

辽西凌源地区义县组下部层位的 U-Pb 测年及意义

张宏, 柳小明, 袁洪林, 胡兆初, 第五春荣

西北大学地质学系大陆动力学重点实验室, 西安, 710069

内容提要:辽西凌源地区义县组的下部层位为大王杖子层, 通过对该层位及相关层位样品中锆石的 LA-ICP-MS 的 U-Pb 测年, 获得大王杖子层的形成年代为 125~122Ma。经过综合分析, 得出以下初步结论: ① 辽西凌源地区与北票—义县地区的义县组底界是不等时的; 凌源地区义县组下部层位在时代上相当于北票—义县地区的义县组尖山沟层(砖城子层); ② 凌源地区的张家口组与义县组之间有约 5~6Ma 的时间间隔。这不仅验证了凌源地区张家口组与义县组之间为角度不整合接触的可靠性, 也暗示该 5~6Ma 的间隔期为冀北—辽西地区中生代构造格架转换的关键时期; 该时期也是我国东北地区中生代岩浆作用的鼎盛时期; 同时在冀北—辽西地区, 该间隔期之后发生了热河动物群的大爆发, 说明该间隔期也是一个重要的生物界限。

关键词: U-Pb 同位素测年; LA-ICP-MS; 义县组; 辽西凌源

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的成果(Ji et al., 1998; Chen et al., 1998; Sun et al., 1998; Swisher et al., 1999; 王松山等, 2001; Xu et al., 2001; 朱日祥等, 2002; 李伍平等, 2002; Zhou Z Y et al., 2003; Zhou, Z et al., 2003; 彭艳东等, 2003; 季强等, 2004; 邵济安等, 2004; 王五力等, 2004a, 2004b; 陈丕基, 2004; 张宏等, 2004), 基本解决了辽西北票—义县地区义县组的对比问题(张宏等, 2004; 季强等, 2004; 王五力等, 2004); 但是整个冀北—辽西地区义县组的对比问题还远没有解决。

在辽西凌源地区的义县组中赋含大量热河动物群化石, 其化石属、种在数量上仅次于辽西北票—义县地区的义县组, 同时凌源地区位于辽西和冀北的过渡地带, 北北东(北东)向构造和近东西向构造均较为发育, 是进行冀北—辽西地区中生代构造格架转换、地层对比研究的关键地区; 但是该地区的研究相对薄弱。近年来, 前人对该地区义县组的岩石、古生物特征和同位素年代学进行了一定程度的研究(张宏等, 2005a, 2005b; 季强等, 2004; 季强等, 2002;

侯连海等, 1999), 为进一步的系统研究打下了坚实的基础。

笔者对凌源地区义县组进行了锆石的 LA-ICP-MS 的 U-Pb 定年, 确定了该地区义县组下部层位的年代。

1 区域地质背景

本文的凌源地区是指凌源南侧的前楼—帽子山地区, 地处三十家子盆地的东南部。该地区北北东(北东)向构造和近东西向(北东东)构造均较为发育(图1)。该地区出露的中生代地层由下而上主要有髫髻山组(J_2t)火山岩、土城子组($K_1t?$)沉积岩、张家口组(K_1z)火山岩、义县组(K_1y)沉积—火山岩。其中张家口组火山岩及以前的中生代地层以近东西(北东东)向构造为主, 而义县组以北北东向构造为主; 张家口组与义县组之间为角度不整合接触(张宏等, 2005a)。义县组为一套沉积—火山岩系, 其下部层位为沉积岩(底部有 10~20m 厚的底砾岩), 以凝灰质砂岩、粉砂岩、凝灰岩、砾岩为主, 厚度约 100~200m, 赋含大量热河动物群的化石, 俗称大王杖子层(在 1:20 万地质图中称为金刚山层^①); 沉积岩之上为一套英安质、流纹质的酸性火山岩、火山角砾岩, 厚度大于 200m。

注: 本文为长江学者和创新团队发展计划资助项目的成果。

① 辽宁省区测地质一队。1:20 万凌源幅地质图, 1965 年。

收稿日期: 2005-04-27; 改回日期: 2005-10-08; 责任编辑: 王思恩、章雨旭。

作者简介: 张宏, 男, 1965 年生, 博士, 研究员。主要从事构造和地球化学研究。通讯地址: 710069, 西北大学地质学系。Email: syzhanghongtt@163.com。

2 凌源地区义县组下部层位的年龄

2.1 样品的采集及制样

为了确定凌源地区义县组下部层位一大王杖子

层的年限,分别对该地区义县组的典型剖面进行了采样(图1,表1)。锆石的分选工作是在河北区调队完成,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。

2.2 测年方法

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 原位定年分析在西北大学教育部大陆动力学重点实验室进行。分析中,激光剥蚀系统为德国 Lamda Physik 公司的 GeoLas 200M 深紫外(DUV) 193nmArF 准分子(excimer)激光剥蚀系统,采用的激光斑束直径为30 μ m,以 29 Si作为内标,外标校正为哈佛大学标准锆石91500。同位素比值数据处理采用 GLITTER (4.0版)软件,年龄计算及成图采用 ISOPLOT (3.0版)软件进行,具体仪器参数见袁洪林等(2003)和 Yuan 等(2004)。其中,样品41017-2为2004年测得(没有进行普通铅的校正),使用的 ICPMS 为 Elan 6100DRC 型,其余样品为2005年2月测得,使用的 ICPMS 为 Agilent 7500a 型(表2)。

2.3 测年结果

YX277号样品中锆石较单一,选取的锆石主要有以下特征:振荡环带发育,较大、短柱状、晶型完整、长轴为130~160 μ m、长短轴比为1.2~1.5(图2)。共有35个样品测点,校正后具体分析数据中除去远离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和线或远离加权平均值的5、14、24三个测点后(表2),其余样点的谐和性较好(图3),其加权平均年龄为125.4 $\pm$ 0.9Ma。

