

辽西北票—义县地区义县组顶部层位的 年龄及其意义

张 宏^{1,3} 柳小明¹ 陈 文² 李之彤³ 杨芳林³

(1. 西北大学地质学系大陆动力学重点实验室, 陕西 西安 710069;

2. 中国地质科学院地质研究所同位素开放实验室, 北京 100037; 3. 国土资源部沈阳地质研究所, 辽宁 沈阳 110032)

摘要: 辽西义县组顶部层位为义县组金刚山层之上的黄花山角砾岩层或流纹岩(二者为同时异相)。通过对该流纹岩样品中锆石的 LA-ICP-MS 的 U-Pb 测年, 获得其加权平均年龄为 $(118.9 \pm 1.4) \text{ Ma} \sim (119.8 \pm 1.9) \text{ Ma}$ 。通过 Ar-Ar 方法测年, 测得了黄花山角砾岩层的下部岩石中灌入的英安斑岩的年龄, 其坪年龄为 $(122.1 \pm 0.3) \text{ Ma}$, 等时线年龄为 $(121.8 \pm 1.4) \text{ Ma}$ 。反映义县组顶部层位的形成时期应在 122~119 Ma。义县组顶部层位年龄的确定, 不仅确定了义县组中热河动物群顶部层位(金刚山层)的上限年龄(约 122 Ma), 同时也确定了义县组火山岩形成的上限年龄 $(118.9 \pm 1.4) \text{ Ma} \sim (119.8 \pm 1.9) \text{ Ma}$ 。该地区义县组顶部层位的年龄, 也是辽西乃至中国东北地区白垩纪大规模岩浆活动结束的年代。

关键词: LA-ICP-MS; 年龄; 义县组顶部; 辽西

中图分类号: P597+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)04-0596-08

近年来, 随着辽西北票—义县地区义县组珍稀化石的不断发现, 该地区成为国际地学界关注的焦点, 前人对该地区义县组的地层层序、古生物、火山岩地球化学、同位素年代学等方面的研究已取得大量重要成果^[1-10], 尤其是义县组年代学的研究取得了重要的进展。年代学研究表明^[4-10], 北票—义县地区的义县组底部至尖山沟层(砖城子层)以下的义县组的测年数据集中在 132~126 Ma, 尖山沟层(砖城子层)的年龄测年数据集中在 126~124 Ma; 然而, 尖山沟层(砖城子层)之上的义县组厚度占义县组总厚度的 2/3 以上, 其已有的测年数据集中在 122~120 Ma 左右, 并且由于缺少真正的义县组顶部层位(黄花山角砾岩层或流纹岩)的年龄数据, 使得义县组的顶界年龄一直未能定论。在辽西, 义县组火山岩形成时期发生了地壳的明显减薄^[20], 义县组火山岩形成之后的中生代, 辽西及中国东北地区的火山活动变得十分微弱; 同时研究表明, 在 100 Ma 左右, 中国东部的岩石圈已经明显减薄^[21]。这说明义县组的形成时期也是中国东北地区的地壳(岩石圈)减薄作用的关键时期, 所以义县组火山岩的顶界年龄也是辽西地区乃至东北地区地壳(岩石圈)减薄的关键年龄; 再者, 已有的

义县组上部的年龄数据中, 绝大多数样品取自义县组最上部的化石层(金刚山层)之下, 而义县组的真正顶部层位(黄花山角砾岩层或流纹岩)位于该沉积层之上, 所以义县组的顶界年龄也关系到义县组中热河生物群的上限年龄。

1 辽西北票—义县地区义县组的层序

1.1 区域地质背景

辽西地区地处华北板块北部、燕山构造带的东北部, 同时又是中生代濒太平洋构造带的一部分, 在中生代该地区发生了明显的“活化”。该地区以东北、北北东向构造为主; 在义县—阜新盆地中, 分布的中生代地层主要为下白垩统, 由下至上依次为义县组(K_1y)、九佛堂组(K_1jf)、沙海组(K_1sh)、阜新组(K_1f)和孙家湾组(K_1s), 其中仅义县组以火山岩为主, 并直接与长城系、太古界接触, 上部其他白垩纪地层以沉积岩为主; 仅在盆地的西缘分布有侏罗系髫髻山组(J_2t)的上部层位。然而, 在与义县—阜新盆地相邻的金岭寺—羊山盆地中分布有较多的侏罗系, 其中以髫髻山组、土城子组(J_3t)为主(图 1)。

收稿日期: 2004-05-03; 改回日期: 2005-09-15

基金项目: 科技部 2000 年度科技基础性工作第 35 专项、国土资源部专项(2000010403)和中国地质调查局地质大调查项目(200113000052-2、200413000024)资助。

作者简介: 张宏, 男, 1965 年生, 博士, 研究员, 从事构造、地球化学研究; E-mail: syzhanghongtt@163.com。

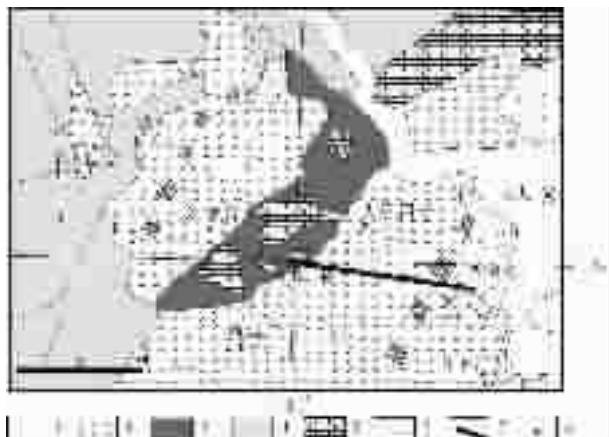


图 1 北票—义县地区义县组的分布略图

Fig.1 Distribution of the Yixian Formation in the Beipiao-Yixian area and localities of isotope samples

