

⑧ 462-468

第29卷第5期
2000年9月地球化学
GEOCHIMICAVol. 29, No. 5
Sept., 2000

文章编号: 0379-1726(2000)05-0462-07

广东恶鸡脑碱性正长岩的地球化学
及其地球动力学意义

包志伟, 赵振华, 熊小林

(中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640)

摘 要: 广东从化恶鸡脑碱性正长岩岩体是广东乃至华南地区唯一已知的中生代含副长石及碱性暗色矿物的碱性正长岩岩体。岩石含有霞石、白榴石及岩浆成因的方钠石。碱性正长岩体侵入到燕山期第三期的佛冈岩体之中, 岩体侵位年龄为 127.5 Ma (角闪石 Ar-Ar 法)。岩体富大离子亲石元素, 贫 Sr 和 Ba, 具有明显的铯负异常, 富 Nb 和 Zr 等高场强元素。 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为近于零的负值 (-0.66 ~ -1.6), 模式年龄 t_{DM} 较小 (0.91 ~ 0.99 Ga), 钕同位素组成显示出其成岩物质主要源于富集的上地幔源区。造山后准铝质 A 型花岗岩 [(158 ± 17) Ma] - 非造山 A 型花岗岩 (~132 Ma) - 碱性正长岩 (127.5 Ma) 的构造岩浆组合, 是侏罗纪中国东南部由挤压造山向拉张伸展转变的产物, 表明华南地区岩石圈拉张作用应始于晚侏罗世。具有铯负异常的碱性正长岩的产出, 标志着早白垩世造山作用的结束、山根消失及大规模拉张构造事件的开始。

关键词: 微量元素; Sr-Nd 同位素; 碱性正长岩; 地球动力学; 广东省
中图分类号: P594 文献标识码: A

地球化学

P588.122

0 引言

狭义的碱性岩是指含有副长石、碱性辉石、碱性角闪石及其他碱性矿物的富碱岩浆岩类, 其标准矿物组成中含有霞石和锥辉石^[1]。目前, 一般仅以碱质 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 和硅含量来界定碱性岩^[2]。就其体积而言, 碱性岩类尚不足全部岩浆岩的 1%, 但其复杂的矿物组成却使其占有一半以上的岩浆岩名称。由于碱性岩类常蕴藏着丰富的大离子亲石元素及产出于特定的地质环境, 一直是岩石学家和地球化学家所关注和研究的焦点问题之一^[1]。一些学者对国内重要富碱岩带及 A 型花岗岩带, 特别是对中国东部巨型晚中生代 A 型花岗岩带的地质、地球化学特征和构造控制进行了很多卓有成效的研究, 并对其中的 I-A 复合花岗岩组合的成因进行了深入的探讨^[3-9]。前人对华南富碱侵入岩的研究主要限于闽浙沿海一带, 而对湘赣粤一带 S 型花岗岩广泛出露地区的碱性岩类的研究重视不够。恶鸡脑碱性正长岩体是目前所知广东乃至整个华南地区晚燕山期唯一含副长石的富碱侵入体, 其产出环境和地球化

学特征均很独特。本文拟通过对岩体的岩石学、微量元素及钕同位素地球化学研究, 探讨其成岩机制及地球动力学意义。

1 岩石学、岩石化学

研究区位于 NE 向广州 - 从化断裂带与 EW 向佛冈 - 丰顺构造带的交汇部位。广州 - 从化断裂是恩平 - 新丰断裂带的一部分, 在同一断裂带上还出露脉状的 (白榴石) 黄长橄辉岩、方钠石绿钠闪石正长岩^[10-12]。该断裂对区内活动及石炭纪以来的沉积岩相和地层厚度均有影响。岩相古地理资料表明, 该断裂带是晚古生代的拗陷带, 其活动始于加里东运动晚期。佛冈 - 丰良深断裂带是广东大陆上地幔拗陷区——佛冈 - 九连山变异区的一部分, 为向北倾斜的慢坡带, 主要由 EW 向的冲断裂、隐伏基底断裂以及燕山期侵入体、火山盆地和隆起组成, 是控制燕山期岩浆活动的主要因素。佛冈花岗岩体中的暗色包体、矿物、长石斑晶及由此显示的流线方向均为 EW 向。该断裂运动始于印支期, 燕山期活动强烈^[10]。

收稿日期: 1999-11-08; 修订日期: 2000-05-22

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (950685)

