

# 广东南雄断裂带 Ar-Ar 年龄及其地质意义\*

李出安<sup>1,2</sup>, 邹和平<sup>2,3</sup>

(1. 广东省地质调查院, 广东 广州 510080; 2. 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275;  
3. 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510301)

**摘要:** 南雄断裂带是一条大型的拉伸剥离断层。在详细的野外调查和岩石样品镜下观察的基础上, 对南雄断裂带糜棱岩中的同构造变形-变质矿物白云母进行了 Ar-Ar 法同位素年龄测定。年代学研究结果表明, 南雄断裂带作为拉伸剥离正断层活动开始于早白垩世 ( $117.3 \pm 2.7$  Ma), 而其强烈的伸展变形韧性剪切发生在早白垩世末~晚白垩世初 (Ar-Ar 坪年龄为  $94.6 \pm 0.4$  Ma), 随后在  $88.9 \pm 1.0$  Ma 和  $81.1 \pm 2.0$  Ma 还可能发生过 2 次较明显的热扰动事件。南雄断裂带 Ar-Ar 年龄数据为进一步判断华南白垩纪岩石圈伸展作用发生的时间提供了新的热年代学制约, 即是说, 早白垩世末~晚白垩世初是区域岩石圈伸展的重要时期。

**关键词:** 南雄断裂带; 拉伸剥离断层; 糜棱岩; Ar-Ar 年龄

中图分类号: P542+.3 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579 (2011) 01-0129-04

## The Ar-Ar Age of the Nanxiong Fault Zone in Guangdong Province and Their Geological Significance

LI Chu'an<sup>1,2</sup>, ZOU Heping<sup>2,3</sup>

(1. Guangdong Geological Survey, Guangzhou 510080, China;  
2. Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;  
3. CAS Key Lab of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

**Abstract:** The Nanxiong fault zone is a large-scale extension detachment structure. According to the results of Ar-Ar laser step-heating dating of the syntectonic muscovite separated from a mylonite sample in the Nanxiong fault zone, combining with the field surveying and microstructure analysis, the initial extension of the Nanxiong fault zone occurred at  $117.3 \pm 2.7$  Ma in Early Cretaceous. The strong extension and ductile shearing of the fault zone took place at the end of the Early Cretaceous or the beginning of the Late Cretaceous with an Ar-Ar plateau age of  $94.6 \pm 0.4$  Ma. Two obvious late-stage thermal perturbations are revealed with the Ar-Ar ages of  $88.9 \pm 1.0$  Ma and  $81.1 \pm 2.0$  Ma. The Ar-Ar chronology data of the Nanxiong fault zone provide a new geochronological constraint on the Cretaceous lithospheric extension in South China. The transition stage from the Early Cretaceous to the Late Cretaceous is an important epoch of the lithospheric extension in the study.

**Key words:** Nanxiong Fault; extension detachment structure; mylonite; Ar-Ar chronology

南雄断裂带是粤北地区重要的北东向断裂构造, 既是控制南雄白垩纪-古近纪盆地形成演化的边界断裂带, 也是南雄-始兴地区重要的成矿构造

带。前人对该断裂带已做过一定的研究并且基本厘定其为一条大型的拉伸剥离断层, 根据区域地质对比认为其主要活动时期为白垩纪<sup>[1-3]</sup>。前人在对粤

\* 收稿日期: 2010-01-10

基金项目: 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室基金资助项目 (MSGLO701)

