

福建永泰云山碱性流纹岩的厘定 及其地质意义

邱检生^{1,2)} 王德滋²⁾ 周金城²⁾ 王汝成^{1,2)}

1) 南京大学成矿作用国家重点实验室, 210093; 2) 南京大学地球科学系, 210093

内容提要 福建永泰云山破火山石帽山群第三旋回顶部的霏细流纹岩含有霓石、钠铁闪石等碱性铁镁矿物。化学成分富硅、富碱,碱性指数(AKI值)大于0.90, Rb、Th、Nb、Zr、Ga等元素的含量高, Ga/Al值大; 贫钙、镁、铝和过渡族元素, 轻、重稀土比值较小, 并具有显著的负钫异常。在 K_2O-Na_2O 及以Ga/Al值为基础的多种判别图上均投影在A型花岗岩区。上述特征与其邻近的魁岐典型碱性花岗岩相似, 也可与国外有关典型碱性流纹岩相对比, 据此将该层流纹岩厘定为碱性流纹岩。这一流纹岩与魁岐碱性花岗岩均形成于拉张的构造环境, 两者的Nd同位素组成十分接近, $\epsilon_{Nd}(t)$ 值分别为-3.62~-4.29和-3.45~-5.21, 显示它们具有相同的岩浆源区, 均为壳幔混源岩浆作用的产物。

关键词 碱性流纹岩 地球化学 地质意义 永泰云山 福建

燕山运动晚期, 浙闽沿海的构造环境由挤压转向拉张, 与此相应在区内形成一条碱性花岗岩带。前人对这一岩带内的碱性花岗岩进行了卓有成效的研究, 但对区内是否存在有与碱性花岗岩相对应的碱性流纹岩则存在争议。冯宗帜等(1991)首次报道在福建永泰云山破火山机构石帽山群第Ⅲ旋回顶部的流纹岩中发现有钠铁闪石, 认为属典型的碱性流纹岩, 但未进行系统研究。本文基于详细的地质和地球化学特征研究, 并通过与邻近魁岐典型碱性花岗岩及国外有关典型碱性流纹岩的对比, 对这一流纹岩的岩石类型归属进行了系统论证。

1 火山岩产出的地质背景

云山破火山机构位于闽东火山喷发带中段, 永泰火山构造洼地近中央部位, 构造上处于永定—闽江口ENE向断裂带上(图1)。该火山机构呈长椭圆形, 似鞋底状, 长轴ENE向, 环状及放射状断裂发育。其火山口中央为潜火山岩相的石英二长斑岩, 火山口周围为早白垩世石帽山群火山岩。据冯宗帜等(1991)对该区火山岩剖面的实测, 石帽山群可区分为3个沉积—喷发旋回, 相应构成下、中、上3个组。下、中组为沉积岩—基性熔岩—酸性火山岩三元结构的岩石组合, 火山岩为双峰式; 上组为沉积岩—酸性火山岩组合。云山火山机构主要由石帽山群上组火山岩组成, 从火山口中心向外, 其岩相和岩性依次为潜火山相石英二长斑岩—喷溢相霏细流纹岩—火山碎屑流相熔结凝灰岩—喷溢相球粒流纹岩—喷发沉积相凝灰质砂岩、粉砂岩、沉凝灰岩—钾长流纹岩(图1)。碱性流纹岩即位于石帽山群第Ⅲ旋回顶部, 紧邻中心相侵入体分

注: 本文得到高等学校博士学科点专项科研基金及国家自然科学基金(编号49632080)的资助。

本文1999年1月收到, 8月改回, 刘淑春编辑。

布。剖面实测资料表明该层流纹岩厚约 211 m,其 Rb-Sr 等时年龄为 104.1 Ma(冯宗帜等, 1991)。在该火山机构的外围有晶洞碱性花岗岩分布,著名的福州魁岐碱性花岗岩位于其北东约 60 km,它们均处于福安—南靖断裂的东侧,且均明显地受到永定—闽江口断裂的控制,表明区内碱性流纹岩与碱性花岗岩在构造上具紧密联系。

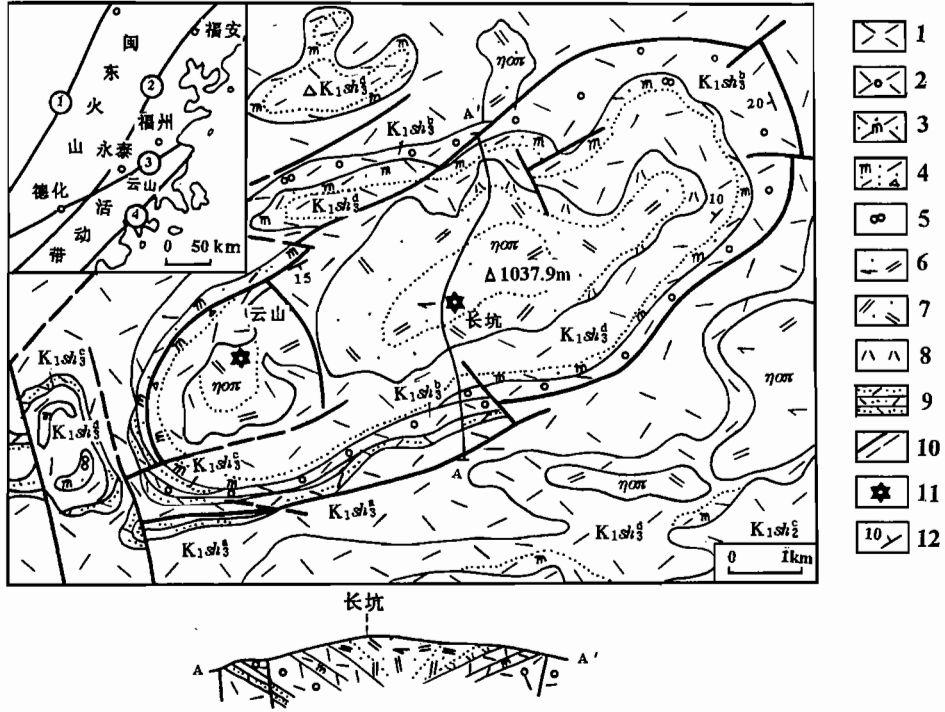


图 1 云山破火山地质略图(据冯宗帜等,1991,修改)

