

苏北东海花岗质岩石中主要造岩 矿物和副矿物的地球化学特征

汪建明 李康强 杨年强 丁桂春

(江苏地矿局中心实验室)

主题词: 花岗岩类岩石, 矿物地球化学, 苏北

提 要: 苏北东海地区主侵入花岗岩类岩石属I型花岗岩类。其主要造岩矿物为阳起角闪石、富镁黑云母、更长石、钾长石和石英。主要副矿物为榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿等。主侵入岩体的形成温度为910—690℃, $\log f_{\text{O}_2} = -12$, $f_{\text{H}_2\text{O}} = (1.3-1.8) \times 10^8 \text{Pa}$, $\log (f_{\text{H}_2\text{O}}/f_{\text{HF}}) = 3-4$ 。第一类过渡元素富集于角闪石、黑云母和榍石中, 而在更长石、钾长石和石英中明显亏损。由于榍石、角闪石、黑云母和更长石对全岩REE含量的贡献最大, 因此它们控制了本区花岗岩类岩石的稀土配分模式。前三者富重稀土, 负Eu异常较强, 斜长石相对富轻稀土, 并表现为正Eu

异常。因此可以认为随着花岗岩浆中铁镁矿物和斜长石的分离,将会导致残余岩浆中第一类过渡元素、重稀土元素和Eu的亏损。

苏北东海地区位于郯庐断裂带东侧,响水-嘉山断裂带以西,燕山晚期岩浆活动受郯庐断裂带次一级NNE向断裂控制。岩浆活动分二个阶段:早阶段有三次侵入,第一次是石英二长闪长岩类,第二次(主侵入期)为石英二长岩-二长花岗岩类(111—129Ma),第三次花岗岩闪长岩-二长花岗岩类(104.7 Ma),属I型花岗岩类;晚阶段为碱长花岗岩(96 Ma),岩石中晶洞发育,其岩石学和地球化学特征相当于山东崂山A型花岗岩^①。本文研究的主要造岩矿物和副矿物均取自早阶段第二次主侵入岩体。岩体呈NNE向展布,分布面积大于400 km²,占全区岩浆岩总分布面积的95%以上。

一、主侵入岩的岩石学特征

主侵入岩主要为粒状、花岗结构及似斑状结构。铁镁矿物为阳起角闪石和富镁黑云母。斜长石主要是中-更长石,环带构造发育,利用X射线衍射测得斜长石有序度为0.73—0.81,平均0.76(4件)。钾长石多为条纹长石,单斜有序度(ΔZ)为0.59—0.62,三斜有序度(ΔY)为0.003—0.100,属高微斜-中正条纹长石(3件)^②。副矿物占岩石总量的1—2%左右,以磁铁矿、榍石、磷灰石和锆石为主,占副矿物总量的98%以上。主要造岩矿物中以角闪石结晶最早,其次是黑云母、斜长石、钾长石和石英。副矿物榍石和磷灰石多为自形晶,常被角闪石和黑云母包裹。

主侵入岩的平均化学成分见表1。全岩 $Al_2O_3/Na_2O + K_2O + CaO(mol) < 1$,赖特碱度指

表1 主侵入岩的矿物含量和化学成分

Table 1 Mineral content and chemical composition of the main intrusive rocks

角闪石	黑云母	斜长石	钾长石	石英	磁铁矿	榍石	磷灰石	锆石(%)								
3.81	5.42	36.64	33.19	19.05	0.75	0.14	0.03	0.01								
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	CO ₂	F	Cl	H ₂ O	Σ(wt%)	
65.50	0.52	15.54	1.77	2.18	0.073	1.57	3.09	4.17	4.03	2.01	0.19	0.062	0.015	0.69	99.60	
Li	Rb	Sr	Ba	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Zr	Ga	Nb(ppm)	
17.9	107	617	1594	2.3	8.7	65.3	24.6	10.3	16.8	37.7	68.6	49.7	196	23.4	21.0	
La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE/HREE	Eu/Eu*
53.4	105.7	10.6	38.2	6.3	1.50	4.9	0.7	3.5	0.6	1.8	1.7	0.3	16.9	246.4	7.03	0.80

