

# 南岭两类不同成因花岗岩中的 磷灰石特征

高善继 高艳君 翟丽娜 应兰

(地矿部宜昌地质矿产研究所)

**关键词:** 磷灰石; 标型特征; 花岗岩成因; 南岭

**提 要:** 本文对南岭地区燕山期两类不同成因花岗岩(改造型及同熔型)共5个岩体23个人工重砂样品中磷灰石作了较详细的矿物学工作,包括矿物的物理性质、化学成分、稀土元素地球化学特征、红外吸收光谱以及锶同位素特征等。研究表明,所研究的两类不同成因花岗岩中的磷灰石标型特征有较明显区别:改造型花岗岩磷灰石为不够完整的六方柱状晶形,相对密度、硬度、红外光谱吸收带某些特征值及其初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值均稍大(强)于同熔型花岗岩的磷灰石;改造型花岗岩的磷灰石中较富含Mn、REE及F,同熔型磷灰石中较富含Cu、Pb和Cl。文中探讨了磷灰石标型特征的控制因素和形成规律,为其母岩的成因、物质来源提供了矿物学标志和信息。

花岗岩类中副矿物的研究是判断不同成因类型花岗岩的一种较重要的手段。当前国内外流行较广、影响较大的一些成因分类有:“I”型和“S”型花岗岩<sup>[1]</sup>、磁铁矿系列和钛铁矿系列花岗岩<sup>[2]</sup>和M型、科迪勒拉I型、加里东I型、S型、A型花岗岩<sup>[3]</sup>以及同熔型花岗岩、改造型花岗岩<sup>[4]</sup>等花岗岩成因分类,其中都将副矿物特征当作分类依据之一。本文仅对南岭地区燕山期两类不同成因花岗岩(同熔型和改造型)进行了磷灰石的对比研究。

据南京大学地质系徐克勤教授等所划分的南岭地区燕山期改造型花岗岩和同熔型花岗岩,前者为酸性花岗岩类,物质来源较浅(主要为地壳物质重熔的产物),其特点是:SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量高,而CaO、MgO、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量极低,并富含W、Sn、Nb、Ta、Be、F等微量元素;该类岩体中稀土元素总量高、重稀土相对富集,在稀土元素球粒陨石标准化图式上,负锶异常极其明显,磷灰石的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值较大(>0.7070)。我们选择西华山、红岭岩体进行对比研究。同熔型花岗岩则为中酸性花岗岩类,选择钟腾、石茛及南岭邻侧的七宝山岩体作为其代表岩体,此类花岗岩的物质来源较深(主要来自下地壳或上地幔),其中SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量较低,而CaO、MgO、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>较高,并富含Cr、Ni、Co、V及Cl等。稀土元素含量较低,且相对富含轻稀土,在稀土元素球粒陨石标准化图式上负锶异常不够明显,磷灰石的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值较低(<0.7070)。

研究表明,两类不同成因花岗岩中磷灰石特征有较明显不同,故而利用磷灰石的这些特征作为不同成因花岗岩的一种判别标志,具有重要的现实意义。

## 一、磷灰石的产状

改造型花岗岩中西华山岩体中的磷灰石与石榴石、锆石、独居石及硅铍钇矿等共生，红岭岩体中的磷灰石与钛铁矿、锆石、磁铁矿及独居石共生；而同熔型花岗岩中的钟腾岩体中的磷灰石与磁铁矿、榍石、锆石及褐帘石等共生，石蓁岩体中的磷灰石与磁铁矿、锆石、榍石等共生，七宝山岩体中的磷灰石的共生矿物为磁铁矿和锆石。

## 二、磷灰石的物理性质

两类不同成因花岗岩中磷灰石的物理性质列入表1，从表1中可看出，两类花岗岩中磷灰石的物理性质有较明显不同。改造型花岗岩磷灰石为乳白色、半透明、晶形不完整的六方柱（照片1），其相对密度和硬度均较大，在紫外光下发黄色光。同熔型磷灰石为无色、透明、晶形较完整，为六方柱与六方双锥聚形（照片2），相对密度和硬度均较小，紫外光下不发光。

