

# 玲珑花岗岩的岩石化学与地球化学特征

王炳成

(山东省地质科学研究所)

玲珑花岗岩位于山东省胶东半岛西北部,分布在招远、掖县、黄县、平度等县,面积约3000平方公里。岩体周围金矿众多,黄金的储量、产量,都在我国占有重要地位。探讨玲珑花岗岩的成因是研究玲珑花岗岩与金矿成矿关系的一个重要方面,也是长期以来为大家所关注和争论较大的一个问题。本文在“玲珑花岗岩岩石学和矿物学特征一文之后,就玲珑花岗岩的岩石化学和地球化学特征再予以论述。不当之处,敬请指正。

## 一、岩体的一般特征

玲珑花岗岩位于沂沭断裂带(郯庐断裂在山东境内段)东侧,胶东隆起区胶北隆起栖霞复背斜西端的轴部和两翼。玲珑花岗岩,特别是片麻状花岗岩与金矿关系密切。围岩主要为前寒武系胶东群与粉子山群变质岩(泥砂质—碳酸盐—基性火山岩等经区域变质而成,变质岩相主要为角闪岩相与绿片岩相)。玲珑花岗岩由于岩相特征的差异,大致可分为片麻状花岗岩和中粗粒花岗岩。片麻状花岗岩与前寒武系变质岩多呈渐变接触关系,中粗粒花岗岩与前寒武系变质岩则多呈突变接触关系。岩体内(尤其是片麻状花岗岩)发育大量前寒武系变质岩的残留体或残影体。岩石普遍发育蠕英石、条纹长石,净边、缝合线、变斑晶等交代结构和交代残余结构,中粗粒花岗岩主要发育共结花岗岩结构。造岩矿物主要为石英、微斜长石、更长石,次要为黑云母,局部有白云母,偶见普通角闪石。钾长三斜度( $>0.8$ ),斜长石有序度( $>0.9$ )较高。付矿物主要为磁铁矿、榍石、锆石、磷灰石和褐帘石等。岩体的矿物成分、矿物含量、矿物粒度很不均一,变化较大,尤其片麻状花岗岩更为明显。

## 二、玲珑花岗岩的岩石化学特征

根据49个片麻状花岗岩与28个中粗粒花岗岩的分析结果所得到的平均化学成分、查氏参数、 $CI_{pw}$ 标准矿物及特征化学指数见表1。

### (一)与平均花岗岩对比

1. 玲珑花岗岩 $Al_2O_3 > CaO + Na_2O + K_2O$ ,属铝过饱和类岩石,组合指数 $\delta(2.26 - 2.19) < 4$ ,

$Na_2O + K_2O / Al_2O_3 < 0.85$ ,为钙碱性岩石;

2.  $SiC_2$ 含量(71.99 - 73.21)高于戴里的世界平均花岗岩和黎形的中国平均花岗岩,

• 《山东地质》1985第1卷第1期

反映在查氏参数S值(80.28—80.75), 标准矿物石英Q值(27.41—30.53)亦高, 氧化铁含量( $\Sigma\text{FeO}=1.83-1.98$ )和氧化镁的含量(0.27—0.31)明显低于平均花岗岩, 反映在岩石的色率M值(3.69—4.03)和查氏b值(2.98—3.60)亦低, 表明玲珑花岗岩的酸度高于平均花岗岩;

3. 碱质含量( $\text{Na}_2\text{O} + \text{k}_2\text{O} = 8.10-8.14$ )略高于平均花岗岩, 反映在查氏a值(14.33—14.62) 碱度率AR ( $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + (\text{k}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - (\text{k}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})} = 2.90-3.28$ ) 和碱质指数 ( $= \frac{100 \times (\text{k}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})}{\text{MgO} + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 353.0-387.6$ ) 亦高,  $\text{k}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值(0.91—1.05) 和钾质指数 ( $= \frac{100 \times \text{k}_2\text{O}}{\text{k}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}} = 47.77-51.47$ ) 低于平均花岗岩, 反映在查氏参数n值(58.88—62.45) 则高, 表明玲珑花岗岩的碱度高于平均花岗岩, 并相对钠质较富;

4.  $\text{CaO}$  含量(1.10—1.77) 低于平均花岗岩, 反映在查氏参数C值(1.3—1.12) 和标准矿物钙长石An成分(5.11—8.45) 亦低。

### (二) 与华南燕山早期花岗岩对比

1. 玲珑花岗岩的 $\text{SiO}_2$  含量及查氏S值, 标准矿物Q值略低, 但铁, 镁氧化物含量及查氏b值、岩石色率M值亦略低于华南花岗岩;

2. 玲珑花岗岩的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$  含量高于华南花岗岩;

3. 玲珑花岗岩的碱质总量与华南花岗岩相近, 但 $\text{Na}_2\text{O}$  高,  $\text{k}_2\text{O}$  低, 表现在 $\text{k}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值和钾质指数亦低;

4. 玲珑花岗岩的分异指数(DI) 长英指数与华南花岗岩相近。表明玲珑花岗岩的酸度, 碱度与华南花岗岩相似, 但前者相对富含钠质, 后者相对富含钾质。

### (三) 与不同成因花岗岩类对比

1. 玲珑花岗岩的 $A/NkC$  [ $= \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{k}_2\text{O} + \text{CaO})$  (克分子数)] 为1.04—1.09, 与华南改造型(变质交代型) 花岗岩相近, 而与幔源型花岗岩不同(表2);

2. 玲珑花岗岩的 $k/\text{Na}$  比值为1.10—1.03, 与L、V、塔乌松的幔源花岗岩(0.16) 明显不同, 而与交代型花岗岩(2.2) 重熔型花岗岩(1.1) 相近;

3. 玲珑花岗岩的 $C/ACF$  [ $= \text{CaO} / (\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} - \text{k}_2\text{O}) + \text{CaO} + (\text{FeO} + \text{MgO})$  (克分子数)]、 $k/k + \text{Na}$  (原子数)、 $\text{k}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$  (克分子数) 及 $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$  (原子数) 比值皆与华南幔源型(分异型) 花岗岩不同而与改造型(变质—交代型) 或重熔型花岗岩相近;

4. 在R、D、Raju(1972) 的Na—k—Ca原子重量百分比三角投影图上(图1) 玲珑花岗岩(48个投影点) 多数位于交代花岗岩和岩浆花岗岩两种成因的界线附近;

5. 在CIPW标准矿物Q—Ab—Or投影图上(Tutte和BOWen, 1958), 玲珑花岗岩多数投影点位于低温槽附近(内外侧), 少数接近或位于低共熔区(图2)

