

# 江西庐山地区早元古代星子群变质作用和岩石地球化学特征

金文山 赵风清 甘晓春 王祖伟

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

**主题词** 星子群 变质作用 岩石地球化学 江西庐山

**提 要** 早元古代星子群遭受吕梁期以低角闪岩相为主的区域动力热流变质作用, 变质温度约为 530—600℃, 压力约为 400—570MPa。根据岩石组合及岩石地球化学特征, 推测该群形成于大陆边缘环境。

## 1 引 言

早元古代星子群分布于江西庐山东南麓及星子县境内<sup>(1)</sup>, 系江西北部唯一出露的中等变质区域变质岩系(结晶基底), 上覆中元古代彭山群浅变质岩系。1960年, 江西区调队将这组中等变质区域变质岩系称为修水群观音阁组, 与九江地区其它前震旦系浅变质岩系一起划归元古界, 并与板溪群对比。江西地矿局(1984)将其称为混合杂岩体或混合岩田, 并由中心向外划分为四个带, 即混合花岗岩带、混合岩带、混合岩化变质岩带、变质岩带。马长信<sup>(2)</sup>将其命名为星子群, 划分为上、中、下三个岩组, 归属早元古代, 徐备等<sup>(3)</sup>称其为南庐山群, 项新葵等<sup>(4)</sup>将星子群分为四个岩组, 时代推定为晚太古代。尹国圣等<sup>①</sup>和赵风清等<sup>(5)</sup>将其称为星子杂岩, 时代定为早元古代。星子群以片岩类为主, 包括(十字)石榴黑云石英片岩、(十字)石榴黑云片岩、石榴二云石英片岩、(石榴)二云片岩、绢云石英片岩等, 约占该群的70%。其次为变粒岩类, 包括(石榴)黑云斜长变粒岩、(石榴)黑云长石英变粒岩、二云斜长变粒岩等, 约占该群的15%。此外, 含少量斜长角闪岩、石英岩, 偶尔见不纯大理岩透镜体。其原岩主要为泥、砂质碎屑沉积岩, 含少量基性火山岩。本文讨论其变质作用和岩石地球化学特征及其形成的古构造环境。

## 2 变质作用

### 2.1 区域变质矿物共生组合

变基性岩类(斜长角闪岩类)的矿物共生组合为角闪石+斜长石。变粘土一半粘土岩类(片岩和变粒岩类)的矿物共生组合: 十字石+石榴石+黑云母+石英; 十字石+石榴石+黑云母+绢云母+斜长石+石英; 石榴石+黑云母+斜长石+石英; 黑云母+绢云母

• 地质矿产部“华南大陆深部地壳结构及演化”研究项目资助。

① 尹国圣等, 1993, 江西地矿局地调队庐山专题研究初步成果。  
本文于1995年6月收到, 1995年9月改回。

+斜长石+石英；十字石+黑云母+斜长石+石英。此外，在局部地区还含有矽线石和蓝晶石<sup>(4)</sup>。

## 2.2 变质矿物及矿物温压计

斜长角闪岩的2个角闪石样品(表1)为阳起角闪石和镁角闪石—阳起角闪石，在 $Al^IV-Si$ 图解(图1)中位于角闪岩相区及其上方，在 $TiO_2-Na_2O+K_2O$ 图解(图2)中位于绿帘—角闪岩相区。据Перчук<sup>(6)</sup>角闪石—斜长石温度计，一矿物对样品(522)所得温度为520℃，在Plyusnina<sup>(7)</sup>的斜长石中An含量与温度关系图解中所得温度约为555℃，在Plyusnina<sup>(7)</sup>的 $Ca^{PI}-\Sigma Al_{PIB}$ 图解中所得温度约为545℃，压力为510MPa。

表1 星子群角闪石、斜长石、十字石、石榴石、黑云母化学成分  
Table 1 Chemical composition of the amphibole, plagioclase, Staurolite, garnet and biotite from the Xingzi Group

含 量 组 份	1		2	3		
	522		Z-139	j92156		
序 号 号 物	角闪石	斜长石	角闪石*	十字石	石榴石	黑云母
SiO <sub>2</sub>	46.54	60.06	45.58	29.08	36.76	35.70
TiO <sub>2</sub>	0.58	0.78	0.63	0.48	0.06	1.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.89	24.20	11.19	52.51	20.47	20.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.67	0.30		13.56		1.37
FeO	2.77		15.22	1.14	34.78	19.00
MnO	0.20		0.24	0.01	2.88	0.02
MgO	12.85		10.69	1.58	2.45	9.62
CaO	11.19	7.31	12.63	0.38	1.78	0.38
Na <sub>2</sub> O	1.21	6.98	1.28	0.06	0.08	0.24
K <sub>2</sub> O	0.12	0.15		0.02	0.01	8.54
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.80			1.25	0.15	2.65
F	0.09					0.16
	99.91					99.57
O=F	0.04					0.07
总计	99.87	99.78	97.46	100.07	99.42	99.64

