

冀北滦平地区中生代火山岩地层 锆石 U-Pb 测年及启示

张宏^{1,2}, 袁洪林¹, 胡兆初¹, 柳小明¹, 第五春荣¹

1. 西北大学大陆动力学重点实验室, 陕西西安 710069

2. 中国地质调查局沈阳地质矿床研究所, 辽宁沈阳 110032

摘要: 在冀北—辽西地区, 冀北的滦平地区是中生代地层最为齐全, 也是唯一的晚中生代沉积作用基本连续的地区。许多研究者认为该地区的土城子组与张家口之间存在着 J_3-K_1 界线和中生代的构造转换界面。该地区分布的主要中生代地层自下而上依次为髫髻山组、土城子组、张家口组、大北沟组、大店子组和西瓜园组。通过 LA-ICP-MS 方法的锆石 U-Pb 测年, 获得了该地区中生代火山岩地层的年代格架, 即髫髻山组的顶界年龄为 $(162.8 \pm 3.2) \text{Ma}$, 土城子组形成的主体年代范围是 $(142.6 \pm 1.3) \sim (136.4 \pm 1.9) \text{Ma}$, 张家口组形成的年代范围是 $(135.7 \pm 1.8) \sim (135.2 \pm 2.3) \text{Ma}$, 大店子组顶部安山岩的年龄是 $(131.4 \pm 3.7) \sim (130.2 \pm 3.0) \text{Ma}$ 。锆石的稀土元素分析表明: 土城子组中锆石的稀土元素特征与张家口组中锆石的特征一致, 而与髫髻山组中的锆石有较大的区别。综合以上分析数据及野外地质特征可以得出以下结论: (1) 该地区的土城子组与髫髻山组之间不仅时间间隔较长, 而且二者中火山岩的源区也有较大的区别; 土城子组与张家口组之间不仅时间上基本连续, 而且二者中火山岩的源区也有明显的一致性。这就表明了滦平地区的土城子组与张家口组是同一地质背景下的产物, 即该地区二者之间应不存在 J_3-K_1 界面和构造转换界面。(2) 滦平地区大店子组顶部火山岩在年代上与辽西北票—义县地区的义县组底部、辽西凌源地区的张家口组顶部基本相当。

关键词: 中生代地层; 锆石; LA-ICP-MS U-Pb 测年; 稀土元素; J_3-K_1 界线; 构造转换; 滦平。

中图分类号: P597; P534.5

文章编号: 1000-2383(2005)06-0707-14

收稿日期: 2005-06-21

U-Pb Zircon Dating of the Mesozoic Volcanic Strata in Luanping of North Hebei and Its Significance

ZHANG Hong^{1,2}, YUAN Hong-lin¹, HU Zhao-chu¹, LIU Xiao-ming¹, Diwu Chun-rong¹

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

2. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Shenyang 110032, China

Abstract: The Mesozoic strata in Luanping, North Hebei Province are the most complete in North Hebei-West Liaoning, and the Luanping area is the only area where the deposit action in the Late Mesozoic is successive. A lot of researchers think the boundary of the J_3-K_1 and the tectonic framework transition interface in Mesozoic Era in North Hebei-West Liaoning are located between the Tuchengzi and Zhangjiakou formations in the Luanping area. The Mesozoic strata in Luanping from the lower to the upper are the Tiaojishan Formation, Tuchengzi Formation, Zhangjiakou Formation, Dabeigou Formation, Dadianzi Formation and the Xiguayuan Formation. U-Pb zircon dating of LA-ICP-MS obtained the age frame of the Mesozoic volcanic strata in the Luanping area. The top age of the Tiaojishan Formation is $(162.8 \pm 3.2) \text{Ma}$, the main forming period of the Tuchengzi Formation is $(142.6 \pm 1.3) \text{Ma} - (136.4 \pm 1.9) \text{Ma}$, the forming period of the Zhangjiakou Formation is $(135.7 \pm 1.8) \text{Ma} - (135.2 \pm 2.3) \text{Ma}$, and the age of the volcanic rocks in the top of the Dadianzi Formation is $(131.4 \pm 3.7) \text{Ma} - (130.2 \pm 3.0) \text{Ma}$. Analysis shows that the rare earth element characteristics of zircons from the Tuchengzi Formation are very similar to those from the Zhangjiakou Formation, but are very different from those from the Tiaojishan For-

基金项目: 教育部长江学者和创新团队发展计划项目。

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

mation. Combined with the field characteristics of the strata, the following conclusions are drawn: (1) the time interval between the Tuchengzi and Tiaojishan formations is longer, and the magmatic sources of the volcanic rocks are very different; the forming period between the Tuchengzi and the Zhangjiakou formations is continuous, and the magmatic sources of the volcanic rocks are very similar. The results imply that the Tuchengzi and Zhangjiakou formations were formed in the same geological background, and so are not the boundary of the J_3-K_1 and the tectonic framework transition interface between the Tuchengzi and Zhangjiakou formations in the Luanping area. (2) The age of the volcanic rocks in the top of the Dadianzi Formation corresponds to that of the bottom of the Yixian Formation in the Beipiao-Yixian area in West Liaoning Province, and corresponds to that of the top of the Zhangjiakou Formation in Lingyuan, West Liaoning Province.

Key words: Mesozoic strata; zircon; LA-ICP-MS U-Pb dating; rare earth element; J_3-K_1 boundary; tectonic framework transition interface; Luanping area.

0 引言

冀北—辽西地区因发现热河生物群化石而受到广大地质学者的关注(Ji *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 1998; Sun *et al.*, 1998; Swisher *et al.*, 1999; Xu *et al.*, 2001; Zhou and Zheng, 2003; Zhou *et al.*, 2003). 目前,随着对该地区研究工作的不断深入,更多的学者把注意力集中在冀北的滦平地区(牛绍武等, 2002; 牛宝贵等, 2003; 柳永清等, 2003; Niu *et al.*, 2004; 田树刚等, 2004). 因为在冀北—辽西地区,滦平地区的中生代地层最为齐全,同时也是唯一的晚中生代的沉积作用基本连续(不为火山岩熔岩分隔)的地区. 因此,该地区是进行界线层型和生物地层建阶工作的理想地区(柳永清等, 2003; 田树刚等, 2004). 此外,在滦平地区进行界线层型和生物地层建阶工作还有另外一个最重要的原因:目前很多研究者都认为该地区存在 J_3-K_1 界线,即认为土城子组与张家口组之间存在 J_3-K_1 界线,而且二者之间的界面同时也是冀北—辽西地区中生代的构造转换界面(任纪舜, 2002; 牛宝贵等, 2003; Niu *et al.*, 2004; 张长厚等, 2004; 赵越等, 2004).

