

· 问题讨论 ·

浙江平水群细碧角斑岩形成环境及其物质来源探讨

林 清 龙

(浙江省地矿局区调队)

摘要 平水群细碧角斑岩建造, 出露于江山—绍兴断裂带北东端。通过对该群岩石学、岩石地球化学及同位素地质学的系统研究, 认为细碧角斑岩系来自上地幔的富钠质岩浆, 且以钙碱性系列为主。它生成于晚元古代早期的岛弧环境, 属于古扬子板块东南缘陆壳增生的产物。平水群物质来源和组成为: 上地幔成分占 95.36%, 上、下地壳成分混杂部分占 4.64%。根据 K. C. 康迪 (1973) 计算公式求得当时地壳厚度为 23.2~29 km, 应属于过渡型陆壳性质, 岩浆来源深度大约 97.3 km。此外, 还查明在晚元古代时期, 江山—绍兴断裂带为一条会聚型板块边界, 并非是华南裂谷系的主裂谷槽。

平水群是浙西北最古老基底的地层之一, 出露于江山—绍兴断裂带北东端西北缘的绍兴平水—诸暨一带, 为一套浅变质海相火山岩系, 前人将其归属于中元古界双溪坞群。1987 年以来, 本队在开展 1:5 万平水幅区调工作中, 经系统研究表明, 本区所谓的“双溪坞群”以中基性熔岩 (细碧角斑岩) 为主, 火山碎屑岩次之, 其中夹有鲕状灰岩、碧玉岩等沉积层, 具水下喷发特征, 与建群地点浙江富阳章村地区的陆相钙碱性中酸性火山碎屑岩在沉积环境、岩石建造及岩石学、岩石地球化学等方面均存在明显差异。为此, 根据岩石地层单位的概念, 将平水地区原划为双溪坞群的这套地层易名为“平水群”。

本文从平水群的岩石地球化学及同位素地质学等方面资料, 探讨其形成的大地构造环境及物质来源。

1. 平水群地层层序及时代

平水群细碧角斑岩系有着较发育的喷发旋回性和沉积韵律性特征, 自下而上可划分为四个火山喷发—沉积旋回, 各喷发旋回具有从基性岩浆喷溢→基性—中酸性火山碎屑爆发→喷发沉积交替进行。出露的地层层序如下:

上覆地层: 晚元古界骆家门组 (LPt₃) 凝灰质泥岩与浅灰绿色沉凝灰岩互层

— 角度不整合接触 —

平水群第四火山喷发旋回 (P⁴Pt₃)

16. 糜棱岩化角斑质玻屑凝灰岩

> 657.6 m

15. 灰绿色细碧玢岩

213 m

整合接触

平水群第三火山喷发旋回 (P^3Pt_2)

14. 浅灰色硅质细砂粉砂岩, 含粉砂硅质泥岩, 泥质硅质岩与角斑质含角砾玻屑凝灰岩互层。 >128.3m
13. 浅灰色细碧质含角砾玻屑凝灰岩、细碧质晶屑凝灰岩, 中上部见有石英闪长岩、石英霏细斑岩、霏细岩等侵入。 <67.7m
12. 灰绿色细碧玢岩、上部见细碧玢岩与含钙质粉砂质泥质硅质岩互层, 顶部见有侵入的闪长玢岩。 >211.3m

整合接触

平水群第二火山喷发旋回 (P^2Pt_3)

11. 浅灰绿色角斑质凝灰岩熔岩 102.2m
10. 灰绿色含硅质、泥质粉砂岩, 粉砂质泥岩, 与含砾长石岩屑砂岩互层。 32.9m
9. 浅灰绿色凝灰质岩屑砂岩, 夹角斑质含角砾凝灰质熔岩, 上部见石英霏细斑岩侵入。 >57.5m
8. 浅灰绿色蚀变角斑质角砾凝灰岩熔岩。 88.6m
7. 浅灰—浅灰绿色角斑岩。 61.9m
6. 浅灰色碎裂角斑质含角砾玻屑凝灰岩, 夹压碎沉角砾凝灰岩。 85.5m
5. 压碎蚀变细碧玢岩。 >60m

整合接触

平水群第一火山喷发旋回 (P^1Pt_3)

