

日本西南冲岛新生代过铝质花岗岩类的特征和成因

王德滋 刘昌实 沈渭洲 陈繁荣

(南京大学地球科学系 南京 210008)

諏訪兼位, 黑田隆之助

(名古屋大学地球科学系)

关键词 堇青石 钛铁矿系列花岗岩 Nd-Sr同位素 日本四国冲岛

提要 日本西南冲岛花岗岩类按岩性可划分出两种类型: 谷尻型(Tanijiri type)堇青石-紫苏辉石花岗岩闪长岩和母岛型(Mashima type)电气石-石榴石黑云母花岗岩。两者均以中等过铝质, 高的钛铁矿/磁铁矿比值、高的Rb/Sr比值和中等至强的负锆异常等指示其成因上应归属于钛铁矿系列花岗岩, 与澳大利亚的S型花岗岩有相似之处。谷尻型花岗岩闪长岩的源岩主要为一套中性-中基性变质火山岩和火山沉积岩。由于未经充分的沉积分异, 成熟度低, 含放射成因 ^{87}Sr 较少, 由这种源岩经部分熔融形成的初始岩浆具有较低的 I_s^t 值(0.70765)和较高的 ϵ_{Nd}^t 值(-6.3), 这些又不同于典型的S型花岗岩。根据Rb/Sr模拟计算, 母岛型花岗岩可能是谷尻型花岗岩闪长岩浆经26~65%结晶相分离结晶后的产物。

日本冲岛隶属高知县宿毛市, 它是位于四国西南的一个小岛, 岛南北长6km, 东西宽3km(图1)。1986年10月, 諏訪兼位与王德滋联合考察了岛上出露的新生代花岗岩类。在此以前, 諏訪兼位已对该地的新生代花岗岩类作过多年较详细研究。本文主要根据王德滋从日本冲岛带回的标本经过分析测试并结合野外地质而写成。

一、地质概况

日本冲岛新生代花岗岩类是日本外带新生代花岗岩带的成员之一。四万十层(Shimanto Formation)是岛上出露的唯一地层, 时代属老第三纪, 是一套砂岩与页岩互层岩石, 大体呈东西走向, 向南倾斜, 倾角 15° 。由于受新生代花岗岩类侵入的影响, 普遍产生角岩化。花岗岩类大致划分为两种类型(諏訪兼位, 1967): 一种是谷尻型(Tanijiri Type)花岗岩闪长岩, 分布于岛的东南部(见图1), 以含堇青石和紫苏辉石为特征; 另一类是母岛型(Mashima Type)花岗岩, 分布于岛的西北部, 在岛的西南部边缘仅有零星出露, 以含电气石、石榴石为特征。前者略富镁铁质, 后者略富长英质。谷尻型花岗岩闪长岩侵入于四万十层中, 普遍含有源区带来的紫苏辉石斜长片麻岩深源包体和四万十层角岩捕虏体。母岛型花岗岩侵入于谷尻型花岗岩闪长岩中, 含大量后者的捕虏体, 但不含深源包体。据K-Ar年龄计时, 母岛型花岗岩的同位素年龄为 $15 \pm 2\text{Ma}$, 相当于第三纪中新世。