YX278号样品中锆石分

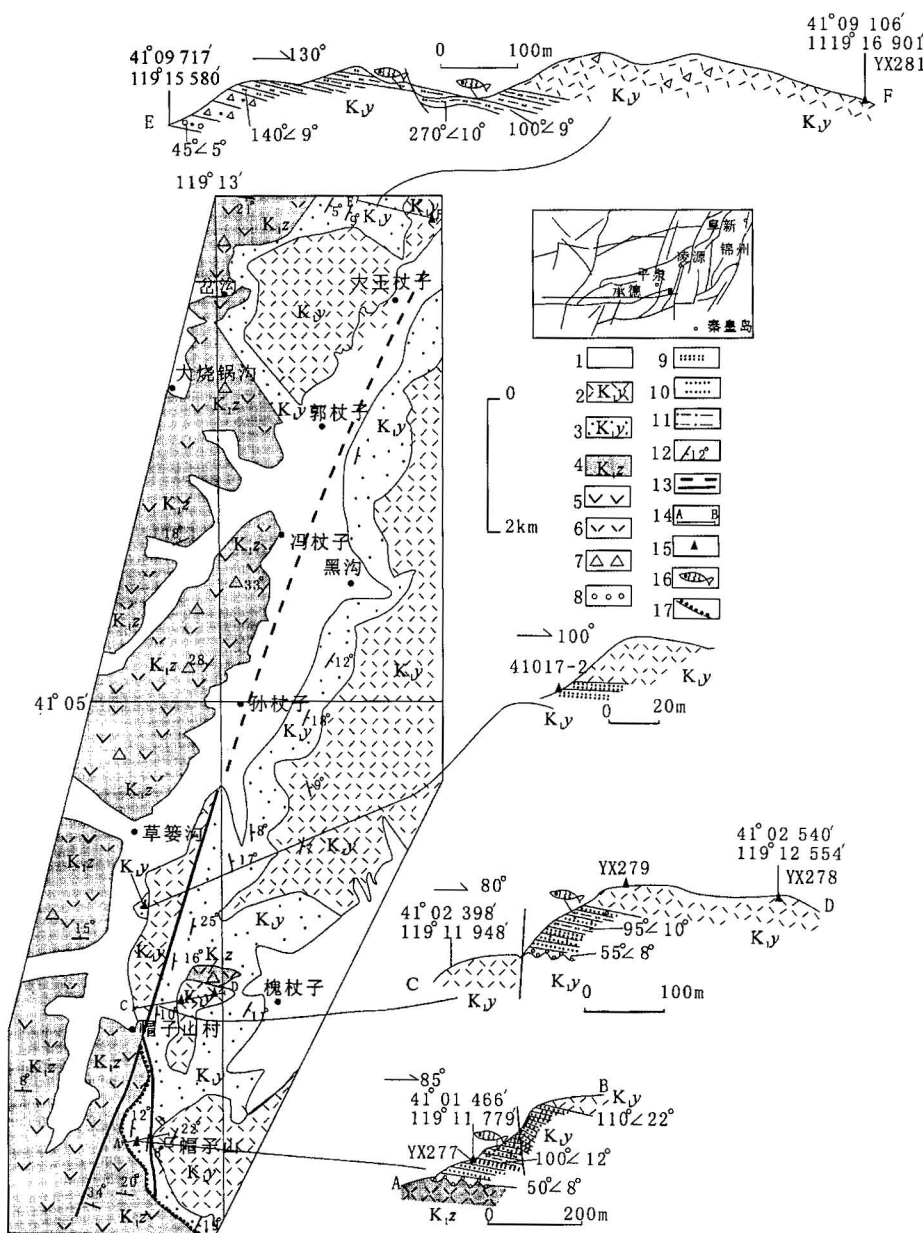


图1 凌源地区地质简图及采样点位置(据1:5万地质图修改)

Fig. 1 Simplified geological map and isotopic sample locations in the Lingyuan area

1—第四系;2—义县组酸性火山岩;3—义县组沉积岩;4—张家口组;5—安山岩;6—英安岩—流纹岩;7—角砾岩;8—砾岩;9—凝灰岩;10—砂岩;11—砂页岩;12—产状;13—断层;14—剖面位置;15—采样点;16—主要化石层位;17—角度不整合界线;K_{1z}—张家口组;K_{1y}—义县组

1—Quaternary; 2—acid volcanic rocks of Yixian Formation; 3—sedimentary rocks of Yixian Formation; 4—Zhangjiakou Formation; 5—andesite; 6—acid volcanic rocks; 7—breccia; 8—conglomerate; 9—tuff; 10—sandstone; 11—sand—shale stone; 12—attitude; 13—fault; 14—location of vertical section; 15—sample location; 16—key fossil bed; 17—angular unconformity. K_{1z}—Zhangjiakou Formation; K_{1y}—Yixian Formation

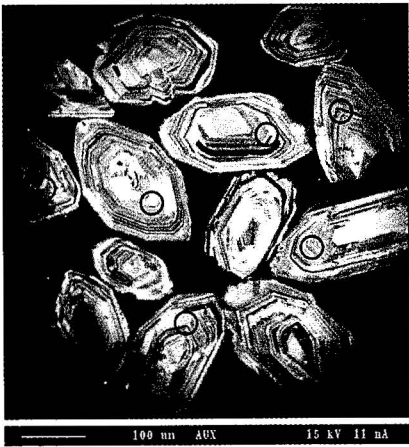
表1 凌源地区义县组同位素采样点情况一览
Table 1 Information of isotopic samples from the Yixian Formation in Lingyuan area

样品编号	GPS 坐标	岩性	位置	层位
YX277	41°01.466', 119°11.779'	凝灰岩	帽子山山口	大王杖子层下部
YX278	41°02.540', 119°12.554'	流纹岩	帽子山村东山顶东侧	大王杖子层之上
YX279	41°02.501', 119°12.371'	流纹岩	帽子山村东山顶	大王杖子层之上
41017-2	41°03.186', 119°11.907'	凝灰岩	郭家沟村公路边	大王杖子层上部
YX281	41°09.106', 119°16.901'	流纹岩	大王杖子	大王杖子层之上

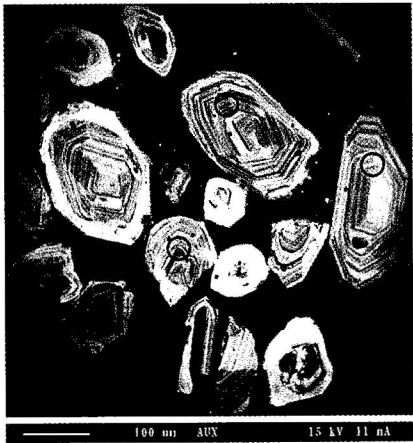
为两种,一种为有内核较小的,另一种为无内核较大的;选取的锆石主要为后一种(特征与 YX277 号样品中选取的锆石特征相近)(图2)。共有24个样品测点,校正后具体分析数据中除去远离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和线或远离加权平均值的4、5、6、15、18、20六个测点后(表2),其余样点的谐和性较好(图3),其加权平均年龄为 $125.3\pm0.9\text{Ma}$ 。

YX279号样品中锆石较小,可大致分为两种,一种为有内核的,另一种为无内核的,选取的锆石主要为后一种;选取的锆石主要有以下特征:振荡环带一般发育、短柱状、晶型完整、长轴 $60\sim70\mu\text{m}$ 、长短轴比为 $1.2\sim1.5$ 。有29个样品测点,校正后具体分析数据中除去远离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和线和远离加权平均值的1、2、3、7、11、16、23、26、29九个测点后(表2),其余样点的谐和性较好(图3),其加权平均年龄为 $124.4\pm1.1\text{Ma}$ 。

