

# 造山带中镁铁-超镁铁岩的不同定年方法简评 ——以闽北顺昌岩体为例<sup>①</sup>

任胜利

(中国地质大学地矿系, 北京, 100083)

孙 敏

(香港大学地质系, 香港)

李继亮 周新华

(中国科学院地质所, 北京, 100029)

**摘 要** 通过对不同同位素体系测年方法的分析, 并结合闽北顺昌镁铁-超镁铁杂岩的系统同位素年代测定结果, 提出造山带中变质镁铁-超镁铁岩的年代测定应以颗粒锆石 U-Pb 法和全岩 Sm-Nd 等时线法为主, 对 Rb-Sr、<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 和 K-Ar 同位素测年结果的应用应持慎重态度。

**关键词** 同位素年代学 变质镁铁-超镁铁岩 闽北顺昌

## 1 引言

变质镁铁-超镁铁岩的年代测定是造山带研究中十分重要但又难以解决的问题。长期以来, 对华南地区变质岩中出露零星、但分布广泛的镁铁-超镁铁岩生成时代的争论是本区不同构造单元的时代属性研究出现反复的主要原因之一。近年来, 随着 Rb-Sr、Sm-Nd、常规锆石 U-Pb 及颗粒锆石 U-Pb 定年方法的发展和应用, 华南地区的年代学乃至大地构造演化研究取得了许多重要进展。另一方面, 由于华南不同时代的造山带因后期构造热事件的改造而普遍存在一定程度的变质变形作用, 因此, 对不同同位素体系的定年方法若不区别地应用就会导致年代学研究方面的一些混乱, 这一点已引起许多学者的注意<sup>[1][2]</sup>。本文试结合闽北顺昌镁铁-超镁铁岩的同位素年代学研究对不同同位素体系测定变质火成岩生成时代的可靠性进行简要评述。

## 2 不同同位素体系测年方法简评

同位素地质年龄系指岩石或矿物冷却至封闭温度(矿物开始计时的温度)以后所经历的时间, 其前提是自岩石(矿物)形成后一直保持着同位素体系的封闭。实际上, 由于不同矿

来稿于 1995 年 12 月 25 日收到。

① 国家自然科学基金资助项目。

物及不同同位素体系的封闭温度不同,它们在成岩期后的抗扰动能力也有较大差异,从而利用不同同位素方法测年结果也不尽相同,尤其对于变质程度较高的岩石来说,这种差异更为明显。

已有的经验及理论表明<sup>[3]-[6]</sup>,在岩体经历过多次的变质、变形及岩浆热事件的影响后,只有在某些特定情况下,某些方法获得的年龄数据才有可能代表岩石的真实成岩年龄。在多数情况下,特别是高温及有流体参加的变质时,会使岩石的同位素体系发生重置(reset),故而不同方法获得的年龄值往往具有不同的地质意义,有时甚至不具任何地质意义。因此,在进行年代学工作时,应结合地质实际及有关测试方法进行具体问题具体分析,不能简单地肯定或否定由某种方法所测定的年代学数据。下面将对不同同位素体系的定年方法作一简评。

### 2.1 K-Ar、<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 及 Rb-Sr 体系

不同矿物的 K-Ar、<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 及 Rb-Sr 体系的封闭温度普遍偏低(多小于 500℃)且母子体间差别较大(表 1 及图 1),此外 K、Ar、Rb、Sr 这 4 个元素在蚀变变质过程中均属于强活动性元素,因此,对于变质岩尤其是有流体加入的变质体系来说,其 K-Ar、<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 及 Rb-Sr 同位素年龄多为受改造年龄或混合年龄。

此外,角闪石或辉石类的矿物本身可能含有外来 Ar(继承 Ar 或过剩 Ar),因而有时会给出毫无地质意义的老年龄,这也是利用该类矿物进行 K-Ar、<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 法定年的不利因素之一。

### 2.2 Sm-Nd 体系

Sm-Nd 法定年具有以下独特的优点:

- ① Sm、Nd 同属难熔固体元素,有较强抗风化、蚀变能力;
- ② 二者的结晶化学性质十分接近,从而使得由母体(<sup>147</sup>Sm)衰变形成的子体(<sup>143</sup>Nd)容易在原晶格位置一起被保存下来;
- ③ <sup>147</sup>Sm 的半衰期较长( $1.06 \times 10^{11}$ 年),有利于测定古老岩石的年龄。

上述特点使得 Sm-Nd 法成功地测定了许多其它方法无法解决或测定十分困难的前寒武纪变质岩及变质的镁铁-超镁铁岩年代。

### 2.3 U-Pb 体系

由于 U 有两个同位素(<sup>235</sup>U、<sup>238</sup>U)可衰变成两个 Pb 同位素(<sup>207</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb),因而通过测定 U、Pb 的丰度及 Pb 同位素的组成,可获得三组年龄值(<sup>207</sup>Pb-<sup>206</sup>Pb、<sup>207</sup>Pb-<sup>235</sup>U、<sup>206</sup>Pb-<sup>238</sup>U),利用这些年龄值的差异可判断在岩石形成之后其 U-Pb 体系受到干扰的程度。

锆石是火成岩中常见的副矿物,由于其结晶格架坚固,封闭温度较高(表 1),因而是 U-Pb 法最主要的定年矿物。传统的常规锆石测定是将锆石按粒级、磁性、颜色等物理性质分组测试,获取不一致与谐和线的上下交点年龄。该方法因测定时需用的锆石量较大而常混入不同成因的锆石,故而构成不一致线的各组锆石成因也可能不同,因此就有可能得到地质意义不明确的混合年龄。近年来,随着锆石 U-Pb 测定技术的提高,可采用颗粒锆石蒸发法和颗粒锆石稀释法进行测年工作,因而有可能将同一岩体中不同时代、不同成因的锆石分开,以给出较为可靠的年龄值。

就造山带地区受变质的镁铁-超镁铁岩来说,其确切的生成时代之所以难以确定,主要原因可归结为:

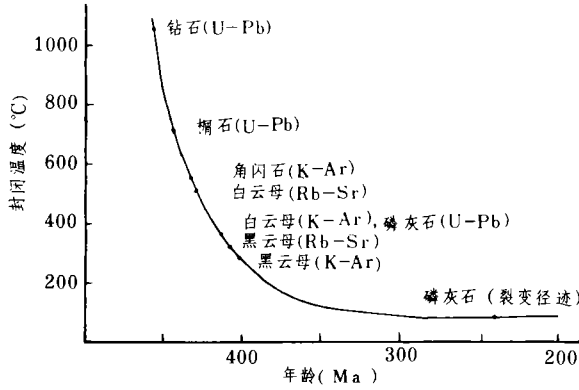


图 1 不同矿物封闭温度图 (据 Rolinson, 1993)

Fig. 1 Diagram showing the enclosed temperatures of some minerals

表 1 矿物记时的封闭温度 (矿物冷却速率为 1—10°C/Ma)

Table 1 Enclosed temperatures of some minerals in the different isotopic system

体系	矿物	温度(°C)	粒度
K-Ar 1	微斜长石	150—250	125—250
	黑云母	300	
Ar-Ar 体系	白云母	350—400	
	角闪石	450—500	160
Rb-Sr 体 系	正长石	320	1000
	黑云母	350	
	白云母	450—500	
U-Pb 体 系	磷灰石	350—550	200—1000
	金红石	380—420	130—430
	榍石	500—670	500—30000
	独居石	657—740	40—200
	石榴子石	>800	>500
	锆石	>900	

注：转引自陆松年, 1993(据 Mezger, 1990)。

① 由于受多期次热事件的强烈改造, K-Ar、<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar、Rb-Sr 等定年方法已难以反映它们的真实成岩年龄;

② U-Pb 法定年的主要对象锆石在镁铁-超镁铁岩中很难选出, 从而在很大程度上限制了该方法的应用;