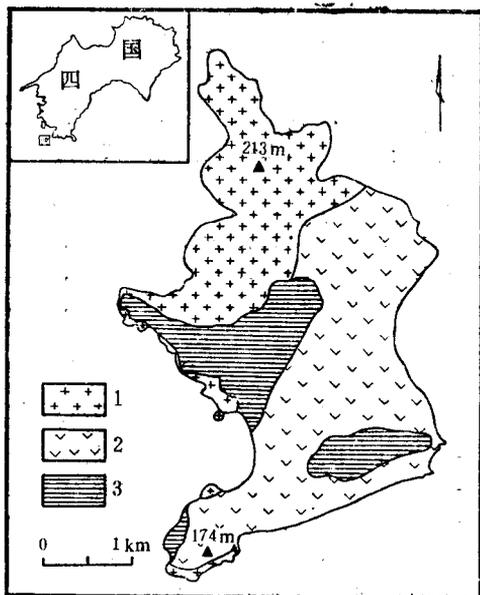


图1 日本高知县宿毛市冲岛地质图

1、母岛型花岗岩； 2、谷尻型花岗闪长岩；
3、四万十层

Fig.1 Geological map of the Okinoshima Island, SW Shikoku, Japan

二、岩石学特征

谷尻型堇青石-紫苏辉石花岗闪长岩为均质岩石，有时具斑状结构。矿物组分在数量上的相对关系为斜长石>石英>黑云母=钾长石>紫苏辉石=堇青石、夕线石。斜长石通常具正常韵律环带，中心核 $An=68$ ，过渡带 $An=51$ ，外部带 $An=27$ ，常见卡钠复合双晶。黑云母为赤褐色，略富钛，折光率 $Ng=1.656$ ， $Nm=Np=1.651$ 。钾长石含量低， $(-)2V=55^\circ$ ，为高正长石，三斜度 $\Delta=0$ 。紫苏辉石 $Ng=1.711$ ， $Nm=1.707$ ， $Np=1.698$ ， $(-)2V=57^\circ$ ，成分为 $Fs_{35}En_{65}$ （諏訪兼位，1967），部分被绿泥石交代。铝硅酸盐的特征矿物为堇青石，其扭曲指数 $\Delta=0.30\pm 0.02$ ，为扭曲或次扭曲的堇青石，有时有双晶，折光率 $Ng=1.551$ ， $Nm=1.547$ ， $Np=1.540$ ， $(-)2V=70\sim 76^\circ$ ，成分中 $Fe/(Fe+Mg)$ 为 $0.30\sim 0.35$ （諏訪兼位，1967）。这与中国广西大容山S型花岗岩

中产出的堇青石成分中 $Fe/(Fe+Mg)=0.3\sim 0.45$ 极为相似。根据堇青石-铁铝榴石 $T-P$ 相图计算，这种成分的堇青石约在 $P=5.5\times 10^8 Pa$ 和 $T=700^\circ C$ 条件下稳定（方清浩等，1982）。中国广西台马岩体亦为堇青石-紫苏辉石花岗岩，可与日本谷尻型花岗闪长岩类比，但较后者略富长英质。据方清浩等（1982）研究，台马岩体为典型的S型花岗岩。含堇青石-紫苏辉石花岗岩在世界上是比较罕见的，其初始岩浆通常是水不饱和的，因为在水饱和情况下，堇青石+水+顽火辉石组合会转变为黑云母+顽火辉石组合。

母岛型电气石-石榴石-黑云母花岗岩的矿物组成在相对数量上为钾长石>石英>斜长石>黑云母>电气石、石榴石。钾长石 $(-)2V=68^\circ$ ，三斜度 $\Delta=0.6$ ，其 Al/Si 有序化程度比谷尻型花岗闪长岩中钾长石的要高，卡氏双晶比较发育，与石英构成文象连生极为普遍。斜长石为更长石，具正常韵律环带，中心核 $An=43$ ，外部带 $An=10$ 。黑云母为暗褐色， $Ng=1.672$ ， $Nm=Np=1.665$ ，折光率高于谷尻型花岗闪长岩中黑云母的值，表明其相对富Fe。电气石具强多色性： No （黄褐色）> Ne （淡褐色）， $Ne=1.641$ ， $No=1.667$ 。铝过饱和特征矿物通常是石榴石而不是堇青石。

三、岩石化学特征

根据王德滋带回的标本在南京大学地球科学系中心实验室所作的硅酸盐全分析结果以及CIPW标准矿物计算结果列于表1。由表1可见，谷尻型和母岛型花岗岩类在化学成分方面具有如下共性：

1. 氧化率OR值很低，为 $0.03\sim 0.06$ （表1），其 Fe_2O_3 含量仅为钙碱性花岗岩平均

表 1 日本西南部冲岛花岗岩类岩石化学成分和标准矿物组合

Table 1 Petrochemical compositions and CIPW mineral assemblages of the granitoids in Okinoshima Island, SW Japan

序号	样品号	岩 性	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	灼量	总和
1	WD861003	谷尻型花岗闪长岩	68.01	0.66	14.78	0.12	4.33	0.08	1.56	2.79	3.53	3.19	0.21	0.46	99.71
2	WD861004-1	母岛型黑云母花岗岩	73.05	0.19	13.18	0.12	2.40	0.04	0.38	1.56	3.53	4.19	0.11	0.75	99.50
3	WD861004-2	母岛型黑云母花岗岩	75.14	0.09	12.52	0.08	1.24	0.03	0.20	0.75	3.35	5.29	0.08	0.27	99.04
4*		紫苏辉石斜长石英片麻岩	59.20	2.63	15.00	0.39	9.63	0.22	3.33	5.80	2.49	0.30	0.56	0.35	99.90

序号	参 数			标 准 矿 物										参 数				
	Na/K	A/NKC	NK/A	Il	Ap	Mt	Or	Ab	An	C	Di	Hy	Q	AR	DI	σ	OR	Il/Mt
1	1.68	1.031	0.627	1.25	0.49	0.17	18.85	29.87	12.47	0.95	—	10.8	24.41	2.24	73.1	1.81	0.03	7.35
2	1.31	1.008	0.777	0.36	0.25	0.17	24.22	29.87	7.02	0.36	—	5.02	31.38	2.84	85.4	1.95	0.05	2.11
3	0.96	0.994	0.898	0.17	0.19	0.12	31.25	38.24	3.20	0.11	—	2.62	33.37	3.04	92.9	2.28	0.06	1.41
4*	12.61	1.002	0.295	4.99	1.30	0.57	1.77	21.07	25.12	1.37	—	21.72	21.64	1.31	44.48	0.48	0.03	8.75

