

# 闽北麻源群斜长角闪岩中锆石的成因矿物学研究<sup>\*</sup>

鲍学昭 甘晓春

(地矿部天津地质矿产研究所, 天津 300170)

**主题词** 岩浆锆石 变质锆石 电子探针 喇曼光谱 麻源群斜长角闪岩

**提 要** 本文通过透射显微镜、电子探针和喇曼光谱微区分析, 对福建建阳县麻源群大金山组斜长角闪岩中两组锆石进行了成因学研究。结果表明, 第一组年龄为 2300 Ma± 的锆石为岩浆成因锆石, 它们结晶于原岩的形成过程中; 第二组年龄为 400 Ma± 的锆石为变质重结晶锆石, 它们结晶于后期的变质事件过程中。本文总结了它们的矿物学特征。

## 1 锆石的地质产状、形态及年龄值

锆石样品取自福建建阳县城西 20 km 莒口一带的斜长角闪岩中, 它归属于麻源群大金山组下段, 该套岩石以黑云斜长变粒岩为主, 含少量斜长角闪岩及大理岩, 特征的变质矿物有: 矽线石、蓝晶石、石榴石、透辉石, 表明已达角闪岩相的变质条件。前人研究表明, 其形成时代为早元古代<sup>(1)</sup>, 斜长角闪岩的矿物组合是以角闪石+斜长石(中长石或更长石)为主, 有时出现次透辉石等矿物。在这套斜长角闪岩中获得两组锆石:

第一组锆石(M-y号)呈浑圆的长柱状, 棕红色, 颗粒在 0.3—0.5 mm 之间, 切片的透射显微镜观察显示具典型的岩浆型锆石的自形生长环带<sup>(2)</sup>(照片1和照片2)。单粒锆石 U-Pb 测年研究表明其年龄为 2300 Ma± (甘晓春在本所测)。

第二组锆石(M-b号)晶体比上述锆石小一半左右(0.1—0.25 mm), 呈等轴状的浑圆球形, 无色透明, 切片观察未见生长环带, 但见浑圆形核晶(照版3和照片4), 这与被汪相证明为变质重结晶锆石的情况相似<sup>(3)</sup>。单粒锆石 U-Pb 测年获得其年龄值为 400 Ma±。由于这套岩石形成于早元古代<sup>(1)</sup>, 故第一组锆石为原岩形成时结晶的岩浆锆石, 第二组为 400Ma± 的一次变质事件中形成的变质重结晶锆石。

## 2 锆石的内部结构及成分特征

### 2.1 实验

#### 2.1.1 电子探针分析

先把锆石晶体磨掉一半左右, 然后抛光, 再采用日本 JXA-8600 型电子探针仪进行成分

\* 国家自然科学基金资助项目(49202021)