- 1—下白垩统九佛堂组—阜新组; 2—下白垩统义县组;
3—中侏罗统髫髻山组; 4—侏罗系; 5—前中生代; 6—断层;
7—代表性剖面位置; 8—同位素采样点
- 1—Lower Cretaceous Jiufotang and Fuxin formations; 2— Lower Cretaceous Yixian Formation; 3—Middle Jurassic Tiaojishan Formation; 4—Jurassic; 5—Pre-Mesozoic; 6—Fault; 7—Location of key section; 8—location of isotope samples

辽西义县组火山岩规模宏大,分布在总面积约为 $4.51 \times 104 \text{ km}^2$ 范围内,出露面积约为 6000 km^2 ,出露在辽西的多个火山—沉积盆地中,以火山岩为主(约占 94%);其中,义县—阜新盆地(图 1)中分布的规模最为巨大。

1.2 义县组的划分

辽西北票、义县地区的义县组是完全可比的。地层古生物学、岩石学及同位素年代学证据表明,北票四合屯地区的义县组(尖山沟层及以下层位)相当于义县地区义县组的砖城子层及以下层位^[10,16,18],两个地区义县组的地层层序如下。

1.2.1 义县地区义县组

义县地区的义县组代表性剖面为马神庙—宋八户剖面,该剖面最大实测总厚度为 2890 m ^[18],火山岩可分为 4 个亚期^[16,18],分别为初始期、主期、晚期、末期(图 2)。

初始期:为沉积—喷发相,由玄武岩、玄武安山岩系及老公沟、业南沟、砖城子 3 个沉积层组成。老公沟层:为义县组底部沉积层,平行不整合(角度不整合?)覆盖于髫髻山组之上。砖城子层分布在该亚期的顶部,且分布较广、延伸性好,北北东向延伸至英窝山、腰马山沟和金家沟一带,化石丰富。

主期:为喷发—溢流相火山熔岩,处于义县组火山岩分布区的中部地带,基本缺乏沉积夹层,为一套裂隙溢流伴有中心式喷发的玄武安山岩和(粗面)安山岩系。

晚期:为沉积喷发相,由以多斑安山岩为主体的中性火山岩系及大康堡层和朱家沟层所组成。其中大康堡层分布较广,已发现的化石也较多。朱家沟层主要出露于朱家沟南北山梁,迄今未见化石。

末期:为喷发沉积相,主要由金刚山层、流纹岩和黄花山角砾岩层组成。金刚山层中化石较多,是义县组中热河动物群的顶部层位。黄花山角砾岩层的划分与归属长期有不同的意见。研究表明^[17]黄花山角砾岩层和同一亚期的流纹岩同是义县组的顶部层位,二者为同时异相关系。

1.2.2 北票四合屯地区义县组

北票地区的义县组主要分布在四合屯、上园等地,其中四合屯地区义县组由于赋含大量热河动物群的珍稀化石而倍受关注;地质学者在涉及北票与义县地区的义县组对比时,主要把北票四合屯地区的义县组与义县地区的义县组进行对比^[10,16,18]。北票四合屯地区义县组的代表性剖面为新开岭剖面(图 1、图 2),由一个较完整的亚期组成,以玄武岩、玄武(粗面)安山岩为主,上部为尖山沟层,并为中基性次火山岩切穿覆盖。四合屯地区的义县组在层位上相当于义县地区义县组的砖城子层及以下层位^[18]。

2 义县组顶界年龄

2.1 辽西北票—义县地区年代学研究简史

义县组火山岩的形成时代问题前人做了大量的工作^[1,4-10],尤其是近年来通过 SHRIMP 等测年方法的综合应用^[10],基本确定了北票—义县地区义县组尖山沟层(砖城子层)及以下层位的时代(表 1,图 2)。

目前,已有的研究表明,北票—义县地区义县组的尖山沟层(砖城子层)之下的火山岩年代学数据集中在 $132 \sim 126 \text{ Ma}$ (图 2),尖山沟层(砖城子层)的同位素年龄集中在 $126 \sim 124 \text{ Ma}$ (表 1,图 2),义县组的尖山沟层(砖城子层)之上至金刚山层之下的同位素年龄数据主要在 $122 \sim 120 \text{ Ma}$,然而金刚山层之上的义县组顶部层位的流纹岩尚无测年数据(图 2)。

2.2 义县组顶界年龄的测定

2.2.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

样品的采集及制样:义县组的顶部层位(流纹岩)主要分布在义县范家沟附近及其以南地区(表 2,图 1),笔者在范家沟附近,在流纹岩的顶部(图 4 中第五层的顶部附近)^[17]分别采集了 2 个流纹岩样品,其中的 YX291 位于 YX275 之上约 25 m 。样品中锆石的分选工作是在河北廊坊区调队完成,制靶后的阴极发光是在中国科学院地质与地球物理研究所完成(图 3)。

测年方法:LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 原位定年分析是在西北大学教育部大陆动力学重点实验室进行。分析中,采用德国 Lamda Physik 公司 GeoLas 200M 深紫外(DUV)193nm ArF 准分子(excimer)激光剥蚀系统,激光斑束直径为 $30 \sim 40 \mu\text{m}$,以 ^{29}Si 作为内标,哈佛大学标准锆石 91500 作为外标校正。同位素比值数据处理采用 GLITTER(4.0 版)软件,并对测

