

# 中亚蒙古造山带东段造山事件的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学证据

郝爱华<sup>1</sup> 葛玉辉<sup>1</sup> 李绪俊<sup>2</sup> 李碧乐<sup>2</sup>

(1.西南石油大学资源与环境学院,四川 成都 610500; 2.吉林大学地球科学学院,吉林 长春 130061)

**摘要:**位于中亚蒙古造山带东段的吉林省中南部呼兰群变质岩中,发现含多硅白云母的蓝晶石片岩带。采用  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  连续阶段升温的方法,对呼兰群下部层位的黑云母片麻岩和上部蓝晶石片岩中的云母类变质矿物进行测定,分别获得  $(223.57\pm 0.80)\text{Ma}$ 、 $(224.41\pm 4)\text{Ma}$  的坪谱年龄和  $(221.90\pm 2.79)\text{Ma}$ 、 $(223.27\pm 4.53)\text{Ma}$  的等时线年龄。相同的方法得到侵位于呼兰群地层中、化学成分类似于岛弧拉斑玄武岩的角闪橄榄岩  $(302.00\pm 6.30)\text{Ma}$  和  $(246.00\pm 5.70)\text{Ma}$  不一致坪谱年龄,从而确定了该地区古亚洲—蒙古洋缝合及中生代碰撞造山的时限范围在 302~225 Ma,且造山作用可能经历了由碰撞造山到陆—陆叠覆造山的连续过程。

**关键词:**中亚蒙古造山带;  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  同位素年龄; 吉林省中南部

**中图分类号:** P597+.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2006)05-1059-07

位于吉林省中南部的伊通、磐石、桦甸、安图等地的造山带即兴蒙造山带,是华北板块与西伯利亚板块间中亚蒙古造山带的南东端(图 1),也有人称之为蒙古巨型弧形构造带的南部断裂带<sup>[1]</sup>,是伴随古亚洲—蒙古洋的消失由其间的多个小陆块拼合镶嵌而成。目前许多学者认为该处与其向西端延伸的锡林浩特—索伦断裂带构成了西伯利亚板块南缘与华北板块北缘的最终缝合带<sup>[2]</sup>,但造山过程及碰撞缝合的结束时间等问题一直存在争议,原因之一是缺乏可靠的生物地层对比及可靠的同位素年代学证据。笔者选择了造山带沉积变质地层中不同的变质层位和侵入其中的镁铁质岩石进行  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  连续阶段升温法测年、X 光粉晶衍射和电子探针微区成分分析,获得了中亚蒙古造山带东端造山作用时限及造山缝合的方式的一些线索。

## 1 地质背景及样品的采集

吉林省中南部的磐石、桦甸、安图一带,是中亚蒙古造山带与华北板块接壤的南部边缘,目前研究认为区域上最古老的地层是下古生界。在磐石—桦甸地区称呼兰群,与吉林中部的下二台群、延边地区的青龙村群相对应,是一套由片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩、云母片岩和大理岩类组成的变质

岩系<sup>[3]</sup>。磐石地区的呼兰群主要分布于呼兰镇、红旗岭镇、都力河一带。主要包括黄莺屯组和小三个顶子组<sup>[4]</sup>,地层的总体走向  $310\sim 320^\circ$ ,不同时代和期次的侵入岩分布于其中。分析样品分别取自磐石市红旗岭镇附近的呼兰群及侵入其中的角闪橄榄岩体(图 2)。

样品 F-6: 黄莺屯组下段石榴石黑云母斜长片麻岩,镜下岩石片麻理十分发育,具有十分强烈的韧性变形特点,黑云母新鲜,没有明显的蚀变现象,含量 8%~10%,平均粒径  $2\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 。

样品 LQ-21: 小三个顶子组上段蓝晶石白云母片岩。主要矿物为白云母,其次是蓝晶石、石英。白云母新鲜没有后期蚀变,含量 90%左右,平均粒径  $2\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 。X 衍射( $b_0=9.056\text{ \AA}$ )及电子探针微区成分测定为多硅白云母(表 1),单位晶胞中硅原子数量可达 6.65(以阳离子数为 14 计算)。