本文于 1995 年 8 月 4 日收到, 1995 年 10 月 26 日改回。

定量分析。测定是采用从晶体中心至边缘的测试方式, 实验条件及结果见表 1。

表 1 麻源群斜长角闪岩中两种年龄锆石样品从晶体核部至边缘(1→4)的化学成分

Table 1 Chemical composition from core to rim (1→4) of a zircon crystal

样号	成 点 分 号	SiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ	ZrO <sub>2</sub> / HfO <sub>2</sub>
M-y <sub>1</sub>	1	33.04	0.15	0.00	65.23	1.21	0.25	0.07	0.00	99.95	53.91
	2	33.21	0.00	0.00	66.35	1.33	0.14	0.07	0.00	101.10	49.89
	3	32.95	0.00	0.00	67.07	1.36	0.16	0.03	0.07	101.64	49.32
	4	33.21	0.08	0.00	66.00	2.19	0.30	0.00	0.00	101.78	30.14
M-y <sub>2</sub>	1	33.68	0.07	0.09	67.69	1.17	0.06	0.10	0.15	103.01	57.85
	2	33.54	0.06	0.00	65.17	1.78	0.00	0.00	0.00	100.55	36.61
	3	32.68	0.06	0.07	65.33	1.79	0.07	0.00	0.00	100.00	36.50
	4	33.75	0.00	0.05	64.66	1.54	0.00	0.00	0.00	100.00	41.99
M-b <sub>1</sub>	1	32.66	0.00	0.00	65.82	1.47	0.00	0.05	0.00	100.00	44.78
	2	32.34	0.00	0.00	66.42	1.21	0.00	0.03	0.00	100.00	54.89
	3	33.05	0.14	0.00	67.03	1.10	0.00	0.03	0.05	101.40	60.94
	4	32.53	0.00	0.00	65.97	1.24	0.00	0.05	0.00	99.79	53.20
M-b <sub>2</sub>	1	31.75	0.08	0.00	66.70	1.45	0.00	0.02	0.00	100.00	46.00
	2	33.15	0.00	0.00	67.42	1.17	0.00	0.00	0.00	101.74	57.62
	3	32.41	0.00	0.00	67.82	1.02	0.00	0.03	0.00	101.28	66.49
	4	31.69	0.00	0.00	66.98	1.45	0.00	0.00	0.05	100.17	46.19

测试仪器及测试条件: JXA-8600 型电子探针仪; 加速电压 20 kV, 出射角 40°, 束流  $2 \times 10^{-8}$  A。

测试者: 核工业部北京地质研究院电子探针室 范光;

标样分别为: Si, Zr—ZrSiO<sub>4</sub>, U—UO<sub>2</sub>, Th—ThO<sub>2</sub>, Hf—金属铪, P—钒磷酸钾, Y—Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, Fe—FeS<sub>2</sub>

### 2.1.2 喇曼光谱显微分析

将上述样品进一步抛光, 然后用法国 J. Y 公司 T6400 型激光喇曼光谱仪从晶体核部至边缘进行测试。测试条件: 用显微 Ramam×100 镜头, CCD 取谱, 积分时间 150 秒, 狭缝 200/250, 激光波长 514.5 nm, 激光功率 200 mW (激光光束可聚集至 2 μm 大小, 由吉林大学喇曼光谱实验室罗薇测)。

## 2.2 实验结果和讨论

### 2.2.1 化学成分特点

第一组锆石 (M-y 号) 由表 1 可见, 这种锆石从核部至边缘显示 HfO<sub>2</sub> 含量上升、ZrO<sub>2</sub>/HfO<sub>2</sub> 比值下降的趋势 (M-y<sub>2</sub> 边缘异常可能是受后期变质作用影响造成), 这与笔者研究的岩浆锆石的变化趋势是一致的<sup>①、④</sup>, 因而进一步证明它们为岩浆型锆石。

第二组锆石 (M-b 号) 显示从晶体核部至边缘 HfO<sub>2</sub> 含量下降、ZrO<sub>2</sub>/HfO<sub>2</sub> 比值上升的总趋势 (边缘异常为后期退变质造成<sup>①</sup>), 这与笔者研究的变质重结晶锆石是一致的, 进一步证实它们为变质重结晶锆石<sup>①</sup>。

### 2.2.2 显微喇曼光谱特征

这两组锆石从晶体中心至边缘的显微喇曼分析表明它们在喇曼光谱及其演化上也存在

① 鲍学昭, 锆石中两组成分变化趋势及其成因标型意义, 矿物学报 (待刊)。

差异，表 2 为各锆石从晶体中心至边缘各点喇曼峰频率观测值。图 1 为第一组锆石的典型喇曼光谱，图 2 为与之对比的小秦岭地区伟晶岩中典型<sup>①</sup>的岩浆型锆石（9303 号）的喇曼光谱，第二组锆石典型的喇曼光谱见图 3，图 4 为被汪相等<sup>(3)</sup>证明为变质重结晶成因的淡竹花岗岩中锆石（经历中级变质作用）的喇曼光谱，各峰归属见文献〔5〕，对比上述可见：