* 主要造岩矿物和副矿物含量分别为51件和8件样品实测平均值。化学成分为13件样品平均值,由本室化学和光谱分室测试。

① 王鹤年等,1986年,青岛-崂山A型花岗岩的地质地球化学特征。

② 彭长琪等,1982年,X射线粉晶衍射研究钾长石的方法及其实际意义。中南地质,第1期,第63—72页。

数2.26—2.93,属铝不饱和的钙质至弱碱质过渡类型。稀土配分模型为轻稀土富集型,负Eu异常极弱(表1,图3)。全岩($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀ = 0.7082, $\delta^{18}\text{O}$ = +6.50—+9.34‰,平均8.03‰(8件),属I型花岗岩类。

二、主要造岩矿物的化学成分和成岩环境的估算

主要造岩矿物成分列于表2和表3。钾长石的端员组份An含量最高不超过2.09%,主要是Ab和Or组份之间的相对变化,范围可达14%。斜长石中Or组份在7.32%以下,而Ab和An含量相对变化较大,可达27%(图1)。

表2 主侵入岩中钾长石和斜长石的电子探针分析

Table 2 Electron microprobe analyses of plagioclase and K-feldspar from the main intrusive rocks

矿物	钾长石														
编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂ (wt%)	65.04	61.63	65.22	63.51	60.86	62.96	66.10	62.82	67.66	63.20	61.62	62.70	67.13	62.72	60.76
TiO ₂	0.02	0.35	—	0.97	0.73	0.54	—	0.24	0.01	0.04	0.13	—	—	1.36	0.73
Al ₂ O ₃	18.46	20.64	19.24	18.91	22.12	20.55	18.05	19.51	20.09	20.30	22.11	20.92	19.58	20.86	22.34
FeO	0.14	0.02	—	0.04	0.02	0.03	—	0.26	0.09	0.08	—	0.04	0.05	—	0.30
MnO	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MgO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CaO	0.42	0.25	0.10	0.26	0.09	0.10	0.17	0.22	0.24	0.18	0.07	0.03	0.10	0.10	0.28
Na ₂ O	3.14	4.36	3.07	2.83	4.27	3.12	2.61	3.72	3.22	3.81	3.97	2.66	3.57	3.04	3.94
K ₂ O	11.78	12.73	11.51	13.48	11.90	12.70	13.08	13.19	8.66	12.32	12.09	13.63	9.48	11.92	11.65
Σ	99.01	99.98	99.14	100.0	99.99	100.00	100.01	99.96	99.97	99.93	99.99	99.98	99.91	100.00	100.00
An	2.08	1.06	0.50	1.20	0.38	0.50	0.82	0.95	1.46	0.81	0.31	0.13	0.57	0.51	1.33
Ab	28.23	33.88	28.71	23.91	35.22	27.06	23.06	29.73	35.57	31.07	33.17	22.84	36.20	27.76	33.48
Or	69.69	65.04	70.79	74.89	64.40	72.44	76.12	69.32	62.97	67.49	66.52	77.03	63.23	71.73	65.19

矿物	斜长石														
编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂ (wt%)	60.60	57.61	64.17	62.95	61.72	59.69	63.71	60.99	64.53	58.20	57.31	58.50	63.20	58.09	56.82
TiO ₂	0.02	—	—	0.05	—	—	—	—	—	0.05	0.08	—	—	—	0.09
Al ₂ O ₃	23.86	27.52	23.76	24.41	24.82	26.70	23.90	25.39	25.16	27.73	28.35	27.91	24.92	28.75	28.78
FeO	0.28	0.48	—	0.27	0.24	0.25	0.18	0.15	0.02	0.75	0.24	0.07	—	0.10	0.28
MnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01
MgO	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CaO	5.90	6.34	3.99	4.61	4.78	4.87	4.48	5.15	2.99	5.28	5.14	6.10	4.85	6.37	4.66
Na ₂ O	7.56	6.79	7.54	7.10	7.82	8.11	7.16	7.77	6.84	7.12	8.19	6.69	6.74	6.07	8.25
K ₂ O	0.89	1.24	0.50	0.61	0.63	0.38	0.55	0.53	0.26	0.84	0.60	0.64	0.25	0.61	0.72
Σ	99.16	99.98	99.96	100.00	100.01	100.00	99.98	99.98	99.80	99.97	99.91	99.91	99.96	99.99	99.61
An	44.47	31.58	21.88	25.38	24.31	24.34	24.80	25.98	19.05	27.59	24.90	32.12	28.00	35.22	22.79
Ab	51.54	61.10	74.84	70.63	71.89	73.40	71.61	70.87	78.94	67.23	71.66	63.83	70.32	60.73	72.99
Or	3.99	7.32	3.28	3.99	3.80	2.26	3.59	3.15	2.01	5.18	3.44	4.05	1.68	4.05	4.22