Fig.1 Sketch geological map of the Yunshan caldera (modified after Feng Zongzhi et al., 1991)

$K_1sh_3^d$ —石帽山群上组第四段; $K_1sh_3^c$ —石帽山群上组第三段; $K_1sh_3^b$ —石帽山群上组第二段; $K_1sh_3^a$ —石帽山群上组第一段; $K_1sh_2^c$ —石帽山群中组第三段; $\eta\alpha\alpha$ —石英二长斑岩; 1—钾长流纹岩; 2—球粒流纹岩; 3—熔结凝灰岩; 4—角砾熔结凝灰岩; 5—珍珠岩; 6—辉石石英二长斑岩; 7—角闪石英二长斑岩; 8—石英正长斑岩; 9—凝灰质砂岩、粉砂岩; 10—实测及推测断裂; 11—火山通道; 12—产状; ①—政和—大埔断裂; ②—福安—南靖断裂; ③—永定—闽江口断裂; ④—长乐—南澳断裂

$K_1sh_3^d$ —The forth member of upper formation of Shimaoshan Group; $K_1sh_3^c$ —the third member of upper formation of Shimaoshan Group; $K_1sh_3^b$ —the second member of upper formation of Shimaoshan Group; $K_1sh_3^a$ —the first member of upper formation of Shimaoshan Group; $K_1sh_2^c$ —the third member of middle formation of Shimaoshan Group; $\eta\alpha\alpha$ —beschtauite; 1—K-feldspar rhyolite; 2—pyromeride; 3—ignimbrite; 4—breccia ignimbrite; 5—nacrite; 6—pyroxene beschtauite; 7—hornblende beschtauite; 8—quartz syenite porphyry; 9—tuffaceous siltstone-sandstone; 10—measured or inferred faults; 11—volcanic conduit; 12—occurrence; ①—Zhenghe—Dapu fault; ②—Fuan—Nanjing fault; ③—Yongding—Minjiangkou fault; ④—Changle—Nan'ao fault

2 岩石及矿物学特征

云山碱性流纹岩呈灰紫、浅紫、浅灰,斑状结构,但斑晶数量较少,含量多小于 10%,基质为霏细结构或显微粒状结构。斑晶成分主要为透长石及石英,并可见少量呈聚斑或团粒状产出

表1 云山碱性流纹岩与魁岐碱性花岗岩中霓石的电子探针成分(%)

Table 1 Microprobe compositions (%) of aegirines from alkaline rhyolites in Yunshan and alkaline granites in Kuiqi

产地		云山				魁岐		
赋存岩性		碱性流纹岩				碱性花岗岩		
样号	Ys-6 (4)	Ys-6 (7)	Ys-6 (9)	Ys-7 (4)	Fz-9	Fz-10	Fz-11	
点数	1	1	1	1	6	3	4	
SiO ₂	52.63	52.74	52.12	52.45	52.19	52.79	52.45	
TiO ₂	0.27	0.19	0.25	0.30	0.35	0.99	0.31	
Al ₂ O ₃	0.74	0.86	0.90	1.07	0.38	0.33	0.35	
Fe ₂ O ₃	32.47	31.01	31.51	31.05	32.29	31.27	31.81	
MnO		0.33	0.22	0.24	0.85	0.61	0.88	
MgO		0.01		0.09	0.11		0.08	
CaO	0.42	0.76	0.70	0.49	0.55	0.04	0.43	
Na ₂ O	14.32	14.01	14.34	14.58	14.26	14.78	14.15	
T	Si ⁴⁺	1.98	2.00	1.97	1.97	1.96	1.98	1.98
	Al ³⁺	0.02		0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
	Fe ³⁺					0.02		
M1	Al ³⁺	0.01	0.04	0.01	0.02			
	Ti ⁴⁺	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01
	Fe ³⁺	0.92	0.88	0.90	0.88	0.89	0.88	0.90
	Mg ²⁺				0.01	0.01		0.01
M2	Mn ²⁺		0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03
	Ca ²⁺	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02		0.02
	Na ⁺	1.04	1.03	1.05	1.06	1.04	1.07	1.04
端元组分	WEF	0.81	2.00	1.66	1.50	2.60	0.97	2.40
	Jd	1.32	4.08	1.15	2.06			
	Ac	97.87	93.92	97.19	96.44	97.40	99.03	97.60
种属	霓石	霓石	霓石	霓石	霓石	霓石	霓石	

注: Fe₂O₃ 系根据电子探针分析结果, 采用 Droop(1987)提出的铁镁硅酸盐矿物中 Fe³⁺ 与 Fe²⁺ 调整方法换算值; WEF = Wo + En + Fs (Wo—硅灰石, En—顽火辉石, Fs—正铁辉石), Jd—硬玉, Ac—霓石; 分子式中离子系数以 6 个氧原子计算, 数据由南京大学成矿作用国家重点实验室测定。