③ Sm-Nd 法测定晚前寒武纪和显生宙的年龄, 既需要同一岩体的不同样品间有较大的同位素组成差异, 又需要实验有很高的精度, 因此使得该方法的应用也十分困难。

### 3 顺昌镁铁-超镁铁杂岩同位素年代学

该杂岩体位于顺昌县城西 2 km 处, 露头沿公路旁侧断崖良好出露数百米。组成该杂岩体的主要岩性为角闪辉长岩及辉闪石岩, 此外还有少量的闪长岩、斜长岩及厚 20—40 cm 的辉绿岩和长英质岩脉(岩脉产状:  $85^{\circ}/65^{\circ}$ )。岩石呈规模较大的岩块或相互包裹的团块状产出, 不同岩性间界限清楚, 杂岩体内部不同规模、级次的断裂滑动构造十分发育(滑动面产状:  $45^{\circ}-60^{\circ}/35^{\circ}-40^{\circ}$ )。

岩体侵位于麻源群黑云石英片岩中, 岩石普遍具绿片相蚀变质作用。组成该杂岩体主要岩性的岩石学特征描述如下:

**辉长岩:** 细中粒结构, 辉长结构。主要组成矿物为辉石(45%±)、斜长石(50%±), 此外尚见少量不透明矿物。辉石多呈 0.4—3 mm 的短柱状、粒状充填于斜长石格架中, 多蚀变为角闪石, 常沿解理发育绢云母化等进一步的蚀变作用, 偶见有强退蚀变矿物黑云母出现, 并伴有细粒金属矿物析出; 斜长石呈 0.5—3.0 mm 的柱粒状杂乱分布, 与充填于其格架间的辉石构成较典型的辉长结构, 聚片双晶发育, 并伴有卡-钠复合双晶,  $An=58$  (卡-钠复合双晶法测定), 由于受轻微蚀变影响晶面不干净。

**辉闪岩:** 具细中粒结构, 暗色矿物辉石、角闪石多具强绿泥石化、阳起石化、绢云母化等蚀变, 并伴有不透明矿物析出, 偶见解理弯曲变形。

系统的主、微量元素分析表明, 该杂岩体具同源岩浆的成岩作用特征, 且成岩过程中有一定程度的分离结晶和部分熔融作用(将另著文详述)。

在主、微量元素分析的基础上, 我们选择其中部分样品进行系统的同位素年龄测试, 下面试对不同测年方法所得出的不同测定结果进行讨论。

#### 3.1 K-Ar、 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄

杂岩体中辉闪石岩的全岩 K-Ar 年龄测定结果为  $127.9 \pm 3.7 \text{ Ma}$  (表 2)。

表 2 顺昌岩体辉闪石岩 K-Ar 年龄测定结果

Table 2 Dating results (by the K-Ar method) of pyriboles from the Shunchang massif

样号	K (%)	$^{40}\text{Ar}(\text{rad})$ (克分子/克)	$^{40}\text{Ar}(\text{rad})$ (%)	表面年龄 (Ma)
XC9220	0.65	$1.494 \times 10^{-10}$	85.29	$127.9 \pm 3.7$

辉长岩的 Ar-Ar 全岩年龄测定结果见表 3 及图 2。样品在第一加热阶段(400℃)时有少部分( $^{39}\text{Ar}$  析出量为 0.61%)异常高的年龄值(1 628 Ma)显示, 可能是蚀变变质中由晶格内扩散到非晶格位置的少量 Ar 在低温下容易释放的缘故。由表 3 及图 2 可看出,  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  视年龄的最高值为 336.4 Ma, 但其视年龄值主要集中在 162—163 Ma ( $^{39}\text{Ar}$  析出量为 40.33%)及 179—182 Ma ( $^{39}\text{Ar}$  析出量为 62.57%)两个区段, 此外还有更低的视年龄显示(81.4 Ma 和 96.5 Ma), 反映了岩体受多期次热改造作用的影响。

#### 3.2 颗粒锆石 U-Pb 年龄

从 XC9204 号样品(辉长岩)中挑选出的颗粒锆石年龄测定结果见表 4。表中 1 号点为无

表 3 顺昌岩体辉长岩<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄测定结果

Table 3 Dating results (by the <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar method) of gabbros from the Shunchang massif

