

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 苏鲁超高压变质带东海青龙山高压正片麻岩中 白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究

陈文<sup>1,2)</sup> 李曙光<sup>3)</sup> 张彦<sup>1)</sup> 刘新宇<sup>1)</sup>

1) 中国地质科学院地质研究所,北京,100037; 2) 中国科学院地质与地球物理研究所,北京,100029

3) 中国科学技术大学,合肥,230026

**内容提要** 作为东海青龙山榴辉岩围岩的高压变质的正片麻岩,其白云母的常规 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄和 Rb-Sr、Sm-Nd 年龄一致,激光微区 Ar 同位素分析表明,白云母的 Ar 同位素分布也是均匀的。由此得出的初步结论是:① 高压变质的正片麻岩中的白云母中不含过剩 Ar,这类矿物可以作为 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素测年的对象;② 青龙山榴辉岩中的白云母含大量过剩氩,而作为其围岩的超高压正片麻岩中的白云母却不含过剩氩,这一事实证明了榴辉岩中白云母的过剩氩不是来自围岩,而是榴辉岩自身继承的。

**关键词** 正片麻岩 高压白云母 过剩氩 成因

十几年前地质学家就发现,高压—超高压变质岩中白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄往往高于用其他方法,如 Rb-Sr、Sm-Nd 等时线法测出的年龄值(Li et al., 1994)。对其原因有多种解释,但没有统一认识。这种现象影响了白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄的使用,甚至导致部分人对 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法产生了怀疑。上世纪90年代中期以来,对这个问题的研究产生了突破,大家取得了如下共识:在高压变质成因的白云母中存在过剩氩是导致其 Ar-Ar 年龄偏高的主要原因。目前在以下几方面存在争论:为什么超高压变质岩中的白云母较其他岩石中的白云母更容易捕获过剩氩?是否所有的高压白云母中都含有过剩氩?决定高压白云母捕获过剩氩的是那些因素?——流体作用?矿物成分?矿物结构?温、压条件?对此,近年来国际上不少人进行了多方面的研究,但仍然没有统一认识。笔者在国家自然科学基金的资助下开展了这方面的研究并取得了一些进展,本文介绍了其中关于高压正片麻岩中白云母的研究成果。

## 1 研究背景

一般来说,多硅白云母对于 K-Ar 或 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年是一个理想的矿物。这不仅因为它有高的钾含

量,也因为它对放射成因氩有着良好保存性。然而,近年来国内外学者对全球范围含有柯石英或金刚石的榴辉岩进行年代学研究时,常发现 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄异常地高于 Sm-Nd、U-Pb、Rb-Sr 年龄(Li et al., 1994; Hacker et al., 1995; Arnaud et al., 1995; Scaillet et al., 1992, 1996; Ruffet, 1995, 1997)。他们正确地指出这是因为高压成因白云母中含有过剩氩所致,但没有给出过剩氩的校正方法。王松山(1997)等提出的 Cl-Ar 等时线校正法针对钾长石和燧石被证明是有效的,但目前还没有发现它对于高压—超高压变质硅酸盐矿物也有效。陈道公(1994)通过高温高压下黑云母氩扩散研究推测在某种低温高压条件下,氩有可能进行从介质到矿物的反向扩散,使矿物获得过剩氩。这一研究结果给我们带来有益启示,但同时也带来疑问:为什么在同样的低温高压条件下有些矿物颗粒含有过剩氩有些却不含?显然,矿物中过剩氩的成因另有关键性的控制因素。

从20世纪90年代开始,随着激光微区 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 分析技术的成熟,科学家们尝试用这一方法结合矿物的电子探针成分分析和矿物显微结构分析来探讨过剩氩的来源及其在矿物中的分布机制并取得了一系列进展。其中,对阿尔卑斯山西部的 Dora-Maira

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 49973003)、国土资源大调查项目(编号 2000020190118)和国家重点基础发展规划项目(编号 G1999075503)资助成果。

收稿日期:2002-05-18;改回日期:2003-05-18;责任编辑:刘淑春。

作者简介:陈文,男,1962年生。1984年毕业于中国科学技术大学地球化学专业。现为地质科学院地质研究所研究员,主要从事同位素地质年代学研究工作。通讯地址:100037,北京百万庄路26号,地质研究所;Email:chenwenf@public3. bta. net. cn。

榴辉岩、Sesia 榴辉岩和挪威东部的加里东期榴辉岩研究得较为详细,初步认定过剩氩的赋存与矿物的 Si 含量及 Na/K 值有相关关系(Scaillet et al., 1992, 1996; Ruffet et al., 1995, 1997)。