表1 花岗岩中磷灰石的物理性质

Table 1 Physical properties of apatites from granitoids

类型	岩性	岩体	样品数	颜色	透明度	晶形	发光性 (紫外光)	相对* 密度	硬度**	
									压入硬度** (kg/mm <sup>2</sup> )	摩氏硬度
改造型	黑云母花岗岩	西华山	4	乳白色	半透明	不完整	黄光	3.165	461—483	5.21—5.30
		红岭	5							
同熔型	石英二长岩	钟腾	7	无色	透明	完整	不发光	3.141	442—461	5.14—5.21
	花岗闪长岩	石蓁	3							
	花岗闪长斑岩	七宝山	3							

\* 静水力学法测定

\*\* 在HITM—3型显微硬度计上测定，负荷100克。

## 三、磷灰石的化学成分

两类花岗岩中磷灰石在化学成分上的差异主要表现在微量元素的含量上，其中又以F和Cl两元素的差别较大。磷灰石具有广泛的类质同象置换，它的晶体结构中常有附加阴离子，如 $F^{-1}$ 、 $Cl^{-1}$ 及 $(OH)^{-1}$ ，这些阴离子在两类花岗岩磷灰石中的分布特征不同（表2）。F在改造型花岗岩磷灰石中平均为58700ppm，在同熔型中为30539ppm，前者比后者高出近一

表2 花岗岩中磷灰石的化学成分(%)

Table 2 Chemical composition of apatites from granitoids (in wt. percentage)

类 型	改 造 型		同 熔 型		
	西 华 山	红 岭	钟 腾	石 棗	七 宝 山
岩 体					
样 品 数	2	5	7	3	3
CaO		51.79	53.39	50.74	54.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		34.56	37.75	36.77	40.48
Cu	<12.8*	23.4*	1970	2373	
Pb	<260*	<306*	292.92	480	
Mn (ppm)	4466	1706	462	747	
F	42400	75000	38950	25367	27300
Cl	95	438	4798.75	2417	3330
F/Cl	446.3	171.2	10.10	10.50	8.20

注：由宜昌地质矿产所化实验室郑厚德测定。测试方法为光度分析结果。

\* 为光谱近似定量分析结果。

倍；Cl的含量则相反，前者比后者低一个数量级（前者平均266.5ppm，后者为3515.25ppm）。造矿元素Cu、Pb、Mn的含量也有不同，改造型花岗岩磷灰石与同熔型相比，前者中Cu、Pb含量较低，而Mn的含量却高得多（表2）。

#### 四、磷灰石的稀土元素地球化学特征

改造型花岗岩中磷灰石稀土总量（3845.1—7153.09ppm）略高于同熔型（2481.5—5075.7ppm），见表3。其中钟腾岩体磷灰石稀土总量较高，这是因为其中轻稀土元素La、Ce、

表3 花岗岩中磷灰石的稀土元素含量(ppm)

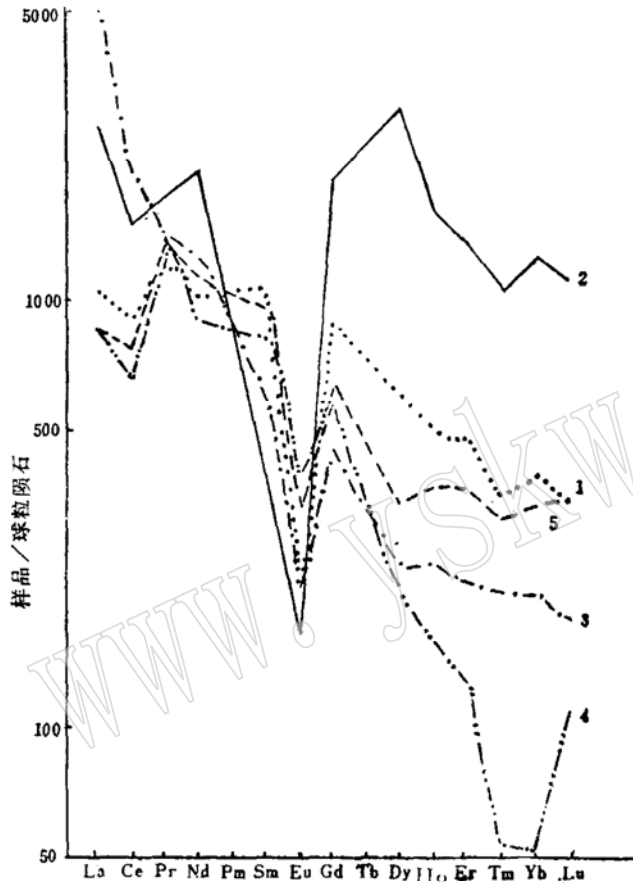
Table 3 REE contents of apatites from granitoids (in ppm)

