

doi: 10.12029/gc20180111

付俊彧, 那福超, 郑少林, 钟辉, 汪岩, 宋维民, 孙巍, 杨帆. 内蒙古科尔沁右翼中旗协和尔斯德中生代火山沉积地层时代研究[J]. 中国地质, 45(1): 129–140.

Fu Junyu, Na Fuchao, Zheng Shaolin, Zhong Hui, Wang Yan, Song Weiming, Sun Wei, Yang Fan. A study of geological age of the Mesozoic volcanic–sedimentary strata in Xiehe’rside area, Horqin Right Wing Middle Banner, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 45(1): 129–140(in Chinese with English abstract).

内蒙古科尔沁右翼中旗协和尔斯德中生代火山沉积 地层时代研究

付俊彧¹ 那福超¹ 郑少林¹ 钟辉¹ 汪岩¹ 宋维民^{1,2} 孙巍¹ 杨帆^{1,3}

(1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819;
3. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要: 内蒙古科尔沁右翼中旗协和尔斯德一带出露一套中生代地层, 岩石组合主要为酸性火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩夹碎屑沉积岩及酸性火山熔岩。1:50000 区调依据在该套地层上部层位发现的木化石组合确定其时代为中一晚侏罗世, 结合岩石组合, 将该套地层划分为上侏罗统满克头鄂博组。为了准确厘定该套地层时代, 为木化石延限研究及区域生物地层划分对比提供依据, 本次研究在低于产木化石层位的酸性火山碎屑岩中采取了锆石测年样品(LA-ICP-MS), 获得锆石 U-Pb 年龄(165±1) Ma, 时代为中侏罗世。同时采取了侵入该套地层的斑状细晶闪长岩测年样品, 获得锆石年龄(131±1) Ma, 限定了地层形成的上限年龄。根据岩性组合的区域对比、测年结果、木化石组合时限、地层产状特征, 认为该套地层应划为中侏罗统新民组, 是突泉火山-沉积盆地充填物的一部分。

关键词: 协和尔斯德; 中生代火山岩; 年代学; 木化石; 新民组

中图分类号: P588.14; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2018)01-0129-12

A study of geological age of the Mesozoic volcanic–sedimentary strata in Xiehe’ rside area, Horqin Right Wing Middle Banner, Inner Mongolia

FU Junyu¹, NA Fuchao¹, ZHENG Shaolin¹, ZHONG Hui¹, WANG Yan¹,
SONG Weiming^{1,2}, SUN Wei¹, YANG Fan^{1,3}

(1. Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China; 2. College of Resources and Civil Engineering, Northeast University, Shenyang 110819, Liaoning, China; 3. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

Abstract: A suite of Mesozoic strata is exposed in the Xiehe’rside area of Horqin Right Wing Middle Banner, Inner Mongolia. The lithological association is mainly composed of acidic pyroclastic rock and pyroclastic sedimentary rock intercalated with clastic sedimentary rock and acidic volcanic lava. Based on the fossil woods discovered in the upper layer of the strata by 1:50000 regional

收稿日期: 2016-04-14; 改回日期: 2017-11-10

基金项目: 中国地质调查局项目(121201207000171401, 1212011220435, 1212010881212)资助。

作者简介: 付俊彧, 男, 1966 年生, 教授级高级工程师, 从事区域地质、矿产研究; E-mail: fjyzy@163.com。

通讯作者: 那福超, 男, 1986 年生, 硕士, 工程师, 从事区域地质、构造地质学研究; E-mail: 350413595@qq.com。

survey, the authors hold that the formation time is middle-late Jurassic. Combined with the lithological association, the authors assigned the strata to the Upper Jurassic Manketouebo Formation. In order to accurately redefine the stratigraphic age and provide a basis for the study of the age of fossil woods and the regional biostratigraphic correlation, the authors collected zircon testing samples from the acidic pyroclastic rock in the horizon lower than that of the fossil woods, and determined that the zircon U-Pb age is (165 ± 1) Ma, belonging to middle Jurassic. In addition, the age of the porphyritic fine-crystalline grained diorite which invaded the strata was obtained, and the zircon U-Pb age is (131 ± 1) Ma, which defines the upper age limit of the strata. According to the regional correlation of lithological associations, dating results, time of fossil woods assemblage, and characteristics of attitude of strata, the authors conclude that the strata should be assigned to Middle Jurassic Xinmin Formation and constitute a part of the filler of Tuquan volcanic-sedimentary basin.

Key words: Xiehe's side; Mesozoic volcanic rocks; geochronology; fossil wood; Xinmin Formation

About the first author: FU Junyu, male, born in 1966, senior engineer, bachelor, mainly engages in the study of regional geology and mineral resources survey; E-mail: fjyzxy@163.com.

About the corresponding author: NA Fuchao, male, born in 1986, engineer, master, mainly engages in the study of regional geology and structural geology survey; E-mail: 350413595@qq.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (121201207000171401, No.1212011220435 and No.1212010881212).