显示其 Na₂O 含量高达 14.01%~14.58%(表 1), 利用 Droop(1987)提出的铁镁硅酸盐矿物中 Fe³⁺ 与 Fe²⁺ 调整方法对探针成分中的全铁进行换算表明, 矿物中的铁全为 Fe³⁺, 缺乏 Fe²⁺, 所计算的端元组分中霓石(Ac)分子含量均在 90%以上, 种属均为霓石。其成分总体与魁岐碱性花岗岩中的霓石成分相似, 但 Al₂O₃ 含量略高, 计算的端元组分中有少量硬玉分子(Jd)。另外 MnO 含量也略低, 反映两者的结晶条件有一定的差异。碱性角闪石显微镜下呈绿色, 多色性较特别: Ng = 褐绿, Nm = 蓝绿, Np = 浅蓝、浅灰绿, 吸收性公式: Ng > Nm > Np, 其电子探针成分列于表 2。采用 23 个氧原子计算的矿物化学式表明: Na_B > 1.34, Mg/(Mg + Fe²⁺) < 0.50, Fe³⁺/(Fe³⁺ + Al^{IV}) > 0.50, 参照 Leake(1978)对角闪石的分类方案, 表明种属为钠铁闪石或钠闪石。与魁岐碱性花岗岩中的碱性角闪石相比, 云山碱性流纹岩中的碱性角闪石相对富 TiO₂, 全铁含量较高, 贫 MnO, 此外, Na₂O、K₂O、F 的含量均适度偏低(表 2), 上述成分特征

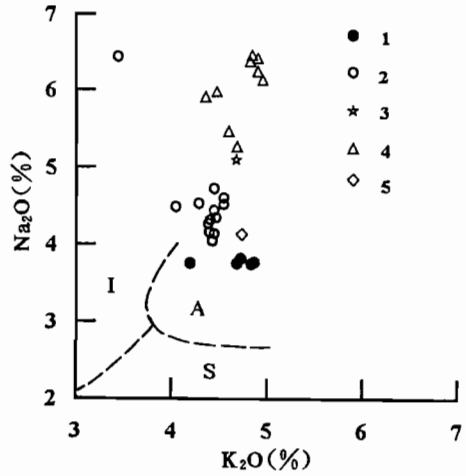


图2 云山碱性流纹岩 K₂O-Na₂O 关系图

Fig. 2 K₂O vs Na₂O diagram of the Yunshan alkaline rhyolites

1—云山碱性流纹岩; 2—魁岐碱性花岗岩; 3—澳大利亚东部第三纪碱性流纹岩平均值; 4—巴布亚新几内亚新生代碱性流纹岩; 5—世界碱性流纹岩平均值; I, S, A 分别代表 I 型、S 型和 A 型花岗岩, 三类花岗岩的分界线据 Collins et al., 1982; 资料来源见表 3
1—Alkaline rhyolites at Yunshan; 2—alkaline granites at Kuiqi; 3—mean value of Tertiary alkalin rhyolites in East Australia; 4—Cenozoic alkaline rhyolites in Papua New Guinea; 5—mean value of alkaline rhyolites for worldwide; I, S, A represent I-type, S-type and A-type granites respectively, the boundaries among the three type granites are drawn according to the data of Collins et al., 1982; Data are listed in Table 3

的碱性辉石和碱性角闪石斑晶。碱性辉石呈墨绿色, 多色性显著, Ng = 浅绿黄、浅绿褐, Nm = 黄绿, Np = 暗褐绿、墨绿, 具强的反吸收性, Np > Nm > Ng。电子探针成分

的差异同样反映两者的结晶条件存在一定差异。

表 2 云山碱性流纹岩与魁岐碱性花岗岩中碱性角闪石电子探针成分(%)

Table 2 Microprobe compositions (%) of alkaline amphiboles from alkaline rhyolites in Yunshan and alkaline granites in Kuiqi

产地	云山									魁岐		
	碱性流纹岩									碱性花岗岩		
赋存岩性	Ys-6(1)	Ys-6(2)	Ys-6(3)	Ys-6(5)	Ys-6(6)	Ys-6(8)	Ys-7(1)	Ys-7(2)	Ys-7(3)	Fz-10	Fz-11	
样号	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	2	
SiO ₂	48.05	49.07	48.09	50.51	50.77	48.34	49.13	47.45	48.01	51.13	51.97	
TiO ₂	2.11	1.55	1.55	1.02	0.61	1.46	1.00	0.94	0.97	0.68	0.65	
Al ₂ O ₃	0.98	0.95	1.17	0.57	0.44	0.95	2.08	2.09	1.71	1.00	0.72	
ΣFeO	32.05	31.34	32.85	33.33	32.89	30.87	28.54	28.88	28.50	22.42	20.99	
MnO	2.52	2.20	2.10	1.08	1.39	3.10	3.37	3.46	3.64	7.23	5.90	
MgO			0.02	0.03	0.03	0.24	2.13	2.39	2.09	2.63	3.46	
CaO	0.97	0.83	0.98	0.18	0.26	0.99	5.32	5.39	4.38	0.21	0.24	
Na ₂ O	8.43	8.44	8.13	8.30	8.06	8.52	5.53	5.95	6.36	10.07	9.63	
K ₂ O	1.04	1.00	1.05	0.68	0.51	0.97	1.05	1.09	1.11	1.50	1.74	
F	0.20	0.27	0.24	0.12	0.06	0.27	0.29	0.25	0.33	0.50	0.49	
总量	96.27	95.54	96.08	95.76	94.97	95.58	98.32	97.78	96.97	97.37	95.79	
T	Si ⁴⁺	7.42	7.61	7.46	7.81	7.90	7.48	7.47	7.22	7.36	7.57	7.80
	Al ³⁺	0.18	0.18	0.21	0.10	0.08	0.17	0.37	0.38	0.31	0.17	0.13
	Fe ³⁺	0.40	0.21	0.33	0.09	0.02	0.35	0.16	0.40	0.33	0.26	0.07
C	Fe ³⁺	2.41	2.34	2.42	2.31	2.29	2.55	1.73	2.11	2.09	2.52	2.52
	Ti ⁴⁺	0.25	0.18	0.18	0.12	0.07	0.17	0.11	0.11	0.11	0.08	0.07
	Mg ²⁺			0.01	0.01	0.01	0.06	0.48	0.54	0.48	0.58	0.77
	Fe ²⁺	1.33	1.49	1.51	1.91	1.98	1.10	1.74	1.16	1.24		0.04
	Mn ²⁺	0.33	0.29	0.28	0.14	0.18	0.41	0.43	0.45	0.47	0.91	0.75
	Ca ²⁺	0.16	0.14	0.16	0.03	0.04	0.16	0.50	0.63	0.61	0.03	0.04
B	Ca ²⁺						0.37	0.24	0.11			
	Na ⁺	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.63	1.76	1.89	2.00	2.00
A	Na ⁺	0.53	0.54	0.45	0.49	0.43	0.56				0.89	0.80
	K ⁺	0.20	0.20	0.21	0.13	0.10	0.19	0.20	0.21	0.22	0.28	0.33
种属	钠铁闪石						铁钠闪石			镁质钠铁闪石		

