

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

张宏^{1,3}, 柳小明¹, 张晔卿², 袁洪林¹, 胡兆初¹

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. 河北省区域地质矿产调查研究所, 河北廊坊 065000

3. 中国地质调查局沈阳地质研究所, 辽宁沈阳 110032

摘要: 辽西凌源附近地区张家口组(J_3z)火山岩及以前的中生代地层以北东东向构造为主, 而义县组(K_1y)沉积—火山岩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。新的 LA-ICP-MS 的单颗粒锆石 U-Pb 的测年结果表明, 辽西凌源地区张家口组的底界年龄为 132 Ma, 顶界年龄为 129.5~130 Ma; 冀北滦平地区张家口组的底界年龄为 136 Ma, 顶界年龄为 135 Ma。经综合分析, 得出以下的初步结论: (1) 冀北滦平与辽西凌源地区的张家口组是可比的; 同时, 说明了冀北滦平地区到辽西凌源地区的张家口组火山岩有明显的随时间迁移的特点。 (2) 凌源地区张家口组的顶界与义县组的底界有约 5~6 Ma 的时间间隔, 从年代学上证明了凌源附近地区张家口组与义县组之间为角度不整合接触的可靠性, 暗示了该 5~6 Ma 的间隔期是冀北—辽西附近地区中生代构造格架转换的主要时期, 该时期也正是我国东北地区中生代岩浆作用的鼎盛时期; 暗示了该时期岩浆作用的动力学背景应与构造格架的转换有直接的联系; 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, 说明该时期也是一个重要的生物界限。 (3) 从年代学方面厘定了冀北滦平的大北沟组在时代上应相当于张家口组的上部层位, 而不是广义义县组的底部层位。

关键词: 锆石 U-Pb 年龄; 张家口组; 顶底界限; 滦平; 凌源。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2005)04-0387-15

收稿日期: 2005-04-12

Zircon U-Pb Ages and Significance of Bottom and Top Beds of Zhangjiakou Formation in Liaoning and Hebei Provinces

ZHANG Hong^{1,3}, LIU Xiao-ming¹, ZHANG Ye-qing², YUAN Hong-lin¹, HU Zhao-chu¹

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

2. Hebei Institute of Regional Geology and Mineral Resources Research, Langfang 065000, China

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

Abstract: In Lingyuan region, Liaoning Province, the Zhangjiakou Formation and the Lower Mesozoic strata are in an ENE orientation, while the Yixian Formation is NNE orientated, the two formations are angular unconformity. According to the new U-Pb isotopic age analysis of zircon by LA-ICP-MS, the bottom bed of the Zhangjiakou Formation in Lingyuan is about 132 Ma, and the top bed is about 129.5–130 Ma. In Luanping region, Hebei Province, the bottom bed of the Zhangjiakou Formation is about 136 Ma, and the top bed is about 135 Ma. The Zhangjiakou Formation in the Lingyuan and Luanping regions is comparable, which reflects that the volcanic rock of the Zhangjiakou Formation from Luanping to Lingyuan becomes younger in time. The top bed of the Zhangjiakou Formation in Lingyuan has about a 5–6 Ma interval with the bottom bed of Yixian Formation, which proves that the angular unconformity of Zhangjiakou Formation and Yixian Formation is credible; suggesting that the 5–6 Ma interval period is the main period of the transition of tectonic framework in the Mesozoic in Hebei and Liaoning provinces. In the interval period, the magmatic action went up to high tide in the Mesozoic in the northeast

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 (No. 2000010403; No. 200413000024)。

作者简介: 张宏 (1965—), 男, 研究员, 主要从事构造、地球化学研究。目前在西北大学博士后流动站学习。E-mail: syzhanghongtt@163.com

of China. Moreover, after the interval period, the Rehe fauna developed into the “erupted” period, which also reflects that the interval period is an important biological interface in Hebei and Liaoning provinces. According to the isotopic age, the Dabeigou Formation in Luanping region corresponds to the upper bed of the Zhangjiakou Formation, not to the bottom bed of the Yixian Formation.

Key words: zircon U-Pb age; Zhangjiakou Formation; bottom and top beds; Luanping; Lingyuan.

0 引言

冀北—辽西地区中生代的构造、地层古生物以及火山岩特征具有共性,同时又存在着差异。20世纪90年代以来,随着该地区热河动物群及中生代火山岩研究的不断深入,该地区成为了国际地学界关注的热点,前人对该地区中生代火山岩地层的地质层序、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的重要成果(Chen *et al.*, 1998; Ji *et al.*, 1998; Sun *et al.*, 1998; Swisher *et al.*, 1999; Zhang and Zhou, 2000; Xu *et al.*, 2001; Zhou and Zhang, 2003; Zhou *et al.*, 2003; Gao *et al.*, 2004; 王五力等, 2004a, 2004b; 季强等, 2002, 2004; 武法东等, 2004; 张宏等, 2004)。然而,该地区中生代的构造、地层古生物及火山岩综合对比研究的滞后限制了对该地区的进一步深入、系统的研究。前人一直在探索该方面的研究,并已经取得了重要进展(王思恩, 1999; 孙革和郑少林, 2000; 陈丕基, 2004; 季强, 2004; 王五力等, 2004a, 2004b);但是,某些关键地质问题仍然没有解决,其中,冀北—辽西地区张家口组的定位及区域对比问题一直没有解决。自从河北省地质局(1996)定义了张家口组为土城子组之上和广义义县组之下的一套以(中)酸性火山岩为主的火山岩建造以来,主要有2种观点:一种观点认为冀北地区张家口组是从印支期开始的中国东部构造格局大改组、动力体系大转换最终完成时代之后的产物(牛宝贵等, 2002),冀北张家口组火山岩的地球化学特征更接近于义县组(相应层位)(邵济安等, 2003),从而限制了冀北张家口组与义县组(相应层位)火山岩具有相近的构造、地球化学背景;另一种观点认为冀北地区的张家口组火山岩与义县组(相应层位)火山岩之间的地球化学特征存在着差异,是可以区分的(季强, 2004),牛绍武等(2002)在河北滦平张家口组之上的大北沟组中首次发现了土城子组中的重要分子 *Pseudograptia* 属,证明了大北沟组的叶肢介动物群与土城子组的叶肢介关系密切,使得张家口组与土城子之间的亲缘性更