4. 浅灰色凝灰质砂砾岩, 粉砂质泥岩。 138.1m
3. 灰绿色角斑岩。 83.6m
2. 浅灰绿色角斑质含角砾玻屑凝灰岩。 83.7m
1. 灰绿色压碎的碧玢岩, 夹似层状铁红色碧玉岩。 >116.5m

侵入接触

灰绿色糜棱岩化石英闪长岩 (δO_2^+)

平水群地层总厚度>2188.4m, 其中熔岩类(细碧岩、角斑岩)厚度为704.6m。细碧(玢)岩呈灰绿色具斑状结构, 基质具间隐、间片结构, 矿物成分几乎全为钠—更长石($An=7\sim 20$); 角斑岩呈浅灰—浅灰绿色, 基质具包含微晶、包含霏细及玻晶交织结构等, 矿物成分以钠更长石为主, 钾钠长石及石英少量。

平水群岩石片理化现象普遍, 常见绿泥石、绿帘石、方解石等交代矿物, 但原岩结构构造多有保留, 变质程度甚浅, 仅在江绍断裂带内见有一些呈断续分布、以不规则状产出的钠长黑云绿帘石岩、透闪黑云绿泥绿帘石岩、绿泥片岩及绢云石英片岩等。具低绿片岩相变质特征, 这显然与后期发生的区域动力变质作用有关。

本队在平水群第二旋回角斑岩中所测得全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 890.6 ± 39.2 Ma; 章邦桐等(1990)在西裘、枫林一带第一、二旋回的细碧岩、角斑岩中测得全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 978.4 ± 44.4 Ma; 侵入于平水群之中且与之同源的幔源型西裘石英闪长岩体, 其全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 853~868 Ma (祁峒等, 1984)。以上同位素年龄资料表明平水群细碧角斑岩系形成于晚元古代早期。

表 1 平水群细碧角斑岩类岩石化学成分及特征表
Table 1 Chemical composition and characteristic numerical values of spilite-keratophyre of the Pinghui Group

喷发 旋回	岩 石 名 称	化 学 成 分 %												δ	DI	A·R	图 解 参 数			代 图 号	
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O ⁺	P ₂ O ₅				烧失	Nc'	Ol'		Q'
四	细碧玢岩	51.88	3.66	5.80	18.29	1.02	3.00	4.78	0.19	0.78	5.32	3.28	0.24	3.80	4.2	51.88	1.79	27.05	13.71	24.95	○
	细碧玢岩	52.05	3.63	4.95	18.70	0.88	2.14	4.82	0.15	2.33	4.60	3.36	0.21	4.61	5.3	55.41	2.00	23.28	12.70	22.45	
	细碧岩	47.49	6.05	5.01	17.56	0.88	5.80	5.64	0.28	0.38	4.52	3.54	0.178	5.62	5.3	40.5	1.53	22.96	15.82	16.96	
三	细碧质玻璃凝灰岩	52.83	4.16	5.39	16.81	0.55	4.68	6.98	0.23	0.17	2.88	4.24	0.20	4.19	0.95	37.3	1.33	18.92	14.63	30.88	
	细碧玢岩	47.76	1.95	6.22	16.85	0.56	8.33	5.46	0.26	0.81	2.80	3.80	0.22	8.26	2.74	29.1	1.33	14.15	14.53	14.82	△
	细碧玢岩	53.02	1.91	5.43	16.17	0.54	6.85	4.42	0.14	1.33	2.60	3.62	0.14	6.77	1.54	39.16	1.41	13.21	13.48	21.65	
二	角斑质角砾凝灰熔岩	59.75	3.13	3.86	14.79	0.55	4.97	4.34	0.28	1.20	2.86	2.66	0.15	3.50	0.98	50.63	1.52				
	角斑岩	61.87	3.27	3.19	14.10	0.50	6.39	3.93	0.15	1.28	2.80	1.38	0.15	1.82	0.88	52.77	1.50				
	角斑岩	61.87	2.89	3.47	15.85	0.48	2.84	5.44	0.22	1.44	3.28	2.56	0.17	2.67	1.18	58.02	1.68				
	角斑质玻璃凝灰岩	62.84	3.38	3.49	14.92	0.70	2.15	4.06	0.15	1.34	3.94	2.62	0.24	2.61	1.41	65.63	1.90				
	细碧玢岩	50.28	4.13	4.73	15.35	0.80	8.74	4.64	0.28	0.54	2.82	3.64	0.20	6.86	1.55	35.55	1.32	14.32	9.67	21.28	□
一	细碧玢岩	52.44	1.39	8.78	17.44	0.93	1.50	6.84	0.23	1.38	2.02	5.16	0.34	5.38	1.22	41.82	1.44	10.26	23.15	31.15	
	角斑岩	60.71	2.27	4.60	15.50	0.60	2.44	4.91	0.22	1.28	3.88	2.76	0.25	2.57	1.50	59	1.81				▽
	角斑质含角砾玻璃凝灰岩	61.93	4.72	3.09	15.25	0.80	0.75	4.34	0.32	1.98	2.60	3.00	0.32	3.24	1.11	63.6	1.80				
	角斑岩	65.06	0.60	4.68	15.25	0.68	1.10	3.28	0.22	0.43	5.34	0.46	0.33	2.22	1.51	70.15	2.09				
	角斑岩 ⁽¹⁾	60.56	4.75	3.58	14.73	1.10	4.97	2.66	0.20	1.00	3.52	2.32	0.38	2.25	1.16	56.52	1.60				
	细碧玢岩 ⁽¹⁾	47.42	2.59	8.77	15.69	1.83	4.56	6.18	0.26	1.20	2.91	4.42	0.34	7.00	3.82	34.29	1.51	14.79	20.1	19.13	▼