阶段/温度(°C)	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	<sup>37</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	<sup>39</sup> Ar(×10 <sup>-12</sup> mol)	<sup>39</sup> Ar(%)	视年龄(Ma)
1/400	167	0.14	0.66	0.098	0.61	1628.2±33.0
2/700	11	0.02	0.13	0.589	3.67	81.4±2.4
3/850	17	0.04	0.22	0.293	1.83	96.5±2.8
4/950	13	0.02	0.10	2.510	15.65	163.0±4.7
5/1050	11	0.01	0.13	2.355	14.68	162.1±4.7
6/1150	12	0.01	0.13	1.963	12.24	181.8±5.2
7/1300	13	0.01	0.09	8.075	50.33	179.2±5.1
8/1550	109	0.30	0.62	0.161	1.00	336.4±11.7

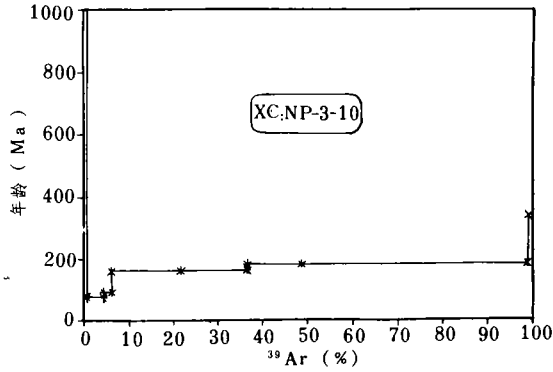


图 2 顺昌辉长岩<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄谱图

Fig. 2 Diagram showing the <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating results of gabbros in Shunchang, Northern Fujian

表 4 顺昌岩体单颗粒结晶锆石 U-Pb 同位素年龄测定结果

Table 4 Dating results (by the U-Pb method) of single crystalline zircons from the Shunchang massif

点号	浓度(ppm)		U-Pb 同位素原子比率					表面年龄值(Ma)		
	U	Pb	<sup>206</sup> Pb- <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb- <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb- <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb- <sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb- <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb- <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb- <sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb- <sup>206</sup> Pb
1	1105	131	121	0.3579	0.06477 (27)	0.4746 (215)	0.05314 (227)	404.6	394.3	334.7
2	991	83	362	0.2458	0.06455 (28)	0.4863 (129)	0.05464 (136)	403.2	402.4	397.6

色透明不规则粒状晶体，颗粒重 10 μg，2 号点为浅黄色透明不规则粒状晶体，颗粒重 20 μg。两颗锆石的棱角明显，表明其形成后受改造的可能性较小。测定结果表明：1 号点的 U-Pb 表面年龄介于 334—405 Ma (其中<sup>207</sup>Pb-<sup>235</sup>U 和<sup>207</sup>Pb-<sup>206</sup>Pb 给出的表面年龄值偏低，可能与该颗粒

粒径小、测定误差较大有关); 2 号点的 U-Pb 表面年龄为 397—403 Ma。

一般来说, 颗粒锆石测年的几组数据中以  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  的表面年龄值较为可靠, 这是因为由于测定的锆石常带有含杂质的微裂隙, 因而在进行年龄测定时不可避免地有少量非放射成因铅杂质的干扰, 而  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  表面年龄对非放射成因铅的变化(波动)不敏感, 因而由其给出的表面年龄值受干扰较小。表 4 中两颗锆石的  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  表面年龄值十分接近, 分别为 404.6 Ma 和 403.2 Ma, 此外, 两颗锆石的  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  和  $^{207}\text{Pb}-^{235}\text{U}$  表面年龄的统计权平均年龄为  $403.9 \pm 1.2$  Ma (图 3), 与它们的  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  表面年龄值十分一致, 较为精确地反映了杂岩体的成岩时代。

### 3.3 Rb-Sr、Sm-Nd 等时线年龄

杂岩体的全岩 Rb-Sr 同位素测定结果见表 5。由表可见 5 个样品测定结果的相关性不明显, 其中样品 XC9206、XC9220 的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  测定值中等, 但  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  值明显偏大, 表明了该杂岩体的 Rb-Sr 同位素体系已受到扰动。因此, 由 XC9203、XC9204、XC9217 3 个样品的测定结果求得  $356 \pm 25$  Ma 的 Rb/Sr 等时线年龄(图 4)代表的可能是一次强烈的热事件年龄。