大兴安岭中生代火山岩带是中国东部规模宏大的火山岩带,是东亚大陆边缘巨型火山岩带的重要组成部分(林强等,1998,1999),成岩时期主要为晚侏罗世—早白垩世(吴福元等,1999;葛文春等,2000;林强等,2003;钟辉等,2008),但中侏罗世火山岩也有较大面积的分布。据新近基础地质综合研究编图成果(沈阳地质调查中心,2013^①):大兴安岭中生代火山岩主要有中侏罗世塔木兰沟组(J_2tm)中基性—中性火山岩,新民组(J_2xm)酸性火山岩、火山碎屑沉积岩夹正常沉积岩;晚侏罗世满克头鄂博组(J_3m)酸性火山岩夹火山碎屑岩、玛尼吐组(J_3mn)中基性—中性火山岩;早白垩世白音高老组(K_1by)酸性火山岩夹碎屑沉积岩、龙江组(K_1l)中性—酸性火山岩夹碎屑沉积岩、甘河组(K_1g)及梅勒图组(K_1ml)中基性—中性火山岩、孤山镇组(K_1gs)酸性火山岩。由于露头较差,多数地区缺少接触关系证据,加上生物化石资料较少及后期构造的改造,因而地层时代及划分对比长期存在分歧(李文国等,1996;曲关生等,1997;周其林等,2013)。近年高精度测年方法的应用,有些是在缺少顶底接触关系及生物化石证据的地层中获得的测年数据,总结时便出现一个填图单位中的年龄跨度可达30~50 Ma,如满克头鄂博组年龄介于174~124 Ma,玛尼吐组年龄介于156~125 Ma(Zhao et al., 2010),几乎跨越大兴安岭地区侏罗纪—白垩纪火山岩的所有时代,这可能与原地层单位本身就不是一个地层单位有关。有的地

层单位中含有植物化石,但缺乏标准化石时对地层时代确定也会出现偏差。因而,在地质体顶底界线不清情形之下,应依据生物化石组合延限,结合同位素精确测年,并分析地质体岩相及产状,才能更客观准确地确定地质体层位,同时印证生物化石组合延限。

研究区出露一套中生代火山碎屑—沉积地层,在1:5万区域地质调查过程中,根据岩性组合特征及其中新发现的木化石,将其划分晚侏罗世满克头鄂博组(付俊彧等,2012;沈阳地质调查中心,2013^②),本次研究,在该地区含木化石下部层位采取锆石(U-Pb, LA-ICP-MS)测年样品,结合木化石组合延限、同位素测年结果及地质体产状,对该地区中生代火山岩时代、层位进一步进行讨论并修订,认为其归属于中侏罗世新民组更合适。

1 地质背景

研究区位于大兴安岭中南段科尔沁右翼中旗地区,突泉(宝石)火山盆地与大罕山火山盆地交汇处,即突泉火山盆地南缘、大罕山火山盆地北东缘(图1a)。火山盆地基底主要为古生代地层及晚古生代—早中生代深成侵入岩:早寒武世杜尔基组(C_1)海相碎屑岩、碳酸盐夹火山岩;早中二叠世(P_{1-2})寿山沟组及大石寨组海相陆源碎屑沉积岩及中酸性火山岩;晚二叠世(P_3)林西组河湖相碎屑沉积岩;晚二叠世英云闪长岩($\gamma\delta oP_3$);晚三叠世二长花岗岩($\eta\gamma T_3$)。突泉火山盆地南缘出露有中侏罗世万宝组

