

## 钟腾复式花岗岩体中锆石特征及其意义

高艳君 翟丽娜

(中国地质科学院宜昌研究所)

对福建省钟腾花岗岩体不同阶段岩石中锆石的物理—化学性质、稀土元素组成及球粒陨石模式、红外光谱特征进行了研究。区分了花岗岩的形成期次,判别了岩浆的酸度。认为该岩体为下地壳或上地幔源,属同熔型。

**关键词:** 福建;花岗岩;锆石特征;同熔型



岩矿工作区

### 岩体地质概况

岩体位于政和—大甫深断裂带以南的钟腾地区,是一个侵入于晚侏罗世地层并向四周倾斜的环状中酸性花岗岩类复式岩体(呈NE—SW走向的椭圆形);与围岩界线呈圆滑波状,倾角 $50\sim 60^\circ$ ;长14.6km,宽6.3km;自外向里依次由早期云辉闪长岩→中期石英二长岩(二长花岗岩)→晚期细粒花岗岩组成。其次尚有更晚期与Cu(Mo)矿化关系密切的石英闪长玢岩脉侵入,反映了岩浆侵入活动的多期性。

岩石化学分析说明,从早至晚(期),岩体中的基性组份(V、Cr、Ti、Fe、Ca、Mg等)逐渐减少,而酸性( $\text{SiO}_2$ 、W、Sn等)和碱性( $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ )组份逐渐增加;而且与Cu(Mo)矿化关系密切的石英闪长玢岩脉的化学组份同早期云辉闪长岩及中期石英二长岩具有相似性。

### 锆石的晶形和密度

1. 岩体不同阶段岩石中锆石的晶形特征与岩石中 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 及 $\text{Na}_2\text{O}$ 的相对含量

关系较为密切:自第一→第三阶段,岩浆中 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 和 $\text{Na}_2\text{O}$ 含量逐渐增高,锆石的晶形则由锥面(111)、(311)、(131)与柱面(110)聚形→锥面(111)与柱面(110)或锥面(111)及柱面(100)、(010)聚型,从而说明早期岩浆中Si的不足和晚期岩浆中Si的相对富集。因为晚期岩浆晶出的锆石面网中Zr、Si的离子比为1:1[其锥面(111)和柱面(110)、(100)及(010)发育],故晚期岩浆晶出的锆石中Zr、Si的离子浓度近于平衡。而晚期与Cu(Mo)矿化有关的石英闪长玢岩脉的化学成分则介于岩体第一和第二阶段的岩石之间,故其锆石的晶体聚形也介于它们两者之间。

根据拉森等人(1957)用锆石最佳主轴(Reduced Major Axis)对比岩体中锆石长宽比的意见,我们对钟腾岩体中的锆石进行了数理统计,结果表明:①岩体第一→第三阶段岩石中锆石的粒度由大→小(其平均长度 $0.2282\sim 0.124\text{mm}$ ,平均宽度 $0.084\sim 0.05\text{mm}$ );②用宽(长)度标准差求得的三角函数 $\text{tg}\alpha$ 及其相应的角度 $\alpha$ (至锆石轴线的斜度),自岩体第一→第三阶段岩石中的锆石具有变大之趋势( $29^\circ\rightarrow 39^\circ 50'$ ),说明从

岩浆早期到晚期阶段形成锆石的晶体具有由长柱状→短柱状变化之特征。

锆石的晶体构造表明：当岩浆中Si的含量减少和锆石中Si、Zr离子比为1:4时，锆石的形态为长柱状（因为在 $\perp c$ 轴的切面上每有4个Zr离子才有1个Si离子，故在Si含量减少的岩浆中锆石晶体易沿 $c$ 轴方向生长）。在岩浆演化的晚期阶段，因为其中Si、Zr相对富集，而锆石晶体易沿平行 $c$ 轴（面网密度大的方向）堆积生长，此时形成的锆石为短柱状晶体。