注:ΣFeO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(1994)方法,以15 eK为校正参数调整;数据由南京大学成矿作用国家重点实验室测定。

3 岩石化学特征

表 3 列出了云山碱性流纹岩的岩石化学成分、CIPW 标准矿物及主要岩石化学参数,为便于对比,表中还列出了中国福建魁岐碱性花岗岩(彭亚鸣等,1984;吴郭泉,1991)、澳大利亚东部及巴布亚新几内亚新生代典型碱性流纹岩(Ewart,1981;Smith et al.,1981)、以及 Nockolds (1954)提出的世界碱性流纹岩平均化学成分及有关参数。由表 3 中可看出,云山碱性流纹岩在化学成分上具以下特征:①富硅,其 SiO₂ 含量平均为 76.66%;D. I. 值较高,变化于 94.30~96.20,反映岩石经历了较强的分异演化作用;②富碱,K₂O+Na₂O = 7.95%~8.62%, Na₂O < K₂O, Na₂O/K₂O 值变化于 0.78~0.90 之间,碱性指数(AKI)大于 0.90;③铝含量较低,Al₂O₃ 为 11.28%~11.90%, A/NKC 值小于 1.10;④铁、镁、钙含量均低,但氧化指数(W 值)较高,变化于 0.72~0.88,这与岩石产于喷出环境,形成于较高氧逸度条件的地质事实相符;

表3 云山碱性流纹岩岩石化学成分、CIPW标准矿物和主要岩石化学参数及其与相关岩石的对比
Table 3 Petrochemical compositions, CIPW-normative minerals and predominant petrochemical parameters of alkaline rhyolites in Yunshan and their comparisons with related rocks

序号	化学成分(%)												总量
	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	烧失	
1	76.74	0.10	11.28	1.69	0.37	0.10	0.02	0.21	3.75	4.82	0.03	0.30	99.31
2	76.62	0.12	11.66	1.49	0.41	0.10	0.08	0.18	3.77	4.85	0.02	0.39	99.69
3	76.48	0.10	11.68	1.42	0.56	0.15	0.12	0.36	3.82	4.71	0.01	0.34	99.75
4	76.75	0.14	11.61	1.57	0.21	0.07	0.10	0.56	3.77	4.18	0.03	0.32	99.31
5	76.70	0.15	11.90	1.33	0.22	0.04	0.15	0.10	3.76	4.67	0.01	0.44	99.87
6	77.23	0.13	11.61	1.11	0.33	0.1	0.05	0.19	4.55	4.34	0.02	0.42	99.97
7	74.28	0.21	12.17	2.37	0.97	0.04	0.04	0.13	5.1	4.67	0.01		99.99
8	70.72	0.3	12.92	1.97	1.96	0.11	0.2	0.36	6.03	4.72	0.03	0.5	99.8
9	74.57	0.17	12.58	1.3	1.02	0.05	0.11	0.61	4.13	4.73	0.07	0.66	100

序号	CIPW标准矿物					主要岩石化学参数							
	Q	Ab	Or	An	Ac	ALK	N/K	AKI	A/NKC	W	D.I.	R1	R2
1	35.4	31.5	28.8		0.5	8.57	0.78	1.01	0.96	0.82	95.80	2590	245
2	34.9	32.2	28.9	0.6		8.62	0.78	0.98	0.99	0.78	96.00	2578	252
3	34.6	32.5	28.0	0.8		8.53	0.81	0.97	0.97	0.72	95.10	2582	274
4	37.0	32.3	25.0	2.4		7.95	0.90	0.92	0.99	0.88	94.30	2746	293
5	36.1	32.2	27.9	0.4		8.43	0.81	0.94	1.04	0.86	96.20	2638	252
6	34.6	35.7	25.8		0.7	8.89	1.05	1.05	0.93	0.77	96.00	2472	251
7	27.7	36.6	27.6		1.6	9.77	1.09	1.10	0.89	0.71	92.00	1952	255
8	20.1	40.5	28.1	1.8	2.0	10.75	1.28	1.16	0.82	0.50	88.70	1354	302
9	30.3	35.2	28.2			8.86	0.87	0.95	0.97	0.56	93.60	2328	317

注:序号1~5为云山碱性流纹岩,其中5号样品引自冯宗帆等(1991),1~4号样品为本文数据,由南京大学地球科学系中心实验室测定;6为魁歧碱性花岗岩(14个样品平均值),除本文测试外,还引自彭亚鸣等,1984;吴郭泉,1991;7为澳大利亚东部第三纪碱性流纹岩(14个样品平均值),引自Ewart,1981;8为巴布亚新几内亚新生代碱性流纹岩(9个样品平均值),引自Smith et al.,1981;9为世界碱性流纹岩平均值,引自Nockolds,1954;Q—石英;Ab—钠长石;Or—钾长石;An—钙长石;Ac—辉石;ALK=K₂O+Na₂O;N/K=Na₂O/K₂O;AKI=(K₂O+Na₂O)/Al₂O₃,分子比;A/NKC=Al₂O₃/(Na₂O+K₂O+Al₂O₃),分子比;W=Fe₂O₃/(Fe₂O₃+FeO);R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti);R2=6Ca+2Mg+Al。