\* 电子探针分析结果 分析单位：1、3—天津地质矿产研究所；2—地矿部矿床地质研究所

石榴十字二云斜长变粒岩中的一个石榴石样品(表1)为铁铝榴石( $a_0=11.54039A$ )，在 $(CaO+MnO)-(FeO+MgO)$ 图解(图3A)中位于矽线石带(近蓝晶石带)，在 $(FeO+MgO)/(CaO+MnO)-a_0$ 图解(图3B)中位于蓝晶石带。据Федькин<sup>(8)</sup>的十字石—石榴石温度计，1对样品(j92156)所得温度为540℃。据石榴石—黑云母温度计，1对样品(j92156)所得温度为500℃<sup>(6)</sup>及560℃(Глебовицкий, 1977)。

综上所述，该群变质温度约为530℃—600℃，压力约为400—570MPa。

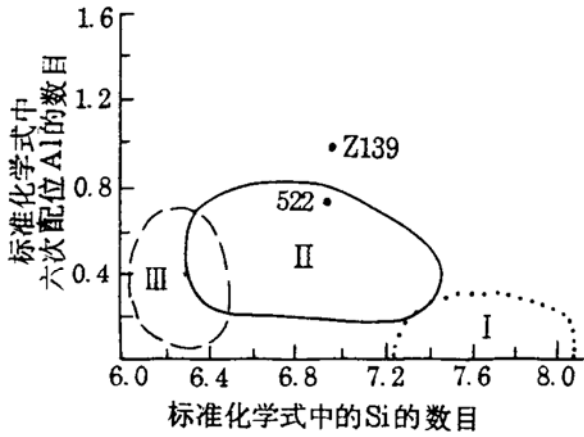


图 1 星子群角闪石在 Si—Al<sup>VI</sup> 图中分布 (据崔文元 1980 资料修改)

Fig. 1 Distribution of amphibole in Si—Al<sup>VI</sup> diagram of Xingzi Group

I—绿片岩相—绿帘角闪岩相；II—一角闪岩相；III—麻粒岩相

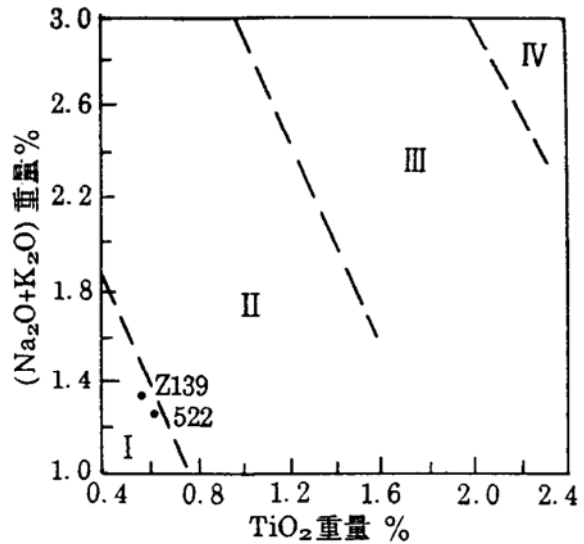


图 2 星子群角闪石在 TiO<sub>2</sub>—Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 图中分布 (据李志珍等 1981 资料修改)

Fig. 2 Distribution of amphibole in TiO<sub>2</sub>—Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O diagram of Xingzi Group