分析者: 广东地矿局中心实验室季荣桂和本室张淑君工程师。

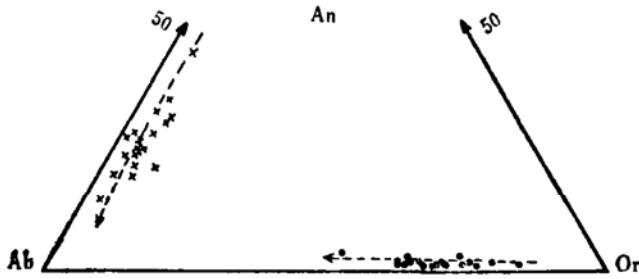


图 1 钾长石和斜长石成分投影图

Fig. 1 Projection of composition of K-feldspar and plagioclase

×为斜长石; •为钾长石

共存的钾长石和斜长石中钠长石端员分子的分配是其结晶温度的函数。由电子探针分析结果计算获得两种长石中钠长石克分子分数,据Whitney (1977) 两种长石地质温度计估算长石的结晶温度为690—910°C, 平均750°C⁽¹⁾。鉴于长石不是岩体中最早结晶的矿物相, 故这一温度只能代表岩浆结晶温度的下限, 初始岩浆温度可能更高。

主侵入花岗岩类岩石中的黑云母是富镁黑云母, 以三八面体结构为主混有少量二八面体固溶体, $\Sigma Y = 5.49—5.96$

(表3)。黑云母结晶一般早于长石矿物, 但由于黑云母结晶期较长, 有部分黑云母可延续到与长石同时结晶。两种长石的结晶温度可近似地代表黑云母的结晶温度, 故设黑云母结晶温度的下限为750°C, 估算出黑云母结晶的氧逸度环境, $\log f_{O_2} = -12$ ⁽²⁾。根据主侵入岩中黑云母-磁铁矿-碱性长石组合, 其黑云母与水逸度关系式(1)⁽²⁾可估算出岩浆的水逸度。

$$\log f_{H_2O} = \frac{3428 - 4212(1 - x^2)}{T(K)} + \log x + \frac{1}{2} \log f_{O_2} + 8.23 -$$

$$\log \alpha_{KA1Si_3O_8} - \log \alpha_{Fe_3O_4} \dots \dots \dots (1)$$

式中 $T(K)$ 为绝对温度, x 为黑云母6次配位阳离子中 Fe^{2+} 的离子分数, α 为活度。若碱性长石和磁铁矿为纯物质, 则活度为1。设温度为750°C, $\log f_{O_2} = -12$, 由表3计算得 $x = 0.31—0.33$ 。按式(1)求得黑云母结晶的水逸度环境为 $f_{H_2O} = (1.3—1.8) \times 10^8 Pa$ 。

主侵入花岗质岩浆结晶时, 黑云母与体流相 $F \rightleftharpoons OH$ 交换由下式表达:



F 与金云母分子数的关系, 可估算出共存流体相中 f_{H_2O}/f_{HF} 比值⁽³⁾。式(2)中 $T(K)$ 为绝对温度, X_{Mg} 为黑云母中金云母克分子数, $(X_F/X_{OH})_{Bi}$ 为黑云母中 F 和 OH 克分子比。若黑云

$$\log(f_{H_2O}/f_{HF})_{流相} = \frac{2552}{T(K)} - 0.31 + (X_{Mg})^{3/2} \cdot \left(\frac{536}{T(K)} + 0.72 \right) - \log(X_F/X_{OH})_{Bi} \dots \dots (2)$$