作者简介: 包志伟 (1963-), 男, 副研究员, 地球化学专业。

从化恶鸡脑正长岩杂岩体位于广东省从化市良口镇,广州 NE 方向 75 km。该正长岩杂岩体产于佛冈 - 丰顺 EW 向构造 - 岩浆带中,NE 向恩平 - 新丰断裂带(广州 - 从化断裂)的西缘。空间分布上呈不规则的“哑铃”状,并呈小岩株侵入到燕山期第三期佛冈花岗岩体 [Rb-Sr 等时线年龄 (158 ± 17) Ma,王 - 一先,个人交流]中,出露面积约 12 km²。岩体的角闪石 Ar-Ar 坪年龄为 (127.5 ± 1.2) Ma^[13]。该岩体和侵入到佛冈燕山期第三期岩体中的南昆山黑鳞云母花岗岩(132 Ma, K-Ar 年龄^[10])为同一构造 - 岩浆系列的产物。

恶鸡脑碱性正长岩杂岩体由霞石角闪正长岩、角闪正长岩、方钠石白榴石角闪黑云母正长岩组成(图 1)。各岩类间呈渐变过渡关系。岩石呈似斑状结构和似粗面结构。造岩矿物主要为钾微斜长石、黑云母和角闪石。岩石中含有碱性矿物如霞石、方钠石和白榴石等,为典型的碱性正长岩。副矿物有磷灰石、榍石、磁铁矿、锆石、独居石、磷钇矿、白钛矿、锐钛矿和钛铁矿等。岩石中磷灰石含量较高,常夹裹于黑云母和角闪石中。钾微斜长石呈半自形板状,定向或半定向排列,其中条纹及嵌晶斜长石为钠更长石。霞石呈自形、半自形板状、柱状或楔形分布于长石、角闪石颗粒间。霞石大多已蚀变为钠沸石或方沸石、鳞片状白云母及方解石等,镜下可见板状的霞石由于白云母化和方钠石化而残留下霞石边框。岩石中既有交代成因的,也有岩浆成因的方钠石,镜下既见有交代角闪石和霞石而形成的方钠石,也见有与钾微斜长石呈共结结构的方钠石存在。白

榴石晶体呈半自形,具有明显的环带结构。岩体具有不同程度的绿帘石化、绿泥石化、方解石化和高岭石化。

碱性正长岩杂岩体的岩石化学组成见表 1。岩石里特曼指数为 7.2~11.6,莱特指数为 2.2~4.6, $K_2O/Na_2O \geq 1$,属钾质碱性系列。在 Shand 指数图解^[15]上,恶鸡脑正长岩体落入准铝质区或过碱质区(图 2)。在 AR-SiO₂ 图解^[16]上(图 3)落在碱性岩区,而在 $(Na_2O + K_2O)$ -SiO₂ 图^[17](图 4)上同样也处于碱性岩区。

表 1 恶鸡脑碱性正长岩岩石化学组成(%)

Table 1 Petrochemical compositions (%) of the Ejinao alkali syenite						
样号	192	YJS	LY-7	LY-3	LY-1	196
岩性	宽辉角闪正长岩			(霞石、白榴石)角闪正长岩		
SiO ₂	58.33	58.67	59.36	59.32	59.46	61.50
TiO ₂	0.28	0.29	0.20	0.30	0.24	0.43
Al ₂ O ₃	18.15	19.75	18.34	18.10	18.33	17.72
Fe ₂ O ₃	4.54	2.53	2.40	1.15	2.34	2.19
FeO	2.69	2.86	2.72	2.89	2.50	2.60
MnO	0.19	0.23	0.20	0.19	0.21	0.10
MgO	0.33	0.10	0.50	0.26	0.79	0.51
CaO	2.11	1.10	2.63	2.62	1.34	2.01
Na ₂ O	6.45	7.46	5.90	6.52	6.59	5.23
K ₂ O	5.65	5.94	5.88	7.23	6.04	6.30
P ₂ O ₅	0.14	0.04	0.06	0.08	0.03	0.23
H ₂ O ⁺			1.20	0.86	1.60	
烧失量	1.10	0.82				0.50
合计	99.96	99.79	99.39	99.52	99.47	99.32