NK/A=(Na+K)/Al, 原子数; A/NKC=Al₂O₃/(Na₂O+K₂O+CaO), 分子数; Na/K, 原子数。

AR为赖特(Wright, 1964)碱度率; DI为分异指数; OR=Fe₂O₃/(Fe₂O₃+FeO), 重量百分比; σ为里特曼指数。4*引自 K.Suwa (1987)。

值0.86% (Nockolds et al., 1954) 的 1/7~1/10。表明这些岩浆均形成于极为还原的环境里。氧逸度通常很低, 与日本钛铁矿系列花岗岩的形成条件 (Ishihara et al., 1977) 相当。

2. 标准矿物Il/Mt比值为1.41~7.35, 高于钙碱性花岗岩平均值0.57(Nockolds et al., 1954) 的 3~13倍。这反映在实际钛铁氧化物组合中, 副矿物钛铁矿的含量高于磁铁矿。

3. 均为过铝质, 谷尻型和母岛型花岗岩类都含有标准矿物刚玉(C), 其量为0.11~0.95%。衡量铝过饱和程度的特征参数A/NKC大于1(1.008~1.031), 相似于澳大利亚的S型花岗岩(Chappell and White, 1984)。

4. 根据刘昌实等(1987)提出的含黑云母标准矿物计算以及钠长石按A. Rittmann(1973)方法分配获得的Q, Kf, Pl的重量百分数投影获得的名称是: 谷尻型花岗闪长岩落入4区(花岗闪长岩, 图2), 母岛型花岗岩落入3b和3a区(二长花岗岩或普通花岗岩)。图2清楚显示, 从源区片麻岩经谷尻型花岗闪长岩到母岛型黑云母花岗岩形成一个明显的演化趋势(Pl逐渐降低, Kf逐渐升高), 表明这三种岩石之间存在着密切的亲缘关系。

5. 在(Na₂O+K₂O)-SiO₂图(图3)中, 冲岛花岗岩的里特曼岩系指数σ值均较低

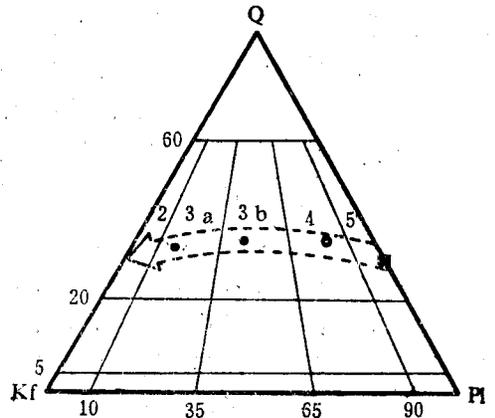


图 2 日本冲岛花岗岩类的Q-Kf-Pl图解
2为碱长花岗岩区; 3a为普通花岗岩区; 3b为二长花岗岩区; 4为花岗闪长岩区; 5为英闪长岩区;
空心圆为谷尻型花岗闪长岩; 实心圆为母岛型花岗岩; 实方块为源区紫苏辉石斜长片麻岩

Fig. 2 Q-Kf-Pl diagram of the granitoids of Okinoshima Island, Japan

(表1)：源区片麻岩 $\sigma = 0.48$ (富钙岩系)，谷尻型花岗闪长岩 $\sigma = 1.8$ (钙性岩系)，母岛型花岗岩 $\sigma = 1.95 \sim 2.28$ (钙碱岩系)，这是环太平洋岩浆作用(钙碱性)的重要特征之一。随着 SiO_2 和 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 的同步增高，从源区片麻岩经谷尻型花岗闪长岩到母岛型花岗岩，它们的投影点呈明显的正相关分布(图3)，其里特曼指数 σ 值从 $0.48 \rightarrow 1.81 \rightarrow 1.95 \rightarrow 2.28$ 呈有规律增大。这与諏訪兼位(1967)所作的冲岛这三种岩石的岩石化学成分之间呈密切正相关是一致的。

四、微量元素特征

1. Rb/Sr 比值可很好地用于区分不同成

因类型花岗岩或指示岩浆分离结晶的程度，同源的晚期晚阶段岩体一般都具有较高的 Rb/Sr 比值。如表2所示，冲岛谷尻型花岗闪长岩的 Rb/Sr = 0.77，而母岛型黑云母花岗岩高达 1.60~9.88，并与分异指数 DI 值(表1)呈明显的正相关。