母与熔浆的 $F \rightleftharpoons OH$ 交换温度平均为750°C, $X_{Mg} = 0.55—0.58$ (表3)。由式(2)估算共存流体相的 $\log(f_{H_2O}/f_{HF}) = 3—4$, 主侵入花岗质岩浆具有相对高的水逸度和极低的气逸度。

主侵入岩的角闪石为阳起角闪石。角闪石与黑云母共存对的 $F-OH$ 分配率

$$\left(K_D = \frac{F/OH(Bi)}{F/OH(Ho)} \right) \text{为} 0.78—1.09, \text{平均} 0.88, \text{角闪石与黑云母 } F-OH \text{ 交换近于平衡。角}$$

闪石 $Fe^{3+}/Fe^{2+} = 0.11—0.18$, 与黑云母 $Fe^{3+}/Fe^{2+} = 0.20—0.22$ 二者基本一致。说明在岩浆结晶过程中 f_{H_2O}/f_{HF} 和 f_{O_2} 没有明显的变化。

表3 角闪石和黑云母的化学成分(重量%)
Table 3 Chemical composition of amphibole and biotite (wt%)

矿 物	角 闪 石				黑 云 母			
	编 号	b-001	b-014	b-019	b-380	b-014	b-019	Zk701-2
SiO ₂		48.96	49.30	49.80	52.80	37.26	37.26	36.53
TiO ₂		0.90	1.00	1.10	0.98	3.18	3.84	3.82
Al ₂ O ₃		5.84	6.45	5.39	4.22	14.71	12.80	13.94
Fe ₂ O ₃		1.57	1.96	1.82	1.89	3.32	3.50	3.46
FeO		12.84	12.74	11.75	9.40	15.12	14.60	14.34
MnO		0.59	0.47	0.58	0.41	0.46	0.44	0.40
MgO		14.00	13.00	14.25	15.75	12.20	13.65	13.20
CaO		11.38	11.18	11.80	11.48	0.63	2.55	0.92
Na ₂ O		1.14	1.26	1.08	0.88	0.08	0.30	0.16
K ₂ O		0.58	0.62	0.74	0.46	9.32	6.50	9.20
H ₂ O ⁺		0.82	1.42	1.67	1.43	2.46	4.15	2.48
F		0.25	0.26	0.27	0.31	0.49	0.48	0.46
Σ		98.87	99.66	100.25	100.01	99.23	100.07	98.91
以24(O)为基础								
Si		7.33	7.27	7.27	7.59	5.74	5.54	5.64
Al ^{IV}		0.67	0.73	0.73	0.41	2.26	2.24	2.36
Ti ^{IV}							0.22	
Al ^{VI}		0.36	0.39	0.20	0.30	0.41		0.18
Ti ^{VI}		0.10	0.11	0.12	0.11	0.37	0.21	0.44
Fe ³⁺		0.18	0.22	0.20	0.20	0.38	0.39	0.40
Fe ²⁺		1.61	1.57	1.43	1.13	1.94	1.81	1.85
Mn		0.09	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05
Mg		3.12	2.85	3.10	3.37	2.80	3.02	3.04
Ca		1.83	1.76	1.84	1.77	0.10	0.41	0.15
Na		0.33	0.36	0.31	0.25	0.02	0.09	0.05
K		0.11	0.12	0.14	0.08	1.83	1.23	1.81
OH ⁻		0.82	1.40	1.62	1.37	2.52	4.11	2.55
F ⁻		0.12	0.12	0.13	0.14	0.24	0.23	0.22

(分析者: 本室化学分析室单矿物分析组)

