

华南地区来源不同的两种系列花岗岩与成矿探讨

中国科学院地球化学研究所 王联魁 朱为方 张绍立 杨文金*

自1972年我们开始探讨华南两种类型花岗岩以来 [1,2,3,4] ①, 已经积累了相当多的资料。大量研究表明:

1. 华南花岗岩分为两个系列, 相应的成矿也有两个系列。

2. 每个成矿系列和成岩系列, 均具有继承发展的演化关系, 因而有别于一般花岗岩成因类型或花岗岩石组合的划分。

3. 两个成岩成矿系列的形成, 在不同程度上, 均与地幔物质的参与有关。

以地壳重熔为主的花岗岩成岩成矿系列, 主要分布在南岭一带广大地区, 称为系列I (或称南岭系列); 以地幔物质来源为主的花岗岩成岩成矿系列, 在长江中下游最发育, 称为系列II (或称长江系列)。本文不包括花岗岩化、混合岩化的花岗岩。

我们所理解的“系列”的概念是: 在板块运动的影响下, 一定时间内, 同源岩浆产生和定位过程中, 形成具继承发展演化关系的一系列花岗岩类和一系列成矿种属与成因类型, 在空间上多具分带性, 在时间上常有序列性, 其总合谓之成岩成矿系列。

在系列I中, 成岩序列是: 二长花岗岩 (或花岗闪长岩) → 黑云母花岗岩 → 浅色花岗岩 → 花岗斑岩、石英斑岩 → 中基性岩墙; 成矿序列是: REE → Nb, Ta (Li, Rb, Cs), Sn, Be, W, Mo, Bi, As → Cu, Zn, Pb → Sb, Hg, U。在系列II中, 成岩序列是: 辉石闪长岩 (少量辉长岩) → 闪长岩、石英闪长岩 → 花岗闪长岩 (石英二长岩)、二长花岗岩 → 花岗岩 → 钾长花岗岩 → 花岗斑岩、石英斑岩 (或正长斑岩、石英正长斑岩) → 中基性岩墙; 成矿序列是: Fe → Cu (Au) → Mo (W) → Zn, Pb → Pb (Ag)。

系列II

系列II的成岩序列是根据华南九省花岗岩侵入序列和同位素年龄顺序得出的, 其中典型的其代表性的实例如宁芜地区、大冶地区、江西武山—城门山矿区、上饶地区、阳储岭岩体、浙江山头郑岩体、福建长泰岩体、魁岐—鼓山岩体、广东阳春盆地、湖南水口山、广西罗容—大岭岩体等, 均可见上述花岗岩体侵入的序列性和自早至晚岩性上的演化关系。表现在岩石化学成分上 (图1、2), 随着所伴生各种矿种的变化 [Fe → Cu (Au) → Mo → Zn, Pb], 花岗岩岩石化学 K/Na → Al/Si (见图1) 及 Ti + Fe³⁺ / Fe²⁺ + Mg + Mn → Al/Si (见图2) 的演化关系是很清楚的。大量副矿物研究证明, 随着花岗岩序列 (自

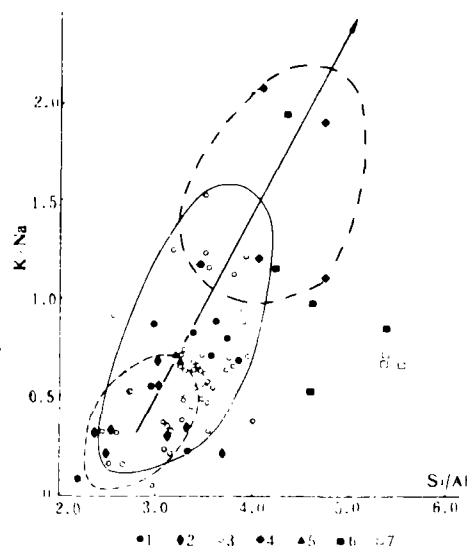


图1 华南系列II花岗岩 K/Na—Si/Al (原子数) 与成矿关系图

1 - 无矿化的系列II岩体; 2 - Fe矿化岩体; 3 - Cu矿化岩体; 4 - Mo矿化岩体; 5 - 石英正长岩; 6 - 钾长花岗岩; 7 - 无矿化系列II中酸性岩。