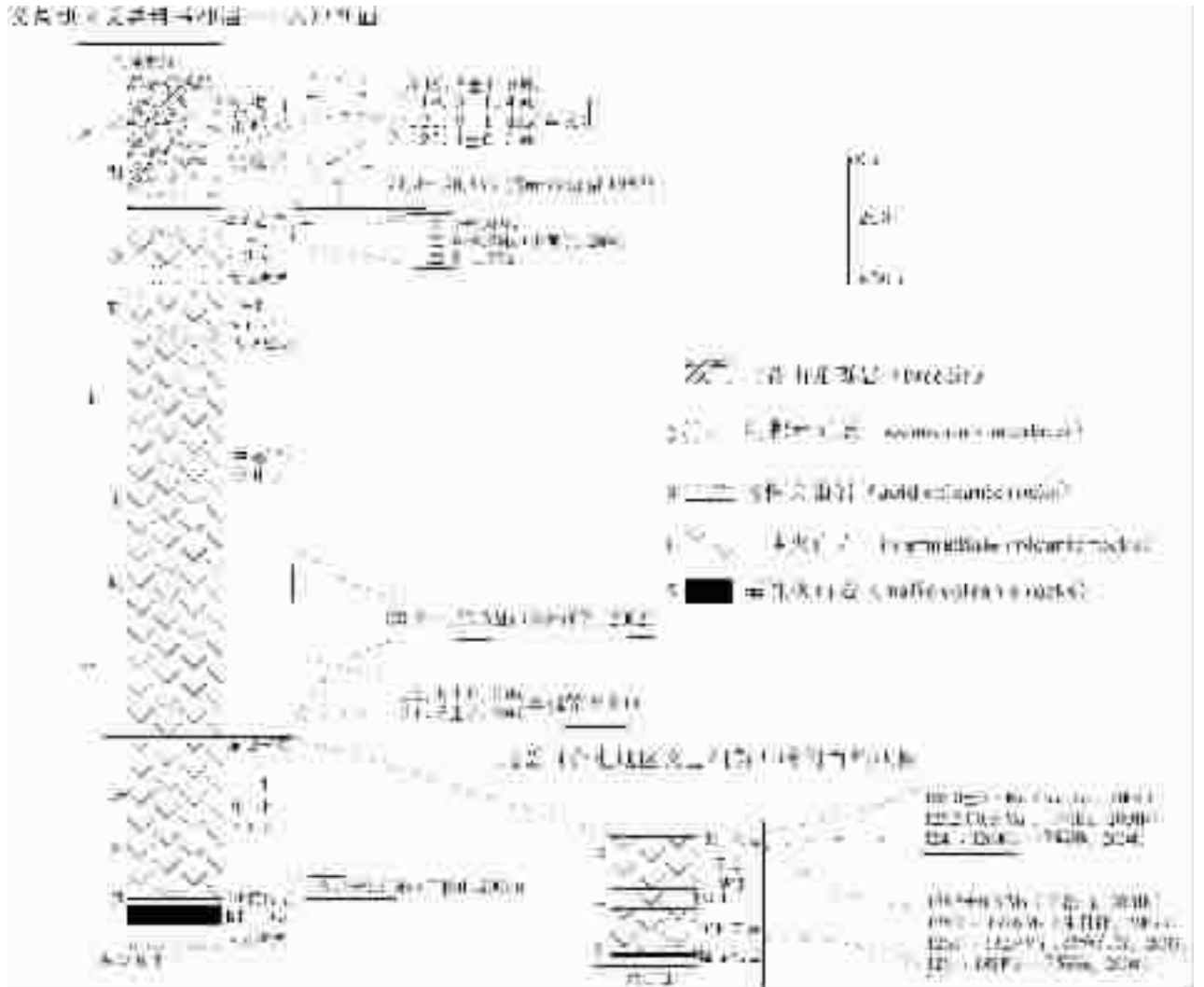


图 2 北票四合屯地区、义县地区义县组火山及其沉积层柱状剖面对比和测年

Fig.2 Column of volcanic and sedimentary rocks of the Yixian Formation in the Sihetun area of Beipiao and the Yixian area and their ages

表 1 辽西北票—义县地区义县组的主要同位素年龄

Table 1 Main isotopic age data of the Yixian Formation in the Beipiao-Yixian area, western Liaoning

层 位	采样地点	测定对象	测定方法	年龄值/Ma	资料来源
义县组	义县邹家沟	玄武岩	Ar-Ar 等时线	121.4 ± 0.7	
义县组上部	义县金刚山	火山角砾岩斜长石	Ar-Ar 等时线	121.4 ± 1.1	[4]
义县组上部	义县金刚山	辉绿岩	Ar-Ar 等时线	120.8 ± 0.4	
义县组下部	北票四合屯	火山灰(透长石)	激光 Ar-Ar	125.0 ± 0.2	[5]
义县组底部	义县底家沟	玄武岩	K-Ar	131.2 ± 2.6	[6]
义县组下部	北票四合屯	凝灰岩(锆石)	SHRIMP U-Pb	125.2 ± 0.9	
义县组下部	北票四合屯	玄武安山岩	Ar-Ar 坪年龄	128.2 ± 0.8	[7]
义县组下部	北票四合屯	辉绿岩	Ar-Ar 坪年龄	122.3 ± 0.5	
义县组下部	北票四合屯北	橄榄玄武岩	激光微区 Ar-Ar	132.9~126.1	[8]
义县组下部	北票四合屯	玄武安山岩		124.2~133.6	
义县组中部	义县砖城子层之上 (金刚山层之下)	安山岩类	K-Ar	120.4~122.3	[9]
义县组下部	北票四合屯北	玄武岩、玄武安山岩		(132 ± 1)-(126 ± 1)	
义县组中上部	义县砖城子层之 上至金刚山层之下	安山岩、英安岩	SHRIMP U-Pb, Ar-Ar	122.8~122.4	[10]

