

浙江苍南瑶坑碱性花岗岩的 地球化学及其成因类型*

邱检生^{1,2)} 蟹泽·聪史³⁾ 王德滋²⁾

(1—南京大学成矿作用国家重点实验室, 南京 210093; 2—南京大学地球科学系, 南京 210093;
3—日本东北大学理学院矿物岩石矿床研究所, 仙台 980-8578)

主题词 碱性花岗岩 地球化学特征 后造山 浙江瑶坑

摘要 瑶坑岩体位于浙闽交界的苍南县马站镇北侧, 侵入于早白垩世石帽山群下组地层中。岩石发育典型的文象结构和晶洞构造, 含有特征的钠铁闪石碱性铁镁矿物, 主要矿物组合为石英+ 条纹长石+ 钠铁闪石+ 黑云母+ 萤石、锆石。化学成分上, 该岩体富硅、碱, 贫钙、镁, 分异指数和氧化指数高, 富 Rb、Th、Ga, 贫 Sr、Ba, Ga/Al 比值大, 富轻稀土, Nb、Zr、Hf 等高场强元素含量高, Cr、Co、Ni、V 等过渡族元素显著亏损, 并具有强烈的钕负异常。上述特征与典型碱性花岗岩十分相似。根据对岩石地质地球化学特征的综合分析, 并通过与区内魁歧、桃花岛岩体的广泛对比, 确定瑶坑岩体为浙闽沿海晚中生代岩浆活动带内产出的又一典型的后造山碱性花岗岩。

浙闽沿海 A 型花岗岩带是中国东部晚中生代巨型 A 型花岗岩带的重要组成部分^[1]。该岩带的岩石组合包括晶洞钾长(或碱长)花岗岩及含碱性铁镁矿物的碱性花岗岩, 其中前者是岩带内的主体岩石, 而碱性花岗岩在区内分布较少, 典型实例首推福州魁歧岩体, 已有大量文献论述^[2-3]。此后在浙江青田、舟山桃花岛岩体中相继发现有碱性铁镁矿物, 认为属典型碱性花岗岩^[4-5]。瑶坑岩体位于浙闽交界的苍南县马站镇北侧(图 1), 福建区调队在进行三沙镇幅(1:20 万)地质填图时, 报道该岩体中含有碱性铁镁矿物^①, 但未作系统研究。本文基于详细的矿物学及岩石地球化学工作, 并在与区内福州魁歧、浙江舟山桃花岛岩体广泛对比的基础上, 论证了该岩体是浙闽沿海晚中生代 A 型花岗岩带中发现的又一典型碱性花岗岩。

1 岩石及矿物学特征

瑶坑岩体侵入于早白垩世石帽山群下组地层中, 依据李坤英等测得的该组下段黑云母的 K-Ar 年龄(113.33 ± 1.70Ma) 及全岩 Rb-Sr 等时线年龄(116 ± 6Ma)^[6] 并结合区域地质资料, 推测瑶坑岩体的形成时代可能为晚白垩世。

岩体产状为近等轴状的小岩株(图 1), 地表出露面积约 10km², 其邻近有同岩性的小侵

* 本文为国家自然科学基金资助项目(批准号: 49632080) 成果之一。

第一作者简介 邱检生, 男, 1965 年 11 月生, 博士, 副教授, 从事岩石学及地球化学研究。

收稿日期 1999-11-06, 改回日期 2000-01-07

① 福建地质局区调队, 三沙镇幅区域地质调查报告(1:20 万), 1977。

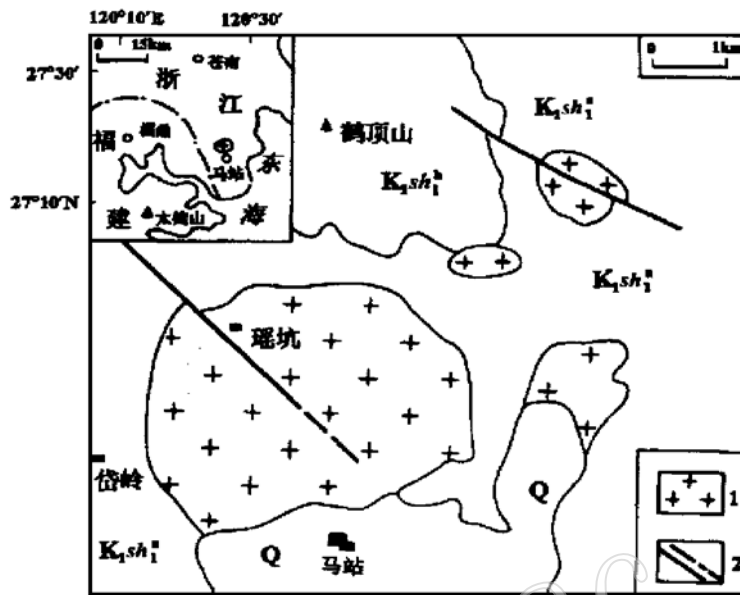


图 1 瑶坑碱性花岗岩体地质略图(据三沙镇幅 1:20 万区域地质图修改)