2. 岩体各阶段岩石中锆石的密度（以静水力学法测得）平均值为4.485，与岩体二长花岗岩锆石（4.520）及海南玄武岩锆石（4.630）等密度值接近，而与西华山改造型黑云母花岗岩锆石的密度（4.287）相差甚。随着钟腾岩体由第一→第三阶段，岩石中锆石的单位晶胞棱长增大（ $a_0 = 6.587 - 6.590 - 6.593 \text{ \AA}$ ， $c_0 = 5.9650 - 5.9658 - 5.9365 \text{ \AA}$ ），锆石的密度具有变小（4.523—4.486—4.446）的趋势。

### 锆石的化学组份 和稀土元素特征

1. 化学分析表明：①钟腾岩体不同阶段岩石中锆石的 $ZrO_2$ 含量为64.03~61.93%（平均63.19%）； $SiO_2$ 33.45~32.23%（平均32.91%），并含有Hf、Th、REE、Cu、W及Sn等元素。②随着第一→第三阶段岩石的酸度增加，锆石中U、Th、REE及Hf等微量元素含量也相应递增〔其中U、Th含量与Hurley和Fairbairn（1957）关于花岗岩中锆石的U（520ppm）、Th（310ppm）含量相当〕。③从早→晚期阶段岩石中锆石的 $ZrO_2/HfO_2$ 值〔61.24—46.28（35.80）—46.39〕具有降低的趋势。④与Cu（Mo）矿（化）床有关的晚期石英闪长玢岩脉中锆石的 $HfO_2$ （9400ppm）、Th（760ppm）及REE（1861.4ppm）含量最低，但Cu（25ppm）

的含量急剧增高；故锆石中的微量元素可作为探讨其矿物成因的指示剂和判别岩石（体）形成期次的参考标志之一。

2. 因为锆石有时在岩浆结晶作用的早期阶段开始结晶而使其中微量元素丰度可以提供早期液相性质的信息；一般来说，基性岩中副矿物的REE要比花岗岩中同类矿物的REE含量低1/2~9/10，反映出某些基性岩与花岗岩在化学性质上的差异，故可以作为区分辉长岩建造中花岗岩的依据。钟腾岩体不同阶段岩石中锆石的稀土元素及其球陨稀土分量比值等结果（表1）说明：

①钟腾岩体锆石的稀土总量（3222ppm），略高于日本九州Torihama英安岩中锆石的（1505ppm）<sup>〔5〕</sup>，而远低于西华山改造型花岗岩中锆石（19828ppm），表明形成钟腾岩体的原始岩浆应属于基性岩浆；其不同阶段岩石中锆石的稀土总量具有从早→晚（期），由低→高（1852.2）→2258.12（2892.40）→5859.30ppm的变化规律。其中第三阶段岩石中锆石的稀土总量急剧增大的原因，可能与岩浆晚期锆石的结晶程度降低而较易接纳稀土有关。

②E. Алексиев（1974）指出：“在Ca、K、Th和Sr的矿物中相对富较轻的稀土（R值大），而在Zr、Mn、Sc、Fe和V的矿物中富较重的稀土（R值小）<sup>〔7〕</sup>”。钟腾岩体锆石中的稀土球陨模式呈左低右高的不对称“V”字型，钕负异常较为明显，显示出重稀土富集型特征。此模式与日本九州Torihama英安岩的锆石较为相似，而与西华山改造型花岗岩的锆石差别较大（图1），说明形成钟腾岩体的岩浆应是来自下地壳或上地幔的基性岩浆。

③由钟腾岩体锆石的稀土与其全岩稀土之比（表2）可知：其中重稀土的配分系数显著升高（特别在Yb处），并有向轻稀土方向快速降低之特点；这与西华山改造型花岗岩锆石相比较，其总的配分系数均偏低

