

文章编号:1007-3701(2002)03-0066-12

长江中下游花岗岩类地质地球化学对比研究

张德全 徐洪林

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要: 对长江中下游安徽境内几个分区的花岗岩类进行了地质地球化学研究和对比。结果表明, 江南隆起区花岗岩类的岩浆来源于中地壳下部和下地壳上部, 沿江(铜陵、安庆)隆起-凹陷过渡区和庐枞火山盆地凹陷区中性岩类的岩浆来源于下地壳中、下部, 部分具壳-幔混合特征。本区岩浆活动时代均为中生代, 岩体的形成与印支期陆-陆碰撞无直接联系, 是印支期褶皱之后沿断裂侵位的产物。

关键词: 花岗岩类; 地球化学; 长江中下游

中图分类号: P588.12; P595

文献标识码: A

长江中下游地区的花岗岩类分布广泛, 都形成于中生代。根据中生代时期本区隆起与凹陷的特点, 可分为江南隆起区花岗岩类、沿江隆起-凹陷过渡区(又分铜陵和安庆两个亚区)花岗岩类、庐枞火山盆地凹陷区花岗岩类和大别隆起区花岗岩类。本文重点报道江南隆起区花岗岩类的岩性及地球化学特征, 在此基础上进行各区花岗岩类的地质地球化学对比研究。

1 江南隆起区花岗岩类地质地球化学

江南隆起区中生代花岗岩类侵入体出露面积约三千多平方公里。以青九复式岩体出露面积最大(860 km²), 由老到新分为四期(或四个阶段)^[1]: (1)青阳期: 花岗闪长岩($\gamma\delta_3^2$, Rb-Sr 全岩年龄 153 Ma); (2)九华期: 二长花岗岩($\eta\gamma_3^{3-1}$, Rb-Sr 全岩年龄 123 Ma); (3)天台期: 碱长花岗岩($\xi\gamma_3^{3-2}$, Rb-Sr 全岩年龄 114 Ma); (4)岩墙期: 正长斑岩($\xi\pi_3^{3-3}$)或花岗斑岩($\gamma\pi_3^{3-3}$)。这种划分不仅适用于江南隆起区, 亦适用于本文涉及的其他 3 个地区(图 1)。

1.1 岩体地质及岩相学特征

青阳期岩体规模大, 分布广, 出露面积约 2 000 km², 岩性稳定, 全为花岗闪长岩, 常见闪长质包体。矿物成分以含角闪石(2%~10%)、暗色矿物(14%~20%)、斜长石环带发育及斜长石含量高(40%~51%)、钾长石含量低(11%~23%)和钠长石条纹不发育为主要特征。同位素年龄 137~153 Ma^[2~11]。

九华期岩体出露面积接近 1 000 km², 岩性变化较大, 以黑云母二长花岗岩为主, 次为钾长花岗岩和石英正长岩, 偶见闪长质包体。矿物成分以不含角闪石、暗色矿物少(<10%)、钾长石(28%~50%)和石英(30%左右)增多、斜长石环带极不发育(或没有)为主要特征。同位素年龄 120~129 Ma。

天台期岩体出露面积最少(约 200 km²), 岩性稳定, 以碱长花岗岩为主, 次为钾长花岗岩, 以不含或含微量(<2%)黑云母和钠长石(<5%)、含较多钾长石(<60%)和石英(>34%)以及不含闪长质包体为主要特征。个别岩体, 如天都峰(狮子岭)尚含原生白云母。同位素年龄 110~114 Ma。

收稿日期: 2002-05-30

基金项目: “八五”国家科技攻关专题研究项目(85-901-03-09C)。

作者简介: 张德全(1933—), 男(汉族), 研究员, 主要从事花岗岩、火山岩研究。

表 1 江南隆起区主要岩体特征及矿物含量

Table 1 Characteristics of some granitoid and mineralogical constituent in Jiangnan uplifted area

阶段(期)	岩体	代号	主要岩性	面积 /km ²	侵位 地层	同位素 年龄/Ma	I_s	石英	钾长石	斜长石	黑云母	角闪石	白云母	薄片 数
$w_B/10^{-2}$														
1 (青 阳 期)	青 阳 ^A	$\gamma\delta_3^2$	花 岗 闪 长 岩	460	←-S	Rw153	0.7086	21.4	11.2	49.6	8.4	8.8	(0.6)	5
	太 平 ^B	$\gamma\delta_3^2$		240	Pt-S	Ar137	0.7070	19.2	18.0	44.7	11.9	5.6	(0.6)	7
	乌石垅	$\gamma\delta_3^2$		50	S	Rw137	0.7103	22.0	13.0	51	11	2.9	(0.1)	3
	洪田都	$\gamma\delta_3^2$		70	O-S			21.5	17	46	9	6	0.5	1
	茂 林	$\gamma\delta_3^2$		76	S-C			20	15	40	15	10		1
	榔 桥	$\gamma\delta_3^2$		270	S	Kb140		22	23	41	8	6		2
	云 岭	$\gamma\delta_3^2$		76	O-S	Kb141	0.7096	21	20	45	9	5		3
	旌 德 ^C	$\gamma\delta_3^2$		550	Z-S	R147, Ar139		20	15	50	13	2		2
	黟 县	$\gamma\delta_3^2$		75	Pt	Ar140								
	包 村	$\gamma\delta_3^2$		70	←-S			19	20	45	16			1
2 (九 华 期)	许家桥	$\gamma\delta_3^2$		2~5	S	R139	0.7086							
	九华山 ^A	$\gamma\gamma_3^{3-1}$	二 长 花 岗 岩	340	Z-S	R123	0.7084	28.3	28.7	35.4	5.0		1.6	3
	黄 山 ^B	$\gamma\gamma_3^{3-1}$		107	Pt-O	Ar125	0.7140	30.0	45.4	19.8	4.3		0.5	8
	凤形山 ^C	$\gamma\gamma_3^{3-1}$		15	←-S			33	30	29	8			1
	城 安 ^E	$\gamma\gamma_3^{3-1}$		70	Z-O									
	谭 山	γ_3^{3-1}	花岗岩	140	Z-O	R124	0.7110	30.5	48.9	14.6	2.4		(1.1) 2.3	7
	五 岭 ^D	γ_3^{3-1}	花岗岩	220	O,S,P	R129	0.7092							
	同心郭 ^D	δ_3^{3-1}	石英正长岩		Pt-Z	Kb127								
3 (天 台 期)	伏 岭	γ_3^{3-1}	花岗岩	130	←-S	Zr121		36	34	26	3			
	天台山 ^A	$\delta\gamma_3^{3-2}$	碱长 花岗岩	50	Z-T	R114	0.7082	34.5	62.0	2	1.5			2
	大历山 ^E	$\delta\gamma_3^{3-2}$		80	←-S									
	巴 山 ^D	$\delta\gamma_3^{3-2}$		3	Z-←	R110	0.7147							
	天都峰 ^B	$\gamma + \delta\gamma_3^{3-2}$	碱长或钾 长花岗岩	8	γ_3^{3-1}									
	茅 坦			40	S-T									