三、主要造岩矿物和副矿物的微量元素

岩体中的造岩矿物结晶顺序是角闪石、黑云母、斜长石、钾长石和石英, 它们的微量元素丰度亦呈有规律的变化(表4)。以全岩平均微量元素丰度(近似地代表岩浆中微量元素含量)为标准对各主要造岩矿物和副矿物的微量元素丰度标准化(见图2)。在岩浆结晶过程中, 第一类过渡元素主要是置换铁镁矿物中的6次配位阳离子, 故早期结晶的角闪石、黑云母和副矿物榍石中这些元素的丰度最高, 在残余岩浆中则发生亏损。因此在岩浆结晶过程中, 过渡元素的亏损主要是受铁镁矿物分离结晶作用的控制。

微量元素Rb主要分配在黑云母中, 其次是钾长石。Ba则以钾长石和黑云母为主, 而Sr的分配则以斜长石为主, 钾长石为次(表5)^[4]。本区主侵入岩中黑云母和钾长石极富Rb和Ba, 而斜长石则富Sr(图2)。由此可见在岩浆结晶过程中, Sr和Rb、Ba的分离主要受斜

表4 主要造岩矿物和副矿物的微量元素

Table 4 Trace element analyses of major rock-forming minerals and accessory minerals

矿 物	角 闪 石	黑 云 母	斜 长 石	钾 长 石	石 英	磷 灰 石	榴 石
样 品 数	6	8	4	4	1	1	3
Rb(ppm)	2.5	447.5	32.5	256.7			
Sr	45.67	45.26	1210.3	440.7		405	318
Ba	98.73	1373.27	931.5	4520		192	—
Li	2.83	79.13	8.1	7.1		11.1	12.2
Be	1.90	0.43	2.94	0.96		1.46	—
Sc	42.02	8.30	2.06	0.80		10.4	64.0
V	91.02	111.55	9.27	5.46		24.8	711.7
Cr	39.99	34.17	1.18	—		55.6	54.4
Co	21.33	33.00	6.01	7.67		6.49	—
Ni	27.68	45.81	9.10	4.67		7.53	88.6
Cu	13.00	12.72	—	—		—	337.3
Zn	120.30	222.15	4.58	2.10		—	98.3
Pb	4.38	14.58	46.95	69.30		—	—
P	144.27	412.29	176.7	220.3		177728	460
Ga	11.11	17.33	33.1	30.7		43.2	38.0
Nb	6.93	14.74	2.60	14.50		10.7	1363
La	66.59	30.84	24.44	7.87	4.12	950.4	2146.6
Ce	137.50	48.16	32.94	6.43	4.60	1682.1	3361.4
Pr	17.11	4.82	3.26	0.70	0.78	175.9	959.3
Nd	70.87	15.99	11.21	3.48	2.19	628.8	3410.8
Sm	14.70	2.60	1.51	0.39		87.7	714.9
Eu	2.84	0.50	1.42	0.51	0.086	17.56	160.32
Gd	14.47	2.46	0.99	0.20		74.9	584.9
Tb	2.36	0.41	0.11		0.047	8.8	110.6
Dy	10.70	1.62	0.71	0.19		40.4	353.8
Ho	1.93	0.29	0.12			8.8	71.3
Er	7.34	1.35	0.24	0.29		11.2	122.5
Yb	4.40	0.75	0.34	0.13	0.33	18.7	133.4
Lu	0.62	0.12	0.045	0.02	0.34	2.8	15.5
Y	45.42	6.78	3.56	1.44	0.74	217.2	1499.4
ΣREE	396.85	116.69	81.30	21.65		3925.3	13644.7
LREE/HREE	7.40	14.70	25.26	23.35		21.39	7.73
Eu/Eu*	0.59	0.60	3.37	5.04		0.65	0.74

测试方法: Rb 为原子吸收光谱分析, 其它元素均为电感耦合等离子体直读光谱仪分析。

测试者: 本室化学和光谱分室。

长石结晶分离的控制。

本区早阶段各次侵入岩的稀土配分模式均属于轻稀土富集型。负Eu异常较弱。随着岩浆的演化LREE/HREE 逐渐增大, 负Eu 异常逐渐增强, 并且与岩石的色率、An 和榴石的含量有明显的相关性(表6)。反映了铁镁矿物、斜长石和榴石的分离结晶会导致稀土元素的分馏。