6. 在An—Ab—Or投影图上(kleeman, 1965), 玲珑花岗岩除部分中粗粒花岗岩位于低温槽附近外, 多数投影点远离低温槽(图3)。

表2 玲珑花岗岩与不同成因花岗岩岩石化学参数对比

成因类型	$\frac{Al_2O_3}{Na_2O + K_2O + CaO}$	$\frac{C}{ACF}$	$\frac{K}{K + Na}$	$\frac{K_2O + Na_2O}{Al_2O_3}$	$\frac{Fe^{3+}}{Fe^{2+} + Fe^{3+}}$	$\frac{A}{NKC}^{**}$	$\frac{K}{Na}^*$	岩石类型
重熔型	1.03—1.07	0.23—0.28	0.47—0.51	0.78—0.88	0.27—0.39		1.1	铝过饱和
同熔型	0.92—1.02	0.25—0.32	0.37—0.47	0.57—0.74	0.29—0.41	<1		正常—铝过饱和
分异型	0.99	0.24—0.25	0.42	0.95—0.96	0.52—0.55	<1	0.16	正常
变质交代型	1.03—1.19	0.20—0.35	0.22—0.58	0.50—0.70	0.13—0.39	<1		正常—铝过饱和
片麻状花岗岩	1.04	0.32	0.62	0.74	0.10	1.04	1.10	铝过饱和
中粗粒花岗岩	1.09	0.25	0.59	0.78	0.10	1.09	1.03	同上

(据 \* L、V、塔乌松, \*\*据南京大学, 其他据杨超群)

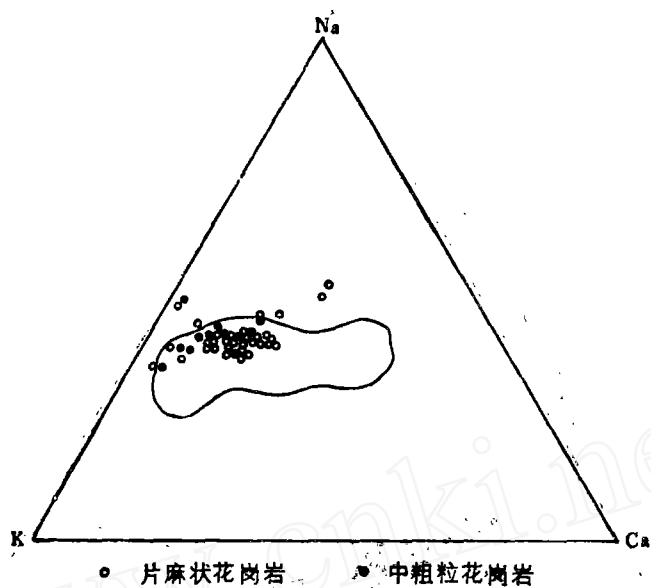


图1 玲珑花岗岩在Na—K—Ca(原子  
重量百分比)图上的投影

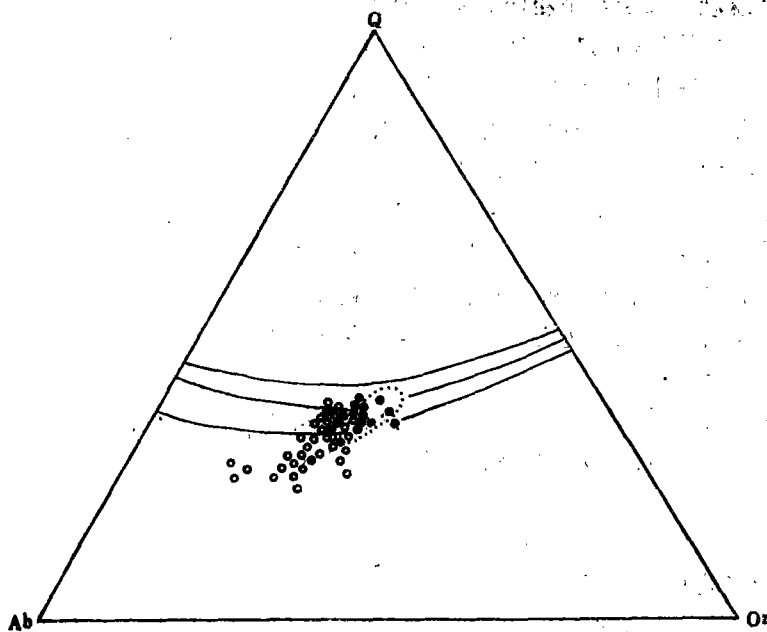


图2 玲珑花岗岩在Q—Ab—Or图上的投影

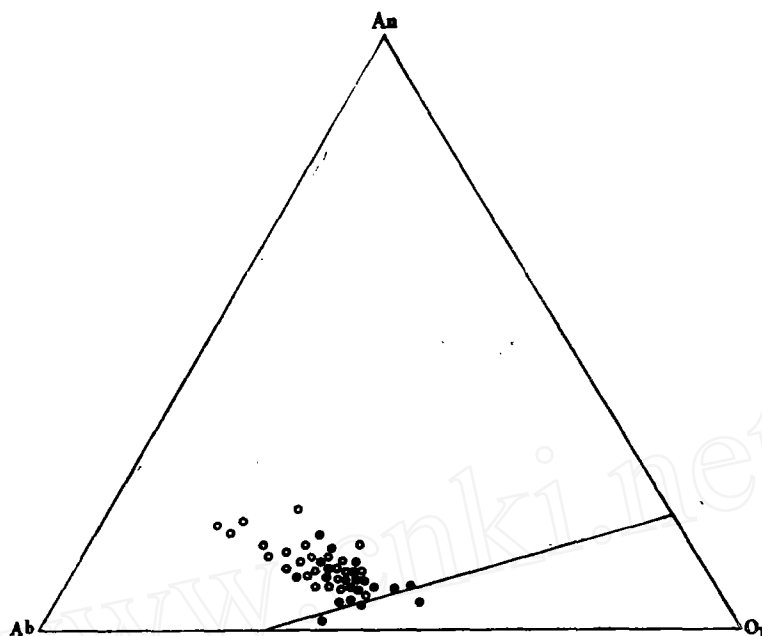


图3 玲珑花岗岩在 $\text{SiO}_2\text{—An—Or—An}$ 四面体硅—饱和面上的投影

由上可见，玲珑花岗岩的岩石化学具有或者接近于花岗岩化花岗岩的特征。

#### (四) 玲珑片麻状花岗岩与中粗粒花岗岩的变异

1. 片麻状花岗岩的硅(68.15—76.58%)、铝(11.90—17.41%)、钠(2.14—4.67%)、钾(3.64—5.49%)等主要化学成分变化较大。岩体成分不均一。相对而言，中粗粒花岗岩的岩石化学成分(硅70.21—74.95%、铝13.25—15.20%、钠3.53—5.33%、钾3.40—4.56%)则变化不大，岩石化学成分较为均一；