分析者：中国科学院广州地球化学研究所钱志鑫。

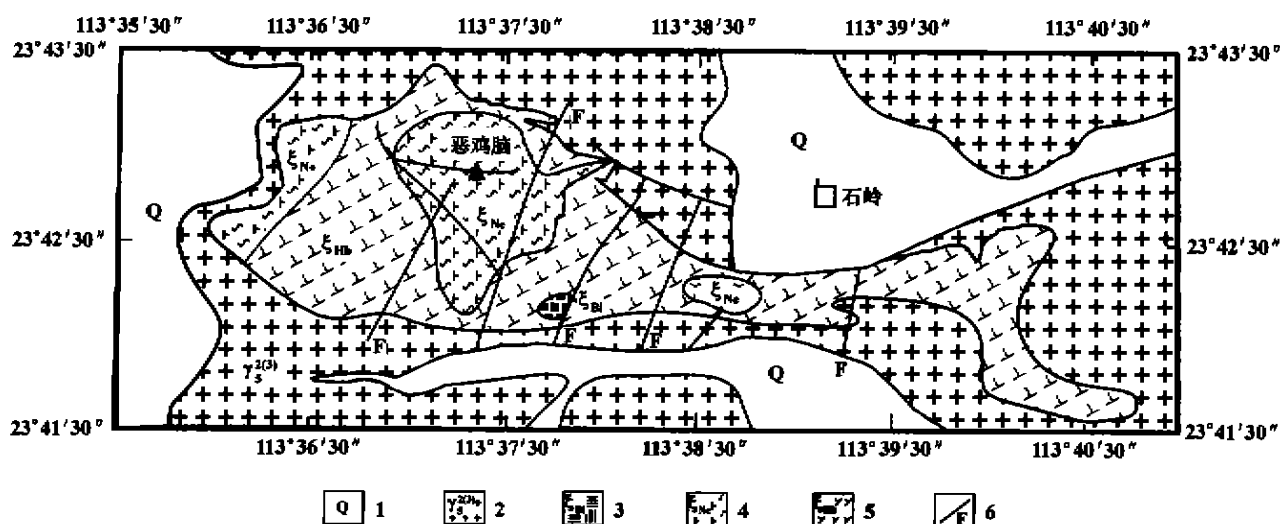


图 1 广东省从化恶鸡脑碱性正长岩地质略图(据文献[14])

Fig. 1 Sketch map showing the occurrence of the Ejinao alkali syenite, Conghua, Guangdong Province(after literature [14])

1. 第四系; 2. 燕山期花岗岩; 3. 黑云母正长岩; 4. 霞石角闪正长岩; 5. 角闪正长岩; 6. 断层。

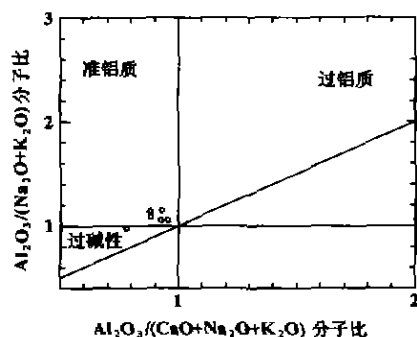


图 2 从化恶鸡脑碱性正长岩体 Shand 指数图解
(据文献[15])

Fig. 2 Shand's index diagram of the Ejinao alkali syenite
(after literature [15])

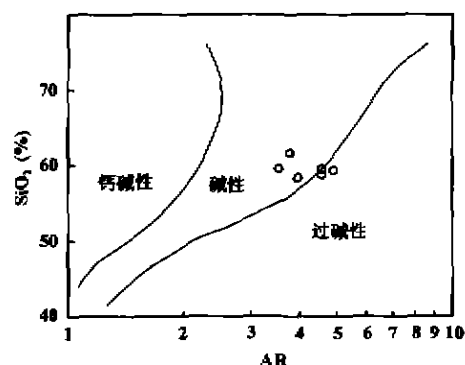


图 3 从化恶鸡脑碱性正长岩体 SiO₂-AR 图解
(据文献[16])

Fig. 3 SiO₂-AR diagram of the Ejinao alkali syenite
(after literature [16])

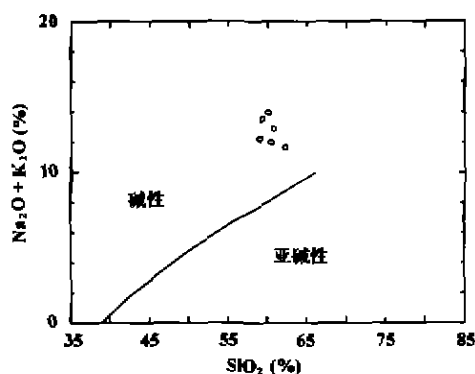


图 4 从化恶鸡脑碱性正长岩体 (Na₂O + K₂O)-SiO₂ 图解
(据文献[15])

Fig. 4 (Na₂O + K₂O)-SiO₂ diagram of the Ejinao alkali-syenite
(after literature [15])