* 卢家烈、唐春景等参加了部分工作。

① 王联魁, 1977, 两个成岩成矿系列。

早至晚)的变化,副矿物的种类增加,数量减少;从单个矿物看,磁铁矿、榍石、绿帘石减少,富稀土锆石增加(表1)。氧同位素也可提供这种花岗岩序列的演化趋势,如阳储岭花岗岩体,自早阶段至晚阶段,花岗岩全岩 δO^{18} 有逐渐升高的趋势,不同种类矿化花岗岩的石英氧同位素,自早至晚,也有升高的变化(表2)。

系列II成矿的序列性和演化,是根据成矿与花岗岩各次侵入空间伴生关系、矿田的分带性、矿床的分带性、矿体的分带性以及不同世代岩浆地质体与热液脉体切穿关系等多方面的岩石学、岩石化学、物理化学和地球化学资料得出的,其中比较典型的例子(表3),如湖北大冶一带岩体、河南某矿田、安徽铜官山矿、湖南湘宝矿、浙江浙良岩体等的成矿元素分带与成矿序列性是非常明显的,其总的演化趋势是 $Fe \rightarrow Cu(Au) \rightarrow Cu, Mo \rightarrow Mo(W) \rightarrow Zn, Pb \rightarrow Pb(Ag)$,从而得出成矿序列 $FeCu(Au)Mo(W)Zn Pb(Ag)$ 。

上述可见花岗岩成岩系列和成矿系列均具有明显的序列性和演化关系,在空间上和时间内成岩序列和成矿序列是紧密共生的、相互对应的,因此,构成了系列II的成岩成矿演化模式(表4)。

应当指出,Fe,Cu(Au),Mo(W),Zn,Pb

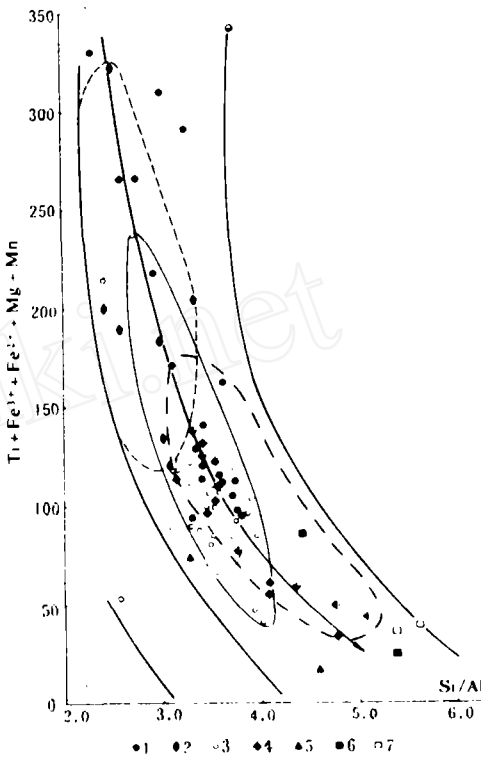


图2 华南系列II花岗岩Ti+Fe³⁺+Fe²⁺+Mn+Mg—Si/Al与成矿关系图
(图例同图1)