2. 片麻状花岗岩的二氧化硅含量及查氏参数S值，标准矿物Q值低于中粗粒花岗岩，氧化铁、氧化镁及查氏参数b值、岩石色率(M)及标准矿物DI+Mt+hy则高于中粗粒花岗岩，表明玲珑片麻状花岗岩的酸性程度低于中粗粒花岗岩；

3. 片麻状花岗岩与中粗粒花岗岩的碱质含量接近，但片麻状花岗岩相对富含钠质，中粗粒花岗岩相对富含钾质；

4. 片麻状花岗岩的氧化钙含量及查氏C值，标准矿物An高于中粗粒花岗岩；

5. 片麻状花岗岩的氧化镁含量及镁质指数( $\text{MgO} \times 100 / \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ )高于中粗粒花岗岩；

6. 片麻状花岗岩的碱度率(AR)、长英指数 $[100 \times (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CO}_2\text{O}]$ 及分异指数(DI)低于中粗粒花岗岩；

7. 片麻状花岗岩的 $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ 、 $\text{C}/\text{ACF}$ 、 $\text{K}/\text{k} + \text{Na}$ 、 $\text{k}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$ 等参数与交代型花岗岩相近。而中粗粒花岗岩则接近于交代、重熔型花岗岩；

8. 在Q—Ab—O<sub>1</sub>投影图上，中粗粒花岗岩位于低温槽内并接近低共熔区，而片麻状花

岗岩则多数位于低温槽外侧。在An—Ab—Or投影图上,中粗粒花岗岩明显地较片麻状花岗岩靠近5000巴pH<sub>2</sub>O的共结线。

上述变异特征表明,由玲珑片麻状花岗岩向中粗粒花岗岩,岩石的酸度、碱度上升,钾质变富,分异程度增高,在Ab—Or—Q—H<sub>2</sub>O四面体相图上的投影由低温槽外向低温槽内及低共熔区靠近,反映了花岗岩化作用的进变演化过程。

### 三、玲珑花岗岩的地球化学特征

#### (一) 微量元素的丰度

玲珑花岗岩中的微量元素,除铬、镍、钒、钴系光谱半定量外,其余元素均采用定量分析(原子吸收,等离子体光谱,中子活化等方法),其平均含量及富集系数见表3。

##### 1. 与平均花岗岩相比:

(1) 片麻状花岗岩:高于平均花岗岩的元素(富集系数 $>1.5$ )为:金、镍、钴、铜、铈、钡;与平均花岗岩接近的元素(富集系数 $>0.5 < 1.5$ )为:锶、锡、银、钒、铅、锌、砷、镓、锆;低于平均花岗岩的元素(富集系数 $<0.5$ )为:铬、氟、铷、铯、钨、钼、铌、钽、汞、铍、铟、铪、铯、铊、铷。

(2) 中粗粒花岗岩:高于平均花岗岩的元素为:钴、铅、钡、锡;与平均花岗岩接近的元素为:镍、铜、金、铬、锌、铷、锶、镓、锆、银;低于平均花岗岩的元素为:钒、砷、铈、氟、铷、铯、钨、钼、铌、钽、汞、铍、铟、铪、铯、铊、铷。

##### 2. 与华南燕山早期花岗岩相比:

(1) 片麻状花岗岩:高于华南燕山早期花岗岩的元素为:钒、铬、镍、钴、铜、铈、锶、钡;低于华南燕山早期花岗岩的元素为:铅、铷、镓、钨、锡、钼、铌、钽、铍。

(2) 中粗粒花岗岩:高于华南燕山早期花岗岩的元素为:铬、钴、铜、铈、锶、钡;低于华南燕山早期花岗岩的元素为:钒、镍、铅、铷、镓、钨、锡、钼、铌、钽、铍。

华南燕山早期花岗岩与钨、锡、钼、铍、铌、钽等矿化关系密切,因此,这些元素的丰度高于玲珑花岗岩。反之,玲珑花岗岩,尤其片麻状花岗岩与金矿化有关,因此,金的丰度高于华南花岗岩,由此可知,花岗岩的成矿专属性不同,它们的微量元素的丰度亦不一样。

##### 3. 两种花岗岩的变异:

(1) 片麻状花岗岩的钡、锶高,铷低。反之,中粗粒花岗岩的钡、锶低、铷高。

(2) 片麻状花岗岩的金、银高于中粗粒花岗岩,反映了为何片麻状花岗岩较中粗粒花岗岩与金矿化关系更为密切的内在因素。

(3) 片麻状花岗岩的钒、镍、钴、铜、稀土丰度高于中粗粒花岗岩;钨、锡、铌、钽、铯、钪则低于中粗粒花岗岩。而在某些元素对比值上,片麻状花岗岩的Zn/Rb、Mg/Li、K/Rb、Sr/Ba等比值高于中粗粒花岗岩,K/Ba与Rb/Sr比值则低于中粗粒花岗岩(表4)。这与华南花岗岩由早到晚的演化特征是一致的,反映了玲珑花岗岩由片麻状花岗岩向中粗粒花岗岩的形成演化过程。

表3 玲珑花岗岩微量元素的平均含量 (ppm)

元素	片麻状花岗岩			中粗粒花岗岩			平均花岗岩	华南燕山 早期花岗岩
	样品数	平均 含量	富集 系数	样品数	平均 含量	富集 系数	(维诺格拉多夫, 1962)	(南京大学, 1981)
V	8	32	0.8	17	15	0.4	40	16.2
Cr	8	16	0.6	17	16	0.6	25	11.5
Ni	8	13	1.6	17	10	1.2	8	10.2
Co	8	11	2.2	17	10	2.0	5	5
Cu	15	35	1.7	9	27	1.3	20	16
Pb	15	10	1.0	9	18	1.8	10	21.1
Zn	15	47	0.8	9	50	0.8	60	14.2
As	15	0.9	0.6	9	0.6	0.4	1.5	
Sb	18	2	7.7	9	0		0.26	
F	11	340	0.5	11	320	0.5	660	
Li	12	17	0.4	7	20	0.5	40	41
Rb	19	93	0.5	12	130	0.6	200	
Sr	19	343	1.1	12	184	0.6	300	133.5
Ba	19	2741.6	3.3	12	1909	2.3	830	750
Cd	9	0		9	0		0.26	
Ga	17	15	0.7	9	17	0.8	20	22
Te	15	0.12		9	0.06			
W	15	0.4	0.3	9	0.6	0.4	1.0	10.2
Sn	11	4	1.3	7	6	2	3	22.9
Mo	7	0		11	0		1	2.8
Zr	11	138	0.7	7	116	0.6	200	
Nb	11	4.4	0.2	7	5.1	0.3	20	27.9
Ta	11	0		7	1.1	0.31	3.5	20.3
Hg	15	0.01	0.1	7	0.02	0.2	0.08	
Be	12	0		7	0		5.5	7.9
Bi	18	0		9	0		0.01	
Hf	18	0		9	0		1	
Cs	18	0		9	0		5	
U	5	1.04		2	0.79		3.5	
Th	5	6.25		2	3.50		18	
Tl	18	0		9	0		1.5	
Se	18	0		9	0		0.05	
Ag	18	0.064	1.3	9	0.05	1.0	0.05	
Au	22	0.019 T/g	4.2	12	0.007 T/g	1.6	0.0045	