I—绿帘角闪岩相；II—低角闪岩相；III—高角闪岩相；IV—麻粒岩相

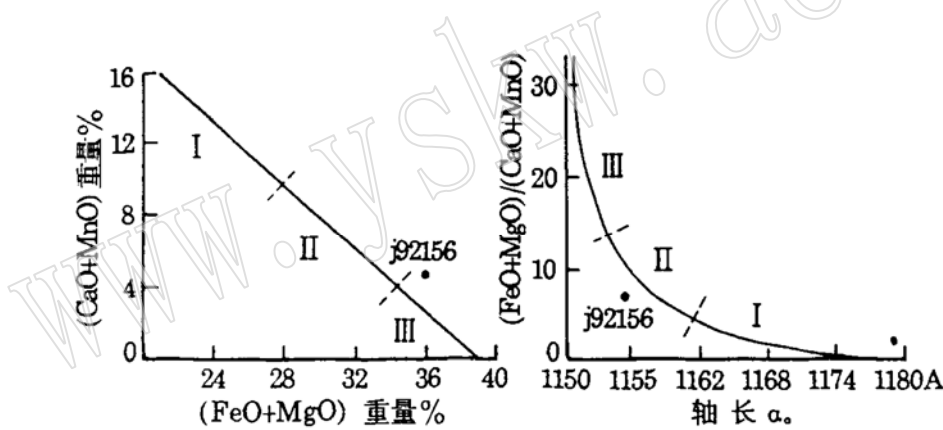


图 3 星子群石榴石在 (CaO+MnO) — (FeO+MgO) (A) 和 (FeO+MgO) / (CaO+MnO) — a<sub>0</sub> (B) 图解中的分布

Fig. 3 Distribution of garnets from Xingzi Group in (CaO+MnO) — (FeO+MgO) (A) and (FeO+MgO) / (CaO+MnO) — a<sub>0</sub> (B) diagram

I—石榴石带；II—蓝晶石带；III—矽线石带

### 3 岩石地球化学

#### 3.1 斜长角闪岩类

星子群斜长角闪岩为变基性火山岩。其 7 个样品 (表 2) 在 SiO<sub>2</sub>—(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) 图<sup>(9)</sup> 中主要位于拉斑系列区, 其次位于钙碱性系列区。在 ΣFeO—MgO—(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) 图 (图 4) 中基本属于拉斑系列, 个别为钙碱性系列。其 K<sub>2</sub>O 含量一般为 0.07%—0.2%, 个别为 1.32%, 平均为 0.29%; 相当于大洋型拉斑玄武岩的平均成分 (0.24%)。在 TiO<sub>2</sub>×10—

$Al_2O_3-K_2O \times 10$  图 (图 5) 中基本上都位于大洋玄武岩区, 个别位于大陆玄武岩、安山岩区。2 个稀土样品 (表 3) 显示较平坦的稀土分布型式 (图 6), 接近于 Condie<sup>[10]</sup> 的太古代  $TH_1$  型稀土分布型式。其微量元素显示较高的 Rb、Ba、Th 和较低的 Cr 含量而不同于洋脊玄武岩。在 Ti-Zr 图<sup>[11]</sup> 中位于板内与洋脊玄武岩重叠区及岛弧与洋脊玄武岩重叠区, Ti/Y-Nb/Y 图<sup>[12]</sup> 中位于岛弧与洋脊玄武岩重叠区, Ti/100-Zr-Y/3 图<sup>[12]</sup> 中显示近板内玄武岩的特点, 远离洋脊、岛弧和钙碱性玄武岩区。2 个样品的 Sm、Nd 同位素测定结果见表 4,  $\epsilon_{Nd}(t) = +3.6$ 、 $+5.2$ , 表明其来源于亏损地幔。  $T_{DM}(t) = 2197$ 、 $2695$ Ma, 可推测其壳幔分异发生在早元古代或太古代晚期。

表 2 星子群斜长角闪岩化学成分

Table 2 Chemical compositions of plagioclase amphibolite from the Xingzi Group

序号 组份	1 j92137	2 j92139	3 星-4	4 星-8	5 星-9	6 星-10	7 星-14
SiO <sub>2</sub>	49.18	50.26	50.34	50.78	53.00	49.86	49.75
TiO <sub>2</sub>	1.23	1.65	1.88	1.35	1.92	1.84	1.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.74	14.12	13.59	16.81	12.83	13.88	14.54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.37	3.41	2.79	4.08	3.05	3.95	11.48
FeO	7.33	9.28	10.76	5.72	10.73	10.39	
MnO	0.20	0.17	0.28	0.15	0.23	0.25	0.19
MgO	7.87	7.00	6.94	6.50	5.85	7.38	7.32
CaO	10.35	9.45	11.36	8.59	8.86	9.87	11.85
Na <sub>2</sub> O	3.38	3.04	1.13	3.04	2.20	1.20	2.61
K <sub>2</sub> O	0.14	0.07	0.09	1.32	0.12	0.10	0.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.17	0.20	0.09	0.21	0.09	0.12
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.52	0.80					
CO <sub>2</sub>	0.17	0.04					
总和	99.52	99.46	99.36	98.43	99.00	98.81	99.30