(1) 为桃红石英闪长岩体中的包体

2. 平水群形成环境分析

近年来,地质界对江绍断裂带的大地构造属性存在着许多不同的观点。如杨森楠等(1989)将其作为元古代的主裂谷带;任纪舜(1989)认为是陆间型的多旋回复合造山带;水涛等(1986)则认为是扬子与华夏两个古板块的碰撞拼合带。因此,对平水群形成构造环境的判别,正确厘定江绍断裂带的大地构造属性具有重要意义。

2.1 岩石化学成分特征

平水群细碧角斑岩系的岩石化学成分见表1。细碧质岩类的 SiO_2 平均为50.58%,一般 Na_2O 大于2.5%、 K_2O 小于1%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 平均为3.42。它与 SiO_2 含量相当的玄武岩相比较,以富钠贫钾、低钙、镁及富含 H_2O^+ 为特征。岩石化学图解表明,细碧质岩类属亚碱性钙碱性玄武岩系列,早期有拉斑玄武岩系列出现。在AFM图上(图1),细碧角斑岩类的岩浆演化趋势与钙碱性系列火山岩相似。一般认为,钙碱性系列火山岩仅出现在岛弧及活动大陆边缘。

细碧角斑岩类的分异指数(DI)集中在30~35间,不具双峰的特征,这与K. C. Condie (1982)等的岛弧及活动大陆边缘火山岩系的分异指数分布范围极其相近。

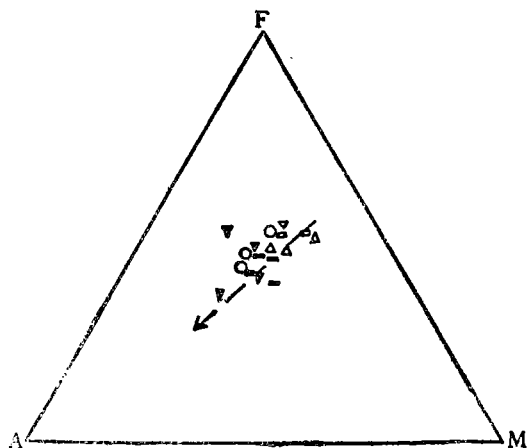


图1 细碧角斑岩AFM图解
Fig. 1. AFM diagram of the spilite-keratophyres.

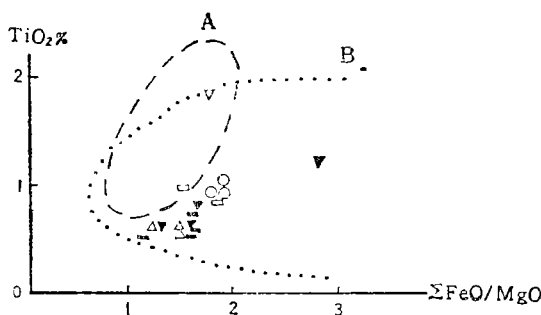


图2 细碧角斑岩 TiO_2 — $\Sigma\text{FeO}/\text{MgO}$ 图解
Fig. 2. TiO_2 — $\Sigma\text{FeO}/\text{MgO}$ diagram of spilite-keratophyres.