表 2 岩浆成因锆石和变质成因锆石从核部至边缘的喇曼光谱振动峰值

Table 2 Observed vibration frequencies of Raman spectra from core to edge of magmatogenic and metamorphic zircons

成因	样号	点 对称类型 号	E <sub>g</sub> (II)	B <sub>2g</sub> (I)	E <sub>g</sub> (I)	E <sub>g</sub> (ν <sub>4</sub> )	A <sub>1g</sub> (ν <sub>2</sub> )	A <sub>1g</sub> (ν <sub>1</sub> )	B <sub>1g</sub> (ν <sub>3</sub> )		
岩浆成因	M-y <sub>1</sub>	中 1	202.09		224.23	355.43	437.84	972.48	1005.30	1054.1	1087.70
		2	201.68		224.23	355.43	438.25	972.88	1006.10	1054.50	
		3	201.68		224.23	355.02	438.25	972.48	1005.70	1054.10	
		边 4	201.68	219.76	224.23	355.43	438.25	972.68	1006.10		
	M-y <sub>2</sub>	中 1	199.69		221.77	353.38	435.79	970.84	1004.50	1052.80	
		2	200.04		221.18	352.56	435.79	970.84	1004.00	1052.40	
		3	199.63		221.77	353.38	436.20	970.84	1004.50	1052.80	
		4	199.22		221.77	353.38	436.20	971.25	1004.50	1053.20	
	9303	中 1	202.09		225.05	357.46	437.64	974.12	1007.30	1055.30	
		2	202.09		224.64	355.64	438.25	973.30	1008.50	1054.50	
		3	201.68	213.16	224.23		437.64	972.89	1007.30	1054.50	
		边 4	201.68	213.16	223.82		437.64	973.30	1006.90	1054.50	
变质成因	M-b <sub>1</sub>	中 1	200.04		223.00	355.02	438.25	973.30	1006.90	1053.20	
		2	199.22	211.93	222.18	354.20	437.02	972.07	1005.70		
		3	200.45	213.16	223.41	355.43	438.25	973.71	1007.30	1053.70	
		边 4	200.86	213.57	223.82	355.43	438.66	973.71	1007.30	1054.90	
	M-b <sub>2</sub>	中 1	198.40	210.29	221.36	353.98	436.20	971.25	1004.50	1052.40	1087.30
		2	198.81	210.70	221.77	353.78	436.20	971.66	1004.90	1052.40	
		3	199.22	211.52	222.18	354.20	436.61	971.66	1005.30	1053.20	
		4	198.81	211.52	222.18	353.79	436.20	971.66	1004.90	1052.80	
	87013	边 5	199.63	211.52	222.59	354.61	436.61	972.07	1005.70	1054.10	
		中 1	202.02	213.96	225.06	356.25	439.48	974.59	1007.70	1055.90	1090.10
		2	201.68	213.57	224.64	356.25	439.48	974.12	1007.30	1050.80	
		3	202.09	213.98	224.64	356.25	439.48	974.12	1007.70	1054.90	
	87013	4	201.68	213.57	224.64	356.25	438.07	974.59	1007.70	1055.90	
		5	202.50	214.39	225.05	356.66	439.48	974.94	1008.10	1055.70	
		边 6	202.09	214.98	224.64	356.25	439.07	974.59	1008.10	1055.90	

\* 见文献〔5〕

(1) 本文研究的岩浆型锆石的显微喇曼光谱背景线较高，且是倾斜于坐标的，岩浆锆石粉晶样品的喇曼光谱也显示出类似特征，这说明这些锆石的荧光背景值较大，表明它们含有具荧光性质的杂质较多；而本文研究的中低级变质重结晶锆石则显示背景线很低（背景