Fig. 1 Geological sketch map of Yaokeng alkali granite mass

1—碱性花岗岩; 2—实测及推测断裂; $K_1sh_1^a$ —石帽山群下组下段; $K_1sh_1^b$ —石帽山群下组上段; Q—第四系

入体分布,故深部有扩大的可能。

岩体岩性较单一,主要为灰白色含钠铁闪石碱性花岗岩。岩石发育典型的文象结构,并具晶洞构造,表明岩体定位较浅。组成岩石的矿物主要为石英($> 30\%$)和条纹长石($65\% \pm$),此外尚有少量的钠铁闪石($2\% \sim 3\%$)和黑云母(1%)。副矿物主要为萤石、锆石、独居石和钛铁氧化物等。石英多与条纹长石呈文象交生,或呈他形粒状充填于条纹长石之间。条纹长石是岩石中含量最多的造岩矿物,交代条纹发育,呈树枝状、网状沿晶体内部或边缘取代,常见交代净边结构,条纹长石多不同程度泥化。钠铁闪石是岩体中特征的铁镁矿物,呈填隙状分布,结晶明显晚于长英质矿物。其多色性显著: $N_p' =$ 暗绿、深蓝绿, $N_m' =$ 蓝绿, $N_g' =$ 浅黄绿,吸收性强: $N_p' > N_m' > N_g'$,负延性。

表 1 列出了区内钠铁闪石的探针分析结果,按殷俊等^[7]提出的闪石探针数据中 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 的调整方法,以 15eK 为校正参数,对探针成分中的全铁进行了 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 换算,并以 23 个氧原子为单位计算了矿物的化学式组成(表 1)。由表 1 可看出,化学式中 $N_{Ab} > 1.34$, $(Na+K)_A \cdot Fe^{3+} / (Fe^{3+} + Al^{IV})$ 及大多数样品的 $Mg / (Mg + Fe^{2+})$ 值均大于 0.50,参照 Leake^[8] 对角闪石的分类方案,确定其种属主要为镁质钠铁闪石,少数为钠铁闪石。其探针成分的显著特点是富锰、富氟,与魁歧、桃花岛岩体中的钠铁闪石十分相似。由于岩浆体系的 Mn^{2+} / Fe^{2+} 比值及挥发组分含量趋于在岩浆演化晚期增高,上述成分特点同样指示它们为岩浆晚期结晶的产物。

表1 瑶坑碱性花岗岩中碱性角闪石探针成分

Table 1 Electron Microprobe analyses of alkaline amphiboles from Yaokeng alkali granites

样号		YK-5					YK-6					YK-8	
点号		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
SiO ₂		49.82	51.20	51.25	51.10	51.24	51.42	51.22	51.56	52.55	50.07	50.80	51.56
TiO ₂		0.35	0.13	0.14	0.13	0.32	0.53	0.41	0.37	0.40	0.72	0.63	0.26
Al ₂ O ₃		1.37	1.15	1.30	1.55	1.20	1.27	1.36	1.28	1.03	1.27	1.16	1.31
FeO*		25.05	24.08	24.41	24.57	24.94	25.33	25.63	24.81	23.49	23.80	25.32	25.08
MnO		5.40	5.34	4.55	5.39	5.12	5.53	5.35	5.27	4.97	5.20	5.76	5.53
MgO		1.72	2.21	2.13	2.16	1.94	1.43	1.59	1.98	2.78	2.55	1.24	1.18
CaO		0.01	/	/	/	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02
Na ₂ O		10.30	10.23	10.04	9.60	10.09	9.71	9.70	9.96	9.86	10.06	9.80	9.82
K ₂ O		1.49	1.64	1.53	1.54	1.25	1.13	1.33	1.15	1.27	1.11	1.17	1.61
F		2.80	3.20	3.15	2.95	2.87	2.72	2.65	2.86	3.11	3.31	2.85	2.62
总量		98.31	99.18	98.50	98.99	98.98	99.12	99.25	99.25	99.47	98.10	98.78	98.99
T	Si ⁴⁺	7.49	7.65	7.70	7.67	7.64	7.70	7.66	7.67	7.79	7.53	7.65	7.75
	Al ³⁺	0.24	0.20	0.23	0.27	0.21	0.22	0.24	0.22	0.18	0.23	0.21	0.23
	Fe ³⁺	0.27	0.15	0.07	0.06	0.15	0.08	0.10	0.10	0.03	0.24	0.14	0.02
C	Fe ³⁺	2.88	2.86	2.90	2.80	2.97	2.79	2.81	2.90	2.72	2.75	2.84	2.74
	Ti ⁴⁺	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.05	0.04	0.05	0.08	0.07	0.03
	Mg ²⁺	0.39	0.49	0.48	0.48	0.43	0.32	0.36	0.44	0.61	0.57	0.28	0.26
	Fe ²⁺	/	/	0.10	0.22	/	0.31	0.30	0.08	0.17	/	0.20	0.39
	Mn ²⁺	0.69	0.68	0.58	0.69	0.65	0.70	0.68	0.66	0.62	0.66	0.74	0.70
B	Na ⁺	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	K ⁺	1.00	0.96	0.93	0.79	0.92	0.82	0.81	0.87	0.83	0.93	0.86	0.86
A	K ⁺	0.29	0.31	0.29	0.30	0.24	0.22	0.25	0.22	0.24	0.21	0.23	0.31
种属		镁质钠铁闪石											钠铁闪石