分析单位: 1—2—天津地质矿产研究所; 3—7—江西省地矿局实验室<sup>[1]</sup>。

表 3 星子群斜长角闪岩 (1、2) 变粒岩 (3、4) 片岩 (5) 的稀土元素和微量元素含量 ( $\times 10^{-4}$ )

Table 3 REE and trace element contents of plagioclase amphibolite (1, 2), granulite (3, 4) and schist (5) in Xingzi Group

序号	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	j92137	3.70	8.58	1.49	7.90	2.69	1.07	3.78	0.69	4.20	0.87	2.45	0.35	2.19	0.28
2	j92139	5.78	14.70	2.41	11.70	3.78	1.24	7.37	0.80	5.41	1.22	3.17	0.36	2.90	0.62
3	j92142	96.74	206.80	27.24	96.08	18.85	1.65	15.90	2.11	13.22	2.33	6.81	0.94	5.84	0.81
4	j92144	21.82	46.60	4.98	17.51	3.22	0.78	2.59	0.36	2.51	0.50	1.46	0.21	1.33	0.20
5	j92140	36.56	34.60	9.88	35.63	7.39	1.63	8.11	1.00	6.40	1.30	3.67	0.52	0.51	0.60
序号	样号	Y	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Ba	Sc	Nb	Ta	Zr	Th	U	Hf
1	j92137	20.80	68.60	35.13	45.18	5	107.30	48.36	30.96	4	<10	68	<3		<10
2	j92139	27.19	142.90	39.73	52.48	15	384.30	38.35	30.87	4	<10	105	4.68		10
3	j92142	62.48	29	2.3	<4	155	22	329	9.04	11	<10	252	8.5	<5	
4	j92144	12.48	126	5.5	25	58	109	514	3.65	6	<10	101	5.3	<5	
5	j92140	31.96	116.2	16.57	47.03	103	75.92	494.3	17.19	11	<10	196	11.96	<5	

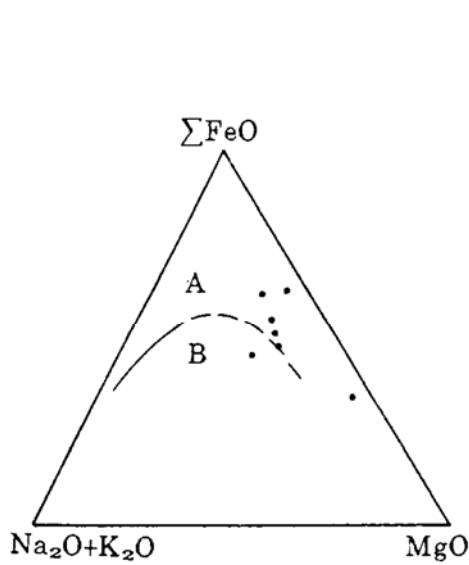


图 4 星子群斜长角闪岩在  $\Sigma\text{FeO}-\text{MgO}-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  图中分布

Fig. 4 Distribution of plagioclase amphibolites from the Xingzi Group in  $\Sigma\text{FeO}-\text{MgO}-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  diagram  
A—拉斑系列；B—钙碱系列

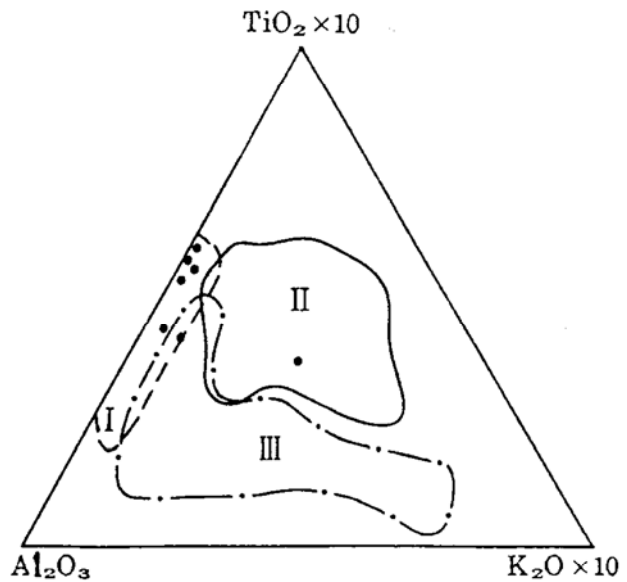


图 5 星子群斜长角闪岩在  $(\text{TiO}_2 \times 10) - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{K}_2\text{O} \times 10)$  图中分布