① 鲍学昭，锆石中两组成分变化趋势及其成因标型意义。矿物学报（待刊）。

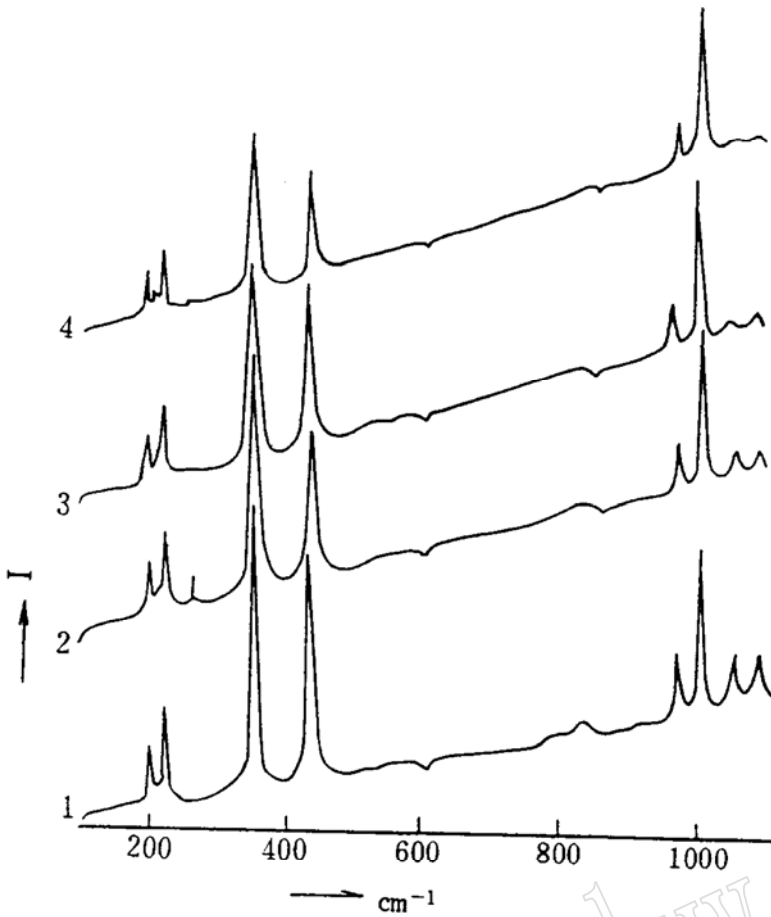


图1 麻源群斜长角闪岩中 2300 Ma ± 组锆石 (M-y 号) 从核部至边缘 (1→4) 典型样品的喇曼光谱图

Fig. 1 Raman spectra from core to rim (1→4) of the 2300Ma ± group zircon crystal (no. M-y) from plagioclase-amphibolite of Mayuan Group

