

文章编号: 1009-3850(2014)03-0088-08

冀北承德盆地九龙山组凝灰岩夹层 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义

张运强, 陈海燕, 魏文通, 陈超, 刘应龙, 张立国, 朱志攀

(河北省区域地质矿产调查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:冀北承德盆地中生代侏罗纪地层序列较齐全,但作为关键层位之一的九龙山组一直缺乏高精度年代学的约束。笔者首次对九龙山组凝灰岩夹层进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 高精度定年,获得凝灰岩中岩浆锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄 164.1 ± 1.3 Ma。综合研究及对比表明,九龙山组的时限为 158 ~ 164Ma,属中侏罗世晚期至晚侏罗世早期,对应于国际地层表的牛津期至卡洛维期,其沉积时间相对短暂。在此基础上,更新了研究区侏罗系年代地层柱状图,该认识对于深入研究燕山地区中生代侏罗纪地层格架及构造岩浆演化过程具有重要意义。

关键词:凝灰岩;九龙山组;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年;承德盆地

中图分类号: P534.52

文献标识码: A

冀北承德盆地作为中国北方燕山地区典型的中生代陆相火山沉积盆地,其侏罗纪时期的构造变形复杂,火山活动频繁,陆相火山碎屑沉积和冲积-湖盆沉积相互叠加。研究区该地质时期的陆相火山岩地层层序、古生物、构造岩浆演化、同位素年代学等方面的问题历来被国内外地质学者广泛关注,并已取得了大量研究成果^[1-13]。然而,该地区侏罗纪地层某些关键层位地层年代学的研究相对滞后,导致对侏罗纪年代地层的划分存在分歧,严重影响对燕山地区中生代构造格架转换、岩浆活动、生物演化等方面的进一步探索。其中,承德盆地九龙山组的时限及区域对比问题一直没有解决。

九龙山组,原称九龙山系,由叶良辅 1920 年于北京市门头沟区乐家坡南山命名。1959 年第一届全国地层会议改称为九龙山组。该组分布于北京西山的髻髻山及其以西地带,在冀北、冀西北主要分布于宣化-下花园、承德县-平泉、寿王坟-宽城、滦平,在赤城、抚宁等地也有零星出露,其代表了中侏罗统髻髻山组火山岩之下一套含火山凝灰物的陆

相碎屑岩沉积,岩石类型包括不同粒级的砾岩、砂岩、粉砂岩和粘土岩,以及凝灰质砾岩、砂岩、粉砂岩^[14-18]。冀北地区的“九龙山组”多以角度不整合覆盖在三叠系或更老的地层之上,而京西一带的“九龙山组”则与下伏地层龙门组表现为整合或假整合接触。长期以来,许多学者对九龙山组进行了岩石地层、沉积环境和古生物学方面的研究^[4,8,19]。但因九龙山组以碎屑岩为主,化石属、种较少,且化石组合有明显的穿时性,缺少可准确定年的属种。另外前人对其凝灰岩夹层未引起足够重视,没有根据最新精准测年方法对地层时代进行限定,导致对其形成时代存在不同的认识^[8,14,20]。本文通过冀北承德盆地九龙山组凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学分析,对中国北方中生界侏罗系九龙山组的年龄首次进行限定,并探讨其地质意义。在此基础上,提出承德盆地侏罗纪地层序列的初步划分方案,更新了侏罗系年代地层柱状图。

1 区域地质背景

收稿日期: 2013-11-29; 改回日期: 2014-05-23

作者简介: 张运强(1982-)男,硕士,工程师,主要从事区域地质调查与研究。E-mail: zhyqok@163.com

资助项目: 中国地质调查局地质大调查项目《晋冀成矿带地质矿产调查》(1212011220486)