表 2 采样点位置情况

Table 2 Summary of sample localities

样品号	GPS	地点	岩性	层位
YX275	N41° 23.603', E121° 09 940'	义县范家沟	流纹岩	义县组顶
YX291	N41°23.583', E121°10.480'	义县范家沟	流纹岩	义县组顶

试数据进行普通铅校正, 年龄计算及成图采用 ISOPLOT(3.0 版) 软件进行, 仪器参数根据参考文献 [22]。其中, 样品 YX275 为 2004 年 9 月测得, 使用的 ICPMS 为 Elan 6100DRC 型; YX291 样品为 2005 年 9 月测得, 使用的 ICPMS 为 Agilent 7500a 型(图 4)。

测年结果: YX275 样品选出的锆石主要采用 30~40 μm 激光剥蚀斑径对样品进行 LA-ICPMS 定年, 具体分析数据谐和性较好, 没有进行普通铅校正, 除去其中 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性太差或远离加权平均值的 3 个测试点 (YX275-7,9,15) 后(表 3), 其余样点的谐和性良好(图 4), 其加权平均年龄为 $(118.9 \pm 1.4)\text{Ma}$ 。

YX291 样品选出的锆石主要采用 30 μm 激光剥蚀斑径对样品进行 LA-ICP-MS 定年, 并对测试数据进行普通铅校正, 校正后具体分析数据中除去 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性太差或远离加权平均值的 4 个测试点 (YX291-11,14,15,25) 后(表 3), 其余样点的谐和性良好(图 4), 其加权平均年龄为 $(119.8 \pm 1.9)\text{Ma}$ 。



图 3 义县组顶部火山岩样品锆石的阴极发光照片(黑色圆圈为激光剥蚀斑径位置)

Fig.3 Cathodoluminescence images of zircons in samples of volcanic rocks at the top of the Yixian Formation (The black circle denotes the position of laser spots)

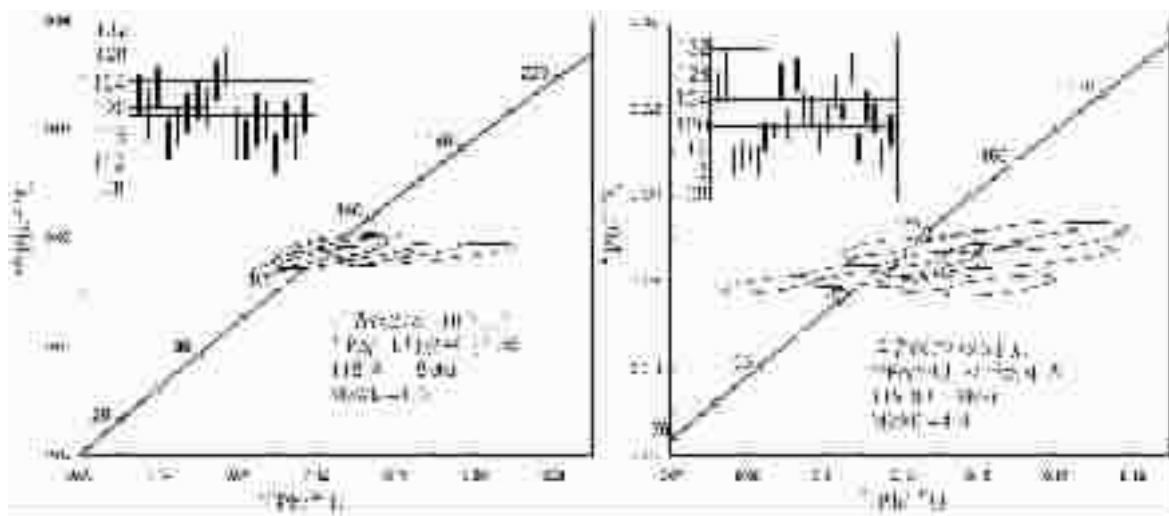


图 4 义县组顶部火山岩样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram of samples of volcanic rocks at the top of the Yixian Formation

表 3 样品中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 分析数据
Table 3 Data of zircon LA-ICP-MS U-Pb analysis of samples from Luanping