作者简介: 李出安 (1981 年生), 男, 硕士, 通讯作者: 邹和平; E-mail: adszhp@mail.sysu.edu.cn

北区域构造 - 岩浆作用研究上也获得过不少年龄数据, 例如, 始兴县司前二云母花岗岩, 用锆石 ICPMS U-Pb 法测得是  $151 \pm 11 \text{ Ma}$ <sup>[4]</sup>; 诸广山仁化 - 乐昌中粒斑状黑云母花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $147 \text{ Ma}$ , 始兴石人嶂中粗粒斑状黑云母花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $132 \text{ Ma}$ <sup>[5]</sup>; 诸广山南部辉绿岩脉的 Sm-Nd 等时线年龄为  $94 \pm 7 \text{ Ma}$ , Rb-Sr 等时线年龄为  $102 \pm 8 \text{ Ma}$ <sup>[1]</sup>; 南雄断裂带附近两处基性岩脉曾测得  $106.7 \pm 2.1 \text{ Ma}$  和  $110.0 \pm 3.0 \text{ Ma}$  的 K-Ar 年龄<sup>[6]</sup>; 南雄盆地中始兴当吊排玄武岩的自形锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为  $95.9 \pm 0.8 \text{ Ma}$ <sup>[3]</sup>。但迄今为止, 对南雄断裂带构造变形时间的热年代学研究仍然缺乏。

为了更准确地分析该断裂带的发育历史、变形期次以及更深入地认识区域构造演化史, 我们在详细的野外地质调查和岩石薄片镜下观察的基础上, 对南雄断裂带韧性剪切变形进行了 Ar-Ar 热年代学研究。

### 1 南雄断裂带的基本特征

南雄断裂带西起广东仁化县长坝南侧, 总体走向变化于  $NE40^\circ \sim 70^\circ$  之间, 经周田以东向北东延伸过南雄北部邓坊至江西信丰一带, 倾向 SE, 早期糜棱面理倾向  $30^\circ \sim 35^\circ$ , 晚期断层面倾向与早期面理倾向一致, 局部倾向较陡, 达  $55^\circ \sim 60^\circ$ 。断裂带上盘或南东盘下降, 形成南雄盆地和信丰盆地, 其中沉积白垩纪至古近纪的红层; 断裂带下盘或北西盘广泛出露震旦纪 - 奥陶纪变质岩及中生代花岗岩 (图 1)。沿断裂带除了大量发育浅层次脆性变形造成的碎裂岩系列, 如硅化碎裂岩、断层角砾岩外, 下盘顶部还发育厚度几十至几百米不等的深层次韧性变形产生的长英质或花岗质糜棱岩。糜棱岩的主要矿物组合为石英、长石、白云母、黑云母。镜下观察见石英具强烈的波状消光, 亚颗粒发育, 动态重结晶明显; 长石呈透镜状或呈  $\sigma - \delta$  旋转碎斑; 云母定向排列, 多与长石和石英矿物构成 S-c 组构, 或塑性变形成为“云母鱼”。构造岩的发育和组构特征说明该断裂具有多期次活动的特点, 早期为缓倾角伸展型正断层, 韧性变形强烈, 晚期为中 - 高角度脆性正断层。

### 2 糜棱岩白云母 Ar-Ar 年代学测试结果

本次测试样品取自始兴县沿溪公路旁的南雄断裂带 (图 2a) 下盘花岗质糜棱岩 (图 2b) (野外编号: SX3 - 5 - 1, GPS 坐标:  $N25^\circ 02.955'$ ,

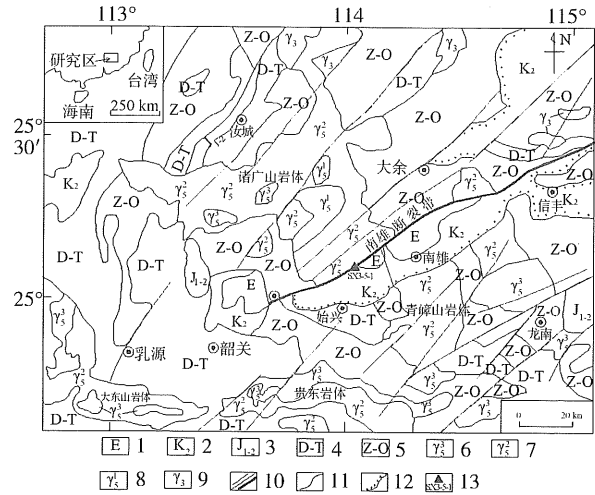


图 1 广东南雄地区地质简图 (据舒良树等, 2004 修改)<sup>[3]</sup>  
Fig. 1 Simplified geologic map of the Nanxiong area of Guangdong province