⑤ CIPW标准矿物计算结果中钙长石分子(An)含量很低,碱性长石组分(Ab+Or)占整个长石总量95%以上。与澳大利亚东部及巴布亚新几内亚新生代碱性流纹岩、及世界碱性流纹岩的平均成分相比,云山碱性流纹岩SiO₂含量偏高,但略低于魁歧碱性花岗岩的;其全碱含量、Na₂O/K₂O值及AKI值较之相比较的岩石略低,但在Collins等(1982)提出的K₂O-Na₂O图上均投影在A型花岗岩区(图2),说明这一流纹岩在岩石类型归属上应为碱性流纹岩。

4 稀土元素和微量元素地球化学特征

云山碱性流纹岩的ΣREE值变化于294.70×10⁻⁶~361.25×10⁻⁶,稀土总量与Cullers等(1984)总结的大陆边缘中酸性火山岩相近;轻、重稀土比值较小,LREE/HREE=5.36~6.43,(La/Yb)_N=5.69~8.89,其中轻稀土的分馏程度较之重稀土明显,(La/Sm)_N和(Gd/Yb)_N值分别变化于2.84~3.30和1.42~1.87;铈亏损强烈,δEu=0.08~0.10,反映岩石经历了较强的斜长石分离结晶作用。稀土元素的上述特征与其邻近的魁歧典型碱性花岗岩相似(表4,图3),也可与巴布亚新几内亚新生代典型碱性流纹岩(Smith et al.,1981)相对比。

微量元素特征上,云山碱性流纹岩富Rb、Th等大离子亲石元素和Nb、Zr等高场强元素,

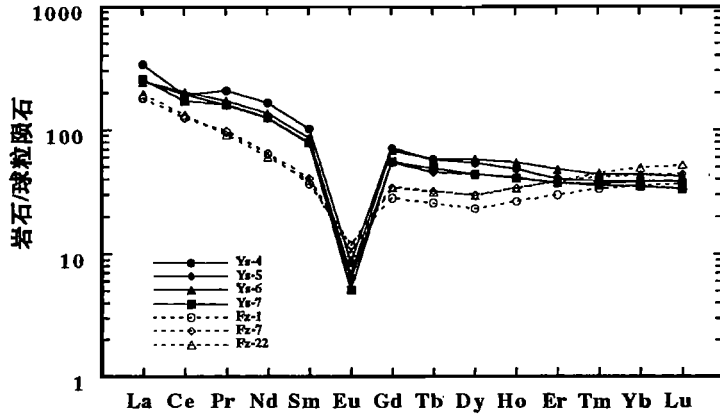


图 3 云山碱性流纹岩与魁岐碱性花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分图
 Fig. 3 Chondrite-normalized REE distribution patterns of Yunshan alkaline rhyolites and Kuiqi alkaline granites

图中样品号同表 4

Sample numbers in the figure the same as that in Table 4

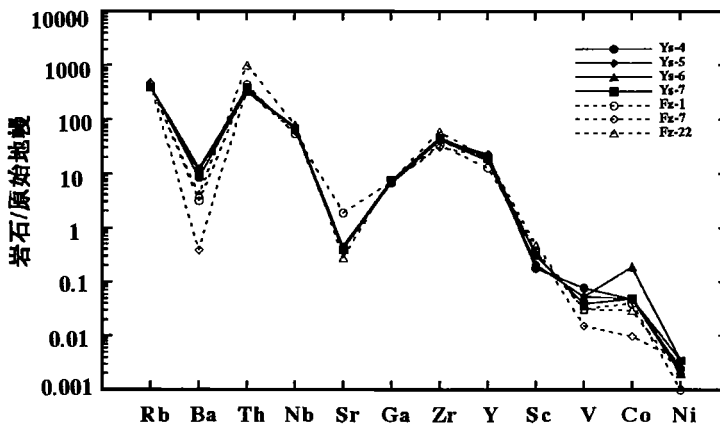


图 4 云山碱性流纹岩与魁岐碱性花岗岩微量元素相对于原始地幔标准化的配分型式
 Fig. 4 Primordial mantle-normalized distribution patterns of trace elements of Yunshan alkaline rhyolites and Kuiqi alkaline granites

图中样品号同表 5

Sample numbers in the figure the same as that in Table 5

其含量相当于原始地幔的数十至数百倍, Ga 含量也较高, Ga/Al 值较大 ($10^4 \times Ga/Al = 3.24 \sim 3.74$), 而 V、Co、Ni 等过渡族元素的含量则明显偏低(表 5)。岩石的 Sr、Ba 含量也较低, 在微量元素相对于原始地幔标准化的配分图上表现出明显的亏损谷(图 4), 其 Rb/Sr 值变化于 27.25~31.57, 同样说明岩石的分异演化程度较高。微量元素的上述特征均可与魁岐典型碱性花岗岩相对比(表 5, 图 4)。在 Whalen 等(1987)以 Ga/Al 值为基础的花岗岩成因类型判别图中, 这一流纹岩与魁岐典型碱性花岗岩及巴布亚新几内亚新生代典型碱性流纹岩均投影在 A 型花岗岩区(图 5), 同样说明该层流纹岩在岩石类型归属上应为碱性流纹岩。

表4 云山碱性流纹岩与魁岐碱性花岗岩
稀土元素含量对比表($\times 10^{-6}$)

Table 4 REE abundances ($\times 10^{-6}$) of alkaline rhyolites in Yunshan and alkaline granites in Kuiqi