注:A,B,C,D,E代表不同复式岩体,凡字母相同者为同一复式岩体。岩墙阶段(阶段4)未列入。

Rw为Rb-Sr全岩;R为Rb-Sr;Kb为K-Ar黑云母;Ar为³⁹Ar/⁴⁰Ar;Zr为U-Pb锆石

表2 江南隆起区主要岩体的岩石化学成分

Table 2 Composition of some granitoid in Jiangnan uplifted area

阶段	岩 体	代号	样数 /个	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	灼失	合计
				$w_B/10^{-2}$												
1 (青 阳 期)	青 阳	γ_3^2	26	67.42	0.51	15.23	1.65	2.03	0.06	1.39	2.60	3.74	3.61	0.17	1.03	99.44
	太 平	γ_3^2	8	68.24	0.44	15.10	1.56	2.03	0.06	1.06	3.38	3.33	3.79	0.07	0.58	99.66
	乌石垅	γ_3^2	5	67.48	0.50	15.54	1.66	2.66	0.09	1.49	2.17	3.79	3.26	0.22	0.78 ^①	99.64
	洪田都	γ_3^2	1	67.38	0.55	14.68	1.31	2.69	0.09	1.29	3.47	3.40	3.50	0.10	0.56 ^①	99.02
	茂 林	γ_3^2	1	67.70	0.34	15.16	1.49	2.57	0.05	1.37	3.12	3.27	3.36			98.43
	榔 桥	γ_3^2	1	65.92	0.50	14.23	1.76	2.61	0.15	1.42	2.95	2.60	3.84			96.18
	云 岭	γ_3^2	1	66.30	0.53	14.89	1.86	2.53	0.11	1.87	3.32	3.64	3.65	0.18	0.26	99.14
	旌 德	γ_3^2	5	67.33	0.52	15.73	1.68	2.98	0.07	1.08	3.28	3.35	2.90	0.15	0.61 ^①	99.68
	黟 县	γ_3^2	1	67.74	0.49	15.12	0.81	3.12	0.08	1.40	3.14	3.03	3.85	0.18	0.89	99.85
2 (九 华 期)	九华山	$\eta\gamma_3^{3-1}$	5	73.06	0.22	13.60	0.98	1.27	0.07	0.69	1.12	3.85	4.35	0.06	0.46	99.73
	黄 山	$\eta\gamma_3^{3-1}$	16	76.10	0.09	12.42	0.52	1.14	0.03	0.14	0.59	3.33	4.74	0.04	0.55	99.69
	凤形山	$\eta\gamma_3^{3-1}$	1	70.64	0.35	14.26	0.70	2.54	0.07	0.80	2.05	3.56	4.20	0.20	0.18 ^①	99.55
	城 安	$\eta\gamma_3^{3-1}$	2	70.41	0.34	14.96	1.01	1.78	0.05	0.50	2.10	3.17	4.05	0.03	1.15	99.55
	谭 山	γ_3^{3-1}	18	75.50	0.24	12.86	0.71	0.76	0.03	0.31	0.53	3.00	4.89	0.07	0.65	99.55
	五 岭	γ_3^{3-1}	4	72.96	0.26	13.37	1.42	0.82	0.01	0.40	0.48	4.18	5.16	0.05	0.42	99.59
	同心郭	γ_3^{3-1}	4	65.20	0.65	16.76	1.96	1.13	0.15	0.74	1.32	5.22	5.85	0.16	0.63	99.77
	伏 岭	γ_3^{3-1}	4	76.32	0.08	12.31	0.32	1.65	0.06	0.09	0.68	3.48	4.72	0.04	0.35 ^①	100.14
3 (天 台 期)	天台山	$\gamma\gamma_3^{3-2}$	10	76.66	0.09	11.96	0.88	0.65	0.08	0.14	0.26	3.92	4.52	0.02	0.47	99.65
	大历山	$\gamma\gamma_3^{3-2}$	3	75.51	0.11	12.28	0.74	1.22	0.02	0.15	0.51	2.97	4.89	0.01	0.57	98.98
	茅 坦	$\gamma + \gamma\gamma_3^{3-2}$	4	73.85	0.40	12.24	2.09	0.61	0.07	0.49	0.60	3.55	4.76	0.12		98.79