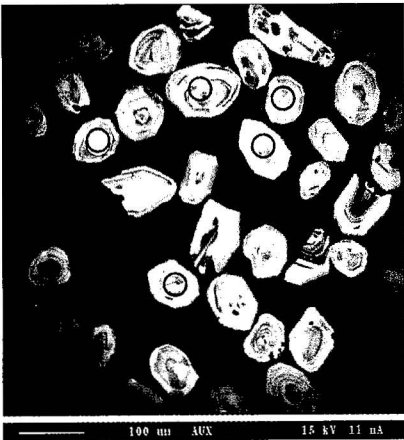
41017-2号样品中锆石较为单一,振荡环带较发育,以柱状为主、长短轴比为 $2\sim4$ 。有21个样品测点,校正后具体分析数据中除去远离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和线或远离加权平均值的2、9、14、19



YX277



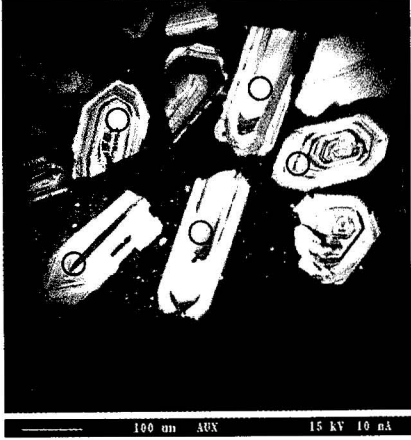
YX278



YX279



YX281



41017-2

图2 凌源地区义县组样品中的锆石阴极发光照片,黑色圆圈为激光剥蚀斑径位置
Fig. 2 CL photoes of zircons in the samples from Yixian Formation in Lingyuan area, the black circles are the positions of laserpoints

表 2 义县组样品激光 ICPMS 锆石 U-Pb 分析结果一览

Table 2 Zircon U-Pb data by LA-ICPMS for sample in Yixian Formation

样品号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$	$t(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})$		$t(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$		$t(^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th})$	
	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$		测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$
YX277-1	0.04792	0.00098	0.12975	0.00250	0.01964	0.00019	0.00612	0.00008	0.85	124	2	125	1	123.3	1.6
YX277-2	0.05677	0.00120	0.15446	0.00310	0.01973	0.00019	0.00680	0.00008	1.21	146	2	126	1	137.0	1.6
YX277-3	0.04944	0.00110	0.14005	0.00300	0.02055	0.00020	0.00637	0.00008	0.90	133	2	131	1	128.3	1.6
YX277-4	0.04857	0.00104	0.13395	0.00274	0.02000	0.00019	0.00649	0.00008	1.24	128	2	128	1	130.8	1.6
YX277-5 *	0.06448	0.00132	0.17264	0.00338	0.01942	0.00018	0.00771	0.00010	1.37	162	2	124	1	155.0	2.0
YX277-6	0.05578	0.00116	0.15149	0.00302	0.01970	0.00019	0.00677	0.00008	0.87	143	2	126	1	136.4	1.6
YX277-7	0.05239	0.00110	0.13977	0.00280	0.01935	0.00018	0.00630	0.00008	0.89	133	2	124	1	126.9	1.6
YX277-8	0.04924	0.00110	0.13541	0.00288	0.01995	0.00019	0.00765	0.00010	0.85	129	2	127	1	154.0	2.0
YX277-9	0.05238	0.00110	0.14165	0.00282	0.01962	0.00019	0.00647	0.00008	1.07	135	2	125	1	130.4	1.6
YX277-10	0.05050	0.00106	0.13781	0.00274	0.01979	0.00019	0.00672	0.00008	0.87	131	2	126	1	135.4	1.6
YX277-11	0.04831	0.00100	0.12868	0.00256	0.01932	0.00018	0.00859	0.00012	1.11	123	2	123	1	173.0	2.0
YX277-12	0.04837	0.00272	0.13286	0.00698	0.01992	0.00020	0.00631	0.00010	1.40	127	6	127	1	127.0	2.0
YX277-13	0.04804	0.00100	0.12831	0.00254	0.01938	0.00018	0.00638	0.00008	1.17	123	2	124	1	128.5	1.6
YX277-14 *	0.04888	0.00102	0.14111	0.00282	0.02094	0.00020	0.00669	0.00008	0.96	134	2	134	1	134.8	1.6
YX277-15	0.05157	0.00366	0.13748	0.00928	0.01933	0.00021	0.00608	0.00010	0.93	131	8	123	1	123.0	2.0
YX277-16	0.05222	0.00106	0.14157	0.00276	0.01967	0.00019	0.00642	0.00008	0.75	134	2	126	1	129.3	1.6
YX277-17	0.04886	0.00104	0.13236	0.00270	0.01965	0.00019	0.00636	0.00008	1.26	126	2	125	1	128.1	1.6
YX277-18	0.04840	0.00102	0.13113	0.00264	0.01965	0.00019	0.00635	0.00008	1.37	125	2	125	1	127.9	1.6
YX277-19	0.04965	0.00104	0.13664	0.00274	0.01996	0.00019	0.00642	0.00008	1.23	130	2	127	1	129.3	1.6
YX277-20	0.05209	0.00110	0.14179	0.00286	0.01975	0.00019	0.00649	0.00008	0.97	135	2	126	1	130.8	1.6
YX277-21	0.04918	0.00108	0.13253	0.00280	0.01955	0.00019	0.00640	0.00008	1.37	126	2	125	1	128.9	1.6
YX277-22	0.04845	0.00104	0.12984	0.00268	0.01944	0.00019	0.00617	0.00008	0.93	124	2	124	1	124.3	1.6