锆石编号	比 值								年 龄 (Ma)				
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1?	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1?	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1?	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1?	$^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1?	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1?
YX275-01	0.04759	0.00667	0.12493	0.01731	0.01903	0.00055	0.00479	0.00027		120	16	122	3
YX275-02*	0.07057	0.01323	0.16802	0.03102	0.01727	0.00056	0.00523	0.00012		158	27	110	4
YX275-03	0.06093	0.00961	0.15619	0.02407	0.01859	0.00063	0.00573	0.00014		147	21	119	4
YX275-04*	0.1037	0.0212	0.27542	0.05512	0.01926	0.0008	0.0056	0.00022		247	44	123	5
YX275-05	0.05093	0.00519	0.1352	0.01358	0.01926	0.00051	0.00586	0.00027		129	12	123	3
YX275-06	0.05015	0.00659	0.12447	0.0161	0.01801	0.00055	0.00603	0.00032		119	15	115	3
YX275-07	0.04494	0.00449	0.11373	0.01124	0.01836	0.00045	0.00573	0.00019		109	10	117	3
YX275-08	0.05184	0.00474	0.1334	0.01206	0.01867	0.00046	0.00636	0.00025		127	11	119	3
YX275-09*	0.12198	0.03641	0.32755	0.09539	0.01948	0.00127	0.00557	0.00025		288	73	124	8
YX275-10	0.05103	0.00582	0.1333	0.01498	0.01895	0.00053	0.00602	0.00024		127	13	121	3
YX275-11	0.05223	0.00429	0.13483	0.01093	0.01873	0.00044	0.0063	0.0002		128	10	120	3
YX275-12	0.04879	0.00613	0.13097	0.01608	0.01947	0.00051	0.00616	0.0002		125	14	124	3
YX275-13	0.04923	0.0069	0.1339	0.01863	0.01974	0.00052	0.00652	0.00026		128	17	126	3
YX275-14	0.05749	0.00689	0.14363	0.01689	0.01813	0.00056	0.00665	0.00034		136	15	116	4
YX275-15	0.04605	0.00385	0.11443	0.00919	0.01802	0.00043	0.00597	0.00025		110	8	115	3
YX275-16	0.06688	0.01335	0.16989	0.03331	0.01842	0.00069	0.00562	0.00016		159	29	118	4
YX275-17	0.04789	0.00508	0.12238	0.01281	0.01854	0.00049	0.00591	0.00025		117	12	118	3
YX275-18	0.04605	0.00697	0.11183	0.01664	0.01761	0.00049	0.00572	0.00031		108	15	113	3
YX275-19	0.04958	0.00639	0.12634	0.01595	0.01848	0.00048	0.00584	0.00014		121	14	118	3
YX275-20	0.05347	0.00726	0.13235	0.01765	0.01795	0.00046	0.00562	0.00012		126	16	115	3
YX275-21	0.05585	0.00607	0.14348	0.01539	0.01864	0.0005	0.00688	0.00029		136	14	119	3
YX291-1	0.05138	0.00232	0.13963	0.00616	0.01971	0.00025	0.00651	0.0001	0.79	133	5	126	2
YX291-2	0.05776	0.0071	0.15955	0.01926	0.02003	0.00049	0.00617	0.00031	1.09	150	17	128	3
YX291-3	0.03872	0.00323	0.09552	0.00789	0.01789	0.00026	0.00566	0.00009	0.52	93	7	114	2
YX291-4	0.04623	0.00442	0.11475	0.01084	0.018	0.00027	0.00574	0.00017	1.02	110	10	115	2
YX291-5	0.05055	0.00354	0.12588	0.00867	0.01806	0.00022	0.00569	0.00004	0.54	120	8	115	1
YX291-6	0.06298	0.00405	0.15504	0.00969	0.01785	0.00031	0.0063	0.00013	0.59	146	9	114	2
YX291-7	0.04853	0.00432	0.12346	0.01082	0.01845	0.00029	0.00585	0.00007	0.66	118	10	118	2
YX291-8	0.05206	0.00216	0.13357	0.00538	0.01861	0.00023	0.00589	0.0001	1.1	127	5	119	1
YX291-9	0.05463	0.00524	0.14982	0.01416	0.01989	0.00032	0.00621	0.00006	0.69	142	13	127	2
YX291-10	0.05399	0.00343	0.13985	0.00866	0.01879	0.00031	0.00677	0.00019	1.3	133	8	120	2
YX291-11*	0.05327	0.00287	0.15592	0.0082	0.02123	0.00029	0.00736	0.00015	1.12	147	7	135	2
YX291-12	0.06265	0.00323	0.17286	0.00863	0.02001	0.0003	0.00702	0.00012	0.63	162	7	128	2
YX291-13	0.05003	0.00445	0.1329	0.0116	0.01927	0.00037	0.00606	0.00016	0.69	127	10	123	2
YX291-14*	0.11644	0.00311	0.34714	0.00875	0.02162	0.00025	0.01006	0.00012	0.85	303	7	138	2
YX291-15*	0.04965	0.00448	0.11523	0.01029	0.01683	0.00023	0.00532	0.00004	0.42	111	9	108	1
YX291-16	0.06032	0.00655	0.15941	0.01705	0.01917	0.00036	0.00592	0.00006	0.53	150	15	122	2
YX291-17	0.05161	0.00297	0.13158	0.00739	0.01849	0.00027	0.00581	0.00012	0.9	126	7	118	2
YX291-18	0.0533	0.00236	0.13962	0.00601	0.019	0.00025	0.00596	0.00009	0.7	133	5	121	2
YX291-19	0.04605	0.00263	0.12445	0.00692	0.0196	0.00025	0.00629	0.00011	0.93	119	6	125	2
YX291-20	0.05115	0.00173	0.13444	0.00441	0.01906	0.00021	0.00663	0.00009	0.93	128	4	122	1
YX291-21	0.05732	0.00359	0.16029	0.00977	0.02028	0.00033	0.00731	0.00016	0.84	151	9	129	2
YX291-22	0.04702	0.00303	0.11766	0.00743	0.01815	0.00024	0.00577	0.00009	1.08	113	7	116	2
YX291-23	0.04941	0.00374	0.13096	0.00972	0.01922	0.00029	0.00608	0.00007	1.16	125	9	123	2
YX291-24	0.05242	0.00352	0.13701	0.00897	0.01896	0.00032	0.00651	0.00019	1.31	130	8	121	2
YX291-25*	0.02007	0.00233	0.05543	0.00641	0.02003	0.00024	0.0054	0.00008	0.62	55	6	128	2
YX291-26	0.05594	0.00281	0.13834	0.00675	0.01794	0.00025	0.00577	0.00009	0.62	132	6	115	2
YX291-27	0.04663	0.00401	0.11929	0.01014	0.01855	0.00025	0.00591	0.00006	0.42	114	9	119	2