样品 HQ-4: 侵位于黄莺屯组中段变质地层中,产状与地层近一致的角闪橄榄岩,平均化学成分:  $\text{SiO}_2$  为 48.26%,  $\text{MgO}$  为 11.19%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 15.88%,  $\text{FeO}^*$  为 7.47%,  $\text{CaO}$  为 12.98%,  $\text{TiO}_2$  为 0.54%,  $\text{Na}_2\text{O}$  为 2.02%,  $\text{K}_2\text{O}$  为 0.31%, 以高 Ca、Al、Na、低 Ti、K 为特征,  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  比值低,相当于岛弧拉斑玄武岩<sup>[5]</sup>成分。显微镜下可见造岩矿物不同程度蚀变,其

收稿日期: 2005-07-27; 改回日期: 2005-11-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572058)资助。

作者简介: 郝爱华,女,1964年生,博士,教授,主要从事矿物岩石矿床学和矿产勘查专业教学及科研工作; E-mail: aihuaxi@163.com。

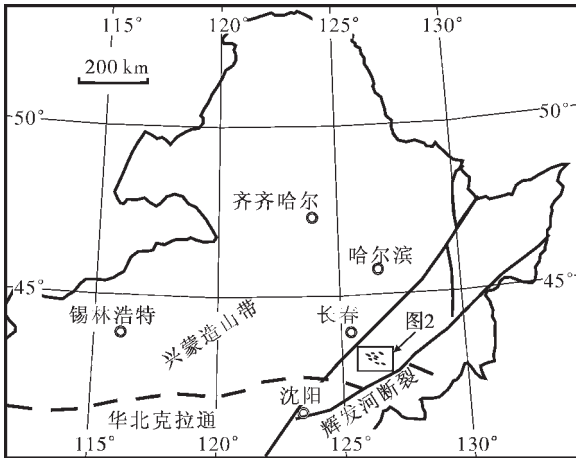


图1 兴蒙造山带东段大地构造位置略图  
(据 Wu Fu-yuan, 2004 修改)

Fig.1 Tectonic location of the eastern segment of the Hinggan-Mongolian orogenic belt (modified from Wu Fu-yuan, 2004)

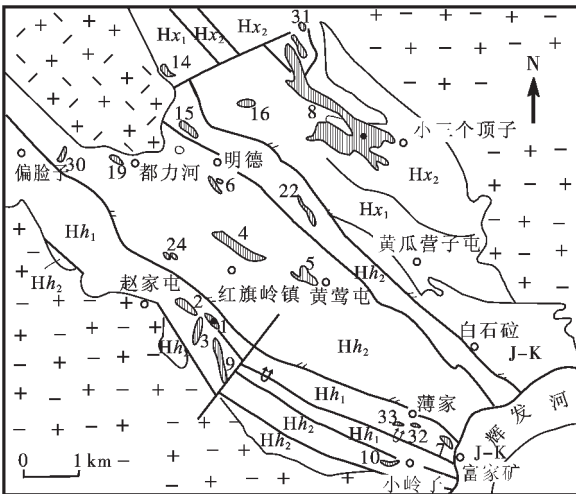


图2 同位素测年采样位置示意图

Hx<sub>2</sub>—小三个顶子组上段; Hx<sub>1</sub>—小三个顶子组下段;  
Hh<sub>2</sub>—黄营屯组上段; Hh<sub>1</sub>—黄营屯组下段;  $\gamma_5^{3-1}$ —细粒花岗岩;  
 $\gamma_5^{2-3}$ —钾长花岗岩; J-K—侏罗—白垩系; 1—压性断层;  
2—倒转褶皱; 3—岩体及其编号; 4—采样点; 5—地层界线

Fig.2 Geological sketch map showing the location of the chronological samples in the Hongqiling area

Hx<sub>2</sub>—Upper Member of the Xiaosangedingzi Formation in the Hulan Group; Hx<sub>1</sub>—Lower Member of the Xiaosangedingzi Formation in Hulan Group; Hh<sub>2</sub>—Upper Member of the Huangyingtun Formation in Hulan Group; Hh<sub>1</sub>—Lower Member of the Huangyingtun Formation in Hulan Group;  $\gamma_5^{3-1}$ —Fine-grained granite;  $\gamma_5^{2-3}$ —K-feldspar granite; J-K—Jurassic-Cretaceous System; 1—Fault of compressive origin; 2—Overturned anticline; 3—Intrusion and number; 4—Sample location; 5—Stratigraphic boundary