表2 日本冲岛花岗岩类的稀土元素和微量元素含量 (ppm)

Table 2 REE and trace element concentrations (ppm) of the granitoids of Okinoshima Island, Japan

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
WD861003	31.53	67.66	7.952	28.65	6.459	1.044	6.193	0.941	5.531	1.564	3.295	0.472	3.110	0.472
WD861004-1	33.87	73.51	8.528	30.61	7.155	0.763	6.980	1.055	6.892	1.892	4.175	0.595	3.862	0.556
WD861004-2	12.02	30.74	3.933	14.20	4.891	0.210	5.569	1.063	7.024	1.692	4.437	0.704	4.297	0.614

样品号	Y	Rb	Li	Ba	Be	Sr	Co	Cr	Ni	V	Cu	Pb	Zn
WD861003	28.94	130	52	498	2.0	168	9.7	27.8	14.4	49.2	30.8	14.4	80.0
WD861004-1	36.94	159	44	552	2.3	99	2.6	4.1	3.2	7.4	9.2	15.2	58.6
WD861004-2	39.71	267	114	135	3.2	27	痕	痕	痕	0.8	3.6	15.8	47.6

稀土元素含量由南京大学地球科学系中心实验室分析；微量元素由南京大学现代分析中心等离子光谱实验室分析。

2. Cr, Ni 都是相容元素，在部分熔融或分离结晶过程中，Cr/Ni 比值一般保持不变或变化很小，其值接近于 1.7 (Taylor et al., 1985)。但它们的丰度都随部分熔融或分离结晶而不断降低。冲岛花岗岩类的 Cr, Ni 分布亦显示出这一特征。谷尻型花岗闪长岩的 Cr, Ni 丰度较高，分别为 27.8 和 14.4 ppm，Cr/Ni = 1.93；母岛型黑云母花岗岩的丰度值较低，分别为 4.1 和 3.2 ppm，Cr/Ni = 1.28，在图4中，它们都落在 Cr/Ni = 1.7 的演化线附近。

3. 西南日本外带花岗岩类通常具有 Sn, W, Au, Pb 的成矿专属性，具有较高的 Pb 丰度和 Pb × 1000/K 比值。谷尻型和母岛型花岗岩类也具有较高 Pb × 1000/K 的比值，其值分别为 1.0 和 1.6 (諏訪兼位, 1967)。

4. 谷尻型花岗闪长岩的稀土总量为 193.80 ppm，LREE/HREE = 2.83。稀土配分曲线呈右倾型，具弱负铕异常，Eu/Eu* = 0.54 (图5)。母岛型花岗岩中镁铁质较高的岩石

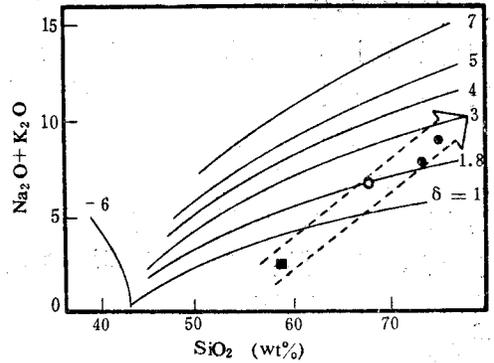


图3 日本冲岛花岗岩类的 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ - SiO_2 图

图例同图2

Fig. 3 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ versus SiO_2 diagram for the granitoids of Okinoshima Island, Japan

(WD861004-1), 稀土总量略升高(217ppm), 铕负异常明显, $Eu/Eu^* = 0.35$, 稀土配分曲线呈略向右倾“V”形(图5)。这表明谷尻型花岗闪长岩浆主要通过斜长石的分离结晶而形成母岛型花岗岩。这是因为除Eu外, 对于其他REE而言, “斜长石/熔体”比值通常都小于1, 即 $Kd_{REE}^{Pl} < 1$, 但 $Kd_{Eu}^{Pl} > 1$, 这就造成残余岩浆中稀土总量升高和负铕异常增强。

母岛型花岗岩中较富长英质的岩石(WD861004-2)与其较富镁铁质的岩石(WD861004-1)相比, 稀土总量(131ppm)显著降低, 铕负异常进一步增强。这表明是斜长石+独居石+褐帘石作为分离结晶相进一步分异, 使晚期长英质组分的稀土总量锐减。这是因为独居石和褐帘石具有很高的Ce含量和Ce/Yb比值, 如独居石的Ce=195000ppm, Yb=540ppm, Ce/Yb=361; 褐帘石的Ce=66560ppm, Yb=17.4ppm, Ce/Yb=3825 (Taylor et al., 1985)。后两种矿物只要有极小数量的分离结晶, 便导致残余熔体的稀土总量急剧减少, 轻稀土相对于重稀土贫化, 残余熔体的LREE/HREE趋于1, 标准化曲线呈“V”形。