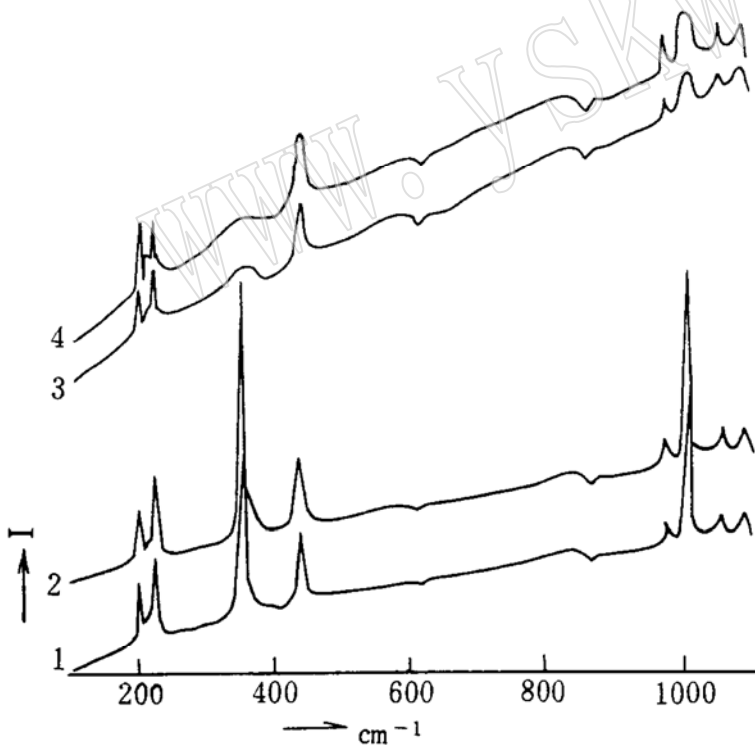


图2 9303号伟晶岩岩浆型锆石从核部至边缘 (1→4) 喇曼光谱图

Fig. 2 Raman spectra from core to rim (1→4) of No. 9303 magmatogenic zircon from pegmatite

线强度几乎为零), 且是平行于坐标的, 中低级变质重结晶锆石粉末样品的喇曼光谱图也显示出上述特点, 这说明在变质重结晶锆石晶体中具荧光性质的杂质含量低。

可能的成因推论: 喇曼光谱受荧光的影响很大<sup>(6)</sup>。且极微量 (电子探针测定极限以下) 的具荧光性质的离子多为过渡族离子, 特别是稀土元素, 如 Eu、La、Ca、Y 等<sup>(7)</sup>。前人的工作证明<sup>(8)</sup> 锆石中含有这类稀土元素, 并在不同成因锆石中存在含量上的差异。因此, 笔者

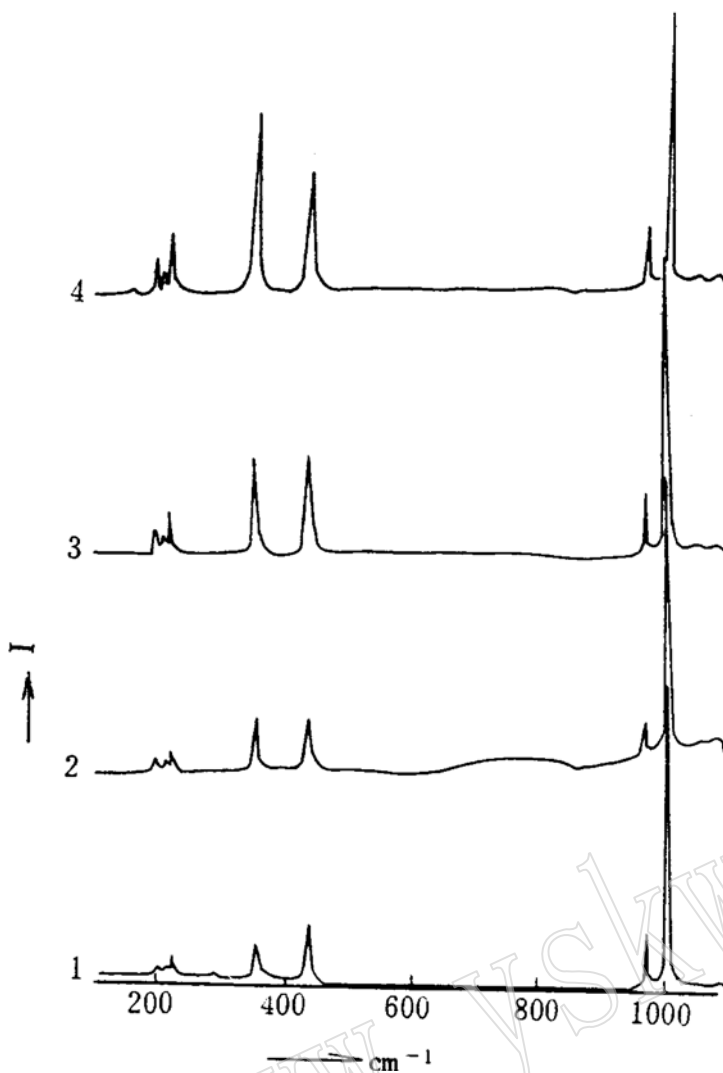


图 3 麻源群斜长角闪岩中 400 Ma± 组锆石 (M-b) 从核部至边缘 (1→4) 典型样品的喇曼光谱图

Fig. 3 Raman spectra from core to rim (1→4) of the 400 Ma± group zircon (No. M-b) crystal from plagioclase-amphibolite of Mayuan group