FeO* 为全铁, 分子式中离子系数以 23 个氧原子计算, 其中 Fe³⁺ 与 Fe²⁺ 按殷俊等^[7]方法, 以 15eK 为校正参数调整, 数据由日本东北大学理学院矿物岩石矿床研究所电子探针室测定。

2 岩石化学

表 2 列出了瑶坑岩体代表性岩石样品的化学成分、CIPW 标准矿物及主要岩石化学参数, 其化学成分上的特点可归结如下: (1) 富硅, SiO₂ 含量变化于 77.13% ~ 77.82%, 高于 Whalen 等对 A 型花岗岩的统计值(73.81 ± 3.25%)^[9], 且数值变化范围小, 说明岩性相对均匀。岩石的分异指数高, DI 值为 95.5 ~ 98.2, 反映岩体经历了高分度的分异演化作用; (2) 富碱, K₂O + Na₂O = 7.99% ~ 8.48%, 碱性指数(AKI 值)变化于 0.96 ~ 1.02, K₂O > Na₂O, Na₂O/K₂O = 0.80 ~ 1.00; (3) 贫镁, 钙的含量很低, 部分样品的 CaO 含量低于 0.01%; 富铁, 且 Fe₂O₃ > FeO, 氧化指数(W 值)变化于 0.56 ~ 0.96, 显示岩石形成于相对氧化的介质环境; (4) 铝的含量较低, Al₂O₃ = 11.01% ~ 11.47%, 但部分样品的 A/NKC 值偏高, 显然这是由于 CaO 含量很低所致; (5) CIPW 标准矿物计算结果中碱性长石组分(Ab + Or) 占整个长石组分的 98% 以上, 而钙长石分子(An) 很低或为零, 部分样品中出现霓石分子(Ac), 与实际观察结果一致。综上所述, 瑶坑岩体在化学成分上具富硅、富碱、富铁、贫钙、贫镁、贫铝, 高氧化指数特点。这些成分特点均可与典型碱性花岗岩相对比。

表 2 瑶坑碱性花岗岩岩石化学成分(%)、CIPW 标准矿物及主要岩石化学参数
Table 2 Chemical composition, CIPW normative minerals and main petrochemical parameters of Yaokeng alkali granites

样号	YK- 2	YK- 4	YK- 5	YK- 6	YK- 7	YK- 8	7- 8819	7- 6024
SiO ₂	77.60	77.76	77.68	77.50	77.68	77.82	77.59	77.13
TiO ₂	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08	0.10	0.16	0.12
Al ₂ O ₃	11.47	11.38	11.35	11.47	11.25	11.01	11.10	11.35
Fe ₂ O ₃	1.25	1.24	1.16	1.17	1.54	1.34	1.28	1.22
FeO	0.06	0.07	0.23	0.25	0.07	0.16	0.50	0.96
MnO	0.01	0.03	0.08	0.09	0.14	0.11	0.03	0.13
MgO	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.18	0.20	0.10
CaO	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.14	0.24	0.17	0.35
Na ₂ O	3.77	3.64	3.90	3.90	4.05	3.98	3.78	4.23
K ₂ O	4.44	4.56	4.58	4.47	4.23	4.06	4.21	4.25
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.04	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01
灼减	0.63	0.47	0.30	0.33	0.25	0.43	0.28	0.18
总量	99.37	99.30	99.44	99.30	99.48	99.47	99.31	100.03
Q	39.2	39.6	37.8	38.1	38.2	39.2	39.2	35.6
Ab	32.3	31.2	33.1	33.3	34.5	34.0	32.3	34.7
Or	26.6	27.3	27.3	26.7	25.2	24.2	25.1	25.2
An	/	/	/	/	/	0.2	0.8	/
C	0.5	0.5	/	0.2	/	/	/	/
Ac	/	/	0.1	/	/	/	/	1.0
ALK	8.21	8.20	8.48	8.37	8.28	8.04	7.99	8.48
N/K	0.85	0.80	0.85	0.87	0.96	0.98	0.90	1.00
AKI	0.96	0.96	1.00	0.98	1.00	0.99	0.97	1.02
A/NKC	1.04	1.04	1.00	1.02	0.98	0.97	1.00	0.93
W	0.95	0.95	0.83	0.82	0.96	0.89	0.72	0.56
DI	98.0	98.0	98.2	98.1	97.9	97.4	96.7	95.5
R1	2756	2785	2679	2693	2703	2779	2790	2580
R2	225	224	224	226	237	251	246	265