五、Nd-Sr同位素特征和熔融模拟

为进一步确定谷尻型花岗闪长岩和母岛型花岗岩的物质来源, 我们又进行了Sm-Nd和Rb-Sr同位素分析。分析结果列于表3。样品的Nd, Sr同位素组成采用 ϵ_{Nd}^t , ϵ_{Sr}^t 表示:

表3 日本冲岛花岗岩类的Sm-Nd和Rb-Sr同位素分析结果

Table 3 Sm-Nd and Rb-Sr isotopic analytic results of the granitoids of Okinoshima Island, Japan

样品号	岩性	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$
WD861003	花岗闪长岩	131.2	174.7	5.795	28.63	2.169	0.70862	0.1224	0.512310
WD861004-1	黑云母花岗岩	157.6	99.8	5.851	28.87	4.563	0.70886	0.1226	0.512275
Yt-005	片麻岩	74.4	347	4.40	21.60	0.620	0.71155	0.1230	0.512221

WD861003和WD861004-1的Nd, Sr同位素数据由中国科学院地质研究所分析, $^{143}Nd/^{144}Nd$ 测定采用 $^{146}Nd/^{144}Nd = 0.7219$ 为标准值; 片麻岩的Nd, Sr同位素数据引自Nohda and Wasserburg(1981)。

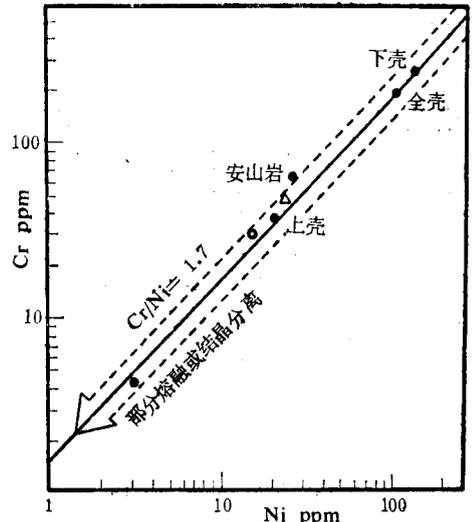


图4 日本冲岛花岗岩类的Cr-Ni图
三角为四十万十层; 其余符号同图2

Fig.4 Cr-Ni diagram of the granitoids of Okinoshima Island, Japan

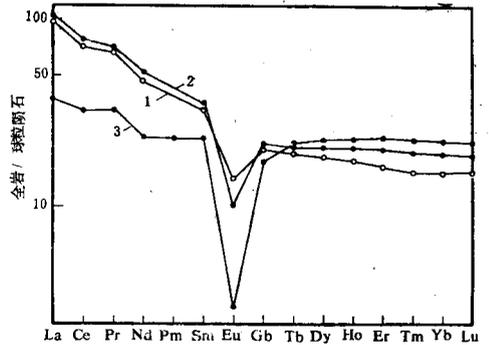


图5 日本冲岛花岗岩类的稀土配分曲线
1. 谷尻型花岗闪长岩; 2、3. 母岛型花岗岩

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of the granitoids of Okinoshima Island, Japan

$$\epsilon_{Nd}^t = \left[\frac{(^{143}Nd/^{144}Nd)_s^t}{(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}^t} - 1 \right] \times 10^4$$

$$\epsilon_{Sr}^t = \left[\frac{(^{87}Sr/^{86}Sr)_s^t}{(^{87}Sr/^{86}Sr)_{UR}^t} - 1 \right] \times 10^4$$

式中： $(^{143}Nd/^{144}Nd)_s^t = (^{143}Nd/^{144}Nd)_s - (^{147}Sm/^{144}Nd)_s(e^{\lambda t} - 1)$
 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}^t = (^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR} - (^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR}(e^{\lambda t} - 1)$
 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_s^t = (^{87}Sr/^{86}Sr)_s - (^{87}Rb/^{86}Sr)_s(e^{\lambda t} - 1)$
 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_{UR}^t = (^{87}Sr/^{86}Sr)_{UR} - (^{87}Rb/^{86}Sr)_{UR}(e^{\lambda t} - 1)$
 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_s$ 、 $(^{147}Sm/^{144}Nd)_s$ 、 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_s$ 和 $(^{87}Rb/^{86}Sr)_s$ 为样品的现今测定值； $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR} = 0.512638$ ， $(^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR} = 0.1967$ ， $(^{87}Sr/^{86}Sr)_{UR} = 0.7045$ ， $(^{87}Rb/^{86}Sr)_{UR} = 0.0816$ (Faure, 1986)； $\lambda_{sm} = 6.54 \times 10^{-12} \text{年}^{-1}$ ， $\lambda_{rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{年}^{-1}$ ； t 为岩石结晶年龄，采用 K-Ar 年龄 15Ma。计算的各种参数值列于表 4。为便于对比，同时列出日本西南部古生代基底片麻岩的数据 (Nohda and Wasserburg, 1981)。