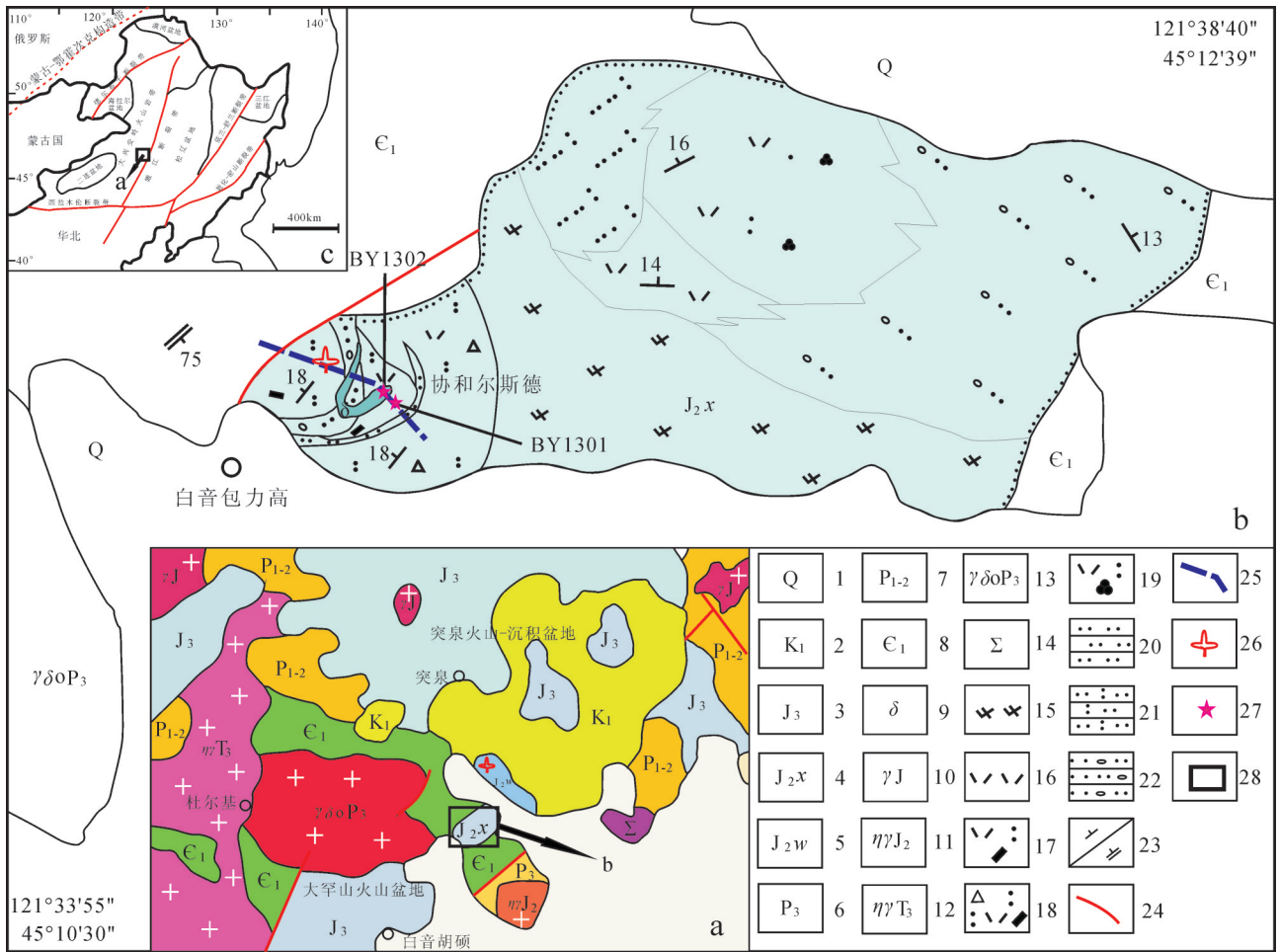


图1 研究区地质略图

a—区域地质背景图;b—研究区地质略图;c—区域大地构造图

1—第四系;2—下白垩统;3—上侏罗统;4—中侏罗统新民组;5—中侏罗统万宝组;6—上二叠统;7—下中二叠统;8—下寒武统;9—斑状细晶闪长岩;10—侏罗纪花岗岩;11—中侏罗世二长花岗岩;12—晚三叠世二长花岗岩;13—晚二叠世英云闪长岩;14—超镁铁质岩;15—英安岩;16—流纹岩;17—流纹质晶屑凝灰岩;18—含角砾流纹质晶屑凝灰岩;19—流纹质火山灰球凝灰岩;20—细砂岩;21—凝灰质砂岩;22—砂砾岩;23—岩层产状/板理产状;24—断层;25—剖面位置;26—化石产地;27—测年样品采集地;28—研究区范围

Fig.1 Sketch geological map of the study area

a—Regional geological background map;b—Sketch geological map of the study area;c—Regional geotectonic map

1—Quaternary; 2—Lower Cretaceous; 3—Upper Jurassic; 4—Middle Jurassic Xinmin Formation; 5—Middle Jurassic Wanbao Formation; 6—Upper Permian; 7—Middle-Lower Permian; 8—Lower Cambrian; 9—Porphyritic fine-crystalline grained diorite diorite; 10—Jurassic granites; 11—Middle Jurassic adamellite; 12—Late Triassic adamellite; 13—Late Permian tonalite; 14—Ultramafic rocks; 15—Dacite; 16—Rhyolite; 17—Rhyolitic crystal tuff; 18—Brecciated rhyolitic crystal tuff; 19—Rhyolitic volcanic ash balls tuff; 20—Fine sandstone; 21—Tuffaceous sands; 22—Sandy conglomerate; 23—Bedding; 24—Fault; 25—Profile position; 26—Fossil locality; 27—Isotope sampling; 28—Scope of research area

(J₂w)碎屑沉积岩夹煤层,火山盆地中主要出露晚侏罗世满克头鄂博组(J₃)酸性火山岩、玛尼吐组(J₃)中性火山岩及早白垩世白音高老组(K₁)杂色酸性火山碎屑岩夹碎屑沉积岩、梅勒图组(K₁)中基性火山熔岩及火山碎屑岩。大罕山火山盆地主要出露晚侏罗世满克头鄂博组(J₃)及玛尼吐组(J₃)酸性及中性火山岩夹火山碎屑沉积岩。此外,侏罗纪花岗岩及中侏罗世二长花岗岩、晚古生代超镁铁质岩也有出露。

由于第四系覆盖,研究区北东侧与中侏罗世万宝组(J₂w)关系不清,据航磁及重力场特征,推测二者为断层接触(沈阳地质调查中心,2013^①);南西侧与大罕山火山盆地中满克头鄂博组或玛尼吐组关系也不清,北西侧与下寒武统为断层接触,南东侧则不整合下寒武统之上。野外详细调查(沈阳地质调查中心,2013^①)表明,出露的这套火山碎屑沉积岩,自下而上主要依次出露有灰、灰绿色英安岩;浅

灰、浅黄色砂砾岩,其中砾石磨圆较差,砾石成分主要为花岗岩、黑色硅泥质岩、少量凝灰岩;流纹岩;含火山球粒凝灰岩;凝灰质砂岩;流纹质含集块角砾凝灰岩;灰绿色细砂岩;灰色流纹质含角砾晶屑凝灰岩;中粗粒长石砂岩;灰黑色沉流纹质晶屑凝灰岩。总体表现为一套酸性火山碎屑沉积岩夹碎屑沉积岩,少量的火山熔岩(图1b)。此外,在协和尔斯德一带发育有后期斑状细晶闪长岩(δ),其呈脉状或小岩株状,明显侵入上述火山地层;在上部层位灰黑色流纹质凝灰岩中发现木化石(付俊彧等,2012)。本次研究在原1:5万区调剖面基础上进行了同位素测年样品采集分析。