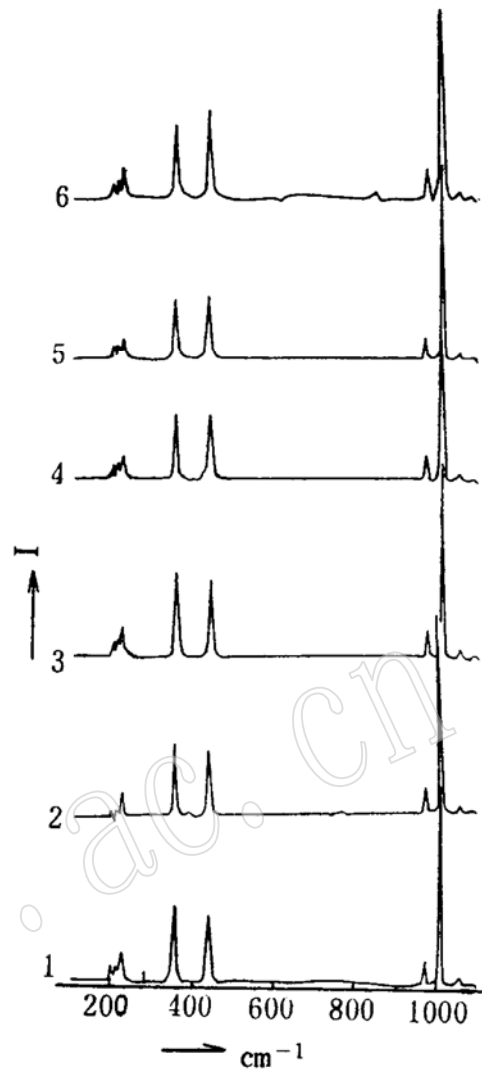


图 4 87013 号变质重结晶锆石从核部至边缘 (1→6) 喇曼光谱图

Fig. 4 Raman spectra from core to rim (1→6) of No. 87013 Metamorphogenic zircon from metamorphic granite

推论：岩浆型锆石喇曼光谱荧光背景值大由以下两个原因造成：1) 岩浆是一个高温熔体，其本身就是一个成分复杂的体系，再加上围岩及捕虏体的加入，使其成分更复杂，因而岩浆中含有更多的可以结晶进入锆石晶格的具有荧光性质的杂质，如稀土离子等；2) 岩浆中的高温环境也导致了锆石易于吸收各种杂质以类质同象的形式进入晶格。而本文研究的变质重结晶锆石则温度较低，如 M-b 组锆石形成温度为 600—700℃<sup>[1]</sup>，87013 号锆石只经历中级变质作用<sup>[3]</sup>，结晶温度不会很高，因此，在此条件下具荧光性质的杂质离子不易进入结晶的变质重结晶锆石的晶格。另外，中低级变质热液中的组份可能没有岩浆中的组份那么复杂，这也是变质重结晶锆石含荧光杂质少的原因（笔者在测定结晶温度较高的麻粒岩中的锆石如内蒙兴和上集宁群暗色麻粒岩中 G2126 号锆石<sup>[4,5]</sup>时发现它们的喇曼光谱背景线较高，这可能是当变质重结晶锆石结晶温度更高时，其晶体中具荧光性质的杂质离子浓度