YX277-23	0.04880	0.00132	0.13209	0.00344	0.01963	0.00019	0.00628	0.00010	1.28	126	4	125	1	127.0	2.0
YX277-24 *	0.04910	0.00102	0.14262	0.00284	0.02107	0.00020	0.00669	0.00008	1.01	135	2	134	1	134.8	1.6
YX277-25	0.04906	0.00104	0.13730	0.00280	0.02030	0.00020	0.00646	0.00008	1.10	131	2	130	1	130.2	1.6
YX277-26	0.04774	0.00100	0.12703	0.00254	0.01930	0.00019	0.00625	0.00008	0.89	121	2	123	1	125.9	1.6
YX277-27	0.04974	0.00108	0.13907	0.00290	0.02028	0.00020	0.00696	0.00010	1.07	132	2	129	1	140.0	2.0
YX277-28	0.04906	0.00106	0.12913	0.00266	0.01909	0.00018	0.00620	0.00008	1.46	123	2	122	1	124.9	1.6
YX277-29	0.05005	0.00106	0.13505	0.00276	0.01957	0.00019	0.00661	0.00008	1.29	129	2	125	1	133.2	1.6
YX277-30	0.04892	0.00108	0.13532	0.00288	0.02006	0.00019	0.00639	0.00008	1.17	129	2	128	1	128.7	1.6
YX277-31	0.05389	0.00346	0.14603	0.00888	0.01965	0.00021	0.00615	0.00010	1.10	138	8	125	1	124.0	2.0
YX277-32	0.04878	0.00106	0.13367	0.00280	0.01988	0.00019	0.00721	0.00010	1.02	127	2	127	1	145.0	2.0
YX277-33	0.04960	0.00106	0.13533	0.00278	0.01979	0.00019	0.00656	0.00008	0.68	129	2	126	1	132.2	1.6
YX277-34	0.04809	0.00348	0.12329	0.00856	0.01859	0.00020	0.00590	0.00010	0.92	118	8	119	1	118.8	1.8
YX277-35	0.05040	0.00104	0.13170	0.00262	0.01896	0.00018	0.00551	0.00008	0.54	126	2	121	1	111.1	1.6
YX278-1	0.06339	0.00132	0.17234	0.00346	0.01972	0.00019	0.00738	0.00010	1.11	161	2	126	1	149.0	2.0
YX278-2	0.05009	0.00106	0.13892	0.00286	0.02012	0.00019	0.00638	0.00008	1.16	132	2	128	1	128.5	1.6
YX278-3	0.04855	0.00422	0.12905	0.01084	0.01928	0.00021	0.00611	0.00010	0.69	123	10	123	1	123.1	1.8
YX278-4 *	0.05024	0.00106	0.14607	0.00298	0.02109	0.00020	0.00697	0.00010	1.27	138	2	135	1	140.0	2.0
YX278-5 *	0.04983	0.00108	0.13703	0.00290	0.01995	0.00019	0.00609	0.00008	1.12	130	2	127	1	122.7	1.6
YX278-6 *	0.04748	0.00096	0.12018	0.00238	0.01836	0.00018	0.00570	0.00008	0.55	115	2	117	1	114.9	1.6
YX278-7	0.05276	0.00112	0.14611	0.00300	0.02009	0.00019	0.00637	0.00008	1.13	138	2	128	1	128.3	1.6
YX278-8	0.05515	0.00116	0.15058	0.00308	0.01980	0.00019	0.00694	0.00010	1.05	142	2	126	1	140.0	2.0
YX278-9	0.04795	0.00100	0.13000	0.00266	0.01966	0.00019	0.00662	0.00008	1.37	124	2	126	1	133.4	1.6
YX278-10	0.05992	0.00126	0.16145	0.00330	0.01954	0.00019	0.00701	0.00010	1.33	152	2	125	1	141.0	2.0
YX278-11	0.05194	0.00108	0.13826	0.00278	0.01931	0.00019	0.00636	0.00008	1.11	131	2	123	1	128.1	1.6
YX278-12	0.05331	0.00128	0.14386	0.00334	0.01957	0.00019	0.00668	0.00010	1.50	136	2	125	1	135.0	2.0
YX278-13	0.04938	0.00106	0.13661	0.00284	0.02006	0.00019	0.00690	0.00010	1.14	130	2	128	1	139.0	2.0
YX278-14	0.05110	0.00108	0.13662	0.00280	0.01939	0.00019	0.00633	0.00008	1.11	130	2	124	1	127.5	1.6
YX278-15 *	0.05005	0.00106	0.14341	0.00296	0.02078	0.00020	0.00506	0.00008	1.38	136	2	133	1	102.0	1.6
YX278-16	0.04844	0.00112	0.13300	0.00300	0.01991	0.00019	0.00688	0.00010	1.04	127	2	127	1	139.0	2.0
YX278-17	0.04917	0.00106	0.13177	0.00276	0.01943	0.00019	0.00664	0.00008	1.56	126	2	124	1	133.8	1.6