注:①为H₂O⁺

表 3 江南隆起区主要岩体的稀土元素含量及参数

Table 3 REE content and parameters of some granitoid in Jiangnan uplifted area

阶段	岩体	样数 /个	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	La-Eu	Gd-Lu	ΣREE	ΣL/ ΣH	δEu	δTb	δTm	La/Sm	Nd/Ce	Nd/Yb		
			$w_B/10^{-6}$																										
1 (青 阳 期)	青阳	3	32.69	59.03	6.34	24.61	4.32	1.06	3.30	0.40	2.36	0.41	1.02	0.16	0.88	0.10	11.18	127.95	8.63	136.58	14.8	0.90	0.86	1.08	7.6	0.41	27.97		
	太平	1	29.84	61.87	6.46	21.43	5.17	1.04	4.34	0.75	3.48	0.61	1.39	0.25	1.23	0.22	13.38	125.83	12.25	138.08	10.27	0.71	1.19	1.16	5.8	0.35	17.42		
	乌石垅	2	32.83	56.41	7.11	28.55	4.54	1.15	4.25	0.60	2.80	0.59	1.48	0.26	1.61	0.23	14.16	130.57	11.81	142.38	11.06	0.87	0.11	1.00	7.2	0.50	17.73		
	洪田都	1	31.34	50.19	6.75	28.02	5.74	1.22	3.69	0.74	3.38	0.58	1.50	0.24	1.69	0.25	17.36	123.26	12.07	135.33	10.21	0.82	1.30	0.91	5.5	0.56	16.58		
	梅桥	1	39.93	62.17	7.74	31.59	6.61	1.23	4.49	0.84	4.35	0.86	2.17	0.37	2.62	0.40	24.23	149.27	16.10	165.37	9.27	0.70	1.18	0.93	6.0	0.51	12.06		
	云岭	1	37.41	72.04	7.33	26.89	5.10	1.17	4.32	0.71	3.71	0.77	4.79	0.31	2.10	0.31	19.41	149.92	17.13	167.05	8.75	0.81	1.10	0.55	7.3	0.37	12.80		
	旌德	1	19.50	42.00	5.80	21.50	4.00	0.86	2.65	0.61	2.30	0.35	1.15	0.14	0.73	0.30	8.10	93.67	8.23	101.90	11.38	0.83	1.53	0.95	4.9	0.51	29.45		
2 (九 华 期)	许家桥	1	33.0	60.1	6.50	22.3	0.23	1.15	3.24	0.51	2.40	0.10	1.36	0.20	1.32	0.22	12.5	132.48	22.42	154.90	5.91	2.70	1.13	0.97	143.5	0.37	16.89		
	九华山	3	31.08	52.01	5.42	19.63	3.44	0.68	2.42	0.36	2.26	0.48	1.28	0.21	1.44	0.30	13.01	112.26	8.75	121.01	12.83	0.78	0.95	0.93	9.0	0.38	13.63		
	黄山	2	34.11	84.26	9.15	31.72	8.63	0.29	9.89	1.79	13.50	2.66	6.91	1.30	7.20	1.23		168.14	44.49	212.63	3.78	0.12	0.93	1.20	460	0.36	4.30		
	凤形山	1	23.5	52.5	6.15	24.5	4.5	0.87	3.75	0.59	2.9	0.48	1.55	0.20	1.1	0.39	12.5	112.02	10.96	122.98	10.22	0.69	1.10	0.92	562	0.47	22.27		
	谭山	2	36.52	64.46	7.28	23.53	4.65	0.55	4.24	0.82	5.01	1.07	3.41	0.64	3.70	0.56	30.13	137.98	19.39	157.37	7.1	0.40	1.10	1.00	7.9	0.37	6.90		
	五岭	1	66.18	189.70	20.52	98.78	2356	1.34	19.05	3.48	20.61	3.76	9.40	1.22	7.35	1.03	86.26	400.08	65.90	465.98	6.07	0.50	1.08	0.86	2.8	0.52	13.44		
	同心郭	3	98.53	194.67	23.37	85.27	14.49	2.65	12.12	2.30	11.20	2.32	6.13	1.16	5669	0.85	55.3	419.28	41.77	461.88	10.04	0.65	1.22	1.19	13.4	0.44	14.98		
3 (天 台 期)	天台山	3	31.02	49.25	3.44	9.90	1.61	0.14	1.21	0.30	1.83	0.44	1.61	0.30	2.34	0.42	14.12	95.36	8.45	103.81	11.29	0.32	1.22	0.91	19.3	0.20	4.23		
	茅坦	2	47.0	75.1	8.5	27.6	4.6	0.7	3.9	0.7	4.8	1.05	3.3		4.2	0.65	2868	163.5	18.6	182.1	8.79	0.54	1.00		10.2	0.37	6.57		

注:岩体代号同表 1;ΣL/ΣH 为 ΣLREE/ΣHREE。

稀土元素特征的上述变化与矿物成分的变化密切相关。例如斜长石减少和钾长石增多,必然引起负钫异常加剧,副矿物含量高则稀土总量会急剧增加。

1.4 矿物成分

角闪石:仅分布于青阳期岩体及闪长质包体中,属钙质角闪石类。 SiO_2 47%~51.3%, Al_2O_3 3.1%~6.8%, MgO 11.3%~14.7%, CaO 9.3%~11.6%, M' 37.1~75.5,富 Al^{VI} (0.1~0.31)。