2 样品位置及特征

为了尽量精确地限定该套火山层形成时代,本次研究在协和尔斯德山,位于木化石产出层位的下部层位酸性火山碎屑岩及侵入其中的斑状细晶闪长岩中分别采取了测年样品(图2)。协和尔斯德火山—沉积地层层序自上而下为:

- 杜尔基组(C_1d)灰黑色粉砂质板岩
- 断层接触
- ⑤灰色沉流纹质晶屑凝灰岩,产木化石 > 102.14 m
- ④灰色含砾中细砂岩 19.44 m
- ③灰色、灰黑色流纹质含角砾晶屑凝灰岩 24.99 m
- ②灰绿色凝灰质细砂岩 5.06 m
- ①灰黄、灰绿色流纹质含集块角砾晶屑凝灰岩 > 31. m
- 未见底

该剖面以火山碎屑沉积岩夹火山碎屑岩为特征,未控制到底,但附近见其不整合于古生代地质

体之上(图1b);斑状细晶闪长岩侵入其中,发育清晰的冷凝边;火山构造研究表明,斑状细晶闪长岩是沿早期火山通道上侵的岩脉及小岩株(沈阳地质调查中心,2013^①)。选择第③层灰黑色流纹质含角砾晶屑凝灰岩及侵入其中的斑状细晶闪长岩采取测年样品(图2)。

BY1301,灰黑流纹质含角砾晶屑凝灰岩(图3a, b),坐标:121°35'24"E,45°11'42"N。岩石呈灰黑色,含角砾晶屑凝灰结构,层状构造。含角砾10%左右,大小2.4~4.8 mm,呈次棱角状,成分为安山岩、英安岩及粉砂质板岩;岩屑10%左右,成分为玄武安山岩、安山岩及英安岩;晶屑15%左右,成分为石英、斜长石及钾长石;火山灰65%左右,主要为霏细状长英质隐晶集合体。

BY1302,灰色斑状细晶闪长岩(图3c, d),坐标:121°35'18"E,45°11'36"N。岩石呈灰色,斑状结构,斑晶成分为斜长石,含量15%左右,半自形条状,大小1~2 mm。基质细晶结构,半自形柱状结构,粒径:0.4~0.9 mm;由约35%角闪石及50%斜长石组成。角闪石呈黄绿色,半自形柱状、板柱状,边缘齿状;两组闪石式解理清晰。斜长石呈半自形柱状、板柱状,聚片双晶带较宽,表面因弱钠黝帘石化显模糊,测 $\perp(010)$ 晶带, $Np' \wedge (010)=18^\circ$, $An=33$,更中长石。副矿物见榍石、磷灰石。

3 样品制备及分析方法

锆石分选由河北省廊坊市区域地质调查所实验室完成。样品经人工破碎至80目后,采用常规重力分选和显微镜下手工挑选的方法挑选锆石。锆

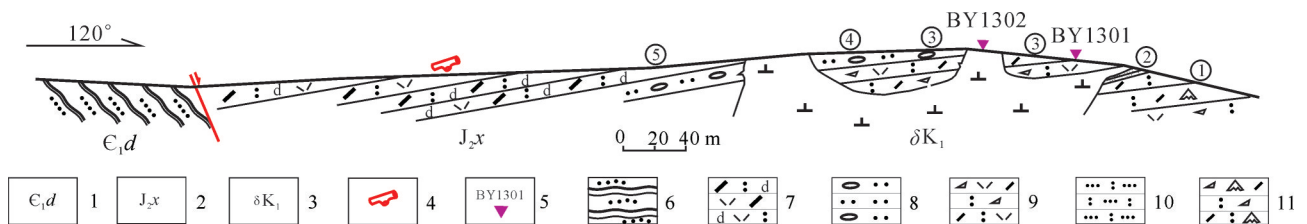


图2 中侏罗统新民组实测剖面图

1—下寒武统杜尔基组;2—中侏罗统新民组;3—早白垩世斑状细晶闪长岩;4—木化石;5—样品采集位置及编号;6—粉砂质板岩;7—沉流纹质晶屑凝灰岩;8—含砾中细砂岩;9—流纹质含角砾晶屑凝灰岩;10—凝灰质细砂岩;11—流纹质含集块角砾晶屑凝灰岩

Fig.2 Cross section of Middle Jurassic Xinmin Formation

1—Lower Cambrian Duerji Formation; 2—Middle Jurassic Xinmin Formation; 3—Early Cretaceous porphyritic fine-crystalline grained diorite; 4—Fossil wood; 5—Sampling location and its serial number; 6—Silty slate; 7—Sedimentary rhyolitic crystal fragment tuff; 8—Gravel-bearing mid-fine grained sandstone; 9—Rhyolitic dust-bearing crystal fragment tuff; 10—Tuffaceous fine sandstone; 11—Dust (agglomerate) - bearing crystal fragment tuff