2 微量元素和稀土元素地球化学

恶鸡脑正长岩微量元素组成由中国科学院广州地球化学研究所等离子质谱组用等离子体质谱法测定。样品置于聚四氟乙烯高压熔样器中,用 HF +

HNO₃ 于 200 ℃ 左右溶解 24 h。详细分析流程见文献[18]。稀土元素分析的相对标准偏差小于 5% (Ce ≤ 10% 除外),其他微量元素分析的相对标准偏差优于 10%。分析结果见表 2。从微量元素蛛网图(图 5)上可以看出,正长岩与其所侵入的佛冈黑云母花岗岩的分布模式很相似,富大离子亲石元素,可能由于经历过较强的斜长石分离作用而明显亏损 Sr 和 Ba。与佛冈黑云母花岗岩相比(表 2),恶鸡脑正长岩 U 和 Th 富集不显著,除 LY-3 有较显著的 Nb 和 Zr 亏损外,其余均无明显的 Nb 和 Zr 异常,可能表明正长岩源岩中含有大量的幔源组分。正长岩的稀土元素分布模式与佛冈黑云母花岗岩相似(图 6),呈轻稀土富集型,各岩石样品的稀土分布模式大体上呈相

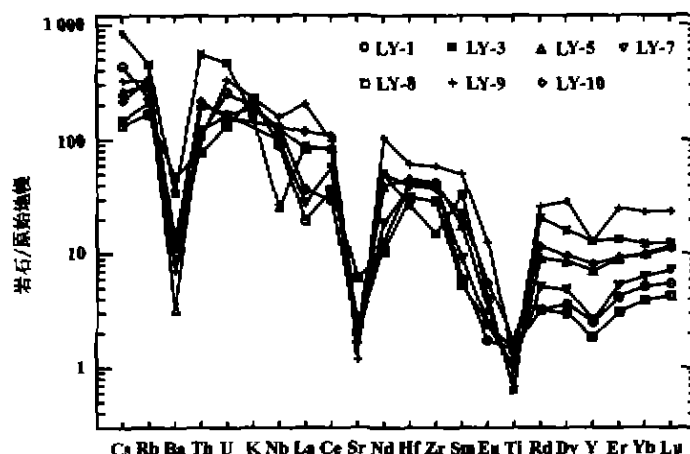


图 5 恶鸡脑碱性正长岩和佛冈花岗岩微量元素蛛网图
Fig. 5 Trace element spider diagram of the Ejinao alkali syenite and the Fugang granite

地幔微量元素含量据文献[19],样品描述见表 2。
The primordial mantle values are cited from literature [19].

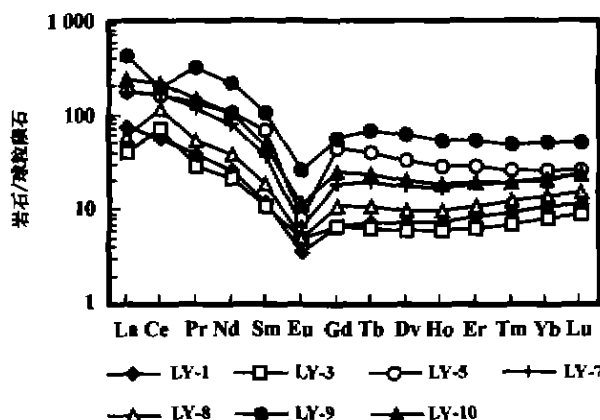


图 6 恶鸡脑碱性正长岩和佛冈花岗岩稀土元素分布模式图
Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of the Ejinao alkali syenite and the Fugang granite
球粒陨石值据文献[20],样品描述见表 2。
Chondrite values accord to literature [20]

表 2 恶鸡脑碱性正长岩、佛冈黑云母花岗岩微量元素组成 ($\times 10^{-6}$)Table 2 Trace elements composition ($\times 10^{-6}$) of the Ejinao alkali syenite and the Fugang granite