黑云母:各期岩体都有分布。除天都峰和黄山岩体为羟铁云母外,其余均为镁质黑云母。 M' 多数大于40。值得指出的是天台期岩体黑云母含量极微(<2%),但 M' 高(例如天台山为60.9,茅坦为68.6)。 Al' 低(两岩体 Al' 分别为15.1和14.4)。青阳期和九华期岩体黑云母的 Al' 和 M' 差别不大, Al' 一般16.3~19.8,仅五岭岩体 Al' 低(12.4), M' 高(67.7)。黄山-天都峰及茅坦岩体黑云母含钛低(TiO_2 <2.1%,有的<1%),其余岩体含钛高(多数>2.5%)。另一值得注意的现象是同一薄片中大片与小片(0.2~0.4 mm)黑云母成分上略有差异,大片黑云母 M' 高,小片 M' 低,如太平花岗闪长岩255-5号样大片黑云母 M' 为48.0,小片 M' 为37.1;254-2号样薄片可见包体,主体大片黑云母 M' 为47.3,闪长质包体中小片黑云母 M' 为43.2。据此推测,主体中的小片黑云母很可能为变质岩包体离解后残留于岩浆中的未熔残余。

斜长石:青阳期岩体斜长石环带发育,环带核心多为中长石(An_{33-43}),环边为更长石(An_{19-19})。九华期斜长石多为更长石,如九华山岩体 $\text{An}_{13.6-21.9}$ 。也有的岩体(如凤形山)为中长石($\text{An}_{37.9}$)。天台期岩体的斜长石为钠长石($\text{An}<10$)。当岩石遭受应力而使长石发生塑性变形或次生变化时,其 An 值急剧降低,如包村岩体糜棱岩化岩石,其斜长石 An 值仅为11.5。

钾长石: Or 85%~97%,各期岩体变化不大。

白云母:黄山天都峰岩体含原生白云母,主要化学成分 SiO_2 48.91%, Al_2O_3 25.16%, MgO 0.21%, TiO_2 0.24%, Na_2O 0.21%。谭山岩体白云母为次生成因,系由黑云母褪色而成,因而 MgO 高(2.35%~2.58%)。包村岩体糜棱岩中黑云母全部绿泥石化或白云母化,也有一部分白云母系由斜长石转变而来。

1.5 岩体定(侵)位深度、岩浆温度估计

根据表4资料,得出如下认识:

(1)用角闪石和黑云母的含镁度(MF')估算的平衡温度最高。由于这两种矿物是早结晶的矿物或者有一部分为继承矿物,故这一温度最接近岩浆液相线温度。

(2)用黑云母含铝度(Al')和含铁度(F)与斜长石($\text{Or}-\text{Ab}$)温度计估算的温度比较接近,它可能代表黑云母和斜长石结晶结束之前的温度。

(3)用二长石温度计($X_{\text{Na}}^{\text{An}}-X_{\text{Na}}^{\text{Ab}}$)^[12]估算的温度最低。分析其原因可能是由于钾长石结晶结束最晚,且在结晶后的继续降温过程中为了达到新的平衡,钾长石中的钠质出溶形成了条纹长石(薄片这种现象极为普遍)。这样,由该温度计估算的温度是钠长石条纹出溶调整后的温度,岩浆固相线温度应比其高,但又比黑云母和斜长石结晶温度低,因此推算固相线温度介于600~700℃。对于花岗闪长岩其固相线取高值(650~700℃),对于二长花岗岩和碱长岩则取其低值(600℃)。

(4)用角闪石和斜长石温度计($X_{\text{An}}^{\text{Ca}}-X_{\text{Na}}^{\text{Ca}}$)估算的温度亦低。其原因是这一温度计是从变质岩中两矿物平衡条件推导出的,因此这一温度计不适用于熔体结晶的情况。

利用接触热变质温度亦能估算岩浆温度。其公式为: $T_c = (T_m + T_r)/2$,式中 T_c 为初始接触变质温度; T_m 为岩浆初始温度; T_r 为围岩初始温度。设围岩温度为零,则岩浆温度等于初始热变质温度的两倍。在青阳、太平岩体热变质矿物中出现镁橄榄石和透辉石,热变质温度>400℃。因此,侵位时岩浆温度介于800~900℃是可信的。对于二长花岗岩和碱长花岗岩的岩浆温度要低些,限于资料不足未作估计。

表 4 部分岩体矿物平衡温度估算

Table 4 Estimation value of mineral equilibrium temperature of some granitoid

岩体	$\text{Bi}_{\text{Al}}' - \text{Bi}_{\text{P}}$	$\text{Pl}_{\text{Qz}} - \text{Ab}$	$\text{Ti}_{\text{Am}}' - \text{Ti}_{\text{B}}'$	$\text{MF}_{\text{Am}}' - \text{MF}_{\text{B}}'$	$\text{X}_{\text{Am}}^{\text{Ca}} - \text{X}_{\text{B}}^{\text{Ca}}$	$\text{X}_{\text{Bt}}^{\text{Na}} - \text{X}_{\text{H}}^{\text{Na}}$	$\text{X}_{\text{Am}}^{\text{Ti}}$	压力/MPa	侵位深度/km
青 阳	750	735~765	700~740	780	560~610	400~445	690~720	100~200	3~6
九华山	750	720~740	710	750	450~520	480~510	700	92	3
天台山	750	<720				400			
太 平	750	740~780	720~750	720~750	540~590	455	680~720	70~190	3~6
黄 山	450~550	<720				405			
乌石垅	750	755				395	680		
洪田都	750	745	720	800	500			150	4~5
茂 林	650~700	755	710	>800	630	595	730	180	5
榔 桥	750	740	810	>800	520	585			
云 岭	750	750	700		630	695	720	60	2
旌 德	750	720~750				490			
主 簿	750	720~740	650	750	480	460	690	150	4~5