强,从而限制了张家口组应是中国东部构造格局大改组、动力体系大转换完成之前的产物,与冀北—辽西地区的义县组(相应层位)应划归不同的构造层,有着不同的构造地球化学背景。

可见,对冀北—辽西地区张家口组的认识直接影响了对冀北—辽西地区中生代构造格架转换时期、岩浆活动动力学背景以及地层古生物的综合对比研究。而解决张家口组层位的关键问题是在野外寻找到可确定张家口组层位关系的关键地质界面,并对张家口组进行系统的年代学研究。

笔者近年在冀北—辽西地区工作,发现辽西凌源地区不仅存在张家口组,而且其与上部的义县组之间为角度不整合,二者之间的构造线方位明显不同;并初步测得该张家口组顶部层位火山岩单颗粒锆石的 U-Pb 年龄为 132~130 Ma(张宏等, 2005),最近笔者又对冀北的滦平、辽西凌源地区的张家口组进行了系统地单颗粒锆石 LAI-CP-MS 的 U-Pb 测年,结果发现两地区张家口组火山岩在年代上有一定的规律性,从而厘定了冀北—辽西地区张家口组的年代及层位关系。

1 区域地质背景

冀北滦平、辽西凌源地区在构造地质特征方面存在明显的区别。滦平附近地区以北东东(近东西)向构造为主;凌源附近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(图 1),是研究我国东部中生代北东东(近东西)向构造转变为北北东(北东)向构造的关键地区。

在中生代地层方面,2个地区在地层层序上有很多相近之处,但是不同时代地层的接触关系差别较大。在滦平附近地区,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(J_3t)沉积岩、张家口组(J_3z)火山岩、大北沟组(J_3d)沉积岩、大店子组(Kd)和西瓜园组(K_1x)沉积岩,以上地层之间以整合或平行不整合接触为特征(图 1)。其中大北沟组沉积岩中有热河动物群的早期分子;而大

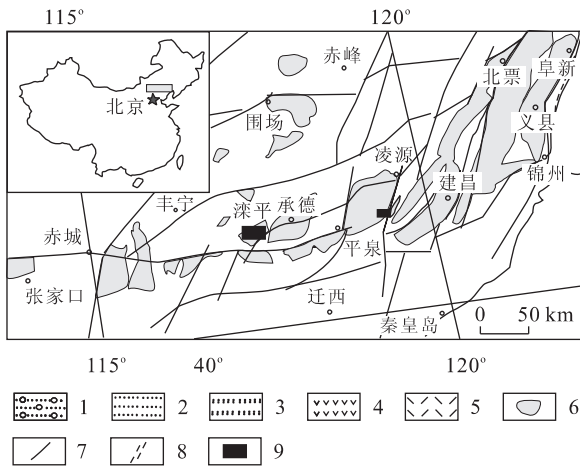


图 1 冀北滦平—辽西凌源附近地区构造位置及中生代地层层位对比

Fig. 1 Geological map in brief and contrast of Mesozoic strata in Lingyuan and Luanping regions

1. 砂砾岩; 2. 砂岩、粉砂岩; 3. 凝灰岩; 4. 中性火山岩; 5. 酸性火山岩; 6. 中生代盆地; 7. 断裂; 8. 韧性剪切带; 9. 工作区。J_{3t}. 土城子组; J_{3z}. 张家口组; J_{3d}. 大北沟组; K_d. 大店子组; K_{1y}. 义县组; K_{1x}. 西瓜园组

冀北滦平地区(据田树刚等, 2004)			辽西凌源地区		
组名	基本岩性	测年数据/Ma	组名	基本岩性	测年数据/Ma
西瓜园组 K _{1x}	砂砾岩		义县组 K _{1y}	砂岩、粉砂岩	
大店子组 K _d	凝灰岩			酸性火山岩	
大北沟组 J _{3d}	砂岩、粉砂岩	130~133 柳永清等, 2003	张家口组 J _{3z}	酸性火山岩	130~132 张宏等, 2005 129.5~130 本文
张家口组 J _{3z}	酸性火山岩	135本文 135柳永清等, 2003 135季强, 2004	土城子组 J _{3t}	砂砾岩	132本文
土城子组 J _{3t}	砂砾岩	134 Niu et al., 2004 136牛宝贵等, 2002 136本文			