续表 2

样品号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		^{238}U ^{232}Th	$t(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})$		$t(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$		$t(^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th})$	
	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$		测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$
YX278-18 *	0.08674	0.00178	0.23787	0.00472	0.01989	0.00019	0.00802	0.00010	0.69	217	4	127	1	161.0	2.0
YX278-19	0.05154	0.00112	0.13879	0.00294	0.01953	0.00019	0.00668	0.00008	1.27	132	2	125	1	134.6	1.6
YX278-20 *	0.09747	0.00200	0.26778	0.00530	0.01992	0.00019	0.00814	0.00010	0.80	241	4	127	1	164.0	2.0
YX278-21	0.05038	0.00460	0.13766	0.01218	0.01982	0.00022	0.00625	0.00010	0.62	131	10	126	1	125.9	2.0
YX278-22	0.06330	0.00132	0.16979	0.00344	0.01945	0.00019	0.00728	0.00010	0.76	159	2	124	1	147.0	2.0
YX278-23	0.05059	0.00112	0.13691	0.00294	0.01963	0.00019	0.00661	0.00008	0.84	130	2	125	1	133.2	1.6
YX278-24	0.05218	0.00492	0.13771	0.01260	0.01914	0.00021	0.00601	0.00010	0.75	131	12	122	1	121.1	2.0
YX279-1 *	0.05800	0.00122	0.16269	0.00348	0.02035	0.00021	0.00610	0.00008	1.52	153	4	130	1	122.9	1.6
YX279-2 *	0.02988	0.00072	0.07793	0.00188	0.01892	0.00019	0.00616	0.00008	1.34	76.2	2	121	1	124.1	1.6
YX279-3 *	0.07392	0.00572	0.22415	0.01654	0.02199	0.00026	0.00663	0.00012	0.85	205	14	140	2	134.0	2.0
YX279-4	0.05019	0.00340	0.13907	0.00892	0.02009	0.00022	0.00634	0.00012	1.32	132	8	128	1	128.0	2.0
YX279-5	0.04898	0.00100	0.13255	0.00274	0.01963	0.00020	0.00623	0.00008	1.34	126	2	125	1	125.5	1.6
YX279-6	0.05068	0.00108	0.13522	0.00290	0.01936	0.00020	0.00603	0.00008	1.48	129	2	124	1	121.5	1.6
YX279-7 *	0.07034	0.00164	0.19285	0.00450	0.01989	0.00020	0.00685	0.00010	0.28	179	4	127	1	138.0	2.0
YX279-8	0.05697	0.00122	0.15253	0.00326	0.01942	0.00020	0.00608	0.00008	0.68	144	2	124	1	122.5	1.6
YX279-9	0.05145	0.00114	0.13487	0.00300	0.01902	0.00019	0.00606	0.00008	0.73	128	2	121	1	122.1	1.6
YX279-10	0.04995	0.00106	0.13643	0.00292	0.01981	0.00020	0.00645	0.00008	1.56	130	2	126	1	130.0	1.6
YX279-11 *	0.05716	0.00122	0.14485	0.00308	0.01838	0.00018	0.00621	0.00008	0.60	137	2	117	1	125.1	1.6
YX279-12	0.04847	0.00106	0.12819	0.00280	0.01919	0.00019	0.00628	0.00008	1.49	122	2	123	1	126.5	1.6
YX279-13	0.05082	0.00106	0.13473	0.00282	0.01923	0.00019	0.00624	0.00008	0.38	128	2	123	1	125.7	1.6
YX279-14	0.05333	0.00126	0.13884	0.00328	0.01888	0.00019	0.00666	0.00010	0.88	132	2	121	1	134.0	2.0
YX279-15	0.05859	0.00122	0.15645	0.00326	0.01937	0.00019	0.00701	0.00010	0.89	148	2	124	1	141.0	2.0
YX279-16 *	0.08651	0.00202	0.23425	0.00540	0.01964	0.00020	0.00884	0.00012	1.02	214	4	125	1	178.0	2.0
YX279-17	0.05021	0.00112	0.13138	0.00292	0.01898	0.00019	0.00587	0.00008	0.72	125	2	121	1	118.3	1.6
YX279-18	0.04763	0.00106	0.12727	0.00282	0.01938	0.00019	0.00648	0.00008	1.43	122	2	124	1	130.6	1.6
YX279-19	0.05462	0.00118	0.14284	0.00306	0.01897	0.00019	0.00658	0.00008	1.18	136	2	121	1	132.6	1.6
YX279-20	0.05027	0.00108	0.13714	0.00294	0.01979	0.00020	0.00698	0.00010	0.69	130	2	126	1	141.0	2.0
YX279-21	0.05085	0.00114	0.13739	0.00304	0.01960	0.00020	0.00638	0.00008	0.96	131	2	125	1	128.5	1.6
YX279-22	0.05244	0.00108	0.14515	0.00296	0.02008	0.00020	0.00679	0.00010	0.76	138	2	128	1	137.0	2.0
YX279-23 *	0.08771	0.00184	0.23995	0.00500	0.01984	0.00020	0.00821	0.00012	0.91	218	4	127	1	165.0	2.0
YX279-24	0.04771	0.00116	0.13071	0.00312	0.01987	0.00020	0.00908	0.00012	0.68	125	2	127	1	183.0	2.0
YX279-25	0.10192	0.00216	0.27498	0.00574	0.01957	0.00019	0.00941	0.00012	0.68	247	4	125	1	189.0	2.0
YX279-26 *	0.07850	0.00162	0.22682	0.00462	0.02096	0.00021	0.00802	0.00010	0.91	208	4	134	1	161.0	2.0
YX279-27	0.04842	0.00404	0.13513	0.01086	0.02024	0.00022	0.00641	0.00010	0.79	129	10	129	1	129.0	2.0
YX279-28	0.05096	0.00112	0.13526	0.00296	0.01926	0.00019	0.00660	0.00010	1.14	129	2	123	1	133.0	2.0
YX279-29 *	0.06260	0.00128	0.16730	0.00338	0.01939	0.00019	0.00705	0.00010	0.66	157	2	124	1	142.0	2.0
41017-2-1	0.05621	0.00640	0.14865	0.01660	0.01919	0.00058	0.00520	0.00038	2.35	140.7	14.67	122.5	3.66	104.8	7.69
41017-2-2 *	0.21309	0.01179	0.68066	0.03518	0.02318	0.00066	0.02835	0.00095	2.43	527.2	21.25	147.7	4.13	565.1	18.66
41017-2-3	0.05458	0.00579	0.14862	0.01549	0.01976	0.00055	0.00666	0.00043	2.77	140.7	13.69	126.1	3.49	134.2	8.56
41017-2-4	0.05164	0.00688	0.13552	0.01769	0.01904	0.00064	0.00596	0.00031	1.05	129.0	15.82	121.6	4.03	120.0	6.28
41017-2-5	0.04523	0.00367	0.11891	0.00957	0.01907	0.00043	0.00567	0.00018	1.15	114.1	8.69	121.8	2.75	114.3	3.66
41017-2-6	0.05425	0.00757	0.14750	0.02015	0.01972	0.00069	0.00579	0.00032	0.99	139.7	17.83	125.9	4.38	116.7	6.44
41017-2-7	0.05400	0.01311	0.13459	0.03186	0.01808	0.00105	0.00545	0.00064	1.57	128.2	28.52	115.5	6.63	109.9	12.95
41017-2-8	0.05184	0.00665	0.13243	0.01666	0.01853	0.00060	0.00572	0.00043	2.28	126.3	14.94	118.3	3.78	115.3	8.57
41017-2-9 *	0.09527	0.00484	0.28113	0.01407	0.02140	0.00046	0.00971	0.00024	1.17	251.6	11.15	136.5	2.93	195.3	4.86
41017-2-10	0.05132	0.00710	0.13570	0.01848	0.01918	0.00060	0.00389	0.00047	1.88	129.2	16.52	122.4	3.81	78.5	9.54
41017-2-11	0.04747	0.00701	0.12416	0.01808	0.01897	0.00061	0.00580	0.00042	1.93	118.8	16.33	121.1	3.83	116.9	8.45
41017-2-12	0.05466	0.00740	0.14274	0.01897	0.01894	0.00061	0.00493	0.00041	2.24	135.5	16.86	120.9	3.88	99.4	8.24
41017-2-13	0.04954	0.00581	0.13073	0.01511	0.01914	0.00054	0.00612	0.00035	2.09	124.7	13.57	122.2	3.42	123.4	7.12
41017-2-14 *	0.05002	0.00727	0.14054	0.02005	0.02037	0.00071	0.00550	0.00044	1.93	133.5	17.85	130.0	4.46	110.9	8.78
41017-2-15	0.04068	0.00511	0.11058	0.01370	0.01971	0.00057	0.00555	0.00034	1.99	106.5	12.52	125.8	3.57	111.9	6.88
41017-2-16	0.05108	0.00849	0.13366	0.02190	0.01897	0.00065	0.00646	0.00048	1.98	127.4	19.61	121.1	4.11	130.2	9.73
41017-2-17	0.04690	0.00744	0.12296	0.01914	0.01901	0.00069	0.00578	0.00049	2.15	117.8	17.31	121.4	4.35	116.5	9.76