系列II花岗岩中副矿物演化趋势 表1

演 化	样品个数	岩石名称	副矿物种类	总平均	单矿物含量 (g/t)			
					磁铁矿	榍石	绿帘石	富稀土锆石
晚	7	花岗岩	18	2079	1961	35	+	
	20	石英正长斑岩	19	9566	8669	70	84	
	11	含钠闪石晶洞花岗岩	25	2631	1188	2.3	-	415
	13	晶洞钾长花岗岩	35	3171	2669	36	63	37
	6	含钼花岗岩	18	2942	1268	0.07	17	18
	12	钾长花岗岩	30	3392	3047	0.25	13	16
	11	二长花岗岩	25	6021	4333	601	35	+
	5	花岗闪长斑岩	20	44032	14174	1614		
	15	花岗闪长斑岩	23	8078	3752	511	259	
	11	花岗闪长岩	14	10865	8483	1206	495	
早	15	花岗闪长岩	23	11797	10723	419	217	
	11	石英闪长岩	18	17999	16759	33	107	

②张大春,1982,阳储岭斑岩型钨钼矿床氧、氢、碳稳定同位素研究
③张理刚,1982,华南某些中生代花岗岩类岩石的氧同位素组成及其与成矿的关系
④杨志,1982,我国东部地区夕卡岩铁矿的成岩成矿时代。

系列 II 氧同位素 (δO^{18} , ‰) 变化

表 2

阳储岭岩体全岩 δO^{18} (自早至晚阶段) ²⁾	
δO^{18} 变化	石英闪长岩 9.8 → 花岗闪长岩 9.9~10.5 → 花岗闪长斑岩 ₁ 11.3 → 花岗闪长斑岩 ₂ 10.7~11.1
不同矿种有关花岗岩中石英 δO^{18} (自早至晚阶段) ³⁾	
δO^{18} 变化	Fe, Cu 矿化花岗岩 8.0 → Cu, Au 矿化花岗岩 9.5 → W, Sn 矿化花岗岩 10.5

系列 II 成矿元素水平分带与成矿序列性

表 3

1. 湖北大冶一带 (自岩体内向外)	Cu(Au)Mo → Cu(FeS ₂) → Cu-Zn-Pb → Zn-Pb
2. 浙江浙东岩体	Fe → Cu-Mo → Zn-Pb
3. 河南某矿田 (自内带至外界)	Fe → Fe-Cu → Pb(Ag)
4. 安徽铜官山矿	Fe-Cu → Cu(Au)-Zn-Pb → Zn-Pb
5. 湖南湘宝矿	Cu-Mo(W) → Zn-Pb
6. 鄂东南矿化岩体时代变化 (单位: 百万年) ⁴⁾	Fe → Fe-Cu → Cu-Mo (142~150) (103~130) (89~91)
总变化趋势	Fe → Fe-Cu → Cu(Au) → Mo(W) → Zn-Pb → Pb(Ag)
成矿序列	Fe-Cu-(Au)-Mo(W)-Zn-Pb-(Ag)

(Ag) 等这些不同矿种, 除与侵入岩有对应的关系以外, 由于围岩条件的差异和成矿物理化学条件的变化, 往往构成了不同类型矿床, 包括接触交代 (夕卡岩) 矿床、斑岩矿床、玢岩矿床、热液交代和充填脉状、似层状矿床等类型。因此, 表象虽不同类型矿床和不同种类的火成岩 (如中酸性、酸性、亚碱性, 甚至基性岩石等), 但实质上是受一个统一的成岩成矿体系演化序列的控制, 从而构成了规律性的成岩成矿演化系列。

系列 I

同样, 系列 I 也有类似于上述的演化趋势和序列性, 从六省典型岩体看, 如湖南的邓阜仙、千里山、九嶷山等岩体, 江西的西华山、于山、灵山等岩体, 浙江的学川岩体, 广东的佛冈岩体, 广西的苗尔山岩体等的花岗岩侵入序列与同位素年龄顺序, 同样构成了完整的系列 I 的二长花岗岩 → 黑云母花岗岩 → 浅色花岗岩 → 花岗斑岩、石英斑岩 → 中基性岩墙 的成岩序列性。表现在化学成分上具有明显的演化趋势 (图 3); 其演化关系还可由诸广山、苗尔山、千里山、大厂、博罗、