注:有*号的数据为计算加权平均年龄时剔除的数据, σ 为绝对误差。

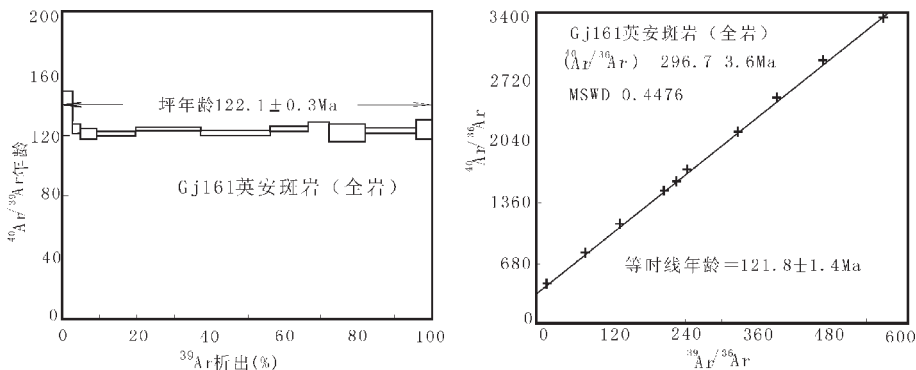


图 5 样品 Gj161 的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱图和 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时图

Fig.5 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrogram and $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ isochron plot of sample Gj161

表 4 义县组上部火山岩 Gj161 样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温法年龄测定结果

Table 4 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ stepwise heating age data for sample Gj161 from volcanic rocks at the upper part of the Yixian Formation

样号及重量	T/°C	($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) _m	($^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) _m	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ _m	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	^{39}Ar / 10^{-14} mol	^{39}Ar 析出/cum	视年龄 ($\pm 1\sigma$)Ma	坪年龄/Ma	等时线年龄/Ma
Gj161 (J=0.013131 W=109.20mg)	400	21.09410	0.05010	0.09980	6.28650	139.28	2.61	143.10?4.90		
	500	13.84750	0.02870	0.09050	5.37250	136.22	5.17	123.00?3.10		
	600	8.19570	0.01010	0.09540	5.22020	218.30	9.26	119.60?3.70		
	700	6.52100	0.00440	0.09800	5.23540	553.41	19.64	119.90?1.80	122.09±0.29Ma	121.8±1.36Ma
	800	5.97980	0.00210	0.09570	5.37560	937.83	37.24	123.00?1.40		
	900	5.76980	0.00170	0.08620	5.25560	1012.09	56.22	120.40?1.40		
	1000	6.10270	0.00240	0.08920	5.39290	555.26	66.64	123.40?1.50		
	1100	6.67650	0.00410	0.09020	5.48060	296.66	72.21	125.40?2.30		
	1200	6.26950	0.00380	0.08750	5.26250	524.61	82.06	120.50?6.00		
	1300	6.17210	0.00290	0.12850	5.32860	722.38	95.60	122.00?1.60		
1400	7.24390	0.00640	0.23690	5.37160	234.67	100.00	123.00?6.00			

注:在中国地质科学院地质研究所同位素实验室分析。

2.2.2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果

样品采集:在义县地区义县组的标准剖面(马神庙—宋八户剖面)附近的宋八户村西南侧的枣茨山北山脚,见一出露宽约 14m、高约 25m 的潜火山岩相英安斑岩贯入到黄花山角砾岩层的下部。在该英安斑岩体中采集英安斑岩样品(Gj161),进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年。

测年结果(表 4)由表 4 可见,样品从 400°C 到熔融,共有 11 个加热阶段,其中 2~11 阶段的视年龄构成一条平坦谱线(图 5),其坪年龄为(122.1±0.3)Ma,测试数据弥合成一条相关性极高的等时线,其年龄为(121.8±1.4)Ma;截距值($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$)₀为(296.7±3.6)Ma,表明该英安斑岩不含过剩氩。等时线年龄和坪年龄的一致性,说明英安斑岩未遭受热扰动影响, ^{40}Ar 没有发生热扩散丢失,坪年龄和等时线年龄具有明确的地质意义,表明英安斑岩是在 122Ma 左右侵入;也代表黄花山角砾岩层的初始形成年龄应不晚于 122Ma。

以上测年结果表明,义县组顶部火山岩样品的

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 的加权平均年龄为 (118.9±1.4)Ma~(119.8±1.9)Ma,这给出了义县组火山岩形成时代的上限。而位于同一层位的黄花山角砾岩层的下部(金刚山层之上)灌入英安斑岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄中,其坪年龄为(122.1±0.3)Ma,等时线年龄为(121.8±1.4)Ma,即为 122Ma 左右。季强等^[10]在义县组金刚山层位之下的英安岩中获得的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (122.4±2)Ma 和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为(122.64±0.5)Ma,等时线年龄为(122.5±1.5)Ma。Smith et al^[4]在义县金刚山附近的火山角砾岩中(黄花山角砾岩下部?)获得其斜长石 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄为 121.4~120.8Ma。以上研究结果表明,笔者获得的义县组黄花山角砾岩底部层位中英安斑岩的年龄可代表黄花山角砾岩层的底界年龄(122Ma 左右)。

