

辽西地区燕山板内造山带早中生代构造变形的年代学限定*

胡健民¹ 刘晓文² 杨之青³

HU JianMin¹, LIU XiaoWen² and YANG ZhiQing³

1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

2. 国土资源部事物地质资料中心, 三河 065201

3. 北京离子探针中心, 北京 100037

1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*

2. *National Geological Samples Center of the Ministry of Land and Resources of China, Sanhe 065201, China*

3. *Beijing SHRIMP Center of Beijing, Beijing 100037, China*

2006-09-12 收稿, 2007-02-12 改回.

Hu JM, Liu XW and Yang ZQ. 2007. Geochronological constrains for the early Mesozoic tectonic deformation of Yanshan intraplate orogen in northeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3):605–616

Abstract The study on the tectonics in the western Liaoning province has confirmed there occurred several times of thrusting and sliding. In geology, the time of the deformations were defined during after the sedimentation of the late Triassic Laohugou Formation to the evaporation of the volcanic rocks of the late Jurassic Tiaojishan Formation or Lanqi Formation. Especially, the early thrusts were covered by the Shuiquangou Formation and the late thrusts were covered by the Tiaojishan Formation or Lanqi Formation. In this paper, the authors obtained some SHRIMP U-Pb ages of zircons from the volcanic rocks of the Shuiquangou Formation, the volcanic gravels of Dengzhangzi Formation, the volcanic rocks of Tiaojishan Formation, and the andesitic-porphyrity vein intruded into the early thrust system. The ages constrain the times of the early Mesozoic deformations in Yanshan intraplate orogen. They are very important for the researching on the early deformational features and deformational evolution of Yanshan intraplate orogen.

Key words Yanshan Intraplate orogen, Western Liaoning Province and Northern Hebei Province area, Shrimp U-Pb dating of Zircons

摘要 在辽西进行的构造研究确认了这里曾经在早中生代期间发生过几次重要的构造变形事件,地质上,这几次构造变形的时代被限定在中三叠世老虎沟组沉积之后到晚侏罗世髫髻山/蓝旗组火山岩喷发之前。期间,第一期逆冲推覆构造被水泉沟组不整合覆盖,第二期逆冲推覆构造被髫髻山组/蓝旗组不整合覆盖。本文通过对水泉沟组火山岩、邓杖子组火山岩砾石、髫髻山组底部火山岩以及侵位到逆冲构造岩片中的安山玢岩脉体进行锆石 SHRIMP 法 U-Pb 定年,比较准确地限定了燕山板内造山带早中生代几次构造变形的时代。这对于研究燕山板内造山带早期变形特征和变形历史、研究整个燕山造山带的变形过程都具有重要的意义。

关键词 燕山板内造山带; 辽西-冀北地区; 锆石 U-Pb 定年

中图法分类号 P597.3; P542.2

* 本文受国家重点基础研究 973 项目(2006CB403501);国家自然科学基金重点项目(40132020)资助。

第一作者简介: 胡健民, 男, 1959 年生, 博士, 研究员, 构造地质学, E-mail: jianminhu@vip.sina.com

1 引言

燕山地区一直是中国大陆中生代构造演化研究的重要地区之一(Wong, 1927; 黄汲清, 1977; 任纪舜等, 1980; 崔盛芹和李锦蓉, 1983; Wang and Mo, 1995), 它在晚古生代华北地块与蒙古地块碰撞拼贴形成联合板块之后演化为板内构造环境(Davis *et al.*, 2001)。燕山板内造山带的研究, 导致人们对中国东部构造格局和演化的一些重要认识的提出, 如: (1) 中国东部中生代构造体制转换问题, 以及所涉及到的构造体制转换的时间、方式与内容(赵越等 1994; Zhai *et al.*, 2003); (2) 中国东部中生代高原问题及岩石圈减薄问题(邓晋福等, 1996; 任纪舜等, 1992; 董树文等, 2000; 张旗等, 2001)等。此外, 燕山板内造山带的启动机制和启动时间也引起了人们的关注(Davis *et al.*, 2001; Chen, 1998; 胡健民等, 2004)。研究这些问题的一个关键点是印支期构造事件特征与演化过程。

以前关于印支期构造的证据主要来自于一些区域性不整合接触关系(崔盛芹和李锦蓉, 1983; 杨农等, 1996; 王瑜, 1996)和早中生代碱性岩浆岩体的同位素年龄资料(阎国翰等, 2000; 邵济安等 2000)。但是, 由于不整合面之上地层往往缺少可靠的生物化石依据和比较可靠的同位素年代学资料(辽宁地质矿产局, 1989), 造成人们对印支期构造的怀疑。而且, 精细的构造地质研究成果的缺乏, 致使燕山地区一些重要的构造关系不是十分清楚。

胡健民等(2004)曾在辽西凌源市太阳沟一带解析出早中生代两次逆冲推覆构造和两次崩塌滑覆构造。本文对掩盖几期构造的两个不整合面之上的火山岩以及侵位到逆冲构造系统中的浅成中基性岩脉的锆石进行了 SHRIMP 测年。研究表明, 这些构造发生在中晚三叠世到中侏罗世期间。

2 区域地质概况

燕山造山带位于华北板块的东北部, 古华北板块向北、东、南分别与西伯利亚板块、太平洋板块和古扬子板块相邻。一般认为华北板块是在晚二叠世与蒙古地块拼贴(赵越, 1990; Wang and Mo, 1995; Yin and Nie, 1996; Davis *et al.*, 2001), 晚侏罗世-早白垩世, 华北-蒙古联合板块与西伯利亚板块拼合, 蒙古-鄂霍茨克洋消失(任纪舜等, 1992)。

辽西、冀北地区位于燕山造山带由近东西向向北东向转折的部位, 区域性的平泉-古北口断裂(PGF)将其分为南北两个大的构造单元。平泉-古北口断裂(PGF)由北及北西方向向南及南东方向逆冲, 将内蒙地轴太古宙变质岩推覆到中元古界及更新的地层之上(赵越, 1994)。断裂以北中侏罗统直接覆盖在太古宙之上, 是原内蒙地轴的南部边缘(黄汲清等, 1977); 以南太古宙仅零星出露, 主要为中、新元古界, 古生界和中生界等。其中寒武系与青白口系之间、石炭系与奥

陶系之间、侏罗系与三叠系之间及中下侏罗统之间均为不整合接触关系(表 1)。

表 1 辽西地区地层简表

Table 1 Simplified stratum table of western Liaoning Province

年代地层单位		本文		
系	统	组	地层代号	备注
第三系				
白垩系	下统	九佛堂组	K _{1jif}	
		义县组	K _{1y}	
侏罗系	上统	土城子组	J _{2,3t}	
		蓝旗组	J _{3l}	锆石 ^{U~Pb} 年龄 158~161 Ma
	中统	郭家店组	J _{2g}	
		邓杖子组	(T ₃ -J ₁) _d	安山岩砾石 锆石 ^{U~Pb} 年龄 212 Ma
三叠系	上统	水泉沟组	T _{3s}	锆石 ^{U~Pb} 年龄 230.4 Ma
		老虎沟组	T _{2,3l}	
石炭-二叠系			C ₂ -P	
奥陶系	中-下统		O _{1,2}	
白寒武系			Є	
青白口系			Qn	
蓟县系			Jx	

本文研究地区未出露太古宙及早元古代长城系(图 1), 构造方向为北东向到北北东向延伸, 早、晚中生代变形系形成复杂的逆冲推覆构造系统。早中生代地层包括中三叠统老虎沟组湖相、河流相碎屑岩(辽宁省地质矿产局, 1989)、上三叠统水泉沟组火山岩及火山碎屑岩、上三叠统-下侏罗统邓杖子组崩塌、滑坡、泥石流沉积形成的陆相碎屑岩组合。中侏罗统郭家店组为一套由河流相砾岩夹砂岩透镜体及沼泽相煤系地层组成, 上侏罗统蓝旗组主要为安山岩、玄武岩及角砾岩、集块岩、凝灰岩, 并夹有多层沉积岩(郑少林等, 1981)。

3 辽西凌源太阳沟地区构造变形特征

3.1 第一期由东往西逆冲推覆构造(D1)