表4

玲珑两类花岗岩某些元素对比值对照

元素对 岩石	Zn/Pb	Mg/Li	K/Rb	K/Ba	Sr/Ba	Rb/Sr
片麻状花岗岩	4.7	0.018	172.4	5.86	0.13	0.27
中粗粒花岗岩	2.8	0.013	133.8	9.11	0.09	0.71

## (二) 某些元素的赋存特征

1. 铌、钽: 铌、钽在黑云母, 榭石中的含量见表5。可见, 在这两种矿物中, 铌与钽的含量皆系片麻状花岗岩高于中粗粒花岗岩, 这与岩石的丰度值变化是一致的。

表5 玲珑花岗岩某些矿物中铌钽的含量

岩 石	黑 云 母		榭 石		岩石含量	
	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %
片麻状花岗岩	0.019	0.0023	0.3	0.03	0.12	0.00
中粗粒花岗岩	0.038	0.0035	0.4	0.02	0.27	2.69

2. 铷、铯、钡: 由表6可知, 铷主要赋存在岩石的钾长石中, 其含量占70%以上, 其次是斜长石中, 这显然是由于铷的原子半径(1.49Å)与钾(1.33Å)相近, 能够类质同象替代长石中钾的缘故。铯主要赋存在斜长石中, 其次是钾长石中, 而钡则主要赋存在钾长石中。这是由于铯、钡的结晶化学性质分别与钙、钾相似, 因此, 铯可类质同象替代钙、而钡可类质同象替代钾的缘故所致。同时亦见, 片麻状花岗岩中钾长石的铷含量及Rb/Sr(0.21)、Rb/Ba(0.02), 斜长石的铷含量及Rb/Sr(0.02)、Rb/Ba(0.03)低于中粗粒花岗岩的钾长石(Rb/Sr=0.46、Rb/Ba=0.07)与斜长石(Rb/Sr=0.03、Rb/Ba=0.05), 而铯、钡含量及Ba/Sr比值(钾长石为9.57, 斜长石为0.03)高于中粗粒花岗岩(钾长石为0.07, 斜长石为0.05), 这与岩石中铷、铯、钡的含量变化规律是吻合的。

表6 铷、铯、钡在长石中的含量

元素	矿 物	矿物含量(%)		元素含量(ppm)		1克岩石中该矿物的元素含量(ppm)	
		I	II	I	II	I	II
铯	钾长石	34.07	31.94	0.0913	0.0693	311.1	221.7
	斜长石	32.00	35.03	0.1158	0.1098	372.9	384.6
钡	钾长石	34.07	31.94	0.874	0.453	2977.7	1446.9
	斜长石	32.00	35.03	0.079	0.066	252.8	231.2
铷	钾长石	34.07	31.94	0.0202	0.0323	68.82	103.17
	斜长石	32.00	35.03	0.0023	0.0030	7.36	10.51

(I 玲珑片麻状花岗岩, II 玲珑中粗粒花岗岩)

3. 稀土元素: 稀土总量(TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)在钾长石、斜长石、黑云母、褐帘石、榭石、磷灰石和锆石中的含量见表7。可见, 玲珑花岗岩中的稀土元素主要赋存在褐帘石、长石中, 其次是榭石中。就各矿物而言, 褐帘石中的稀土元素含量最高, 达16%以上, 因此, 虽然岩石中褐帘石的矿物含量不高, 但所含稀土元素的总量却很高。长石中稀土元素的含量极微, 但由于岩石中长石的含量超过60%, 因此所含稀土元素的总量也较高。由表8可知, 从片麻状花

表7 稀土 ( $\Sigma$ REE) 在各矿物中的含量

矿物	矿物含量(%)		$\Sigma$ REE (%)		1克岩石中该矿物 $\Sigma$ REE的含量(ppm)		岩石中 $\Sigma$ REE含量 (ppm)	
	I	II	I	II	I	II	I	II
钾长石	34.07	31.94	0.002(2)	0.002(1)	6.4	6.4	142	68
斜长石	32.00	35.03	0.004( )	0.003	12.8	10.51		
黑云母	3.46	2.13	0.00( )	0.002(7)	0.00	0.43		
褐帘石	0.0114	0.0052	16.07(2)	18.47(1)	18.32	9.60		
榍石	0.0283	0.0197	1.43(3)	1.22 (1)	4.05	2.40		
磷灰石	0.014	0.009	0.112(2)	0.063(1)	0.16	0.06		
锆石	0.003	0.0006	0.53(4)	0.40 (2)	0.16	0.02		

[ I. 玲珑片麻状花岗岩, II. 玲珑中粗粒花岗岩, ( ) 样品数 ]

岗岩到中粗粒花岗岩, 稀土总量、轻重稀土元素比值和La/Sm比值下降, 即中粗粒花岗岩不仅稀土总量低于片麻状花岗岩, 而且相对富含轻稀土元素。在La/Sm—La图解中片麻状花岗岩的投影点位于左下方, 而中粗粒花岗岩皆位于右上方(图4)。稀土元素的这个变化特征, 反映了玲珑花岗岩由片麻状花岗岩到中粗粒花岗岩的进变演化过程。片麻状花岗岩与中粗粒花岗岩稀土元素分布模式的相似性(图6)以及Eu/Sm比值的相似性(0.23~0.21), 反映了它的成因上亲缘关系。

表8 玲珑花岗岩稀土元素配分(ppm)

岩石	样数	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hc
片麻状花岗岩	8	6.2	36.3	71.1	6.7	20.3	3.9	0.9	2.6	0.4	1.4	0.3
中粗粒花岗岩	6	7.9	15.1	28.5	3.3	10.9	2.4	0.5	1.4	0.3	1.4	0.3
岩石	Er	Tm	Yb	Lu	$\Sigma$ REE / $\Sigma$ HREE	$\Sigma$ LREE / $\Sigma$ HREE	$\delta$ Eu	Eu / Sm	La / Sm			
片麻状花岗岩	0.7	0.2	0.6	0.1	142.7	11.14	1.17	0.23	9.31			
中粗粒花岗岩	0.7	0.1	0.7	0.1	68.9	4.71	0.95	0.21	6.29			