注:平衡温度单位为℃;压力用角闪石的 Al(以 O 为 23 时离子数)估算。 $\text{MF}' = \text{Mg} \times 100 / (\text{Mg} + \text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+})$; $\text{Al}' = \text{Al} \times 100 / (\text{Al} + \text{Si} + \text{Ti} + \text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mg} + \text{Mn})$; $\text{F} = \text{Fe}^{2+} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 。

2 各岩区岩浆活动阶段的对比

根据笔者对青九复式岩体的研究和文献资料^[4~11,13],不仅各岩区的侵入活动能对比,而且围绕江南隆起区四周断续分布的中生代火山盆地中,其火山活动阶段与侵入活动阶段亦可对比(表 5,6)。特别要指出的是,各盆地最早的燕山期火山活动比本区最早的燕山期侵入活动要晚些(图 1),即火山活动时间仅相当于侵入活动第 2 到第 4 阶段。各盆地底部火山岩系最老年龄为 136 Ma^[13],比本区同时代最早侵入活动约晚 17 Ma。这表明一地区隆升,必然引起相邻地区薄弱部位凹陷,当某些断裂加深时,诱发岩浆喷发。此外,从图 1 还可看出侵入活动由南东向北西方向转移。即大别区无第一阶段(青阳期)侵入体。这样的格局并非偶然,可能说明应力传递总的方向是由南东向西北方向进行的。

3 各岩区侵入体岩石学和地球化学对比

根据笔者研究及文献资料,中生代隆起区、凹陷区和过渡区侵入体的岩石学和地球化学特征差异明显,主要表现在以下方面:

(1)岩性组合不同:江南(隆起)区为 $\gamma\delta - \eta\gamma - \varepsilon\gamma$;沿江(过渡)区为 $\delta - \delta_0 - \gamma\delta$;庐枞(凹陷)区为 $\eta - \eta_0 - \xi_0$ 。相应一系列地球化学特点差异亦明显。

(2)在 $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 变异图上,江南区和大别区侵入岩的图点一般位于右侧,表明隆起区的酸度大,沿江区侵入岩的图点位于左侧,表明过渡区侵入岩的酸度低,而庐枞区侵入岩的图点位于图的中部最上方,表明凹陷区的碱度高(图 2)。

(3)在 $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) - \text{CaO}$ 变异图上(图 3),江南区和大别区的图点位于该图左下角,表明隆起区侵入岩这两种氧化物含量低。铜陵和安庆区(过渡区)的图点位于该图右上角,表明过渡区侵入岩这两种氧化物含量比隆起区高。庐枞区图点紧靠江南区上方,表明在 CaO 相同条件下,该凹陷区的 Fe_2O_3 含量比江南区略高。

表5 长江中下游不同期次的岩浆侵入活动

Table 5 Various emplacement stages of granitoid in middle-lower reach of the Yangtze River

岩区	期(阶段/Ma)	岩体及同位素年龄/Ma	主要岩性
江南区	1(140~155)	青阳(R153,Ar144),旌德(R147,Ar139),云岭(Kb141),太平(Ar137),榔桥(Kb140),黟县(141,140)	$\gamma\delta$
	2(120~135)	九华山(R123),五岭(R128),谭山(R124),城安	$\eta\gamma$
	3(100~115)	巴山(R110),天台山(R114),茅坦,大历山	$\xi\gamma$
沿江区	1(140~155)	月山(R147,Kb138),总铺(R143,Kb132),扬山(R146,Kb132),金山(Kb145),桐官山(Ar137),金口岭(Ar137),白芒山(Ar137),冬瓜山(Ar136),胡村(Ar140),舒家店(Ar138),湖城润(Ar140),天鹅抱蛋(Kb143),老庙基(Kb148),	$\delta-\delta o$
	2(120~135)	洪镇(R124,Kb122)	$\eta\gamma$
庐枞区	1(140~155)	巴家滩(R150)	$\eta-\eta o$
	2(120~135)	黄梅尖(R133),矾山-石马滩(130),大龙山(R136),城山(R135),昆山(R133)	$\eta o-\xi-\xi o$
大别区	2(120~130)	天堂寨(Zr124),主簿(R124),白马尖(124),乱泥滩(R124),万山(122~128)	$\eta\gamma$
	3(100~115)	绿杨(Zr122),大同(Kb110),木子店(113),天柱山	$\eta\gamma,\gamma$

注:R为Rb-Sr年龄;Ar为⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄;Kb为黑云母K-Ar年龄;Zr为锆石U-Pb年龄。

表6 长江中下游不同期次的岩浆喷出活动

Table 6 Various eruption stages of granitoid in middle-lower reach of the Yangtze River