店子组和西瓜园组,尤其是西瓜园组沉积岩中富含大量热河动物群的化石。值得一提的是,在冀北地区,除了承德骆驼山地区见张家口组与土城子组之间有角度不整合接触外,不论是滦平地区还是其他地区,2者均以整合、平行不整合接触为特征。在凌源附近地区(主要指三十家子盆地的前楼—帽子山地区)出露的中生代地层由下而上主要有髫髻山组火山岩、土城子组沉积岩、张家口组火山岩、义县组沉积—火山岩,其中张家口组火山岩及以前的中生代地层以北东东(近东西)向构造为主,而义县组沉积—火山岩系以北北东向构造为主,底部为沉积岩,并有10~20 m厚的底砾岩,所以张家口组与义县组之间为角度不整合接触(张宏等,2005)。在义县组底部的沉积岩中富含大量热河动物群化石。

2 地区中生代的火山活动也有比较大的区别:在滦平附近地区分布有髫髻山组的中、酸性火山岩和张家口组的酸性(少量中性)火山岩,它们在冀北地区,尤其是在冀北的中、东部地区很有代表性,在义县组(相应层位)中火山岩占有的比例非常小。凌源附近地区的中生代火山岩中,髫髻山组火山岩有一定量的分布,张家口组岩性较为齐全,为一套中性、中酸性火山岩、火山碎屑岩;由英安岩、流纹岩、安山岩以及同质火山角砾岩、凝灰岩组成,区内最大厚度大于700 m(张宏等,2005)。义县组中,除底部为沉积岩外,中、上部均为酸性火山熔岩及火山角砾岩,火山岩厚度大于200 m(张宏等,2005)。

2 张家口组火山岩的年代学研究

2.1 张家口组火山岩的年代学研究简史

迄今为止,对冀北—辽西地区张家口组的测年数据如表1,从表1可知,张家口组的测年数据差别较大。20世纪以来随着新的测年技术、方法的应用,测年结果是比较相近的(表1),尤其是承德—滦平地区张家口组火山岩的测年结果比较接近,反映该地区张家口组火山岩的形成时间为136~134 Ma左右。为了与前人的测年结果对比,笔者在滦平张家口沟门和郝营地区所采集的张家口组火山岩顶、底界线的2个测年样品与前人(牛宝贵等,2002;柳永清等,2003)采于同一剖面的同一层位(见下文),并且测年的结果十分接近(表1)。

2.2 样品的采集及制样

为了确定凌源地区张家口组火山岩的年龄,在采样过程中,除了对顶、底进行系统的采样外,对张家口口的中部层位和重点地区也进行了采样(表2)。对底部采样主要集中在庄户沟和前楼附近(但是在前楼附近采集的3个样品的测年结果表明,该地区明显受到义县期岩浆作用的影响),对中部层位的采样即为凌源薛家沟村南东的4129-4样品,对顶部层位的采样仍在帽子山地区,除了原有的2个测点(张宏等,2005),又增加了1个测点,即4129-5样品,同时对凌源帽子山村东山张家口组的1个颈相火山岩进行了采样(图2),即41017-4样品。

表 1 冀北—辽西地区张家口组火山岩的同位素年龄

Table 1 Isotopic ages of Zhangjiakou Formation in West Liaoning and North Hebei

层位	采样地点	测试对象	测定方法	年龄值/Ma	资料来源
张家口组(下部)	滦平郝营	流纹岩	Rb-Sr	145.3±9.5	胡光华等,1982
张家口组(底)	滦平郝营	粗安岩	Ar-Ar	151	罗修泉等,1997
张家口组	崇礼县大水沟	流纹岩	Rb-Sr	139.2±8.9	邵济安等,2003
	赤城县炮台镇	英安岩、流纹岩		138±13	
张家口组(顶)	滦平张家口门	流纹岩中锆石	SHRIMP U-Pb	135.4±1.6	柳永清等,2003
张家口组(底)	滦平井上	流纹岩透长石	Ar-Ar	135.3±1.4	季强,2004
张家口组(底)	承德骆驼山	流纹岩中锆石	SHRIMP U-Pb	135.8±3.1	牛宝贵等,2002
张家口组(底)	滦平郝营	流纹岩中锆石		133.9±1.3	
张家口组(底)	承德骆驼山	流纹岩中锆石	SHRIMP U-Pb	128.8±1.3	Niu <i>et al.</i> , 2004
张家口组(上部)	承德骆驼山北部	流纹岩中锆石		125.9±2.8	
张家口组(顶)	凌源帽子山	英安岩中锆石	LA-ICP-MS U-Pb	130~132	张宏等,2005
张家口组(顶)	滦平张家口门	流纹岩中锆石		135.2±2.3	
张家口组(底)	滦平郝营	凝灰岩中锆石		135.7±1.8	
张家口组(顶)	凌源庄户沟、帽子山薛家沟	英安岩、凝灰岩中锆石流纹岩锆石	LA-ICP-MS U-Pb	129.5~130 (4个样品)	本文
张家口组(底)	凌源帽子山附近	流纹岩中锆石		131.7±1.7	

表 2 采样点位置情况

Table 2 Information of sample locations

样品号	用 GPS 测量的经纬度	地点	岩性	层位
4129-3	41°01.264', 119°08.625'	凌源庄户沟村南	(酸性)凝灰岩	张家口组(底?)
4129-4	41°01.228', 119°09.156'	凌源薛家沟村南东	(酸性)凝灰岩	张家口组(中部)
4129-5	41°01.397', 119°11.731'	凌源帽子山山口	英安岩	张家口组(顶)
41017-4	41°02.847', 119°12.684'	凌源帽子山村东山	流纹岩	张家口组(底)
41016	40°45.788', 117°23.770'	滦平郝营	流纹岩凝灰岩	张家口组(底)
41015	40°49.137', 117°13.033'	滦平张家口门	凝灰岩流纹岩	张家口组(顶)