中,变质程度最低的是橄榄石,仅边缘发生蛇纹石化;角闪石局部保留较好,呈棕红色,其余大部分次闪石化、绿泥石化。破碎至粒度小于80目,挑选晶形好、深棕色的角闪石用于分析测试。

## 2 实验方法

选定黑云母、多硅白云母和角闪石单矿物作为测试样品。黑云母新鲜,呈棕褐色,没有明显的后期蚀变现象,与其他矿物剥离完好;多硅白云母呈淡绿色,新鲜,无蚀变及包裹体;角闪石总体呈褐色,通常边部包裹深绿色蚀变绿泥石和透闪石等矿物。

将待测单矿物用超声波清洗,每次3分钟,以清除矿物表面和解理缝隙中天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质。然后在丙酮中清洗2次,每次3分钟,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,中国科学院原子能研究院“游泳池型”核反应堆 H8 孔道中接受中子照射。照射总时间为60小时,中子流密度为  $6 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;积分中子通量为  $1.3 \times 10^{18} \text{ n cm}^{-2}$ ;用作中子通量监测的标准样品为中国标样 ZBH-25 黑云母,其 K-Ar 年龄值为  $(133.4 \pm 1.20) \text{ Ma}$ ,  $K = (7.597 \pm 0.030)\%$ ,  $^{40}\text{Ar} = 1.824 \times 10^{-3} \text{ mol/g}$ 。同位素测定在国土资源部 Ar-Ar 同位素地质重点分析实验室完成。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉;采用 MM-1 200 B 质谱仪进行质谱分析。全部数据均作过质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中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 =  $5.543 \times 10^{-10} \text{ 年}^{-1}$ ;年龄误差为  $2\sigma$ ,年龄等时线采用国土资源部 Ar-Ar 同位素地质重点分析实验室自编软件计算得到。

## 3 年龄结果及地质意义

### 3.1 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 法年龄结果

各样品坪年龄与等时线年龄(表2)和阶段升温年龄(表3~5)数据具有下列特点:

(1) 样品 F-6 与样品 LQ-21 均得到较好的坪年龄和等时线年龄图谱(图3~4),且各坪年龄图谱平坦,表明矿物变质重结晶后一直保持在相对封闭体系中,未受明显的后期热扰动。

(2) 样品 F-6 与样品 LQ-21 初始  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  值分别为  $(323.54 \pm 38.52) \text{ Ma}$  和  $(307.98 \pm 85.75) \text{ Ma}$ ,近似于现代大气氩的组成。所以,除矿物结晶时封闭的大气 Ar 外,可忽略外来 Ar 的影响。A 和 B 的坪年龄与等时线年龄值近于一致,显示出测试结果具有极高的精确度。

(3) 样品 F-6 与样品 LQ-21 虽然取自不同的层位,但所获年龄相近,表明二者最后一次地质事件或变质时限相同。

表 1 多硅白云母电子探针分析 (%)

**Table 1 Chemical compositions(%) of phengite analysed by electron probe**

样品	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Total
1	51.47	nd	34.38	1.541	0.027	0.762	1.34	8.64	0.189	98.35
2	49.50	0.688	38.90	0.297	nd	0.004	0.033	8.754	0.093	98.27

注: 由南京大学内生金属矿床成矿机制国家重点实验室分析。

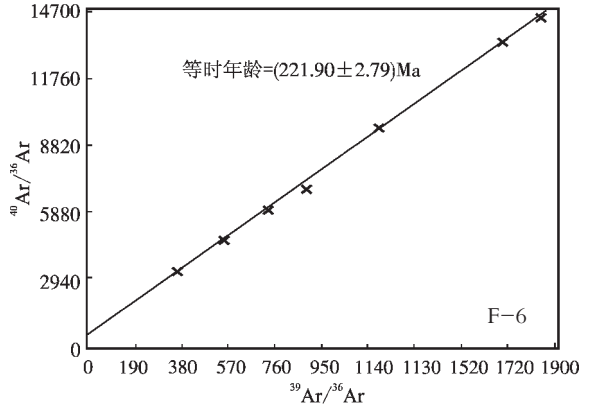
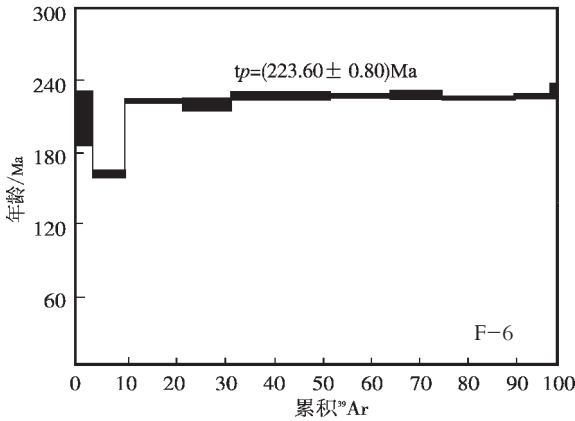