锆石的稀土元素平均含量及其与球粒陨石稀土分量(益田)的比值

表 1

元素		岩性	云辉闪长岩 (2)	石英二长岩 (2)	二长花岗岩 (2)	细粒花岗岩 (1)	平均 (7)	石英闪长玢岩 (1)	西华山黑云母花岗岩 (3)	日本英安岩
La	含量		22.95	154.70	71.82	46.75	74.06	79.90	184.20	
	比值		72.86	491.10	228	148.40	235	253.70	584.8	
Ce	含量		269.30	473.85	376.70	286.70	351.60	344.30	1212.40	312
	比值		331.30	582.80	463.30	352.70	432.50	423.40	1480	383.80
Pr	含量		24.90	99.60	24.90	109.60	64.8	161.02	103.20	
	比值		216.50	866	216.50	952.70	562.90	1400	837.30	
Nd	含量		86.86	168.10	148.40	72.24	118.90	130.70	645.90	97
	比值		145.50	281.60	248.5	121	199	219	1082	162.50
Sm	含量		19.80	39.99	12.90	54.20	31.70	67.94	116.10	17
	比值		103	208.30	67.20	282	165	354	604.70	88.50
Eu	含量		3.30	2.58	10.58	5.25	5.40	8.10	4	1.60
	比值		46	35.80	146.90	72.90	75.40	112	55.60	22.80
Gd	含量		50.46	51.33	87.87	60.0	62.40	49.59	575.40	32.80
	比值		194.80	198.2	339.30	231.8	241.0	191.50	3735.3	126.60
Tb	含量		5.22	22.62	21.30	36.54	21.40	5.22	213.10	
	比值		111	481	453.50	777	455.60	111	4534.90	
Dy	含量		60.90	52.20	90.48	128.76	83	44.37	1133.50	125
	比值		187.0	160.60	278	396	255	136.5	3487.70	384.60
Ho	含量		30	31.80	46.98	60	42.20	23.50	371.6	
	比值		416.80	441	652.50	883.70	598.50	326.30	5161.20	
Er	含量		133.10	124.80	186.60	348.90	198.40	100	1554.60	249
	比值		624.90	586	876	1637.9	931	469.70	7231.60	1169
Tm	含量		26.84	26.40	34.30	53.68	35.30	21.10	308.90	35.30
	比值		813	800	1040	1626.60	1069	640	11542	
Yb	含量		261.80	291.70	498	2229	820	213.80	3175	591
	比值		1258.60	1402.50	2394.60	10716	3943	1028	15264.5	2841.3
Lu	含量		36	47.50	61.60	116.20	65.30	39.96	332.70	152
	比值		1127.50	1485	1925	3630	2042	1155	10396.90	4750
Y	含量		820.80	697.9	1220	2251.50	1247.60	57.50	9897.50	
	比值									
$\Sigma LREE / \Sigma HREE$			0.30	0.70	0.30	0.11	0.25	0.74	0.18	0.28
$\Sigma REE$			1852.21	2258.12	2892.40	5859.30	3222	1861.40	19828	1505.40
$\delta_{Eu}$			0.31	0.18	0.72	0.28	0.37	0.41	0.03	0.21