3 结论及相关问题探讨

(1)测年结果表明义县组顶部层位的形成时期应在 122~

119 Ma。

(2)笔者根据义县组顶部层位获得的测年结果结合前人对义县组其他层位的年代学研究成果,认为义县组火山岩的形成期限为 132~119 Ma;而在 130~120 Ma 期间,正是中国东部中生代岩浆作用的高峰期^[23~25],反映辽西义县组火山岩的形成时代与中国东部中生代强烈的岩浆作用时期相吻合。同时,辽西地区在义县组火山岩的形成时期发生了地壳的明显减薄^[2],在义县组火山岩形成之后的中生代,辽西乃至中国东北地区的火山活动变得十分微弱;同时研究表明,在 100 Ma 左右,中国东部的岩石圈已经明显减薄^[2],说明义县组形成时期也是地壳(岩石圈)减薄的关键时期,暗示中国东北地区的地壳(岩石圈)的主体减薄作用应是在 119 Ma 左右完成的。

(3)根据笔者的测年结果结合前人同位素的研究结果,可将义县组火山岩的形成时期分成 3 段:义县组底部至尖山沟层(砖城子层)之下的基性、中基性火山岩,其形成时限为 132~126 Ma,火山岩厚约 600 m;尖山沟层(砖城子层)之上至金刚山层之下的中性火山岩,其形成时限为 122(-120)Ma 左右,火山岩厚约 1500 m;金刚山层之上的酸性火山岩(及同时异相的黄花山角砾岩),其形成时限为 122~119 Ma,火山岩厚约 400 m。这反映在义县组中,尖山沟层(砖城子层)之上至金刚山层之下的火山岩的形成时限最短,但是火山岩的厚度最大,约占义县组火山岩总厚度的一半以上,反映该时期的岩浆活动最为强烈,也说明该时期辽西地区处在十分强烈的引张环境中。

参考文献(References):

- [1] 陈义贤,陈文寄.辽西及邻区中生代火山岩[M].北京:地震出版社,1997.1~297.
Chen Yixian, Chen Wenji. Mesozoic Volcanic Rocks in Western Liaoning and Adjacent Area [M]. Beijing:Seismological Press, 1997.1~297 (in Chinese).
- [2] Sun G, Dilcher D L, Zheng S L, et al. In search of the first flower: a Jurassic angiosperm, *Archaeofructus*, from Northeast China [J]. Science, 1998, 282(5394): 1692~1695.
- [3] Chen P J, Dong Z M, Zhen S N. An exceptionally well-preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China[J]. Nature, 1998, 391:147~152.
- [4] Smith P E, Evensen N M, York D, et al. Dates and rates in ancient lakes: Ar-Ar evidence for an Early Cretaceous age for the Jehol Group, northeast China[J]. Can J Earth Sci, 1995,32:1426~1431.
- [5] Swisher C C, Wang Y-q, Wang X-L. Cretaceous age of the feathered dinosaurs of Liaoning, China[J]. Nature, 1999, 400: 58~61.
- [6] 王松山,胡华光,李佩贤.辽西义县组的地质时代[J].矿物岩石地球化学通报,2001a, 20 (4):289~291.
Wang Songshan, Hu Huaguang, Li Peixian. The geological age of Yixian Formation in western Liaoning, China [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2001a, 20 (4): 289~291 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王松山,王元青,胡华光,等.辽西四合屯脊椎动物生存时代:锆石 U-Pb 年龄证据[J]. 科学通报,2001b,46(4):330~333.
Wang Songshan, Wang Yuanqing, Hu Huaguang, et al. Living age of amniote in Sihetun, western Liaoning: evidence of zircon U-Pb age [J]. Chinese Science Bulletin, 2001b, 46(4):330~333(in Chinese).
- [8] 彭艳东,张立东,张长捷,等.辽西义县组火山岩的 K-Ar、⁴⁰Ar/³⁹Ar 法同位素年龄测定[J]. 地球化学, 2003, 32(5):427~435.
Peng Yandong, Zhang Lidong, Zhang Changjie, et al. K-Ar and ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages determination of volcanic rocks of Yixian Formation, Western Liaoning [J]. Geochimica, 2003, 32 (5):427~435 (in Chinese with English abstract).
- [9] 朱日祥,邵济安,潘永信,等.辽西白垩纪火山岩古地磁测定与陆内旋转运动[J].科学通报,2002,47(17):1335~1340.
Zhu Rixiang, Shao Ji'an, Pan Yongxin, et al. Paleomagnetic timing of Cretaceous volcanic rocks in western Liaoning and intraplate rotating [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47 (17):1335~1340 (in Chinese).
- [10] 季强,等.中国辽西中生代热河生物群[M].北京:地质出版社,2004.1~375.
Ji Qiang, et al. Mesozoic Jehol Biota of Western Liaoning, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004.1~375 (in Chinese).
- [11] Zhou Zhiyan, Zheng Shaolin. The missing link in Ginkgo evolution. Palaeobiology[J]. Nature, 2003, 423:821~822.
- [12] Zhou Z, Barrett P M, Hilton J. An exceptionally preserved Lower Cretaceous ecosystem[J]. Nature, 2003, 421: 807~814.
- [13] Xu X, Zhou Z H, Prum R. Branched integumental structures in *Sinornithosaurus* and the origin of feathers[J]. Nature, 2001, 410: 200~204.
- [14] Ji Q, Currie P J, Norell M, et al. Two feathered dinosaurs from northeastern China[J]. Nature, 1998, 393:753~761.
- [15] 邵济安,李之彤,张履桥.辽西及邻区中-新生代火山岩的时空对称分布及其启示[J].地质科学,2004,39(1):98~106.
Shao Ji'an, Li Zhitong, Zhang Lijiao. Symmetric spatiotemporal distribution of the Meso-Cenozoic volcanic rocks in west Liaoning and environs and its implications [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(1): 98~106(in Chinese with English abstract).
- [16] 王五力,张立君,郑少林,等.义县-北票地区义县阶标准地层剖面及其生物地层学新研究[J].地质学报,2004,78(4):433~447.
Wang Wuli, Zhang Lijun, Zheng Shaolin, et al. A new study on the stratotype and biostratigraphy of the Yixian stage in the Yixian-Beipiao region, Liaoning [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78 (4): 433~447 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张宏,杨芳林,张立君,等.辽西义县地区黄花山角砾岩研究的新进展.地球学报,2004a,25(2):321~326.
Zhang Hong, Yang Fanglin, Zhang Lijun, et al. New progress in the study of Huanghuashan Breccia in Yixian county, western Liaoning [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2004a, 25 (2):321~326 (in Chinese with English abstract).