滦平地区的采样工作分别在该地区张家口组 2 条代表性剖面进行。其中的 41015 样品采在张家口组剖面张家口组的顶部,前人在同一层位(相距约 80 m)获得 SHRIMP U-Pb 年龄为(135.4±1.6)Ma(柳永清等,2003);其中的 41016 采样点位于郝营—西瓜园剖面张家口组的底部,前人在同一采样点获得 SHRIMP U-Pb 年龄为(133.9±1.3)Ma(Niu *et al.*, 2004)。

矿物(锆石)的分选工作是在河北区调队(廊坊)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。

2.3 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。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 原位定年分析中,激光剥蚀系统为德国 Lamda Physik 公司的 GeoLas 200 m 深紫外(DUV)193 nmArF 准分子(excimer)激光剥蚀系统,分析中采用的激光斑束直径为 30 μm,以²⁹Si 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,仪器参数见参考文献(Yuan *et al.*, 2004)。其中,样品 41017-4 为 2004 年测得,使用的 ICP-MS 为 Elan 6100DRC 型;其余样品为 2005 年 2 月测得,使用的 ICP-MS 为新购置的 Agilent 7500 型,仪器灵敏度高,所以测得的数据精度较高(同时使得加权平均年龄中代表离散程度的 MSWD 值较大)(图 4)。测量中选取环带发育,不具有内核的柱状岩浆锆石作为测年对象(图 3)。

2.4 年代学测定结果

4129-3 号样品中,锆石可大致分为 2 种,一种为有核的,另一种为无核的,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、颗粒较小、短柱状、晶型完整、长轴 70~90 μm、长短轴比为 1.3~1.6。共有 30 个样品测点,校正后具体分析数据中除去远离²⁰⁶Pb/²³⁸U—²⁰⁷Pb/²³⁵U 谐和线或远离加权平均值的 12、14、19、26 四个测点

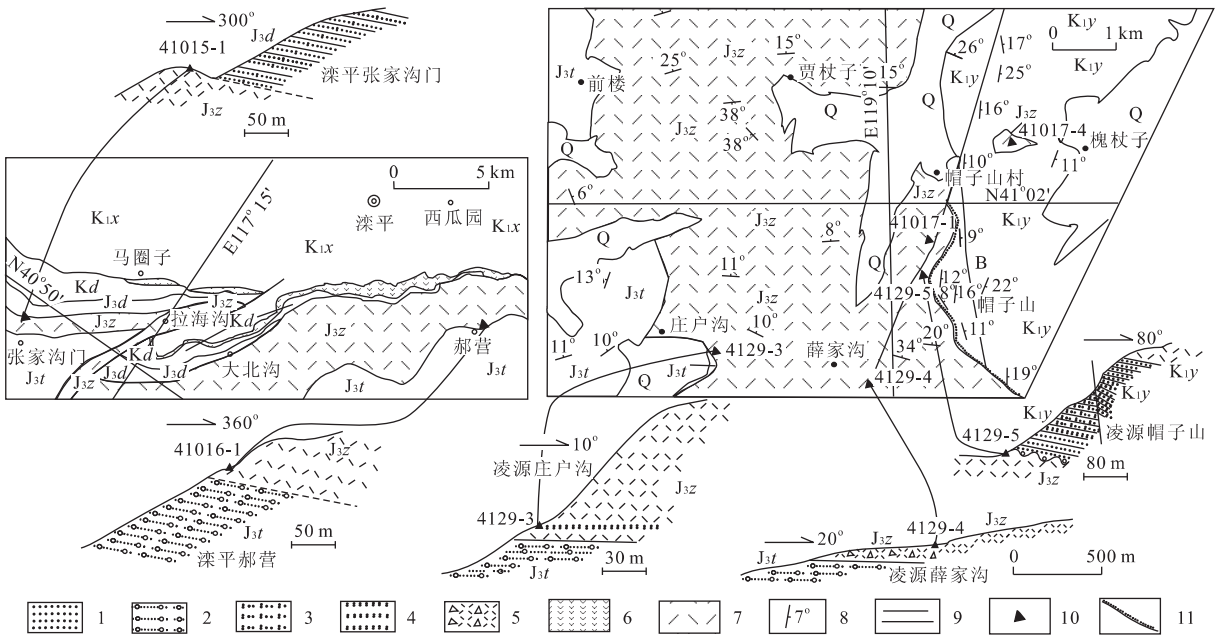


图 2 冀北滦平—辽西凌源地区同位素采样点位置

Fig. 2 Geological map in brief of isotopic sample location in Lingyuan and Luanping regions

1. 砂岩、粉砂岩; 2. 砂砾岩; 3. 凝灰质砂岩; 4. 凝灰岩; 5. 火山角砾岩; 6. 中性火山岩; 7. 酸性火山岩; 8. 地层产状; 9. 断裂; 10. 同位素采样点; 11. 角度不整合; J_{3t}. 土城子组; J_{3z}. 张家口组; J_{3d}. 大北沟组; K_d. 大店子组; K_{1y}. 义县组; K_{1x}. 西瓜园组; Q. 第四系