在中国东部的大别—苏鲁地区,沿东西向展布的中朝和扬子板块缝合带,分布着蓝片岩和含柯石英、金刚石的超高压榴辉岩(Xu et al., 1987; Wang et al., 1989; Xu et al., 1992)。大量的 Sm-Nd 和锆石 U-Pb 年龄证明超高压变质作用发生在三叠纪(Li et al., 1993, 1994, 2000; 李曙光等, 1989a, 1989b, 1992; Hacker et al., 1998; Ames et al., 1996; Rowley et al., 1997; Chavagnac et al., 1996)。然而, Mattauer 等(1991)认为榴辉岩形成于晚元古代,其依据就是从榴辉岩中得到的白云母的 500~700 Ma 的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄。其后, Li 等(1994)综合应用  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 、Sm-Nd、U-Pb 等多种方法对苏北青龙山含柯石英榴辉岩进行了年龄测定,结果发现白云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄(约 900 Ma)远高于 Sm-Nd、U-Pb 年龄(约 226 Ma),表明高压白云母中含有大量过剩氩。Giorgis 等(2000)也对青龙山榴辉岩中的白云母进行了详细的紫外激光  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  微区测年研究,发现了过剩氩扩散环带,云母中心表面年龄高达 1100 Ma, 边部 400 Ma, 从而得出过剩氩为继承成因的结论。

对大别—苏鲁地区高压—超高压变质岩的年代学研究稍作总结就可以发现,白云母中过剩氩的赋存和岩性有关:① 榴辉岩中的白云母含过剩氩最多,因而  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄最老,从 685~1100 Ma (Mattauer et al., 1991; Li et al., 1994; Wang et al., 1998; Giorgis et al., 2000);② 高压副片麻岩(榴辉岩的围岩)中白云母的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄要低得多,但仍含有过剩氩(Harker et al., 1995; Li et al., 1999)。

接下来一个显而易见的问题是:高压正片麻岩中的白云母是否含有过剩氩?为回答这一问题,我们选择了位于大别—苏鲁高压—超高压变质带中的苏北青龙山榴辉岩的围岩——高压正片麻岩(图1)进行了研究。

## 2 分析结果和讨论

### 2.1 常规阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果

采样点见图1。首先从岩石中选出白云母和钾长石矿物集合体做常规阶段升温  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄分析。

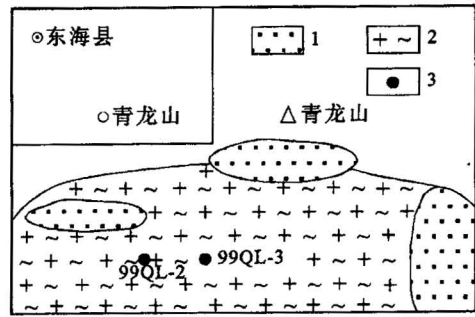


图1 江苏东海青龙山高压片麻岩位置图及同位素年代学研究采样点

Fig. 1 Sample location of Qinglongshan gneiss for geochronology study

1—榴辉岩; 2—片麻岩; 3—采样点

1—Eclogite; 2—gneiss; 3—sampling position

选纯的矿物(纯度>99%)先在二次亚沸蒸馏净化的纯净水中用超声波清洗三次,在此过程中矿物表面和解理缝中在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质被清除。然后在丙酮中清洗两次,以清除矿物表面吸附的油污等有机物质。清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应堆接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”H8孔道中进行的,其中子流密度为  $6 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为 70.9 h, 积分中子通量为  $1.53 \times 10^{18} \text{ n cm}^{-2}$ ; 同期接受中子照射的还有用来监控中子流的 ZBH-25 黑云母国内标准样,其矿物粒径为 0.25~0.63 mm,  $K = (7.597 \pm 0.030)\%$ ,  $^{40}\text{Ar}^* = 1.824 \times 10^{-9} \text{ mol/g}$ , 标准年龄为  $132.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$ 。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,质谱分析是在 MM-1200B 质谱计上进行的。所有的数据都经过质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。全系统空白(炉子加热到 1400℃; 海绵钛炉 800~400℃)水平:  $m/e = 40: < 4 \times 10^{-14} \text{ mol}$ ;  $m/e = 39: < 2 \times 10^{-15} \text{ mol}$ ;  $m/e = 37: < 5.0 \times 10^{-17} \text{ mol}$ ;  $m/e = 36: < 2.0 \times 10^{-16} \text{ mol}$ 。中子照射过程所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的  $\text{K}_2\text{SO}_4$  和  $\text{CaF}_2$  来获得,其值为:  $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.0002389$ ,  $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$ ,  $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 $^{37}\text{Ar}$  经过放射性衰变校正;  $^{40}\text{K}$  衰变常数  $= 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ ; 年龄误差以  $2\sigma$  给出。