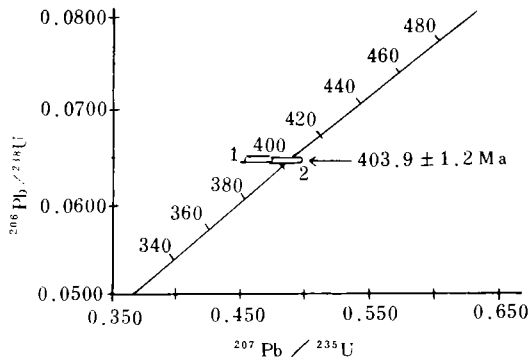


图 3 辉长岩中颗粒锆石的谐和图  
Fig. 3 Concordancy diagram of single zircons from the gabbro in the Shunchang massif

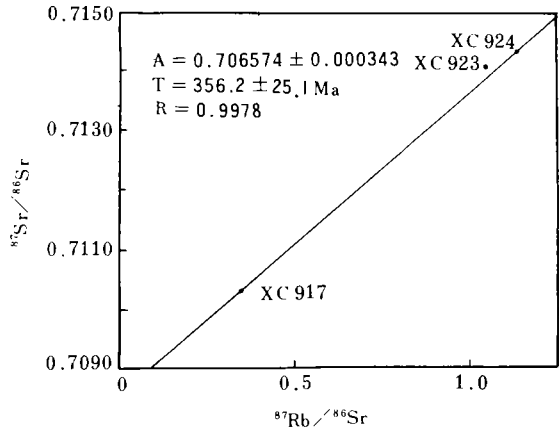


图 4 顺昌镁铁-超镁铁杂岩 Rb-Sr 等时线  
Fig. 4 Diagram showing the Rb-Sr isochron curves of mafic-ultramafic rocks in Shunchang, Northern Fujian

表 5 顺昌杂岩 Rb-Sr 同位素分析结果

Table 5 Analysis results of the Rb-Sr isotopes from the complex in Shunchang, Northern Fujian

样号	Rb( $\times 10^{-6}$ )	Sr( $\times 10^{-6}$ )	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$2\sigma$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$	$E_{\text{sr}}^0$	$E_{\text{sr}}^1$
XC9203	67.86	164.2	1.06436	0.714160	20	0.70810	137	57.6
XC9204	211.42	514.2	1.14341	0.714264	16	0.70775	139	52.7
XC9206	35.64	69.4	1.12959	0.712295	15	0.70586	111	25.9
XC9217	66.22	522.2	0.34634	0.710312	12	0.70834	82.5	61.1
XC9220	43.51	78.8	1.41510	0.711737	12	0.70638	103	-5.2

注: XC9203、XC9206、XC9220 为辉闪石岩, XC9204、XC9217 为辉长岩, 初始值以  $t=404$  Ma 计算。

岩体的全岩 Sm-Nd 同位素测定结果见表 6, 由于 5 个样品的  $^{147}\text{Sm}-^{144}\text{Nd}$  及  $^{143}\text{Nd}-^{144}\text{Nd}$  测定值十分接近 ( $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  相差 3.2%,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  相差 0.07‰), 因此, 由它们计算的 Sm-Nd 等时线年龄值 ( $421 \pm 88 \text{ Ma}$ , 图 5) 误差较大, 但该年龄值可为杂岩体的形成时代提供佐证。

表 6 顺昌杂岩 Sm-Nd 同位素分析结果

Table 6 Analysis results of the Sm-Nd isotopes from the complex in Shunchang, Northern Fujian

样号	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2 $\sigma$	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_t$	$E_{\text{Nd}}^0$	$E_{\text{Nd}}^t$
XC9203	4.71	28.46	0.10002	0.512101	35	0.51184	-10.5	-5.5
XC9204	3.44	16.75	0.12426	0.512165	17	0.51184	-9.2	-5.5
XC9206	1.97	9.04	0.12650	0.511900	41	0.51157	-14.4	-10.8
XC9217	5.24	29.82	0.10891	0.512116	14	0.51183	-10.2	-5.6
XC9220	5.47	34.24	0.13191	0.512033	27	0.51169	-11.8	-8.4