Fig. 5 Distribution of plagioclase amphibolites from the Xingzi Group in  $(\text{TiO}_2 \times 10) - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{K}_2\text{O} \times 10)$  diagram  
I—大洋玄武岩；II—大陆玄武岩、安山岩；III—岛弧、造山带玄武岩

表 4 星子群斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素数据

Table 4 Sm-Nd isotopic data of plagioclase amphibolite of the Xingzi Group

样号	Sm ( $\times 10^{-6}$ )	Nd ( $\times 10^{-6}$ )	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Sm/Nd
J92173	2.699	8.463	0.1907	0.512741	0.32
J92139	3.779	12.083	0.1891	0.512794	0.31
样号	$T_{\text{DM}}$ (Ma)	$\epsilon_{\text{Nd}}$ (t)	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	$\epsilon_{\text{Nd}}$ (t)	$T_{\text{地壳}}$ (Ma)
J92137	2695	+2.0	-0.03	+3.6	2180
J92139	2197	+3.0	-0.04	+5.2	2180

测试者：天津地质矿产研究所林源贤。

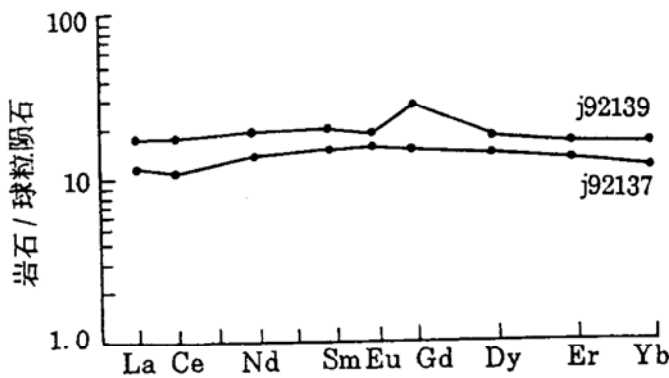


图 6 星子群斜长角闪岩  
稀土元素分布型式

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of plagioclase amphibolite of Xingzi Group

### 3.2 变粒岩类、片岩类

星子群的变粒岩类的原岩为砂岩类, 5个样品(表5中1—5)在图7中都显示大陆边缘砂岩成分特征。2个样品(表3)的微量元素图解(图8、9)中基本上也具有大陆边缘砂岩成分特征。2个稀土元素样品(表3)中的j92142分布型式(图10)及一些稀土元素参数( $\Sigma\text{REE}$ 、 $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ 、 $\text{Lu}/\text{Yb}$ )均与大陆边缘砂岩相符合, j92144样品的稀土元素参数大多数都具有岛弧杂砂岩性质, 但该样品富含石英, 成分成熟度高, 显然属于大陆边缘砂岩性质, 稀土元素含量较低是由于石英含量高的结果。星子群的云母片岩类(表5的6—9)的原岩为页岩, 其中一个十字石榴黑云石英片岩样品(j92140)的稀土元素分布型式(图11)具有大陆边缘页岩的特征。

表5 星子群变粒岩、片岩化学成分

Table 5 Chemical composition of granulite and schist of Xingzi Group

序号 组	1	2	3	4	5	6	7	8	9
样 份	j92142	j92144	星-11	星-12	星-16	j92140			
SiO <sub>2</sub>	74.32	83.12	75.24	77.22	76.02	63.30	62.58	64.08	64.30
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.27	0.25	0.28	0.21	0.85	0.90	0.85	0.84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.16	7.80	12.91	11.80	11.32	17.00	15.40	14.24	17.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.94	1.33	0.22	0.80	1.35	1.51	1.52	2.37	0.03
FeO	1.71	1.35	2.32	1.53		5.19	7.56	6.82	5.80
MnO	0.03	0.03	0.05	0.05	0.03	0.12	0.41	0.40	0.13
MgO	1.04	0.52	0.78	0.57	0.01	2.45	3.47	5.02	1.72
CaO	0.24	0.60	0.41	1.63	0.32	1.08	0.85	0.71	0.90
Na <sub>2</sub> O	3.31	2.00	2.35	3.55	3.69	3.63	1.96	2.12	1.66
K <sub>2</sub> O	3.70	2.28	5.00	1.60	4.44	2.63	3.00	2.54	2.99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.08	0.09	0.09	0.02	0.10	0.20	0.18	0.11
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.67	0.15				1.60			
CO <sub>2</sub>	0.04	0.04				0.04			
总和	99.49	99.57	99.62	99.12	97.37	99.60	97.85	99.33	96.08