样号	LY-1	LY-3	LY-7	LY-8	LY-9	LY-10	LY-5
岩性	霞石白榴石 正长岩	角闪正长岩	霓辉角闪 正长岩	霓辉角闪 正长岩	方钠石黑云 角闪正长岩	方钠石黑云 母正长岩	黑云母花岗岩
Rb	124	91.2	159	117	179	185	247
Sr	36.8	114	33.1	40.4	22.3	37.5	41.5
Y	9.49	7.00	27.1	10.2	49.8	31.7	49.9
Zr	402	281	406	386	579	370	147
Nb	81.6	58.4	80.5	65.4	103	84.5	16.4
Ca	2.97	0.915	1.81	1.02	2.28	1.53	5.83
Ba	63.9	295	20.0	71.0	44.4	83.1	215
La	22.8	12.3	51.8	17.8	129	74.2	54.7
Ce	45.5	57.6	133	90.3	156	172	129
Pr	4.56	3.38	14.1	6.39	38.0	18.0	15.7
Nd	15.1	12.5	47.3	22.6	126	61.4	61.1
Sm	2.33	2.10	7.05	3.62	20.2	8.91	13.3
Eu	0.254	0.358	0.483	0.362	1.89	0.830	0.598
Gd	1.69	1.69	4.81	2.75	13.9	6.21	11.0
Tb	0.341	0.300	0.905	0.514	3.11	1.08	1.85
Dy	2.34	1.95	5.57	3.19	19.3	6.35	10.5
Ho	0.528	0.419	1.16	0.698	3.83	1.29	2.02
Er	1.76	1.31	3.82	2.28	10.9	4.03	5.76
Tm	0.302	0.227	0.605	0.391	1.58	0.613	0.839
Yb	2.22	1.70	4.36	2.79	10.3	4.28	5.33
Lu	0.354	0.278	0.755	0.474	1.57	0.740	0.817
Hf	11.8	8.73	12.6	11.2	17.1	11.3	7.35
Th	8.53	6.74	17.5	10.6	8.98	19.0	48.0
U	5.49	2.87	3.61	3.59	7.30	3.43	10.1

分析者: 中国科学院广州地球化学研究所等离子体质谱实验室。

互平行的态势, 表明它们在成因上可能有一定的联系。与其他由幔源岩浆分异的正长岩^[5]明显不同, 恶鸡脑岩体具有明显的铕负异常。铕负异常的出现表明恶鸡脑碱性正长岩岩体的形成深度较小, 可能是安山质或玄武质岩浆中斜长石的分离结晶作用、或同熔部分地壳物质的结果。正长岩中铕负异常的出现标志着造山带的崩塌已处于晚期阶段或已达大陆裂谷环境^[21]。

3 Sr、Nd 同位素地球化学特征

正长岩的铕同位素组成由中国科学院地质地球物理研究所同位素实验室测定。称取样品及适量¹⁴⁹Sm-¹⁵⁰Nd 混合稀释剂于 FEP 容器中, 加入适量的 HClO₄ 和 HF 后盖严。在 100 °C 左右溶解三昼夜, 然后在 200 °C 条件下进一步分解样品并驱除 HF、破坏

氟化物直至蒸干。用 2.5 mol/L HCl 提取、离心, 清液在 ϕ 6 mm、柱床高 8 cm 的 AG50 \times 12、 ϕ 0.075 ~ 0.038 mm 树脂柱上分离 REE。进而在 ϕ 4 mm、柱床高 5 cm 的萃淋树脂 (ϕ 0.075 ~ 0.038 mm) 柱上分离 Ce、Nd 和 Sm。同位素测定在 MAT-262 质谱计上完成。用 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.721 9 进行铕同位素质量歧视校正。样品测定期间标样的测量结果为: JMC, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 0.511 973 \pm 0.000 015 ~ 0.511 972 \pm 0.000 011。Sm、Nd 的实验室全流程本底大约为 10^{-11} g。

同位素参数计算方法如下:

$$\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = \frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_t^{(i)} - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}^{(i)}}{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}^{(i)}} \times 10^4$$

$$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_t^{(i)} = (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i - \frac{(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_i (e^{\lambda t} - 1)}{}$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}} = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}} - \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}} (e^{\lambda_{\text{Sm}} t} - 1)$$

$$t_{\text{DM}} = [8.5 - \varepsilon_{\text{Nd}}(t) + 9.19t/1000]/11.3$$

式中: t 代表岩石的结晶年龄; $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_0$ 和 $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_0$ 代表样品测定值; $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.512638$; $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.1967$; $\lambda_{\text{Sm}} = 6.54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$ 。

从表 3 可以看出, 正长岩的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 较高 (0.51248~0.51252), $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为接近零的负值 (-0.66~-1.6), 模式年龄较低 (0.91~0.99 Ga)。恶鸡脑正长岩的钐同位素组成与佛冈黑云母花岗岩有明显的差异, 正长岩的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值和 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 高于佛冈花岗岩 (0.512164 和 -8.0), 而模式年龄则远低于佛冈花岗岩 (1.6 Ga)。