- 1 - 古近系; 2 - 上白垩统; 3 - 下中侏罗统; 4 - 泥盆 - 三叠系;
- 5 - 震旦 - 奥陶系; 6 - 燕山晚期花岗岩; 7 - 燕山早期花岗岩; 8 - 印支花岗岩; 9 - 加里东期花岗岩; 10 - 断层; 11 - 地层界线;
- 12 - 不整合界线; 13 - 采样位置及编号

$E114^\circ 04.659'$ )。矿物已强烈塑性变形, 动态重结晶明显, 石英、云母构成 S-c 组构 (图 2c), 显示为强烈韧性剪切变形 - 变质的产物。挑选变形最具特征的糜棱岩样品, 碎样后在广东省有色金属研究院选矿室挑选出白云母。

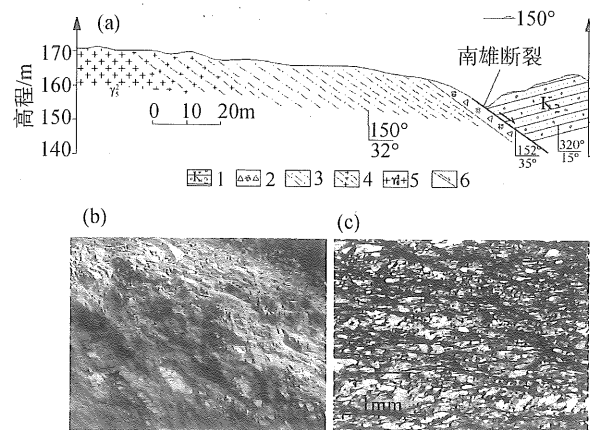


图 2 始兴县沿溪公路旁南雄断裂带剖面 (a)、下盘糜棱岩野外露头 (b) 和镜下特征 (c)

Fig. 2 Section of the Nanxiong fault zone at Shixing county (a), a photo picture of mylonite at the foot wall (b) and microscopic characteristics of the mylonite sample (c)  
1 - 上白垩统紫红色砂砾岩; 2 - 硅化构造角砾岩; 3 - 花岗质糜棱岩; 4 - 糜棱岩化花岗岩; 5 - 燕山早期花岗岩; 6 - 正断层

Ar-Ar 年代学测试在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室

GV5400 质谱上采用激光熔样阶段加热方法完成, 激光熔样阶段加热 Ar-Ar 年代学测试方法的具体分析流程详见文献 [7], 年龄计算和作图并采用了 Ar-Ar 数据处理软件 ArArCALC (version 2.2c) [8]。

南雄断裂带糜棱岩中白云母 Ar-Ar 激光加热测年结果 (表 1) 获得非常平坦的 Ar-Ar 年龄谱 (图

3), 坪年龄 ( $t_p$ ) 为  $(94.6 \pm 0.4)$  Ma (MSWD = 1.43), 全熔年龄为  $(93.7 \pm 0.4)$  Ma, 等时线年龄 ( $t_i$ ) 为  $(94.8 \pm 0.4)$  Ma (MSWD = 1.53), 三者十分相近, 而且初始  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  值为  $285.1 \pm 13.9$ , 与一般采用的现今标准值  $(295.5 \pm 5)$  基本一致, 说明测试所得年龄值可靠。

表 1 南雄断裂带糜棱岩白云母 Ar-Ar 激光阶段加热定年结果

Table 1 Results of muscovite Ar-Ar laser step-heating dating of mylonite sample from the Nanxiong fault zone