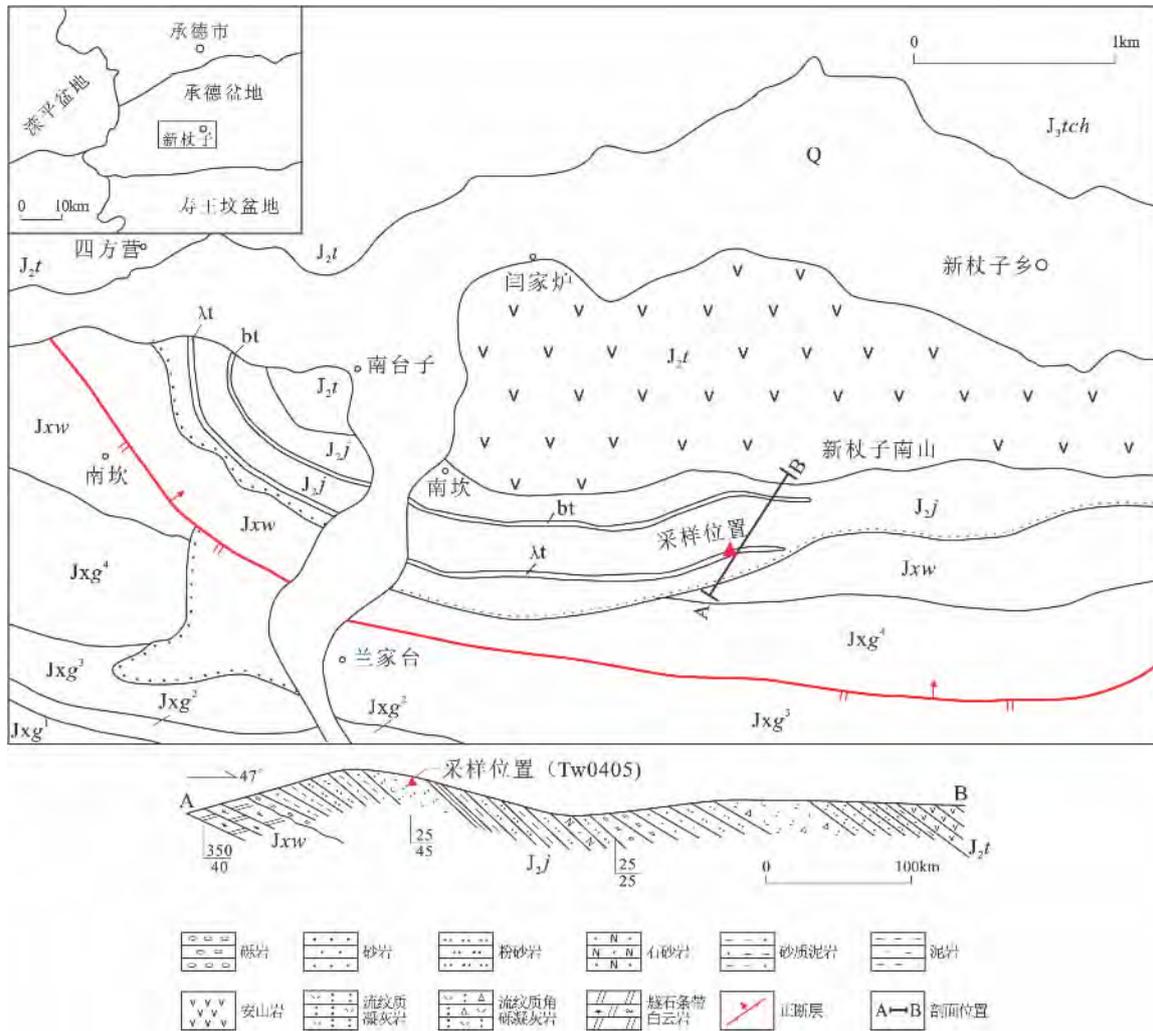


图1 承德盆地新杖子一带地质略图(据 1:25 万承德市幅修编)

Fig.1 Simplified geological map of the Xinzhangzi region in the Chengde Basin

研究区位于华北陆块北缘燕山板内造山带东段(图1)晚古生代-中生代期间经历了多次构造变形,形成目前复杂的构造格局。中生代期间,燕山地区不仅发生了强烈构造变形,还伴随广泛岩浆活动,形成了众多的火山-沉积盆地,承德盆地是侏罗纪地层发育和保存最好的地区之一。

承德盆地九龙山组主要分布在盆地西部的南台、新杖子南山、大牛犊子沟、孟家庄一带,在下板城一带亦有零星分布,其角度不整合于下花园组或更老地层之上。岩性主要为:下部为紫红色、灰绿色泥质粉砂岩、泥岩,夹岩屑砂岩、细砾岩透镜体;上部为灰紫色粉砂岩夹2~3层灰白色流纹质凝灰岩、含角砾凝灰岩及沉凝灰岩(图3a,b)。其岩性组合与邻区滦平盆地和寿王坟盆地较为相似,与京西盆地亦有较强可比性(图2)。

2 样品采集及分析方法

本文研究的九龙山组凝灰岩夹层样品 TW0405-1(图3a、b)采自承德盆地西部新杖子南山附近, GPS 坐标: N40°45'55" , E117°50'03"。岩石新鲜面呈灰白色,凝灰结构,弱熔结结构(图3c),块状构造;镜下鉴定由晶屑、岩屑、玻屑组成,以粒度 < 2mm 的凝灰物为主,粒度 > 2mm 的火山角砾次之。晶屑由钾长石、石英组成,零星分布,次棱角状,大小 0.05 ~ 0.8mm。岩屑为刚性、半塑性、塑性,杂乱分布,大小 0.3 ~ 19mm,成分为流纹岩、凝灰岩、熔结凝灰岩等。玻屑呈弧面棱角状、鸡骨状、弓状等,可见拉长、弯曲、圆化等现象(图3d)。

野外采集新鲜凝灰岩样品粉碎至 80 目,用水粗淘,进行强磁分选、电磁分选及酒精细淘之后,在实体显微镜下挑选裂隙相对少、表面尽量洁净、透明度相对较高的锆石约 100 粒制作锆石环氧树脂靶,经打磨抛光后,拍摄锆石反射光、透射光和阴极发光(CL)图像。