笔者近年在冀北—辽西地区工作发现,在冀北滦平及以西地区的土城子组与张家口组之间多为整合接触,并且在一些典型地区,二者之间表现为明显的过渡关系——无明显界线(整合接触),仅在承德的骆驼山(鸡冠山)、平泉的双庙地区发现土城子组被一套酸性火山熔岩角度不整合覆盖. 目前,承德地区该角度不整合之上的酸性火山熔岩也称为张家口组,很多研究者以此作为冀北—辽西地区的 J_3-K_1 界线和中生代构造转换界面的直接证据(Davis *et al.*, 2001; 牛宝贵等, 2003; Niu *et al.*, 2004; 张长厚等, 2004; 赵越等, 2004). Niu *et al.*

(2004)的测年结果表明,承德骆驼山地区的张家口组火山岩中,其下部层位的锆石 SHRIMP 年龄为 $(128.8 \pm 1.3) \sim (125.9 \pm 2.8)$ Ma 左右,这与冀北滦平地区的张家口组的年代 $(135.7 \pm 1.8) \sim (135.2 \pm 2.3)$ Ma(张宏等, 2005a)、辽西的凌源地区张家口组的年代 $(132 \sim 130)$ Ma(张宏等, 2005a, 2005b)均存在差异.

鉴于上述地区张家口组年代上的差异,以及上述地区张家口组与土城子组接触关系的不同,笔者对滦平地区的中生代火山岩地层进行了系统的 LA-ICP-MS 的锆石测年,以探讨该地区张家口组与土城子组的关系,从而进一步探讨冀北—辽西地区的 J_3-K_1 界线和中生代的构造转换问题.

1 冀北滦平地区的区域地质背景

冀北滦平地区位于承德西部,其构造位置为燕山构造带的中部,以北东东(近东西)向构造为主,并明显受到了后期北东向脆性构造的改造,使得部分地层显示有北东走向的特征(图 1). 该地区出露的中生代地层自下而上依次是髫髻山组(J_2t)火山岩、土城子组($(J-K)_t$)沉积岩、张家口组(K_1z)火山岩、大北沟组(K_1d)沉积岩、大店子组(K_1dd)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 和图 2)^{①②}.

1.1 髫髻山组(J_2t)

该组在冀北—辽西地区广泛分布,以中性、中酸性火山熔岩及同质的火山碎屑岩为主. 在冀北地区

①河北省地质矿产勘查开发局, 1995. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:5万). 小白旗幅 K50E019013, 滦平县幅 K50E019014, 滦河幅 K50E019015.

②河北省地质局, 1975. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:20万). 承德幅.

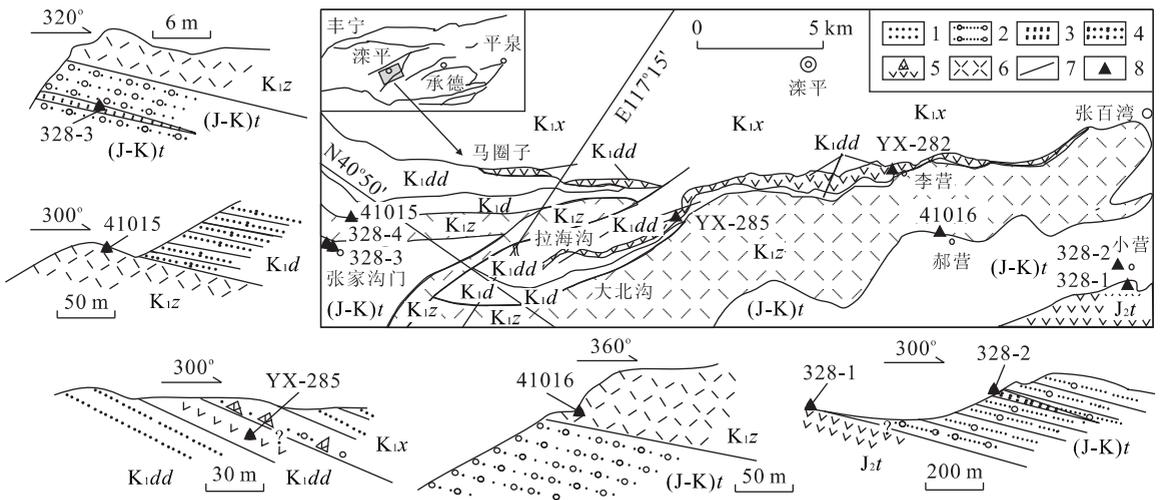


图 1 冀北滦平附近地区地质简图

Fig. 1 Simplified geological map in Luanping area

1. 砂岩、粉砂岩;2. 砂砾岩;3. 凝灰岩;4. 凝灰质砂岩;5. 中性火山岩及同质角砾;6. 酸性火山岩;7. 断裂;8. 采样点;J₂t. 髫髻山组;(J-K)t. 土城子组;K_{1z}. 张家口组;K_{1d}. 大北沟组;K_{1dd}. 大店子组;K_{1x}. 西瓜园组

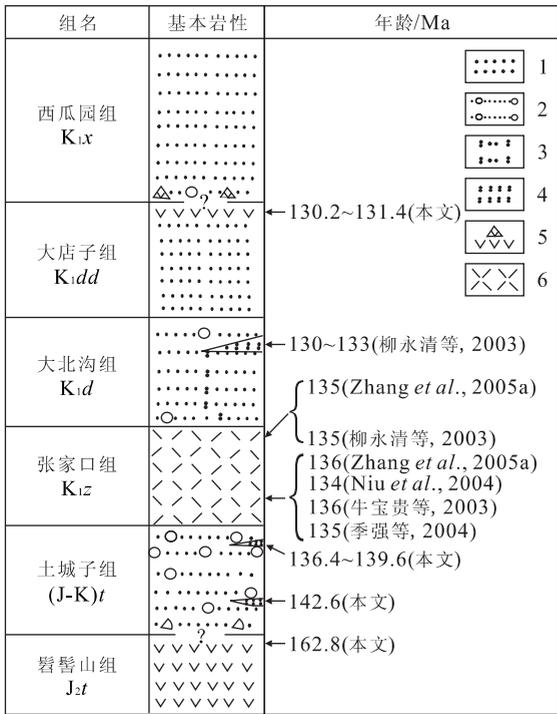


图 2 冀北滦平附近地区的中生代地层柱状关系简图

Fig. 2 Simplified Mesozoic strata column in Luanping area
1. 砂岩、粉砂岩;2. 砂砾岩;3. 凝灰质砂岩;4. 凝灰岩;5. 中性火山岩及同质角砾;6. 酸性火山岩