续表 2

样品号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		^{238}U	$t(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})$		$t(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$		$t(^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th})$	
	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	^{232}Th	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$
41017-2-18	0.06015	0.00698	0.15376	0.01752	0.01853	0.00055	0.00559	0.00024	0.90	145.2	15.42	118.4	3.49	112.7	4.88
41017-2-19 *	0.05060	0.00742	0.16486	0.02371	0.02362	0.00083	0.00749	0.00063	2.43	154.9	20.67	150.5	5.23	150.8	12.58
41017-2-20	0.04645	0.00278	0.13018	0.00779	0.02032	0.00040	0.00531	0.00017	1.87	124.3	7.00	129.7	2.54	107.0	3.49
41017-2-21	0.05329	0.00596	0.13146	0.01446	0.01788	0.00050	0.00504	0.00028	1.65	125.4	12.97	114.3	3.19	101.6	5.65
YX281-1	0.05804	0.00126	0.14958	0.00314	0.01869	0.00018	0.00551	0.00008	1.26	142	2	119	1	111.1	1.6
YX281-2	0.04835	0.00104	0.13024	0.00272	0.01954	0.00019	0.00583	0.00008	0.69	124	2	125	1	117.5	1.6
YX281-3	0.04787	0.00104	0.13222	0.00278	0.02003	0.00019	0.00606	0.00008	1.17	126	2	128	1	122.1	1.6
YX281-4	0.04864	0.00120	0.12630	0.00304	0.01884	0.00018	0.00335	0.00006	0.82	121	2	120	1	67.6	1.2
YX281-5	0.05213	0.00122	0.13844	0.00314	0.01926	0.00019	0.00607	0.00008	1.16	132	2	123	1	122.3	1.6
YX281-6 *	0.05401	0.00400	0.16277	0.01154	0.02186	0.00024	0.00683	0.00012	1.09	153	10	139	2	138	2.0
YX281-7	0.04804	0.00104	0.12760	0.00268	0.01927	0.00019	0.00699	0.00010	1.29	122	2	123	1	141	2.0
YX281-8	0.05305	0.00126	0.13786	0.00320	0.01885	0.00018	0.00639	0.00008	0.92	131	2	120	1	128.7	1.6
YX281-9 *	0.06483	0.00136	0.17400	0.00352	0.01947	0.00019	0.00705	0.00010	0.86	163	4	124	1	142	2.0
YX281-10	0.05087	0.00116	0.13899	0.00310	0.01982	0.00019	0.00659	0.00010	1.19	132	2	127	1	133	2.0
Yx281-11 *	0.08049	0.00204	0.22351	0.00552	0.02014	0.00020	0.00839	0.00012	1.04	205	4	129	1	169	2.0
Yx281-12 *	0.05020	0.00120	0.14518	0.00342	0.02098	0.00020	0.00798	0.00010	1.06	138	4	134	1	161	2.0
Yx281-13	0.05102	0.00132	0.13470	0.00340	0.01915	0.00019	0.00644	0.00008	0.95	128	4	122	1	129.7	1.6
Yx281-14	0.05009	0.00104	0.14002	0.00282	0.02028	0.00020	0.00778	0.00010	1.45	133	2	129	1	157	2.0
Yx281-15 *	0.06744	0.00144	0.18225	0.00378	0.01960	0.00019	0.00678	0.00010	0.54	170	4	125	1	137	2.0
YX281-16 *	0.05040	0.00114	0.14555	0.00320	0.02094	0.00020	0.00778	0.00010	1.10	138	2	134	1	157	2.0
YX281-17	0.04922	0.00100	0.13576	0.00268	0.02000	0.00019	0.01004	0.00014	2.11	129	2	128	1	202	2.0
YX281-18	0.04718	0.00104	0.12068	0.00258	0.01855	0.00018	0.00614	0.00008	1.47	116	2	118	1	123.7	1.6
YX281-19	0.05387	0.00118	0.14007	0.00298	0.01886	0.00018	0.00636	0.00008	0.84	133	2	120	1	128.1	1.6
YX281-20	0.05249	0.00120	0.14675	0.00326	0.02028	0.00020	0.00631	0.00008	0.91	139	2	129	1	127.1	1.6
YX281-21 *	0.05457	0.00120	0.12863	0.00276	0.01709	0.00017	0.00844	0.00012	1.20	123	2	109	1	170	2.0
YX281-22	0.05050	0.00108	0.13190	0.00274	0.01894	0.00018	0.00627	0.00008	1.37	126	2	121	1	126.3	1.6
YX281-23	0.05112	0.00108	0.13191	0.00270	0.01872	0.00018	0.00536	0.00008	0.79	126	2	120	1	108	1.6
YX281-24	0.04896	0.00106	0.12387	0.00262	0.01835	0.00018	0.00543	0.00008	1.15	119	2	117	1	109.5	1.6
YX281-25 *	0.05814	0.00428	0.15637	0.01100	0.01951	0.00021	0.00605	0.00010	0.79	148	10	125	1	122	2.0
YX281-26	0.04937	0.00116	0.12954	0.00296	0.01903	0.00019	0.00909	0.00012	0.90	124	2	122	1	183	2.0
YX281-27 *	0.06623	0.00642	0.16524	0.01552	0.01810	0.00022	0.00553	0.00010	0.70	155	14	116	1	111	2.0
YX281-28	0.04727	0.00130	0.12937	0.00348	0.01985	0.00020	0.00676	0.00010	1.01	124	4	127	1	136	2.0
YX281-29	0.04794	0.00102	0.12828	0.00268	0.01940	0.00019	0.00660	0.00010	1.54	123	2	124	1	133	2.0
YX281-30	0.05009	0.00104	0.13622	0.00274	0.01972	0.00019	0.00513	0.00006	0.16	130	2	126	1	103.4	1.2
YX281-31	0.05290	0.00130	0.13296	0.00320	0.01823	0.00018	0.00517	0.00008	0.69	127	2	116	1	104.2	1.6
YX281-32	0.05499	0.00136	0.14940	0.00364	0.01970	0.00019	0.00612	0.00008	1.16	141	4	126	1	123.3	1.6

注:加*的样品点为记算加权平均年龄、谐和图成图时剔除的样品点。 1σ 为绝对误差。

四个测点后(表2),其余样点的谐和性较好,(图3),其加权平均年龄为 $122.3 \pm 2.1\text{Ma}$ 。

YX281号样品中锆石较为单一,振荡环带较发育、以柱状为主、长短轴比为1.5~3。有32个样品测点,校正后具体分析数据中除去远离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和线或远离加权平均值的6、9、11、12、15、16、21、25、27九个测点后(表2),其余样点的谐和性较好(图3),其加权平均年龄为 $123 \pm 1.7\text{Ma}$ 。

本文的样品中,YX277采自义县组下部层位(大王杖子层)的下部,41017-2号样点之下覆盖(未见沉积岩层),但是之上的流纹岩为义县组的上部层位,

所以该采样点应在大王杖子层的上部(或大王杖子层之上),YX278、279、281号样品均采自大王杖子层之上的酸性火山熔岩中。以上数据限定了该地区义县组下部层位一大王杖子层的时代为125~122Ma。

3 凌源地区义县组下部层位定年的意义

(1)辽西凌源地区的义县组下部层位一大王杖子层的年龄为125~122 Ma;而前人的研究表明,辽西北票—义县地区义县组的底部层位年龄为132Ma左右(季强等,2004;彭艳东等,2003),说明