图 3 黄莺屯组下段黑云母  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  坪年龄图谱

Fig.3a  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  plateau age spectrum and isochron age of biotite from the Lower Member of the Huangyingtun Formation

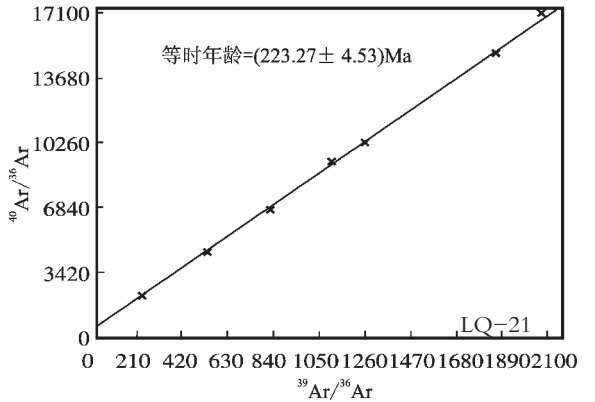
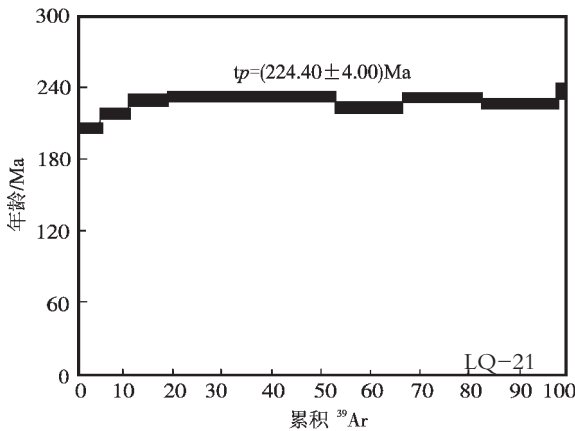


图 4 小三个顶子组上段白云母  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  坪年龄和等时线年龄图谱

Fig.4  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  plateau age spectrum and isochron age of muscovite from the upper member of Xiaosangdingzi Formation

(4) 样品 HQ-4 的年龄坪呈不对称的马鞍形 (图 5), 计时加热高温阶段具有 2 个明显的年龄坪, 视年龄分别为  $(302.20 \pm 6.03)\text{Ma}$  和  $(246.00 \pm 5.70)\text{Ma}$ , 暗示后期经历较明显热事件的影响。一般情况下, 如果角闪石存在不同范围的镁铁闪石的出溶<sup>[9]</sup>或经历后期热扰动的影 响, 可使角闪石存在不同的 Ar 保存区域并导致不同程度的 Ar 丢失, 从而使年龄复杂化。但高温阶段的最大年龄可以代表地质体原始结晶的最小年龄<sup>[7]</sup>。所以  $(246.00 \pm 5.70)\text{Ma}$  和  $(302.20 \pm 6.03)\text{Ma}$  的角闪石年龄均具有较好的成因指示意义。

### 3.2 地质意义

(1) 不同的年龄数据提供了区域构造演化的时间依据:

前人工作已显示, 呼兰群的变质作用主要是西伯利亚板块与华北板块间拼合造山作用的结果, 其原岩为早古生代由海相沉积作用形成的一套酸性-中性-基性火山凝灰岩与正常沉积组合<sup>[3-4,8]</sup>, 变质程度高达角闪岩相, 变质峰期年龄约为 250 Ma<sup>[9]</sup>。除多硅白云母 K-Ar 体系封闭温度略高于黑云母<sup>[10-16]</sup>的影响因素外, 呼兰群不同层位的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄近于一致, 暗示了它们是相同变质作用产物, 小于 225 Ma 的变质年龄为呼兰群冷却到黑云母封闭温度的变质作用时限, 大致代表了兴蒙造山带造山作用结束的时间上限, 这一时间为中生代早期。