D1 期变形由三个近南北方向走向的逆冲推覆岩片叠瓦状排布而成, 自东而西分别为东庄逆冲岩片、侯杖子逆冲岩片和大崔洼逆冲岩片(图 2)。

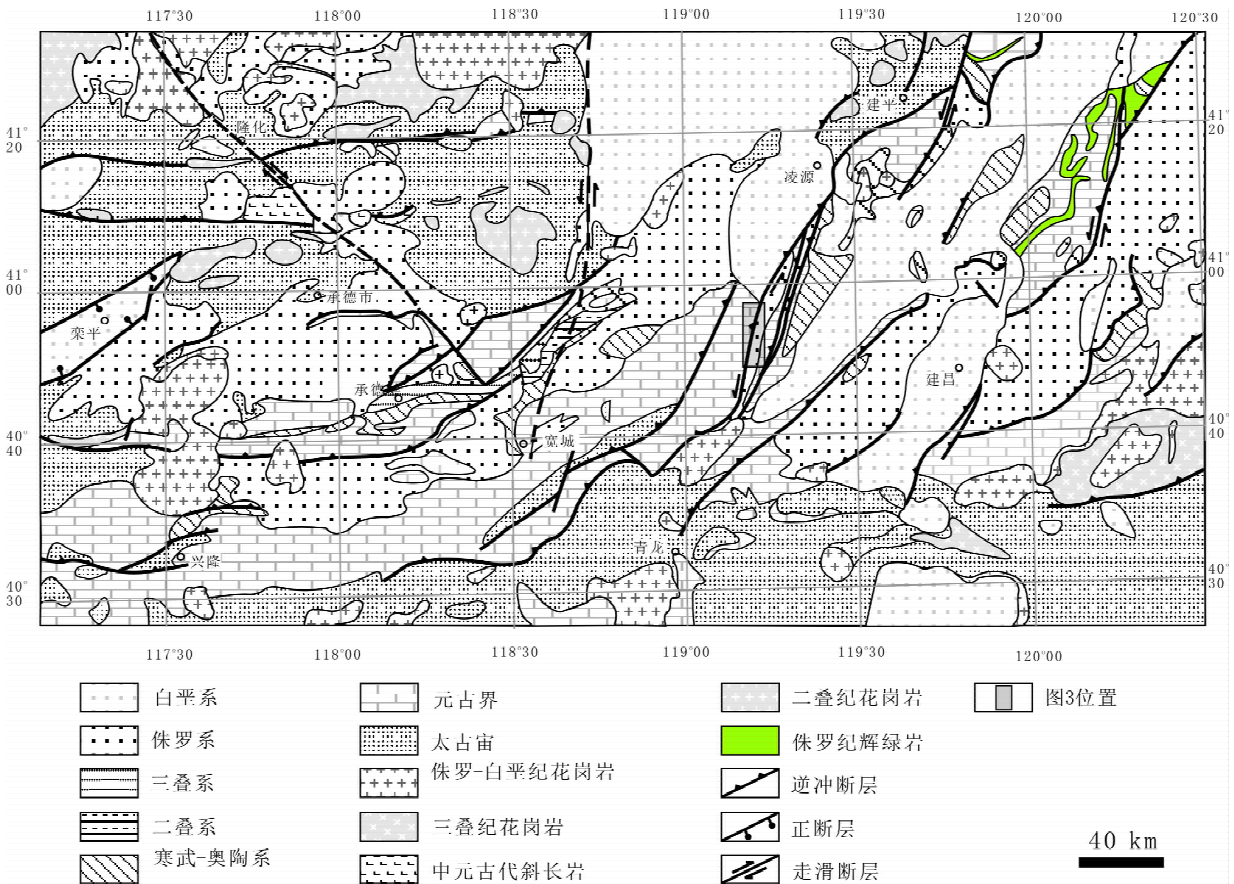


图1 冀北-辽西区域地质略图(据1:20万凌源幅地质图修改)

Fig.1 Simplified geological map of northern Hebei Province and western Liaoning Province (After 1:200000 Geological map in Lingyuan)

东庄逆冲岩片内地层稳定的倾向于南东东方向,出露最老的地层为蓟县系雾迷山组,最新地层为下寒武统馒头组。底板逆冲断层(DTF)产状较陡,倾角达 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 左右,逆冲方向由南东东方向朝北西西方向,最大主应力轴 σ_1 往 $114^{\circ} \sim 133^{\circ}$ 方向缓倾。该岩片向西直接逆冲在中寒武统张夏组之上。侯杖子逆冲岩片的逆冲断层(HTF)与岩片内地层走向斜截,断面走向为北东向到北北东向,倾向南东到向东,断层南段产状较陡北段较缓。断面擦痕倾向南东,倾伏角 50° 左右,最大主应力轴 σ_1 往 310° 方位缓倾。逆冲岩片最老地层为蓟县系雾迷山组,最上部地层为中-上三叠统老虎沟组。大崔洼逆冲岩片主要由中上寒武统和下中奥陶统组成,自西往东地层正常变新,最新地层为中奥陶统马家沟组。岩片东侧被水泉沟组不整合覆盖。逆冲断面(DCTF)走向北北东向到北西向。断层向东倾,倾角一般在 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 之间,最大主应力轴 σ_1 倾向SE 128° ,倾伏角 33° 左右(图2)。

D1期逆冲推覆构造是一种后展式逆冲推覆构造,由西往东渐次演化发展。

3.2 第二期由西往东的逆冲推覆(D2)

D2期逆冲推覆构造发育在石灰窑子沟-太阳沟以北,由

三个呈北东方向延伸的相互叠置的岩片组成(图2)。

金黄岭-三皇庙逆冲岩片主推覆断层(JSTF)呈北东向延伸,断层面总体倾向北西方向,直接逆冲在水泉沟组之上,或者逆冲在早期D1期自东向西的逆冲岩片之上。太阳沟逆冲岩片(TTF)由早期向西推覆的两个叠置的岩片组成,其中早期逆冲断层(DTF1)已被D2期向东的挤压改造成西倾的正断层,两个岩片均表现为地层序列向东变新,都由蓟县系、青白口系及寒武系组成。范家沟逆冲岩片的推覆断层(FTF)主冲断层将蓟县系及青白口系和寒武系等逆冲推覆在东侧早期逆冲岩片之上。断层面倾向北西,倾角 80° ,擦痕倾伏向为北西向,倾伏角也为 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 左右。最大主应力轴 σ_1 向 310° 左右的方位倾伏,倾伏角不稳定,范围在 $20^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 。

D2期逆冲推覆构造中的三个逆冲岩片内地层的排布都是倒转的,地层倾向北西或西,但朝东或南东方向变新。由逆冲岩片的底板断层往上地层是变新的,这很可能是由先前的由东往西的逆冲推覆构造改造发展而来,先前的D1期逆冲推覆断层在D2期变形过程中也被反转为倾向西或北西方向的正断层。