产地	云山				魁岐		
	Ys-4	Ys-5	Ys-6	Ys-7	Fz-1	Fz-7	Fz-22
La	80.85	58.78	58.56	61.32	43.00	43.09	46.38
Ce	118.00	119.20	124.70	105.90	77.91	76.86	81.13
Pr	19.89	15.19	16.39	15.28	9.21	9.41	8.80
Nd	77.56	58.50	63.59	59.09	30.10	30.44	28.49
Sm	15.82	12.03	13.31	12.12	5.66	6.27	6.01
Eu	0.50	0.36	0.40	0.30	0.69	0.69	0.60
Gd	14.78	11.22	14.03	11.43	5.83	7.10	7.03
Tb	2.18	1.70	2.16	1.83	0.97	1.21	1.20
Dy	13.77	11.26	14.82	11.14	5.92	7.60	7.54
Ho	2.71	2.34	3.10	2.31	1.51	1.93	1.92
Er	6.69	6.19	7.93	6.22	4.98	6.36	6.31
Tm	0.99	0.94	1.11	0.91	0.86	1.06	1.14
Yb	6.53	6.54	7.39	6.00	6.08	7.39	8.41
Lu	0.98	0.98	1.08	0.85	0.93	1.11	1.32
Y	74.01	63.23	85.90	61.96	44.22	65.53	57.48
Σ REE	361.25	305.23	328.57	294.70	193.65	200.52	206.28
LR/HR	6.43	6.41	5.36	6.24	6.15	4.94	4.92
(La/Yb) _N	8.89	6.45	5.69	7.33	5.07	4.18	3.96
(La/Sm) _N	3.30	3.15	2.84	3.27	4.90	4.44	4.98
(Gd/Yb) _N	1.87	1.42	1.57	1.58	0.79	0.79	0.69
δ Eu	0.10	0.09	0.09	0.08	0.36	0.32	0.28

注:由南京大学地球科学系中心实验室用 ICP 方法测定。

5 地质意义

在浙闽沿海地区,中生代 I 型花岗岩有同源的火山岩相伴生,这早为许多研究实例所证实。但碱性花岗岩是否有同源的碱性流纹岩相伴生,这是该区岩石学研究中长期未解决的问题。前面的论述表明云山破火山机构石帽山群第 III 旋回顶部的霏细流纹岩含有霓石、钠铁闪石等碱性铁镁矿物,化学成分富硅、碱,AKI 值大于 0.90,稀土及微量元素特征与其邻近的魁岐典型碱性花岗岩相似,也可与国外有关典型碱性流纹岩对比,在 K_2O-Na_2O 及以 Ga/Al 值为基

表6 云山碱性流纹岩与魁岐碱性花岗岩 Nd 同位素对比表

Table 6 Nd isotopic compositions of alkaline rhyolites in Yunshan and alkaline granites in Kuiqi

产地	序号	样号	Sm ($\times 10^{-6}$)	Nd ($\times 10^{-6}$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$t(\text{Ma})$	$I_{\text{Nd}}(t)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$
云山	1	Ys-7	12.96	59.57	0.13160	0.512408 \pm 7	104.1 ^①	0.512318	-3.62
	2		1.006	3.983	0.1521	0.512388 \pm 34	104.1 ^①	0.512284	-4.29
魁岐	3	Xkq-2	3.065	15.17	0.1222	0.512416 \pm 9	93.0 ^②	0.512342	-3.45
	4	Fz-22	6.228	22.71	0.1659	0.512352 \pm 8	93.0 ^②	0.512251	-5.21

注:2号样品引自冯宗帜等,1991;其余为本文资料,由中国科学院地质研究所测定;①为全岩 Rb-Sr 等时年龄,引自冯宗帜等,1991;②为全岩 Rb-Sr 等时年龄,引自 Martin et al.,1994。

表5 云山碱性流纹岩与魁岐碱性花岗岩
微量元素对比表($\times 10^{-6}$)

Table 5 Trace element contents ($\times 10^{-6}$) of alkaline rhyolites in Yunshan and alkaline granites in Kuiqi

产地	云山				魁岐		
	Ys-4	Ys-5	Ys-6	Ys-7	Fz-1	Fz-7	Fz-22
Rb	221	218	218	220	243	264	232
Sr	7	7	8	7	34	7	5
Ba	43	64	57	55	16	2	<21
U	4.00	5.00	4.00	5.00	5.02	6.55	12.10
Th	21.00	22.00	22.00	25.00	28.40	22.00	64.50
Nb	40	41	42	38	31	34	45
Ta					2.70	3.11	4.37
Zr	350	351	364	385	281	260	496
Hf	12.00	14.00	13.00	10.00	12.40	11.80	22.20
Ga	20	20	22	23	21	22	23
Sc	2.33	2.80	2.70	4.00	4.89	5.09	6.22
Y	73	60	79	66	44	68	66
V	10	7	7	5	<4	<2	4
Co	5	5	19	5	4	<1	3
Ni	5	4	7	7	2	<7	4
Cu	6	6	7	4	<4	1	<2
Pb	41	64	45	42	76	40	63
Zn	94	100	103	97	136	137	150
K/Rb	180.98	184.61	179.28	157.66	147.52	133.58	140.21
$10^4 \times \text{Ga}/\text{Al}$	3.35	3.24	3.56	3.74	3.40	3.59	3.19
Rb/Sr	31.57	31.14	27.25	31.43	7.15	37.71	46.40
U/Th	0.19	0.23	0.18	0.20	0.18	0.30	0.19
Y/Nb	1.83	1.46	1.88	1.74	1.42	2.00	1.47
Nb/Ta					11.48	10.93	10.30

注:云山样品由南京大学现代分析中心用 XRF 方法测定;魁岐样品由 CSIRO Division of Exploration & Mining, Australia 测定;其中 U、Th、Ta、Hf、Sc 用中子活化方法测定,其余用 X 荧光(XRF)方法测试。