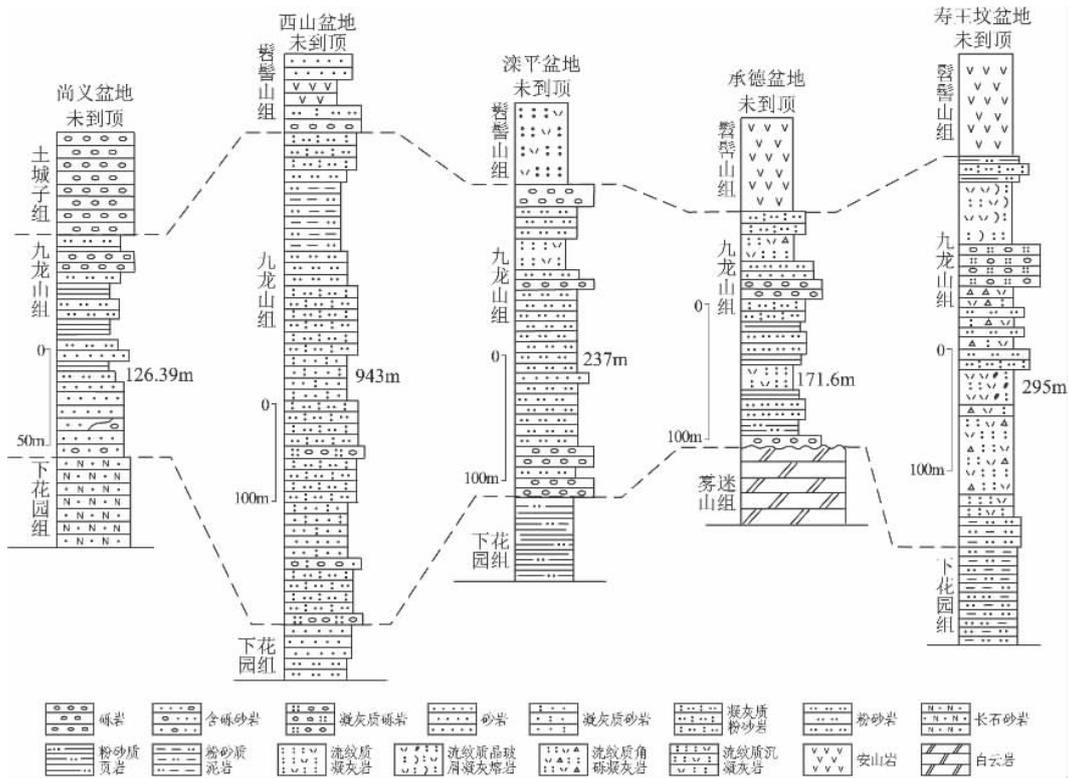


图2 冀北九龙山组地层对比柱状图

Fig. 2 Columns showing the stratigraphic correlation in the Jiulongshan Formation, northern Hebei

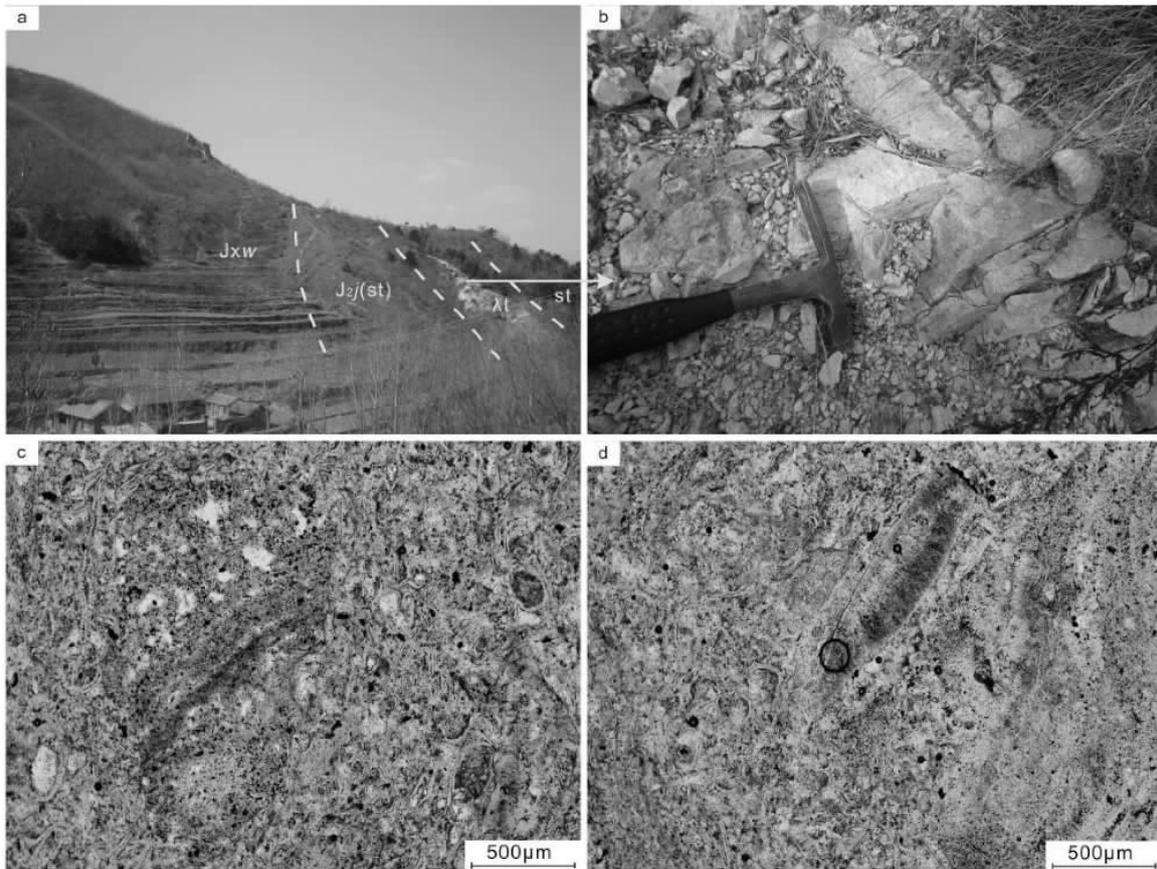


图3 承德盆地九龙山组凝灰岩夹层野外及镜下特征

Fig. 3 Macroscopic and microscopic observation of the tuffs from the Jiulongshan Formation in the Chengde Basin