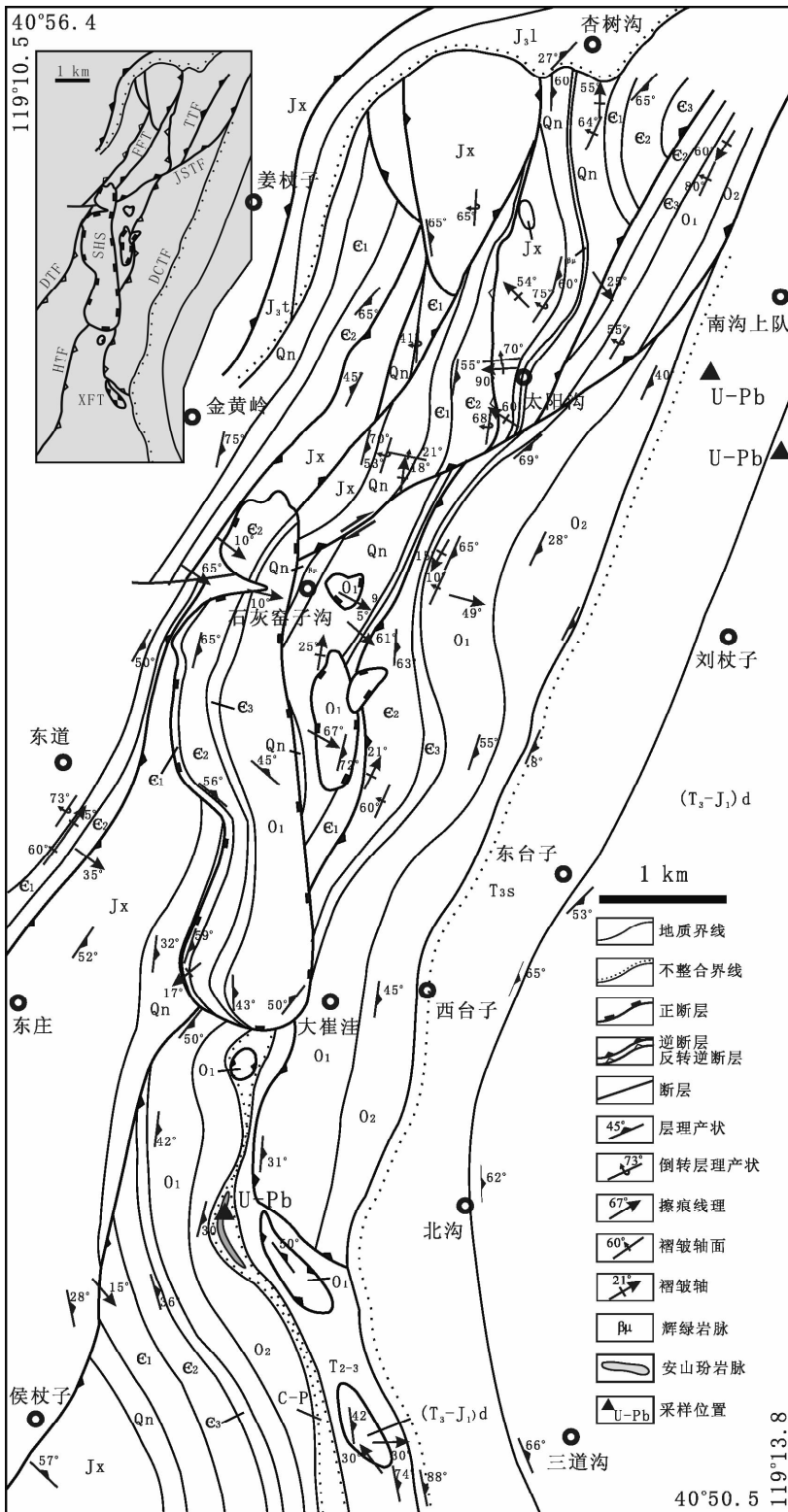


图2 辽西凌源太阳沟地区地质构造图(据胡健民等,2004 修改)

J₃l-上侏罗统土城子组;J₃l-下侏罗统蓝旗组;(T₃-J₁)-d-上三叠统-下侏罗统邓杖子组;T₃s-水泉沟组;T₂3-中上三叠统老虎沟组;C-P-石炭-二叠系;O₂、O₁-奥陶系中、下统;E₃、E₂、E₁-寒武系上、中、下统,Qn-青白口系,Jx-蓟县系;DTF-东庄逆冲断层;HTF-侯杖子逆冲断层;DCTF-大崔洼逆冲断层;FFT-范家沟逆冲断层;TTF-太阳沟逆冲断层;JSTF-金黄岭-三皇庙逆冲断层;SHS-石灰窑子沟崩塌滑覆岩块

Fig.2 Geological map of Taiyanggou area in Lingyuan of western Liaoning province (After Hu *et al*,2004)

D2 期逆冲推覆构造具有前展式发展的特点,即 D2 期逆冲推覆由西向东发展(图 2)。

3.3 崩塌滑覆构造

3.2.1 邓杖子组同沉积崩滑岩块

邓杖子组是一套快速堆积的崩塌、滑坡、泥石流及浊流沉积组合,是一套削顶构造沉积序列(胡健民等,2005)。邓杖子组内发育的崩塌岩块一般 5~20m 厚,顺层延伸数十米到数百米。岩块的原属地层时代与岩块周围邓杖子组砾岩主体砾石时代大体一致(胡健民等,2005)。鉴定出来的最大的岩块分布在辽宁凌源市松岭子三皇庙东山梁,总体走向北北东向,呈层状顺地层展布方向延伸约 5km,最大宽度达 500m 左右(胡健民等,2005),由中寒武统张夏组中-厚层鲕粒灰岩、固山组粒屑灰岩、上寒武统炒米店组粒屑灰岩及下奥陶统冶里组厚层灰岩组成。

3.2.2 前侏罗系之上的巨大崩滑岩块

辽西、冀北地区侏罗纪盆地中分布有一系列巨大的孤立岩块,岩块内部地层的构造线方向邻近出露的前中生代(前侏罗纪)地层展示的构造线方向极不协调。研究表明它们是一些巨大的崩塌岩块直接滑覆于前侏罗纪地层之上。这些崩滑岩块的边缘多数被后来上侏罗统不整合覆盖,因而常常成为孤立的巨大岩块分布于侏罗纪盆地中。

辽宁凌源市石灰窑子沟崩滑岩块(SHS)由寒武系和奥陶系组成,呈近南北向延伸的长哑铃状岩块滑覆于蓟县系、青白口系以及寒武系和奥陶系之上(图 2)。在下伏青白口系长龙山组海绿石英砂岩和雾迷山组燧石条带白云岩燧石条带上保留有非常平缓的底界滑覆断层面,擦痕方向近东西向。断层面之下伏燧石条带白云岩破碎形成了厚度达 5m 左右的近水平的白云质碎裂岩带。断层面上擦痕线理、阶步和反阶步及下伏近于直立的雾迷山组的牵引褶皱指示石灰窑子崩滑岩块自东向西运动(胡健民等,2004; 2005)。

虽然崩滑岩块滑覆面非常平缓,但岩块内部与下伏地层产状都近直立,显示岩块在滑覆前先发生崩塌断裂,然后由高地向低处滑覆,是典型的崩塌滑覆构造。

4 早中生代构造变形年代学

4.1 地质依据

辽西地区发育的几个不整合接触面明确地限定了几期构造变形的地质年代。

D1 期变形的三个叠置的逆冲岩片中最新地层为中三叠统的老虎沟组,大崔洼逆冲岩片的主冲断层(DCTF)被水泉沟组不整合覆盖(图 2)。因此,D1 期逆冲推覆构造应该发生在老虎沟组沉积之后、水泉沟组沉积之前。由于邓杖子组整合覆盖在水泉沟组之上(胡健民等,2005),邓杖子组的时代应该是这次变形时代的上限。

D2 变形之金黄岭-三皇庙逆冲断层(JSTF)将上盘的寒

武系、奥陶系直接推覆在水泉沟组底部砾岩及火山岩之上(图 2)。由于水泉沟组与邓杖子组明显为整合过渡关系,因此推覆时代晚于邓杖子组的沉积。蓝旗组火山岩不整合覆盖在这两个逆冲岩片之上表明,D2 期逆冲时代早于蓝旗组火山岩。

邓杖子组内部发育的同沉积巨大崩滑岩块的时代是邓杖子组形成时代。

石灰窑子崩滑岩块内最新地层为中奥陶统马家沟组,岩块直接压盖在 D2 期逆冲推覆构造的主推覆断层 JSTF 之上,后者使新元古界和下古生界逆冲在水泉沟组和邓杖子组之上。因此,崩塌滑覆岩块的时代下限应该晚于水泉沟组和邓杖子组沉积时代。崩滑岩块的时代上限在石灰窑子沟很难确定,但在整个辽西、冀北地区很多的崩塌滑覆岩块直接滑落在中生代沉积盆地内,髫髻山组、蓝旗组火山沉积岩不整合覆盖。因此,崩塌滑覆岩块的时代应该晚于邓杖子组沉积、早于蓝旗组。

4.2 同位素年代学依据

4.2.1 已有同位素年代学资料

以上研究表明,辽西地区主要构造事件的时间限定,关键是中生代地层时代的准确定年。比较可靠的化石资料只有老虎沟组和郭家店组(郑少林,1981; 辽宁省地质矿产局,1989),其他中生代地层时代都存在较大的争议。幸运的是,两个重要的不整合面之上都直接被火山岩覆盖。因此,准确的火山岩定年就能够严格限定就成为限定本区主要变形事件时代的关键。

蓝旗组与区域上普遍发育的髫髻山组时代相当,时代都为晚侏罗世早期。在邢杖子蓝旗组底部火山岩 SHRIMP U-Pb 法锆石年龄为 $158 \pm 1\text{Ma}$ (赵越待刊数据),建昌县安山岩全岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $173 \pm 6\text{Ma}$ (Davis *et al.*, 2001),髫髻山组底部火山凝灰岩中黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄:承德市小东沟 $180.2 \pm 1.8\text{Ma}$,承德县张家店 $160.7 \pm 0.8\text{Ma}$,平泉县城北 $178 \sim 180\text{Ma}$ (Davis *et al.*, 2001)。因此,D2 期逆冲推覆构造发生的时代应该在晚侏罗世之前。

已获得的水泉沟组底部玄武安山岩 K-Ar 全岩年龄为 $184 \sim 195\text{Ma}$ (张长厚等,2002)。安山岩 K-Ar 年龄为 $191.0 \pm 5.7\text{Ma}$ (辽宁地质矿产勘查开发局,1997),Rb-Sr 等时线年龄值为 198Ma (王东方等,1983)。由于测试方法的限定,这些年龄是否准确的代表水泉沟组火山岩的年龄,值得怀疑,甚至有研究者干脆直接将水泉沟组与蓝旗组、髫髻山组进行对比(张长厚等,2004)。

4.2.2 样品

根据已经确定的辽西地区早中生代变形与几套火山岩之间的构造关系,水泉沟组直接不整合在第一期变形形成的逆冲推覆构造系统上、蓝旗组/髫髻山组不整合覆盖在第二次逆冲构造系岩片之上。本文选择整合覆盖在水泉沟组之上的邓杖子组下部砾岩中安山岩砾石、髫髻山组安山岩以及