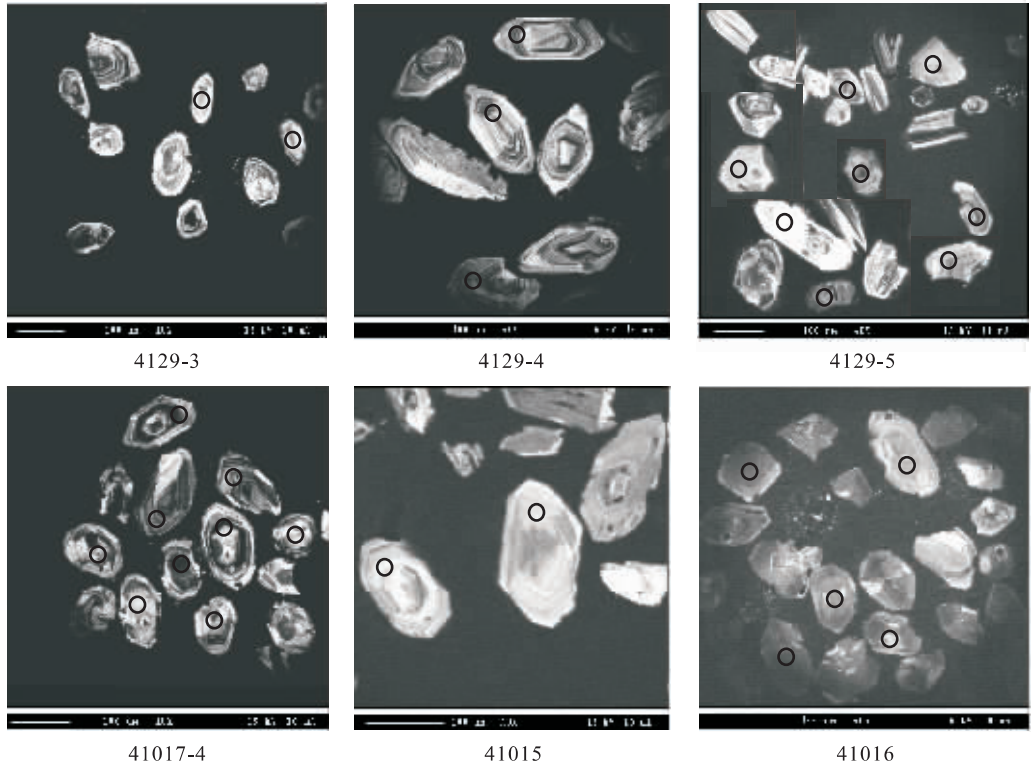


图 3 样品中锆石的阴极发光照片(其中的黑色圆圈为激光剥蚀位置)

Fig. 3 Magmatic zircon in samples, the black circles are the positions of laser points

后(表 3),其余样点的谐和性较好(图 4),其加权平均年龄为(129.6±0.9)Ma(2σ).