九龙山组凝灰岩锆石的透射、发射及 CL 图像(图 4)显示,锆石多为自形柱状晶体,柱面{100}、{110}发育,晶形较完整,粒径 $50\mu\text{m} \times 70\mu\text{m} \sim 75\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$,长宽比 $1.5 \sim 4$,晶面较简单,晶棱锋锐、清晰,具有清晰较窄的振荡环带结构,扇形分带结构明显(12、13、24、27号), $\text{Th}/\text{U}=0.5 \sim 2.8$ (表 1),属典型中酸性岩浆结晶锆石^[36]。对照图像分析选择锆石合适的测年晶域,在天津地质矿产研究所同位素实验室利用激光烧蚀多接收器等离子质谱仪(LA-MC-ICP-MS)进行微区原位 U-Pb 同位素测定,

激光剥蚀斑束直径 $30\mu\text{m}$ ^[37],采用 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U-Pb 同位素分馏校正^[38]。数据处理采用中国地质大学刘勇胜研发的 ICP-MSDataCal 程序^[39]和 Ludwig 的 Isoplot 程序^[40]。应用²⁰⁸Pb 校正法对普通铅进行校正^[41],利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。单矿物分选在河北省区域地质矿产调查研究所地质实验室进行;阴极发光图像拍照在北京锆年领航科技有限公司扫描电镜实验室完成。反射光、透射光图像在天津地质调查中心完成。

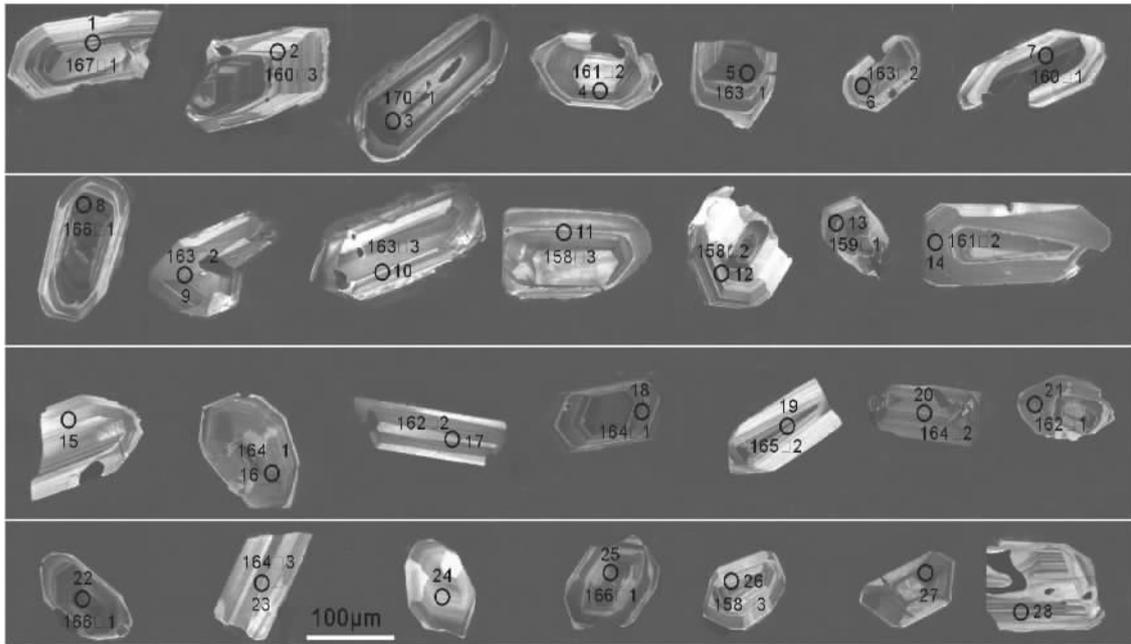


图 4 九龙山组凝灰岩锆石阴极发光图像(圆圈和数字表示测点位置、测点编号和²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄)

Fig. 4 Representative cathodoluminescence photomicrographs of the zircons in the tuff sample from the Jiulongshan Formation in the Chengde Basin

3 分析结果

对凝灰岩锆石 CL 图像详细分析后,采用 LA-ICP-MS 法对凝灰岩的 26 个岩浆锆石进行了 U-Pb 原位测年,分析结果见表 1。九龙山组凝灰岩锆石年龄有效数据点 25 个,25 个同类性质锆石微区记录的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄十分一致,年龄集中变化于 158~170Ma 之间,²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权平均年龄为 $164.1 \pm 1.3\text{Ma}$ (MSWD=5.2,图 5),该年龄可解释为九龙山组沉积时期一次火山活动的时代。

4 讨论

4.1 九龙山组时限探讨

九龙山组自建组以来,对其岩石地层层位争议

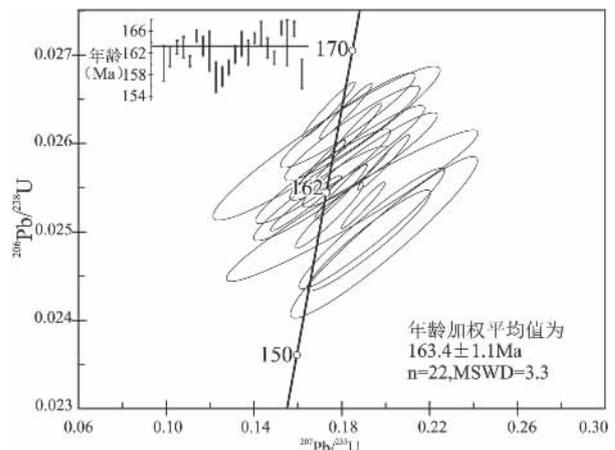


图 5 九龙山组凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 5 U-Pb isotopic concordia plot for the tuff sample from the Jiulongshan Formation in the Chengde Basin