火山盆地	火山活动阶段	与侵入活动相应阶段	火山岩地层及同位素年龄/Ma
深水区	1	2~3	龙王山组(K-Ar 105~122)
	2	2	东芦山组(K-Ar 黑云母 121)
	3	3	观山组(K-Ar 黑云母 105)
	4	3~4	甲山组(K-Ar 黑云母 99)
宁芜	1	1~2	龙王山组(Rb-Sr 全岩 136)
	2	2	大王山组(K-Ar 黑云母 124.6)
	3	3	姑山组(K-Ar 全岩 115.7)
	4	3~4	娘娘山组(K-Ar 94~108)
庐枞	1	2	砖桥组(K-Ar 黑云母 133)
	2	3	双庙组(K-Ar 全岩 115)
	3	3	浮山组(K-Ar 黑云母 113)
寿昌	1	1~2	劳村组(Rb-Sr 全岩 136)
	2	2	黄尖组(K-Ar 全岩 128)
	3	2~3	寿昌组(K-Ar 全岩 118~123)

(4)在 $\delta\text{Eu}-\text{La}/\text{Yb}$ 变异图上,沿江区侵入岩图点位于右侧且图点位置相对较高,表明 δEu 值大(0.92~1.4),富轻稀土(La/Yb 12~40);江南区侵入岩图点位于左侧,图点位置较低,且分两个亚区。花

岗闪长岩 δEu 值 0.8~0.9, La/Yb 多为 10~20; 二长花岗岩 δEu 值多为 0.2~0.6, 仅少数为 0.8, La/Yb 2~20; 庐枞区侵入岩图点位于图的中部, La/Yb 与江南区无明显差别(图 4)。

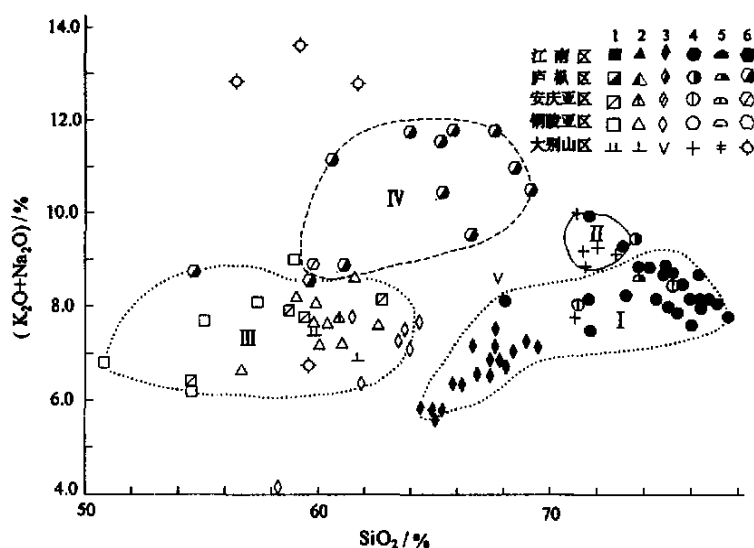


图 2 侵入岩 $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 图

Fig.2 SiO_2 vs. $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ of granitoid

I - 江南区; II - 大别区; III - 沿江区; IV - 庐枞区

1. 闪长岩; 2. 石英闪长岩; 3. 花岗闪长岩; 4. 二长花岗岩、花岗岩; 5. 碱长花岗岩; 6. 二长岩、石英二长岩、正长岩、石英正长岩

(5) 在 $\epsilon_{\text{Nd}} - \epsilon_{\text{Sr}}$ 变异图上, 几个岩区的投影点均落入壳源区分布范围, $\epsilon_{\text{Sr}} > +20$, $\epsilon_{\text{Nd}} < -5$ 。各区图点集中位置却有差异。江南区花岗岩类 $\epsilon_{\text{Nd}} -6$ 至 -10 , $\epsilon_{\text{Sr}} +40$ 至 $+100$; 沿江花岗岩类 $\epsilon_{\text{Nd}} -6$ 至 -16 , $\epsilon_{\text{Sr}} +20$ 至 $+70$; 庐枞花岗岩类 $\epsilon_{\text{Nd}} -3$ 至 -8 , $\epsilon_{\text{Sr}} +5$ 至 $+25$ 。表明后者有地幔物质参与(图 5)^[14]。

(6) 在铅同位素变异图上所有投影点亦落入壳源区。江南区花岗岩类的投影点位置较高, 落入南岭区花岗岩类铅同位素成分范围, 反映放射性铅的含量较高。沿江区和庐枞区花岗岩类的铅同位素差异甚微, 二者放射性铅含量明显比江南区低(投影点位置低), 更接近幔源铅同位素分布区。大别隆起区花岗岩类投影点落入燕辽区花岗岩类铅同位素分布区, 其放射性铅含量最低(图 6)。