Laser Power/%	$^{36}\text{Ar}_{\text{air}}$	$^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}$	$^{38}\text{Ar}_{\text{Cl}}$	$^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$	$^{40}\text{Ar}^*$	(Age $\pm 2\sigma$ )/Ma	$^{40}\text{Ar}^*/\%$	$^{39}\text{Ar}_{\text{K}}/\%$	K/Ca $\pm 2\sigma$
J value = 0.010 494 3 $t_p = 94.6 \pm 0.4$ Ma $t_i = 94.8 \pm 0.4$ Ma    Total Fusion age = 93.7 $\pm$ 0.4 Ma									
2.0	0.000 024	0.000 114	0.000 004	0.003 969	0.017 395	81.13 $\pm$ 1.99	71.28	2.91	19.511 $\pm$ 2.171
2.5	0.000 015	0.000 134	0.000 004	0.006 613	0.031 844	88.94 $\pm$ 0.96	87.69	4.85	27.721 $\pm$ 2.426
3.0	0.000 014	0.000 319	0.000 007	0.014 349	0.071 560	92.03 $\pm$ 0.59	94.56	10.53	25.185 $\pm$ 1.977
3.5	0.000 010	0.000 329	0.000 006	0.013 888	0.069 585	92.45 $\pm$ 0.54	95.91	10.19	23.650 $\pm$ 2.137
4.2	0.000 009	0.000 271	0.000 006	0.015 780	0.079 927	93.43 $\pm$ 0.62	96.68	11.58	32.589 $\pm$ 2.448
4.9	0.000 008	0.000 624	0.000 008	0.019 642	0.100 634	94.48 $\pm$ 0.63	97.60	14.41	17.627 $\pm$ 1.226
5.6	0.000 007	0.000 243	0.000 007	0.020 241	0.104 262	94.98 $\pm$ 0.47	98.00	14.85	46.633 $\pm$ 3.588
6.3	0.000 003	0.000 112	0.000 004	0.010 647	0.054 944	95.15 $\pm$ 0.90	98.04	7.81	53.003 $\pm$ 4.791
7.0	0.000 003	0.000 082	0.000 004	0.009 021	0.046 202	94.45 $\pm$ 0.58	98.26	6.62	61.498 $\pm$ 8.035
8.0	0.000 004	0.000 092	0.000 005	0.011 539	0.058 974	94.26 $\pm$ 0.53	97.71	8.47	70.405 $\pm$ 5.823
9.5	0.000 003	0.000 035	0.000 002	0.004 831	0.024 610	93.96 $\pm$ 0.93	95.91	3.55	78.247 $\pm$ 12.109
12.0	0.000 008	0.000 015	0.000 001	0.001 777	0.009 124	94.69 $\pm$ 2.64	80.19	1.30	67.898 $\pm$ 14.811
17.0	0.000 036	0.000 033	0.000 001	0.001 416	0.006 955	90.69 $\pm$ 5.46	39.21	1.04	23.708 $\pm$ 3.534
25.0	0.000 033	0.000 063	0.000 002	0.002 559	0.016 381	117.30 $\pm$ 2.67	62.71	1.88	22.878 $\pm$ 2.587