类 型	改 造 型		同 熔 型		
	西 华 山	红 岭	钟 腾	石 棗	七 宝 山
岩 体					
样 品 数	1	2	7	3	2
La	793.1	334.5	1585.7	277.63	275.4
Ce	1241.7	752.9	1675.7	649.6	550.4
Pr	201.25	139.03	171.2	158	171
Nd	1232.4	615.33	775.5	662.5	540.5
Sm	71.04	207.26	115.5	187.2	159.1
Eu	12	14.62	16.34	23.2	27.5
Gd	493.3	226.64	119	169.9	150.1
Tb	104.4	39.15	20.1	27.6	22.6
Dy	870	195.75	75.5	109	67.9
Ho	113.1	35.67	17.5	26.1	11.3
Er	289.7	101.36	46.5	75.7	26.1
Tm	35.2	11.4	6.9	10.2	1.8
Yb	264	80.96	43.1	68.4	10.6
Lu	35.2	10.56	5.7	10.6	3.5
Y	1396.7	1079.93	401.5	676.8	463.7

续表

类型	改造型		同熔型		
岩体	西华山	红岭	钟腾	石棗	七宝山
样品数	1	2	7	3	2
$\Sigma$ REE	7153.09	3845.1	5075.7	3132.4	2481.5
$\Sigma$ LREE/ $\Sigma$ HREE	0.99	1.16	5.9	1.7	2.28
$\delta$ Eu	0.15	0.21	0.43	0.4	0.54

注：感耦高频等离子炬发射光谱法测定，由宜昌地质矿产所化实验室郑厚德测试



Pr、Nd 尤其是 La、Ce 含量高之故，而同熔型的轻重稀土比值（1.7—5.9，以钟腾岩体最高）和  $\delta$ Eu 值（0.4—0.54）皆大于改造型磷灰石。从两类花岗岩磷灰石稀土元素球粒陨石标准化分布模式来看（图 1），改造型为近于对称的“V”字形曲线，负铕异常极为明显，同熔型呈向右急倾斜的不对称的“V”字形曲线，显示了铕的负异常。与各自岩石的特征相一致<sup>[4]</sup>。

图 1 花岗岩中的磷灰石稀土元素球粒陨石标准化分布模式  
Fig. 1 Chondrite-normalized REE patterns of apatites from granitoids

1. 红岭岩体，2. 西华山岩体，改造型花岗岩中磷灰石；3. 钟腾岩体，4. 七宝岩体山，5. 石棗岩体，同熔型花岗岩中磷灰石

## 五、磷灰石的红外光谱特征

两类花岗岩中磷灰石的红外光谱分析结果<sup>①</sup>表明：磷灰石的  $[\text{PO}_4]^{3-}$  伸缩振动出现了两个吸收谱带，其一为  $1100-1090\text{cm}^{-1}$ ，另一个为  $1050-1044\text{cm}^{-1}$ （此带最强，为  $\nu_3$ <sup>②</sup>），弯曲振动分裂出两个吸收谱带，即  $605-601\text{cm}^{-1}$  和  $578-572\text{cm}^{-1}$ （为  $\nu_4$ ）。 $472-460\text{cm}^{-1}$  这组谱带是由  $\nu_3-\nu_4$  的差频模式所引起的<sup>[5]</sup>。对称的伸缩振动带为  $966-962\text{cm}^{-1}$ （此带最弱）。其  $1638-1620\text{cm}^{-1}$  和  $3450-3410\text{cm}^{-1}$  两组谱带，据坎特(Cant, et, al. 1971)的意见，认为主要是由  $\text{H}_2\text{O}$  分子引起的<sup>[5]</sup>（表 4）。将两类花岗岩磷灰石的红外光谱谱线绘入图 2，从图 2 中可看出，两类花岗岩中磷灰石的红外光谱谱带是有区别的， $[\text{PO}_4]^{3-}$  吸收带的伸缩