分析单位: 1、2、6—天津地质矿产研究所; 3—5、7—9—江西省地矿局实验室<sup>(1)</sup>。

## 4 形成构造环境的讨论

星子群斜长角闪岩的原岩为低钾拉斑玄武岩, 其化学成分特征与当代典型岛弧玄武岩有些差别, 但总体上很近似, 因此, 项新葵等<sup>(1)</sup>认为其形成于古岛弧环境。但其变粒岩类

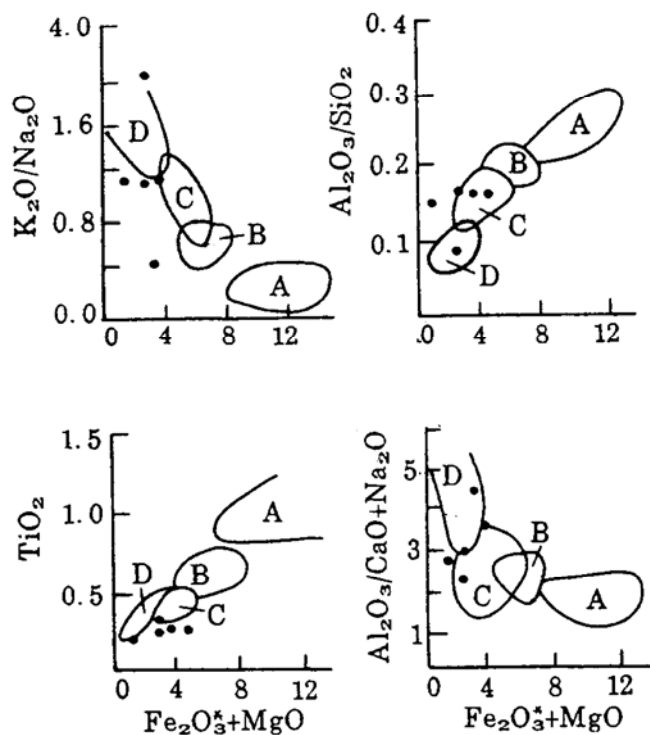


图 7 星子群变粒岩类在  $K_2O/Na_2O - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 、 $Al_2O_3/SiO_2 - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 、 $TiO_2 - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 、 $Al_2O_3/(CaO + Na_2O) - (Fe_2O_3^* + MgO)$  图解中分布 (据 [13])

Fig. 7 Distribution of granulites from Xingzi Group in  $K_2O/Na_2O - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 、 $Al_2O_3/SiO_2 - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 、 $TiO_2 - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 、 $Al_2O_3/(CaO + Na_2O) - (Fe_2O_3^* + MgO)$  diagram

A—大洋岛弧杂砂岩区；B—大陆岛弧杂砂岩区；C—活动大陆边缘杂砂岩区；D—被动大陆边缘杂砂岩区

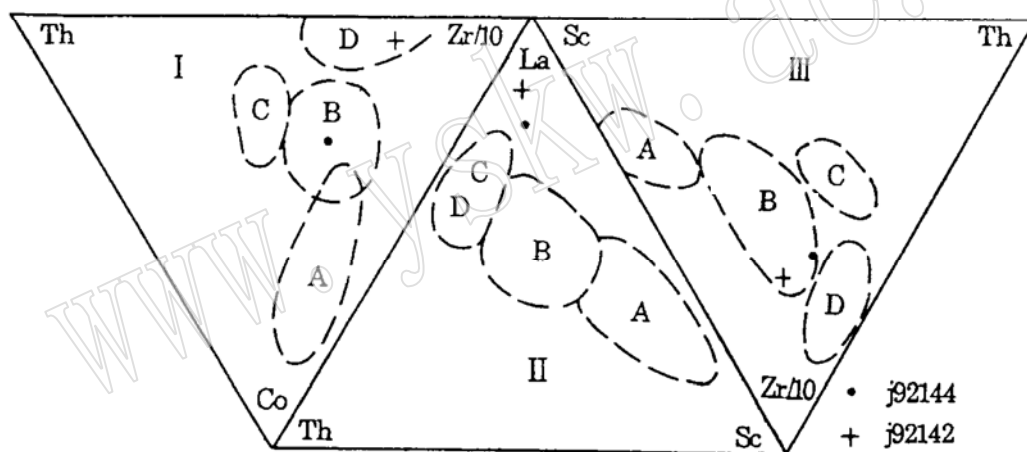


图 8 星子群变粒岩类在 (I) Th—Co—Zr/10、(II) Th—La—Sc 和 (III) Th—Sc—Zr/10 图解中分布 (据 [14]，图例同图 7)