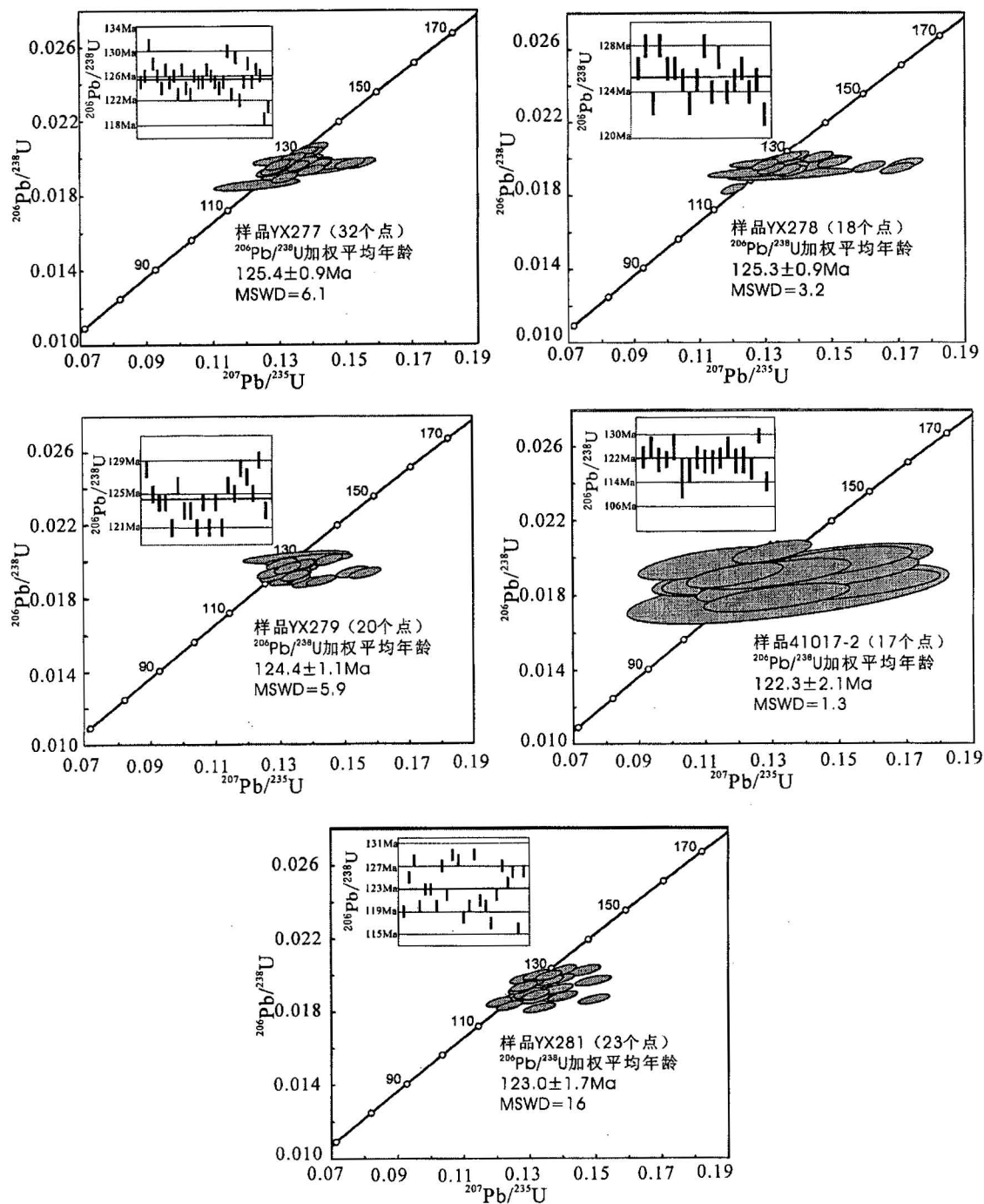


图3 凌源地区义县组样品激光 ICPMS 锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 3 Zircon U-Pb concordian diagram of samples from the Yixian Formation in Lingyuan area

辽西凌源地区义县组与北票一义县地区义县组的底部层位是不等时的。

(2)前人研究表明,凌源地区的义县组大王杖子层与辽西北票一义县地区的义县组尖山沟(砖城子层)在化石组合方面有很强的可比性(张宏等, 2005a;王五力等, 2004b);本文测年结果表明凌源地

区的义县组大王杖子层的年龄(125~122 Ma)与北票一义县地区的义县组尖山沟(砖城子)层的年龄(126~123Ma)(季强等, 2004;王五力等, 2004b)基本一致;进一步说明凌源地区的义县组大王杖子层与辽西北票一义县地区的义县组尖山沟(砖城子)层是可比的。

(3) 凌源地区义县组大王杖子层的形成时代为 125~122Ma。此前,笔者测得该地区张家口组火山岩顶界年龄为 132~130Ma(张宏等, 2005a, 2005b), 可见该地区张家口组的顶部与义县组的下部有约 5~6Ma 的时间间隔;并且在此时间间隔前后,该地区的构造线方向发生了明显的变化。值得注意的是,在晚侏罗世至早白垩世期间,中国东部发生了构造格架转换——变格作用(任纪舜等, 2002),该变格作用关键时期地确定是构造地质学家一直关注的问题,而确定该时期的关键问题是找到一个区域上有代表性的不整合界面。凌源地区张家口组与义县组的角度不整合可能是中国东部(尤其是冀北—辽西地区)中生代构造变格作用的关键时期,是一个重要的不整合界面。

(4) 在 130~125Ma 的间隔期间,也是我国东北部地区岩浆作用最为强烈的时期(Wu et al., 2005)。在我国的东北、华东地区,该时期不仅有大量火山岩的喷发,同时形成有大量侵入岩(翟明国等, 2003; 许文良等, 2004);暗示该不整合界面跨越的时期是我国东北地区乃至整个东部地区中生代构造变格作用的关键时期,也暗示该时期岩浆作用形成的动力学机制可能与当时中国东部的构造变格作用密切相关。更值得注意的是在该间隔期间,在辽西的北票—义县地区形成了大规模的高镁火山岩, MgO 的含量可高达 10% 以上, Mg# 高达 60~70, 它们显然是幔源岩浆作用的产物(张宏等, 2005c)。这些幔源岩浆喷发的时间与凌源地区不整合界面的间隔期如此吻合,暗示该幔源岩浆活动的动力学背景应与中国东部构造变格作用直接相关。

(5) 在 130~125Ma 的间隔期间,也是辽西—冀北地区中生代的一个重要的古生物界面。在该间隔期之上为大王杖子层(凌源地区)—尖山沟层(北票地区)—砖城子层(英窝山层)(义县地区),这些层位是热河动物群的初始大爆发层位(季强等, 2004; 陈丕基, 2000, 2004; 王五力, 2004a, b; 王思恩, 1999; 侯连海等, 1999),这也说明凌源地区该不整合界面的重要性。

致谢:感谢西北大学大陆动力学重点实验室的全体工作人员,他们为本文数据的获得付出了辛勤的劳动!