图 2 全岩标准化的主要造岩矿物和副矿物微量元素对比图
 Fig. 2 Comparison in whole rock normalized trace elements between major rock-forming minerals and accessory minerals
 注: 括号内为分析样品件数。

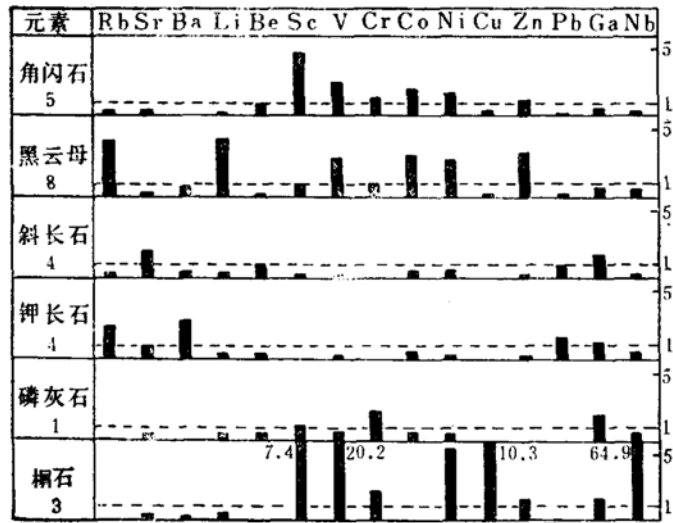


表 5 英安质和流纹质岩石中造岩矿物的 K_D 值 (矿物/熔浆)
 Table 5 K_D (mineral/melt) of common rock-forming minerals from dacitic and rhyolitic rocks

分配率 K_D / 元素	角 闪 石	黑 云 母	斜 长 石	钾 长 石
Rb	0.041	3.26	0.041	0.659
Sr	0.22	0.12	4.4	3.87
Ba	0.044	6.36	0.31	6.12

(据 G.N. Namson, 1978)

表 6 各次侵入岩中稀土元素特征参数
 Table 6 Diagnostic parameters of REE in intrusive rocks of various stages

侵入顺序	样品数	Σ REE (ppm)	LREE/HREE	Eu/Eu*	色 率 %	An %	榍 石 %
第一次	4	449.3	5.74	0.81	13.65	18.98	0.60
第二次	13	246.4	7.03	0.80	6.70	11.79	0.14
第三次	2	199.8	8.47	0.67	3.05	8.47	0.03

由图 3 可见, 主侵入岩中主要造岩矿物和副矿物与其全岩的稀土模式近似, 但稀土总量、稀土曲线的斜率和 Eu 异常有一定差别。经矿物稀土元素地球化学研究表明, 岩浆中结晶形成的这些矿物的稀土元素特征主要是受初始岩浆中稀土元素丰度和岩浆结晶过程中, 不同矿物相置换稀土元素的差异所控制。

重稀土元素主要是置换角闪石和黑云母中 6 次配位的 Mg 和 Fe, 以及榍石 (CaTi(SiO₄)(O, OH, F)) 中 7 次和 6 次配位的 Ca 和 Ti。而轻稀土元素有利于置换长石矿物中具 9 次配位的 Ca²⁺、Sr²⁺、Ba²⁺、K⁺、Na⁺ 等阳离子, 以及磷灰石 (Ca₂Ca₃(PO₄)₃(F, Cl, OH)) 中 7 次和 9 次配位的 Ca 离子。主侵入岩中角闪石、黑云母和榍石相对富重稀土, 而长石和磷灰石相对富轻稀土, 使轻、重稀土元素发生分馏。

Eu为变价元素,由于Eu²⁺离子半径较大不易进入早期结晶的副矿物和铁镁矿物中,从而残留在熔浆中,置换长石中具高次配位的Ca²⁺、Sr²⁺等阳离子,使Eu在岩浆结晶过程中发生分馏。主侵入岩中,钾长石和斜长石Eu/Eu*分别是5.04和3.37,具极强的正Eu异常,而且斜长石的ΣREE和Eu丰度是钾长石的3—4倍,故岩浆中Eu的亏损主要反映了斜长石的结晶分离。