Fig. 8 Distribution of granulites from the Xingzi Group in (I) Th—Co—Zr/10、(II) Th—La—Sc 和 (III) Th—Sc—Zr/10 diagram

(变砂岩类) 的常量元素、稀土元素和一些微量元素以及片岩类 (变页岩类) 的稀土元素却显示典型的大陆边缘砂岩、页岩特征，与上述古岛弧环境的推论相矛盾。该群的原岩建造以一套砂、泥质陆源碎屑为主的沉积岩系，砂、泥质岩占 90% 以上，基性火山岩所占含量小于 10%，无钙碱性中—酸性火山岩。综上所述，该群不可能形成于成熟或不成熟岛弧环境，而是形成于大陆边缘环境。低钾拉斑玄武岩可能是在陆缘陆壳相对较薄，基性岩浆沿深断裂从上地幔快速喷溢于陆壳表面未经其明显混染的结果。

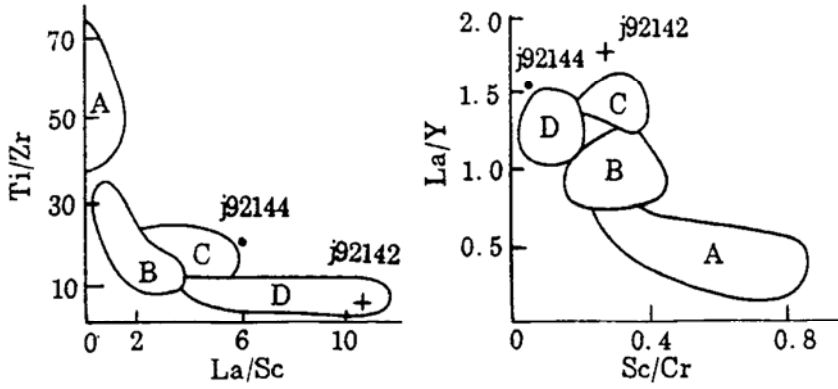


图9 星子群变粒岩在 Ti/Zr-La/Sc 和 La/Y-Sc/Cr 图解中的分布 (图例同图 7)

Fig. 9 Distribution of granulites from the Xingzi Group in Ti/Zr-La/Sc and La/Y-Sc/Cr diagram

