. 3, 37—43.
- [9] 元润章等, 1989, 东南沿海陆相多旋回双模式火山岩, 南京地质矿产研究所刊, Vol. 10, No. 3, 4—21.
- [10] Batchelor R. A., 等, 1985, 利用多阳离子参数对花岗岩系作成因解释, 基础地质译丛, 1986, No. 4, 36—45.
- [11] 梁乃杰, 1988, 试论普陀—平阳深断裂, 浙江地质, Vol. 4, No. 2, 20—29.

A Tentative Discussion on the Geochemical Characters and Tectonic Setting of Alkali-rich Granites in the Coastal Area of East Zhejiang

Jiang Xuliang

(Zhejiang Institute of Geology and Mineral Resources)

Key words: coastal area of east Zhejiang; alkali-rich granites; rock geochemistry; tectonic setting

Abstract

There is a large-scale alkali-rich intrusive rock zone, with an NNE striking in linear distribution, in the coastal area of east Zhejiang. It is composed of alkali-feldspar granites and alkaline granites. The alkali-rich intrusive rocks are characterized by Si-high ($\text{SiO}_2 > 76\%$), alkali-rich ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 8.2\%$), Al-low ($\text{Al}_2\text{O}_3 < 12.5\%$),

(下转第 132 页)