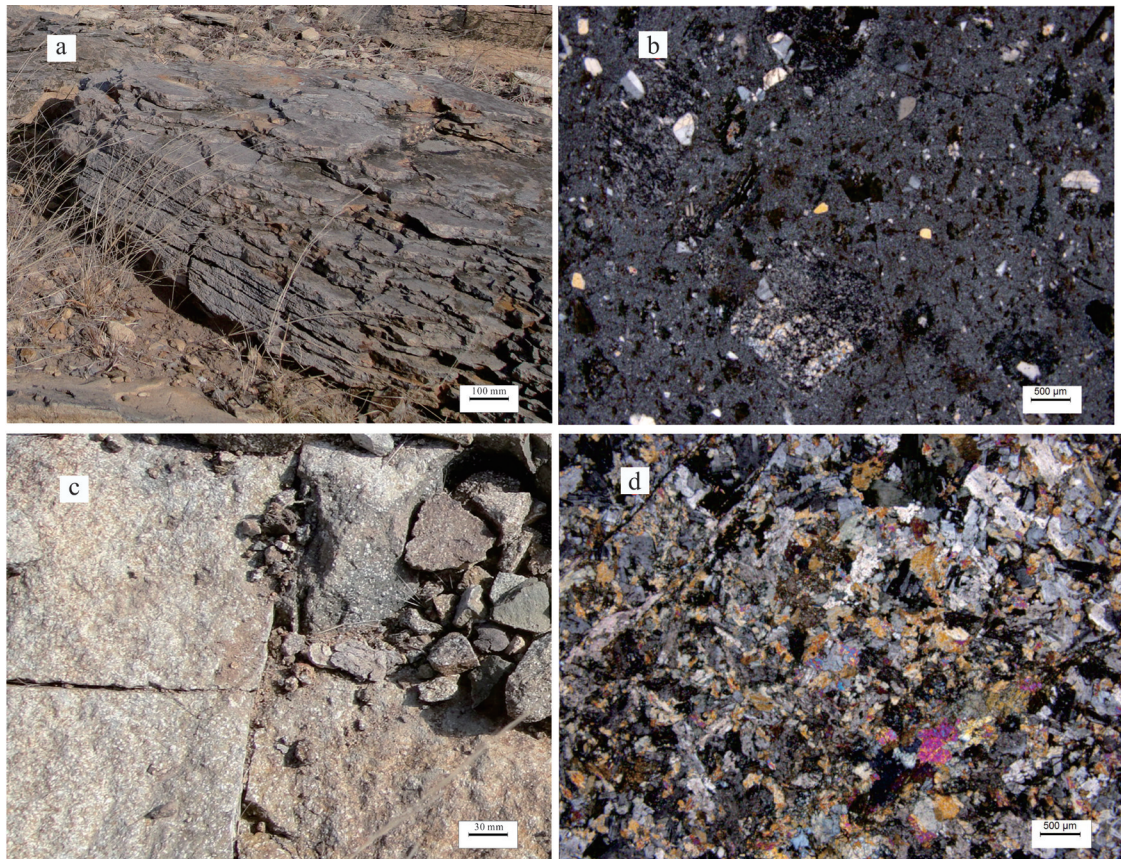


图3 样品手标本及显微照片

a, b—BY1301 流纹质含砾晶屑凝灰岩, 野外照片、显微照片(正交偏光); c, d—BY1302 斑状细晶闪长岩, 野外照片、显微照片(正交偏光)

Fig.3 The field and microscopic photographs of samples

a, b—BY1301 brecciated rhyolitic crystal tuff, field photographs, microphotographs (crossed nicols);
c, d—BY1302 porphyritic fine-crystalline grained diorite, field photographs, microphotographs (crossed nicols)

石样品制靶、CL图像采集由北京锆年领航科技有限公司完成;在双目镜下根据锆石颜色、自形程度、形态和透明度等特征初步分类,挑选出具有代表性的锆石(每个样品所挑选锆石数量300~500粒),用环氧树脂固定,待其充分固化后抛光至露出锆石核部,完成样靶并采集CL图像进行分析,选择测点锆石。测年工作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体质谱仪LA-ICP-MS进行,本文样品测年激光束斑直径为30 μm。详细步骤及数据处理方法参见文献(李怀坤等,2009)。

4 分析结果

BY1301,测试分析了28个点,锆石CL图像(图4a)呈灰色—灰白色,多数晶形较好,多为长柱状,少数为短柱状,粒径介于100~200 μm;长短轴比多介

于1:2~3,有的比值可达1:5;锆石发育清晰的振荡环带,但环带较宽,显示典型的火山岩锆石特征(吴元保等,2004)。锆石的Th/U比值介于0.25~0.86(表1),且Th、U之间具有良好的正相关关系,表明其为岩浆成因锆石(Claesson et al.,2000;Fernando et al.,2003)。

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于162~301 Ma,年龄值集中在162~169 Ma。其中6号测点257 Ma、7号测点208 Ma、21号测点301 Ma、26号测点181 Ma,其晶形明显不同于其他锆石,呈等轴状,晶棱有熔蚀特征,应为捕获的锆石。去除上述年龄明显偏大的4个测点,另外24个测点加权平均年龄为(165±1) Ma(图4a)。尽管测年样品为酸性火山碎屑岩,但锆石特征说明其来源于火山岩浆而非来自围岩碎屑沉积岩,年龄值可以代表火山岩的形成时代,即中侏罗世晚期。

表 1 BY1301 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测定数据
Table 1 The zircon LA-ICP-MS U-Pb data from BY1301