灵山、广海、佛冈等岩体的岩石学、岩石化学、微量元素地球化学、矿物学和矿化等多方面的综合研究中看出²⁾。比较典型的例子, 如湖南的邓阜仙花岗岩体, 据金荣龙的详细研究结果⁵⁾ (表 5), 自早至晚花岗岩分为五次侵入: 1 斑状黑云母花岗岩, 2 中粒二云母花岗岩, 3 中细粒斑状花岗岩, 4 细粒含钾白云母花岗岩, 5 细粒白云母花岗岩。沿此顺序, 结构由粗变细, 黑云母减少, 白云母增加, Th, REE, K/Rb 逐渐降低; K₂O + Na₂O, Na₂O/K₂O, U/Th, Rb, Cs, W, Sn, Cu, Nb, Ta 升高; 表现出清楚的演化总趋势: Nb, Ta 于 4 富集成矿; W, Sn, Cu 于 5 中达到高峰, 最后形成脉状钨矿。因此, 成岩与成矿的相对应和栖息关系是非常明显的。

系列 I 成矿的序列性和演化, 可以由典型岩体的成矿分带看出: 如湘千岩体、430 岩体、瑶岗仙岩体、湘南岩体、一六岩体、鹦鹉岩体、桂大岩体、桂栗岩体等¹²⁾ (表 6), 其成矿元素和成

5 金荣龙等, 1981, 邓阜仙复式岩体时代及其地球化学特征

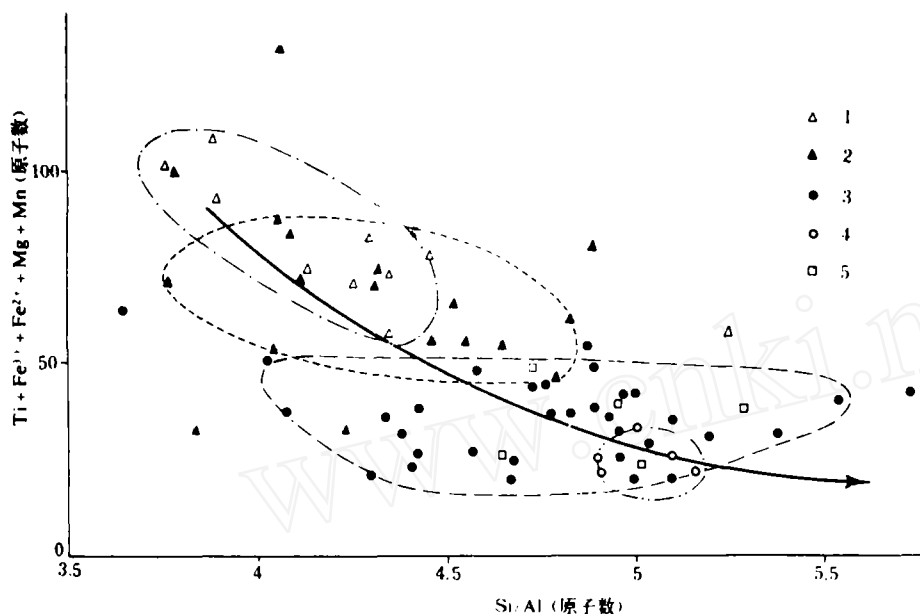


图3 华南系列I花岗岩 $Ti+Fe^{2+}+Fe^{3+}+Mn+Mg-Si/Al$ (原子数)成分演化图
1—二长花岗岩(二云母二长花岗岩); 2—黑云母花岗岩(粗中粒斑状黑云母花岗岩); 3—细粒黑云母花岗岩、二云母花岗岩(白云母花岗岩); 4—钠长石花岗岩; 5—石英斑岩、花岗斑岩