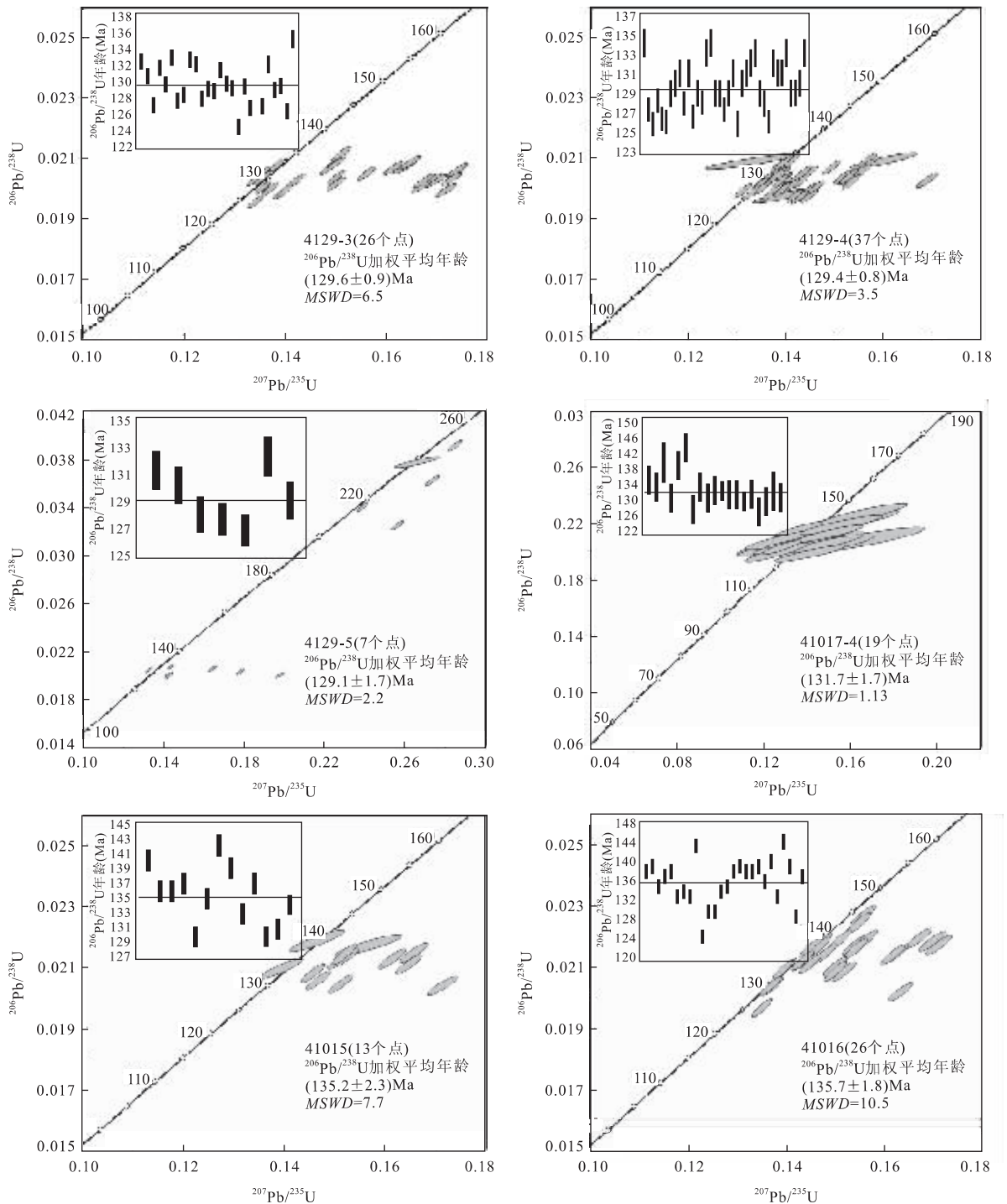


图 4 滦平、凌源地区张家口组火山岩样品的锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordant diagram of samples of Zhangjiakou Formation

4129-4 号样品中锆石较为单一,以短柱状为主、振荡环带清晰、长轴为 120~170 μm 、长短轴比为 1.2~1.7(图 3)。共有 41 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 6、9、26、53 四个测点后(表 3),其余样点的谐和性良好(图 4),其加权平均

年龄为 $(129.4 \pm 0.8)\text{Ma}$ (2σ)。

4129-5 号样品,锆石较为复杂,而且获得的锆石颗粒较少(图 3 中 4129-5 的锆石图像是将多张照片中的锆石剪切在一张上),主要是选取环带较为发育、晶型完整的锆石作为测年对象(图 3)。共有 13 个样品测点,校正后数据在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐

和图分为明显的 2 个值区,一个为 220~230 Ma 左右,说明该地区受到了印支期岩浆活动的影响,这显然不是张家口组的年龄;另一个为 130 Ma 左右,7 个测点谐和性较好(图 4),其加权平均年龄为 $(129.1 \pm 1.7) \text{Ma} (2\sigma)$ 。

41017-4 号样品中,锆石较为单一,以短柱状为主,长轴为 100~130 μm ,长短轴比为 1.1~1.5 (图 3)。共有 25 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 9、10、15、18、31 五个测点后(表 3),其余样点的谐和性良好(图 4),其加权平均年龄为 $(131.7 \pm 1.7) \text{Ma} (2\sigma)$ 。

凌源地区以上 4 个测年数据结合笔者先前的测年结果(张宏等,2005),说明该地区张家口组火山岩的形成时间为 132~129.5 Ma。值得注意的是本文的底部层位样品(4129-3)、中部层位样品(4129-4)和上部层位样品(4129-5)的测年结果非常接近,为 129.5 Ma 左右,结合之前获得的顶部样品(41017-1)(位于 4129-5 号样品北约 600 m)年龄为 $(130.2 \pm 1.5) \text{Ma} (2\sigma)$ (张宏等,2005),说明凌源附近地区张家口组顶界年龄为 129.5~130 Ma。41017-4 样品的测年结果较大,为 $(131.7 \pm 1.7) \text{Ma}$,笔者先前测得的张家口组火山岩的 132 Ma(张宏等,2005)也是在该点附近获得。以上数据应反映以下地质特征:凌源地区张家口组火山岩的主体喷发时间较为短暂,这一点与滦平地区张家口组火山岩的喷发特征相同;而且早期的喷发规模较小(点式喷发),之后的主体喷发期为超覆式喷发(相对的面式喷发)。

41015 号样品中锆石较为单一,以短柱状为主、振荡环带较为发育、长轴为 100~130 μm 、长短轴比为 1.1~1.4(图 3)。有 18 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 6、8、10、17、18 五个测点后(表 3),其余样点的谐和性较好(图 4),其加权平均年龄为 $(135.2 \pm 2.3) \text{Ma} (2\sigma)$ 。该测年结果与柳永清等(2003)的 SHRIMP U-Pb 年龄 $(135.4 \pm 1.6) \text{Ma}$ 完全吻合,从而限定了冀北滦平地区张家口组火山岩的上限年龄。

41016 号样品中,锆石较为单一,以椭圆状为主、扇型环带发育、无内核、晶型完整、长轴为 100~120 μm 、长短轴比为 1.1~1.3 左右(图 3)。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 18、33、34、37、40、42、43、44、45 九个测点后(表 3),其余样点的谐和性较好(图 4),其加权平均年龄为 $(135.7 \pm 1.8) \text{Ma} (2\sigma)$ 。该样品结果与 Niu *et al.* (2004) 的同点样品 SHRIMP U-Pb 年龄 $(133.9 \pm 1.3) \text{Ma}$ 有一定的差异,但是均反映该地区张家口组底界年龄值和顶界年龄值相近。