表1 九龙山组凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic age determinations for the tuff samples from the Jiulongshan Formation in the Chengde Basin

样号	Pb ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	同位素原子比率						表面年龄 (Ma)					
				$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
				比值	误差%	比值	误差%	比值	误差%	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ
TW0405.1.1	8	251	0.89	0.0263	0.77	0.1782	5.87	0.0490	5.78	167	1	167	10	146	136
TW0405.1.2	3	109	0.64	0.0251	2.05	0.1825	19.93	0.0515	19.64	160	3	170	34	261	451
TW0405.1.3	35	759	2.84	0.0267	0.56	0.1858	2.32	0.0504	2.26	170	1	173	4	213	52
TW0405.1.4	4	124	1.23	0.0253	1.32	0.1781	11.63	0.0510	11.41	161	2	166	19	239	263
TW0405.1.5	17	497	1.49	0.0256	0.57	0.1672	2.93	0.0473	2.89	163	1	157	5	63	69
TW0405.1.6	5	191	0.67	0.0256	1.03	0.1747	7.82	0.0492	7.77	163	2	164	13	160	182
TW0405.1.7	18	531	1.50	0.0251	0.67	0.1878	3.24	0.0541	3.14	160	1	175	6	374	71
TW0405.1.8	12	335	1.39	0.0261	0.66	0.1727	4.35	0.0479	4.31	166	1	162	7	92	102
TW0405.1.9	6	158	1.88	0.0257	1.18	0.1721	8.96	0.0482	8.95	163	2	161	14	107	211
TW0405.1.10	3	99	0.99	0.0256	2.04	0.1757	13.82	0.0492	14.21	163	3	164	23	157	333
TW0405.1.11	3	107	1.03	0.0247	2.05	0.1947	13.21	0.0571	12.95	158	3	181	24	495	285
TW0405.1.12	6	187	1.49	0.0248	1.32	0.1907	9.16	0.0542	8.38	158	2	177	16	381	188
TW0405.1.13	9	243	1.91	0.0250	0.85	0.1733	5.73	0.0499	5.66	159	1	162	9	192	132
TW0405.1.14	5	158	1.30	0.0254	1.01	0.1884	7.65	0.0531	7.73	161	2	175	13	335	175
TW0405.1.16	7	220	0.91	0.0257	0.87	0.2024	6.02	0.0571	5.80	164	1	187	11	495	128
TW0405.1.17	4	135	1.27	0.0254	1.30	0.1732	12.74	0.0482	12.71	162	2	162	21	108	300
TW0405.1.18	23	660	1.65	0.0258	0.45	0.1962	2.39	0.0551	2.37	164	1	182	4	416	53
TW0405.1.19	4	148	0.67	0.0260	1.23	0.1844	9.44	0.0508	9.32	165	2	172	16	231	215
TW0405.1.20	6	194	1.25	0.0257	1.16	0.1939	7.25	0.0547	7.08	164	2	180	13	401	159
TW0405.1.21	7	262	0.70	0.0254	0.68	0.1635	5.93	0.0464	5.86	162	1	154	9	18	141
TW0405.1.22	17	553	0.88	0.0261	0.52	0.1841	2.91	0.0512	2.76	166	1	172	5	248	64
TW0405.1.23	3	86	0.96	0.0258	2.04	0.1713	19.54	0.0467	20.11	164	3	161	31	34	482
TW0405.1.25	11	372	0.61	0.0261	0.55	0.1808	4.10	0.0501	4.03	166	1	169	7	199	94
TW0405.1.26	5	171	0.52	0.0249	1.59	0.1907	11.28	0.0555	11.30	158	3	177	20	430	252

注:表中误差均以1 σ 表示

较少,而对其的形成时代主要依据地层中的古生物化石组合及其上覆髫髻山组(蓝旗组)火山岩同位素年龄推定^[8,14,20]。古生物方面,研究区九龙山组下部产植物,种属较多,并含动物化石。植物组合以银杏、松柏类居多,其次为蕨类及苏铁类,有节类仅居从属地位,符合我国北方早、中侏罗世植物面貌,未见有 *Dictyophyllum-Clathroptersis* 早侏罗世植物群分子的混生现象,与北京西山九龙山组植物群组合基本一致,与植物群共生的瓣腮类、叶肢介所代表的地质时代应属于中侏罗世早期^[6,14-16];同位素年代学方面,前人依据上覆髫髻山组和下伏南大岭组同位素年龄将九龙山组推定为晚侏罗世^[20],本文九龙山组下部凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年数据的获取,使得对承德盆地九龙山组形成时代的限定成为可能。