组与土城子组的接触关系是平行不整合(王五力等 2004)^①。但应该注意的是,髫髻山组的岩性为火山熔岩及火山碎屑岩;而土城子组的岩性主体为沉积岩,并且土城子组第一段下部发育一套安山质(角)砾岩或复成分砾岩。例如,在辽西金岭寺—羊山盆地的巴图营子、凌源北的道虎沟,冀北滦平的小营、东道沟,冀北承德的前沟门、双经和砂窝地等地区均能见到这层底部(角)砾岩;其中在辽西的金岭寺—羊山盆地,承德的前沟门、双经和砂窝地等地区,土城子组底部的复成分砾岩更为发育。

在冀北—辽西地区,髫髻山组火山岩的测年数据较多:在承德盆地,髫髻山组的火山岩上部层位的 Ar-Ar 年龄为 (160.7 ± 0.8) Ma (Davis et al., 2001);在北京西山地区,髫髻山组下部层位的 SHRIMP 年龄为 (157 ± 3) Ma (赵越等, 2004);然而,在寿王坟—大杖子盆地中,髫髻山组下部测得了 (147.6 ± 2.6) Ma 的较年轻的 Ar-Ar 年龄 (Davis et al., 2001)和在宽城盆地测得了 (126.9 ± 0.7) Ma 和 (127.6 ± 1) Ma 的 Ar-Ar 年龄 (张长厚等, 2004)。在辽西凌源牛营子地区,髫髻山组火山岩的下部层位的 SHRIMP U-Pb 年龄为 (158 ± 1) Ma (赵越等, 2004);在辽西凌源附近的道虎沟—热水汤地区,柳永清和笔者(科学通报,待刊)通过 LA-ICP-MS 的 8 个 U-Pb 年龄,限定了该地区髫髻山组的年代分布在 (170.0 ± 2.3) ~ (158.4 ± 4.1) Ma;凌源南侧三十家子附近髫髻山组上部火山熔岩(英安岩)

以中性火山岩为主;而在辽西地区,酸性火山岩以及同质的火山碎屑岩明显多于冀北地区。滦平地区的髫髻山组主要为灰绿、灰紫色安山岩、安山质集块岩。目前,很多研究者认为冀北、辽西地区的髫髻山

LA-ICP-MS的锆石 U-Pb 年龄为 (157.1 ± 2.4) Ma (笔者最新获得,未发表);在义县盆地西缘,髫髻山火山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和黑云母 Ar-Ar 年龄限定其年代在 164~167 Ma(季强等,2004). 可见,冀北—辽西地区髫髻山组的年龄数据分布在 170~155 Ma 之间. 至于冀北地区的个别盆地中出现了年轻的年龄数据,可能有以下解释:由于该地区中生代不同层位的部分火山岩岩性相近,不排除个别盆地的火山岩存在同名不同期的问题;或者即使火山岩地层的划分正确,但由于有些不同层位的火山岩在野外难以区分,如果采集到的是不同喷发期的熔岩(尤其是晚期的熔岩时),会使年龄发生变化.

1.2 土城子组((J-K)t)

该组在冀北—辽西地区均有广泛分布,是一套极为特色、有标志层意义的沉积岩地层. 在冀北地区,主要分布在丰宁、赤诚的雕鹗、滦平、承德和平泉等盆地中. 在滦平及以西的盆地中,土城子组与张家口组之间主要以喷发不整合接触为特征(整合接触),表现为土城子组的沉积岩被张家口组的酸性火山熔岩直接覆盖,二者产状协调. 在接触界面附近,土城子组的顶界砾岩与其整个上部层位的砾岩不见差异;张家口组火山熔岩的底界附近也未见有特殊的不同于土城子组的砾石层出现. 值得注意的是,在雕鹗盆地,二者之间没有明显的界限,而是一种过渡关系,即下部的沉积岩(土城子组)和上部的火山熔岩(张家口组)之间被多层的沉积层与酸性熔岩层分隔. 但是在承德的骆驼山(鸡冠山)、平泉的双庙地区,土城子组沉积岩被一套酸性火山熔岩角度不整合覆盖. 目前,很多研究者认为,在承德的骆驼山(鸡冠山)地区,不整合覆盖在土城子组之上的熔岩是张家口组的火山熔岩,并以此作为冀北—辽西 J_3 — K_1 界线和中生代构造转换的重要的直接证据(Davis *et al.*, 2001; 牛宝贵等,2003; Niu *et al.*, 2004; 张长厚等,2004; 赵越等,2004).

土城子组在滦平地区较为发育,并大致可分为3段:第1段为灰紫、紫红色安山质(角)砾岩和复成分砾岩. 安山质砾岩的砾石成分为安山岩,大小不等,个别可达几 m 至十几 m. 复成分砾岩的砾石成分复杂,可见有安山岩、花岗岩及片麻岩等,砾石以杂基支撑为主,局部地段为颗粒支撑,分选性极差,多呈棱角一次棱角状,填隙物为泥砂质;第2段为紫灰、紫红色砂岩、灰白色凝灰质砂岩、粉砂岩,中夹含砾砂岩、砾岩透镜体,局部可见平行层理、槽状交错

层理;第3段为紫红色复成分砾岩(大砾岩层),夹含砾砂岩、砂岩透镜体;砾石磨圆度好,叠瓦构造明显,有一定的成层性. 在该地区土城子组的2、3段中分布有凝灰岩夹层,似层状、规模不等、分布极不均匀,厚度小的在1 m 以下,厚度大的可达十几 m;这些凝灰岩岩性与张家口火山岩非常相近,为流纹质—粗面质凝灰岩.

滦平地区土城子组与张家口组的接触关系有2种认识:一种认为是不整合接触(牛宝贵等,2003);另一种认为是整合关系(张长厚等,2004),这也是本文的观点. 笔者认为,滦平地区土城子组与张家口组之间不仅为整合接触,并且二者在横向上表现为指状交互关系;在该地区可以清楚地看到土城子组砾岩楔入张家口组粗面质角砾凝灰岩中;另外在张家口组下部可见有复成分砾岩夹层,其特征与土城子组基本一致,可作为二者指状交互关系的间接证据(这也是二者整合接触的直接证据).

迄今为止,对冀北—辽西地区土城子组的测年数据很少,其原因是:土城子组以沉积岩为主,其中可作为测年对象的岩石较少;同时土城子组中的化石属、种较少,化石组合有明显的穿时性,缺少公认的、可准确定年的化石(钉子化石)属种,这也限制了土城子组年代的确定. 近年来,Swisher *et al.* (2001)测得辽西北票四合屯地区的土城子组顶部层位的 Ar-Ar 年龄为 (139.1 ± 0.2) Ma. 目前,研究者对土城子组年代学的认识主要是根据该层位以上的张家口组火山熔岩及该层位以下的髫髻山组火山熔岩的测年数据进行约束.