Q—石英; Ab—钠长石; Or—钾长石; An—钙长石; C—刚玉; Ac—霓石。ALK= Na₂O+ K₂O; N/K= Na₂O/K₂O; AKI = (Na₂O+ K₂O)/Al₂O₃(分子比); A/NKC= Al₂O₃/(Na₂O+ K₂O+ CaO)(分子比); W= Fe₂O₃/(Fe₂O₃+ FeO); DI 为分异指数; R1= 4Si- 11(Na+ K)- 2(Fe+ Ti); R2= 6Ca+ 2Mg+ Al。7- 8819 和 7- 6024 二样引自福建区调队(1977)三沙镇幅区调报告(1: 20 万), 其余为本文资料, 由南京大学地球科学系中心实验室用湿法化学法测定。

3 稀土和微量元素地球化学

表 3 列出了瑶坑岩体代表性岩石样品稀土元素测定结果, 其相对于球粒陨石标准化的配分型式如图 2。由表 3 知: 瑶坑碱性花岗岩的 Σ REE 值变化于 $93.29 \times 10^{-6} \sim 179.93 \times 10^{-6}$, 稀土总量较之尼日利亚和挪威奥斯陆等产于典型裂谷环境中的钠闪石花岗岩显著偏低^[10], 反映二者产出的构造环境明显有别。岩石的轻、重稀土分馏较显著, LREE/HREE 比值介于 3.56~ 6.17, 其中轻稀土的分馏程度明显高于重稀土, (La/Sm)_N 和 (Gd/Yb)_N 比值分别变化于 4.97~ 8.25 和 0.28~ 0.70, 并具显著的负铕异常, $\delta E_u = 0.22 \sim 0.25$, 显示岩石经历了强烈的斜长石的分离结晶作用。

微量元素特征上(可参见表 3, 图 3, 图 4), 瑶坑岩体富 Rb、Th, 贫 Sr、Ba, Rb/Sr、Rb/Ba

表 3 瑶坑碱性花岗岩稀土元素及微量元素含量(10^{-6})

Table 3 REE and trace element content of Yaokeng alkali granites (10^{-6})

稀 土 元 素							微 量 元 素						
样号	YK- 2	YK- 4	YK- 5	YK- 6	YK- 7	YK- 8	样号	YK- 2	YK- 4	YK- 5	YK- 6	YK- 7	YK- 8
La	52.51	17.9	38.16	34.23	39.3	35.52	Rb	290	290	313	314	333	351
Ce	63.27	46.3	61.47	54.36	62.29	54.58	Sr	9	5	8	9	14	6
Pr	7.99	2.41	6.39	6.25	6.58	5.98	Ba	73	70	64	57	58	78
Nd	25.6	7.35	20.42	19.99	20.81	19.01	U	6	4	8	11	9	6
Sm	5.06	1.4	4.26	4.45	4.53	4.29	Th	30	30	43	19	38	33
Eu	0.41	0.12	0.34	0.37	0.36	0.34	Nb	48	55	58	71	54	56
Gd	4.98	1.86	4.82	5.57	5.58	5.28	Zr	246	303	338	374	316	401
Tb	0.82	0.4	0.87	1.03	1.07	0.99	Hf	9	11	12	14	11	15
Dy	5.98	3.74	6.8	7.72	8.75	7.56	Ga	24	22	22	22	21	22
Ho	1.39	1.02	1.63	1.78	2.21	1.77	Sc	5	4	3	4	5	5
Er	4.34	3.65	5.2	5.26	7.26	5.49	V	8	3	5	12	10	8
Tm	0.75	0.67	0.92	0.9	1.24	0.96	Cr	9	18	21	27	41	22
Yb	5.89	5.55	7.42	7.08	9.9	7.73	Co	6	4	3	4	5	4
Lu	0.94	0.92	1.23	1.18	1.6	1.31	Ni	3	5	6	6	6	7
Y	47.6	30.07	56.32	58.34	75.83	58.08	Cu	8	19	20	12	25	14
Σ REE	179.93	93.29	159.93	150.17	171.48	150.81	Pb	45	102	28	20	40	34
LR/HR	6.17	4.24	4.54	3.92	3.56	3.85	Zn	191	142	136	156	96	161
(La/Yb) _N	6.39	2.31	3.69	3.47	2.85	3.30	F	305.7	866.6	1179.9	1522.4	1412.0	1382.0
(La/Sm) _N	6.70	8.25	5.78	4.97	5.60	5.35	Rb/Sr	32.22	58.00	39.13	34.89	23.79	58.50
(Gd/Yb) _N	0.70	0.28	0.54	0.65	0.47	0.57	Rb/Ba	3.97	4.14	4.89	5.51	5.74	4.50
δ Eu	0.25	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	Ga/Al $\times 10^4$	3.95	3.65	3.66	3.62	3.53	3.77