由图3和表2可知,九龙山组下部凝灰岩锆石

U-Pb 年龄为 $164.1 \pm 1.3\text{Ma}$ 。其上限年龄可参考上覆髫髻山组火山岩底界年龄,前人对该问题存在分歧^[20,21]。张宏等取自承德县-承德公路边髫髻山组底部的灰白色英安岩-流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄($164.4 \pm 2.7\text{Ma}$),认为其下限年龄应在 165Ma 左右;刘健等认为前者所采集的样品中存在较多继承锆石而得出明显偏老的锆石 U-Pb 年龄,并综合分析对比燕山地区髫髻山期(蓝旗期)火山岩时代,将髫髻山组下限年龄限定在 $158 \pm 1\text{Ma}$ 。笔者通过正在开展的 1:5 万新杖子、承德幅区调项目进行野外观测认为,前者所取髫髻山组底部灰白色英安岩-流纹岩不是研究区典型髫髻山组底部岩性,其锆石 U-Pb 年龄能否代表髫髻山组底部年龄是值得商榷的。因此,笔者认为九龙山组凝灰岩形成年龄应为 158~164Ma,参考最新“国际地层表”^[22],早侏罗世与中侏罗世世界限为 $174.1 \pm 1.0\text{Ma}$,中侏罗世与晚侏

罗世界限为 $163.5 \pm 1.0\text{Ma}$,故九龙山组形成时代应
为中侏罗世晚期至晚侏罗世早期 ,对应于国际地层
表的牛津期至卡洛维期(图 6)。

4.2 九龙山组时限对上覆及下伏地层正确划
分的制约

前人对研究区侏罗纪火山岩地层的划分方案
多基于岩石地层、古生物等方面的依据 ,但中生代
燕辽生物群和热河生物群的古生物多有穿时性且
缺失关键层位九龙山组测年数据 ,导致许多地质学
者对髫髻山组和南大岭组火山岩地层对比及时代
归属存在疑惑 ,认为二者可能为“同名异
物”^[21 23 24]。本文凝灰岩锆石 U-Pb 同位素年龄的
获取对燕山地区九龙山组进行了首次限定 ,为进一
步区域地层对比及建立年代地层序列提供了依据。

研究区中生代侏罗纪各地层同位素测年数据
表明 ,髫髻山组时限为 $153 \sim 158\text{Ma}$;九龙山组的时
限为 $158 \sim 164\text{Ma}$;下花园组煤系地层因暂未发现合
适测年载体 ,地层年代仍以古生物依据界定 ,南大
岭组火山岩同位素年龄参考京西盆地(玄武岩锆石
U-Pb 年龄 $174 \pm 8\text{Ma}$)^[25]。上述侏罗纪各地层同位
素年代数据为一连续序列 ,且九龙山组的沉积时间
相对短暂 ,不同层位同位素年龄区间未见明显重叠
现象 ,髫髻山组安山岩与南大岭组玄武岩同位素年
龄存在一定时差。此外代表二者喷溢期的锆石成
因矿物学特征明显不同(其形成机理将在另文讨
论)。因此 ,仅依据少量不同测试条件下获取的火
山岩同位素年龄而将二者理解为同一期次岩浆活
动的产物是不妥的。笔者倾向于承德盆地的髫髻
山组与南大岭组应属两次相对独立的构造-岩浆事
件的产物 ,而非同一构造、岩浆作用下的“同名异
物”。

4.3 承德盆地侏罗纪年代地层柱新思考

研究区作为中国北方燕山地区典型中生代陆
相火山沉积盆地 ,地层层序发育齐全 ,区域可对比
性较强(图 2)。前人多通过地层学、古生物学及 K-
Ar 同位素定年方法 ,对承德盆地中生代侏罗纪地层
序列进行了界定^[4 8,14,15,26,27]。然而 ,随着近年来最
新高精度同位素测年数据的积累 ,研究区侏罗纪年
代地层传统划分方案受到挑战^[20 21 28-30] ,尤其是年
代地层框架的重新厘定和冀北燕山地区中生代岩
浆构造演化等问题成为专家学者争论的焦点。根
据最新“国际地层表”侏罗纪划分方案 ,即将侏罗纪
下限年龄定为 $201.3 \pm 0.2\text{Ma}$,早中侏罗世以 174.1
 $\pm 1.0\text{Ma}$ 为界限 ,中晚侏罗世以 $163.5 \pm 1.0\text{Ma}$ 为

界限^[22]。本文综合九龙山组时限及侏罗纪其它地
层同位素年龄 ,提出了冀北承德盆地侏罗纪年代地
层的初步划分方案(图 6) ,建立了侏罗纪年代地层
柱 ,认为杏石口组沉积时间不早于早侏罗世 ,南大
岭组火山岩形成于早侏罗世晚期至中侏罗世早期 ,
九龙山组的时限为中侏罗世晚期至晚侏罗世早期 ,
髫髻山组的年龄为晚侏罗世 ,土城子组应属于晚侏
罗世至早白垩世的产物。上述侏罗纪年代地层柱
的建立 ,为冀北燕山地区中生代陆相火山沉积地
层的系统对比和相关地质问题的思考提供了新依据。