侵入于第一期逆冲构造岩片中的安山玢岩脉,进行锆石U-Pb定年。加之先前已经获得的水泉沟组安山岩锆石 SHRIMP定年结果(胡健民等,2005),力图对辽西早中生代几次构造变形进行比较准确的同位素年龄限制。

(1) 邓杖子组砾岩中安山岩砾石

样品采自辽西凌源市三皇庙村邓杖子组下部砾岩中安山岩砾石。岩性为辉石安山岩,岩石具斑状交织结构,具杏仁状构造、块状构造。主要矿物为斜长石、碱性长石(钾长石和歪长石)(80%左右)、辉石(约5%~15%)。少量磁铁矿、磷灰石、锆石等。阴极发光图象显示,锆石颗粒明显可以区分出两种类型,即柱状和粒状。柱状晶粒具有带状结晶条纹,多显示为晶屑状,粒状晶粒则一般不具结晶条纹,边缘呈浑圆状,可能是熔蚀的结果(图3)。

(2) 髻髻山组英安流纹质火山角砾岩

样品采自河北承德县城南髻髻山组。火山角砾成分为流纹岩、英安流纹岩、流纹质熔结凝灰岩等,棱角状,砾径一般2~20mm。晶屑成分为斜长石、黑云母及钾长石,棱角状,晶粒大小一般0.05~0.5mm。玻屑均重结晶,局部可见弧形棱角状假象。正常沉积物主要为砂-砾级的重结晶流纹质熔结凝灰岩岩屑。火山角砾约65%,凝灰质成分约30%,正常沉积物约5%,少量磁铁矿、褐铁矿、方解石及锆石等。阴极发光图象显示,锆石颗粒为自形短柱状,具环带状结晶条纹,晶体表面常附着生长一些细小的矿物晶体(图4)。

(3) 侵入于逆冲构造系统的安山玢岩

样品采自辽宁凌源市太阳沟,脉体大体顺层侵位于第一期逆冲构造系统的二叠系深灰色、灰黑色含煤页岩及紫红色、灰紫色页岩和三叠系老虎沟组砂岩中(图2)。岩石具斑状结构,斑晶主要为长板条状的斜长石和板柱状角闪石组成,基质为隐晶质,具较弱的绢云母化和黏土化。斑晶含量达80%左右,其中斜长石约80%,角闪石约30%,不透明矿物约10%,呈不规则粒状。锆石阴极发光图象显示,锆石具较好的岩浆结晶环带,短柱状,有时可见具继承锆石的核(图5)。

4.2.3 测试方法

锆石U-Th-Pb同位素分析使用北京离子探针中心高灵敏度高分辨率离子探针(SHRIMP II)测试。锆石样品是采用常规的浮选和电磁选方法进行分选的,然后在双目镜下挑选晶形完好的锆石颗粒,和标准锆石TEM粘贴在环氧树脂表面(TEM标准锆石的标准值为417Ma),抛光后制成样靶。在进行测试前首先对待测锆石进行透射光、反射光以及阴极发光和背散射显微照相,并对锆石的生长特征进行研究。然后将样品靶清洗、镀金后,在SHRIMP II离子探针上根据实验室规范程序进行测定,测定程序见宋彪等(2002)。样品数据与图形处理分别采用SQUI DISOPLLOT2.06版程序(Ludwig, 1999)软件处理。普通Pb采用 ^{204}Pb 校正,标准样和未知样的普通Pb校正用Stacey *et al.* (1975)的417Ma模型给出: $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.864$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.097$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} =$

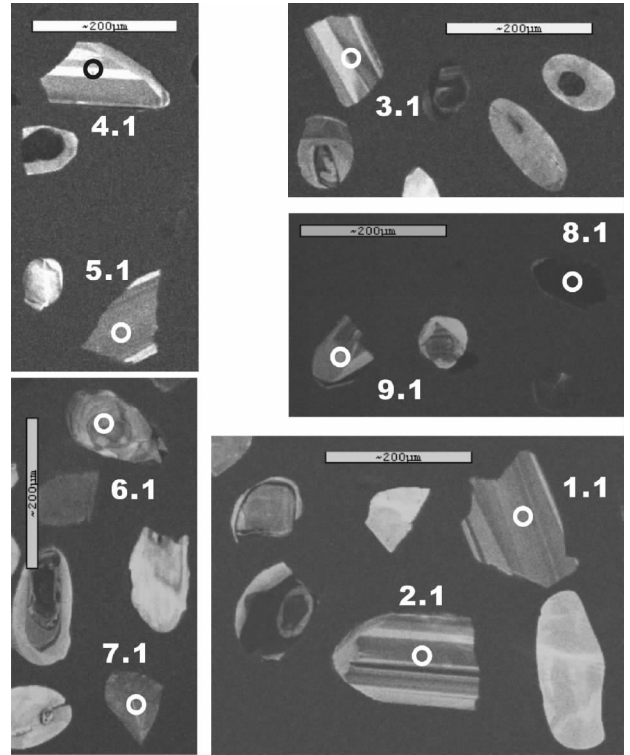


图3 辽西邓杖子组下部安山岩砾石锆石阴极发光图象(样品NGS)

Fig. 3 CL image of zircons from andesitic gravels of the lower Dengzhangzi formation in Western Liaoning Province

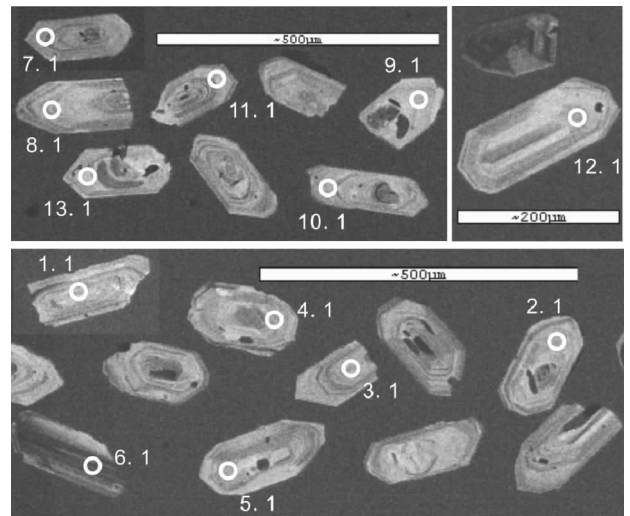


图4 冀北髻髻山组下部火山岩锆石阴极发光图象

Fig. 4 CL image of zircons from volcanic rocks of the lower Tiaojishan formation in Northern Hebei Province

18.052。

北京离子探针中心的高灵敏度高分辨率离子探针(SHRIMP-II)离子束的直径为20 μm ,常常小于锆石颗粒底部岩浆结晶过程中形成的增生锆石部分的宽度,也常常小于

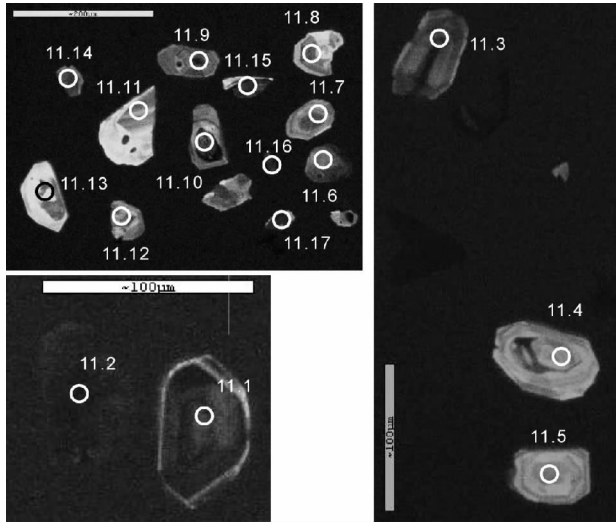


图5 辽西二叠系中侵位的安山玢岩脉体锆石阴极发光图象
Fig.5 CL image of zircons from andesitic porphyrite intruded the Permian system in Western Liaoning Province

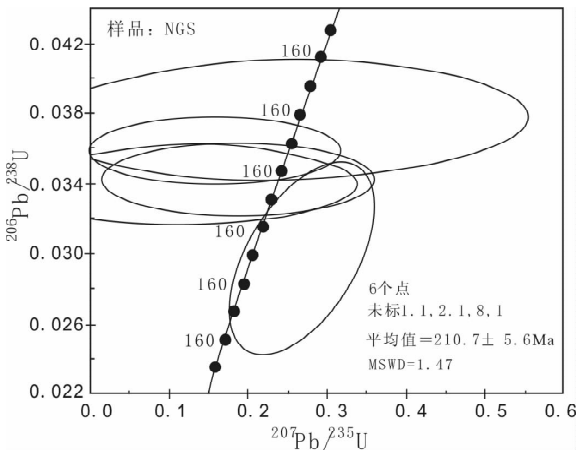


图6 辽西邓杖子组辉石安山岩砾石锆石 SHRIMP 法U-Pb协和图
Fig.6 SHRIMP U-Pb zircon Concordia diagrams for pyroxene andesite of Dengzhangzi Formation in western Liaoning province