稀土元素由南京大学地球科学系中心实验室用 ICP 方法测定; 微量元素中 F 在日本东北大学理学院矿物岩石矿床研究所用选择性离子电极法测定, 其余由南京大学现代分析中心用 XRF 方法测定。

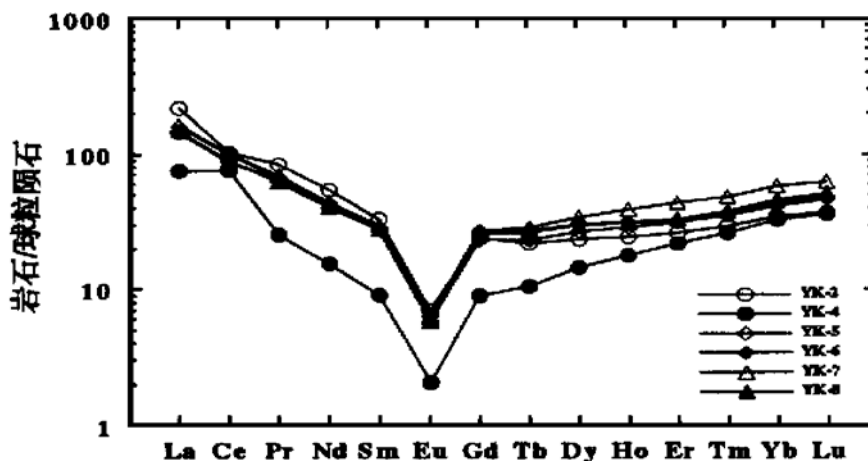


图 2 瑶坑碱性花岗岩稀土元素球粒陨石标准化曲线

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of Yaokeng alkali granites

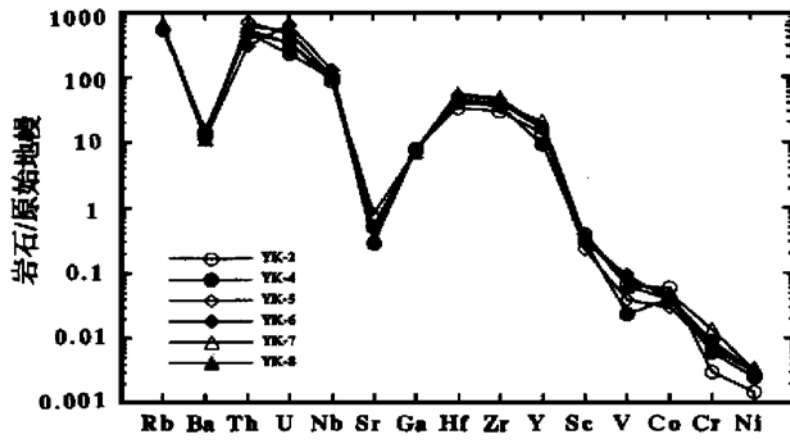


图3 瑶坑碱性花岗岩微量元素原始地幔标准化曲线

Fig. 3 Primitive mantle-normalized patterns of trace element of Yaokeng alkali granites