1.3 张家口组(K_1z)

该组主要是一套酸性火山熔岩,在冀北地区很发育. 滦平地区的张家口组主要是一套紫灰、灰紫、灰绿色石英粗面质熔结凝灰岩、角砾凝灰岩,以及少量的安山岩、粗面岩和流纹岩等.

目前对张家口组的测年工作主要集中在冀北的滦平、承德和辽西的凌源地区. 在滦平地区,SHRIMP U-Pb、LA-ICP-MS U-Pb 和 Ar-Ar 的测年方法均表明,该地区的张家口组火山岩的形成年代为 136~135 Ma(牛宝贵等,2003;季强等,2004; Niu *et al.*, 2004; 张宏等,2005a). 承德地区张家口组的测年工作主要是在骆驼山(鸡冠山)地区,即角度不整合覆盖在土城子组之上的火山熔岩. 对于该火山熔岩, Niu *et al.* (2004)测得其底部层位样品的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (128.8 ± 1.3) Ma, 并

表 1 采样点位置及锆石测年

Table 1 Sample locations and their LA-ICP-MS U-Pb ages of zircons

样品号	经纬度	地点	岩性	层位	年龄/Ma	资料来源
YX-285	N40°52.201', E117°16.934'	滦平西公路边	玄武安山岩	大店子组顶部	131.4±3.7	
YX-282	N40°54.843', E117°21.953'	滦平李营	玄武安山岩	大店子组顶部	130.2±3.0	
41015	N40°49.137', E117°13.033'	滦平张家沟门	流纹岩	张家口组顶部	135.2±2.3	张宏,2005a
41016	N40°54.788', E117°23.770'	滦平郝营	熔结凝灰岩	张家口组底部	135.7±1.8	张宏,2005a
328-4	N40°48.210', E117°12.510'	滦平张家沟门	(酸性)凝灰岩	土城子组上部(土城子组第三段上部)	136.4±1.9	
328-3	N40°48.554', E117°12.742'	滦平张家沟门	(酸性)凝灰岩	土城子组上部(土城子组第三段上部)	139.6±1.5	
328-2	N40°55.977', E117°28.141'	滦平小营	(酸性)凝灰质熔岩	土城子组中下部(土城子组第二段底部)	142.6±1.3	
328-1	N40°55.267', E117°28.195'	滦平小营	安山岩	髻髻山组顶部	162.8±3.2	

获得该熔岩中下部层位的另一个样品的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(125.9±2.8)Ma。辽西凌源地区张家口组的年龄为 132~130 Ma(张宏等, 2005a, 2005b)。

1.4 大店子组(K₁dd)

该组是位于大北沟组之上和西瓜园组之下的一套以沉积岩为主的地层,仅在部分地区的顶部分布有一套中基性火山熔岩,厚度多在几十 m 至上百 m^①,该组与辽西北票—义县、凌源地区的中生代地层对比问题一直存在争议(季强等,2004;王五力等,2004)。季强等(2004)认为辽西北票—义县地区的义县组底部应与滦平地区的大店子组上部相当(基本与该熔岩层相当),而王五力(2004)认为辽西北票—义县地区的义县组底部应与滦平地区的大北沟组相当(在大店子组之下)。

2 中生代火山岩地层的年代学

2.1 样品的采集和制样

为了确定滦平地区中生代火山岩地层的年代学格架,采样工作主要在以下 3 个地区进行:张家沟门附近、郝营—李营剖面附近,以及张百湾的小营附近(图 1,表 1)。其中,张家沟门附近地区是滦平地区中生代地层连续性最好和最为完整的地区(柳永清等,2003;田树刚等,2004);在该地区有 3 个样品,其中样品 328-3、328-4 采自土城子组第 3 段上部同一层位的凝灰岩夹层中,两样品距离张家口组火山岩

的厚度间隔均在 10 m 以内(图 1),其中样品 328-4 位于样品 328-3 西约 180 m;样品 41015 采自张家口组火山岩的顶部。郝营—李营剖面所在的位置是 1:5 万、1:20 万地质填图中的实测剖面;在该地区有 2 个样品,其中样品 41016 采自张家口组火山岩的底部,样品 YX-282 采自大店子组顶部的安山岩中。张百湾的小营附近是滦平地区土城子组第 2 段沉积岩中凝灰岩夹层最厚的地区,也是该地区土城子组底部安山质复成分砾岩较为典型的地区;该地区有 2 个样品,其中样品 328-1 采自髻髻山组火山岩的顶部,样品 328-2 采自土城子组 2 段沉积层底部的凝灰质熔岩夹层中。样品 YX-285 与 YX-282 在同一层位,但是采样点位于滦平西侧的公路边。在上述样品中,由于 YX-282、YX-285 样品中的锆石含量很少,先后进行了 3 次采样,最后一次采样时,每个样品的岩石质量均为 40 kg 左右。

锆石的分选工作在河北区调队(廊坊)完成,锆石的阴极发光照相在中国科学院地质与地球物理研究所完成(注:笔者是先对制靶后的锆石进行 LA-ICP-MS 的 U-Pb 测年,而阴极发光工作是在之后完成的,所以测年数据中剔除的数据偏多)。

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(表 2)。在分析仪器中,激光剥蚀系统为德国 Lamda Physik 公司的 GeoLas 200 m 深紫外(DUV)193 nm UArF 准分子(excimer)激光剥蚀系统,分析中采用的激光斑