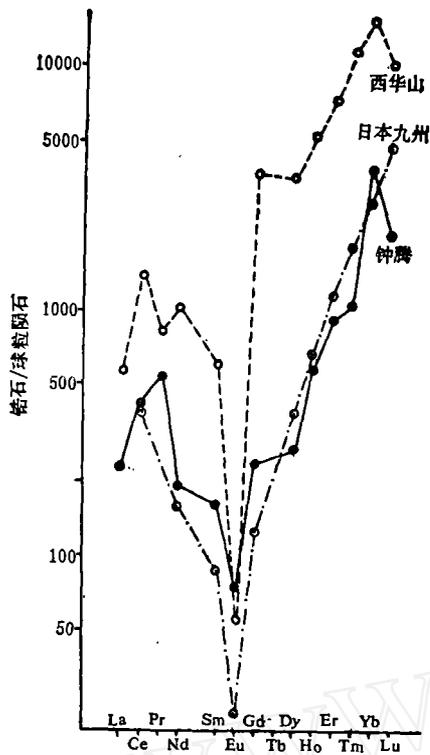


图 1 钟腾岩体锆石稀土模式与西华山及日本九州岩体锆石稀土模式对比

(Yb除外)从而说明钟腾岩体锆石对其母岩稀土摄取小于西华山改造型花岗岩之锆石;这也是导致锆石中稀土元素较低的一个原因。

钟腾岩体不同阶段岩石中锆石的稀土元素特征的差异性,反映出岩浆自早→晚(期)的贫化过程;虽然与Cu(Mo)矿化关系密切的石英闪长玢岩脉晚于岩体的形成时间,但因其锆石的许多特征均与岩浆早期的锆石相似,故其亦应属于早期岩浆的派生产物。

### 锆石的红外光谱特征

研究表明,花岗岩类岩石中锆石的红外光谱特征,可以区分或判别其岩石的成因类型[8]。而钟腾岩体中锆石的红外光谱特征表明:

1. 岩体不同阶段岩石中锆石的红外光谱均出现有 $[SiO_4]$ 四面体的变形振动带( $\gamma_4$ ) $432cm^{-1} \sim 434cm^{-1}$ 和 $612 \sim 614cm^{-1}$ , $[SiO_4]$ 四面体的伸展振动带( $\gamma_3$ ) $900 \sim 904cm^{-1}$ 和 $990 \sim 1014cm^{-1}$ 以及 $H_2O$ 分子的

钟腾岩体与西华山岩体中锆石稀土分量(ppm)与其岩石稀土分量比值 表 2

岩体	La		Ce		Pr		Nd		Sm		Eu		Gd		Tb	
	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值
钟腾	44.2	1.68	93.3	3.77	12.3	5.72	33.7	3.53	5.9	5.37	1.1	4.9	4.3	14.5	1.2	17.8
西华山	13.8	13.3	29.9	40.5	4.8	21.5	18.1	35.7	7.9	14.69	0.15	26.7	10.5	54.8	2.5	85.2
岩体	Dy		Ho		Er		Tm		Yb		Lu		Y			
	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值	含量	比值		
钟腾	4.1	20.2	1	42.1	3	66.1	0.5	70.6	2.9	282.8	0.4	163.3	25.4	49.1		
西华山	14.1	80.4	4	92.9	11.2	138.8	1.9	162.6	19	167.1	2.5	133.1	156.5	63.2		

变形振动带 $1620 \sim 1630cm^{-1}$ 与 $H_2O$ 分子的伸展振动带 $3410 \sim 3440cm^{-1}$ (表3),而且与南岭地区某些同熔型花岗岩锆石的数据特征有其相当明显的一致性[8],故钟腾岩体的成因类型应归属于同熔型。

2. 钟腾岩体三个阶段岩石中锆石的红外吸收谱的强度 $T_{612}$ 和 $T_{900 \sim 1000}$ 值,以

及 $\Delta 612$ 值均有自岩体第一阶段→第三阶段逐渐减小的规律;而 $\Delta 900 \sim 1000$ 值及 $S_{H_2O}$ 则有增加的特征(表4)。并且,此种变化也与南岭地区同熔型花岗岩中的锆石相似。

3. 锆石的 $\Delta 612$ 值与 $U+Th$ 及REE含量变化关系(图2)说明,其有随着 $U+Th$ 及REE含量增加而减小的特征,两者

岩体各类岩石中锆石的红外吸收

谱基频振动位置 表 3

阶段	岩石名称	H <sub>2</sub> O吸收峰 (cm <sup>-1</sup> )		[SiO <sub>4</sub> ] <sup>4-</sup> 吸收峰 (cm <sup>-1</sup> )			
		γ <sub>3</sub>	γ <sub>4</sub>	γ <sub>3</sub>	γ <sub>4</sub>	γ <sub>3</sub>	γ <sub>4</sub>
1	云辉闪长岩	3440	1630	1000	900	612	433
2	石英二长岩	3420	1620	990	902	613	433
	二长花岗岩	3420	1620	1014	904	612	434
3	细粒花岗岩	3410	1620	990	900	614	432
	平均	3422	1622	998.5	901	613	433
	同熔型花岗岩	3432	1621	1006	901	612	433
	改造型花岗岩	3433	1622	992	896	611	433
	标准谱			960	898	615	433