颗粒核部继承性锆石的直径。

4.2.4 测试结果

(1)我们最近对辽西凌源市三皇庙村水泉沟组下部块状辉石安山岩进行了锆石 SHRIMP 法 U-Pb 定年,为了讨论方便,本文特地引用该测试结果。一共分析了 18 个点,得到了两组年龄,其中 11 个点获得的平均年龄数值为 $230.4 \pm 3.1\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.81$,另有 5 个点获得的平均年龄数值为 $241.8 \pm 4.3\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 1.9$ (胡健民等,2005)。

(2)邓杖子组砾岩中辉石安山岩砾石锆石 U-Pb 测年结果(表2,图6)

由于样品中锆石颗粒较少,只选出 9 粒可以测试的锆

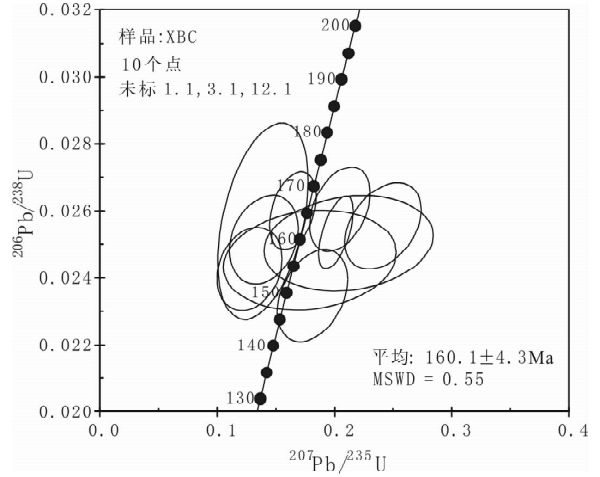


图7 冀北髻髻山组安山岩锆石 SHRIMP 法 U-Pb 协和图
Fig.7 SHRIMP U-Pb zircon Concordia diagrams for andesite of Tiaojiashan Formation in northern Hebei Province

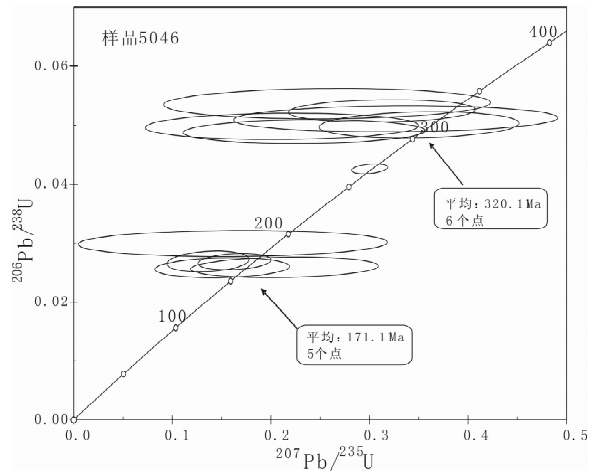


图8 辽西安山玢岩脉锆石 SHRIMP 法 U-Pb 协和图
Fig.8 SHRIMP U-Pb zircon Concordia diagrams for andesitic porphyrite in western Liaoning province

石,其中的 6 个数据获得的平均年龄为 $210.7 \pm 5.6\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 1.47$ 。没有参与计算的三个数据点中 8.1 明显是继承性锆石,年龄 $206\text{U}/208\text{Pb}$ 年龄达 993Ma。

(3)髻髻山组英安流纹质火山角砾岩锆石 U-Pb 测年结果(表3,图7)

共测试了 11 粒锆石,其中的 10 个数据点获得的平均年龄数值平均为 $= 160.1 \pm 4.3\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.55$ 。12.1 数据点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 年龄明显高于其他数据点,为 281Ma,可能为捕获的围岩锆石,没有参与计算。

(4)安山玢岩(表4,图8)

表2 辽西邓杖子组下部火山岩砾石 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年测试结果(样品 NGS)

Table 2 SHRIMP data for zircons from andesitic gravels of the lower Dengzhangzi formation in Western Liaoning Province (Sample: NGS)

点位	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	年龄		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ($\pm\%$)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ($\pm\%$)	误差
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			
5-1.1	7.24	80	71	0.91	2.8	238.1 \pm 8.7	262 \pm 51	0.25 \pm 50	0.0376 \pm 3.7	0.0737
5-2.1	5.70	222	277	1.29	7.2	227.0 \pm 4.8	215 \pm 19	0.16 \pm 41	0.0358 \pm 2.2	0.0520
5-3.1	11.33	178	193	1.12	5.5	200.4 \pm 6.8	119 \pm 36		0.0316 \pm 3.4	
5-4.1	12.82	153	155	1.04	4.9	205.8 \pm 7.5	104 \pm 46		0.0324 \pm 3.7	
5-5.1	11.58	124	115	0.96	4.1	214.0 \pm 8.3	137 \pm 50		0.0338 \pm 3.9	
5-6.1	1.49	232	168	0.75	6.0	189 \pm 14	229 \pm 26	0.27 \pm 14	0.0297 \pm 7.6	0.5434
5-7.1	5.00	285	188	0.68	8.7	215.0 \pm 5.7	165 \pm 48	0.12 \pm 71	0.0339 \pm 2.7	0.0378
5-8.1	0.30	835	181	0.22	119.9	993.2 \pm 6.6	987 \pm 32	1.55 \pm 1.7	0.1666 \pm 0.7	0.4173
5-9.1	5.82	162	164	1.05	5.1	217.1 \pm 5.2	212 \pm 25	0.19 \pm 37	0.0343 \pm 2.5	0.0659

误差 1σ ; Pb_c 和 Pb^* 分别为普通 Pb 和放射性成因 Pb; 标准计算误差为 0.76% (不包括上面的误差; 但当对比不同方法的数据时需要标准误差); 普通 Pb 用测量的 ^{204}Pb 校正。

表 3 冀北髫髻山组下部火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年测试结果 (样品 XBC)

Table 3 SHRIMP data for zircons from volcanic rocks of the lower Tiaojishan formation in Northern Hebei Province (Sample: XBC)

点位	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	Age		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ($\pm\%$)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ($\pm\%$)	误差
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			
2.1	7.88	49	34	0.70	1.18	163 \pm 13	160 \pm 54	0.137 \pm 72	0.0256 \pm 8.2	0.114
4.1	5.91	63	46	0.74	1.36	155.6 \pm 6.0	203 \pm 14	0.297 \pm 8.5	0.02443 \pm 3.9	0.459
5.1	4.52	65	46	0.74	1.50	161.6 \pm 6.4	154 \pm 33	0.226 \pm 28	0.0254 \pm 4.0	0.142
6.1	0.65	221	219	1.02	4.85	157.3 \pm 4.7	135 \pm 13	0.126 \pm 26	0.02470 \pm 3.1	0.118
7.1	3.28	79	67	0.87	1.84	161.0 \pm 5.9	130 \pm 25	0.119 \pm 47	0.02529 \pm 3.7	0.079
8.1	3.86	55	36	0.69	1.22	153.7 \pm 5.8	105 \pm 16	0.109 \pm 47	0.02413 \pm 3.8	0.081
9.1	6.64	40	25	0.66	0.895	155.7 \pm 7.6	151 \pm 47	0.173 \pm 53	0.0244 \pm 4.9	0.094
10.1	5.05	54	39	0.75	1.23	159.7 \pm 6.1	157 \pm 27	0.137 \pm 38	0.02509 \pm 3.9	0.102
11.1	5.53	61	46	0.79	1.34	159.4 \pm 5.9	195 \pm 23	0.220 \pm 21	0.02503 \pm 3.7	0.181
12.1	64.80	33	21	0.65	1.56	281 \pm 17	1,679 \pm 170	3.01 \pm 8.3	0.0446 \pm 6.2	0.745
13.1	3.87	123	76	0.64	2.85	166.9 \pm 5.2	180 \pm 22	0.194 \pm 18	0.02622 \pm 3.1	0.175

误差 1σ ; Pb_c 和 Pb^* 分别为普通 Pb 和放射性成因 Pb; 标准计算误差为 0.97% (不包括上面的误差; 但当对比不同方法的数据时需要标准误差); 普通 Pb 用测量的 ^{204}Pb 校正。

表4 辽西二叠系中侵位的安山玢岩脉体 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年测试结果(样品 2046)