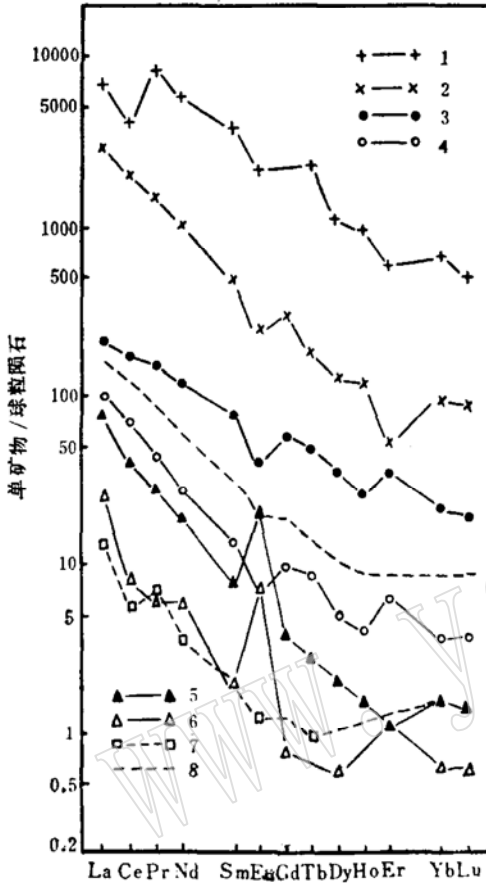


图3 球粒陨石标准化的主要造岩矿物和副矿物稀土元素模式图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of major rock-forming minerals and accessory minerals

1—榍石; 2—磷灰石; 3—角闪石; 4—黑云母;
5—斜长石; 6—钾长石; 7—石英; 8—全岩

由表1和表4可见,副矿物榍石和磷灰石以及角闪石的稀土元素丰度明显高于全岩,它们是稀土元素的重要载体。黑云母、斜长石的稀土丰度略低于全岩,而钾长石和石英则明显偏低。各主要造岩矿物和副矿物的稀土含量对全岩稀土含量的贡献率见图4。磷灰石虽然稀土丰度很高,但在岩石中相对含量极少,故不影响全岩稀土配分模式。而榍石、角闪石和斜长石稀土丰度较高,且在岩石中的含量亦较多,对全岩稀土含量的贡献最大。因此它们是控制全岩稀土配分模式的主要矿物相。

本区主侵入花岗质岩浆中榍石、角闪石的早期结晶分离,使残余岩浆产生重稀土的亏

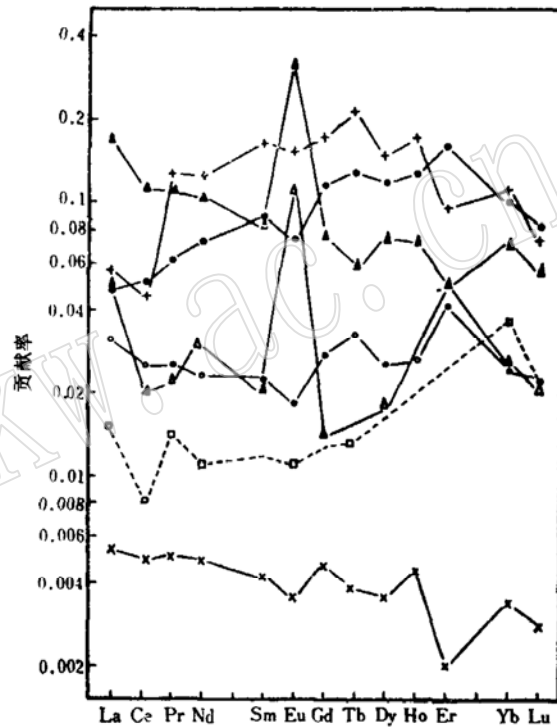


图4 主要造岩矿物和副矿物对全岩稀土元素贡献图

Fig. 4 Diagram showing contribution of major rock-forming minerals and accessory minerals to the whole rock REE abundances

图例同图3

损；而长石矿物特别是斜长石的大量结晶分离则造成残余岩浆中的Eu亏损。推论本区I型花岗质岩浆在演化过程中，稀土元素的逐渐亏损和分馏主要是受铁镁矿物和斜长石分离结晶的控制（表6）。