A—深海拉斑玄武岩, B—岛弧火山岩 (据 Muher, 1980)

不同构造环境形成的火山岩,其 Na_2O 、 K_2O 含量变化特征明显不同。水平群细碧角斑岩系富 Na_2O 贫 K_2O ,岩浆由早期至晚期 Na_2O 、 K_2O 同时增加,并以 Na_2O 增加速度较快,这一特征明显与岛弧火山岩的 Na_2O 、 K_2O 变化趋势相同。在岛弧及活动大陆边缘火山岩的 TiO_2 含量较低,平水群火山岩系的 TiO_2 集中在0.48~1.10%。 $\Sigma\text{FeO}/\text{MgO}$ 在1~2间。 TiO_2 — $\Sigma\text{FeO}/\text{MgO}$ 图解结果均分布在岛弧火山岩区(图2)。

2.2 微量元素、稀土元素特征

利用微量元素研究火山岩岩石成因及大地构造背景已被广泛应用, Pearce 等学者在这一研究工作中已取得突出成果。表 2 是根据平水群各旋回不同岩类的岩石光谱似定量分析、稀土分析成果, 用厚度加权法求出的 Ti、Zr 等 7 个元素的浓度。在 Pearce 等(1973)的 Ti、Zr、Y、Sr 图上(图 3), 细碧角斑质岩类分布在钙碱性玄武岩区。但平水群火山岩类中的 Ti 浓度远低于大洋拉斑玄武岩, 仍具岛弧火山岩的特征。

表 2 细碧角斑质岩类微量元素含量

单位: 10^{-6}

Table 2 Contents of trace elements in spilite-keratophyres

喷发 旋回	作图号	岩类	样品数	Ti	Zr	Ba	Nb	Cr	Sr	Y
四	7	角斑质岩类	5	5600	118	673	5.08	13.4	89.4	37.53
	6	细碧质岩类	8	5166	107	462.3	4.86	15.6	127.3	25.0
三	5	角斑质岩类	5	3730	128.2	433.4	17	20.5	248.8	
	4	细碧质岩类	11	3252	80.7	290.6	16.5	47.3	299.6	13.11
二	3	角斑质岩类	21	2632	99.3	310.2	17.3	44.5	191.5	15.66
	2	细碧质岩类	1	2150	44	215	19	98	190	14.0
一	1	角斑质岩类	5	2537	70.1	379.2	25.6	71.2	113.5	19.61

注: 元素 Y 为稀土分析成果

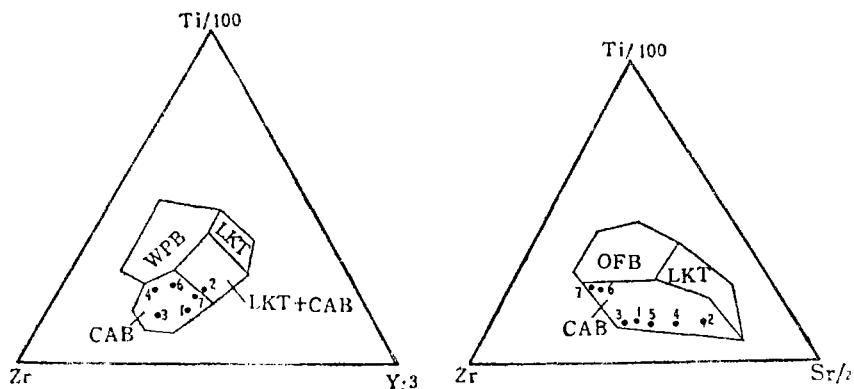


图 3 细碧角斑质岩类 Ti、Zr、Y、Sr 图解

Fig. 3. Ti, Zr, Y and Sr diagram of spilite-keratophyres.