锆石的红外吸收谱强度(T)与Δ值 表 4

阶段	岩石名称	Δ612	Δ <sub>900~1000</sub>	T <sub>612</sub>	T <sub>900~1000</sub>	S <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (cm <sup>2</sup> )
1	云辉闪长岩	32	5.2	1.26	20.6	2.03
2	石英二长岩	36	5.8	1.42	20.5	2.14
	二长花岗岩	34	6.7	1.37	17.3	2.25
3	细粒花岗岩	27	6.4	1.08	15.2	3.83
	平均	32.25	6.03	1.28	18.4	2.56
	同熔型花岗岩	$\frac{27-36}{33}$	>4.7	>1		2.83
	改造型花岗岩	$\frac{6.5-22}{15}$	<4.7	<1		4.15

① Δ612 = H/M, H为平均高度(峰底的切线至峰顶的线), M为半宽度。

② S<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 1/2底 × 高(为水分子面积)。

呈反消长关系。因为钟腾岩体锆石的结晶程度具有自早→晚(期)、由高→低变化的规律性,而进一步说明“锆石中U+Th和REE的存在及其放射性辐射(有晶体破坏构造之

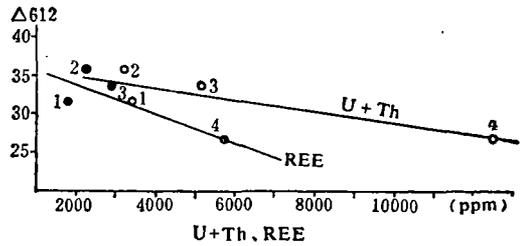


图 2 锆石的Δ612值与U+Th及REE含量关系图

1—云辉闪长岩, 2—石英二长岩, 3—二长花岗岩, 4—细粒花岗岩

作用)是导致锆石结晶程度降低的一个重要因素”[8]。

石英闪长玢岩脉中  
锆石的特征

1. 锆石的晶形为(311)、(131)、(111)锥面和(110)柱面之聚形,均呈长柱状晶体,说明形成岩脉的应属于贫Si岩浆。锆石的轴线斜率α角为28°22';比重(4.429)较小,甚至低于岩体第三阶段细粒花岗岩锆石的比重值。

2. 锆石含HfO<sub>2</sub>(9400ppm)较低,其ZrO<sub>2</sub>/HfO<sub>2</sub>值(65.82)较高,Ti、Cu、Zn、Ta等元素含量高于岩体各阶段岩石中锆石之含量;而Th及REE较低(见表2)。但是其中Cu的含量高达25ppm,可为铜(钼)矿床存在的标志;而Ti的含量高达7512ppm则是较为基性岩浆(岩)的标志之一。

3. 锆石中稀土总量较低,但其轻稀土比各阶段岩体的锆石更为富集,其轻重稀土的比值(0.74)较大(见表1)。这同样说明,形成岩脉的物质应来自下地壳或上地幔。

Characteristics of the Zircon in the Zhongteng Composite

Granitic Intrusive and Their Significance

Gao Yanjun Zhai Lina

Physical-chemical properties, REE compositions, chondrite pattern and infra-red spectrum characteristics of the zircon from the Zhongteng intrusive of different stages in Fujian have been studied. By using the results obtained the formation stages and periods of the intrusive are differentiated and the acidity of the magma is also determined. The intrusive is believed to be syntectonic type with its diagenetic materials derived from the lower crust and upper mantle.