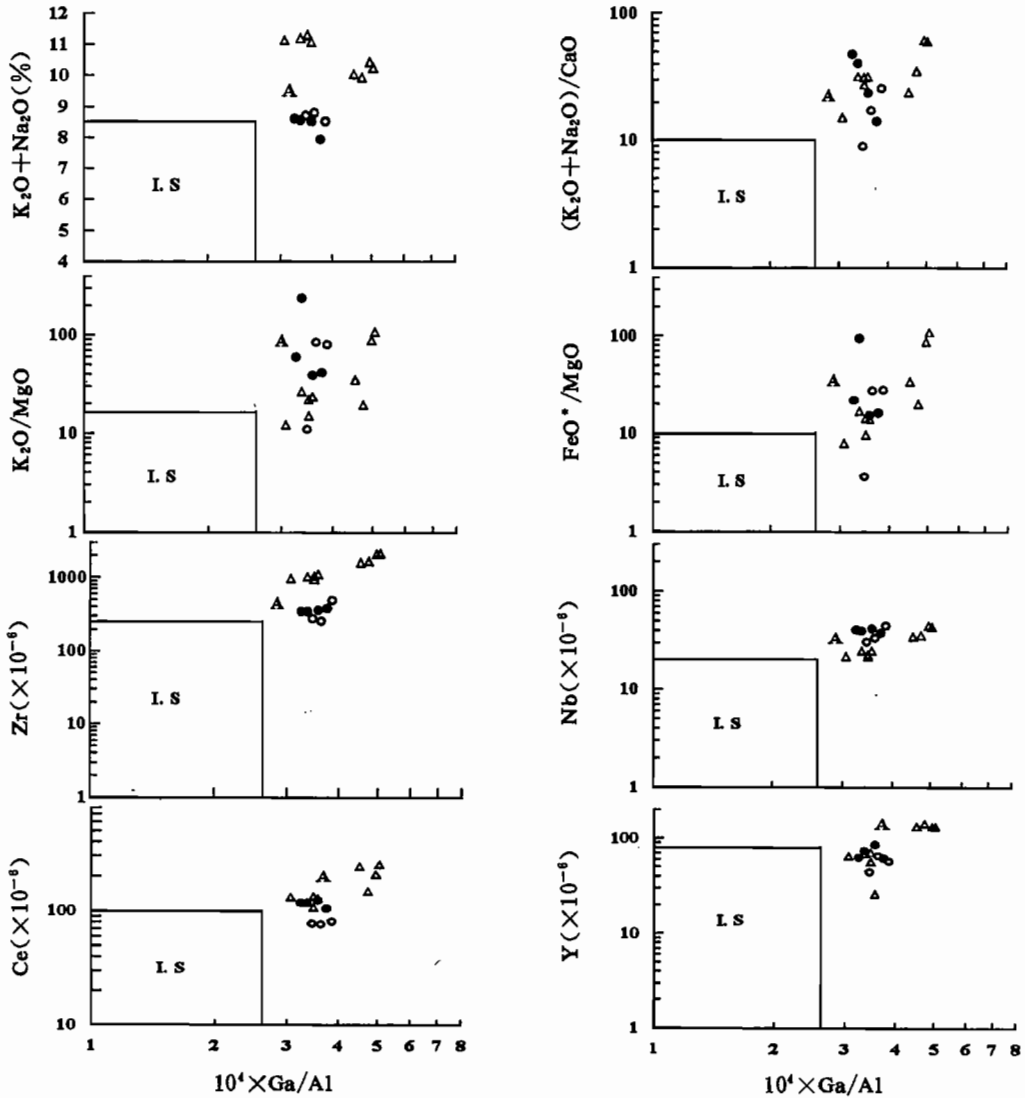


图 5 云山碱性流纹岩 K_2O+Na_2O , $(K_2O+Na_2O)/Ca$, K_2O/MgO , FeO^*/MgO , $Zr, Nb, Ce, Y-10^4 \times Ga/Al$ 关系图

Fig. 5 K_2O+Na_2O , $(K_2O+Na_2O)/CaO$, K_2O/MgO , FeO^*/MgO , Zr, Nb, Ce, Y vs $10^4 \times Ga/Al$ diagrams of Yunshan alkaline rhyolite

图例同图 2, I, S, A 分别代表 I 型、S 型和 A 型花岗岩, 三类花岗岩分界线据 Whalen et al., 1987
Legends are the same as in Fig. 2. I, S, A represent I-type, S-type and A-type granites respectively.

The boundaries among the three type granites are drawn according to the data of Whalen et al., 1987

础的多种判别图上均投影在 A 型花岗岩区, 这些特征充分说明这一流纹岩可归之为碱性流纹岩。从岩石的 Nd 同位素分析资料(表 6)可以看出, 云山碱性流纹岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 $-3.62 \sim -4.29$, 魁歧碱性花岗岩为 $-3.45 \sim -5.21$, 两者的 Nd 同位素组成十分接近, 反映它们具有相同的岩浆源区, 均为壳幔混源岩浆作用的产物。两者的产出构造环境也相同, 在 Pearce 等 (1984) 提出的花岗岩类构造环境判别图上(图 6), 云山碱性流纹岩和魁歧碱性花岗岩均投影在板内花岗岩区, 显示它们均形成于拉张的构造环境。云山石帽山群第 I、II 旋回火山岩为双

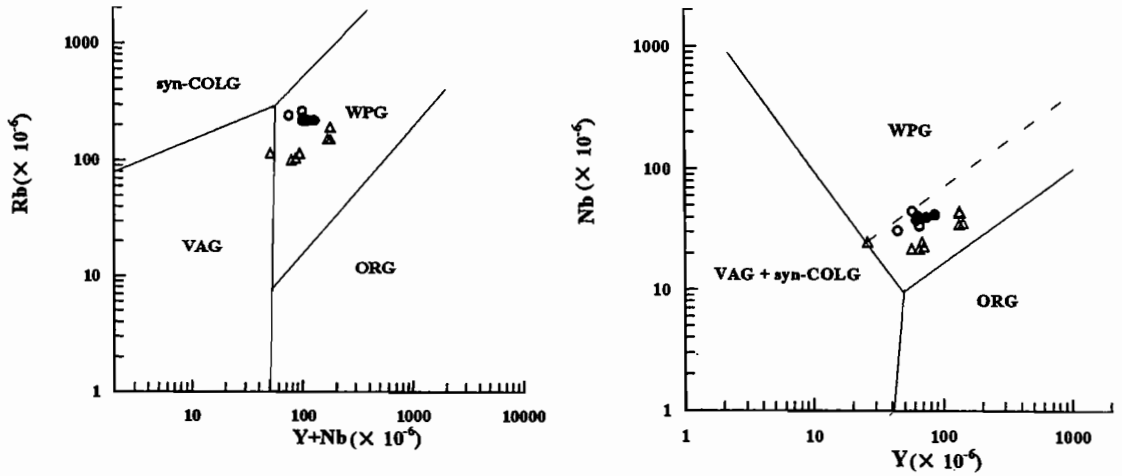


图6 云山碱性流纹岩微量元素构造判别图(据 Pearce et al., 1984)