CAB—钙碱性玄武岩 LKT—岛弧拉斑玄武岩 OFB—大洋底部玄武岩 WPB—板块内部玄武岩
(据 Pearce 等, 1973)

平水群各旋回的细碧角斑质岩类的稀土元素特征见表 3。细碧角斑岩类的稀土元素含量较低, La/Sm 值大于 1, 且呈逐渐增大的趋势, 表明轻稀土元素随着岩浆结晶分异的进行而渐趋富集; 变价元素铈呈极弱负异常—弱正异常; La/Yb 值变化在 3.82~10.56, $\Sigma \text{Ce}/\Sigma \text{Y}$ (轻、重稀土元素) 比值在 1.62~3.17, 稀土元素配分曲线呈轻稀土富集型。上述情况与岛弧火山岩的特征较相似。

表 3 各旋回不同岩类稀土元素参数特征表 (平均值)

Table 3 Characteristics of REE parameters of different rock types in various cycles
(mean values)

参 数 岩 类	第一旋回	第二旋回		第三旋回	第四旋回	
	角斑质岩类	细碧质岩类	角斑质岩类	细碧质岩类	细碧质岩类	角斑质岩类
ΣREE	90.99	83.01	108.66	75.29	80.04	179.88
$\Sigma \text{Ce}/\Sigma \text{Y}$	1.90	2.58	3.17	2.68	1.62	2.35
La/Yb	4.13	5.50	5.41	5.77	3.82	10.56
La/Sm	1.47	1.66	2.12	1.69	1.81	3.69
Gd/Yb	1.37	1.51	1.21	1.57	1.18	1.21
δEu	0.96	1.00	0.94	1.03	1.41	1.04

2.3 同位素特征

不同构造环境形成的火山岩, 它们的 ϵNd 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值不同。岛弧火山岩的 $\epsilon \text{Nd}=7-10$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70437$; 平水群第二旋回角斑岩的 $\epsilon \text{Nd}=5.98$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70417$, 两者的 Nd、Sr 同位素组成较相近。此外, 热液型的绍兴西裘铜矿 (含铜、铁硫化物及金等), 产于细碧角斑岩下侵位的幔源型石英闪长岩体的上部边缘, 这一特点是施央申等 (1982) 作为鉴定古海沟岛弧系的重要标志之一。

综上所述, 平水群细碧角斑岩系的岩石地球化学、同位素及有关的矿床分布特征, 均反映它形成于岛弧环境, 是晚元古代早期扬子古板块东南缘龙门山古岛链向大洋增生阶段的产物。

3. 物质来源及深度、地壳厚度探讨

3.1 岩石源区物质组成

利用 Nd、Sr 同位素定量模拟岩石源区的物质组成已被广泛应用。本文拟以平水群第二旋回角斑岩的 Nd、Sr 同位素测定成果 (表 4), 利用三元混合模拟公式, 计算平水群岩石源区的物质组成。

表 6 是根据上地壳、下地壳、地幔端员及平水群角斑岩的 Nd、Sr 同位素参数 (表 5), 计算出 $T=891 \text{ Ma}$ 时各端员组分及平水群岩石源区的 Nd、Sr 同位素组成。计算公式为:

$$I_{\text{Sr}}^{\text{T}} = ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 2.8836 \cdot \text{Rb}/\text{Sr} \cdot (e^{1.42 \times 10^{-5} \cdot T} - 1)$$

$$I_{\text{Nd}}^{\text{T}} = ^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - 0.6215 \cdot \text{Sm}/\text{Nd} \cdot (e^{6.54 \times 10^{-6} \cdot T} - 1)$$

$$\epsilon_{\text{Sr}}^{\text{T}} = [I_{\text{Sr}}^{\text{T}} \div (I_{\text{Sr}}^{\text{T}})^{\text{UR}} - 1] \times 10^4$$

$$\epsilon_{\text{Nd}}^{\text{T}} = [I_{\text{Nd}}^{\text{T}} \div (I_{\text{Nd}}^{\text{T}})^{\text{CHUR}} - 1] \times 10^4$$