矿温度具有明显的水平分带, 其总的变化趋势是: $REE \rightarrow Nb, Ta$ (Li, Rb, Cs) $\rightarrow Sn, Be, W, Mo, Bi, (As), (Sn), (Cu) \rightarrow As, Cu, Zn, Pb \rightarrow Sb, Hg, U$ 。因而构成 $REE, Nb, Ta (Li, Rb, Cs), Sn, Be, W, Mo, Bi, As, Cu, Zn, Pb, Sb, Hg, U$ 的成矿序列和演化关系。

从总体看, 与系列II类似, 系列I的成岩与成矿, 同样大体上构成对应的成岩成矿演化模式(表7)。

应当指出, 从每个系列的岩石成分变化上看, 中基性岩属于系列中虽不具继承演化关系, 但是国内外大量资料(包括华南、华北、秦岭、西藏、南北美洲、苏联亚洲部分、日本和欧洲等地的花岗岩系列)表明其不但在花岗岩体中普遍存在, 且往往切割花岗岩体, 在时间上形成最晚, 所以无疑是完整的成岩序列的最后成员。

两个系列的同位素对比

两个系列花岗岩锶同位素测定(方法见文献[5])。结果是: 系列II的安徽铜官山、凤凰山与铜有关的花岗闪长岩两条全岩等时线及一个磷灰石 Sr^{87}/Sr^{86} 初始比值为 $0.707 \sim 0.7078$; 江苏吉山、泰山与铁矿有关的辉石闪长玢岩一条全岩等时线和一个磷灰石初始比值是 $0.7039 \sim 0.707$ 。系列I的江西曾家窿与锡矿有关的花岗岩全岩等时线为 0.7324 左右。因此, 两个系列初始比值明显不同。从全区看, 皖赣闽鄂湘桂粤滇等九省(区)52个Sr同位素初始比值的统计表明, 系列

辉石闪长岩 $\Rightarrow$ 闪长岩、石英闪长岩 $\Rightarrow$ 花岗闪长岩 $\Rightarrow$ 二长花岗岩 $\Rightarrow$ 花岗岩 $\Rightarrow$ 花岗斑岩、石英斑岩、石英正长斑岩

Fe $\rightarrow$ Cu, Au $\rightarrow$ Mo, W $\rightarrow$ Zn, Pb $\rightarrow$ Ag

系列 I 邓阜仙岩体分异演化趋势

表 5

	早阶段—————→晚阶段
侵入顺序	①斑状黑云母花岗岩→②中细粒白云母花岗岩→③中细粒斑状花岗岩→④细粒含钾白云母花岗岩→⑤细粒白云母花岗岩
岩石结构	粗①—————→⑤细
云母含量	黑云母①—————→⑤逐渐减少 白云母①—————→⑤逐渐增加
岩石中微量元素和某些氧化物	Th, REE, K/Rb ①—————→⑤逐渐降低 K ₂ O + Na ₂ O, Na ₂ O/K ₂ O, U/Th, Rb, Cs, W, Sn, Cu, Nb, Ta 升高(其中 Ta 在④阶段最高而成矿, W, Sn, Cu 在⑤阶段最高, 最后形成脉状钨矿)

I 与系列 II 具有明显差别, 大体以 0.710 为界, 系列 I 比较高, 多在 0.7112~0.7360 之间, 系列 II 比较低, 绝大多数在 0.7036~0.7085 之间(图 4)。

华南、东澳、日本等不同类型花岗岩锶初始比值的对比表明(图 5), 中国系列 I 与系列 II, 分别高于东澳的 S 与 I 型、日本的 II 与 Mt 型, 这是否由于中国地壳演化成熟程度较高或重熔位置较浅, 导致系列 I 与系列 II 的 Sr 初始比值均高于东澳古生代褶皱带的 S 与 I、日本岛弧区的 II 与 Mt 型。

因此, 划分花岗岩类型的锶初始比值界线, 三国自然不同, 中国应为 0.710, 东澳为 0.706, 日本找出界线就比较困难。

据张理刚、张大春等的资料^{②③}, 两个系列花岗岩氧同位素也有明显区别(图 6), 以 10‰ 为界, 系列 II 花岗岩全岩 δO^{18} 多小于此值, 相对较低, 系列 I 则比较高。