(1) 在距榴辉岩体 2.3 m 处的片麻岩中采样(图1, 99QL-2)。选出钾长石(99QL-2K)做  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  阶段升温年龄分析,结果见表1。15个温度阶段组成

表 1 白云母和钾长石<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar阶段升温加热分析数据

Table 1 The results of <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar stepwise heating dating

温度 (°C)	$(\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}})_m$	$(\frac{^{36}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}})_m$	$(\frac{^{37}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}})_m$	$\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$	<sup>39</sup> Ar 累积释 放百分量(%)	视年龄 (Ma)	±2σ (Ma)
99QL-2M, 白云母, W=92.53 mg; J=0.016549							
230	16.8621	0.0353	0.2452	6.4531	0.20	183	62
290	21.8649	0.0486	0.3017	7.5257	0.32	212	36
345	12.6595	0.0108	0.0393	9.4775	0.66	263	16
400	11.5071	0.0128	0.1086	7.7290	1.21	217.1	5.5
480	904744	0.0061	0.0287	7.6651	2.83	215.4	5.8
560	7.9202	0.0012	0.0098	7.5653	8.70	212.8	2.1
640	7.5598	0.0003	0.0010	7.4676	33.16	210.2	2.2
720	7.5805	0.0003	0.0010	7.4998	64.11	211.1	2.5
800	7.7110	0.0007	0.0000	7.4941	85.97	210.9	3.9
880	7.6142	0.0008	0.0200	7.3617	95.36	207.4	2.6
960	7.7754	0.0008	0.0062	7.5388	99.50	212.1	3.3
1040	11.1300	0.0118	0.1291	7.6453	99.88	214.9	3.7
1350	19.9812	0.0098	1.0404	17.160	100.00	450.9	24
					Total age	211.2	±3.6
99QL-3M, 白云母, W=79.00 mg; J=0.015606							
300	115.9094	0.3856	0.0777	1.9793	0.46	55	18
380	24.0534	0.0533	0.1586	8.3062	0.70	219.9	3.3
460	12.1335	0.0134	0.0332	8.1787	1.53	216.7	3.4
540	9.9888	0.0058	0.0221	8.2645	3.49	218.9	3.5
620	8.8367	0.0013	0.0019	8.4400	14.04	223.2	3.1
700	8.3892	0.0004	0.0018	8.2744	42.16	219.1	2.4
780	8.4278	0.0003	0.0014	8.3383	80.04	220.7	2.1
860	8.4278	0.0004	0.0013	8.2974	89.50	219.7	2.3
960	8.4285	0.0004	0.0015	8.3105	94.24	220.0	2.3
1060	8.8551	0.0030	0.0129	7.9666	97.04	211.4	5.8
1160	11.5612	0.0149	0.1813	7.1574	97.65	191	34
1260	15.3354	0.0312	0.9588	6.1906	98.09	166	51
1400	9.3589	0.0045	0.0453	8.0197	100.00	212.7	6
					Total age	218.7	±3.5
99QL-2K, 钾长石, W=98.15 mg; J=0.016549							
370	10.1164	0.0100	0.2971	7.2203	4.59	203.6	9.4
450	9.0519	0.0070	0.0198	7.0321	3.28	198.6	9.3
530	7.5002	0.0021	0.0081	6.8642	10.65	194.1	3.1
610	7.1395	0.0009	0.0151	6.8796	18.83	194.5	2.3
690	7.0204	0.0006	0.0117	6.8252	29.61	193.1	2.4
770	7.0775	0.0008	0.0134	6.8265	38.66	193.1	2.6
850	7.4453	0.0021	0.0461	6.8132	45.62	192.7	2.0
930	7.6148	0.0012	0.0397	7.2486	53.82	204.4	2.8
1090	8.1502	0.0023	0.0285	7.4749	59.25	210.4	3.3
1180	9.1579	0.0049	0.0412	7.7083	62.11	216.6	3.2
1260	7.9363	0.0005	0.0101	7.7910	91.64	218.8	2.6
1340	8.9968	0.0045	0.0704	7.6739	93.10	215.7	8.5
1400	8.8027	0.0035	0.0462	7.7778	95.05	218.4	3.4
1450	8.7573	0.0054	0.1598	7.1661	97.24	202.2	9.5
1500	8.4808	0.0032	0.0498	7.5276	100.00	211.8	4.1
					Total age	210.9	±3.2