测试者: 中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室邱华宁

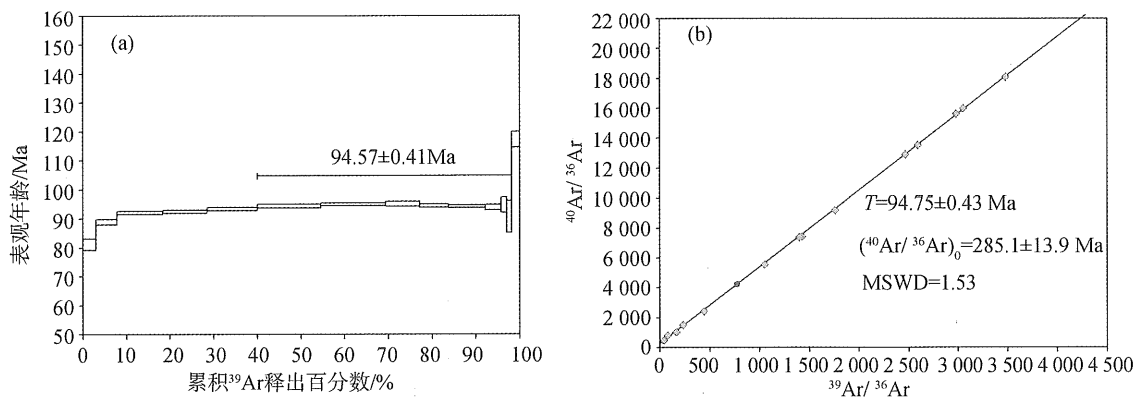


图 3 南雄断裂带糜棱岩样品白云母 Ar-Ar 年龄谱 (a) 和正等时线年龄 (b)

Fig. 3 Muscovite Ar-Ar age plateau spectrum (a) and isochron age (b) of mylonite sample from the Nanxiong fault zone

### 3 南雄断裂带样品的 Ar-Ar 年龄解释

本次测试采用激光阶段加热的方式共 14 加热个阶段。第 1 阶段视年龄为  $81.1 \pm 2.0$  Ma, 析出  $^{39}\text{Ar}$  占总析出量的 2.91%, 可能反映断裂活动后期受到的一次热扰动, 这与人研究南雄盆地内有一层玄

武岩具有 82 Ma 的 K-Ar 年龄数据相一致 [3]; 第 2 阶段视年龄为  $88.9 \pm 1.0$  Ma, 析出  $^{39}\text{Ar}$  占总析出量的 4.85%, 应该也是一次热扰动事件的反映, 可能对应于断裂后期的韧性 - 脆性转换和硅化作用时间; 第 6 ~ 13 阶段构成一个较明显的坪, 其坪年龄为  $94.6 \pm 0.4$  Ma, 代表动力变质新生矿物白云母的冷

却年龄(封闭温度  $350 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$ )<sup>[14]</sup>,也代表断裂带伸展变形强烈韧性剪切的年龄;第14阶段的视年龄为  $117.3 \pm 2.7 \text{ Ma}$ ,对应析出 1.88% 的  $^{39}\text{Ar}$ ,可能为断裂早期动-热变质-变形作用的反映。

## 4 地质意义

### 1) 南雄断裂带的活动时代。

南雄断裂带经历了韧性-脆韧性-脆性活动的长期演化阶段。Ar-Ar 法测年结果表明,南雄断裂带中生代伸展活动开始于早白垩世( $117.3 \pm 2.7 \text{ Ma}$ ),强烈的伸展变形和韧性剪切主要发生在早白垩世末-晚白垩世初( $94.6 \pm 0.4 \text{ Ma}$ ),其后可能在  $88.9 \pm 1.0 \text{ Ma}$  和  $81.1 \pm 2.0 \text{ Ma}$  还发生过 2 次较明显的热扰动事件。断裂带晚期脆性活动的年龄还有待其它测年方法的分析和研究来解决。