与锶同位素特点类似, 华南、东澳、日本花岗岩氧同位素(δO^{18})也不相同(图 7), 华南的 δO^{18} 最高, 东澳次之, 日本最低, 为上述 Sr 同位素解释提供了佐证。

同样, 用氧同位素区分两种花岗岩类型的界线, 三国自然也不同, 中国东南的是 10‰, 东澳是 10‰, 日本为 8‰。

两个系列的硫同位素也有所区别, 系列 II 硫同位素特征是: ①岩石和矿床的硫同位素 δS^{34} 多以正值为主; ② δS^{34} 值变化范围小; ③统计图呈

塔形分布: ④花岗岩体的硫同位素与有关矿床的比较接近或相等。总地看来, 系列 II δS^{34} 值为 +6~-0‰, 接近陨石硫。系列 I 摆动范围大, 为 +10~-10‰。

区别两系列的其它标志

华南两个系列花岗岩还有其它很多区别, 系列 II 比系列 I 岩石的铂族元素高, 稀土中 δEu 高, 黑云母的 Mf 高, 包裹体测温高, 而黑云母的铁质系数低(表 8)。

初步认识

以上可概括为划分两个系列的 13 个地质与地球化学标志(表 9)。系列 II 的标志, 特别是其氧、硫、锶同位素, 铂族元素的较高含量及结尾产生具玄武质成分的中基性岩墙等, 均表明其物质主要来源于深部——即地壳下部或上地幔, 但由于其锶初始比值多大于 0.7037 (但小于 0.7100), 这意味着有部分地壳物质的参与或混染。系列 I 的

①孙明志, 1982, 改造型和同熔型花岗岩类的锶、硫同位素。

②宜昌地质矿床研究所花岗岩组, 1981, 广东阳春盆地两类花岗岩对比及其成因探讨。

③洪大卫, 1981, 华南花岗岩类中的两类黑云母及其岩石学意义。

④林文生等, 1979, 福建魁岐花岗岩包裹体特征研究。

系列 I 典型岩体成矿元素分带与成矿序列性

表 6

空间密切共生的岩浆地质体 岩体	黑云母花岗岩	浅色花岗岩 (包括细晶岩、伟晶岩)	花岗岩、石英斑岩
1. 湘干岩体		Sn WMoBi → BeSnCu → 436~416° → 335~208° → 233	→ Cu Zn Pb → Sb Hg U
2. 430 岩体	REE	NbTa(Li RbCs) → BeW	→ Cu Zn Pb → U
3. 瑶岗仙岩体		SnW-WMoBi As	→ Zn Pb → PbSb
4. 湖南某岩体		W	→ Zn Pb → U
5. 一六岩体	REE(?)	NbTaSn → W	→ As Zn Pb → Sb Hg
6. 鹤鹑岩体		Sn → WMo	→ As Zn Pb → Sb Hg
7. 桂大岩体		NbTa → W → Sn Cu Zn → 307° → (423°/296~231° → 313°	→ Zn Pb Sb → Sb(Mo)Hg U → 120°
8. 桂栗岩体	707	NbTa → Sn W	→ Zn Pb → Sb Hg U
总变化趋势	REE → NbTa → SnBeWMo(As)(Sn)(Cu)	→ As Cu Zn Pb	→ Sb Hg U
成矿序列	REE Nb Ta(Li Rb Cs) Sn Be WMo Bi As Cu(Sn) Zn Pb Sb Hg U		

系列 I 成岩与成矿的对应图案和演化

表 7

二长花岗岩 ⇒ 黑云母花岗岩 ⇒ 浅色花岗岩(二云母或白云母花岗岩……) ⇒ 花岗斑岩、石英斑岩
 REE → NbTa(Li RbCs) SnWMoBiAs → CuZnPb → SbHgU