了一个受扰动的年龄谱(图2a),全年龄为210.9 Ma。有两个年龄坪存在,其中370~850°C的7个中一低温阶段组成了一个不太平坦的年龄坪,坪年龄为193.6±0.3 Ma,对应了42%的<sup>39</sup>Ar析出量。相应的<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar-<sup>36</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar反等时线年龄为191.9±2.6 Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar初始比值为326±30(MSWD=0.55)。此前,李齐等对采自苏北东海双湖村郟庐断裂带上的片麻岩中的钾长石进行了MDD模式<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar年龄分析,在所得到的两个快速冷却时段中,第一时段的终止时间是195 Ma(李齐等,1995),和本次钾长石分析中的低温坪年龄相吻合。因此,把193.6 Ma的年龄解释为片麻岩晚期抬升冷却年龄是合理的。1180~1400°C的4个高温阶段组成了一个平坦的年龄坪,坪年龄为217.9±0.4 Ma,对应了36%的<sup>39</sup>Ar析出量。相应的<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar-<sup>36</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar反等时线年龄为219.1±2.6 Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar初始比值为279±21(MSWD=0.34)(图2b)。217.9 Ma是钾长石的形成年龄。

(2) 从同一个片麻岩样品(99QL-2)中选出白云母(99QL-2M)做<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar阶段升温年龄分析,结果见表1。13个温度阶段组成了一个未受扰动的年龄谱(图2c),全年龄为211.2 Ma。其中400~1040°C的9个阶段组成了一个平坦的年龄坪,坪年龄为211.4±0.7 Ma,对应了99%的<sup>39</sup>Ar析出量。相应的<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar-<sup>36</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar反等时线年龄为211.5±2.1 Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar初始比值为312±10(图2d)。211.2 Ma的年龄值低于钾长石217.9 Ma的高温坪年龄值,也低于李曙光在榴辉岩中得到的Rb-Sr等时线年龄(219 Ma)和Sm-Nd等时线年龄(224 Ma)(Li et al., 1994),所以不能肯定211.2 Ma是白云母的形成年龄,但可以证明该白云母样品中不含过剩氩。

(3) 在距榴辉岩体6.5 m处的片麻岩中采样(图1;99QL-3)。选出白云母做<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar阶段升温年龄分析,结果见表1(99QL-3M)。13个温度阶段组成了一个未受扰动的年龄谱(图2e),全年龄为218.7 Ma。其中380~1060°C的9个阶段组成了一个平坦的年龄坪,坪年龄为219.5±0.6 Ma,对应了96%的<sup>39</sup>Ar析出量。相应的<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar-<sup>36</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar等时线年龄为220.3±2.2 Ma(MSWD=1.4,图2f),<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar初始比值为289.4±9.3,在误差范围内和尼尔值一致。鉴于219.5 Ma的年龄值和钾长石217.9 Ma的年龄相近,也在前人得到的Rb-Sr和Sm-Nd等时线年龄范围之内(Li et al.,

1993),并且考虑到 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值和现代大气氩比值相近,可以肯定该白云母样品中不含过剩氩。

### 2.2 激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 微区测年结果及讨论

为了研究白云母中氩同位素的分布状态,用激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 微区测年技术对片麻岩岩石光片中的白云母进行了微区激光点熔分析。

从99QL-3样品岩石手标本上切下0.5 mm厚

面积约25 mm<sup>2</sup>的薄片。薄片的两面抛光之后在二次水中多次超声清洗。在整个过程中,特别小心地避免混入氯离子、碳氢化合物及其他污染物。清洗后的光片放在烘箱中烘去表面吸附的水份。用纯铝箔将处理好的光片和年龄已知的标准样(ZBH-25黑云母)一起包装好,然后放入石英瓶中并封口后装在铝筒里送到中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行