测点号	Pb/ 10^{-6}	Th/U	同位素比值						表面年龄/Ma					
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
BY1301-01	79	0.5918	0.0505	0.0006	0.1816	0.0026	0.0261	0.0003	218	30	169	2	166	2
BY1301-02	29	0.2912	0.0497	0.0017	0.1798	0.0061	0.0262	0.0003	181	79	168	6	167	2
BY1301-03	44	0.3927	0.0496	0.0007	0.1772	0.0026	0.0259	0.0002	178	32	166	2	165	2
BY1301-04	37	0.3593	0.0509	0.0008	0.1806	0.0030	0.0257	0.0002	236	35	169	3	164	2
BY1301-05	39	0.3565	0.0507	0.0007	0.1800	0.0027	0.0257	0.0002	228	32	168	3	164	2
BY1301-06	44	0.2710	0.0525	0.0007	0.2945	0.0043	0.0407	0.0004	306	29	262	4	257	2
BY1301-07	11	0.1603	0.0513	0.0032	0.2323	0.0144	0.0329	0.0004	253	143	212	13	208	3
BY1301-08	9	0.5073	0.0504	0.0017	0.1816	0.0061	0.0261	0.0003	213	76	169	6	166	2
BY1301-09	19	0.4379	0.0501	0.0010	0.1816	0.0038	0.0263	0.0003	201	46	169	4	167	2
BY1301-10	19	0.4120	0.0495	0.0010	0.1738	0.0039	0.0254	0.0003	174	49	163	4	162	2
BY1301-11	106	0.8356	0.0494	0.0006	0.1749	0.0024	0.0257	0.0002	166	29	164	2	163	2
BY1301-12	10	0.6417	0.0508	0.0015	0.1815	0.0056	0.0259	0.0003	232	69	169	5	165	2
BY1301-13	86	0.8251	0.0500	0.0006	0.1800	0.0025	0.0261	0.0003	193	28	168	2	166	2
BY1301-14	75	0.8616	0.0502	0.0006	0.1774	0.0025	0.0256	0.0002	205	30	166	2	163	2
BY1301-15	84	0.7195	0.0504	0.0006	0.1818	0.0025	0.0262	0.0003	212	28	170	2	167	2
BY1301-16	9	0.8388	0.0498	0.0021	0.1816	0.0079	0.0264	0.0003	186	100	169	7	168	2
BY1301-17	29	0.3169	0.0499	0.0008	0.1762	0.0031	0.0256	0.0002	192	37	165	3	163	2
BY1301-18	9	0.4870	0.0505	0.0019	0.1794	0.0068	0.0257	0.0003	219	88	168	6	164	2
BY1301-19	11	0.4215	0.0506	0.0018	0.1804	0.0065	0.0259	0.0003	221	82	168	6	165	2
BY1301-20	52	0.0628	0.0506	0.0007	0.1823	0.0027	0.0261	0.0003	222	30	170	2	166	2
BY1301-21	6	0.5471	0.0523	0.0028	0.3451	0.0192	0.0479	0.0005	298	124	301	17	301	3
BY1301-22	36	0.4134	0.0499	0.0007	0.1817	0.0029	0.0264	0.0003	192	34	170	3	168	2
BY1301-23	17	0.5356	0.0504	0.0011	0.1782	0.0041	0.0257	0.0002	212	51	166	4	163	2
BY1301-24	49	0.5131	0.0504	0.0007	0.1782	0.0026	0.0256	0.0002	215	31	167	2	163	2
BY1301-25	7	0.4582	0.0508	0.0033	0.1817	0.0117	0.0259	0.0003	232	148	169	11	165	2
BY1301-26	5	0.4174	0.0507	0.0033	0.1992	0.0131	0.0285	0.0003	225	151	184	12	181	2
BY1301-27	43	0.2539	0.0502	0.0007	0.1805	0.0027	0.0261	0.0003	206	31	168	3	166	2
BY1301-28	10	0.4840	0.0490	0.0017	0.1795	0.0063	0.0266	0.0003	149	80	168	6	169	2