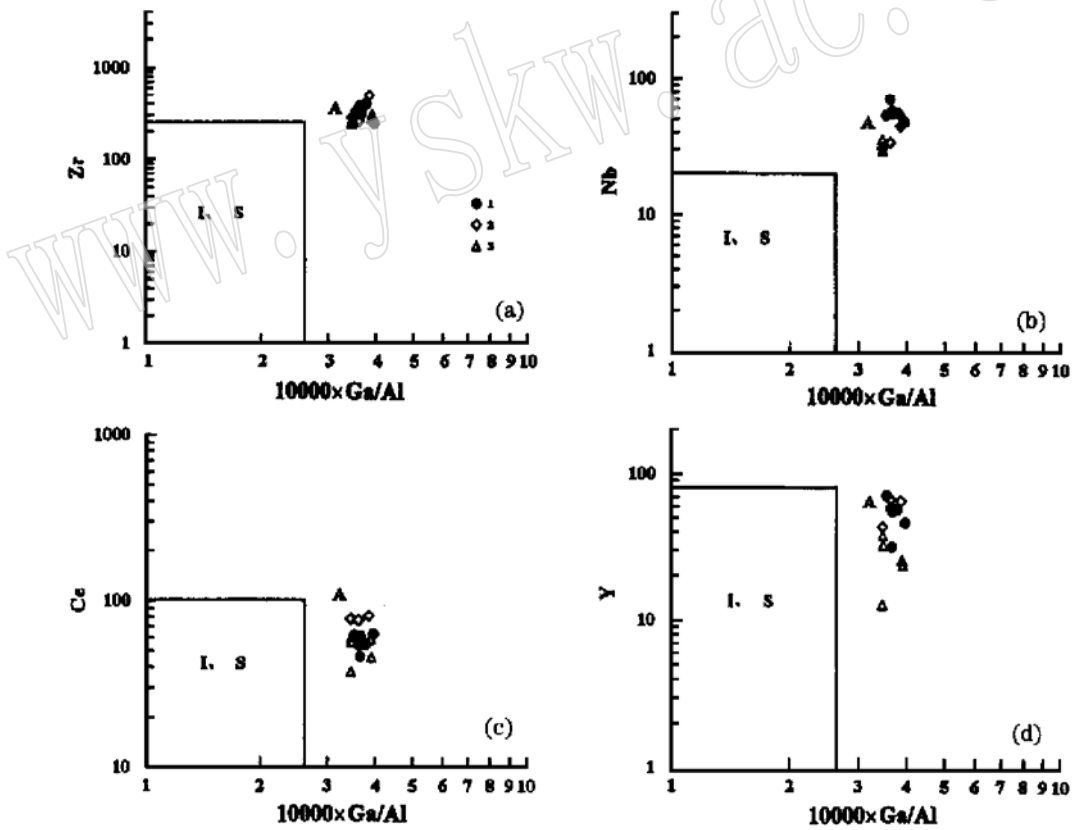


图4 瑶坑碱性花岗岩 Zr、Nb、Ce、Y- $10^4 \times Ga/Al$ 关系图

Fig. 4 Zr, Nb, Ce and Y- $10^4 \times Ga/Al$ diagrams of Yaokeng alkali granites

1—瑶坑; 2—魁歧; 3—桃花岛

底图据文献[9]

比值分别变化于 23.79~ 58.50 和 3.97~ 5.74, 在相对于原始地幔标准化的配分型式上 Sr、Ba 呈明显的“V”型谷。岩石的 Nb、Zr、Hf 等高场强元素的含量高, 富 Ga, $(Ga/Al) \times 10^4$ 值变化于 3.53~ 3.95, 在 Whalen 等^[9]提出的以 Ga/Al 比值为基础的多种判别图上均投影在 A 型花岗岩区。岩体 Cr、Co、Ni、V 等基性场元素显著亏损, F 的含量较高, 但变化幅度较大, 其值介于 305.7×10^{-6} ~ 1522.4×10^{-6} 。由于碱性花岗岩中氟主要赋存于岩浆晚期晶出的碱性角闪石中^[11], 这类矿物含量的多少直接影响到岩石中 F 含量的高低, 统计资料表明, 区内碱性花岗岩的 F 含量与碱性指数(AKI 值)之间存在一定的正相关性。瑶坑岩体稀土元素及微量元素的上述特征与浙闽沿海魁歧、桃花岛等典型碱性花岗岩十分相似^[12]。

4 岩石成因类型归属

自 Loiselle 和 Wones^[13]提出 A 型花岗岩的概念以来, 对这类岩石已进行了广泛而深入的研究, 经过 20 余年的发展, A 型花岗岩这一概念的内涵和外延均发生了不同程度的变化。A 型花岗岩研究的重要进展之一即是认识到其岩石类型、产出构造环境及成因具多样性。目前认为 A 型花岗岩实际上包括了从碱性花岗岩经碱长花岗岩到正长花岗岩, 以及石英正长岩、更长环斑花岗岩(rapakivi)和大洋斜长花岗岩等多种岩石类型^[14], 产出的构造环境也不仅限于板内裂谷环境, 还包括造山晚期、造山期后等多种与俯冲作用有关的构造环境。为此, 对 A 型花岗岩岩石学亚类进行划分显得十分迫切且必要, 并成为 90 年代以来这类岩石研究的热点。不同学者先后提出过不同的划分方案, 如 Eby^[15]区分出 A1 与 A2 两类构造环境和来源不同的 A 型花岗岩, A1 组以其元素比值与洋岛玄武岩相似为特征, 岩浆来源于地幔并产于大陆裂谷或地幔热柱、热点环境; A2 组类似平均地壳及岛弧玄武岩, 岩浆起源于地壳或由岛弧岩浆派生, 产于碰撞后或造山期后的张性构造环境。洪大卫等^[16]也认为, A 型花岗岩至少可分成非造山(AA)和后造山(PA)二类, 并指出拉张规模和深度的不同是产生这两类 A 型花岗岩的重要原因。许保良等^[17]在对国内外 A 型花岗岩资料全面总结的基础上指出, 目前被划归为 A 型花岗岩的岩石至少包括非造山和造山两种环境的 7 种类型(或组合)。瑶坑岩体构造上处于“浙闽型”^[18]活动大陆边缘, 其矿物组合及岩石地球化学特征与典型碱性花岗岩十分相似。在 R1-R2 关系图^[19](图 5)上可看出, 岩石的 R1 值变化于 2580