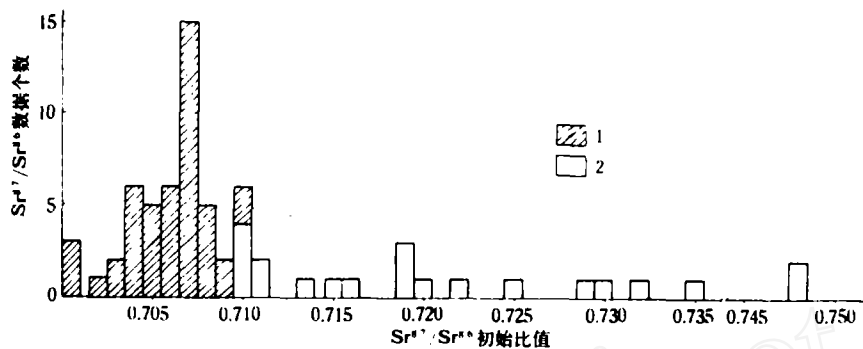


图1 华南两个系列花岗岩 Sr^{87}/Sr^{86} (初始比值) 分布图 (包括部分西藏样品)

1—系列II花岗岩; 2—系列I花岗岩

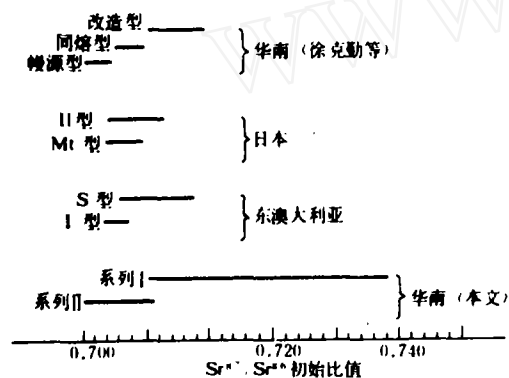


图5 不同地区和不同花岗岩类型划分的

Sr^{87}/Sr^{86} 初始比值变化范围比较

(日本、东澳大利亚——据Takahashi, 1980; 6)

华南 (徐克勤) ——据孙明志等1982^[5]

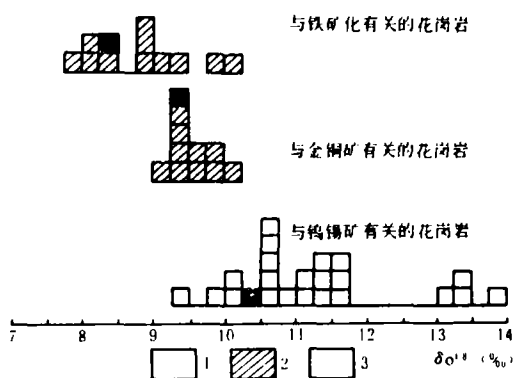


图6 华南两个系列花岗岩的 δO^{18} 值变化
(据张理刚等1982年图, 并作了少量修改补充)

1—系列II花岗岩; 2—系列I花岗岩; 3—同源暗色
包裹体: 每个方块代表一个岩体的平均值

许多标志, 特别是贫铂族元素、高的铯初始比值 (接近或高于地壳平均增长值) 及地壳特征元素 REE, Nb, Ta, Be, Sn, W, Bi……常形成矿床等, 表明其主要物质来源是地壳重熔岩浆。但是, 少量 Sr^{87}/Sr^{86} 初始比值接近0.7100, 部分 δS^{34} 较低 (接近陨石硫) 以及结尾也常出现接近玄武质成份的中基性岩墙等, 也不能排除有部分地幔物质 (包括挥发份) 的参与。

华南两个系列花岗岩的分布, 主要受板块边缘一系列以拉张为特征的深断裂体系所控制, 构成以北东为主、北西为辅的带状分布特点。因而, 两个系列花岗岩的成岩成矿的整个演化历史, 是受热场和断裂体系的通道控制: 由于断裂的深浅