Table 4 SHRIMP data for zircons from andesitic porphyrite intruded the Permian system in Western Liaoning Province (Sample:2046)

点位	$^{206}\text{Pb}_e$ (%)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	Age		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ($\pm\%$)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ($\pm\%$)	误差
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			
9-1.1	2.14	715	248	0.36	33.7	340.2 \pm 3.7	387 \pm 30	0.394 \pm 7.1	0.05419 \pm 1.1	0.157
9-2.1	0.03	218	20	0.10	76.7	2,213 \pm 17	2,132 \pm 89	9.25 \pm 1.2	0.4095 \pm 0.92	0.771
9-3.1	—	122	122	1.04	2.91	164.6 \pm 6.0	52 \pm 35		0.02586 \pm 3.7	
9-4.1	4.75	196	248	1.31	5.11	178.4 \pm 4.5	156 \pm 19	0.176 \pm 36	0.02806 \pm 2.5	0.071
9-5.1	13.07	61	69	1.19	1.74	196.8 \pm 9.8	253 \pm 49	0.58 \pm 24	0.0310 \pm 5.0	0.207
9-6.1	1.63	90	78	0.90	1.97	155.6 \pm 3.8	132 \pm 15	0.120 \pm 29	0.02443 \pm 2.5	0.086
9-7.1	0.49	126	112	0.92	2.69	155.4 \pm 3.3	141.7 \pm 9.3	0.119 \pm 17	0.02439 \pm 2.2	0.131
9-8.1	5.65	60	55	0.95	1.70	187.8 \pm 8.7	139 \pm 50	0.14 \pm 89	0.0296 \pm 4.7	0.053
9-9.1	0.33	86	78	0.95	1.83	148.6 \pm 5.7	94 \pm 29		0.02332 \pm 3.9	
9-10.1	2.49	72	64	0.92	1.84	179.9 \pm 5.4	153 \pm 21	0.152 \pm 33	0.02830 \pm 3.1	0.092
9-11.1	0.19	64	19	0.30	17.3	1,742 \pm 24	1,588 \pm 52	4.85 \pm 2.3	0.3103 \pm 1.6	0.680
9-12.1	2.07	58	42	0.75	1.38	171.7 \pm 4.7	174 \pm 16	0.165 \pm 18	0.02699 \pm 2.7	0.156
9-13.1	0.43	1095	779	0.73	52.9	352.2 \pm 2.8	359.2 \pm 4.9	0.4205 \pm 1.8	0.05615 \pm 0.82	0.452
11.1	—	615	504	0.85	64.2	737.9 \pm 5.1	729.2 \pm 8.4	1.065 \pm 1.4	0.12127 \pm 0.73	0.522
11.2	0.07	757	352	0.48	27.7	268.8 \pm 2.1	266.6 \pm 5.8	0.3003 \pm 2.5	0.04258 \pm 0.80	0.321
11.3	0.08	174	197	1.17	7.97	329.4 \pm 4.7	306 \pm 14	0.313 \pm 12	0.05243 \pm 1.5	0.119
11.4	2.81	91	98	1.11	2.06	164.7 \pm 4.5	175 \pm 15	0.214 \pm 18	0.02588 \pm 2.8	0.153
11.5	2.47	88	73	0.86	2.40	190.2 \pm 5.7	155 \pm 29	0.161 \pm 40	0.02995 \pm 3.0	0.076
11.6	0.05	138	71	0.53	49.7	2,251 \pm 30	2,229 \pm 57	9.67 \pm 2.1	0.4180 \pm 1.6	0.741
11.7	—	114	112	1.02	5.02	313.2 \pm 5.6	264 \pm 22	0.211 \pm 27	0.04979 \pm 1.8	0.069
11.8	1.08	165	169	1.06	3.87	171.0 \pm 4.5	164.6 \pm 8.3	0.136 \pm 12	0.02689 \pm 2.7	0.214
11.9	4.78	168	194	1.20	7.73	321.2 \pm 5.5	320 \pm 23	0.327 \pm 21	0.05109 \pm 1.7	0.085
11.10	—	179	249	1.44	7.75	307.9 \pm 5.1	271 \pm 14	0.234 \pm 22	0.04892 \pm 1.7	0.079
11.11	0.92	132	188	1.46	3.07	170.9 \pm 3.5	173.2 \pm 6.9	0.163 \pm 9.3	0.02686 \pm 2.1	0.223
11.12	0.32	95	116	1.27	4.11	314.8 \pm 5.6	305 \pm 15	0.350 \pm 12	0.05004 \pm 1.8	0.153
11.13	1.86	80	109	1.41	1.80	164.3 \pm 4.4	165 \pm 10	0.151 \pm 19	0.02581 \pm 2.7	0.145
11.14	1.65	119	158	1.37	5.66	337.0 \pm 6.4	318 \pm 20	0.257 \pm 26	0.0537 \pm 2.0	0.074
11.15	0.19	250	113	0.47	110	2,658 \pm 19	2,661 \pm 41	11.47 \pm 1.1	0.5104 \pm 0.86	0.784
11.16	0.02	441	58	0.14	161	2,276 \pm 18	2,171 \pm 62	6.898 \pm 1.2	0.4235 \pm 0.95	0.785
11.17	0.39	486	321	0.68	57.0	817.9 \pm 8.0	778 \pm 24	1.123 \pm 3.6	0.1353 \pm 1.0	0.292

误差 1σ ; Pb_e 和 Pb^* 分别为普通 Pb 和放射性成因 Pb; 标准计算误差为 0.34% (不包括上面的误差; 但当对比不同方法的数据时需要标准误差); 普通 Pb 用测量的 ^{204}Pb 校正。

共测试了 30 粒锆石, 超过 1600Ma 的数据点有 5 个, 800Ma 左右数据点 1 个, 根据安山玢岩地质产状, 不可能代表岩石本身的形成年龄, 应该是岩浆侵位过程中捕获的围岩锆石。其他数据获得两组年龄, 有 13 个数据点的平均年龄为 $167 \pm 7\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 5.8$; 另有 8 个点的平均年龄为 $334 \pm 14\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 15$ 。

5 讨论

冀北、辽西地区位于燕山板内造山带的中部, 其构造变形很可能是燕山地区对华北-蒙古板块周缘碰撞构造的响应。早中生代期间, 华北和扬子板块沿秦岭-大别碰撞带碰撞(张国伟等, 2001; Lothar *et al.*, 2003)、西伯利亚和蒙古-华北板块的碰撞、蒙古-鄂霍茨克洋消失(任纪舜等, 1992)、华北板块内部, 中生代构造最显著的变形是岩石圈的加厚与减薄(邓晋福等, 1996; Gao *et al.*, 2004)、构造体制转换(赵越等, 1994)以及中生代高原的形成(张旗等, 2001)。这些变形都是岩石圈板块之间或者岩石圈板块内部的剧烈构造作用, 位于华北板块内部的燕山板内变形带应该有强烈响应。具体到本文研究的地区, 早中生代发生的这些变形究竟是上述哪次构造作用的记录, 是一个非常难以确定的事情, 需要进一步研究。不过, 由于晚古生代时蒙古板块与华北板块拼贴后, 燕山地区演化为板内变形环境, 因此, 本文所确定的早中生代第一次逆冲很可能是燕山板内造山带最初的变形启动(胡健民等, 2004)。

尽管在辽西地区水泉沟组与邓杖子组整合接触, 但由于两套地层产状近直立, 而且都缺乏古生物化石, 前人发表出来的水泉沟组同位素年龄资料测年方法的局限(王东方等, 1983; 辽宁地质勘察局, 1997; 张长厚等, 2002)等原因, 水泉沟组与邓杖子组的老新叠置关系一直存在争论(徐刚等, 2003; 胡健民等, 2005), 也影响到对于本文第一次逆冲构造时代的认识。因此, 在获得了水泉沟组辉石安山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄后, 我们又对邓杖子组下部砾岩中辉石安山岩砾石中选出锆石进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 以确定这些安山岩砾石可能的来源。结果显示, 邓杖子组下部砾岩中安山岩砾石来自于水泉沟组, 由此也限定了本区中生代第二次逆冲推覆构造发生的时代应该晚于邓杖子组沉积时代。

蓝旗组及髫髻山组的同位素年龄有不少的结果发表, 相比同一地区不同的测试方法, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄相对偏老(Davis, *et al.*, 2001; Cope, 2003), 但锆石 SHRIMP 年龄集中于 157 ~ 165Ma, 其中辽西凌源邢杖子蓝旗组凝灰岩和安山质火山角砾岩分别获得的锆石 SHRIMP 年龄为 $157.5 \pm 0.7\text{Ma}$ 和 $157.9 \pm 0.5\text{Ma}$ (赵越等, 2004)。但最近报道的研究结果中, 承德地区锆石 SHRIMP 年龄比燕山其他地区的年龄新 6 ~ 10Ma(Cope, 2003; Davis *et al.*, 2005; 刘健等, 2006), 年龄偏新的原因被认为是火山岩穿时造成的。然而冀北滦平(张宏等, 2005)、北京西山(赵越等, 2004)、内蒙宁城(陈文,