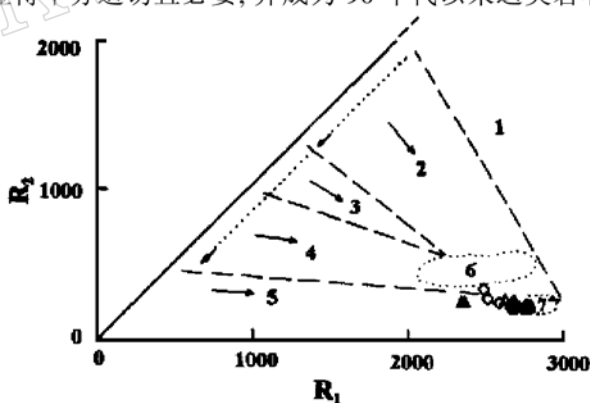


图 5 瑶坑碱性花岗岩 R1-R2 关系图

Fig. 5 R1-R2 diagram of Yaokeng alkali granites

1—地幔斜长花岗岩(拉斑玄武岩质花岗岩)——幔源花岗岩(M 型花岗岩); 2—钙碱性更长花岗岩(消减的活动板块边缘花岗岩)——板块碰撞前消减地区花岗岩(I 型科迪勒拉型花岗岩); 3—高钾钙碱性花岗岩(加里东型深熔花岗岩)——板块碰撞后隆起期花岗岩(I 型加里东花岗岩); 4—二长岩(造山晚期花岗岩—晚造山期花岗岩); 5—7—碱性、强碱性花岗岩(5—非造山区的 A 型花岗岩, 7—造山期后的 A 型花岗岩); 6—地壳熔融的花岗岩(同造山花岗岩)——同碰撞花岗岩(S 型花岗岩)。底图据文献[19], 图例同图 4(a)。

$$R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti), R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$$

~ 2790, R2 值介于 224~ 265, 二者的变化幅度均较小, 投影点落在或靠近造山期后的 A 型花岗岩分布区。洪大卫等指出, 利用 R1 对 Ga/Al 比值图解可以有效地区分非造山和后造山碱性花岗岩^[16]。在 R1- Ga/Al 图解中, 瑶坑岩体的投影点与魁歧、桃花岛岩体一样均落在后造山碱性花岗岩 (PA) 区 (图 6), 据此确定其为典型的产于后造山环境的碱性花岗岩。该岩体成因类型的确定为浙闽沿海燕山晚期拉张构造岩浆活动形成的岩石组合提供了又一新的典型范例, 这对于进一步认识该区晚中生代岩石圈内的岩浆活动特征具有重要的意义。

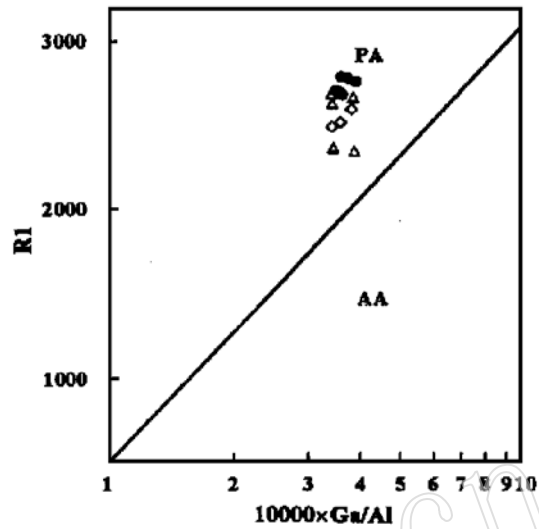


图 6 瑶坑碱性花岗岩 R1- $10^4 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 关系图

Fig. 6 R1- $10^4 \times \text{Ga}/\text{Al}$ diagram of Yaokeng alkali granites

底图据文献[16], 图例同图 4(a)