参 考 文 献 / References

陈丕基, 王启飞, 张海春, 曹美珍, 吴舜卿, 沈炎彬. 2004. 论义县组尖山沟层. 中国科学(D), 34(10): 883~895.

- 季强, 等. 2004. 中国辽西中生代热河生物群. 北京: 地质出版社, 1~375.
- 季强, 姬书安, 袁崇喜, 季鑫鑫. 2002. 辽西凌源全身长有羽毛奔龙化石的再研究. 地学前缘, 9(3): 57~63.
- 侯连海, 陈丕基. 1999. 最小的早期鸟类——娇小辽西鸟. 科学通报, 44(3): 311~315.
- 李伍平, 李献华, 路凤香, 周瑶琪, 章大港. 2002. 辽西早白垩世义县组火山岩的地质特征及其构造背景. 岩石学报, 18(2): 193~204.
- 彭艳东, 张立东, 张长捷, 郭胜哲, 邢德和, 贾斌, 陈树旺, 丁秋红. 2003. 辽西义县组火山岩的 K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法同位素年龄测定. 地球化学, 32(5): 427~435.
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 姜春发, 牛宝贵, 李锦铁, 谢广连, 和政军, 刘志刚. 2002. 中国及邻区大地构造图 (1:5000 000) 及说明书. 北京: 地质出版社, 6~9.
- 邵济安, 李之彤, 张履桥. 2004. 辽西及邻区中—新生代火山岩的时空对称分布及其启示. 地质科学, 39(1): 98~106.
- 许文良, 王东艳, 王清海, 裴副萍, 林景仟. 2004. 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. 地球化学, 33(3): 221~231.
- 王松山, 王元青, 胡华光, 李惠民. 2001. 辽西四合屯脊椎动物生存时代: 锆石 U-Pb 年龄证据. 科学通报, 46(4): 330~333.
- 王五力, 张立君, 郑少林, 郑月娟, 张宏, 李之彤, 杨芳林. 2004a. 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. 地质学报, 78(4): 433~447.
- 王五力, 张宏, 张立君, 郑少林, 杨芳林, 李之彤, 郑月娟, 丁秋红. 2004b. 土城子阶、义县阶标准地层剖面及其地层古生物、构造—火山作用. 北京: 地质出版社, 359~434.
- 王思恩. 1999. 热河动物群的古生态与古环境——冀北、辽西叶肢介群落古生态与古环境重建. 地质学报, 73(4): 289~301.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报, 48(14): 1511~1520.
- 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 孟庆任, 侯泉林, 胡圣标, 李忠, 张宏福, 刘伟. 2003. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限. 中国科学(D), 33(10): 913~920.
- 朱日祥, 邵济安, 潘永信, 史瑞萍, 施光海, 李大明. 2002. 辽西白垩纪火山岩古地磁测定与陆内旋转运动. 科学通报, 47(17): 1335~1340.
- 张宏, 李之彤, 杨芳林, 张立君. 2004. 辽西北票和义县地区义县组的综合对比研究. 地质通报, 23(8): 750~764.
- 张宏, 柳小明, 高山, 张立君, 李之彤, 杨芳林, 王献策. 2005a. 辽西凌源地区张家口组的重新厘定及其意义——来自激光 ICPMS 锆石 U-Pb 年龄的制约. 地质通报, 24(2): 108~116.
- 张宏, 柳小明, 张晔卿. 2005b. 冀北滦平、辽西凌源地区张家口组火山岩顶、底的单颗粒锆石 U-Pb 测年及意义. 地球科学, 30(4): 387~401.
- 张宏, 柳小明, 李之彤, 杨芳林, 王晓蕊. 2005c. 辽西阜新一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. 地质论评, (4): 360~372.
- Chen P J, Dong Z M, Zhen S N. 1998. An exceptionally well-preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China. Nature, 391: 147~152.
- Ji Q, Currie P J, Norell M, Ji S A. 1998. Two feathered dinosaurs from northeastern China. Nature, 393: 753~761.
- Ji Q, Ji S A, Yuan C X, Ji X X. 2002. Restudy on a small dromaeosaurid dinosaur with feathers over its entire body. Earth Science Frontiers, 9(3): 57~63.
- Swisher, C C, Wang Y Q., Wang X L, Xu X, Wang Y. 1999.

- Cretaceous age of the feathered dinosaurs of Liaoning, China. *Nature*, 400: 58~61.
- Sun G, Dilcher D L, Zheng S L. 1998. In search of the first flower: a Jurassic angiosperm, *Archaeofructus*, from Northeast China. *Science*, 282(5394): 1692~1695.
- Wu F Y, Lin J Q, Wilde S A, Zhang X O, Yang J H. 2005. Nature and significance of early Cretaceous giant igneous event in eastern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233:103~119.
- Xu X, Zhou Z H, Prum R. 2001. Branched integumental structures in *Sinornithosaurus* and the origin of feathers. *Nature*, 410:200~204.
- Yuan H L, Gao S, Liu X M. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation—inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geoanalytical and Geostandard Newsletters*. 28(3):353~370.
- Zhou Z Y, Zheng S L. 2003. The missing link in Ginkgo evolution. *Nature*, 423:821~822.
- Zhou Z, Barrett P M, Hilton J. 2003. An exceptionally preserved Lower Cretaceous ecosystem. *Nature*, 421: 807~814.

U-Pb Isotopic Age of the Lower Yixian Formation in Lingyuan of Western Liaoning and Its Significance

ZHANG Hong; LIU Xiaoming; YUAN Honglin; HU Zhaochu; DIWU Chunrong

Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi, 710069

Abstract

A new LA-ICP-MS zircon U-Pb dating gave an age of 125~122 Ma for the Dawangzhangzi bed in the lower Yixian Formation. Together with previous studies, the writers draw conclusions as follows: (1) the bottom of the Yixian Formation in the Lingyuan and Beipiao—Yixian regions is not synchronous. The Dawangzhangzi bed in Lingyuan corresponds to the Jianshangou (Zhuanchengzi) bed in the Beipiao—Yixian region in age. (2) The Yixian Formation is in angular unconformity with the Zhangjiakou Formation in the Lingyuan area. The isotopic result suggests that the Yixian Formation have a 5~6 Ma interval with the Zhangjiakou Formation, which not only proved that the angular unconformity of the two formations is credible, but also reflect that the 5~6 Ma interval is the key period of the transition of tectonic framework in the Mesozoic in northern Hebei—western Liaoning area. In the interval, magmatism was in the peak stage in northeastern China. Moreover, after the interval, the Jehol Fauna prospered, suggesting that the interval is an important biological interface in the northern Hebei—western Liaoning area.

Key words: U-Pb isotopic dating; LA-ICP-MS; Yixian Formation; Lingyuan, western Liaoning