综上所述, 除黄山花岗岩具有 S 型系列特征外, 其余闪长岩类和花岗岩类均具 I 型系列特征。

万方数据

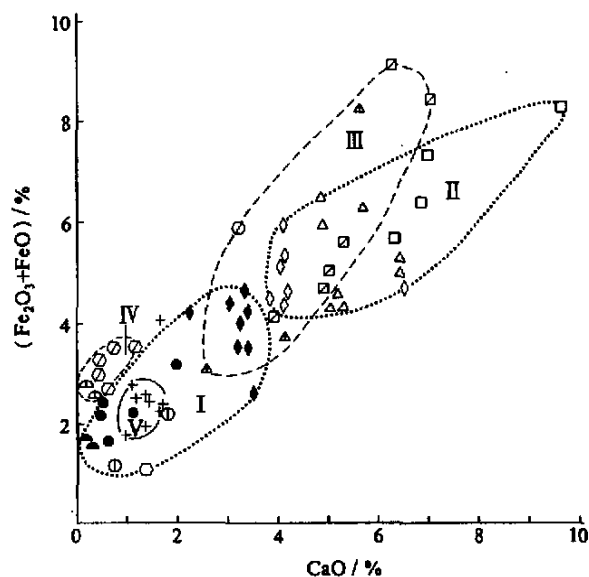
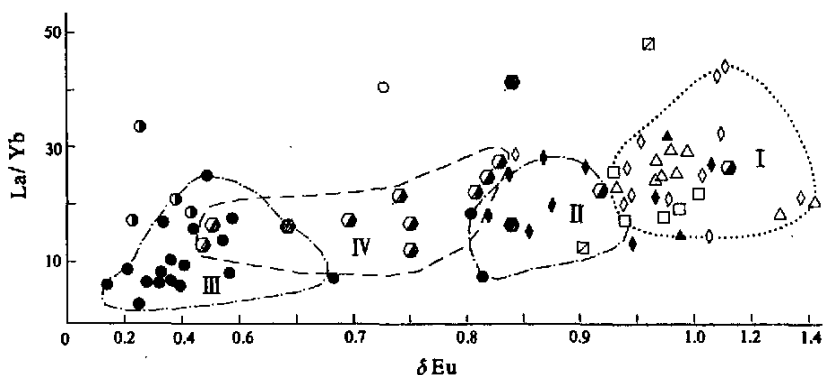


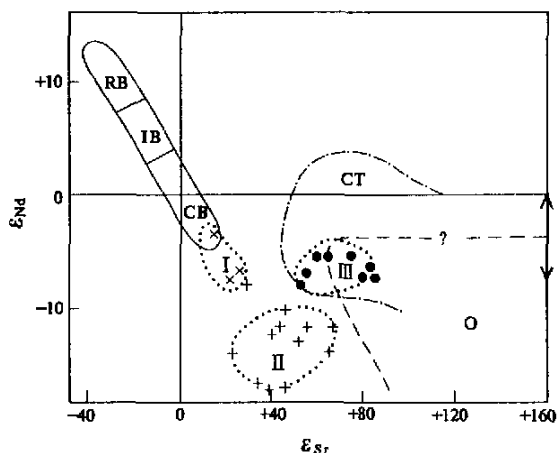
图 3 侵入岩 $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) - \text{CaO}$ 图

Fig.3 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ vs. CaO of granitoid

I - 江南区; II - 铜陵区; III - 安庆区;
IV - 庐枞区; V - 大别区 (岩性符号同图 2)

图4 侵入岩 δEu - La/Yb 图Fig.4 δEu vs. La/Yb of granitoid

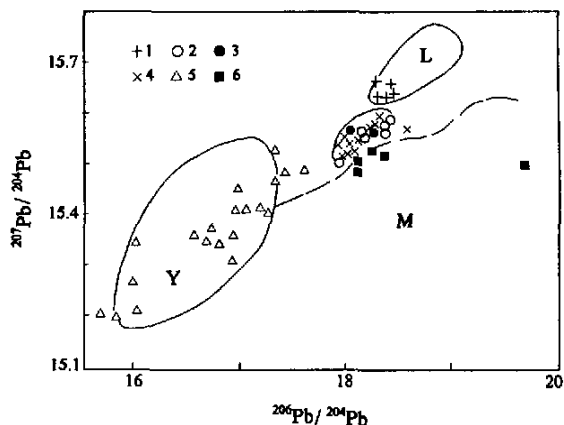
I - 沿江地区侵入岩; II - 江南区花岗闪长岩; III - 江南区二长花岗岩; IV - 庐枞区侵入岩 (岩性符号同图2)

图5 花岗岩类、闪长岩类 ϵ_{Sr} - ϵ_{Nd} 图Fig.5 ϵ_{Sr} - ϵ_{Nd} of granitoid and diorite

I - 庐枞区; II - 沿江地区; III - 江南区;

RB - 洋中脊玄武岩; IB - 洋岛玄武岩; CB - 大陆玄武岩;

CT - 壳源区; O - 海洋沉积物区; $\longleftrightarrow$ 前寒武纪基底成分范围

图6 长石 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图Fig.6 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ of feldspar

1. 江南区($\gamma\delta, \gamma$); 2. 沿江地区($\delta, \delta\delta, \gamma\delta, \gamma\gamma$); 3. 沿江地区包体;
4. 庐枞区($\eta, \eta\delta, \epsilon, \epsilon\delta$); 5. 皖、鄂、大别区($\eta\gamma, \gamma$); 6. 西准葛尔蛇绿岩套中斜长花岗岩; L - 南岭; Y - 燕山; M - 幔源区

4 岩浆来源和成岩机制

如前所述,各岩区在岩石组合、岩石化学、稀土元素、矿物化学及锶、钕、铅同位素方面均有差异,不难看出各岩区岩浆来源和性质是不同的。江南区花岗岩类岩浆来源于中地壳下部或下地壳上部,沿江地区和庐枞区的中性岩类,其岩浆来源于下地壳中、下部。部分具幔-壳混合特征,部分具壳-壳混合特征(即大别与江南隆起陆壳物质混合)。

关于成岩机制问题首先讨论的是本区岩浆侵入活动与印支运动的关系。本世纪50—70年代,由于测年技术在我国刚刚起步,测试误差较大。另一方面,传统观念的影响力量巨大,总认为岩浆侵入活动受控