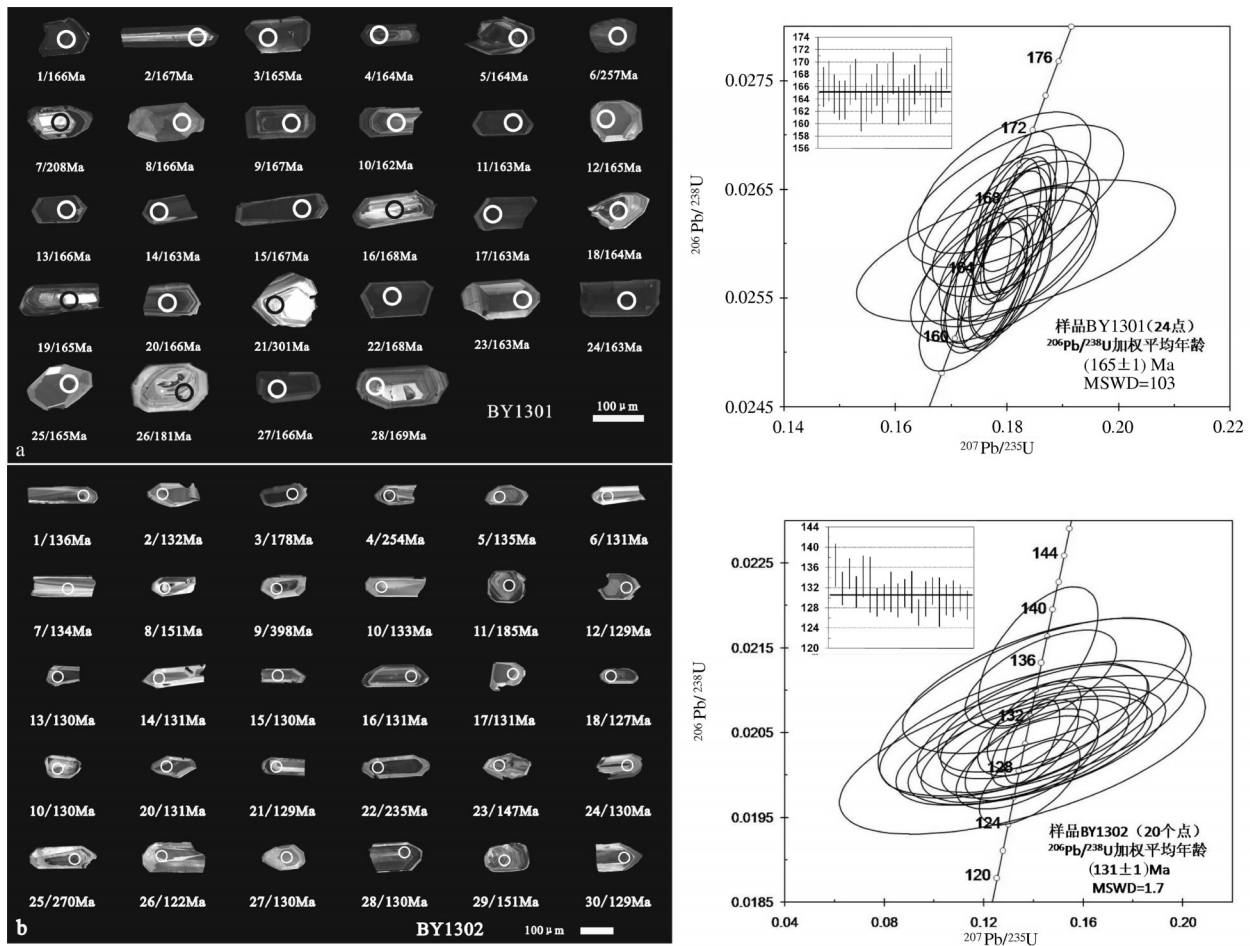


图4 样品锆石CL图像及U-Pb年龄协和曲线图

a—BY1301 流纹质含角砾晶屑凝灰岩;b—BY1302 斑状细晶闪长岩

Fig.4 CL images and concordia diagrams of analyzed zircon grains of the samples
a—BY1301 brecciated rhyolitic crystal tuff;b—BY1302 porphyritic fine-crystalline grained diorite

BY1302,测试分析了30个点,锆石CL图像(图4b)与BY1301类似,呈灰色—灰白色,晶形较好,多为长柱状,少数为短柱状,粒径介于100~300 μm;长短轴比多介于1:2~3,有的比值可达1:5;锆石发育清晰的振荡环带,但环带较宽,有的为直纹状环带,显示为中性火山岩锆石特征。且Th、U之间具有良好的正相关关系,锆石Th/U比值多介于0.25~0.84(表2),个别小于0.1;表明为岩浆成因锆石。

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于122~398 Ma,明显分为4组:122~136 Ma(21点)、147~151 Ma(3个点)、178~185 Ma(2个点)、235~398 Ma(4个点);年龄值集中在127~136 Ma。

其中4、11、23、29点(年龄分别为254 Ma、185 Ma、147 Ma、151 Ma)锆石发育较密集环带,或等轴状,明显为酸性岩浆锆石特征;9号点(398 Ma)发育

明显核边结构;3、22、25号3个样品(年龄分别为178 Ma、235 Ma、270 Ma),Th/U比值明显较低(0.1左右)等,去除这些年龄值较大的捕获锆石样品及年龄明显偏小的26号样点(122 Ma),其余20个样点(年龄值介于127~136 Ma)加权平均年龄为(131±1) Ma(图4b)。该年龄值代表了斑状细晶闪长岩形成时代,即为早白垩世。

5 地层时代讨论

大兴安岭火山岩带中侏罗世火山岩,大至以霍林郭勒—乌兰浩特为界,北部与南部有较大差别,北部主要为基性—中基性火山岩,归为塔木兰沟组(*J₁tm*)(邵积东等,2005;赵忠华,2011,周其林等,2013),南部主要为酸性火山岩夹火山碎屑沉积岩(钟辉等,2013;程银行等,2013),尤其是坤都镇一大坂

表 2 BY1302 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测定数据
Table 2 The zircon LA-ICP-MS U-Pb data from BY1302