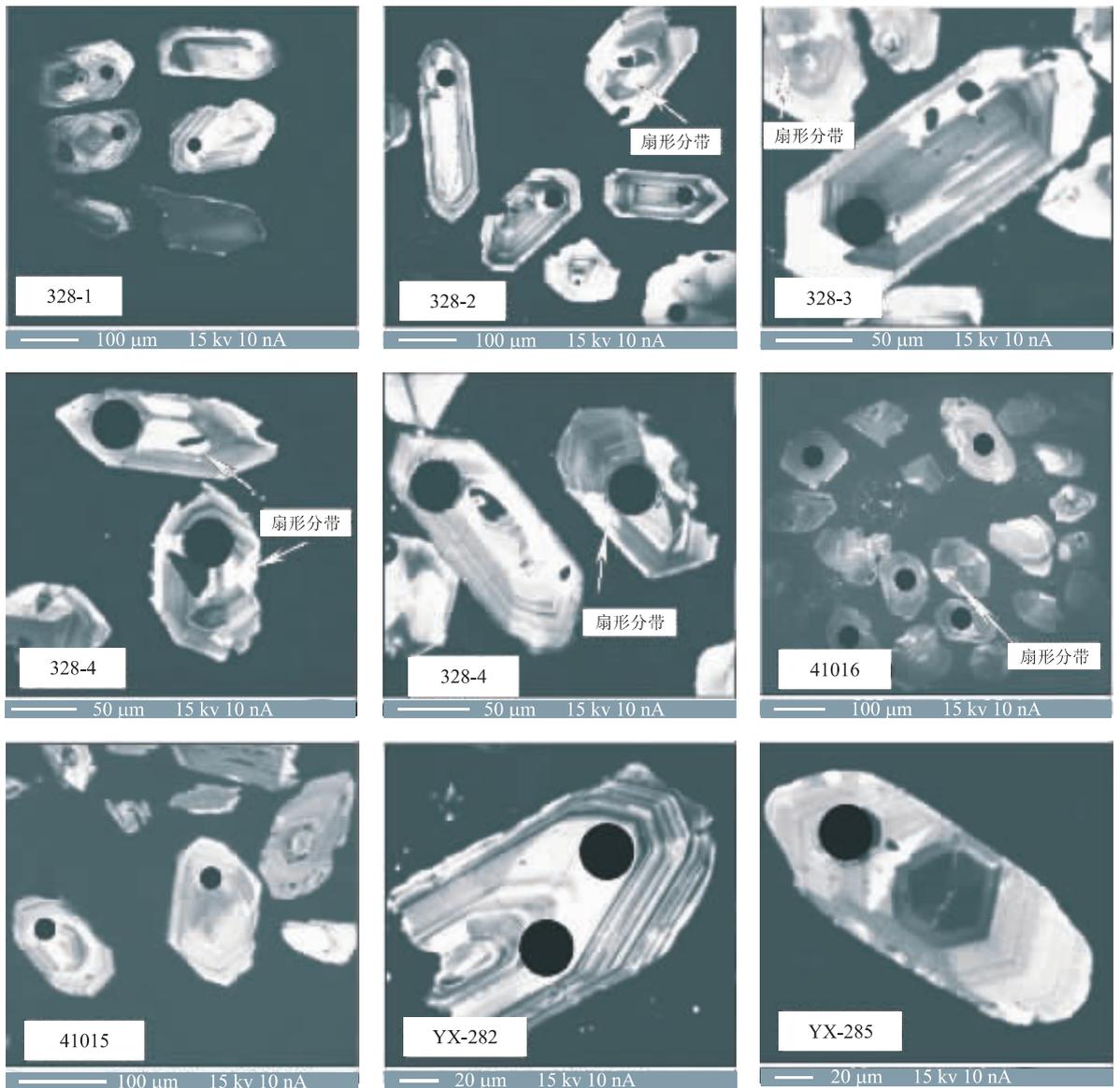


图 3 滦平火山岩样品中锆石的阴极发光照片(其中的黑色圆圈为激光剥蚀位置)

Fig. 3 CL images of zircons from the Luanping volcanic rocks

束直径多为 $30\ \mu\text{m}$ (由于本文的 YX-282、285 样品中多数锆石颗粒较小,采用的激光斑束直径均为 $20\ \mu\text{m}$),以 ^{29}Si 作为内标,哈佛大学标准锆石 91500 作为外标校正,使用的 ICP-MS 为 Agilent 7500a 型。同位素比值数据处理采用 GLITTER(4.0 版)软件,并使用 Andersen(2002)软件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.*, 2003, 2004)。

2.3 锆石的阴极发光特征

锆石的阴极发光特征可以反映锆石的内部结构。对于岩浆成因的锆石,最常见的内部结构是振荡

环带和扇形分带(Hanchar *et al.*, 2003)。在滦平地区,不同层位中岩浆锆石的结构有一定的区别。其中,髫髻山组中的锆石较为复杂,除了同期的岩浆锆石外,还有较多的捕获锆石(多数环带不发育);同期岩浆锆石的振荡环带发育而且比较清晰(图 3 中的 328-1),但是未见有扇形分带的结构特征,部分锆石中有内核,锆石的晶型完整。土城子组中的锆石较为单一:无内核、晶型完整,有振荡环带的同时也发育有扇形分带的特征,尤其是上部层位的锆石(图 3 中的 328-3、4),但是下部层位中锆石的扇形分带不清晰(图 3 中的 328-2)。张家口组中的锆石较为单一:有振荡环带,无内核、晶型完整(图 3 中的

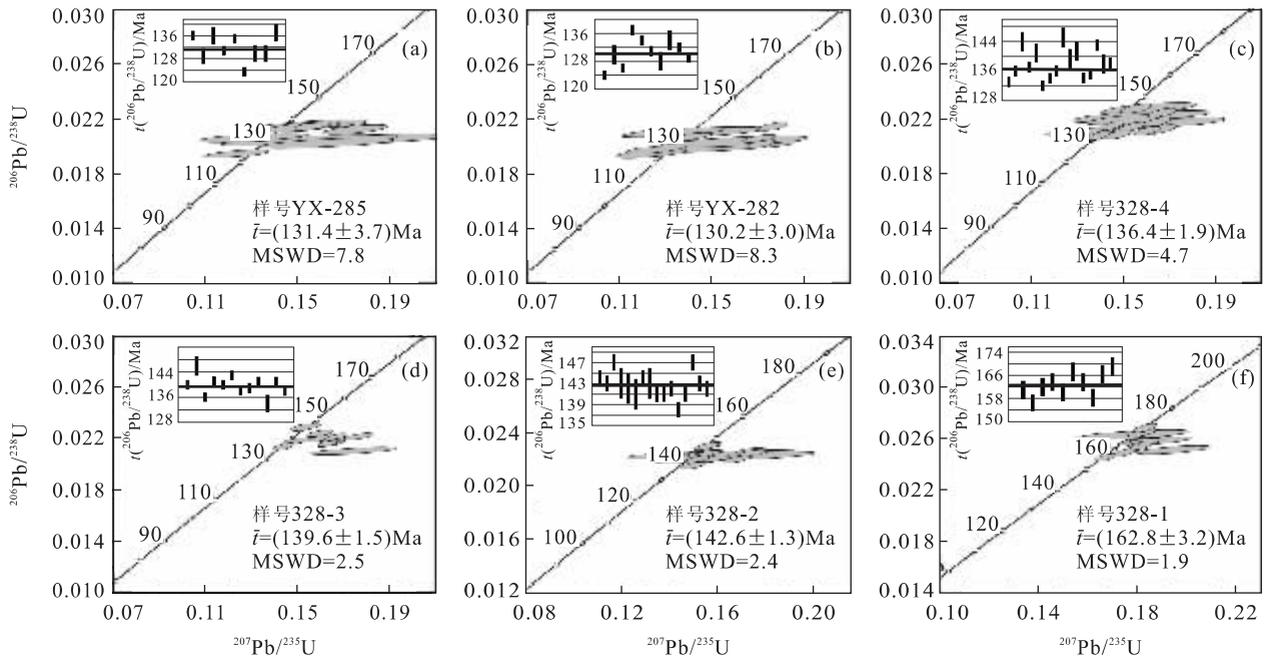


图 4 滦平地区火山岩样品的锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb concordant diagrams of zircons from volcanic samples in Luanping area