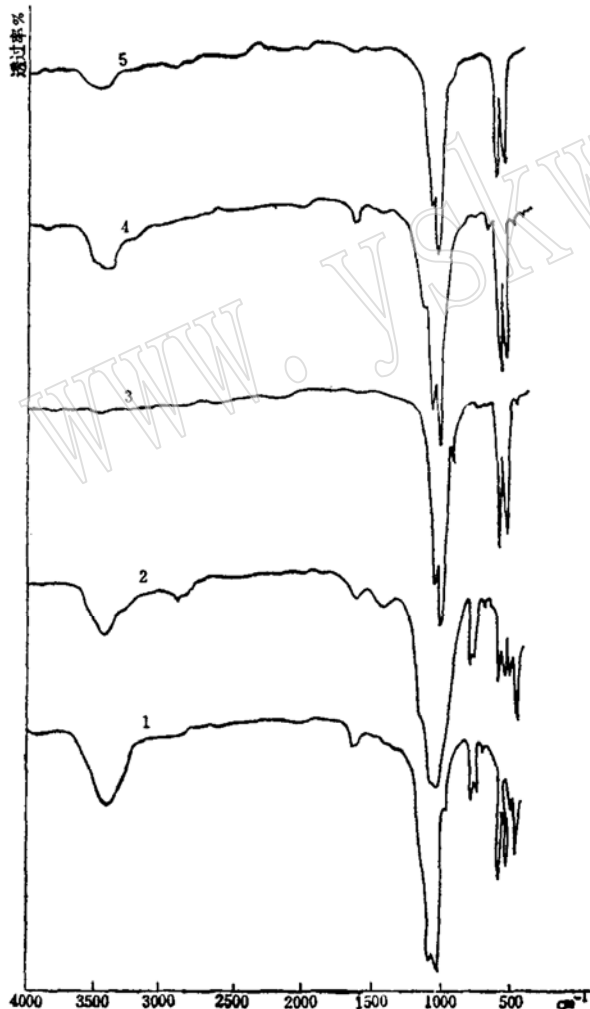
① 东德 Zeiss Jene Specord IR-75 型，红外光谱仪

②  $\nu$  为吸收带频率

表 4 花岗岩中磷灰石的红外光谱  
Table 4 Infrared spectra of apatites from granitoids

类型	岩体	样品数	[PO <sub>4</sub> ] <sup>3-</sup> 吸收带 (cm <sup>-1</sup> )					H <sub>2</sub> O + OH <sup>-1</sup> 吸收带 (cm <sup>-1</sup> )			
			伸缩振动		弯曲振动		ν <sub>3</sub> -ν <sub>4</sub>	对称伸缩振动 ν <sub>1</sub>	OH <sup>-1</sup>	伸缩振动	弯曲振动
			ν <sub>3</sub>	ν <sub>4</sub>	ν <sub>3</sub>	ν <sub>4</sub>					
改造型	西华山	1	1090	1050	605	575	460			3450	1625
	红岭	4	1096—1095	1048—1046	602	576—574	472—462	966—964		3440—3420	1634—1620
同熔型	钟腾	3	1100—1094	1048—1046	602—601	578—572	472	966—962		3435—3410	1638—1620
	石棗	3	1094—1092	1046—1044	602	574—572	470—464	965—964	3545—3544	3440—3420	1630—1620
	七宝山	3	1096—1094	1048—1047	602	574	466—462	966	3545	3440—3400	

注：由天津地质矿产所赵人芳测定，采用粉末溴化钾压片法测试。



振动谱带中,改造型花岗岩磷灰石较宽,且1100—1090cm<sup>-1</sup>及 1050—1044cm<sup>-1</sup>两个峰的强度都较强;而同熔型较窄又尖锐,其中 1100—1090cm<sup>-1</sup>一组峰强度较弱。从表 4 中亦可看出,改造型花岗岩磷灰石的 1050—1044 cm<sup>-1</sup> 及605—601cm<sup>-1</sup> 谱带的频率皆稍大于同熔型磷灰石,据公式:  $\nu = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{K}{M}}$  (式中,ν—频率, K—键强, M—原子质量),当 M 被确定时,其中 ν 值增高,则 K 值增加,也就是说 [PO<sub>4</sub>]<sup>3-</sup> 中的 P—O 结合得较牢固,故上述情况说明改造型花岗岩磷灰石的 [PO<sub>4</sub>]<sup>3-</sup> 较同熔型结合得较牢固,这与改造型磷灰石的物理性质(相对

图 2 花岗岩中磷灰石的红外光谱图  
Fig. 2 Infrared absorption spectra of apatites from granitoids