样品 HQ-4 角闪橄辉岩的化学成分相当于岛弧拉斑玄武岩, 是消减带构造环境下上升的幔源物质, 为上地幔橄

表 2 样品坪年龄与等时线年龄

Table 2 Plateau ages and isochron ages of samples from the Hongqiling area

样品号	单矿物	坪年龄 (Ma)	等时线年龄 (Ma)	样品来源
F-6	黑云母	223.6±0.8	221.90±2.79	呼兰群黄莺屯组下段石榴石黑云斜长片麻岩
LQ-21	白云母	224.41±4	223.27±4.53	呼兰群小三个顶子组上段蓝晶石白云母片岩
HQ-4	角闪石	302.2±6.03; 246.00±5.70		侵入黄莺屯组中段的变质角闪橄辉岩

注:测试单位为国土资源部同位素地质重点分析试验室;样品重量 W=86.58mg,照射参数 J=0.16831;m 代表样品中测定的同位素比值,F 为放射性成因的 <sup>40</sup>Ar 和 <sup>39</sup>Ar 的比值。

表 3 F-6 样品黑云母单矿物阶段升温年龄

Table 3 Single-mineral stepwise heating dating of biotites in sample F-6

温度 (°C)	( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>36</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>37</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	F	<sup>39</sup> Ar (E-14 moles)	年龄 (Ma)
400	41.88490	0.11720	0.13120	7.24830	309.70	207.70±22.40
500	12.34100	0.02280	0.08770	5.61570	544.54	162.90±2.60
700	8.25100	0.00180	0.03160	7.72390	1123.52	220.50±3.00
800	7.97330	0.00110	0.02380	7.63370	867.15	218.10±4.60
900	8.06010	0.00060	0.01580	7.87800	1876.86	224.60±3.70
1000	8.28600	0.00140	0.02290	7.87130	1091.00	224.40±2.70
1100	8.81450	0.03110	0.02260	7.89180	976.80	225.00±3.00
1200	7.96430	0.00050	0.01590	7.79960	1341.26	222.50±2.40
1300	8.09310	0.00090	0.04580	7.83960	807.23	223.60±2.60
1400	8.85680	0.00280	0.32960	8.04820	110.68	228.90±6.20

注:测试单位为国土资源部同位素地质重点分析试验室;样品重量 W=81.47mg,照射参数 J=0.16831;m 代表样品中测定的同位素比值,F 为放射性成因的 <sup>40</sup>Ar 和 <sup>39</sup>Ar 的比值。

表 4 LQ-21 样品多硅白云母单矿物阶段升温年龄

Table 4 Single-mineral stepwise heating dating of phengite in sample LQ-16

温度(°C)	( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>36</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>37</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	F	<sup>39</sup> Ar (E-14 moles)	年龄(Ma)
400	87.53140	0.27740	0.15760	5.58150	87.14	162.00±47.60
500	10.04180	0.01120	0.18550	6.74140	81.08	193.90±7.30
550	8.70120	0.00490	0.07440	7.26560	198.55	208.10±3.10
600	7.99740	0.00240	0.03310	7.29540	429.50	208.90±2.60
650	8.16540	0.00170	0.01280	7.61190	873.14	217.50±4.20
700	8.198560	0.00050	0.00340	8.04920	5508.39	229.20±4.60
800	8.00120	0.00080	0.00680	7.76370	1313.98	221.60±5.30
900	8.33920	0.00180	0.01930	7.79030	446.05	222.30±5.50
1000	8.42880	0.00120	0.01470	8.06910	632.08	229.70±3.20
1100	8.36660	0.00090	0.01630	8.09590	1447.57	230.50±3.70
1200	7.97180	0.00050	0.02300	7.81010	2089.34	222.80±3.80
1400	9.44070	0.00410	0.01830	8.21610	273.57	233.70±6.50