由表 3 和表 4 可知，谷尻型花岗闪长岩和母岛型花岗岩的 Nd-Sr 同位素具有两个明显的特点：①它们具有十分相似的 Nd ($\epsilon_{Nd} = -6.3 \sim -6.9$)、Sr ($\epsilon_{Sr} = 45 \sim 55.6$) 同位素组

表 4 日本冲岛花岗岩类的 Nd-Sr 同位素参数

Table 4 Nd-Sr isotopic parameters of the granitoids of Okinoshima Island, Japan

样品号	岩性	I_{Sr}	I_{Nd}	ϵ_{Sr}^t	ϵ_{Nd}^t	T_{DM}^* , Ma
WD861003	花岗闪长岩	0.70765	0.512298	45.0	-6.3	1403
WD861004-1	黑云母花岗岩	0.70840	0.512263	55.6	-6.9	1463
Yt-005	片麻岩	0.71142	0.512209	98.5	-8.0	1582

$$* T_{DM} = \frac{1}{\lambda_{sm}} \left(1 + \frac{(^{143}Nd/^{144}Nd)_s - (^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM}}{(^{147}Sm/^{144}Nd)_s - (^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}} \right)$$

$(^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM} = 0.2136$ ， $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM} = 0.513151$ (Miller and O'Nions, 1985).

成，说明它们来自共同的岩浆源区。②花岗岩类的 Nd, Sr 同位素组成又相似于片麻岩的组成，尤其是两者的 Nd 模式年龄十分接近，说明花岗岩类的母岩浆可能主要是由片麻岩衍生的。③较晚形成的母岛型花岗岩比较早形成的谷尻型花岗闪长岩具有稍高的 ϵ_{Sr}^t 值和稍低的 ϵ_{Nd}^t 值，这种微小的差异表明，前者可能是后者母岩浆分离结晶的产物。

在 $\epsilon_{Nd}^t - \epsilon_{Sr}^t$ 图上，谷尻型花岗闪长岩和母岛型花岗岩的数据点落在年轻地壳区域内 (图 6)，并靠近全球平均值 ($\epsilon_{Nd} = \epsilon_{Sr} = 0$) 分布，表明其源岩为成熟度低的年轻地壳占优势，被熔融的地层柱主要由变质的中基性火山岩或火山沉积岩组成。这种情况与中国安徽南部某些过铝质花岗闪长岩相似 (周新民等, 1988)。后者主要由相对年轻的蛇绿岩套剖面上基

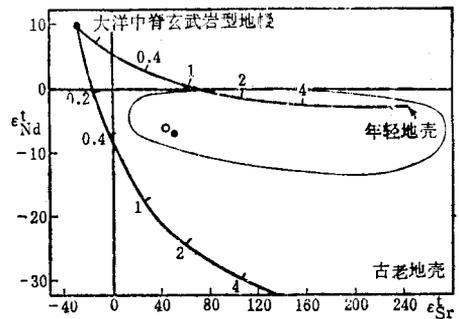


图 6 $\epsilon_{Nd}^t - \epsilon_{Sr}^t$ 图 (据 Allegre and Ben Othman, 1981)

空心圆为谷尻型花岗闪长岩，实心圆为母岛型花岗岩

Fig. 6 $\epsilon_{Nd}^t - \epsilon_{Sr}^t$ diagram (after C.J. Allegre and D. Ben Othman, 1981)

性火山岩和火山沉积岩熔融产生的。因此这些过铝质花岗闪长岩明显不同于造山带内由成熟地壳熔融形成的典型S型花岗岩。前者具有较低的 I_{Sr}^1 (< 0.710) 和较高的 ϵ_{Nd}^1 (> -6.0), 后者具有较高的 I_{Sr}^1 (> 0.710) 和较低的 ϵ_{Nd}^1 (< -8.0)。