- 1. 红岭岩体、2. 西华山岩体,改造型花岗岩中磷灰石、3. 七宝山岩体、4. 石棗岩体、5. 钟腾岩体,同熔型花岗岩中磷灰石

密度和硬度均较大)关系密切,说明矿物的晶体结构愈紧密,其相对密度愈大,矿物质点之间的吸引力增大,抵抗外力作用的强度增强,矿物所承受的压力相对要大些,故所测得

的硬度值稍大于同熔型磷灰石。

两类花岗岩中磷灰石的红外光谱特征的区别还表现在：改造型花岗岩磷灰石中无羟基谱带，而同熔型（石茛和七宝山岩体）磷灰石出现羟基谱（ $3545-3544\text{cm}^{-1}$ ）。

## 六、磷灰石的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值及其特征

两类花岗岩中磷灰石的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值也有较明显区别。改造型花岗岩磷灰石初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值（ $0.72116$ ）<sup>①</sup>大于G. 福尔的大陆地壳平均值（ $0.7190$ ）<sup>[7]</sup>，同熔型，如钟腾岩体磷灰石的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 $0.70564 \pm 0.0003-0.70566 \pm 0.0001$ <sup>②</sup>，与G. 福尔的现代大洋玄武岩的最大值相近似。

综上所述，可以综合出两类花岗岩中磷灰石的标型特征，见表5，其磷灰石特征可作为不同成因花岗岩的判别标志。

## 七、小结与结论

1. 南岭地区燕山期两类不同成因（改造型和同熔型）花岗岩的磷灰石，无论共生组合还是其矿物标型特征都有较明显区别（表5），这些区别可以作为区分本区两类不同成因花岗岩的一个重要标志。

2. 两类花岗岩中磷灰石的微量元素含量是花岗岩物质来源不同的鉴别标志。相比而言，改造型花岗岩的磷灰石富含锰、氟等元素，同熔型富含铜、铅以及显示深源特征的元素氯等。

花岗岩中磷灰石是稀土元素的最重要的载体矿物之一<sup>[8]</sup>。同熔型花岗岩磷灰石的稀土总量较低，而轻重稀土比值较大， $\delta\text{Eu}$ 值也较大，负锔异常明显。改造型花岗岩磷灰石的稀土总量较高，轻重稀土比值较小， $\delta\text{Eu}$ 值很小，负锔异常极为明显，等等。这些特征充分反映了两类花岗岩的岩浆具有不同的化学性质和不同的深度来源，从而说明，前者来源于相对富锔、富轻稀土的下部地壳或上地幔；后者则是来源于富重稀土和贫锔的地壳上部硅铝层，与我国南岭大陆地壳，尤其是赣南、粤北地区的大陆陆壳重稀土元素富集的特征相一致。

3. 改造型花岗岩磷灰石与同熔型相比，前者的相对密度，硬度以及红外光谱吸收带（最强）的频率略高于后者，且后者含羟基谱带而前者不含。结合两类花岗岩中磷灰石的化学成分特征，反映了两类花岗岩磷灰石的种属可能不相同，前者可能是氟磷灰石类，后者很可能属于富氟和含羟基根的磷灰石类。

4. 同熔型花岗岩磷灰石的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值明显地低于改造型磷灰石。因此，笔者认为磷灰石的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值在说明花岗岩的成因特征上具有重要的地球化学意义，可以作为判别花岗岩类成岩物质来源的重要标志之一。

5. 两类花岗岩磷灰石的共生组合及晶体形态特征的差异，可能反映同熔型花岗岩岩浆是一种形成深度较大、压力较高的高温熔浆，磷灰石的晶体结晶速度相对较为缓慢，故而晶形较完好。

① 陈志雄等，1985，西华山和红岭钨矿床成矿地质特征的研究。

② 高善继等，1985，南岭地区燕山期某些与成矿有关的两种不同成因花岗岩中副矿物研究（所资料室）。

表5 两类花岗岩的磷灰石特征对比表

Table 5 Comparison of characteristics between apatites from syntectonic granitoids and those from transformation granitoids

标 型 特 征		改 造 型	同 熔 型
物理性质	颜色	乳白色	无色
	透明度	较差	较好
晶形	晶形	不完整的六方柱	晶形完整, 六方柱与六方双锥聚形
	发光性	紫外光下发黄色光	不发光
相对密度	相对密度	3.142—3.165	3.103—3.141
	硬度 (kg/mm <sup>2</sup> )	461—483	442—461
微量元素 (ppm)	Cu	<12.8—23.4	1970—2373
	Pb	<260—<306	292.92—480
	Mn	1706—4466	462—747
	F	42400—75000	25367—38950
	Cl	95—438	2417—4793.75
	F/Cl	171.2—446.3	8.2—10.50
稀土元素 (ppm)	ΣREE	3845.1—7153.09	2481.5—5075.7
	ΣLREE/ΣHREE	0.99—1.16	1.7—5.9
	δEu	0.15—0.21	0.4—0.54
红外光谱 特征 (cm <sup>-1</sup> )	OH <sup>-1</sup>		3545—3544
	1050—1044	1050—1046	1048—1044
	605—601	605—602	602—601
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr		0.72116	0.70564—0.70566