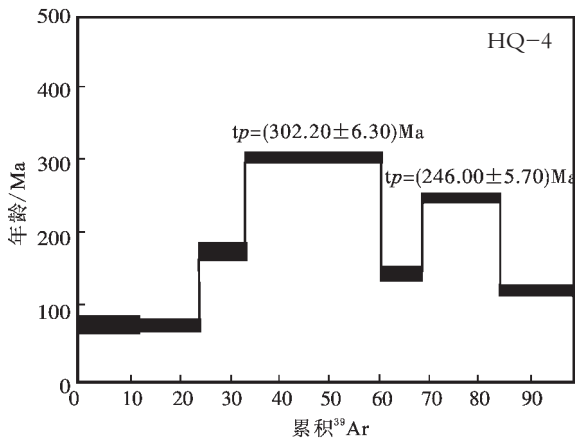
注:测试单位为国土资源部同位素地质重点分析试验室;样品重量 W=86.58mg,照射参数 J=0.16831;m 代表样品中测定的同位素比值,F 为放射性成因的 <sup>40</sup>Ar 和 <sup>39</sup>Ar 的比值。

表 5 HQ-4 样品角闪石单矿物阶段升温年龄

Table 5 Single-mineral stepwise heating dating of amphiboles in sample HQ-4

温度(°C)	( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>36</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>37</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	F	<sup>39</sup> Ar (E-14 moles)	年龄 (Ma)
800	15.21110	0.04400	2.17510	2.37560	34.58	70.70±11.50
900	17.83440	0.05300	2.95650	2.37630	33.57	70.70±9.20
1000	25.65350	0.06830	6.34840	5.93610	26.78	171.80±11.33
1100	18.32720	0.03220	25.40430	10.83400	78.61	302.20±6.30
1200	21.94920	0.06210	16.10540	4.76640	22.06	140.10±10.50
1300	16.78210	0.03090	13.44020	8.68200	45.90	246.00±5.70
1400	16.65850	0.04580	12.15520	4.01460	41.03	118.00±8.00

注:测试单位为国土资源部同位素地质重点分析试验室;样品重量 W=53.55mg,照射参数 J=0.16831;m 代表样品中测定的同位素比值,F 为放射性成因的 <sup>40</sup>Ar 和 <sup>39</sup>Ar 的比值。

图 5 变质角闪橄榄岩  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  坪年龄图谱Fig.5  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  plateau age spectrum of metamorphosed hornblende peridotites

岩部分熔融的产物。它的存在,整体上代表了当时处于构造挤压的动力学背景。如果将该镁铁质侵入体加热到  $1\ 100^{\circ}\text{C}$  时所获得  $(302.20\pm 6.03)\text{Ma}$  的角闪石年龄,视为岩体最小的结晶年龄,那么  $(246.00\pm 5.70)\text{Ma}$  的同位素年龄则恰好与区域变质峰期<sup>[9]</sup>的时间相吻合,也与兴蒙造山带东段区域上  $250\text{Ma}$  前后的含铜镍硫化物矿床的超镁铁质岩浆活动相一致<sup>[7]</sup>。或许是  $246\text{Ma}$  前后的热事件对角闪橄榄岩的热液叠加交代或使其局部变质而成。

由此可见,兴蒙造山带的造山作用早在  $302\text{Ma}$  就已经展开,如果以  $225\text{Ma}$  代表造山作用的结束,那么,这一主造山过程至少持续了  $75\text{Ma}$ 。

(2) 造山作用可能经历了由碰撞造山到陆-陆叠覆造山的连续过程:绝大多数白云母是理想化白云母  $[\text{KAl}_2\text{Al}^{\text{IV}}\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$  和绿磷石  $[\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})(\text{Al}^{\text{IV}}, \text{Fe}^{3+})\text{Si}_4(\text{OH})_2]$  之间的固溶体,富含绿磷石组分的白云母称多硅白云母。温度不变的情况下,压力越高,固溶体向越富镁的绿磷石方向转化,同时导致白云母的  $b_0$  值随之增大<sup>[18]</sup>。通常  $b_0$  值为  $9.04\times 10^{-10}\text{m}$ ,是区分中压和高压变质相系白云母的界线<sup>[19]</sup>。本区  $b_0$  为  $9.056\times 10^{-10}\text{m}$ ,的多硅白云母显然是低温高压条件下的产物。目前研究认为,东亚大陆是由西伯利亚板块和华北板块及其间一系列规模不等的陆块在古生代通过大洋岩石圈的俯冲和陆块间的碰撞拼贴而成,这种造山作用是洋壳和陆壳消减的软碰撞过程<sup>[20]</sup>。中亚蒙古造山带东段的含多硅白云母的发现,表明此处曾存在低温高压变质作用,低温高压型蓝晶石片岩带的存在是陆内叠覆造山的直接证据。