四、小 结

东海地区燕山晚期早阶段主侵入花岗质岩石中主要造岩矿物和副矿物地球化学研究表明：

1. 钾长石和斜长石成分主要是在Or-Ab和An-Ab范围内变化。两种长石的结晶温度平均为750℃。

2. 黑云母是富镁黑云母，其结晶环境， $\log f_{O_2} = -12$ ， $f_{H_2O} = (1.3-1.8) \times 10^8 \text{Pa}$ ， $\log(f_{H_2O}/f_{HF}) = 3-4$ 。

3. 角闪石是阳起角闪石，与黑云母F-OH交换近于平衡，两者 Fe^{3+}/Fe^{2+} 亦基本一致，表明在岩浆结晶过程中 f_{H_2O}/f_{HF} 和 f_{O_2} 没有明显变化。

4. 铁镁矿物的稀土元素和第一类过渡元素丰度较高，相对富重稀土元素；而长英质矿物稀土元素和过渡元素明显亏损，相对富轻稀土。楣石、角闪石和斜长石是控制全岩稀土配分模式的主要矿物相。第一类过渡元素、 ΣREE 和HREE的相对亏损，主要反映了铁镁矿物的结晶分离；而Eu的亏损则反映了斜长石的结晶分离。

野外地质工作与徐安中工程师、倪嘉曾、郑文荣等同志共同完成，本室重砂组、化学分室和光谱分室的有关同志帮助挑取单矿物和完成有关分析测试工作。承蒙季寿元教授审阅全文，并提出宝贵意见，在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] J. A. Whitney and J. C. Stormer, JR., 1977. The distribution of $NaAlSi_3O_8$ between coexisting microcline and plagioclase and its effect on geothermometric calculations. *Am. Mineral.*, 62, 7-8, 687-691.
- [2] D. R. Wones and H. P. Eugster, 1965. Stability of biotite; experiment, theory, and application. *Am. Mineral.*, 50, 9, 1228-1273.
- [3] J. L. Munoz and S. D. Ludington, 1974. Fluoride-hydroxyl exchange in biotite. *Am. Jour. Sci.*, 274, 4, 396-413.
- [4] G. N. Hanson, 1978. The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth and planetary science letters*, 38, 1, 26-43.

Geochemical Characteristics of the Major Rock-forming Minerals and Accessory Minerals from the Granitoids of Donghai Area, Northern Jiangsu

Wang Jianming Li Kangqiang Yang Nianqiang Ding Guichun

(Central Laboratory, Bureau of Geology and Mineral Resources
of Jiangsu province)

Key words: granitoids; geochemistry of minerals; northern Jiangsu

Abstract

The quartz monzonite-monzonitic granite masses are the main intrusive products in Donghai area, northern Jiangsu and can be classified as I-type granitoids. The major rock-forming minerals are composed of actinolitic hornblende, Mg-rich biotite, oligoclase, perthite and quartz, with sphene, apatite, zircon, magnetite etc. as chief accessories. The thermodynamic calculation indicates that the physicochemical crystallization conditions of the magma are $t = 910 - 690^{\circ}\text{C}$, $\log f_{\text{O}_2} = -12$, $f_{\text{H}_2\text{O}} = (1.3 - 1.8) \times 10^8 \text{Pa}$ and $\log(f_{\text{H}_2\text{O}}/f_{\text{HF}}) = 3 - 4$. The 1st set of transition elements are abundant in hornblende, biotite and sphene, but are obviously reduced in oligoclase, perthite and quartz. As hornblende, biotite and oligoclase play the most important part in the contribution of REE contents to the whole rocks, they control the REE distribution patterns of the rocks. These three minerals are usually rich in HREE with comparatively large negative Eu anomaly, while plagioclase is relatively rich in LREE and exhibits positive Eu anomaly. Thus, with the advance of magmatic fractionation, the mafic minerals and plagioclase will be gradually separated from each other, and this will lead to the depletion of HREE, transition elements of 1st set and Eu contents.