2004; 季强等, 2004)以及本文研究区辽西凌源地区(赵越等, 2004)髫髻山组、蓝旗组的锆石 SHRIMP 年龄均在 157 ~ 164Ma 之间。而且华北克拉通岩石圈拆离发生在 160Ma 左右(Gao *et al.*, 2004), 起始的时间应该大体一致。本文对承德地区髫髻山组底部火山岩获得的新的锆石 SHRIMP 测年数据也表明与区域上髫髻山组和蓝旗组时代一致, 所以辽西地区中生代第二期变形的时代上限我们还是确定在 $160.1 \pm 4.3\text{Ma}$ 。

辽西地区除在中一新元古界串岭沟组中普遍存在顺层侵位的辉绿岩脉之外, 本文报道的安山玢岩脉体是仅有的中生代侵入岩。锆石的 SHRIMP 定年结果显示, 它们是与蓝旗组、髫髻山组安山岩同期岩浆作用的侵入相产物, 由于研究区内蓝旗组没有直接压盖第一期逆冲构造系统, 这些安山玢岩的定年结果表明, 它所侵位的逆冲构造岩片确实是在蓝旗组沉积之前发生的。

上三叠统水泉沟组不整合在下伏古生界及下、中三叠统之上, 上侏罗统蓝旗组和髫髻山组不整合在下伏晚三叠世一早侏罗世地层之上。这两个不整合面上都直接覆盖了安山质火山岩, 并分别压盖了两期逆冲推覆构造系统。如果认为板内环境下大规模的火山岩沉积是岩石圈伸展背景的产物(Gao *et al.*, 2004), 那么, 燕山地区在三叠纪到中侏罗世, 经历了两次岩石圈挤压与伸展作用的交替过程。这与以往认为的直到晚侏罗世一早白垩世构造体制才由挤压向伸展的认识有所不同(Zhai *et al.*, 2003; 赵越等, 1994)。

6 结论

辽西凌源市太阳沟地区经历的 3 次构造变形中, 第一期指向西的逆冲推覆构造发生在中三叠世末, 其时代限定在老虎沟组沉积之后到水泉沟组火山岩(230Ma 左右)喷发之前; 第二期指向东的逆冲推覆构造发生在早一中侏罗世, 时代限定在邓杖子组沉积之后到 173 ~ 160Ma 之间; 邓杖子组同沉积崩滑岩块发生在晚三叠世一早侏罗世, 而石灰窑子崩塌岩块为代表的辽西—冀北地区比较广泛的崩塌构造则发生在中侏罗世晚期, 时代限定在第二期逆冲构造之后到髫髻山组/蓝旗组火山岩喷发沉积(160Ma)之前。

致谢 赵越研究员对本文的工作和写作曾提出多项重要的建议和有益的讨论, 评审员也对本文提出建设性意见, 特此表示感谢。

References

- Chen AG. 1998. Geometric and kinematic evolution of basement-cored structures; Intraplate orogenesis within the Yanshan orogen, northern China; *Tectonophysics*, 292: 17–42
- Chen W, Ji Q, Liu DY *et al.* 2004. Isotope geochronology of the fossil-bearing beds in the Daohugou area, Ningcheng, Inner Mongolia.

- Geological Bulletin of China, 23 (12): 1165 - 1169 (in Chinese with English abstract)
- Cope TC. 2003. Sedimentary Evolution of the Yanshan Fold-thrust Belt, Northeast China. California: Stanford University, 1 - 230
- Cui SQ and Li JR. 1983. On the Indosinian movement of China's Peri-Pacific tectonic belt. *Acta Geologica Sinica*, 57(1): 51 - 62
- Davis GA, Wang C, Zheng YD, Zhang JJ, Zhang CH and George Gehrels. 1998. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: New views on its intraplate constructional styles. *Geology*, 26(1): 43 - 46
- Davis GA, Zheng YD and Wang C. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, Northern China. *GSA Memoir*, 194: 171 - 197
- Davis GA. 2005. The late Jurassic "Tuchengzi/Houcheng" Formation of the Yanshan Fold-Thrust Belt: An analysis. *Earth Science Frontiers*, 12(4): 328 - 344
- Deng JF, Zhao HL, Mo XX, Wu ZX and Luo ZH. 1996. Continental root-plume tectonics of China-Key to the continental dynamics. Beijing: Geological Publishing House, 30 - 39 (in Chinese)
- Dong SW, Wu XH, Wu ZH, Deng JF, Gao R and Wang CS. 2000. On tectonic seesawing of the east Asian continent-global implication of Yanshanian movement. *Geological Review*, 46: 7 - 13 (in Chinese with English abstract)
- Gao S, Rudnick RL, Yuang HL *et al.* 2004. Recycling lower continental crust in the north China craton. *Nature*, 432: 892 - 897
- Gradstein FM, Ogg JG, Smith AG *et al.* 2004. A new geologic time scale with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, 27: 83 - 100
- Hebei Bureau of Geology. 1976. 1: 200000 Geological map of Chengde sheet and its explanation (in Chinese)
- Hu JM, Liu XW, Zhao Y, Xu G, Liu J and Zhang SH. 2004. On Yanshan intraplate orogen: An example from Taiyanggou area, Lingyuan, western Liaoning Province, northeast China. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 255 - 271 (in Chinese with English abstract)
- Hu JM, Zhao Y, Liu XW, Shi YR and Zhao GC. 2005. SHRIMP U-Pb dating for zircons from pyroxene andesite of Shuiquangou Formation in western Liaoning province and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 24(2): 104 - 109 (in Chinese with English abstract)
- Hu JM, Liu XW, Xu G, Liu J and Zhang SH. 2005. The Sliding-Slump-Mudflow sedimentation during the late Late-Triassic to Middle Jurassic in western Liaoning Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 79(4): 453 - 464 (in Chinese with English abstract)
- Huang TK, Jen CS, Jiang CF, Chang CM and Xu ZQ. 1977. An outline of the tectonic characteristics of China. *Acta Geologica Sinica*, 51(2): 117 - 135 (in Chinese with English abstract)
- Ji Q, Chen W, Wang WL *et al.* 2004. Mesozoic Jehol Biota of western Liaoning, China. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 375 (in Chinese)
- Liaoning Bureau of Geology and Mineral exploration. 1997. The rock stratigraphy of Liaoning province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 247 (in Chinese)
- Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional Geology of Liaoning Province. Beijing: Geological Publishing House, 217 - 251 (in Chinese)
- Liu J, Zhao Y and Liu XM. 2006. Age of the Tiaoishan Formation volcanics in the Chengde basin, north Hebei Province. *Acta Petrologica Sinica*, 22(11): 2617 - 2630 (in Chinese with English abstract)
- Lothar Ratschbacher, Bradley R. Hacker, Andrew Calvert, Laura E. Webb, Jens C. Grimmer, Michael O. McWilliams, Trevor Ireland, Shuwen Dong, Jianmin Hu. 2003. Tectonics of the Qinling (Central China): tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history. *Tectonophysics*, 366: 1 - 53
- Ludwig KR. 1999. User's Manual for Isoplot /Ex, Version 2.06: A geochronological toolkit for Microsoft excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication (1a): 49
- Ren JS, Chen TY, Niu BG, Liu ZG and Liu FR. 1992. Tectonic evolution of the continental lithosphere and metallogeny in Eastern China and Adjacent Area. Beijing: Science Press, 90 - 103 (in Chinese)
- Ren JS, Jiang CF, Zhang ZK and Qin DY. 1980. Geotectonics of China and its evolution. Beijing: Science Press (in Chinese)
- Ren JS, Wang ZX, Chen BW, Jiang CF, Niu BG, Li JY, Xie GL, He ZJ and Liu ZG. 1999. A view of geotectonics of China from globe: A explanation of Geotectonic map of China and adjacent area. Beijing: Geological Publishing House, 29 - 33 (in Chinese)
- Shao JA, Mu BL, Zhang LQ *et al.* 2000. Deep geological process and its shallow response during Mesozoic transfer of tectonic frameworks in eastern North China. *Geological Review*, 46(1): 32 - 40 (in Chinese with English abstract)
- Song B, Zhang YH, Wan YS and Jian P. 2002. Mount making and procedure of the Shrimp dating. *Geological Review*, 48(Supp.): 26 - 30 (in Chinese with English abstract)
- Stacey JS and Kramers JD. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26: 207 - 228
- Wang DF *et al.* 1983. Relations between the characteristics of Rb-Sr isotope of the volcanic rocks and tectonic significance in the western Liaoning Province. Shenyang: Journal of Geological Institute of Shenyang, CAGS, 6: 13 - 24 (in Chinese with English abstract)
- Wang HZ and Mo XX. 1995. An outline of tectonic evolution of China. *Episodes*, 18: 6 - 16
- Wang Y. 1996. Tectonic evolutionary processes of Inner Mongolia-Yanshan orogenic belt in eastern China during the Late Paleozoic-Mesozoic. Beijing: Geological Publishing House, 142 (in Chinese with English abstract)
- Wong WH. 1927. Crustal movements and igneous activities in eastern China since Mesozoic time. *The Bulletin of Geological Society of China*, 6(1): 9 - 36 (in Chinese with English abstract)
- Xu G, Zhan Y, Hu JM, Zeng QL, Liu XW, Wu H and Song B. 2003. Late Triassic thrusting in the Niuyingzi region, western Liaoning, China. *Acta Geologica Sinica*, 77(1): 25 - 34 (in Chinese with English abstract)
- Yan GH, Mu BL, Xu BL, He GQ, Tan LK, Zhao H, He ZF, Zhang RH and Qiao GS. 2000. Triassic alkaline intrusives in the Yanliao-Yinshan area: their chronology, Sr, Nd and Pb isotopic characteristics and implication. *Science in China (Series D)*, 30: 384 - 387 (in Chinese)
- Yang N, Chen ZL, Lei WZ *et al.* 1996. Indosinian tectonics of the northern Hebei Province in the Yanshan region. Beijing: Geological Publishing House, 90 (in Chinese)
- Yin A and Nie S. 1996. A Phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions. In: Yin A, Harrison TM (eds.). *Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 442 - 485
- Zhai MG, Zhu RX, Liu JM, Meng QR, Hou QL, Hu SB, Li Z, Zhang HF and Liu W. 2004. Time range of Mesozoic tectonic regime inversion in eastern North China Block. *Science in China (Series D, Earth Sciences)*, 47(2): 151 - 159
- Zhang CH, Wang GH, Wang GS, Wu ZW, Zhang LS and Sun WH. 2002. Thrust tectonics in the eastern segment of the intraplate Yanshan orogenic belt western Liaoning Province North China. *Acta Geologica Sinica*, 76(1): 64 - 76 (in Chinese with English abstract)
- Zhang CH, Xu DB, Zhang WJ, Cope T, Wang GH, Sun WH, Xiao WF, Zhang ZZ and Zhang JL. 2004. Syntectonic sedimentation analysis applied to the reconstruction of the thrusting deformation process: An