滦平张家口组的顶、底火山岩测年结果表明:该地区张家口组火山岩的喷发时间较短,为 135~136 Ma 之间。

3 结论

(1)测年结果表明,冀北滦平、辽西凌源地区张家口组火山岩的年龄有一定的差异;但是在层位关系上,两地区的张家口组均位于土城子组之上,又均在富含大量热河动物群层位的义县组(相应层位)之下,说明了 2 地区的张家口组是完全可比的。(2)冀北滦平、辽西凌源地区张家口组火山岩顶底界年龄的确定,对冀北—辽西地区中生代地层的对比提供了新的重要证据:凌源地区张家口组火山岩顶界年龄为 129.5~130 Ma,前人测得冀北滦平地区大北沟组上部的凝灰岩 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(133.9 \pm 2.5) \text{Ma}$ 、 $(130.1 \pm 2.5) \text{Ma}$ (柳永清等,2003),说明了滦平地区大北沟组在时代上相当于张家口组。再者,本文测年数据表明,滦平地区张家口组顶、底测年结果均老于凌源地区,说明了张家口组火山岩由西向东随时间的推移有变新的趋势,即张家口组火山岩随时间的变化有一定的迁移性,这对进一步研究冀北—辽西地区张家口组火山岩的形成演化背景、中生代的地层对比有重要的意义。(3)本文进一步确定了凌源地区张家口组火山岩顶界年龄为 129.5~130 Ma,同时笔者的最新测年结果表明该地区的义县组底部层位——大王杖子层(或大新房子层)的形成时代为 125~122 Ma(见另文);前人的研究结果表明,该地区义县组底部的大王杖子层(大新房子层)在化石组合上相当于北票四合屯尖山沟层,尖山沟层的形成年龄为 126~123 Ma(季强,2004)。可见该地区张家口组的顶部和义县组的底部有约 5~6 Ma 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,而在此时期的前后正是中国东部中生代构造格架的变换时期—变格时期(任纪舜,2002),该变格作用主要时期的确定是地质学家一直关注的问题,而确定该时期的

关键是找到一个区域上有代表性的构造不整合界面。凌源地区张家口组与义县组之间的角度不整合可能是中国东部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 129.5~130 Ma 至 125~122 Ma 期间,也是我国东北地区岩浆作用最为强烈的时期,暗示了该时期岩浆作用形成的动力学机制应与当时的构造变格作用密切相关。更值得注意的是,该时期在辽西的北票—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# 可达 60~70, 它们显然是幔源岩浆作用的产物(见另文)。这些幔源岩浆喷发时间和凌源地区不整合界面的间隔期如此吻合,说明了该幔源岩浆活动的动力学背景应与中国东部的构造变格作用相关。(5)在 129.5~130 Ma 至 125~122 Ma 期间,也是冀北—辽西地区中生代的一个重要的古生物界面。在该界限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大爆发层位(季强, 2004; 陈丕基, 2004; 孙革和郑少林, 2000; 王思恩, 1999; 王五力等, 2004a, 2004b), 这也说明了凌源地区该不整合的重要性。

致谢: 西北大学大陆动力学重点实验室的全体工作人员, 是在他们的帮助下本文的测试数据才得以及时、准确、快速地测得!

References

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.

Chen, P. J., Wang, Q. F., Zhang, H. C., et al., 2004. Discuss the Jianshangou bed of Yixian Formation. *Science in China (Series D)*, 34(10): 883—895 (in Chinese).

Gao, S., Rudnick, R. L., Yuan, H. L., et al., 2004. Recycling lower continental crust in the North China craton. *Nature*, 432: 892—897.

Geological Bureau of Hebei Province, 1996. Polycontrasting study to the whole-country strata (13)—rock strata in Hebei Province. China University of Geosciences Press, Wuhan, 80—82 (in Chinese).

Hu, G. H., Hu, S. L., Wang, S. S., et al., 1982. Discussing the age of the Jurassic-Cretaceous volcanic strata according isotopic ages. *Acta Geologica Sinica*, 56(4): 315—323 (in Chinese with English abstract).

Ji, Q., 2004. Mesozoic Jehol Biota of western Liaoning, China. Geological Publishing House, Beijing, 1—375 (in Chinese).

Ji, Q., Currie, P. J., Norell, M. A., et al., 1998. Two feathered dinosaurs from northeastern China. *Nature*, 393: 753—761.

Ji, Q., Ji, S., Yuan, C. X., et al. 2002. Restudy on a small dromaeosaurid dinosaur with feathers over its entire body. *Earth Science Frontiers*, 9(3): 57—63 (in Chinese with English abstract).

Liu, Y. Q., Li, P. X., Tian, S. G., 2003. SHRIMP U-Pb zircon age of Late Mesozoic tuff (lava) in Luanping basin, Northern Hebei, and its implications. *Geological Bulletin of China*, 22(3): 238—244 (in Chinese with English abstract).

Luo, X. Q., Li, P. X., 1997. Study of the Jurassic-Cretaceous boundary. *Acta Geoscientica Sinica*, 18(3): 242—247 (in Chinese with English abstract).

Niu, B. G., He, Z. J., Song, B., et al., 2002. SHRIMP geochronology of volcanics of the Zhangjiakou and its significance. *Geological Bulletin of China*, 22(2): 140—141 (in Chinese with English abstract).

Niu, B. G., He, Z. J., Song, B., et al., 2004. SHRIMP geochronology of volcanics of the Zhangjiakou and Yixian formations, northern Hebei Province, with a discussion on the age of the Xing'anling Group of the Great Hinggan mountain and volcanic strata of the southeastern coastal area of China. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 78(6): 1214—1228.

Niu, S. W., Li, P. X., Tian, S. G., et al., 2002. New research progress of conchostracon fossils from the Dabeigou Formation in the Luanping basin, Hebei, China. *Geological Bulletin of China*, 21(6): 322—328 (in Chinese with English abstract).