(注: 部分数据引自文献9)

4. 金: 通过金在石英、两种长石及黑云母中的含量比较(表9)可以看出, 玲珑花岗岩中的金主要赋存在钾长石中, 亦即钾长石是玲珑花岗岩中的主要载金矿物。就整个岩体而

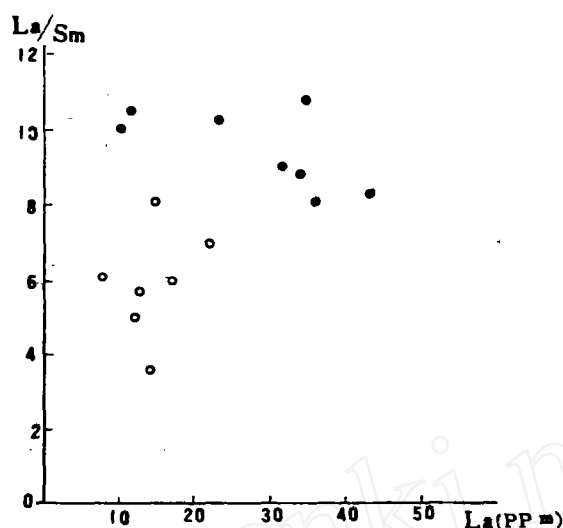


图4 玲珑片麻状花岗岩(○)与中粗粒花岗岩(·)的La/Sm—La图解

表9

玲珑花岗岩主要造岩矿物的含量

矿物	矿物在岩石中的含量 (%)		矿物中金的含量 (g/T)		1克岩石中矿物的含量 (g/T)		岩石中金的含量 (g/T)	
	I	II	I	II	I	II	I	II
石英	26.34	29.65	0.0031(3)	0.0018(5)	0.0008	0.0005		
钾长石	34.07	31.94	0.0141(3)	0.0033(6)	0.0048	0.0011		
斜长石	32.00	35.03	0.0010(2)	0.0004(2)	0.0003	0.0001		

(注：I片麻状花岗岩，II，中粗粒花岗岩，( )样品数)

言，玲珑花岗岩的含金量明显高于平均花岗岩(0.004g/T，维氏)，尤其是片麻状花岗岩为平均花岗岩的四倍多。就玲珑两类花岗岩而言，片麻状花岗岩含金量明显高于中粗粒花岗岩(接近四倍)，而从造岩矿物的含量也清楚反映了片麻状花岗岩中各种造岩矿物(钾长石、斜长石、石英)的金含量皆高于中粗粒花岗岩。由图5可见，金在玲珑花岗岩中的分布多在0.010g/T范围以内，部分在0.01~0.05gT范围之间，后者多见于片麻状花岗岩。由表10和表11玲珑片麻状花岗岩和中粗粒花岗岩金与氧化物的相关矩阵，可见，对置信区间 $\leq 90\%$ 来说， $r$ (相关系数)Au与 $Fe_2O_3 = 0.516-0.548$ ，并呈正相关关系，除此以外，未见金与其他氧化物有相关关系。

5. 氟：氟在玲珑花岗岩中的含量较低，还达不到平均花岗岩的二分之一，由表12可知，玲珑花岗岩中的氟主要赋存在黑云母中，约占岩石总量的百分之六十以上。

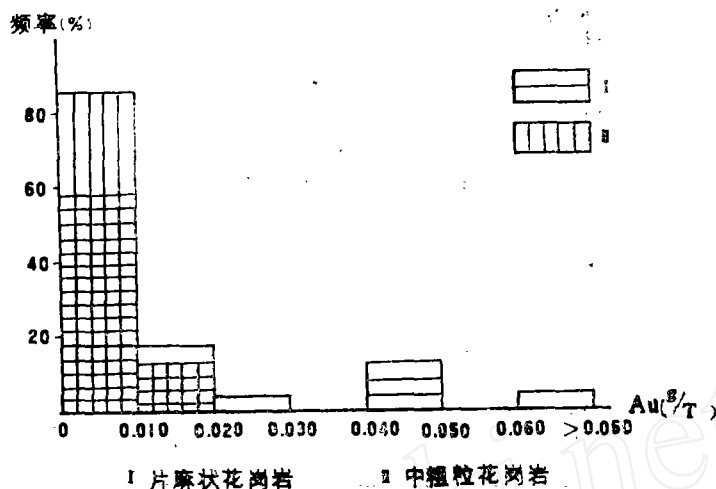


图5 玲珑花岗岩金含量直方图

表10

玲珑片麻状花岗岩金与氧化物相关矩阵

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Au
SiO <sub>2</sub>	1.000										
TiO <sub>2</sub>	-0.552	1.000									
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.951	0.556	1.000								
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.350	0.105	0.192	1.000							
FeO	0.056	-0.153	-0.202	-0.249	1.000						
MnO	0.277	-0.181	-0.309	-0.303	0.392	1.000					
MgO	-0.680	0.416	0.596	0.579	-0.410	-0.539	1.000				
CaO	-0.910	0.460	0.909	0.302	-0.152	-0.214	0.574	1.000			
Na <sub>2</sub> O	-0.543	-0.131	0.571	0.418	-0.290	-0.446	0.500	0.528	1.000		
K <sub>2</sub> O	0.700	-0.168	-0.757	-0.0255	0.183	0.290	-0.391	-0.854	-0.701	1.000	
Au	-0.255	-0.073	0.088	0.516	0.275	0.227	0.154	0.330	0.190	-0.343	1.000

〔 V ( 变量数 ) = 11, N ( 样品数 ) = 16 〕

表11 玲珑中粗粒花岗岩金与氧化物的相关矩阵

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Au
SiO <sub>2</sub>	1.000										
TiO <sub>2</sub>	-0.636	1.000									
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.864	0.505	1.000								
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.380	0.294	0.130	1.000							
FeO	-0.682	0.496	0.730	-0.193	1.000						
MnO	-0.647	0.498	0.322	0.629	0.293	1.000					
MgO	-0.793	0.638	0.543	0.507	0.545	0.879	1.000				
CaO	-0.732	0.628	0.471	0.582	0.331	0.618	0.740	1.000			
Na <sub>2</sub> O	-0.541	0.006	0.720	0.153	0.285	-0.037	0.234	0.258	1.000		
K <sub>2</sub> O	0.868	-0.348	-0.865	0.229	-0.562	-0.284	-0.499	-0.502	-0.832	1.000	
Au	-0.208	0.454	-0.035	0.548	-0.030	0.361	0.372	0.197	-0.134	-0.092	1.000