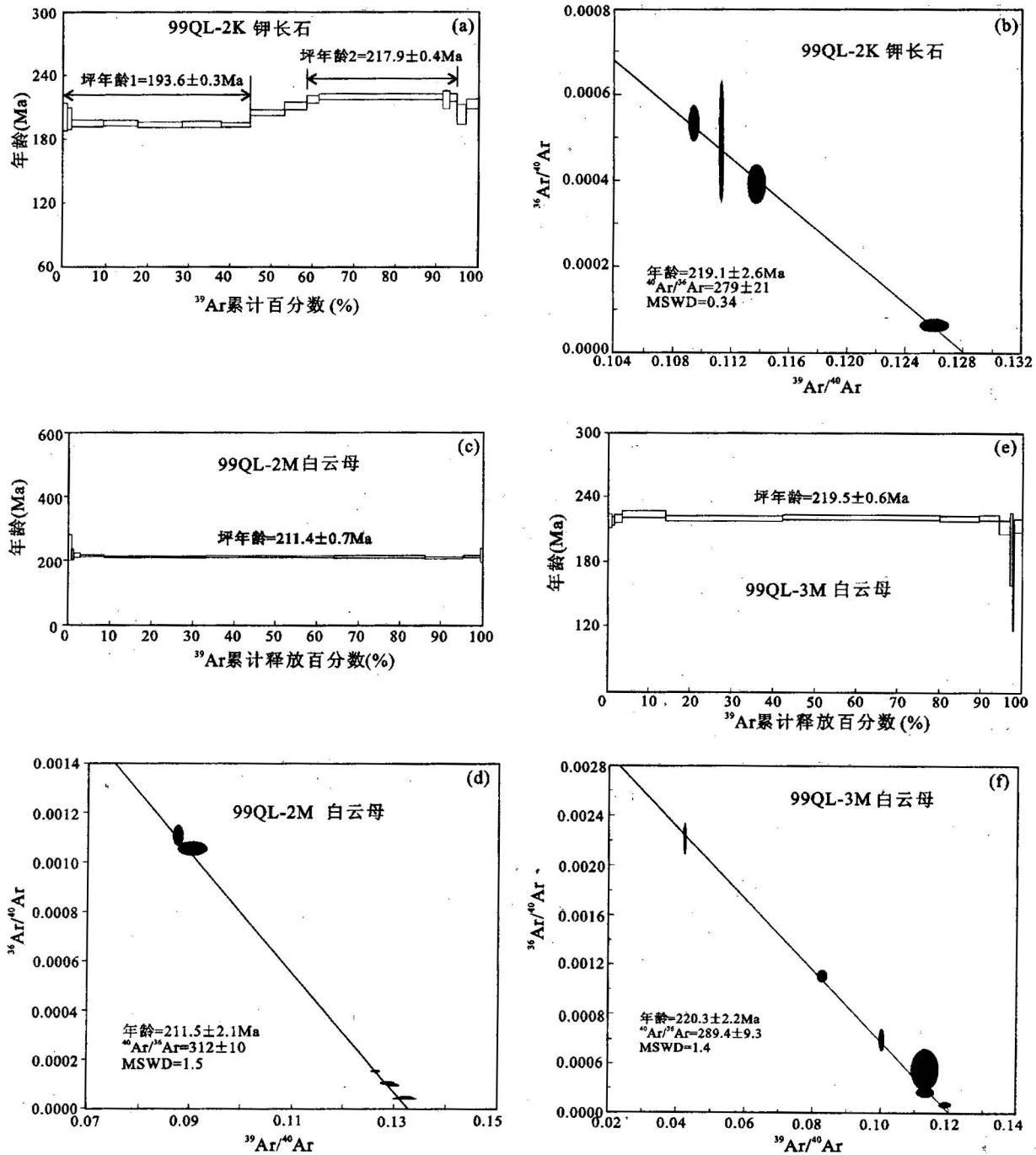


图2 白云母和钾长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温年龄谱及 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ - $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 等时线图

Fig. 2  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  age spectra and  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  vs  $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  inverse isochron diagram of muscovite and K-feldspar

快中子照射。使用 H8 孔道，照射总时间为 3630 min，积分中子通量  $1.306 \times 10^{18} \text{ n cm}^{-2}$ 。照射后的样品放入激光熔样用的超高真空样品室中，通过光圈和棱镜引导激光进入熔样室并用透镜将其聚焦到矿物上熔样，激光熔穴直径 40~200  $\mu\text{m}$ 。使用的激光器是国产 CW 型 Nd:YAG 连续激光器，激光输出功率从 0.01~50 W 连续可调。在激光作用期间，用一个活性碳管在液氮冷却下连续地吸收氩气体，释放出来的杂质气体则用 Zr-Al 泵吸收。激光作用后，继续纯化 5 min，然后线路用离子泵抽 2~3 min。液氮杯撤出后，活性碳管上升到室温，在其上再套上一个低温杯 ( $< -80^\circ\text{C}$ ) 纯化 5 min，用这种方法其他杂质气体被吸收，氩气则直接进入质谱计中。使用 MM1200B 气体质谱计和 17 级 Be-Cu 电子倍增器测量 Ar 信号。在每次样品分析之前做系统空白测定。每个质谱峰采集 8 组数据，回归处理后得出时间零点时的 Ar 同位素峰值，对它们进行空白校正、质量歧视校正和干扰元素同位素校正后利用有关公式计算出年龄值。详细的实验流程见陈文等人的文章 (陈文等, 1994, 2002a, 2002b; Schaeffer et al., 1977; Maluski et al., 1988)。