注: 初始值以  $t = 404 \text{ Ma}$  计算。

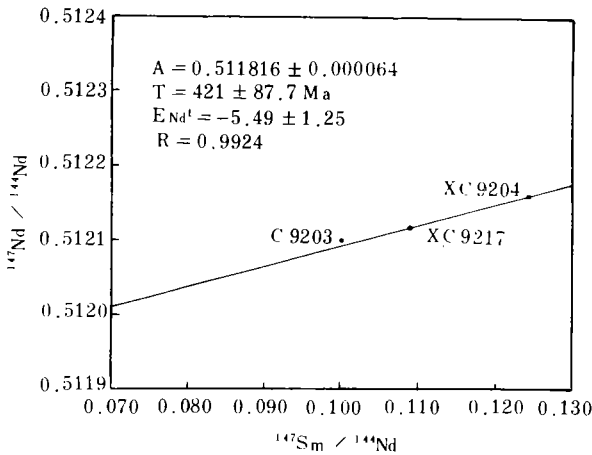


图 5 顺昌镁铁-超镁铁杂岩 Sm-Nd 等时线图

Fig. 5 Diagram showing the Sm-Nd isochron curves of mafic-ultramafic rocks in Shunchang, Northern Fujian

综合顺昌镁铁-超镁铁杂岩的系统同位素年龄测定结果, 本文认为颗粒锆石 U-Pb 和全岩 Sm-Nd 同位素年龄可反映其确切的成岩时代 ( $404 \text{ Ma} \pm$ ), 由于成岩后的热事件改造, 该岩体的 Rb-Sr、 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 、K-Ar 同位素年龄已不具备成岩年代意义, 但可提供成岩后的热改造信息。

根据上述研究, 我们认为对造山带地区变质镁铁-超镁铁岩的年代测定应以颗粒锆石 U-Pb 法和全岩 Sm-Nd 等时线法为主, 对 Rb-Sr、 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  和 K-Ar 同位素测年结果的解释应持慎重态度。

野外工作中得到中国科学院地质所郝杰副研究员和福建地科所陈存榕工程师的协作; 同

位素测试的选择工作得到南京大学周新民教授和中国科学院地质所胡世玲副研究员的帮助; Sm-Nd、Rb-Sr、 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  同位素年龄为中国科学院地质所测定; K-Ar 同位素年龄为国家地震局地质所测定; 颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄为地矿部天津地矿所测定。在此一并致谢!

### 参考文献

- [1] 李根坤. 福建省同位素年龄及其区域地质构造意义. 福建地质, 1988, 7 (2).
- [2] 陈云钊. 对闽北变质岩同位素年代学信息合理使用的探讨. 福建地质, 1992, 11 (1).
- [3] 陆松年. 变质岩地区同位素地质学研究. 国外前寒武纪地质, 1993 (3).
- [4] Depaolo D. J. Sm/Nd, Rb/Sr and U/Th/Pb systematics of granulite facies rocks from Fyfe Hills, Enderby Land, Antarctica. Nature, 1982, Vol. 298: 614-618.
- [5] Faure G. Principles of Isotope Geology, 2nd edition. John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [6] Rollinson H. R. Using Geochemical Data; Evaluation, Presentation, Interpretation. John Wiley & Sons, New York, 1993.
- [7] 福建地矿局. 福建省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1985.

## Review on the Different Method of Dating Mafic-Ultramafic Rocks in the Orogenic Belt——Taking the Shunchang Massif as an Example

Ren Shengli

(Department of Geology and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083)

Sun Min

(Department of Geology, Hong Kong University, Hong Kong)

Li Jiliang Zhou Xinhua

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing, 100029)

### Abstract

Based on the analysis of different dating methods of isotopic system and the dating results of the metamorphic mafic-ultramafic rocks in Shunchang, Northern Fujian, it's proposed in the paper that the U-Pb method of single zircon and the method of the whole-rock Sm-Nd isochronic age should be taken as the main ways for dating metamorphic mafic-ultramafic rocks in the orogenic belts. The discovery of younger ages dating with the Rb-Sr,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  and K-Ar methods suggests that caution is warranted in using these isotopic systems to date metamorphic mafic-ultramafic rocks.

**Key words:** isotopic geochronology, metamorphic mafic-ultramafic rock, Shunchang