〔V(变量数) = 11, N(样品数) = 12〕

表12 玲珑花岗岩黑云母中氟的含量

黑云母含量 (%)		黑云母中氟的含量 (%)		1克岩石黑云母中氟的含量 (ppm)		黑云母氟含量占岩石的百分比		岩石中氟的含量 (ppm)	
I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
3.46	2.13	0.64(4)	0.89(6)	221.4	189.6	69.2	59.2	340	320
		(4)	(6)						

注：I片麻状花岗岩；II中粗粒花岗岩；( )样品数

**(三) 玲珑花岗岩与不同成因花岗岩类微量元素的对比**

1. 与L. V. 塔乌松不同成因花岗岩类相比，玲珑花岗岩的微量元素含量多数与幔源斜长花岗岩类不同，而与变质花岗岩或再生花岗岩类相似，如K、F、Li、Rb、Sr、Ba、Sn、W、Zn、Pb、Zr等元素(表13)。

2. 与A. B. 西多连科等不同成因花岗岩类相比，多数元素的含量接近花岗岩化花岗岩(付花岗岩)，而与幔源花岗岩类(正花岗岩)差别较大(表14)。

3. 据L. V. 塔乌松资料幔源岩浆花岗岩(斜长花岗岩)的K/Na比值明显地低于交代花岗岩和再生岩浆花岗岩，而K/Rb、Ba/Rb、F/Li元素对比值则明显地高于交代花岗岩和再生岩浆花岗岩。由表13可见，玲珑花岗岩的K/Na、K/Rb、Ba/Rb、Li×1000/K和

F/Li等元素对比值明显地不同于幔源花岗岩,而与交代(变质)花岗岩或再生花岗岩类接近。

表13 玲珑花岗岩与 L.V.塔乌松不同成因花岗岩类微量元素含量对比

元 素	斜长花岗岩	超花变质岗岩	再生花岗岩	玲珑片麻状花岗岩	玲珑中粗粒花岗岩
K*	0.5	5.4	3.3	3.09	3.49
Na*	3.2	2.5	2.9	3.33	2.97
F*	0.015	0.014	0.06	0.034	0.032
Li	2	8	36	17	20
Rb	4	140	140	110	130
Sr	190	420	300	270	184
Ba	180	1600	750	2654	1909
Sn	2.7	2.6	5.3	4	6
W	0.7	0.7	2.0	0.4	0.6
Mo	1.3	1.4	1.6	0	0
Zn	70	43	45	47	50
Pb	4.4	14	25	10	18
Zr	50	238.8	200	138	116
Hf	1.1	—	—	0	0
Nb	1.6	14.7	20	4.4	5.1
Ta	0.6	0.83	3.5	0	1.1
K/Na	0.16	2.2	1.1	1.03	0.90
K/Rb	1250	385	240	172.4	133.80
Ba/Rb	45	11.5	5.3	29.4	14.7
Li×1000/K	0.4	0.15	1.1	1.06	1.1
F/Li	75	16	16	18.8	16.0

(\*系百分含量,其余系ppm)

表14 玲珑花岗岩与 A.B.西多连科等(1975)不同成因花岗岩类微量元素含量(g/T)的对比

元素	正花岗岩	副花岗岩	片麻状花岗岩	中粗粒花岗岩	元素	正花岗岩	副花岗岩	片麻状花岗岩	中粗粒花岗岩
Ba	830.0	1509.1	2654	1909	B	15.0	10.0		
F	800.0	824.6	340	320	Be	5.5	1.6	0	0
Sr	300.0	772.7	270	184	Cs	5.0	2.2	0	0
Zr	200.0	238.8	138	116	Ta	3.5	1.2	0	0.3
Rb	200.0	178.4	110	130	Sn	3.0	3.8	4.0	6.0
Zn	60.0	25.1	47	50	Sc	3.0	5.9		
La	60.0	41.1			W	1.5	0.7	0.4	0.6
Li	40.0	24.7	17	20	Tl	1.5	1.3	0	0
Nb	20.0	14.7	4.4	5.1	Ge	1.4	0.1	0	0
Pb	20.0	21.0	10.0	18.0	Mo	1.0	0.8	0	0
Cu	20.0	16.4	35.0	27.0	Hf	1.0	4.2	0	0
Ga	20.0	13.0	15.0	17.0	Sb	0.26	1.5	2.0	0

4. 玲珑花岗岩的氟含量(0.032—0.034%)与华南不同成因花岗岩类比较, 接近于华南花岗岩化花岗岩(0.025—0.11%), 而与幔源花岗岩显著不同, 后者的含氟量明显地高(为0.13—0.38%)。

5. 由于稀土元素在原子结构、化学和晶体化学性质上存在某些差异, 因此外部地质条件和物理、化学条件的改变能导致稀土元素发生分馏, 并表现为分布模式上的变化, 故而可以利用它们的组成特点来解释成岩成矿过程中的地质条件和物理、化学条件。玲珑花岗岩, 无论是片麻状花岗岩, 还是中粗粒花岩, 其稀土元素分配的标准模式(图6)皆表现为平滑的曲线, 亦即从La到Lu呈逐渐降低的曲线, Eu不表现为负异常或亏损,  $\delta Eu$ 值为1.0—1.2。这样的模式曲线与幔源岩浆花岗岩显然不同, 后者具有明显的负Eu异常,  $\delta Eu < 0.2$ 。而与花岗岩化花岗岩的稀土分布模式一致, 并且 $\delta Eu$ 值相近( $> 0.5$ )。

#### 四、玲珑花岗岩的同位素特征

##### (一) 硫同位素

玲珑花岗岩的硫同位素组成(即 $^{34}S/^{32}S$  比值, 以 $\delta^{34}s\%$  表示)列于表15。由表15可知, 玲珑花岗岩的硫同位素组成皆为正值, 平均值为+7.3, 变化范围较狭窄, 为+4.2—+

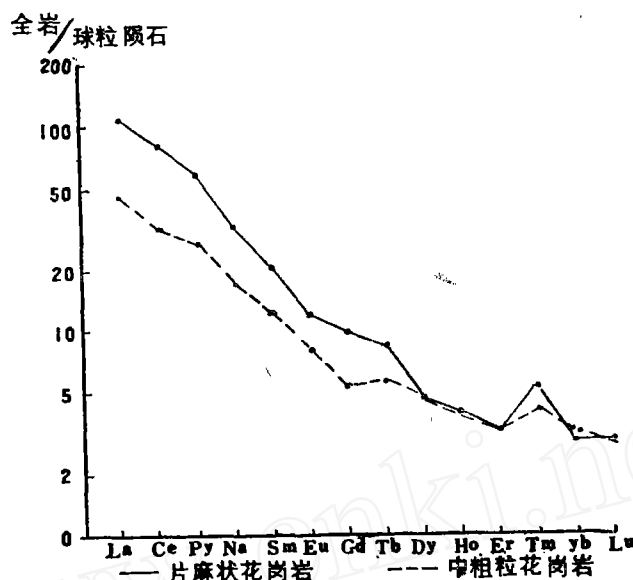


图6 玲珑花岗岩稀土元素模式图解

10.2, 与幔源岩浆岩类 ( $\delta S^{34}$  为  $\pm 1\%$ ) 差别较大, 而与花岗岩化花岗岩类较为相近 ( $\delta S^{34}$  为  $-2$ — $+9\%$ )。由于硫同位素组成变化不大, 亦表明其硫的来源较为均一, 系同一个源岩。有趣的是玲珑花岗岩的硫同位素组成与胶东群变质岩极为相近, 后者的硫同位素组成平均值为 7.4, 变化范围为 7.0—7.8, 显示了它们之间的亲缘、继承关系。可以对照的例子是扎伊尔加丹加——赞比亚铜矿带花岗岩成因的酸性岩体, 其硫同位素组成为 5.0—5.1 ( $\delta S^{34}\%$ )。