41016 和 41015), 但是振荡环带的界线不清晰, 同时发育有扇形分带的特征, 尤其是张家口组底部样品中锆石的扇形分带现象较为明显(图 3 中的 41016). 可见该地区张家口组与土城子组中火山岩锆石的特征有一定的共性. 但是张家口组中锆石的长短轴比值较小, 即锆石以短柱状或椭圆状为主. 大店子组顶部层位中的岩浆锆石发育振荡环带, 但是, 不同样品中锆石的环带特征有差异, 不见有扇形分带特征, 锆石为自型一半自型(图 3 中的 YX-282、YX-285).

2.4 年代学测定结果

YX-285 样品中, 锆石以柱状为主, 长短轴比值为 1.7~2.5, 长轴主要在 60~130 μm 之间. 样品中部分锆石的普通铅较高. 共有 13 个样品测点, 校正后具体分析数据中除去远离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和线的 4 个测点后, 9 个点的加权平均年龄为 $(131.4 \pm 3.7)\text{Ma}$ (图 4a).

YX-282 样品中, 锆石以柱状为主, 长短轴比值为 1.7~2.5, 长轴主要在 60~160 μm 之间. 共有 12 个样品测点, 校正后具体分析数据中除去远离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和线的 2 个测点后, 10 个点的加权平均年龄为 $(130.2 \pm 3.0)\text{Ma}$ (图 4b).

328-4 样品中, 锆石较为单一, 以短柱状为主, 长短轴比值为 1.2~1.7, 长轴主要在 70~110 μm 之间. 共有 18 个样品测点, 普通铅校正后具体分析

数据中除去远离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和线和远离加权平均值的 2 个测点后, 16 个点的加权平均年龄为 $(136.4 \pm 1.9)\text{Ma}$ (图 4c).

328-3 样品中, 以柱状为主, 长短轴比值为 1.4~2.0, 长轴主要在 90~130 μm 之间. 共有 25 个样品测点, 普通铅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 13 个测点后, 12 个点的加权平均年龄为 $(139.6 \pm 1.5)\text{Ma}$ (图 4d). 值得指出的是, 该样品中近一半的锆石中普通铅的含量非常高, 其中多个年龄为 130~136 Ma 的单颗粒锆石测年数据因 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 的值偏高(不和谐)而被剔除, 而使得该样品与 328-4 样品(在同一层位)相比明显偏高. 可见 328-3 样品中, 由于剔除的不谐和数据较多, 其测年结果可靠性明显不如 328-4 样品的测年结果.

328-2 锆石较为单一, 以柱状为主, 长短轴比值为 1.4~2.0, 长轴主要在 100~150 μm 之间. 共有 23 个样品测点, 普通铅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 7 个测点后, 16 个点的加权平均年龄为 $(142.6 \pm 1.3)\text{Ma}$ (图 4e).

328-1 样品的锆石中有较多的捕获锆石(最大年龄为 25 亿年), 其中, 振荡环带发育的岩浆锆石的长短轴比值为 1.3~1.7, 长轴主要在 100~140 μm

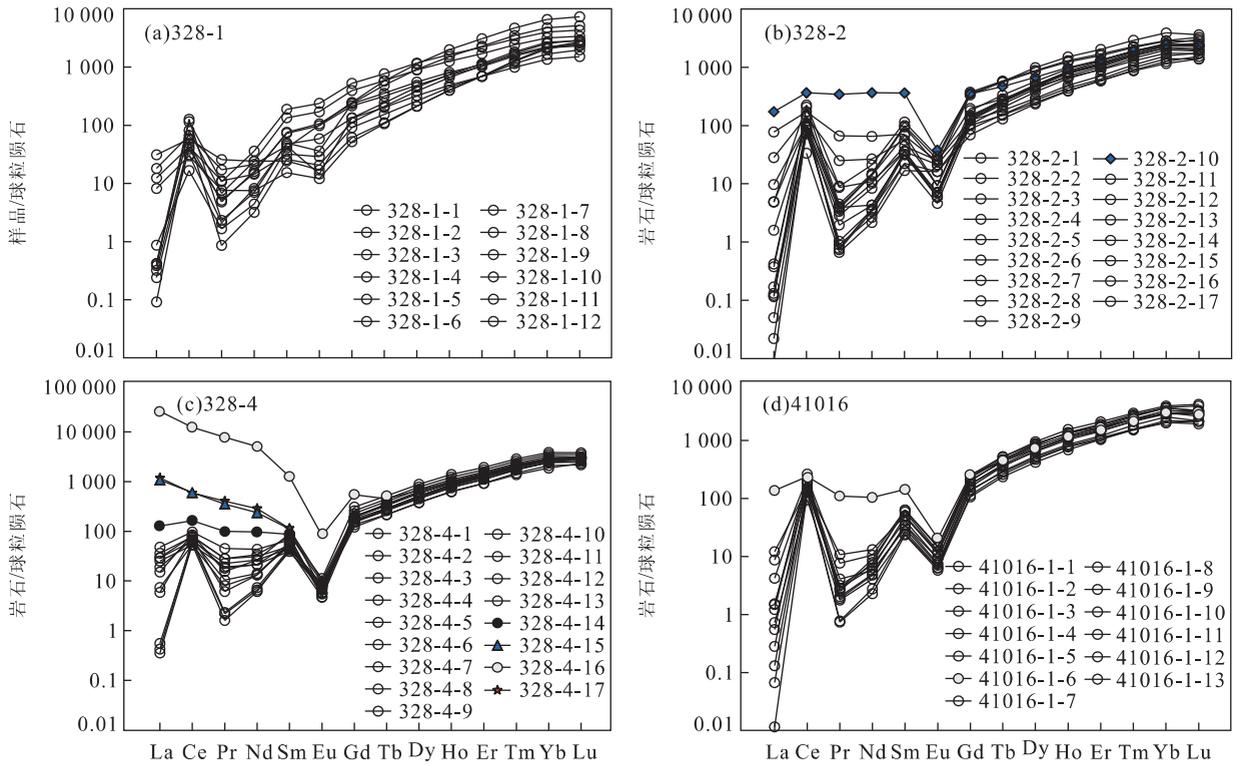


图 5 滦平地区样品中锆石的稀土元素球粒陨石标准化图解

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of zircons from samples in Luanping area