- example from the Mesozoic thrust tectonics in eastern Yanshan Orogenic belt, south of lingyuan City, western Liaoning Province. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 227 - 243 (in Chinese with English abstract)
- Zhang GW, Zhang BR, Yuan XC and Xiao QH. 2001. Qinling orogenic belt and continental dynamics. Beijing: Science Press, 706 - 724 (in Chinese)
- Zhang H, Yuan HL, Hu ZC *et al.* 2005. U-Pb zircon dating of the Mesozoic volcanic strata in Luanping of North Hebei and its significance. *Earth Science*, 30(6): 707 - 720 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Qian Q, Wang EQ, Wang Y, Zhao TP, Hao J and Guo GJ. 2001. An east China plateau in mid-late Yanshanian period: Implication from adakites. *Chinese Journal of Geology*, 36(2): 248 - 255 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Y. 1990. The Mesozoic orogenics and tectonic evolution of the Yanshan Area. *Geological Review*, 36(1): 1 - 13 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Y, Yang ZY and Ma XH. 1994. Geotectonic transition from Paleasian system and Paleotethyan system to Paleopacific active continental margin in eastern Asia. *Scientia Geologica Sinica*, 29(2): 105 - 119 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Y, Zhang SH, Xu G *et al.* 2004. The Jurassic major tectonic events of the Yanshanian intraplate deformation belt. *Geological Bulletin of China*, 23(9 - 10): 854 - 863 (in Chinese with English abstract)
- Zheng SL and Zhang W. 1981. The Mesozoic flora of Liaoning Province. *Transaction of the Liaoning Geology*, 1: 39 - 68 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献**
- 陈文, 季强, 刘敦一等. 2004. 内蒙古宁城地区道虎沟化石层同位素年代学. *地质通报*, 23(12): 1165 - 1169
- 崔盛芹, 李锦蓉. 1983. 试论中国滨太平洋带的印支运动. *地质学报*, 57(1): 51 - 62
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 吴宗絮, 罗照华. 1996. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 30 - 39
- 董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 邓晋福, 高锐, 王成善. 2000. 论东亚大陆的构造翘变-燕山运动的全球意义. *地质论评*, 46: 7 - 13
- 胡健民, 刘晓文, 徐刚, 张栓宏, 刘健. 2005. 辽西晚三叠世末——中侏罗世崩塌-滑坡-泥石流沉积及其构造意义. *地质学报*, 79(4): 453 - 464
- 胡健民, 赵越, 刘晓文, 石玉若, 赵国春. 2005. 辽西凌源地区水泉沟组辉石安山岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义. *地质通报*, 24(2): 104 - 109
- 胡健民, 刘晓文, 赵越, 徐刚, 刘健. 2004. 燕山板内造山带早期构造变形演化——以辽西凌源太阳沟地区为例. *地学前缘*, 11(3): 255 - 271
- 黄波清, 任纪舜, 姜春发, 张之孟, 许志琴. 1977. 中国大地构造基本轮廓. *地质学报*, 51(2): 117 - 135
- 季强. 2004. 中国辽西中生代热河生物群. 北京: 地质出版社, 1 - 375
- 辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁省区域地质志. 北京: 地质出版社, 217 - 251
- 辽宁省地质矿产勘查开发局. 1997. 辽宁省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社
- 刘健, 赵越, 柳小明. 2006. 冀北承德盆地髻髻山组火山岩的时代. *岩石学报*, 22(11): 2617 - 2630
- 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 刘志刚, 刘凤仁. 1992. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 科学出版社, 90 - 103
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 秦德余. 1980. 中国大地构造及其演化. 北京: 科学出版社
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 姜春发, 牛宝贵, 李锦轶, 谢广连, 和政军, 刘志刚. 1999. 从全球看中国大地构造-中国及邻区大地构造图简要说明. 北京: 地质出版社, 29 - 33
- 邵济安, 牟保磊, 张履桥等. 2000. 华北东部中生代构造格局转换过程中的深部作用与浅部响应. *地质论评*, 46(1): 32 - 40
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作/年龄测定及有关现象讨论. *地质论评*, 48(增刊): 26 - 30
- 王瑜. 1996. 中国东部内蒙古·燕山造山带晚古生代晚期—中生代的造山作用过程. 北京: 地质出版社, 142 页
- 王东方. 1983. 燕辽火山岩带铷、锶同位素特征及其大地构造的关系. *中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊*, 6 号: 13 - 24
- 徐刚, 赵越, 胡健民, 曾庆利, 刘晓文, 吴海, 宋彪. 2003. 辽西牛营子地区晚三叠世逆冲构造. *地质学报*, 77(1): 26 - 34
- 阎国翰, 牟保磊, 许保良, 何国琦. 2000. 燕辽-阴山三叠纪碱性侵入岩年代学和 Sr, Nd, Pb 同位素特征及意义. *中国科学, D 辑*, 30: 384 - 387
- 杨农, 陈正乐, 雷伟志. 1996. 冀北燕山地区印支构造特征研究. 北京: 地质出版社, 90
- 张旗, 钱青, 王二七, 王焰, 赵太平, 郝杰, 郭光军. 2001. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示. *地质科学*, 36(2): 248 - 255
- 张长厚, 王根厚, 王果胜, 吴正文, 孙卫华. 2002. 辽西地区燕山板内造山带东段中生代逆冲推覆构造. *地质学报*, 76(1): 64 - 76
- 张长厚, 徐德斌, 张维杰等. 2004. 同构造沉积分析反演逆冲构造变形过程—燕山东段凌源南部中生代逆冲构造变形过程研究. *地学前缘*, 11(3): 227 - 243
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 706 - 724
- 张宏, 袁洪林, 胡兆初等. 2005. 冀北滦平地区中生代火山岩地层锆石 U-Pb 同位素定年及启示. *地球科学*, 30(6): 707 - 720
- 赵越. 1990. 燕山地区中生代造山运动及构造演化. *地质论评*, 36(1): 1 - 13
- 赵越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折. *地质科学*, 29(2): 105 - 119
- 赵越, 张栓宏, 徐刚, 杨振宇, 胡健民. 2004. 燕山板内变形带侏罗纪主要构造事件. *地质通报*, 23(9 - 10): 854 - 863
- 郑少林, 张武. 1981. 辽宁中生代植物群概述. *辽宁地质学报*, 1: 39 - 68