Ren, J. S., 2002. China and adjacent tectonic map (1 : 5 000 000). Geological Publishing House, Beijing, 3—10 (in Chinese).

Shao, J. A., Zhang, L. Q., Chu, Z. Y., 2003. Early Cretaceous volcanism-sedimentation in northern Hebei and its tectonic setting: A discussion. *Geological Bulletin of China*, 22(6): 384—390.

Sun, G., Dilcher, D. L., Zheng, S. L., et al., 1998. In search of the first flower: A Jurassic angiosperm. *Archaeofructus*, from Northeast China. *Science*, 282(5394): 1692—1695.

Sun, G., Zheng, S. L., 2000. New proposal on division and correlation of Mesozoic from northeastern China. *Journal of Stratigraphy*, 24(1): 60—64 (in Chinese with English abstract).

Swisher, C. C., Wang, Y. Q., Wang, X. L., et al., 1999. Cretaceous age of the feathered dinosaurs of Liaoning, China. *Nature*, 400: 58—61.

- Wang, S. E., 1999. Palaeoecology and palaeoenvironment of the Jehol Biota—A palaeoecological and palaeoenvironment reconstruction of conchostracan palaeocommunities in the northern Hebei-western Liaoning area. *Acta Geologica Sinica*, 73(4): 289—301 (in Chinese with English abstract).
- Wang, W. L., Zhang, H., Zhang, L. J., et al., 2004b. The standard stratigraphic sections of Tuchengzi stage and Yixian stage and their stratigraphy, palaeontology and tectonic-volcanic actions. Geological Publishing House, Beijing, 429—434 (in Chinese).
- Wang, W. L., Zhang, L. J., Zheng, S. L., et al., 2004a. A new study on the stratotype and biostratigraphy of the Yixian stage in the Yixian-Beipiao region, Liaoning. *Acta Geologica Sinica*, 78(4): 433—447 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. D., Chen, Y. J., Hou, Y. A., et al., 2004. Characteristics of sedimentary-tectonic evolution and high-resolution sequence stratigraphy in Luanping basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 625—630 (in Chinese with English abstract).
- 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., et al., 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.
- Zhang, F. C., Zhou, Z. H., 2000. A primitive enantiornithine bird and the origin of feathers. *Science*, 290: 1955—1959.
- Zhang, H., Liu, X. M., Gao, S., et al., 2005. Redefinition of the Zhangjiakou Formation in Lingyuan, western Liaoning and its significance—Constraints from laser ICP-MS zircon U-Pb ages. *Geological Bulletin of China*, 24(2): 110—117 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H., Wang, W. L., Li, Z. T., et al., 2004. Comprehensive correlation of the Yixian Formation in the Beipiao and Yixian area, western Liaoning. *Geological Bulletin of China*, 23(8): 766—777 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Z., Barrett, P. M., Hilton, J., 2003. An exceptionally preserved Lower Cretaceous ecosystem. *Nature*, 421: 807—814.
- Zhou, Z. Y., Zheng, S. L., 2003. The missing link in Ginkgo evolution. *Nature*, 423: 821—822.
- ### 附中文参考文献
- 陈丕基, 王启飞, 张海春, 等, 2004. 论义县组尖山沟层. *中国科学(D辑)*, 34(10): 883—895.
- 河北省地质局, 1996. 全国地层多重划分对比研究(13)—河北省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 80—82.
- 胡光华, 胡世玲, 王松山, 等, 1982. 根据同位素年龄讨论侏罗、白垩纪火山岩地层时代. *地质学报*, 56(4): 315—323.
- 季强, 姬书安, 袁崇喜, 等, 2002. 辽西凌源全身长有羽毛奔龙化石的再研究. *地质前缘*, 9(3): 57—63.
- 季强, 2004. 中国辽西中生代热河生物群. 北京: 地质出版社, 79—203.
- 柳永清, 李佩贤, 田树刚, 2003. 冀北滦平晚中生代火山碎屑(熔)岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. *岩石矿物学杂志*, 22(3): 238—244.
- 罗修泉, 李佩贤, 1997. 侏罗系—白垩系界线年代研究. *地球学报*, 18(3): 242—247.
- 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 等, 2002. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义. *地质通报*, 22(2): 140—141.
- 牛绍武, 李佩贤, 田树刚, 等, 2002. 冀北滦平盆地大北沟组叶肢介化石研究新进展. *地质通报*, 21(6): 322—328.
- 任纪舜, 2002. 中国及邻区大地构造图(1: 5 000 000)及说明书. 北京: 地质出版社, 3—10.
- 邵济安, 张履桥, 储著银, 2003. 冀北早白垩世火山—沉积作用及构造背景. *地质通报*, 22(6): 384—390.
- 孙革, 郑少林, 2000. 中国东北中生代地层划分对比之新见. *地层学杂志*, 24(1): 60—64.
- 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.
- 王五力, 张立君, 郑少林, 等, 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, 等, 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, 429—434.
- 武法东, 陈永进, 侯宇安, 等, 2004. 滦平盆地沉积—构造演化及高精度层序地层特征. *地球科学—中国地质大学学报*, 29(5): 625—630.
- 张宏, 柳小明, 高山, 等, 2005. 辽西凌源地区张家口组的重新厘定及其意义——来自激光 ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的制约. *地质通报*, 24(2): 110—117.
- 张宏, 王五力, 李之彤, 等, 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): 766—777.