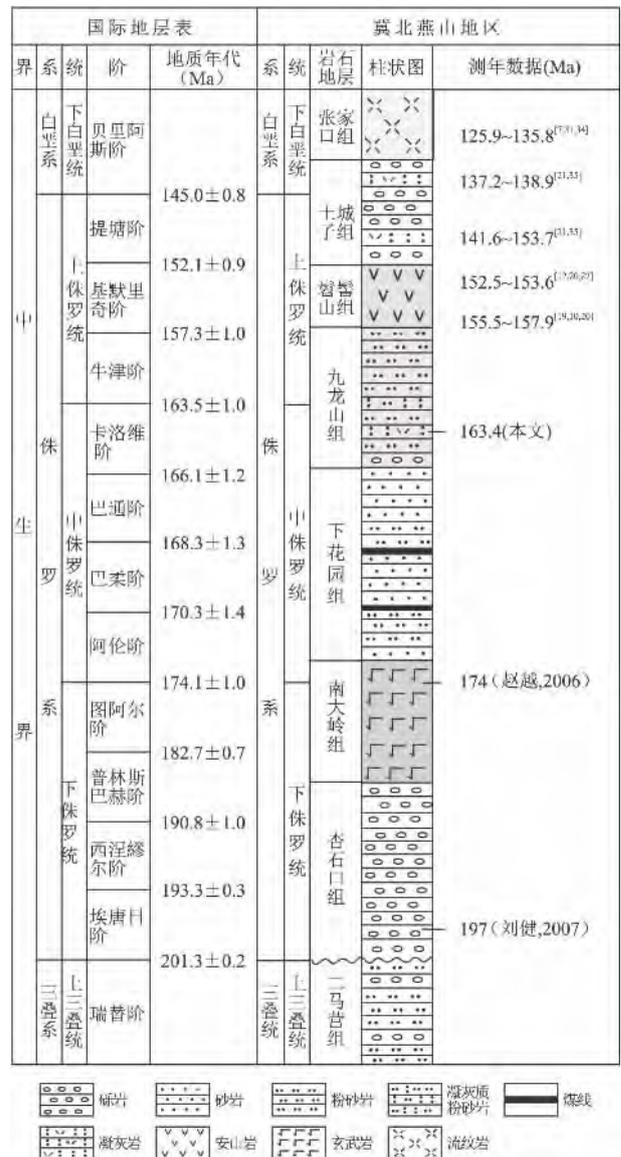


图 6 承德盆地侏罗纪年代地层柱综合柱状图
Fig. 6 Generalized column of the Jurassic strata in the Chengde Basin

5 结论

本文通过对凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位

素测年,在中国北方燕山地区首次将九龙山组形成时代约束在 158 ~ 164Ma 之间。该成果为重新厘定研究区中生代侏罗系地层层序、建立年代地层框架、进一步研究中生代岩浆构造演化及生物演化等方面提供了重要依据。

(1) 九龙山组时限处于 158 ~ 164Ma 之间,属中侏罗世晚期至晚侏罗世早期,对应于国际地层表的牛津期至卡洛维期。

(2) 髫髻山组与南大岭组不应属于同一构造岩浆作用下的“同名异物”。

(3) 综合分析承德盆地中生代侏罗纪各地层同位素数据,对其时代归属进行了重新思考,提出了侏罗纪年代地层的初步划分方案,更新了年代地层柱。

致谢:中国地质调查局天津地质调查中心同位素实验室工作人员在 LA-ICP-MS 锆石微区 U-Pb 原位定年测试分析方面给予了大力支持,北京铅年领航科技有限公司为锆石阴极发光图像提供了热情帮助,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并感谢。

参考文献:

- [1] 李忠,刘少锋,张金芳,等.燕山典型盆地充填序列及迁移特征:对中生代构造转折的影响[J].中国科学(D)辑,2003,33(10):931-940.
- [2] 何政军,牛宝贵,张新元.晚侏罗世承德盆地砾岩碎屑源区分析及构造意义[J].岩石学报,2007,23(3):655-666.
- [3] 许欢,柳永清,刘燕学,等.阴山-燕山地区晚侏罗世-早白垩世土城子组地层、沉积特征及盆地构造属性分析[J].地学前缘,2011,18(4):88-106.
- [4] 武法东,陈永进,侯宇安,等.滦平盆地沉积-构造演化及高精度层序地层特征[J].地球科学-中国地质大学学报,2002,29(5):625-630.
- [5] 王思恩.中国东部侏罗-白垩纪生物地层[M].北京:地质出版社,1989.143-195.
- [6] 陈芬,龚亚伟,黄其胜.北京西山侏罗纪植物群[M].北京:地质出版社,1985.
- [7] 萧宗正,杨鸿年,单青生.北京中生代地层及生物群[M].北京:地质出版社,1994.
- [8] 季强.中国辽西中生代热河生物群[M].北京:地质出版社,2004.79-203.
- [9] 刘晓文,胡健民,赵越,等.冀北地区早、中侏罗世地层划分及其区域对比[J].地质通报,2005,24(9):872-878.
- [10] 赵越,张拴宏,徐刚,等.燕山板内变形带侏罗纪主要构造事件[J].地质通报,2004a,23(9-10):854-863.
- [11] 赵越,徐刚,张拴宏,等.燕山运动与东亚构造体制的转换.地学前缘[J].地质通报,2004b,11(3):319-328.
- [12] 杨蔚,李曙光.辽西地区中生代火山岩年代学和地球化学:对华北岩石圈减薄机制的制约(论文摘要)[A].2005年全国岩石学与地球动力学研讨会[C].杭州:2005.103.
- [13] 李伍平,李献华.燕山造山带中段中晚侏罗世中酸性火山岩的成因及其意义[J].岩石学报,2004,20(3):501-510.
- [14] 河北省地质矿产局.河北省北京市天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.192-218.
- [15] 河北省地质局.全国地层多重划分对比研究(13)-河北省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1996.78-79.
- [16] 北京市地质矿产局.北京市区域地质志[M].北京:地质出版社,1991.159-212.
- [17] 辽宁省地质矿产局.辽宁省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.227-251.
- [18] 中国地层典编写组.中国地层典(侏罗系)[M].北京:地质出版社,1-154.
- [19] 柳永清,刘燕学,姬书安,等.内蒙古宁城和辽西凌源热水汤地区道虎沟生物群与相关地层 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及有关问题的讨论[J].科学通报,2006,51(19):2273-2282.
- [20] 刘健,赵越,柳小明.冀北承德盆地髫髻山组火山岩的时代[J].岩石学报,2006,22(11):2617-2630.
- [21] 张宏,王明新,柳小明.LA-ICP-MS 测年对辽西-冀北地区髫髻山组火山岩上限年龄的限定[J].中国科学D辑,2008,38(8):960-970.
- [22] GRADSTEIN F M, JMAES G O, MARK D S et al. The Geologic Time Scale 2012 [J]. Amsterdam: Elsevier Science Limited 2012.
- [23] 汪洋,李家振,孙善平,等.北京西山髫髻山组火山岩 Sm-Nd 等时线年龄初步研究[J].北京地质,2001,13(3):18-21.
- [24] DAVIS G A. The late Jurassic "Tuchengzi/Houcheng" formation of the Yanshan fold-thrust belt: an analysis [J]. Earth Science Frontiers 2005, 12(4): 331-345.
- [25] 赵越,宋彪,张拴宏,等.北京西山侏罗纪南大岭组玄武岩的继承锆石年代学及其含义[J].地学前缘,2006,13(2):183-190.
- [26] DAVIS G A, ZHENG Y D, WANG C et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China [A]. Hendrix M S, Davis G A. Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia: From Continental Assembly to Intra-continental Deformation [C]. Boulder, Colorado: Geological Society of America Memoir, 2001. 171-197.
- [27] COPE T C. Sedimentary Evolution of the Yanshan Fold-thrust Belt, Northeast China [M]. California: Stanford University 2003. 1-230.
- [28] 沙金庚.中国侏罗纪年代地层学研究的现状[J].地层学杂志,2005,29(2):124-128.
- [29] YANG J H, WU F Y, SHAO J A et al. Constraints on the timing of uplift of the Yanshan fold and thrust belt, north China [J]. Earth and Planetary Science Letters 2006, 24(6): 336-352.
- [30] 刘健,赵越,柳小明,等.燕山褶皱断带下板城盆地杏石口组沉积特征及其构造意义[J].岩石学报,2007,23(3):639-654.
- [31] 牛宝贵,和政军,宋彪,等.张家口组火山岩 SHRIMP 定年及

- 其重大意义[J]. 地质通报 2002 22(2): 140 - 141.
- [32] 柳永清,李佩贤,田树刚. 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[J]. 岩石矿物学杂志 2003 22(3): 238 - 244.
- [33] NIU B G, HE Z J, SONG B, et al. SHRIMP geochronology of volcanics of the Zhangjiakou and Yixian formations, northern Hebei Province, with a discussion on the age of the Xingpanling Group of the Great Hinggan mountain and volcanic strata of the southeastern coastal area of China [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition) 2004 78(6): 1214 - 1228.
- [34] 张宏,柳小明,张晔卿,等. 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[J]. 地球科学, 2005 30(4): 387 - 401.
- [35] 张长厚,邓洪菱,李程明,等. 燕山板内造山带中部“承德逆冲构造”的褶皱相关断裂构造模型[J]. 地球科学 2012 19(5): 27 - 40.
- [36] 吴元保,郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报 2004 49(16): 1589 - 1604.
- [37] 李怀坤,朱士兴,相振群,等. 北京延庆高于庄组凝灰岩的锆石 U-Pb 定年研究及其对华北北部中元古界划分新方案的进一步约束[J]. 岩石学报 2010 26(7): 2131 - 2140.
- [38] JACKSON S E, PEARSON N J, GRIFFIN W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology [J]. Chemical Geology 2004 211: 47 - 69.
- [39] LIU Y S, GAO S, HU Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths [J]. Journal of Petrology 2009 51: 537 - 571.
- [40] LUDWIG K R. User's manual for Isoplot/EX, Version 3.00: A geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4: 1 - 70.
- [41] ANDERSON T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology 2002 192(1/2): 59 - 79.

The tuffs from the Jiulongshan Formation in the Chengde Basin, northern Hebei: LA-ICP-MS zircon U-Pb age dating and its geological implications

ZHANG Yun-qiang, CHEN Hai-yan, WEI Wen-tong, CHEN Chao, LIU Ying-long, ZHANG Li-guo, ZHU Zhi-pan

(Hebei Institute of Regional Geological Survey and Mineral Resources, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: The first LA-ICP-MS zircon U-Pb age dating is measured for the tuffs from the Jiulongshan Formation in the Chengde Basin, northern Hebei, and gives a weighted average value of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of 164.1 ± 1.3 Ma. The authors contend from the above result and 1:50 000 geological surveying of the Xinzhangzi and Chengde Sheets that the Jiulongshan Formation should be dated at 158 - 164 Ma, i. e., the late Middle Jurassic to the early Late Jurassic, or the Oxfordian - Callovian in the international stratigraphic chart. The result of research may provide an important evidence for the division of the Jurassic stratigraphic sequences, construction of chronostratigraphic framework, and further study of Mesozoic magmatic-tectonic evolution in the Yanshan area, northern China.

Key words: tuff; Jiulongshan Formation; LA-ICP-MS zircon U-Pb age dating; Chengde Basin