Fig. 6 Trace element tectonic discrimination diagrams of Yunshan alkaline rhyolites

(after Pearce et al., 1984)

VAG—火山弧花岗岩; ORG—洋脊花岗岩; WPG—板内花岗岩; syn-COLG—同碰撞花岗岩; 图例同图2

VAG—Volcanic arc granites; ORG—ocean ridge granites; WPG—within plate granites;

syn-COLG—syn-collision granites. Legends are the same as in Fig. 2

峰式岩石组合的特点也佐证其产于拉张的构造背景。总之,云山碱性流纹岩的厘定,一方面确证该区中生代晚期存在有与碱性花岗岩相对应的同源碱性流纹岩;另一方面也为该区燕山晚期拉张构造岩浆活动所形成的岩石组合增加了一个新的岩石类型,这对于进一步认识浙闽沿海晚中生代岩石圈内的岩浆活动特征具有重要的意义。

参 考 文 献

- 冯宗帜, 亓润章, 黄水兴等. 1991. 福建永泰—德化地区火山地质及火山岩含矿性. 南京地质矿产研究所所刊, (9): 1~100.
- 彭亚鸣, 袁朴. 1984. 福建魁岐碱性花岗岩特征及其成因类型. 南京大学学报, 20(4): 740~752.
- 吴郭泉. 1991. 福州复式岩体的组成及其演化. 岩石学报, (2): 81~88.
- 殷俊, 周国庆. 1994. 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), 6(2): 176~183.
- Collins W J, Beam S D, White A J R, et al. 1982. Nature and origin of A type granites with particular reference to Southeastern Australia. *Contrib. Min. Petrol.*, 80: 189~200.
- Cullers R L, Graf J L. 1984. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust; intermediate and silicic rocks. In: Henderson P, ed. *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, 275~316.
- Droop G T. 1987. A general equation for estimation concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51: 431~435.
- Ewart A. 1981. The mineralogy and chemistry of the anorogenic Tertiary silicic volcanics of S. E. Queensland and N. E New South Wales, Australia. *J. Geophys. Res.*, 86(B11): 10242~10256.
- Leake B E. 1978. Nomenclature of amphiboles. *Amer. Mineral.*, 63: 1023~1053.
- Martin H, Bonin B, Capdevila R, et al. 1994. The Kuqi peralkaline granitic complex (SE China): petrology and geochemistry. *J. Petrol.*, 35(4): 983~1015.
- Nockolds S R. 1954. Average chemical composition of some igneous rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 65: 1007~1032.
- Pearce J, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25: 956~983.
- Smith I E, Johnson M. 1981. Contrasting rhyolite suites in the late Cenozoic of Papua New Guinea. *J. Geophys. Res.*, 86(B11): 10257~10272.
- Whalen J B, Currie K, Chappell B W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Min. Petrol.*, 95: 407~419.

Ascertainment of the Alkaline Rhyolites at Yunshan Mountain, Yongtai County, Fujian Province and Its Geological Significance

Qiu Jiansheng^{1,2)} Wang Dezi²⁾ Zhou Jincheng²⁾ Wang Rucheng^{1,2)}

1) State Key Laboratory of Mineral Deposit Research of Nanjing University, Nanjing, 210093

2) Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093

Abstract

The Yunshan Mountain located in Yongtai County, Fujian Province is a late-Mesozoic caldera composed of rhyolitic lava, pyroclastic rocks and pyroclastic sedimentary rocks of the third cycle of the Shimaoshan Group. Detailed mineralogical, petrological and geochemical investigations have revealed that the felsitic rhyolites outcropping at the upper part of this cycle contain alkaline mafic minerals, such as aegirine and arfvedsonite. Chemically, they are rich in silica, alkali, with alkaline indexes (i. e. , AKI values) larger than 0.90, and have relatively high contents of Rb, Th, Nb, Zr and Ga as well as high Ga/Al ratios ($10^4 \times \text{Ga}/\text{Al} = 3.24 \sim 3.74$), but poor in calcium, magnesium, aluminum and siderophile elements. They also have low LREE/HREE ratios and display obvious negative europium anomalies ($\delta\text{Eu} = 0.08 \sim 0.10$). On the $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ diagrams and those discrimination diagrams based on Ga/Al ratios, they are all plotted into the A-type granite district. The above features are similar to those of the adjacent typical alkaline granites in Kuiqi, and are also comparable to those of the typical alkaline rhyolites abroad, thus it is concluded that these rhyolites can be ascribed to alkaline rhyolites. Investigation results also show that both the Yunshan alkaline rhyolites and the Kuiqi alkaline granites were all formed in a tensile tectonic environment, and have quite close $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values which range from -3.62 to -4.29 and -3.45 to -5.21 respectively. These data suggest that they have the same magma source, both were originated from a crust-mantle mixing magma. The ascertainment of these alkaline rhyolites first proves that there exist alkaline rhyolites which have the same source with the alkaline granites in the coastal area of Zhejiang and Fujian Provinces. Besides, it also adds a new rock type to the late Yanshanian extensional rock association in this area. Therefore, it has important significance in further understanding the late-Mesozoic lithospheric magmatism in that district.

Key words: alkaline rhyolite; geochemistry; geological significance; Yunshan Mountain; Yongtai County; Fujian Province

作者简介

邱检生,男,1965年生。1986、1989、1992年分别于南京大学地球科学系获学士、硕士、博士学位。现为南京大学地球科学系副教授,主要从事花岗岩、火山岩及其与成矿关系方面的研究。通讯地址:210093,南京大学地球科学系。