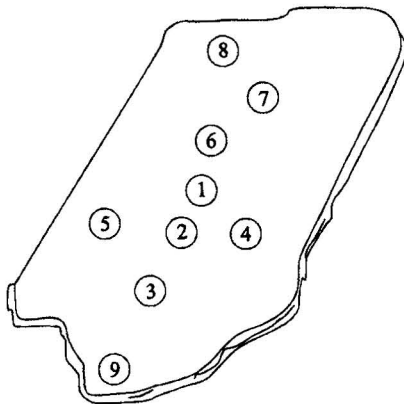


图 3 青龙山片麻岩中高压成因白云母激光<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 分析点示意图

(图中数字同表 2)

Fig. 3 The laser microprobe <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar analysis points of muscovite, Qinglongshan gneiss (The numbers are the same with those in the Table 2)

被分析的白云母粒径在 3.5 mm × 2mm 左右，从中心到边缘，做了 9 个点的激光<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄分析 (图 3)。结果中，第九点因过于靠近边部可能因为边部轻微蚀变有放射性成因氩丢失导致年龄明显偏低 (188.9 Ma)；第三点 213.1 Ma 的年龄值也低于

表 2 白云母激光微区<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 分析结果

Table 2 Laser microprobe <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar analytical results of single muscovite grain

激光点号	$(\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}})_m$	$(\frac{^{36}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}})_m$	$(\frac{^{37}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}})_m$	$\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$	$^{39}\text{Ar}(\text{E-16mol})$	视年龄 (Ma)	$\pm 2\sigma$ (Ma)
1	10.5544	0.002264	0.0009932	9.8805	552	219.5	4.2
2	10.3879	0.001806	0.001055	9.8494	631	218.9	4.5
3	9.9836	0.001361	0.001103	9.5765	426	213	16
4	11.4479	0.005145	0.0009749	9.9229	723	220.4	4.3
5	10.2819	0.001556	0.000975	9.8174	482	218.2	3.2
6	10.6000	0.002154	0.0009037	9.9588	520	221.2	4.2
7	10.2375	0.001066	0.0006958	9.9178	563	220.3	3.1
8	10.4411	0.001956	0.000766	9.8582	460	219.0	2.1
9	9.6886	0.004237	0.000996	8.4317	236	188.9	2.7

注：99QL-3M，白云母， $J=0.013096$ 。

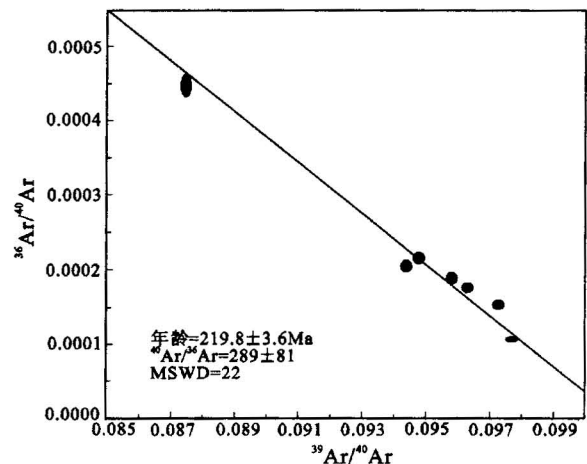


图 4 青龙山片麻岩中高压成因白云母激光<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 等时线

Fig. 4 Laser <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar vs <sup>36</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar isochron diagram of muscovite, Qinglongshan gneiss

其他各点，但鉴于其误差很大 (16.4 Ma)，可能是测量时质谱系统的波动造成的，该年龄值不具有地质意义。其余 7 个点年龄相近并且和常规阶段升温 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 测年结果在误差范围内一致 (表 2)。七点的 <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar-<sup>36</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar 反等时线年龄为 219.8 ± 3.6 Ma (MSWD=22, 图 4)，<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 初始比值为 289 ± 81。219.8 Ma 的年龄值和用常规 <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 法得到的坪年龄值 (219.5 Ma) 及样品 99QL-2 中钾长石 217.9 Ma 的年龄值在误差范围内完全一致。激光微区 <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 分析结果再一次表明该片麻岩的白云母中不含过剩氩，同时也表明该种白云母内放射性成因氩的分布是均匀的。



### 3 初步结论

(1) 在高压—超高压变质成因的正片麻岩中,白云母不含过剩氩。

(2) 在高压—超高压变质成因的正片麻岩中,白云母的氩同位素分布是均匀的。

(3) 高压—超高压变质成因的正片麻岩中的白云母,可以被用于 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄测定。