谷尻型花岗闪长岩内产有许多紫苏辉石斜长片麻岩的源区包体。諏訪兼位 (1967) 认为, 这些片麻岩便是花岗岩类的源岩。从表 1 所列的数据可知, 除 K_2O 偏低外, 它与紫苏辉石安山岩相似, 这说明推测源区岩石是经受中压中温区域变质的中基性火山岩和火山沉积岩是合理的。根据谷尻型花岗闪长岩的Nd模式年龄 (1403Ma)、成岩年龄 (15Ma) 和 I_{Sr}^1 值 (0.70765), 通过反演可计算出其源岩 (片麻岩) 的 $C_{0(Rb/Sr)} = 0.083$ (取原始地幔的 $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7045$, $^{87}Rb/^{86}Sr = 0.0816$, 转换系数 $K_{Rb/Sr} = 2.8936$), 它明显低于谷尻型花岗闪长岩 $C_{L(Rb/Sr)}$ 的测定值(0.77)。这表明谷尻型花岗闪长岩的初始岩浆是通过源岩的选择性熔融而形成的。按表 1 给出的成分, 以CIPW标准矿物计算方法得出其主要标准矿物组合和量比为 $Or_{0.017}Pl_{0.462}Hy_{0.217}Q_{0.218}$ (下标为矿物的重量分数)。以G.N.Hanson (1978) 给出的中酸性岩石中Rb的分配系数 $Kd_{Rb}^b = 0.0027$, $Kd_{Sr}^b = 0.659$, $Kd_{P}^b = 0.041$, 得Rb的总体分配系数 $D_{Rb} = 0.0307$; Sr的分配系数为 $Kd_{Rb}^s = 0.0085$, $Kd_{Sr}^s = 3.87$, $Kd_{P}^s = 4.4$, 得Sr的总体分配系数 $D_{Sr} = 2.1004$ 。将上述数据代入G.N.Hanson (1978) 给出的实比熔融方程:

$$F(x/y) = \frac{C_{L(x/y)} \cdot D_x - C_{0(x/y)} \cdot D_y}{C_{L(x/y)} \cdot D_x - C_{L(x/y)} - C_{0(x/y)} \cdot D_y + C_{0(x/y)}}$$

计算出熔体重量分数 $F = 0.179$, 即源区紫苏辉石片麻岩17.9%的部分熔融可形成谷尻型花岗闪长岩。

若将谷尻型花岗闪长岩岩浆视为初始岩浆, 其 $C_{0(Rb/Sr)} = 0.77$, 按相当于花岗闪长岩的矿物组合 $Or_{0.1885}Pl_{0.4234}Hy_{0.1080}Q_{0.2441}$ 分离结晶, 分别形成母岛型二长花岗岩和普通花岗岩, 其 $C_{L(Rb/Sr)}$ 分别为 1.66和9.88, 分离晶体相对于 Rb 和 Sr 的总体分配系数 D_{Rb} , D_{Sr} 分别为0.1418 和2.5925。按分离结晶方程 $C_{L(x/y)}/C_{0(x/y)} = F(D^x - D^y)$, 可计算出分离结晶后残余熔体的重量百分数分别为 74% 和 35%。这表明当谷尻型初始岩浆有26%结晶相 (斜长石 + 紫苏辉石 + 钾长石) 分离时形成母岛型的二长花岗岩熔体(WD861004-1), 当65%结晶相分离时便形成母岛型的普通花岗岩溶体 (WD861004-2) (图 7)。

六、小结

1. 日本冲岛新生代花岗岩类按岩性可分为两种类型: 谷尻型堇青石紫苏辉石花岗闪长岩和母岛型电气石石榴石黑云母花岗岩。这两种类型花岗岩均以含铝硅酸盐矿物 (堇青石和

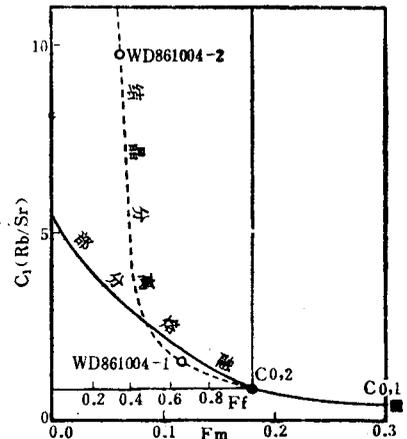


图 7 日本冲岛花岗岩类的成岩模拟
 $C_{0.1}$ 源区岩石; $C_{0.2}$ 谷尻型花岗闪长岩由 $C_{0.1}$ 经17.9%部分熔融形成; 实线为部分熔融曲线; 虚线表示分离结晶曲线; F_m 表示熔体的重量分数; Ff 代表残余熔体的重量分数

Fig.7 Genetic models of the granitoids of Okinoshima Island, Japan

石榴石)、低氧化率(0.03~0.06)、高的Il/Mt比值(1.41~7.35)、大于1的A/NKC值(1.008~1.031)、小的里特曼指数($\sigma = 1.8 \sim 2.28$)、高的Rb/Sr比值(0.77~9.88)、中等至强的铕异常($Eu/Eu^* = 0.54 \sim 0.13$)以及高的Pb \times 1000/K比值(1.0~1.6)等为特征,表明它们在成因类型上应属于钛铁矿系列花岗岩。这些特点与澳大利亚的S型花岗岩和华南的陆壳改造型花岗岩有共同之处。