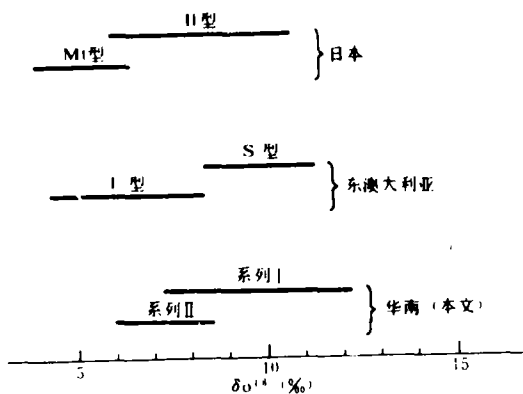


图7 不同地区和不同花岗岩类型划分的

δO^{18} 值变化对比

(日本、东澳大利亚——据Takahashi, 1980)

两个系列铂族元素、稀土、温度和黑云母成分比较

表 8

		系 列 II		系 列 I		资 料 来 源
铜矿石中Pt族元素 (g/t)	Pt	高	0.023 ~ 0.3	低	$< 0.003 \sim 0.01$	
	Pd		0.013 ~ 0.8		< 0.003	
REE (δEu)		高	0.74 ~ 0.99	低	0.03 ~ 0.1	据宜昌所岩石组, 1981 ^⑦
云 母	Mf	高	> 0.5	低	< 0.5	据洪大卫, 1981 ^⑧
	铁系数	低	0.27 ~ 0.43	高	0.5 ~ 0.99	
包裹体测温		高	980 ~ 1140 [*]	低	600 ~ 680 ^{°C}	* 据林文生, 1979 ^⑨

两个系列花岗岩地质—地球化学特征对比表

表 9

	系 列 II	系 列 I
1. 系列的总化学成分	钙碱性安山岩成分	正常花岗岩成分
2. 特征化学成分	相对富镁钙	相对富硅钾
3. 演化	由基性→中性→酸性→亚碱性(甚至碱性)	中酸性→酸性→超酸性
4. 黑云母成份特征	含 镁 高	含 镁 低
5. 副矿物组合	磁铁矿→榍石—绿帘石—磷灰石—锆石	钛铁矿—锐钛矿—褐帘石—磷钇矿(独居石)—锆石
6. 岩石与副矿物中微量元素	富Ce, Sr; $\Sigma Ce > \Sigma Y$	富F, Li, Rb(Cs), Be, ΣY
7. δEu	高(多无异常)	低(常有异常)
8. δO^{18} (‰)	< 10	< 10
9. δS^{34}	接近陨石硫	摆动范围大
10. 地幔特征的Pt族元素含量	高	低
11. Sr^{87}/Sr^{86} (初始比)	0.7036 ~ 0.7085 (与地幔值相近)	0.7112 ~ 0.7360 ($>$ 地壳平均值)
12. 成岩序列结尾	中基性岩墙(相当玄武岩成分)	中基性岩墙(相同玄武岩成分)
13. 主要成矿元素	深源特征的Fe, Cu, Mo 矿化	地壳特征的REE, Nb, Ta, Sn, Be, W, Bi …… 矿化

和张闭, 导致来自深处的热能和物质(包括气热挥发组分)的差异, 从而形成两个不同的成岩成矿系列。

参考文献

[1] 中国科学院地球化学研究所同位素实验室、湖北地质科学研究所同位素年龄实验室, 地球化学, 1972, 第2期, 119 ~ 131

[2] 中国科学院地球化学研究所, 华南花岗岩地球化学, 53 ~ 80, 科学出版社, 1979

[3] Wang Lianhui et al., Mining Geology Special Issue, 1980, No. 8, 29 ~ 38

[4] 王联魁等, 地球化学, 1981, 第3期, 281 ~ 292

[5] 王俊文等, 地球化学, 1981, 第3期, 242 ~ 246

[6] Takahashi M. et al., Mining Geology Special Issue, 1980, No. 8, 13 ~ 28