致谢: 日本学术振兴会 (Japan Society for the Promotion of Science) 为第一作者赴日合作研究提供经费资助, 日本东北大学理学院矿物岩石矿床研究所电子探针室伊藤嘉纪先生协助进行探针成分测定, 谨此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 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. 高校地质学报, 1995, 1(2): 13~ 21.
- 2 王德滋, 彭亚鸣, 袁 朴. 福建魁歧花岗岩的岩石学和地球化学及成因探讨. 地球化学, 1985, (3): 197~ 205.
- 3 Martin H, Bonin B, Capdevila R, *et al.* The Kuiqi peralkaline granitic complex (SE China): petrology and geochemistry. J. Petrol., 1994, 35(4): 983~ 1015.
- 4 彭亚鸣, 董传万. 浙江青田碱性花岗岩研究. 南京大学学报(地球科学), 1991, 3(2): 138~ 147.
- 5 邱检生, 王德滋, 彭亚鸣等. 浙江舟山桃花岛碱性花岗岩的岩石学和地球化学及成因探讨. 南京大学学报(自然科学), 1996, 32(1): 80~ 89.
- 6 李坤英, 沈加林, 王小平. 中国浙闽赣地区中生代陆相火山岩同位素年代学. 地层学杂志, 1989, 13(1): 1~ 13.
- 7 殷 俊, 周国庆. 闪石电子探针数据中 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 的配比. 南京大学学报(地球科学), 1994, 6(2): 176~ 183.
- 8 Leake B E. Nomenclature of amphiboles. Amer. Mineral., 1978, 63: 1023~ 1053.
- 9 Whalen J B, Currie K, Chappell B W. A - type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contrib. Min. Petrol., 1987, 95: 407~ 419.
- 10 Bowden P, Kinnaird J A. The petrology and geochemistry of alkaline granites from Nigeria. Phys. Earth. Planet Int., 1984, 35: 199~ 211.
- 11 Bailey J C. Fluorine in granitic rocks and melts: a review. Chem. Geol., 1977, 19: 1~ 42.
- 12 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. 岩石学报, 1999, 15(2): 237~ 246.
- 13 Loiselle M C, Wones D R. Characteristics and origin of anorogenic granites. Geol. Soc. Amer. Bull. Abstr. Prog., 1979, 11: 486.
- 14 王式尧, 韩宝福, 洪大卫等. 新疆乌伦古河碱性花岗岩的地球化学及其构造意义. 地质科学, 1994, 29(4): 373~

- 383.
- 15 Eby G N. Chemical subdivision of the A- type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 1992, 20: 641 ~ 644.
- 16 洪大卫, 王式洸, 韩宝福等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. *中国科学*, 1995, 24(4): 418~ 426.
- 17 许保良, 阎国翰, 张 臣等. A型花岗岩的岩石学亚类及其物质来源. *地学探索*, 1998, 5(3): 113~ 124.
- 18 王德滋, 杜杨松. 东南沿海地区中生代火山- 侵入杂岩形成的构造背景. *矿物岩石地球化学通讯*, 1990, (3): 186 ~ 188.
- 19 Batchelor R A, Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multication parameters. *Chemical Geology*, 48: 43~ 55.

Geochemical Characteristics and Genetic Type of Yaokeng Alkali Granites in Cangnan County, Zhejiang Province

Qiu Jiansheng^{1,2)}, Kanisawa Satoshi³⁾, Wang Dezi²⁾

(1—State Key Laboratory of Mineral Deposit Research of Nanjing University, Nanjing 210093; 2—Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093; 3—Institute of Mineralogy, Petrology and Economic Geology, Graduate School of Sciences, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan)

Key words: alkali granite; geochemical characteristics; post orogeny; Yaokeng, Zhejiang Province

Abstract

Located at the juncture of Zhejiang and Fujian, the Yaokeng granite mass which intruded into the lower part of Early Cretaceous Shimaoshan Group lies in the northern side of Mazhan town of Cangnan County. This paper has conducted a detailed mineralogical, petrological and geochemical studies on this rock mass and discussed its petrogenetic type. Investigation results show that granites at Yaokeng develop typical micrographic texture and miarolitic structure, and are composed mainly of quartz (> 30%), perthite (65% ±), and minor arfvedsonite (2% ~ 3%) and biotite (1% ±). Accessory minerals in these rocks include fluorite, zircon, allanite and Ti-Fe oxides. Chemically, the Yaokeng granites are rich in silica (SiO₂ = 77.13% ~ 77.82%) and alkali (K₂O + Na₂O = 7.99% ~ 8.48%), with (K₂O + Na₂O) / Al₂O₃ (molecular ratio) values ranging from 0.96 to 1.02. They also have high differentiation indices (DI = 95.5 ~ 98.2) and oxidation ratios [Fe₂O₃ / (Fe₂O₃ + FeO) = 0.56 ~ 0.96]. They are also rich in Rb, Th, Ga, LREE, Nb, Zr, Hf, with (Ga/Al) × 10⁴ values equal to 3.53 ~ 3.95, poor in Sr, Ba, Cr, Co, Ni, V, and show intensive europium depletion (δEu = 0.22 ~ 0.25). These features are quite similar to those of the typical alkali granites. Based on an integrated analysis of the geological and geochemical characteristics of Yaokeng granites, and a systematic comparison of them with Kuiqi and Taohuadiao granites, this paper concludes that the Yaokeng rock mass is also a typical postorogenic alkali granite occurring in late Mesozoic magmatic belt along the coastal area of Zhejiang and Fujian Provinces.