2. 谷尻型花岗闪长岩的源岩主要是一套经区域变质的中性至中基性火山和火山沉积岩。由于未充分演化,成熟度低,Rb/Sr比值(0.083)低,含放射成因 ^{87}Sr 较少,因而由这种源岩经部分熔融形成的谷尻型初始岩浆具有低的 I_s (0.70765)和较高的 $\epsilon_{\text{Nd}}^1(-6.3)$ 。这些特征又不同于板块内部由成熟度高的沉积岩经部分熔融形成的典型S型花岗岩或陆壳改造型花岗岩。

3. 谷尻型花岗闪长岩内包裹的深源包体以紫苏辉石斜长片麻岩为主,它的化学成分除 K_2O 偏低外,与紫苏辉石安山岩相似,因而可推测源岩是一套变质火山岩和火山沉积岩是合理的。源岩、谷尻型花岗闪长岩和母岛型花岗岩三者之间在一系列岩石化学参数上存在着密切的相关关系,表明它们之间存在亲缘关系。

参 考 文 献

- 刘昌实, 牟惟燕, 辛克礼, 1987, 岩石化学与多元统计, 地质出版社, 北京, 44~55。
- 方清浩, 何绍渊, 韦玉山, 1982, 堇青石-石榴石地质温度-压力计在大容山S型花岗岩中的应用, 桂林冶金地质学院学报, 2, 35~44。
- 周新民, 王德滋, 1988, 皖南低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比的过铝花岗闪长岩及其成因, 岩石学报, 3, 37~45。
- 查佩尔 B.W., 怀特 A.J.R., 1984, 澳大利亚东南部Lachlan褶皱带的I型和S型花岗岩, 花岗岩地质和成矿关系(国际花岗岩学术讨论会论文集), 江苏科学技术出版社, 南京。
- Allegre, C.J., Ben Othman, D., 1980, Nd-Sr isotopic relationship in granitoid rocks and continental crust development: a chemical approach to orogenesis, *Nature*, 286:335~341.
- Faure, G., 1986, Principles of isotope geology, John Wiley and Sons, 217~263.
- Hanson, G.N., 1978, The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38:28~43.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite series granitic rocks, *Min. Geol.*, 27:293~305
- Nockolds, S.R., Alten, R., 1954, Average chemical composition of some igneous rocks, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 65:1007~1037.
- Nohda, S., Wasserburg, G.J., 1981, Nd and Sr isotopic study of volcanic rocks from Japan, *Earth Planet Sci. Lett.*, 52:264~276.
- Miller, R.G., O'Nions, R.K., 1985, Source of Precambrian chemical and clastic sediments, *Nature*, 314: 325~330.
- Rittmann, A., 1973, Stable mineral assemblages of igneous rocks, Springer-Verlag Heidelberg.
- Taylor, S.T., McLennan, S.M., 1985, The continental crust: its composition and evolution, Blackwell Scientific Publications, 57~95.
- 諏訪兼位, 1967, 四国西南端冲岛花岗岩类, 柴田秀贤教授退官纪念论文, 86~93。
- 諏訪兼位, 黑田隆之助, 王德滋, 1986, 高知县宿毛市冲岛花岗岩类的野外关系, *Bull. Nagoya Univ. Museum*, 2, 135~147。

CHARACTERISTICS AND GENESIS OF CENOZOIC PERALUMINOUS GRANITOIDS OF THE OKINOSHIMA ISLAND, SW JAPAN

Wang Dezi, Liu Changshi, Shen Weizhou and Chen Fantong

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210008, China)

K. Suwa and R. Kuwada

(Department of Earth Sciences, School of Science, Nagoya University, Chikusa-Ku, Nagoya 464, Japan)

Key words: Cordierite, Ilmenite series granite, Nd-Sr isotope, Okinoshima Island, Shikoku, Japan

Abstract

Petrologically the granitoids of Okinoshima Island, SW Japan are divided into two types, the Tanijiri type cordierite-hypersthene-biotite granodiorite and the Mashima type tourmaline-garnet-biotite granite. Both of them have middle alumina oversaturation, high ilmenite/magnetite ratio, high Rb/Sr ratio and middle-strong negative Eu anomaly, which indicate that they genetically belong to ilmenite series granite and are similar to S-type granite in Australia. The source rocks of Tanijiri type granodiorite are largely intermediate to intermediate-basic metamorphic volcanic rocks and volcano-sedimentary rocks. Because of insufficient sedimentary differentiation, low maturity and less radiogenic ^{87}Sr , initial magma formed by partial melting of such source rocks is different from that of typical S-type granite expressed in lower I_s^* value (0.70765) and higher ϵ_{Nd}^* value (-6.3). Based on Rb/Sr model calculation, Mashima type granite might be a kind of residual magma after a 26~65% fractional crystallization of Tanijiri type granodioritic magma.