将以上计算结果代入黄莹 (1986) 利用 ϵNd 、 ϵSr 计算岩石源区物质组成的三元混合模拟方程式:

$$\begin{cases} \epsilon_{\text{Nd}(M)}^{\text{T}} \cdot f_M + \epsilon_{\text{Nd}(LC)}^{\text{T}} \cdot f_{LC} + \epsilon_{\text{Nd}(UC)}^{\text{T}} \cdot (1 - f_M - f_{LC}) = \epsilon_{\text{Nd}}^{\text{T}} (\text{样}) \\ \epsilon_{\text{Sr}(M)}^{\text{T}} \cdot f_M + \epsilon_{\text{Sr}(LC)}^{\text{T}} \cdot f_{LC} + \epsilon_{\text{Sr}(UC)}^{\text{T}} \cdot (1 - f_M - f_{LC}) = \epsilon_{\text{Sr}}^{\text{T}} (\text{样}) \end{cases}$$

表 4 平水群角斑岩 Nd、Sr 同位素测定成果

Table 4 Nd and Sr isotopic data of keratophyres of the Pingshui Group

样·号	序号	Sm _{10⁻⁶}	Nd _{10⁻⁶}	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	Rb _{10⁻⁶}	Sr _{10⁻⁶}	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
1044-TL ₂	1	4.551	22.211	0.1239	0.512516				
1044-TL ₄	2	4.520	22.344	0.1223	0.512507				
1044-TL ₅	3	4.083	19.882	0.1242	0.512525				
1044-TL ₆	4	4.138	20.192	0.1239	0.152517	22.398	632.16	0.10211	0.70417
1044-TL ₉	5	4.682	20.374	0.1390	0.152606				

样品由宜昌地质研究所测试 T = 891Ma εNd = 6

表 5 平水群角斑岩及上壳、下壳、地幔端员组分的Nd、Sr同位素参数

Table 5 Nd and Sr isotopic parameters of the end members of keratophyres of the Pingshui Group and upper crust, lower crust and mantle

参 数	上部地壳 (uc)	上部地壳 (LC)	地 幔 (M)	CHuR 或 UR	平 水 群
Nd _{10⁻⁶}	31	40	18		21.00
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512120	0.510710	0.513000	0.512638	0.512534
Sm _{10⁻⁶}	6.2	3.0	5.7		4.39
Sm/Nd	0.2000	0.075	0.316	0.1967(¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd)	0.209
Sr _{10⁻⁶}	350	425	380		632.16
Rb _{10⁻⁶}	110	20	9.5		22.398
Rb/Sr	0.314	0.047	0.025	0.0827(⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr)	0.0354
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.7338	0.7059	0.7036	0.7045	0.70417

表 6 上壳、下壳、地幔与平水群岩石源区的Nd、Sr同位素组成 (T = 891 Ma)

Table 6 Nd and Sr isotopic composition of the provenance of the Pingshui Group and upper crust and lower crust and mantle (T = 891 Ma)

	UR 或 CHUR	UC	Lc	M	岩石源区
I ^T Sr	0.70345	0.72222	0.70416	0.70268	0.70287
I ^T Nd	0.511488	0.511394	0.510438	0.511852	0.511794
ε ^T Sr	0	266.83	10.09	-10.95	-8.25
ε ^T Nd	0	-1.84	-20.53	7.11	5.98

求出:

$$\begin{cases} f_M = 95.36\% \text{ (上地幔组分)} \\ f_{LC} = 4.0\% \text{ (下地壳组分)} \\ f_{UC} = 0.64\% \text{ (上地壳组分)} \end{cases}$$

三元混合模拟结果表明,组成平水群岩石源区的物质主要源自于上地幔,地壳物质组分仅占 4.64%。

3.2 岩浆来源深度与地壳厚度的估算

钙碱性系列火山岩的物质来源与贝尼奥夫带有关,而岩石中的 K_2O 含量与岩浆来源深度,亦就是距贝尼奥夫带的深度密切相关。K. C. 康迪认为,在一定的深度范围内,以岩石中的 $SiO_2 = 60\%$ 的固定条件下, K_2O 含量与岩浆来源深度 (Sz) 及地壳厚度 (C) 的线性关系为:

$$Sz = 89.3 \cdot K_2O - 14.3 \text{ (km)}$$

$$C = 18.2 \cdot K_2O + 0.45 \text{ (km)}$$

据平水群钙碱性系列火山岩的 K_2O 与 SiO_2 的变化特征,经坐标投影求出当 $SiO_2 = 60\%$ 时, K_2O 含量为 1.25%。将此值代入康迪计算式,求得: $Sz = 97.3 \text{ km}$, $C = 23.2 \text{ km}$ 。对岛弧安山岩来说,钙碱性系列火山岩中的 Rb、Sr 浓度最能准确地反映大陆地壳厚度 (据 K. C. 康迪, 1973)。平水群角斑岩中的 $Rb = 22.398 \times 10^{-6}$, $Sr = 632.16 \times 10^{-6}$, 在图 4 中得出当时的地壳厚度约为 29 km。