之间, 共有 18 个样品测点, 普通铅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 8 个测点后, 10 个点的加权平均年龄为 $(162.8 \pm 3.2)\text{Ma}$ (图 4f)。

样品 41015 和 41016 的测年结果已经在另一篇文章中发表, 年龄分别为 $(135.2 \pm 2.3)\text{Ma}$ 和 $(135.7 \pm 1.8)\text{Ma}$ (Zhang *et al.*, 2005a)。其中样品 41015 的测年结果与前人在同一层位(相距约 80 m) 采样点的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 $(135.4 \pm 1.6)\text{Ma}$ (柳永清等, 2003) 相吻合, 样品 41016 的测年结果也与前人同层位的 Ar-Ar 结果 $(135.3 \pm 1.4)\text{Ma}$ (季强等, 2004) 一致。

2.5 锆石的稀土元素特征

在对样品中锆石进行测年的同时, 对锆石进行了稀土元素测试(图 5)。328-1 样品中 Eu 标准化曲线中没有明显的“V”字型谷, 而其他 3 个样品的曲线中, Eu 表现为明显的“V”字型谷(图 5a)。研究表明, 锆石的稀土元素分析中, δEu 和 $(\text{Lu}/\text{Gd})_N$ 是 2 个重要的指标, 二者在同一样品中, 或者在同一层位、同源的不同样品中是相对稳定的, 基本不随锆石中 LREE 的变化而发生变化(笔者将在另文发表)。样品 328-1 中锆石 δEu 的均值为 0.49, $(\text{Lu}/\text{Gd})_N$

的均值为 21.87; 样品 328-2、328-4 和样品 41016 中锆石的 δEu 均值分别为 0.15、0.06 和 0.09, $(\text{Lu}/\text{Gd})_N$ 的均值分别为 14.51、15.66 和 16.25(笔者将在另文发表具体数据及分析结果)。反映土城子组中锆石的稀土元素特征与张家口组中锆石的特征一致, 而与髫髻山组中锆石的特征有较大的区别; 表明土城子组与张家口组中的火山岩有明显的亲缘性、一致性。结合笔者的同位素测年结果, 认为该地区的髫髻山组与土城子组之间不仅时间间隔长, 而且火山岩岩浆的源区也有较大的区别; 土城子组与张家口组之间不仅时间、空间上基本连续, 而且火山岩岩浆的源区也有明显的一致性。暗示该地区的土城子组与张家口组是相同地质背景之下的产物, 二者之间不存在较大的时间间断和大的构造界面。

3 启示

(1) 本文测年数据表明: 滦平地区的髫髻山组的顶界年龄 $(162.6 \pm 2.6)\text{Ma}$ 与土城子组第二段底部的年龄值 $(142.2 \pm 1.4)\text{Ma}$ 有较大的差异。然而, 土城子组第三段沉积岩上部(接近顶部层位)的凝灰岩

夹层中,其锆石 U-Pb 年龄为 $(139.6 \pm 1.5) \text{Ma} \sim (136.4 \pm 1.9) \text{Ma}$;说明在滦平地区,土城子组与张家口组之间在时间上是基本连续的;这与二者野外的整合接触关系(空间上连续)相吻合. 锆石的阴极发光特征和稀土元素特征也证明了土城子组与张家口组之间明显的亲缘性. 另外, Swisher *et al.* (2001)在辽西北票的四合屯地区获得土城子组顶部层位的 Ar-Ar 年龄为 $(139.1 \pm 0.2) \text{Ma}$,该结果与笔者的测年结果在误差范围内相同. 值得注意的是土城子组的第 1 段为冲积扇相(或山前残坡积),岩石的结构成熟度和成分成熟度均很低,反映形成的时间较短;而第 2、3 段岩石的结构成熟度和成分成熟度明显高于第 1 段,尤其是第 3 段更为如此,说明土城子组上部层位的形成时间较长;所以在滦平地区,土城子组第 2 段底部沉积岩层(即下部层位)的凝灰岩夹层中,其锆石的测年结果 $(142.6 \pm 1.3) \text{Ma}$ 和接近顶部层位的测年结果 $(139.6 \pm 1.5) \text{Ma} \sim (136.4 \pm 1.9) \text{Ma}$ 可基本反映土城子组的主体形成时间范围. 可见土城子组的形成年代并不像预想的那样老(最新的测年结果表明,在冀北—辽西地区,土城子组的底界年龄为 145 Ma 左右),其主体部分应是早白垩世形成的.

(2)在滦平地区,土城子组与张家口组之间在时间上和空间上的连续性,关系到中生代构造转换界面的重新厘定. 目前,很多研究者认为冀北的土城子组是 NEE 向的构造体制下形成的(Davis *et al.*, 2001;张长厚等,2004;赵越等,2004),是以 NEE 向构造为主. 滦平地区土城子组与张家口组在时间、空间上的连续性,说明二者是同一构造背景的产物,暗示冀北—辽西地区的主要构造转换界面并不在这 2 个组之间,而应在该地区张家口组之上,即在滦平地区的张家口组之上与辽西的义县组之下(张宏等,2005a).

(3)在滦平地区,土城子组与张家口组之间在时间上和空间上的连续性,也关系到 J_3-K_1 界限的划分问题. 目前,很多研究者认为冀北地区的土城子组与张家口组之间存在 J_3-K_1 界线(牛宝贵等,2003; Niu *et al.*, 2004;张长厚等,2004;赵越等,2004). 滦平地区的测年数据以及相关分析结果与上述认识有较大的差距. 这有以下 2 种可能:一是滦平地区的土城子组不具有代表性. 从目前拥有的资料分析,在辽西北票的四合屯地区,土城子组顶部的 Ar-Ar 年龄为 $(139.1 \pm 0.2) \text{Ma}$ (Swisher *et al.*, 2001),这与

笔者滦平地区的测年结果在误差范围内相同,说明滦平地区的土城子组上部层位的年龄是有区域代表性的. 二是滦平地区的张家口组与承德地区的“张家口”是不同时期、不同地质背景下的产物. 从目前的测年结果看,滦平地区的张家口组与承德地区的张家口组的测年结果有明显的差异(见本文),而且,2 地区的张家口组与土城子组的接触关系明显不同,所以 2 地区的张家口组可能是不同时期、不同地质背景下的产物. 承德地区张家口组下部层位的年代为 129~126 Ma,这与辽西地区义县组形成的主体年代范围(133~120 Ma,季强等,2004;张宏等,2004)相对应,即承德地区的张家口组可能是辽西地区义县组形成时期形成的. 如果上述分析成立的话,则冀北—辽西地区(以至整个中国东部地区) J_3-K_1 界限的划分有 2 种可能:一种是在义县组之下(同时在滦平地区的张家口组之上);另一种可能是在土城子组与髫髻山组之间. 当然,具体的划分方案有待于进一步工作.