更大所造成)。

(2) 本文研究的岩浆型锆石 M-y 及 9303 号具有由晶体中心至边缘部分或全部喇曼峰的强度明显减弱的特点(见图 1, 图 2), 而变质结晶的 M-b 号则显示喇曼峰的强度明显增强的特点, 87013 号在  $438\text{ cm}^{-1}$  及  $937\text{ cm}^{-1}$  两个喇曼峰亦有弱的增强趋势, 这种相反的演化特点说明岩浆锆石和变质重结晶锆石结晶时在物理化学环境演化上存在相反的趋势。另一个特点是: 在变质重结晶锆石中, 从核部至边缘 A 峰  $368\text{ cm}^{-1}$ 、B 峰  $439\text{ cm}^{-1}$  的强度在 87013 号锆石中具有由  $A > B \rightarrow A = B \rightarrow A < B$  的演化特点, 而在 M-b 号锆石中则具有由  $A < B \rightarrow A = B \rightarrow A > B$  的演化特点, 这证明锆石从内部至边缘其成分和结构是存在逐步变化的, 这可能反映了它们结晶时环境的变化。

(3) 表 2 显示本文研究的变质重结晶锆石从核部至边缘各喇曼峰(尤其是  $E_g(\text{II})$ 、 $B_{2g}(\text{I})$ 、 $B_{1g}(\nu_3)$ ) 等峰均显示明显的向高波数方向位移的现象, 而岩浆成因锆石 9303 号则显示明显向低波数方向位移的特点, M-y<sub>1</sub> 号、M-y<sub>2</sub> 号锆石则显示不变或有弱的位移, 这种位移受何种因素控制目前尚难以定论。

### 3 结 论

(1) 本文研究的福建建阳麻阳群中年龄为 2300 Ma 的锆石是岩浆型锆石, 其年龄代表该套岩石原岩的形成时间。第二组年龄为 400 Ma 的锆石是变质重结晶锆石, 年龄代表该套岩石在 400 Ma 曾受过一次变质作用。

(2) 本文研究的岩浆锆石显示其成分演化特征: 从晶体核部至边缘的  $ZrO_2/HfO_2$  比值减小,  $HfO_2$  含量增大。喇曼光谱结果显示它们的喇曼谱图的荧光背景值很高, 且由晶体中心至边缘各喇曼峰有明显减弱的趋势。而本文研究的中低级变质重结晶锆石则显示由晶体中心至边缘  $ZrO_2/HfO_2$  比值增大、 $HfO_2$  含量减小的趋势, 喇曼光谱显示它们具有很低荧光背景值(麻粒岩中的锆石相对较高), 且显示由晶体中心至边缘各喇曼吸收峰或部分吸收峰强度增强的特点。

#### 参 考 文 献

- 1 甘晓春. 闽北麻源群变质岩的流体包裹体研究: 岩石抬升过程 P-T-t. 地质找矿论丛, 1995, (1): 38—47.
- 2 Black L. P. et al. Four zircon ages from one rock: the history of a 3930 Ma-old granulite from Mount sons, Enderby land, Antarctica. Contrib. Mineral. Petrol., 1986, 94, 427—437.
- 3 汪 相, 王德滋, 周新民. 淡竹片麻状花岗岩中重结晶锆石的形态及其意义. 科学通报, 1992, 37(20): 1876—1879.
- 4 鲍学昭等. 内蒙、河北高级变质岩中锆石成因矿物学研究. 岩石矿物学杂志, 1995, (3): 252—261.
- 5 林伟易, 田淑贵. 锆石的振动谱及其简正坐标分析. 矿物学报, 1994, (2): 134—141.
- 6 M. E. 安德森, R. E. 本格尔著, 王阿连译. 使用分子光学激光检测器的喇曼探针显微技术. 国外矿床地质(喇曼谱学技术及其地质应用), 1986, 16—24.
- 7 武汉地质学院矿物教研室. 结晶学及矿物学(上册), 北京地质出版社, 1979, 187—188.
- 8 高善继等. 华南燕山期两种不同矿化花岗岩类中锆石标型特征的研究. 岩石学报, 1987, (4): 63—71.