(4) 青龙山榴辉岩中的白云母含大量过剩氩,而作为其围岩的超高压正片麻岩中的白云母却不含有过剩氩。这一明显的对比,说明榴辉岩中白云母的过剩氩不是来自围岩,而是榴辉岩自身继承的。

当然,上述结论只是初步的。更进一步的工作如榴辉岩中白云母的过剩氩成因研究目前在继续进行中。

### 参 考 文 献

- 陈道公,贾命命,李彬贤,等. 1994. 高温高压下黑云母氩扩散研究. 中国科学(B辑), 24(2):194~201.
- 陈文,罗修权,张思红. 1994. 激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法研究. 地球学报, (1~2):197~205.
- 陈文,郭彦如,崔彬,等. 2002a. 东昆仑西大滩岩系变质和变形事件的同位素年代学研究. 地质论评, 48(增刊):103~109.
- 陈文,刘新宇,张彦. 2002b. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究. 地质论评, 48(增刊):127~134.
- 李齐,陈文寄,马宝林. 1995. 华北、扬子板块碰撞后热演化史的初步研究. 地震地质, 17(3):193~201.
- 李曙光, Hart S R, 郑双根, 等. 1989a. 华北和华南陆块的碰撞时代: Sm-Nd 同位素年代学证据. 中国科学(B辑), 38(3):312~322.
- 李曙光,葛宁洁,刘德良,等. 1989b. 大别山北部大别群杂岩中C型榴辉岩的 Sm-Nd 年龄及其构造意义. 科学通报, 34(7):522~526.
- 李曙光,刘得良,陈移之,等. 1992. 大别山南部含柯石英榴辉岩的 Sm-Nd 年龄. 科学通报, 37(6):432.
- 王松山,桑海清,裘冀. 1997. Ar-Ar 等时线的局限及 Cl-Ar 等时线的潜力. 地球学报, 18(增刊):272~274.
- Sinica(D), 24(2):194~201 (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Guo Y R, Cui B, et al. 2002a. Research on the deformation and metamorphism times of the Xidatan rocks series, east Kunlun mountains. Geological Review, 48(Supp.):103~109 (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Liu X Y, Zhang Y. 2002b. Continuous Laser Stepwise heating  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Dating Technique. Geological Review, 48(Supp.):127~134 (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Luo X Q, Zhang S H. 1994. Research on laser microprobe  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating. Acta Geoscientia Sinica, 15(1~2):197~205 (in Chinese with English abstract).
- Giorgis O, Cosca M, Li S. 2000. Distribution and significance of extraneous argon in UHP eclogite (Sulu terrain, China): insight from in situ  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  UV-laser ablation analysis. Earth Planet Sci. Lett., 181:605~615.
- Hacker B R, Qingchen Wang. 1995. Ar/Ar geochronology of ultrahigh-pressure metamorphism in central China. Tectonics, 14(4):994~1006.
- Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China. Earth Planet. Sci. Lett., 161:215~230.
- Li Q, Chen W J, Ma B L. 1995. Thermal evolution history after collision of North China plate and Yangtze plate. Seismology and Geology, 17(3):193~201 (in Chinese with English abstract).
- Li S S, Liu D L, Chen Y Z, et al. 1992. The Sm-Nd age of coesite-bearing eclogite in Southern Dabie mountains. Chinese Science Bulletin, 37(6):432 (in Chinese with English abstract).
- Li S S, Ge N J, Liu D L, et al. 1989b. The Sm-Nd age and its tectonic significance of C-type eclogite in Northern Dabie mountains. Chinese Science Bulletin, 34(7):522~526 (in Chinese with English abstract).
- Li S S, Hart S R, Zheng S G, et al. 1989a. The collision time of North China plate and South China plate: evidence from Sm-Nd ages. Scientia Sinica(B), 38(3):312~322 (in Chinese with English abstract).
- Li S, Wang S, Chen Y. 1994. Excess argon in phengite from eclogite: Evidence from the dating of eclogite minerals by the Sm-Nd, Rb-Sr and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  methods. Chem. Geol., 112:343~350.
- Li S, Jagoutz E, Chen Y, et al. 2000. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountains, Central China. Geochim. Cosmochim. Acta, 64:1077~1095.
- Li S, Jagoutz E, Lo C-H, et al. 1999. Sm/Nd, Rb/Sr and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic systematics of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie-Sulu Belt, central China: A retrospective view. International Geol. Review, 41:1114~1124.
- Li S, Xiao Y, Liu D, et al. 1993. Collision of the North China and South China Blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes. Chem. Geol., 109:89~111.
- Maluski H, Monie P. 1988.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  laser probe multi-dating inside single biotite of a Variscan orthogneiss (Pinet, Massif central, France). Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 73:245~263.
- Mattauer M, Matte P, Maluski H. 1991. La limite Chine du Nord-Chine du Sud au Paleozoique et au Trias. Nouvelles donnees structurales et radiometriques dans le massif de Dabie-Shan, eastern China). C. R. Acad. Sci., Ser. II, 312:1227~1233.