## 参 考 文 献

- [1] Chappell, B. W. and White, A. J. R., 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8. pp. 173—174.
- [2] Ishihara, S., 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, 27. pp. 209—305.
- [3] Pitcher, W. S., 1983. 花岗岩的类型和构造环境. *国外地质*, 1984, 第3期, 第1—3页。
- [4] 徐克勤等, 1982. 华南两类不同成因花岗岩岩石学特征. *岩矿测试*, 第1卷, 第2期, 第1—12页。
- [5] Farmer, V. C., 1982. 矿物的红外光谱. *科学出版社*, 第309—311页。
- [6] 董庆年, 1977. 红外光谱法. *石油工业出版社*, 第8页。
- [7] G. 福尔, J. L., 鲍威尔, 1975. 锶同位素地质学. *科学出版社*, 第31—36页。
- [8] H. 普赫尔特 (Puchelt), R. 埃默曼 (Emmermann), 1976. 论火成岩和变质岩中磷灰石的稀土模型的意义. *地质地球化学*, 1978, 第5期, 第17—21页。

## Characteristics of Apatites from Two Types of Granitoids in Nanling Region

Gao Shanji, Gao Yanjun, Zhai Lina, Ying Lan

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese  
Academy of Geological Sciences)

**Key words:** apatite; typomorphic characteristic; geneses of  
granitoids; Nanling

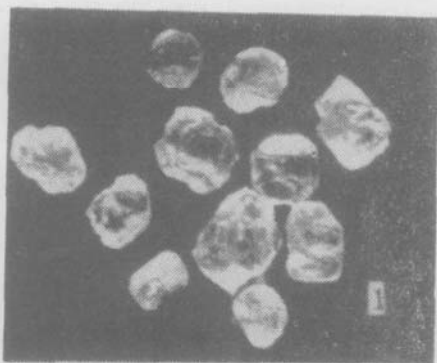
### Abstract

Apatites from syntectic granitoids are characterized by their rather perfect crystallization, relative density (3.103—3.141), microhardness (442—461 kg/mm<sup>2</sup>) and peculiar contents of some elements: Cu 1970—2373 ppm, Pb 292.92—480 ppm, F 25367—38950 ppm, Cl 2417—4798.75 ppm. In contrast, apatites from the transformation granitoids have relative densities 3.142—3.165, microhardness 461—483 kg/mm<sup>2</sup>, Cu 12.8—23.4 ppm, Pb 260—306 ppm, F 42400—75000 ppm, Cl 95—438 ppm, and relatively rich REE. In addition, apatites from the transformation granitoids have somewhat higher infrared spectroscopic data (1050—1046 cm<sup>-1</sup>) than those from the syntectic granitoids (1048—1044 cm<sup>-1</sup>, 602—601 cm<sup>-1</sup>). The initial <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr ratio of apatites from syntectic granitoids is 0.70564—0.70566 while that of apatites from the transformation granitoids is 0.72116.

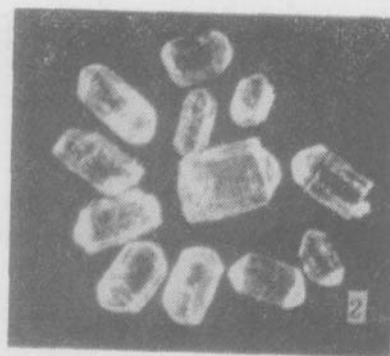
From the above discussion, we may reach the conclusion that these two types of granitoids had different source materials and were formed under different physical-chemical conditions, i. e., the magma of the syntectic granitoids came from greater depth while the magma of the transformation granitoids was a kind of remelting magma derived from crustal materials.



高善继、高艳君等：南岭两类不同成因花岗岩中的磷灰石特征



照片 1 磷灰石(红岭岩体)晶形不完整、表面不光滑,单偏光  $\times 40$



照片 2 磷灰石(钟腾岩体)晶形完整、表面较光滑,单偏光  $\times 40$