## 4 结论

(1) 根据本区多硅白云母蓝晶石片岩的存在,推断中亚蒙古褶皱带东段造山作用方式可能经历了由最初的软碰撞

造山到陆-陆叠覆造山的连续过程,同位素年龄显示最终的陆-陆叠覆造山时间为  $225\text{Ma}$  左右。

(2) 中亚蒙古造山带东段造山结束于中生代的说法,一直缺少同位素年龄数据支持,笔者通过年代学工作证实了这一结论的正确性。这些年龄数据与已经被大家广泛接受的苏鲁-大别造山带陆-陆碰撞时间相似<sup>[21]</sup>。华北板块南北两端造山带造山时间的一致性,究竟是巧合还是存在必然联系,有待于进一步深入工作。

**致谢:**上述工作得到吉林省镍业总公司的资金帮助和技术支持,在此表示感谢。

## 参考文献(References):

- 李述靖,张维杰,耿明山,等. 蒙古弧地质构造特征及形成演化概论[M].北京:地质出版社,1998.2~7.  
Li Shujing, Zhang Weijie, Geng Mingshan, et al. Geological Features of Mongolia arc Structure and its Formation and Evolution [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 2~7(in Chinese).
- 陈斌,赵国春,Simon W,等. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J].地质论评,2001,47(4):361~367.  
Chen Bin, Zhao Guochun, Simon W, et al. Subduction and collision-related granitoids from southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia isotopic age and tectonic implication [J]. Geological Review, 2001,47 (4): 361~371 (in Chinese with English abstract).
- 王友琴,苏养正,刘尔义. 全国地层多重划分对比研究-东北区区域地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.48~75.  
Wang Youqin, Su Yangzheng, Liu Eryi, et al. Multiple correlation research on the strata of China-the regional strata of the Northeast China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997.48~75(in Chinese).
- 池永一,苏养正,南润善. 吉中呼兰镇地区呼兰群的划分及时代[J].地球科学,1997,2:205~213.  
Chi Yongyi, Su Yangzheng, Nan Runshan. Division and age of Hulan Group in Hulan area of central Jilin[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997,18(2):205~313 (in Chinese with English abstract).
- 林景仟. 岩浆岩成因导论[M].北京:地质出版社,1987,211~261.  
Lin Jingqian. Introduction to the Genesis of Igneous Rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987,211~261(in Chinese).
- Harrison T M, Fitz Gerald J D. Exsolution in hornblende and its consequence for  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  age spectra and closure temperature [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1986,50:274~253.
- 邱宁华,彭良,等.  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年代学与流体包裹体定年[M].合肥:中国科技大学出版社,1997.  
Qiu Ninghua, Peng Liang, et al.  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  and Fluid Inclusion Dating [M]. Hefei: China University of Sciences and Technology Press, 1997 (in Chinese).
- 郝爱华,任洪茂,张宝福,等. 吉林中部呼兰群同位素年代学及其