### References

- Ames L, Zhong G, Xiang B. 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korea and Yangtze cratons, Central China. Tectonics, 15:472~489.
- Arnaud N O, Kelley S P. 1995. Evidence for excess argon during high pressure metamorphism, in the Dora Maira Massif (Western Alps, Italy), using an ultra-violet laser ablation microprobe  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  technique. Contrib. Mineral. Petrol., 121:1~11.
- Chavagnac V, Jahn B-M. 1996. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling complex, Dabie Mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications. Chem. Geol., 133:29~51.
- Chen D G, Jia M M, Li B X, et al. 1994. Study of the argon distribution in high pressure and high temperature. Scientia

- Rowley D B, Xue F, Tucker R D, et al. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and protolith orthogneisses from the eastern Dabie Shan: U/Pb zircon geochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 151:191~203.
- Ruffet G, Feraud G, et al. 1995. Plateau ages and excess argon on phengites; a  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  laser probe study of alpine micas (Sesia zone). *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 121:327~343.
- Ruffet G, Gruau G, Balleuvre M. 1997. Rb-Sr and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  laser probe dating of high-pressure phengites from the Sesia zone (Western Alps): underscoring of excess argon and new age constraints on the high-pressure metamorphism. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 141:1~18.
- Scaillet S, Feraud G, Lagabrielle Y. 1992. Mg/Fe and [(Mg,Fe)Si-Al<sub>2</sub>] on argon behaviour in high-pressure white micas; a  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  continuous laser probe from the Dora Maira nappe of the internal Western Alps, Italy. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 2851~2872.
- Scaillet S. 1996. Excess  $^{40}\text{Ar}$  transport scale and mechanism in high-pressure phengites: a case study from an eclogitized metabasite of Dora-Maira nappe, Western Alps. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60:1075~10906.
- Schaeffer O A, Muller H W, Grove T L. 1977. Laser  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  Study of Appollo 17 basalts. *Proc. 8th Lunar. Sci. Conf.*, 1489~1499.
- Wang S S, Shang H Q, Qiu J. 1997. The limitation of Ar-Ar isochron and potentiality of Cl-Ar isochron. *Acta Geoscientia Sinica*, 18 (Supp.):272~274 (in Chinese with English abstract).
- Wang X, Liou J G, Mao H K. 1989. Coesite-bearing eclogite from the Dabie Mountains in central China. *Geology*, 17:1085~1088.
- Wang S S. 1998. Excess argon-bearing phengite from UHPM eclogite: a new geochronological evidence. *Chinese Science Bulletin*, 43 (Supp.)140.
- Xu Zhiqin. 1987. Etude tectonique et microtectonique de la Chine paleozoique et triasique et des Qinglings (China). These, Universite des Sciences et Techniques du Languedoc, France.
- Xu S, Okay A I, Ji S, Sengor A M C. 1992. Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for the tectonic setting. *Science*, 256:80~82.

## $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Chronological Study of the Muscovite from Qinglongshan High-Pressure Orthogneiss, Donghai County, Su-Lu UHP-Metamorphic Belt

CHEN Wen<sup>1,2)</sup>, LI Shuguang<sup>3)</sup>, ZHANG Yan<sup>1)</sup>, LIU Xinyu<sup>1)</sup>

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

2) *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*

3) *The University of Science and Technology of China, Hefei, 230026*

### Abstract

The conventional  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age of muscovite in high-pressure metamorphic orthogneiss, surrounding rocks of the Qinglongshan eclogite, is identical with its Rb-Sr and Sm-Nd ages. The Laser microprobe analysis shows that the argon isotope is evenly distributed in the muscovite. The preliminary conclusion is (1) muscovite in high-pressure metamorphic orthogneiss does not contain excess argon and can be the object for  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating; (2) muscovite in the Qinglongshan eclogite contains large amounts of excess argon while muscovite in its surrounding rocks, i. e. high-pressure orthogneiss, does not contain excess argon. This fact proves that the excess argon of muscovite in eclogite does not come from its country rocks but from its inheritance.

**Key words:** orthogneiss; high-pressure muscovite; excess argon; genesis