表15 玲珑花岗岩的硫同位素组成  $S \delta^{34}$  ( $\%$ )

岩石	样品数	被测矿物	平均值	变化范围
玲珑花岗岩	3	黄铁矿	5.1	4.2—5.6
	6*	黄铁矿	9.5	7.9—10.2
胶东群变质岩	5*	黄铁矿	7.4	7.0—7.8

(\*据文献12)

### (二) 氧同位素

玲珑花岗岩的氧同位素组成 (即  $O^{18}/O^{16}$  比值, 以  $\delta O^{18}\%$  表示) 见表16。由表16可知, 玲珑花岗岩的氧同位素组成平均为 8.96, 变化范围为 7.47—10.43。据资料介绍, 非变质花岗岩的氧同位素组成较为单一 (8—9%), 而变质带花岗岩的氧同位素组成较高且较分散 (10—13%)。因此, 玲珑花岗岩的氧同位素组成较分散, 具有变质花岗岩的特征, 但其变化范围兼有变质与非变质成因花岗岩的特征, 这可能与其源岩前寒武系变质岩既有斜长角

闪岩等原始幔源物质, 也有片麻岩, 变粒岩等陆源碎屑物质有关。反映在岩浆水的氧同位素组成 ( $\delta O^{18}_{H_2O}\%$ ) 亦表现出同样的特征。根据 Becker 等人 (1976) 石英—水氧同位素分馏计算公式:  $1000 \ln \alpha = 3.63 (10^6 T^{-2}) - 2.85$  (其中  $\alpha = \delta O^{18}\text{石英} / \delta O^{18}H_2O$ , 即石英—水氧同位素平衡时, 其氧同位素的分馏系数,  $T$  为温度, 由包裹体均一法测得) 计算所得玲珑花岗岩的岩浆水的氧同位素组成 (表 16) 与“正常”岩浆水的氧同位素组成 (6—9%) 亦存在一定的差别,

表 16

玲珑花岗岩的氧同位素组成 ( $\delta O^{18}\%$ )

岩 石	样号	被测矿物	$\delta O^{18}\%$ smow	$\delta O^{18}H_2O(\%)$	均一温度
片麻状花岗岩	580321	石英	10.43	8.78—10.12	332℃
	580288	石英	8.96		
中粗粒花岗岩	580306	石英	8.71	7.30—9.00	376℃
	580296	石英	7.47		
	580307	石英	9.21		

(地矿部宜昌地矿所测定)

### (三) 铷同位素 ( $Sr^{87}/Sr^{86}$ )

采自玲珑花岗岩各部位不同岩性的八个样品, 其铷同位素分析数据在等时线座标图上极为分散, 无法得到其等时年令值和铷同位初始值。综合他人的铷同位素分析资料 (共 33 个数据) 可以看出, 其投影点亦很分散, 且发现片麻状花岗岩的投影点更趋分散。相对而言, 中粗粒花岗岩的部分投影点呈现一定的线形变化, 得到的年令值为 150 百万年左右, 同时得到的铷同位素初始值为 0.7102 (图 7)。但多数投影点不在等时线上, 因此得到的年令值和铷同位素初始值, 其可靠性是值得怀疑的。铷同位素实验点在等时线座标图上的分散性, 表明玲珑花岗岩源岩的不同岩层具有不同的铷同位素初始值。花岗岩化作用的不彻底性又未能实现铷同位素的均一化, 铷同位素又处于开放的化学系统, 这就从反面提供了玲珑花岗岩非幔源岩浆分异成因, 而是花岗岩化成因的证据。

## 五、玲珑花岗岩成岩方式的讨论

中生代燕山早期, 由于板块构造的挤压、沂沭断裂活动等, 本区构造活化, 由上地幔的去气、去硅、去碱作用及深部变质分异作用所形成的, 具有高度化学活动性和渗透能力的、富含水 (由岩石毛细孔中的水及含氢氧根硅酸盐矿物变质反应后释放的水等)、碱质 (钾、钠) 及二氧化硅溶液 (汁岩), 沿围岩的微裂隙、矿物晶隙不断地、反复地对太古代—早元古代变质岩进行渗滤、扩散交代作用。开始阶段主要是钠质交代, 使原岩斜长石酸化 (钠长石成分增高), 并同时生成部分新生的更长石, 而后主要是钾质交代, 形成微斜 (条纹) 长