(4)在辽西的北票—义县地区、凌源地区和冀北的滦平地区,它们中生代地层的对比问题一直存在争议(季强等,2004;王五力等,2004). 本文大店子组顶部火山岩年代的测年结果,说明滦平地区大店子组的顶部在年代上与辽西北票—义县地区的义县组底部基本相当,与凌源地区的张家口组顶部层位基本相当.

4 存在问题

目前,有 2 个重要的问题亟待解决:(1)对承德骆驼山(鸡冠山)地区的土城子组与“张家口”之间的角度不整合应进一步研究. 目前,众多研究者认为冀北—辽西地区(乃至中国东部)的 J_3-K_1 界限和构造转换界面是在土城子组与张家口组之间,主要是根据该角度不整合. 这里,笔者对该不整合提出以下质疑:①在已有的测试数据中,该地区张家口组下部层位的 2 个 SHRIMP U-Pb 年龄值均小于 130 Ma;该年龄值与辽西义县组的形成时间相对应,则该熔岩的时代及层位有待于进一步研究和重新划分;②该地区的“张家口组”和滦平地区的张家口组之间在岩石、矿物特征、微量元素等方面均存在差别(笔者将在另文发表). (2)土城子组的底界年龄以及冀北—辽西地区土城子组的对比测年亟待解决. 目前,土城子组之上的张家口组和之下的髫髻山组的测

年结果较多,基本给出了主体的形成时代范围;然而最为关键的土城子组的测年结果却非常少。事实上,冀北—辽西地区土城子组中有一定量的凝灰岩夹层,尤其是在冀北地区,它们有良好的测年对象。

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!感谢河北廊坊区调队李林庆先生等在锆石分选工作中付出的辛勤汗水!

References

- Andersen, T., 2002. Correlation of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192: 59—79.
- 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.
- Davis, G. A., Zheng, Y. D., Wang, C., et al., 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. In: Hendrix, M. S., Davis, G. A., eds., Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution of Central Asia: From continental assembly to intracontinental deformation. *Geological Society of America Memoir*, 194: 171—197.
- Hancher, J. M., Hoskin, P. W. O., 2003. Zircon. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53: 26—61.
- Ji, Q., Currie, P. J., Norell, M., et al., 1998. Two feathered dinosaurs from northeastern China. *Nature*, 393: 753—761.
- Ji, Q., Chen, W., Wang, W. L., et al., 2004. Mesozoic Jehol Biota of western Liaoning, China. Geological Publishing House, Beijing, 1—375 (in Chinese).
- 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. *Acta Petrologica Mineralogica*, 22(3): 237—244 (in Chinese with English abstract).
- Niu, B. G., He, Z. J., Song, B., et al., 2003. SHRIMP geochronology of volcanics of the Zhangjiakou and its significance. *Geological Bulletin of China*, 22(2): 140—141 (in Chinese).
- 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 mountains 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., Wang, Z. X., Chen, B. W., et al., 2002. China and adjacent tectonic map (1 : 5 000 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Swisher, C. C., Wang, X. L., Zhou, Z. H., et al., 2001. New evidence of the Yixian Formation isotopic ages and the dating of the Tuchengzi Formation $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. *Chinese Science Bulletin*, 46(23): 2009—2013 (in Chinese).
- 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.
- 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.
- Tian, S. G., Pang, Q. Q., Niu, S. W., et al., 2004. Terrestrial Jurassic-Cretaceous boundary stratotype candidate in Luanping, northern Hebei. *Geological Bulletin of China*, 23(12): 1171—1180 (in Chinese with English abstract).
- Wang, W. L., Zhang, H., Zhang, L. J., et al., 2004. The standard stratigraphic sections of Tuchengzi stage and Yixian stage and their stratigraphy, palaeontology and tectonic-volcanic actions. Geological Publishing House, Beijing, 21—69 (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.
- Yuan, H. L., Wu, F. Y., Gao, S., et al., 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 48(22): 2411—2421.
- Zhang, C. H., Wu, X. G., Xu, D. B., et al., 2004. Mesozoic tectonic framework and evolution in central segment of the introplate Yanshan orogenic belt. *Geological Bulletin*

- tin of China*, 23(9-10): 864-875 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H., Liu, X. M., Zhang, Y. Q., et al., 2005a. Zircon U-Pb ages and significance of bottom and top beds of Zhangjiakou Formation in Liaoning and Hebei provinces. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(4): 387-401 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H., Liu, X. M., Gao, S., et al., 2005b. 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 areas, western Liaoning. *Geological Bulletin of China*, 23(8): 766-777 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y., Zhang, S. H., Xu, G., et al., 2004. The Jurassic major tectonic event of the Yanshanian introplate deformation belt. *Geological Bulletin of China*, 23(9-10): 854-863 (in Chinese with English abstract).
- 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.
- 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): 237-244.
- 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 等, 2003. 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, 王作勋, 陈炳蔚, 等, 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.
- Swisher, C. C., 汪筱林, 周忠和, 等, 2001. 义县组同位素年代新证据及土城子组⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄测定. *科学通报*, 46(23): 2009-2013.
- 田树刚, 庞其清, 牛绍武, 等, 2004. 冀北滦平盆地陆相侏罗系—白垩系界限候选层型剖面初步研究. *地质通报*, 23(12): 1171-1180.
- 王五力, 张宏, 张立君, 等, 2004. 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, 21-69.
- 张长厚, 吴鑫国, 徐德斌, 等, 2004. 燕山板内造山带中段中生代构造格局与构造演化. *地质通报*, 23(9-10): 864-875.
- 张宏, 柳小明, 张晔卿, 等, 2005a. 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——中国地质大学学报*, 30(4): 387-401.
- 张宏, 柳小明, 高山, 等, 2005b. 辽西凌源地区张家口组的重厘定及其意义——来自激光 ICPMS 锆石 U-Pb 年龄的制约. *地质通报*, 24(2): 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.
- 赵越, 张拴宏, 徐刚, 等, 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.

附中文参考文献

- 季强, 陈文, 王五力, 等, 2004. 中国辽西中生代热河生物群. 北京:地质出版社, 1-375.