于构造运动。多年来不少文献把大别隆起区燕山期花岗岩侵入体看成是前寒武纪侵入体,把本区闪长岩和花岗闪长岩作为印支期侵入体。十余年来,大量的年龄测试数据表明,在本区未发现印支期的闪长岩和花岗岩侵入体。近几年流行一种看法,即三叠纪末存在扬子与华北两大板块陆-陆碰撞造山活动,主要是以兰闪石或榴辉岩 Sm-Nd 等时线年龄为依据^[15]。从沉积和褶皱构造记录来看,印支运动在本区是存在的,但运动性质有争议^[16]。从早中三叠纪沉积等厚线趋势图可看出在大别地区南部(武汉与合肥之间)可能仍有海相沉积, T₁ 和 T₂ 沉积盆地有由东向西转移的趋势,三叠纪海退是由东向西进行的,即在现今江苏境内先抬升为陆,加上此时期缺乏中性和酸性岩浆活动的地质记录,因此,华北和扬子两板块在印支期碰撞是缓慢的逐渐接近,主要导致沉积层褶皱与抬升,岩石圈最上部缩短加厚与变薄,地表隆起与凹陷。侏罗和白垩纪陆相盆地零散分布与此背景有关。

另外还有一个重要地质现象值得注意,即晚侏罗-早白垩火山盆地围绕江南隆起区周边呈断续环状分布,岩系底部火山岩成岩年龄比隆起区第一阶段侵入体的定位年龄晚 15~20 Ma。由此推论,江南隆起区在地壳加厚条件下引起部分熔融(减压、增温熔融),岩浆上侵又加剧了隆升速度和幅度,使隆起区周边引力不平衡,断裂加深,引发盆地火山爆发。目前,大别和江南隆起区莫霍面深度 34~36 km,而沿江区和庐枞区仅为 32~31 km,相应两隆起区具负布格重力异常。这一现象反映隆起区上地幔目前具高密度,而在中生代中期可能为低密度的热地幔。由于它的存在,中下地壳熔融加快,岩浆上侵的反推力作用以及地幔的散失使该区上地幔的密度变大而下沉,因而隆起区莫霍面较深。

本区燕山期的岩浆活动与印支期陆-陆碰撞并无直接联系。侵入体分布与褶皱构造不协调,是褶皱之后沿断裂侵位。岩浆上侵具有主动意义,但到地壳浅部又具有被动侵位的某些特征(如岩体具块状构造,就地围岩捕虏体极少等)。复式岩体早晚阶段岩性差异既有由分异作用形成(如青阳与九华岩体),亦有由岩浆源向上转移由源岩成分和熔融度不同造成(如太平与黄山岩体)。

本专题研究工作,得到郭文魁院士指导,谢齐文和邢凤鸣高级工程师给予热情帮助,安徽地矿局 324 队提供部分原始资料,参加野外工作的还有姚王鹏同志,特此致谢。

参考文献:

- [1] 张德全,徐洪林. 安徽青九复式岩体的地质学和地球化学[A]. 地学研究(29-30号)[M]. 北京:地质出版社, 1997. 213—229.
- [2] 周珣若,任进. 长江中下游中生代花岗岩[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [3] 张德全,孙桂英. 中国东部花岗岩[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1988.
- [4] 李石,王彤. 桐柏山-大别山花岗岩类地球化学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991.
- [5] 翟建平. 昆山城山大龙山岩体的锆同位素特征及成因研究[J]. 地球化学,1989,(3):202—209.
- [6] 邢凤鸣. 安徽沿江中生代侵入岩的基本特征[J]. 安徽地质,1991,1(1).
- [7] 张祖还,沈渭洲,章邦桐. 黄梅尖岩体成岩作用的锆同位素研究[J]. 岩矿测试,1984,3(1):26—32.
- [8] 王小平,李坤英. 湖北黄梅乱泥滩花岗岩的同位素年龄及成因初析[J]. 南京地质矿产研究所所刊,1983,12(1).
- [9] 周泰禧,等. 安徽铜陵铜官山矿田火成岩的同位素地质年龄[J]. 中国科学技术大学学报,1987,17:403—407.
- [10] 杨勇,等. 安徽庐枞地区巴家滩火山-侵入体的岩浆来源[J]. 地球化学,1993,(2):197—202.
- [11] 董树文,等. 安庆月山地区构造作用与岩浆活动[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [12] Stormer. A practical two feldspar geothermometer. Am Mineral, 1975, 60: 667—674.
- [13] 邓晋福,等. 下扬子地区火山作用深部过程与盆地形成[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992.
- [14] 樊祺诚,等. 中国上地幔角闪石及其成因意义[J]. 矿物学报,1992,12(2).
- [15] 李曙光. 论华北与扬子陆块的碰撞时代[J]. 安徽地质,1992,2:13—22.
- [16] 鞠魁祥. 长江中下游印支运动性质问题[J]. 南京地质矿产研究所所刊,1987,8(1).

Geological and geochemical contrastive study on the granitoids from middle-lower reach of the Yangtze River

ZHANG De-quan, XU Hong-lin

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geosciences, Beijing 100037, China*)

Abstract: Geological and geochemical contrastive study of granitoids from Anhui Province shows that granitic magma for the Jiangnan(South Yangtze River) uplifted area might be derived from the middle-lower crust and intermediate magma for the Tongling-Anqing upwifted-downwarping transition region and the Luzong volcanic basin was derived from the middle-lower part of the lower crust and partly shows crust-mantle magma. Magmatism in this area happened during the Mesozoic and shows no direct relationships with the Indosinian continent-continent collusion but related to post-Indosinian rifting.

Key words: granitoid; geochemistry; middle-lower reach of the Yangtze River