4 成因机制及地质意义

一般认为碱性岩形成于拉张构造环境, 其物质

来源较深。在 (Y+Nb)-Rb 和 Nb-Y 图解上, 恶鸡脑正长岩与佛冈黑云母花岗岩同为板内环境 (图 7a、b)。佛冈黑云母花岗岩和恶鸡脑正长岩体的侵位受恩平-新丰断裂的控制, 在同一构造带上还发育有英长橄煌岩、方钠石绿钠闪石正长岩和三水盆地的喜山期碱性玄武岩等深源岩石类型^[10]。该断裂具有多期次挤压-拉张的特点。晚侏罗世即出现拉张构造运动, 形成赣南寨背 A 型花岗岩^[23]。被恶鸡脑正长岩侵入的佛冈岩体亦具有富硅、偏碱、FeO_T/MgO 较高、富高场强元素 (Y、Ga、Nb) 而贫 Sr 和 Ba, 具有明显的准铝质 A 型花岗岩的特点, 为造山后 A 型花岗岩 (另文论述)。恶鸡脑正长岩在稀土元素和微量元素特征上与佛冈岩体有一定的相似性。根据恶鸡脑正长岩的稀土元素、微量元素及 Sr、Nd 同位素组成特点, 可以推断其正长岩体的形成与佛冈黑云母花岗岩有一定的成因联系且主要物质来源于地幔。随着区域造山作用的结束、造山带的崩解、拉张作用的增强和地幔上涌, 与构造演化不同阶段相对应的

表 3 恶鸡脑正长岩、佛冈花岗岩钐、钕同位素组成
Table 3 Sr and Nd isotopic composition of the Ejinao alkali syenite and the Fugang granite

样号	LY-1	LY-3	LY-10	YJ-18	LY-5
岩性	霞石白榴石正长岩	角闪正长岩	方钠石黑云母正长岩	角闪正长岩	黑云母花岗岩
Sm ($\times 10^{-6}$)	2.33	2.10	8.91	9.08	13.3
Nd ($\times 10^{-6}$)	15.1	12.5	61.4	64.5	61.1
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.0933	0.102	0.0878	0.0854	0.132
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512520 \pm 0.000011	0.512514 \pm 0.000015	0.512469 \pm 0.000015	0.512484 \pm 0.000007	0.512164 \pm 0.000014
$\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$	-0.66	-0.91	-1.6	-1.3	-8.0
$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	0.91	0.94	0.99	0.97	1.6

分析者: 中国科学院地质研究所同位素实验室黄莹。

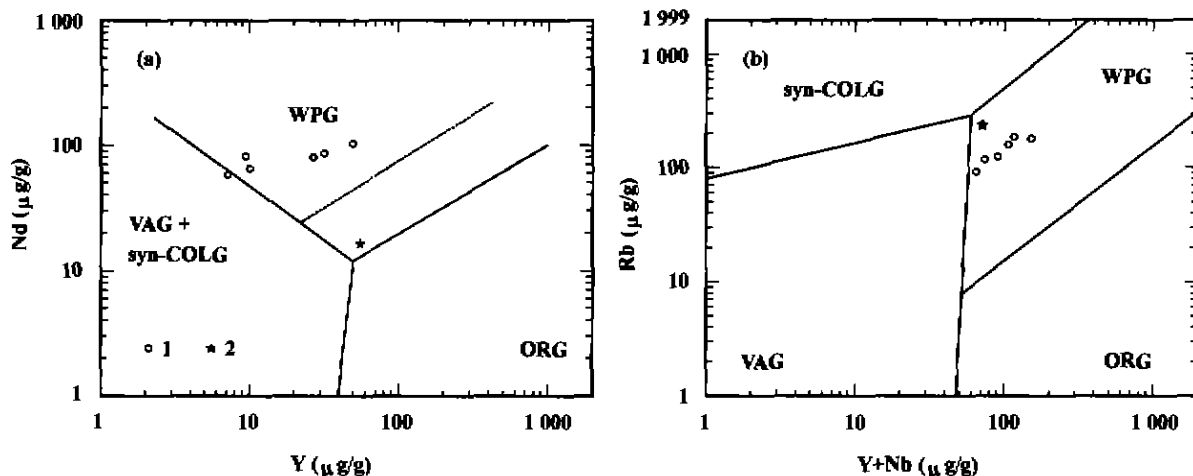


图 7 恶鸡脑碱性正长岩及佛冈花岗岩岩体形成构造环境判别图 (据文献[22])

Fig. 7 Tectonic setting discrimination diagram of the Ejinao alkali syenite and the Fugang granite (after literature [22])

1. 恶鸡脑碱性正长岩; 2. 佛冈花岗岩。

ORG. 洋脊花岗岩; syn-COLG. 同碰撞花岗岩; VAG. 火山弧花岗岩; WPG. 板内花岗岩。

岩浆岩中地幔物质组成比例不断增加。其源区物质可能为上地幔硅不饱和的正长岩岩浆与部分佛冈花岗岩源区物质, 或佛冈花岗岩源区组成相似的地壳物质同熔作用的产物。但考虑到恶鸡脑岩体的硅不饱和特性, 恶鸡脑碱性正长岩的成岩物质应主要来源于地幔分异的硅不饱和碱性岩浆, 因此, 其地幔源区应为富集地幔。