- 地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2003, 33(1):15~18.
- Xi Aihua, Ren Hongmao, Zhang Baofu, et al. Isotopic chronology of the Hulan group and its geological significance in central Jilin Province[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2003, 33(1):15~18(in Chinese with English abstract).
- [9] 孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩的证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2004,34(2):174~181.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, et al. The final closing time of the west Lamulun River -Changchun - Yanbian plate suture zone --Evidence from the Dayushan granitic pluton , Jilin Province[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2004, 34(2):174~181(in Chinese with English abstract).
- [10] McDougall I, Harrison T M. Geochronology and Thermochronology by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  method[M]. New York:Oxford Univ Press,1988.
- [11] Dodson M N. Closure temperature in cooling geochronological and petrological system [J]. Miner.Petrol.Contrib,1973,40:259~274.
- [12] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M].北京:地质出版社, 2002.119~284.
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. The Way of Investigation on Granitoids [M].Beijing:Geological Publishing House, 2002.119~284(in Chinese).
- [13] 张玉清, 王弢, 贾和义, 等. 内蒙古中部大青山北西乌兰不浪紫苏斜长麻粒岩锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国地质,2003,30(4):394~399.
- Zhang Yuqing, Wang Tao, Jia Heyi, et al. U-Pb ages of zircons from the Xi Ulanbulang hypersthene-plagioclase granulite in the North Daqing Mountains, Central Inner Mongolia [J]. Geology in China, 2003, 30(4):394~399(in Chinese with English abstract).
- [14] 刘正宏, 徐仲元, 杨振升. 内蒙古大青山逆冲推覆构造带中泥质板岩激光微区  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄[J]. 中国地质, 2003,30(3):293~296.
- Liu Zhenghong, Xu Zhongyuan, Yang Zhensheng. Laser microprobe  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of argillite in the Daqingshang thrust nappe structure in Inner Mongolia [J]. Geology in China, 2003,30(3):293~296(in Chinese with English abstract).
- [15] 肖成东, 张忠良, 赵利青. 东蒙地区燕山期花岗岩 Nd、Sr、Pb 同位素及其岩石成因[J]. 中国地质,2004,31(1):57~63.
- Xiao Chengdong, Zhang Zhongliang, Zhao Liqing. Nd, Sr and Pb isotope geochemistry of Yanshanian granitoids in eastern Inner Mongolia and their origins [J]. Geology in China,2004,31(1):57~63(in Chinese with English abstract).
- [16] 梁一鸿. 内蒙古十八顷壕金矿床铅同位素组成的构造学意义[J]. 中国地质, 2004,31(1):91~95.
- Liang Yihong. Structural significance of the lead isotopic composition of the Shibaqinghao gold deposit [J]. Geology in China,2004,31(1):91~95(in Chinese with English abstract).
- [17] 郗爱华, 顾连兴, 李绪俊, 等. 红旗岭铜镍硫化物矿床形成时代讨论及其意义[J]. 矿床地质,2005, 24(5):521~526.
- Xi Aihua, Gu Lianxing, Li Xujun, et al. Discussion on metallogenic epoch of Hongqiling Ni-Cu sulfide deposits, Jilin Province[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(5):521~526.
- [18] Guidotti C V, Sassi F P. Petrogenetic significance of Na-K white micas mineralogy:Recent advances for metamorphic rocks [J]. Eur. J. Mineral, 1998, 10:815~854.
- [19] 张儒瑗, 从柏林. 矿物温度计和矿物压力计[M].北京:地质出版社,1983.163~180.
- Zhang Ruyuan, Cong Bailin, et al. Thermometer and Barometer of Minerals[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983. 163~180 (in Chinese).
- [20] 任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用[J]. 地学前缘,1999,3:85~93.
- Ren Jishun, Niu Baogui, Liu Zhigang. Soft collision, surperposion orogeny and polycyclic suturing[J]. Earth Science Fronties, 1999, 6(3):85~93(in Chinese with English abstract).
- [21] Li S, Xiao Y, Liu D, et al. Collision of the North China and Yangtse blocks and formation of the coesite-bearing eclogite: timing and processes[J]. Chem. Geol., 1993, 109:89~111.

## $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ isotope chronological evidence for the orogeny in the eastern segment of the Central Asian–Mongolian orogenic belt

XI Ai-hua<sup>1</sup>, GE Yu-hui<sup>1</sup>, LI Xu-jun<sup>2</sup>, LI Bi-le<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum Institute, Chengdu 610500, Sichuan, China;

2. College of Geosciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

**Abstract:** A kyanite schist belt containing phengite is found in metamorphic rocks of the Hulan Group in the Hongqiling area of south-central Jilin, tectonically in the eastern segment of the Central Asia–Mongolia orogenic belt. Plateau ages of  $223.57 \pm 0.8$  and  $224.41 \pm 4.0$  Ma and isochron ages of  $221.9 \pm 2.79$  Ma and  $223.27 \pm 4.53$  Ma of micas in biotite gneiss of the Lower Member and phengite in kyanite schist of the Upper Member of the Hulan Group are obtained by the continuous stepwise  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  heating method. The same method also gives discordant plateau ages of  $302 \pm 6.3$  and  $246.00 \pm 5.70$  Ma for hornblende peridotites of island-arc tholeiite type intruded into the Hulan Group. These ages thus confine the time limits of the closing of the Paleo-Asian–Mongolian ocean and Mesozoic collisional orogeny to at least 302–225 Ma and suggest that the area probably underwent a continuous process from continent–continent collisional orogeny to overlapping.

**Key words:** Central Asian–Mongolian orogenic belt;  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  age; south-central Jilin Province

---

**About the first author:** XI Ai-hua, female, born in 1963, associate professor, engages in teaching and scientific research of mineralogy petrology and economic geology at present; E-mail: aihuaxi@163.com.