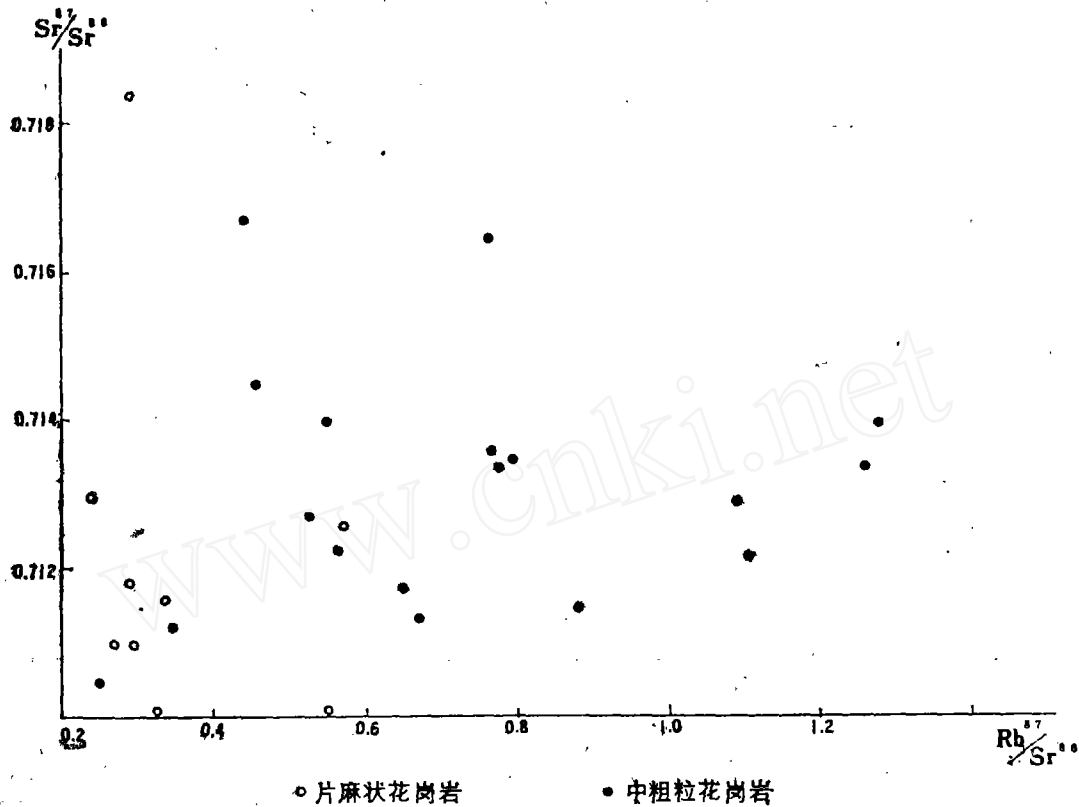


图7 玲珑花岗岩铷锶等时线图

石，接着是硅化，形成新生石英，最后是少量钠质交代，形成晚期细粒状、细脉状钠长石。在交代过程中，原岩的铁、镁、钙、铝等组分逐渐减少，钾、钠、硅等成分逐渐增加，使其逐渐地接近低共熔的花岗质成分。当交代作用进一步发展，温度达到 $500-600^{\circ}\text{C}$ 时，部分被交代的围岩开始熔融（熔融温度的高低取决于所处的压力条件和岩石的成分，一般情况下是随压力增加而下降，随钙长石成分增加而升高—见表17），出现液相成分，当液相成分达到百分之二十五，被交代的岩石就可以变为塑性状态，并能产生幅度不大的位移，与未被交代的围岩呈突变接触关系。由于交代作用的不均匀，特别是那些铁镁成分（角闪石、黑云母）、钙长石成分高的岩石，常常呈残留体或残影体呈孤岛状残留在花岗岩中，这些残留体或残影体多数没有发生位移，所以其空间分布常具大致的定向性并与围岩的产状较为和谐。玲珑片麻状花岗岩就是这种原地、半原地花岗岩化作用的产物。局部地段，当温度进一步上升到 $700^{\circ}\text{C}$ ，压力在2000巴（ $\text{pH}_2\text{O}$ ）以上，并有矿化剂组分（碳、磷、氟、硫、氯等）参与时，被交代的岩石就开始熔融，产生再生重熔岩浆，并发生侵入活动，既侵入被交代的围岩，也可侵入未经熔融的交代花岗岩，形成具有共结结构的岩浆花岗岩。玲珑中粗粒花岗岩即是这种花岗岩化过程中局部熔融的再生岩浆的结晶产物。

## 六、 几点认识

1. 玲珑花岗岩的岩石学、矿物学、矿物包裹体、岩石化学及地球化学特征，表明玲珑花岗岩是花岗岩化的产物；

2. 片麻状花岗岩与中粗粒花岗岩的变异，显示了成岩方式的差异，亦反映玲珑花岗岩是由片麻状花岗岩向中粗粒花岗岩的演化进变过程；

3. 玲珑花岗岩，尤片麻状花岗岩碱度高，并相对富含钠质、钨、锡、钼、铍、铌、钽等含量较低，反映了本区与金矿有关的花岗岩类的地球化学特征；

4. 玲珑花岗岩很可能是受沂沭断裂及其伴生的北北东向断裂影响的区域变质作用的产物，后者是中生代迭加在前寒武纪褶皱构造带（近东西向）区域变质作用上的进化区域变质作用。但该问题还有待于进一步的研究。

表17 不同岩石类型熔化温度（压力）实验结果

岩石类型	变质强度	初始温度压力		
		2Kb	1.5Kb	1Kb
含辉石斜长角闪岩	麻粒岩相	740	750	800
斜长角闪岩	角闪岩相	700	715	745
角闪黑云母片麻岩	角闪岩相	680	690	730

（长院测定1980）

### 主要参考文献

1. 南京大学，1980，火成岩岩石学，
2. 南京大学，1981，华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系，
3. 武汉地质学院，1980，岩浆岩岩石学
4. 徐克勤等，1982，华南花岗岩成因与成矿，《花岗岩地质和成矿关系国际讨论会论文摘要汇编》
5. 杨超群，1982，华南花岗岩类的成因类型《花岗岩地质和成矿关系国际讨论会论文摘要汇编》
6. 中国科学院地球化学研究所，1980，地质地球化学进展，
7. 地质科学院地质矿产所等，1974，稳定同位素地质译文集，
8. 赵振华，1978，稀土元素地球化学特征及其在岩石和矿床成因研究中的应用，《地质地球化学》第7期，
9. 桑隆康，1984. 玲珑花岗岩的成因与演化，《地球科学》第1期

10. 王中刚, 1982, 花岗岩类的稀土元素分布模式, 《花岗岩地质和成矿关系国际讨论会文摘要汇编》
11. A. J. R. WHITE, W. COMPSTON, and A. W. KLEEMAN, The Palmer Granite—A Study of a Granite Within a Regional Metamorphic Environment 《JOURNAL OF PETROLOGY》 VOLUME 8. NUMBER 1 FEBRUARY. 1967
12. 朱奉山, 1980, 混合岩化热液金矿床成矿作用初步研究, 《地质与勘探》第7期。
13. 王德滋等, 1985, 断裂区域变质作用与混合岩化作用、花岗岩化作用研究。《南京大学学报》第21卷第3期。
14. 王炳成、李福堂、1985, 玲珑花岗岩岩石学和矿物学特征。《山东地质》第1卷第1期。

www.cnki.net

**PETROCHEMICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS  
OF THE LINGLONG GRANITES**

Wang Bingcheng

(*The Geological Institute, Shandong Bureau  
of Geology and Mineral Resources*)

**Abstract**

The petrological, mineralogical, petrochemical and geochemical characteristics of the Linglong granites are similar to those of granitization granites.

The variation from the gneissic granite to the medium-coarse grained granite reflects the different ways with which the rocks were formed, and also the course of granitization from the gneissic granite to the medium-coarse grained granite.

The Linglong granites, especially the gneissic granite have higher Na and Au contents and lower W, Sn, Mo, Be, Nb and Ta contents than the average, which are the geochemical features of the granites related to the gold deposits in this region.