一般认为, 华南中生代构造应力场从碰撞挤压到剪切拉张的转变发生在白垩世初, 即 140 Ma 左右。早白垩世岩浆活动以高钾的 I 型和 A 型花岗岩为主并伴有基性岩浆活动, 自 ~140 Ma 至 ~90 Ma 至少出现过 4 次较强的拉张事件^[24]。然而, 华南地区在晚侏罗世或早燕山期的岩浆活动以过铝质 S 型花岗岩为主, 其构造应力场应以碰撞挤压为主, 但此间仍有多幕拉张事件的发生。粤中地体与华板块在海西 - 印支期碰撞作用^[25]结束即出现大陆地壳的减薄并出现多幕拉张构造。其主要构造 - 岩浆事件如湖南省的宁远县保安圩碱性玄武岩 (K-Ar 年龄 175 ~ 177 Ma)^[26]、宜春县长城岭拉斑玄武岩 [全岩 Ar-Ar 年龄 (178.03 ± 3.57) Ma]、江西寨背准铝质 A 型花岗岩 (Rb-Sr 等时线年龄 176 Ma, 锆石 U-Pb 年龄为 183 Ma)^[23]、以及赣南陂头 A 型花岗岩 [Rb-Sr 等时线年龄 (178.15 ± 0.84) Ma]^[27]的产出, 均表明华南地区在燕山早期已经存在多次拉张构造岩浆活动。李献华等提出邻区桂东北中生代二长岩、正长岩和花岗岩具有钾玄质岩浆岩特点, 构成一北东向钾玄质侵入岩带, 认为中生代桂东南地区存在软流圈地幔上涌和岩石圈伸展 - 减薄作用^[28]。恶鸡脑正长岩是恩平 - 新丰断裂多期次活动的结果, 在晚侏罗世, 随着挤压造山作用趋于结束, 造山带崩塌岩石圈的伸展和减薄, 形成佛冈晚造山的偏铝质 A 型花岗岩, 其后在早白垩世进一步拉张和裂谷化, 山根消失, 地幔物质上涌, 形成非造山的 A 型花岗岩 (南昆山) 及具有负异常的恶鸡脑碱性正长岩。佛冈造山后偏铝质 A 型花岗岩及与之关系密切的南昆山 A 型花岗岩和恶鸡脑碱性正长岩的初步研究表明, 它们是一组与区域构造演化特点对应的岩浆岩演化系列, 恩平 - 新丰断裂的拉张作用应始于晚侏罗世而在白垩世发生强烈拉张和裂谷化作用。这一构造 - 岩浆组合, 标志着中国东南大陆岩石圈由侏罗世强烈挤压造山作用向大规模拉张伸展构造的发展和演化过程, 为中国东部古生代到中生代地球动力学体制的重大转折和岩石圈减薄提供了有力的岩石学证据。

作者感谢王一先研究员惠允使用其未发表的数据; 黄莹研究员对同位素分析结果进行反复校对, 并对分析方法予以详细说明; 两位审稿专家提出了一些很有意义的修改意见, 在此一并致谢。

参考文献:

- [1] Fitton J G, Upton G J. Introduction [A]. Fitton J G, Upton G J. Alkaline igneous rocks. Geological Society Special Publication No 30 [C]. London: Blackwell Scientific Publications, 1987. ix ~ xiv.
- [2] Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram [J]. J Petrol, 1986, 27: 745 ~ 750.
- [3] Martin H, Bonin B, Dider J, 等. 中国东南部福州花岗岩杂岩的岩石学和地球化学 [J]. 地球化学, 1991, 20(2): 101 ~ 111.
- [4] 周玲健, 赵振华. 我国富碱侵入岩的岩石学和岩石化学特征 [J]. 中国科学 (B 辑), 1994, 24(10): 1 093 ~ 1 101.
- [5] 赵振华, 周玲健. 我国某些富碱侵入岩的稀土元素地球化学 [J]. 中国科学 (B 辑), 1994, 24(10): 1 109 ~ 1 120.
- [6] Martin H, Bonin B, Capdevila R, et al. The Quqi peralkaline granitic complex (SE China): Petrology and geochemistry [J]. J Petrol, 1994, 35(4): 983 ~ 1 015.
- [7] 王德滋, 赵广涛, 邱检生. 中国东部晚中生代 A 型花岗岩的构造制约 [J]. 高校地质学报, 1995, 1(2): 13 ~ 21.
- [8] 邱检生, 王德滋, 曾泽福, 等. 福建沿海铝质 A 型花岗岩的地球化学及岩石成因 [J]. 地球化学, 2000, 29(4): 313 ~ 321.
- [9] 邱检生, 王德滋, McInnes B I A. 浙闽沿海地区 I 型 - A 型复合花岗岩体的地球化学及成因 [J]. 岩石学报, 1999, 15(2): 237 ~ 246.
- [10] 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1988. 505 ~ 509.
- [11] 王取义. 江西安远莲花塘白榴黄长煌斑岩特征 [J]. 江西地质, 1995, 9(4): 286 ~ 291.
- [12] 朱余德, 阮道源. 黄斑黄长煌斑岩的初步研究及地质意义 [J]. 广东地质, 1995, 10(4): 1 ~ 5.
- [13] 周玲健, 赵振华, 周国富. 我国一些碱性岩的同位素年代学研究 [J]. 地球化学, 1996, 25(2): 164 ~ 171.
- [14] 肖振宇, 汪礼明, 杨学明, 等. 广东石岭碱性杂岩的岩石学特征及地质意义 [J]. 矿产与地质, 1998, 12(3): 155 ~ 159.
- [15] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. Geol Soc Am Bull, 1989, 101: 636 ~ 643.
- [16] White J B. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis [J]. Geol Mag, 1969, 106: 370 ~ 384.
- [17] Irvine T W, Barager W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. Can J Earth Sci, 1971, 8: 523 ~ 548.
- [18] 刘颖, 刘海臣, 李献华. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素 [J]. 地球化学, 1996, 25(6): 552 ~ 558.
- [19] Sun S-s. Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1982, 46: 179 ~ 192.

- [20] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies [A]. Henderson P. Rare earth element geochemistry [C]. Amsterdam: Elsevier, 1984. 63 ~ 114.
- [21] 邓晋福, 赵海玲, 莫宜学, 等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 3 ~ 21.
- [22] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *J Petrol*, 1984, 25: 956 ~ 983.
- [23] 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 等. 赣南寨背 A 型花岗岩体的地球化学特征及其构造意义[J]. *岩石学报*, 1998, 14(3): 289 ~ 298.
- [24] 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学[J]. *地球化学*, 1997, 26(2): 14 ~ 31.
- [25] 陈焕章, 廖宗迁, 景学立. 论江绍-武夷-云开古生代地体构造碰撞带[A]. 施央申, 卢华复, 马瑞士, 等. 现代地质学研究论文集(下)[C]. 南京: 南京大学出版社, 1994. 98 ~ 106.
- [26] 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征[J]. *中国科学(D 辑)*, 1998, 28(增刊): 7 ~ 14.
- [27] 范春方, 陈培荣. 赣南陂头 A 型花岗岩的地质地球化学特征及其形成的构造环境[J]. *地球化学*, 2000, 29(4): 358 ~ 366.
- [28] 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征[J]. *科学通报*, 1999, 44(18): 1992 ~ 1998.

Geochemistry of Ejinao alkali syenite and its geodynamic significance

BAO Zhi-wei, ZHAO Zhen-hua, XIONG Xiao-lin

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The Ejinao alkali syenite, Conghua, Guangdong Province, is the only later Mesozoic alkali syenite known in SE China which contains feldspathoid minerals. The alkali syenite contains nepheline, leucite and magmatic sodalite which forming eutectic texture with potash feldspar. The characteristics of trace and rare earth elements of the Ejinao alkali syenite are comparable to those of the Fugang biotite granite, which implies a probable successive petrogenetic evolution. The alkali syenite is enriched in large ion lithophile elements, high field strength elements (i. e., Nb, Zr), and depleted in Sr and Ba. The syenite shows significant negative Eu anomalies. Regarding its Nd isotopic composition, $\varepsilon_{Nd}(t)$ ranges from -0.66 to -1.6, and $t_{2DM} = 0.91 \sim 0.99$ Ga, indicating the alkali syenite should derive mainly from fertilized upper mantle sources and was contaminated by the crustal material (Fugang granites?). The tectonic-magmatic association of the Fugang post-orogenic metaluminous A type granite, Nankunshan anorogenic A type granite, alkali syenite and alkali basalt association emplaced from Jurassic Period to Cretaceous Period within the Enping-Xinfeng fault belt was recognized. This association indicates that the orogenic belt collapsed in later Jurassic Period and the continental root vanished and large-scale extension started from early Cretaceous Period.

Key words: trace element; Sr-Nd isotope; alkali syenite; geodynamics; Guangdong Province