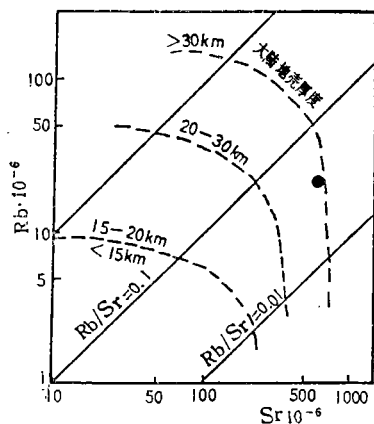


图 4 Rb、Sr 浓度与地壳厚度关系图 (Condie, 1973)

Fig. 4. The relation of the Rb and Sr concentrations with crustal thickness

4. 结论

平水群细碧角斑岩系的岩石地球化学,同位素组成特征等方面的研究结果表明:

4.1 平水群细碧角斑岩系属钙碱性系列火山岩,是晚元古代早期于岛弧环境下,由源于上地幔的富钠岩浆在水下喷发冷凝而形成的,是该时期扬子古板块东南缘陆壳向大洋增生

4.2 岩石源区的物质组分主要由上地幔物质组成, 约为 95.36%, 地壳物质混染成分约占 4.64%; 岩浆来源深度大约 97.3 km; 当时地壳厚度在 23.2~29 km, 属过渡型地壳, 表明岛弧已较成熟。

4.3 在江绍断裂带内及边缘, 平水群岩石具有区域动力变质作用形成的低绿片岩相特征, 当远离江绍断裂带则变质程度降低, 岩石仅发生片理化及矿物蚀变交代现象。而在江绍断裂带南东侧的早一中元古代陈蔡群深变质岩系, 属区域热流变质作用的产物, 它是华夏古陆最古老的变质基底之一, 其原岩属活动大陆边缘环境下形成的钙碱性系列火山岩—陆源杂碎屑岩建造。显然, 江绍断裂带是一条板块会聚型的边界, 是晚元古代末期扬子板块东南缘古岛弧与华夏古陆碰撞拼合带, 并非华夏裂谷系的主裂谷槽。

本文的资料主要来自 1:5 万平水幅区调成果。在成文过程中, 张健康、俞云文高级工程师、汪庆华副总工程师提出了许多宝贵意见, 在此深表感谢。

5. 主要参考文献

- [1] 李春昱等, 1982, 板块构造讲稿, 中国地质科学院。
- [2] 贾承建等, 1988, 东秦岭板块构造, 南京大学出版社。
- [3] 邱家骥, 1982, 火山岩的研究方法, 冶金部地质技术干部进修学校。
- [4] 刘昌实等, 1989, 滇西临沧岩基源区物质定量模拟。岩石矿物学杂志, 8 卷, 1 期。

THE FORMATION ENVIRONMENT AND MATERIAL SOURCE OF SPILITE-KERATOPHYRES OF THE PINGSHUI GROUP IN ZHEJIANG

Lin Qinglong

Abstract

The spilite-keratophyres of the Pingshui Group occur at the northeastern end of the Jiangshan-Shaoxing fault. Systematic studies of the petrology, petrogeochemistry and isotope geology show that the spilite-keratophyre sequence of the group, composed mainly of calc-alkaline series, was derived from the sodium-rich magma in the upper mantle. It originated in an island-arc environment in the early Late Proterozoic from continental crustal accretion on the southeastern margin of the Yangtze paleoplate. The material source and composition of the Pingshui Group are as follows: the upper mantle materials account for about 95.36% and the mixed upper and lower crustal materials about 4.64%. The sequence belongs to transitional continental crust. The thickness at that time is estimated at 23.2—29 km. The depth of the source of magma is about 97.3 km. It has been also ascertained that the Jiangshan-Shaoxing fault was a converging plate boundary in the Late Proterozoic rather than a main rift trough of the South China rift system.