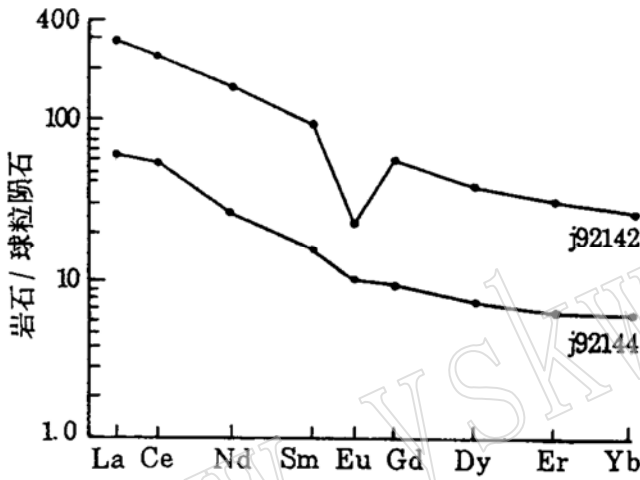


图10 星子群变粒岩类的稀土元素分布型式

Fig. 10 Distribution pattern of REE for granulites from Xingzi Group

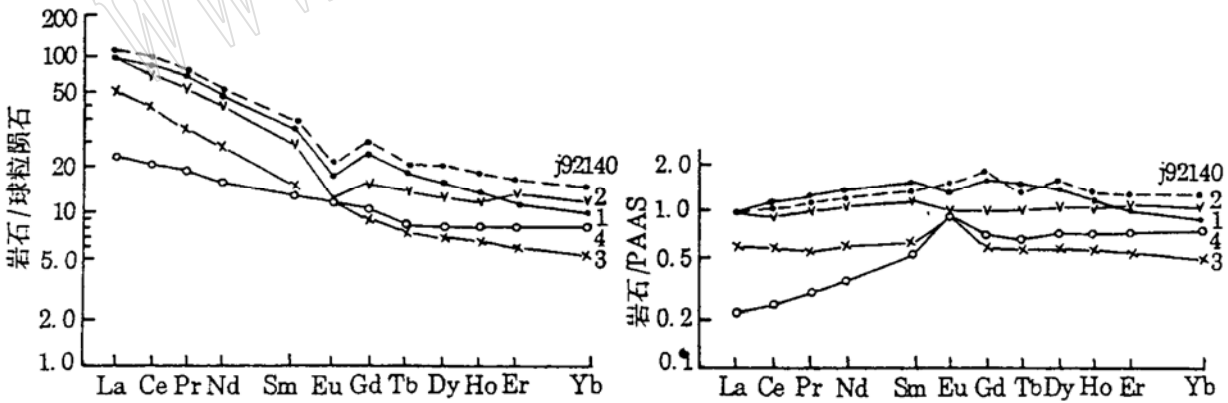


图11 星子群十字石榴黑云石英片岩 (j92140) 的稀土元素分布型式

Fig. 11 Distribution pattern of REE for staurolite-garnet-biotite quartz schist (j92140) from Xingzi Group

不同构造背景中砂岩、泥岩的稀土元素分配型式<sup>(15)</sup>

1-被动大陆边缘; 2-活动大陆边缘; 3-大陆岛弧; 4-大洋岛弧; PAAS-澳大利亚后太古宙页岩稀土元素的平均含量<sup>(16)</sup>



## 参 考 文 献

- 1 项新葵、许建华、赖国安. 庐山前震旦纪变质基底的特征. 江西地质, 1993, 7 (2): 103—114.
- 2 马长信. 江西北部前寒武纪地壳演化特征与成矿作用的关系. 中国区域地质, 1988, (1): 37—42.
- 3 徐备、郭令智、施央申. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带. 北京: 地质出版社, 1992, 4—8.
- 4 项新葵、许建华、徐寇龙. 星子群变质核杂岩的特征及其地质意义. 矿产与地质, 1993, 7 (6): 1—7.
- 5 赵凤清、金文山、甘晓春. 江绍断裂两侧早元古代变质基底特征及形成的构造环境. 安徽地质, 1994, 4 (1—2): 73—81.
- 6 Перчук Л. Л. Зависимость коэффициента распределения кальция между сосуществующими амфиболами и плагиоклазами от температуры; Док. Акад. Наук СССР, 1966, 169 (6): 1436—1438.
- 7 Plyusnina L. P. Geothermometry and geobarometry of plagioclase — hornblend bearing assemblages. Contr. Min. Petrol. 80 (2): 140—146.
- 8 Федькин В. В. Старолитю Издательство Наука Москва, 1975. 67—73.
- 9 邱家骧. 碱度在火山岩岩石学及地质学上的意义. 地质与勘探, 1982, (7—8): 1—10.
- 10 Condie K C. Trace — element geochemistry of Archean greenstone belt. Earth Sci. Rev. 1976. (12): 393—417.
- 11 Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In thorpe (ed): Andesite. 1982, 525—547.
- 12 Pearce J A. Harris N B W and Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granite rocks. J. Petrol. 1984, 25: 956—983.
- 13 Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstone. J. Geol. 1983, 91: 611—627.
- 14 Bhatia M R and Crook K A W. Trace element characteristics of graywacks and tectonic setting discrimination of sedimentary. Contrib. Mineral. Petrol. 1986, 92: 181—193.
- 15 Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian paleozoic graywacks and mudrocks: Provenance and tectonic control. Sed. Geol. 1985, 45: 97—113.
- 16 Nance W B and Taylor S R. Rare earth element patterns and crustal evolution — I: Archean sedimentary rocks from Kalgorlie Australia. Geochim. Cosmochim. Acta, 41: 225—231.

## Lithochemisrtry and Metamorphism of the Early Proterozoic Xingzi Group of Lu Shan Area, Jiangxi Province

Jin Wenshan, Zhao Fengqing, Gan Xiaochun, Wang Zuwei

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170)

**Key words:** Xingzi Group; metamorphism; lithochemisrtry; Lu Shan area of Jiangxi Province

### Abstract

The early Proterozoic Xingzi Group was subjected to regional dynamothermal metamorphism of Luliang period, dominated by low amphibolite facies with temperature 530—600 C and pressure 400—570 MPa. On the basis of its rock association and lithochemisrtry, it is inferred that the Xingzi Group was formed in an epicontinental environment.