### 2) 区域构造对比。

区域上,邹和平等<sup>[9]</sup>对广东南澳和莲花山断裂带 Ar-Ar 热年代学的研究中,测得南澳断裂带后期韧-脆性转化和地壳伸展年龄大致为  $86 \text{ Ma}$ ,莲花山断裂带后期韧-脆性转化和地壳伸展年龄为  $97 \sim 66 \text{ Ma}$ ;东南沿海地区沿北东向断裂形成一系列碱性(A型)花岗岩和基性岩脉的形成年龄为  $90 \sim 94 \text{ Ma}$  左右<sup>[10-11]</sup>,如漳州新村岩体为  $93 \sim 97 \text{ Ma}$ <sup>[12]</sup>、魁岐岩体为  $93 \text{ Ma}$ 、笔架山岩体为  $92 \text{ Ma}$ <sup>[13]</sup>。南雄拉伸剥离断裂带韧性剪切变形年龄( $94.6 \pm 0.4 \text{ Ma}$ )与南雄当吊排玄武岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄  $95.9 \pm 0.8 \text{ Ma}$ <sup>[3]</sup>一致,并与华南白垩纪构造应力场发生重要拉张活动的时间<sup>[6]</sup>相对应,这为判断华南晚中生代岩石圈伸展作用发生的时间进一步提供了断裂活动的热年代学制约。

## 5 结论

1) Ar-Ar 激光阶段加热定年结果表明,南雄断裂带中生代拉伸剥离正断层活动开始于早白垩世初( $117.3 \pm 2.7 \text{ Ma}$ ),强烈的伸展变形韧性剪切发生在早白垩世末-晚白垩世初(Ar-Ar 坪年龄为  $94.6 \pm 0.4 \text{ Ma}$ ),其后在  $88.9 \pm 1.0 \text{ Ma}$  和  $81.1 \pm 2.0 \text{ Ma}$  还可能发生过 2 次较明显的热扰动事件。

2) 南雄断裂带 Ar-Ar 测年数据为进一步判断华南白垩纪岩石圈伸展作用发生的时间提供了新的热年代学制约,或者说,早白垩世末-晚白垩世初是区域岩石圈伸展的重要时期。

## 参考文献:

- [1] 陈跃辉. 南雄断裂构造剥离作用及其与铀成矿的关系[J]. 铀矿地质, 1994, 10(3): 168-174.
- [2] 舒良树, 周新民, 邓平, 等. 中国东南部中-新生代盆地特征与构造演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 876-884.
- [3] SHU L S, DENG P, WANG B, et al. Research on lithology, kinematics and geochronology related to late Mesozoic Basin-Mountain evolution in the Nanxiong - Zhuguang Area, South China [J]. Science in China; D, 2004, 47(8): 673-688.
- [4] LI X H, McCULLOCH M T. Geochemical characteristics of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China: Age, origin and tectonic significance [C] // Flower M F J et al. eds. Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia, Geodynamics Series. Washington, D C: AGU, 1998, 27: 405-419.
- [5] 黄崇珂, 朱裕生. 南岭银矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 1-293.
- [6] 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学[J]. 地球化学, 1997, 26(2): 14-30.
- [7] 邱华宁. 新一代 Ar-Ar 实验室建设与发展趋势: 以中国科学院广州地球化学研究所 Ar-Ar 实验室为例[J]. 地球化学, 2006, 35(2): 133-140.
- [8] KOPPERS A A P. Ar-Ar CALC software for  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age calculations [J]. Comput Geosci, 2002, 28(5): 605-619.
- [9] 邹和平, 王建华, 丘元禧. 广东南澳和莲花山韧性剪切带  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义[J]. 地球学报, 2000, 21(4): 356-364.
- [10] 陶奎元. 环太平洋中国东南大陆火山带独特性探讨 [C] // 陆志刚, 陶奎元. 中国东南沿海火山地质与矿产论文集第 1 辑. 北京: 地质出版社, 1992: 1-13.
- [11] 王德滋, 周新民. 中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1-295.
- [12] 周珣若, 吴克隆, 严炳铨. 漳州 I-A 型花岗岩[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1-148.
- [13] HARKER B R, WANG Q.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of ultrahigh pressure metamorphism in central China [J]. Tectonics, 1995, 14(4): 994-1006.
- [14] MARTIN H, BONIN B, CAPDEVILA R, et al. The Kuiqi peralkaline granitic complex (SE China): Petrology and geochemistry [J]. J Petrol, 1994, 35: 983-1015.