- [18] 张宏,李之彤,杨芳林,等.辽西北票和义县地区义县组的综合对比研究[J].地质通报,2004b,23(8):750~764.
Zhang Hong, Li Zhitong, Yang Fanglin, et al. Comprehensive correlation of the Yixian Formation in the Beipiao and Yixian areas, Western Liaoning[J]. Geological Bulletin of China, 2004b, 23(8):766~777 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李伍平,李献华,路凤香,等.辽西早白垩世义县组火山岩的地质特征及其构造背景[J].岩石学报,2002,18(2):193~204.
Li Wuping, Li Xianhua, Lu Fengxiang, et al. Geological characteristics and its setting for volcanic rocks of early Cretaceous Yixian Formation in western Liaoning province, Eastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18(2):193~204 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张宏,柳小明,李之彤,等.辽西阜新—义县盆地及附近地区早白垩世地壳大规模减薄及成因探讨 [J]. 地质论评,2005,51(4):360~372
Zhang Hong Liu Xiaoming Li Zhitong, et al. Crust-thinning in large scale in Fuxin-Yixian basin and adjacent in western Liaoning in early Cretaceous as well as its forming reason [J]. Geological Review, 2005, 51(4):360~372 (in Chinese with English abstract).
- [21] 张宏福,郑建平.华北中生代玄武岩的地球化学特征与岩石成因:以辽宁阜新为例[J].科学通报,2003,48(6):603~609.
Zhang Hongfu, Zheng Jianping. The geochemical characteristics of Mesozoic basalt in North China and the cause of the rock's formation :take example for the rock in Fuxin Liaoning Province[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(6):603~609 (in Chinese).
- [22] Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation - inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Geoanalytical and Geostandard Newsletters, 2004,28(3):353~370.
- [23] 许文良,王东艳,王清海,等.华北地块中东部中生代侵入杂岩中角闪石和黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年:对岩石圈减薄时间的制约[J].地球化学,2004,33(3):221~231.
Xu Wenliang, Wang Dongyan, Wang Qinghai, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of hornblende and biotite in Mesozoic in intrusive complex from the North China Block: Constraints on the time of lithospheric thinning [J]. Geochimica, 2004, 33(3):221~231 (in Chinese with English abstract).
- [24] 翟明国,朱日祥,刘建明,等.华北东部中生代构造体制转折的关键时限[J].中国科学(D), 2003,33(10):913~920.
Zhai Mingguo, Zhu Rixiang, Liu Jianming, et al. The key time of tectonic transform in Mesozoic in eastern North-China [J]. Science in China (Series D), 2003, 33(10):913~920 (in Chinese).
- [25] Wu F Y, Lin J Q, Wilde S A, et al. Nature and significance of early Cretaceous giant igneous event in eastern China [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2005, 233:103~119.

The age of the top of the Yixian Formation in the Beipiao-Yixian area, western Liaoning, and its importance

ZHANG Hong^{1,3}, LIU Xiao-ming¹, CHEN Wen², LI Zhi-tong³, YANG Fang-Lin³

1. Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

2. Open Laboratory of Isotopic Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China;

3. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110032, Liaoning, China)

Abstract: The top of the Yixian Formation in the Beipiao-Yixian area, western Liaoning, the Huanghuashan breccia or rhyolite above the Jingangshan bed of the Yixian Formation. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the rhyolite sample gives weighted mean ages of 118.9 ± 1.4 – 119.8 ± 1.9 Ma. In addition, dacite porphyry injected into the lower part of the Huanghuashan breccia is dated by using the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method, which has a plateau age of 122.1 ± 0.3 Ma and an isochrone age of 121.8 ± 1.4 Ma. These age data suggest that the top of the Yixian Formation in the Beipiao-Yixian area formed at 122–119 Ma. The determination of the age of the top of the Yixian Formation defines not only the upper age limit (~122 Ma) for the Rehe fauna-bearing top part of the Yixian Formation (i.e. the Jingangshan bed) but also the upper age limit (~118.9±1.4Ma–119.8±1.9 Ma) of volcanic rocks of the Yixian Formation. The age of the top of the Yixian Formation in the area is also a very important ending age of large-scale Cretaceous magmatism in western Liaoning and even Northeast China.

Key words: LA-ICP-MS; age; top of the Yixian Formation; western Liaoning

About the first author: ZHANG Hong, male, born in 1965, doctor and senior researcher, engages in tectonic and geochemical studies and now studying in the postdoctoral mobile station of Northwest University; E-mail: syzhanghongtt@163.com.