## The Minerageny of Two Groups of Zircons from Plagioclase-Amphibolite of Mayuan Group in Northern Fujian

Bao Xuezhao, Gan Xiaochun

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources,  
Chinese Academy of Geological Sciences, Tianjin 300170)

**Key words:** magmatogenic Zircon; metamorphogenic zircon; electron microprobe; Raman spectrum; plagioclase amphibolite of Mayuan Group; Fujian

### Abstract

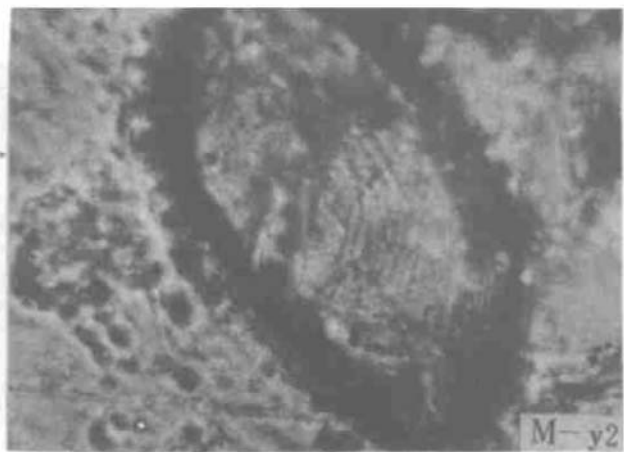
Two groups of zircons were collected from plagioclase-amphibolite in Jianyang County, northern Fujian. The rock belongs to the Mayuan Group which was formed in Early Proterozoic and is a part of the Zhejiang-Fujian stable crystalline basement. The U-Pb isotopic age of single zircon grains from the first group (No. M-y) is  $2300 \text{ Ma} \pm$  and that from the second group (No. M-b) is  $400 \text{ Ma} \pm$ .

Their mineralogical data show that there exist notable differences between the two groups of zircons:

1. Zircons of No. M-y group exhibit euhedral growth zoning and long columnar crystal form, similar to features of magmatogenic zircons, whereas zircons of No. M-b group display equant rounded crystal form, have no euhedral growth zoning but show rounded crystal nuclei in their crystals, which is similar to features of metamorphogenic zircons.

2. Chemical composition zoning: from core to rim in a No. M-y zircon crystal, the  $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$  ratio decreases and the content of HfO<sub>2</sub> increases gradually, which is coincident with features of the magmatogenic zircons reported by Bao Xuezhao (1995); nevertheless, in No. M-b group zircon crystals, the  $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$  ratio increases and the content of HfO<sub>2</sub> decreases gradually, similar to features of the metamorphogenic zircon reported by Bao Xuezhao (1995).

3. Raman spectra of zircons: background level is higher in the Raman spectra of No. M-y but lower in the Raman spectra of No. M-b (a feature of metamorphogenic zircons that crystallized under medium to low grade metamorphism), suggesting that No. M-y group zircons have higher impurities of fluorescent radiation than No. M-b group zircons. It is further proved that No. M-y group zircons crystallized in magma of higher temperatures and No. M-b group zircons crystallized during metamorphism of lower temperatures. Moreover, there exists reverse evolution trend in Raman peak intensity from the center to the edge of a crystal, which may be attributed to the reverse chemical composition zoning.



麻源群斜长角闪岩中锆石的透射显微镜照片

A: M-y 锆石 (包括 M-y1、M-y2)  $\times 1000$ , 年龄为  $2300\text{Ma} \pm$ , 具岩浆型自形生长环带。

B: M-b 锆石 (包括 M-b1、M-b2)  $\times 1000$ , 年龄为  $400\text{Ma} \pm$ , 具有浑圆形晶核, 表明它们是在早期残余锆石上生长而成。