测点号	Pb/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	Th/U	同位素比值				表面年龄/Ma							
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
BY1302-01	2	109	0.3934	0.0481	0.0036	0.1420	0.0098	0.0214	0.0003	105	177	135	9	136	2
BY1302-02	4	185	0.3240	0.0504	0.0062	0.1437	0.0172	0.0207	0.0003	215	287	136	16	132	2
BY1302-03	98	3677	0.1668	0.0500	0.0007	0.1929	0.0029	0.0280	0.0003	194	32	179	3	178	2
BY1302-04	6	151	0.0675	0.0524	0.0053	0.2906	0.0298	0.0402	0.0005	302	232	259	27	254	3
BY1302-05	6	274	0.1775	0.0491	0.0043	0.1430	0.0124	0.0211	0.0002	152	203	136	12	135	2
BY1302-06	6	295	0.2126	0.0497	0.0055	0.1407	0.0156	0.0206	0.0002	179	260	134	15	131	2
BY1302-07	3	149	0.4217	0.0497	0.0084	0.1444	0.0232	0.0211	0.0003	183	393	137	22	134	2
BY1302-08	21	731	1.0406	0.0493	0.0012	0.1612	0.0042	0.0237	0.0002	164	58	152	4	151	2
BY1302-09	75	1003	0.8508	0.0553	0.0009	0.4854	0.0081	0.0637	0.0006	424	35	402	7	398	4
BY1302-10	2	72	0.4548	0.0490	0.0102	0.1405	0.0257	0.0208	0.0004	149	486	134	24	133	3
BY1302-11*	4	131	0.1356	0.1390	0.0028	0.5570	0.0117	0.0291	0.0003	2215	35	450	9	185	2
BY1302-12	7	341	0.1568	0.0500	0.0039	0.1395	0.0110	0.0202	0.0002	195	182	133	10	129	1
BY1302-13	19	918	0.4434	0.0496	0.0016	0.1394	0.0045	0.0204	0.0002	176	74	133	4	130	1
BY1302-14	3	170	0.1764	0.0493	0.0069	0.1398	0.0190	0.0206	0.0003	163	328	133	18	131	2
BY1302-15	5	209	0.5322	0.0496	0.0074	0.1387	0.0200	0.0203	0.0003	175	346	132	19	130	2
BY1302-16	8	360	0.5019	0.0501	0.0035	0.1419	0.0099	0.0205	0.0002	201	162	135	9	131	1
BY1302-17	3	135	0.3169	0.0495	0.0102	0.1402	0.0253	0.0206	0.0003	171	480	133	24	131	2
BY1302-18	10	530	0.1824	0.0505	0.0030	0.1385	0.0083	0.0199	0.0002	216	137	132	8	127	1
BY1302-19	4	166	0.5156	0.0501	0.0069	0.1404	0.0186	0.0203	0.0003	198	320	133	18	130	2
BY1302-20	9	464	0.0628	0.0494	0.0027	0.1403	0.0077	0.0206	0.0002	169	126	133	7	131	1
BY1302-21	2	105	0.5360	0.0486	0.0141	0.1356	0.0300	0.0202	0.0004	128	681	129	29	129	2
BY1302-22	38	1078	0.1644	0.0520	0.0009	0.2660	0.0052	0.0371	0.0004	286	40	239	5	235	2
BY1302-23	9	424	0.2710	0.0505	0.0024	0.1603	0.0078	0.0230	0.0002	216	111	151	7	147	2
BY1302-24	4	217	0.2362	0.0503	0.0056	0.1408	0.0153	0.0203	0.0002	207	258	134	15	130	2
BY1302-25	16	412	0.1044	0.0529	0.0016	0.3116	0.0094	0.0427	0.0004	325	67	275	8	270	3
BY1302-26	5	248	0.6325	0.0509	0.0060	0.1338	0.0155	0.0191	0.0002	234	271	127	15	122	1
BY1302-27	3	155	0.5485	0.0495	0.0085	0.1389	0.0221	0.0203	0.0003	173	401	132	21	130	2
BY1302-28	9	448	0.3370	0.0500	0.0025	0.1406	0.0072	0.0204	0.0002	197	117	134	7	130	1
BY1302-29	8	319	0.3172	0.0505	0.0032	0.1646	0.0105	0.0236	0.0002	219	148	155	10	151	2
BY1302-30	7	303	0.5396	0.0495	0.0042	0.1375	0.0117	0.0201	0.0002	171	200	131	11	129	1

注: *为谱和度低于90%的测点。

镇一带出露面积较大,归为新民组(J_{2xm}),也有少量中性火山岩的报道(沈阳地质调查中心,2013^①;丁秋红等,2015)。研究区位于南部地区。对研究区该套火山-沉积地层岩石组合、岩相、生物化石组合及测年资料分析,认为其时代应为中侏罗世,划归为新民组(J_{2xm})。

5.1 岩石组合对比

研究区这套地层,以酸性火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩夹正常沉积岩为主,少量酸性及中酸性火山熔岩;较下部层位出露砂砾岩,往上沉积岩夹层粒度相对较细,到协和尔斯德剖面第⑤层含木化石灰色沉流纹质晶屑凝灰岩,厚度达102 m,反映火山活动晚期有较长时间的间歇期。分布于大兴安岭南部的中侏罗统新民组以火山碎屑沉积岩、碎屑沉积岩为主夹酸性火山岩及火山碎屑岩,并划分为3段,下段主要为灰褐色酸性火山岩夹沉积岩,中段灰黑色细碎屑沉积岩夹煤层;上段为灰紫、灰色酸性凝灰岩、凝灰质砂岩夹煤线(李文国等,1996);而晚侏罗世满克头鄂博组以火山熔岩及火山碎屑岩为主,仅局部夹薄层状火山碎屑沉积岩。因此,认为该套地层岩性组合与新民组的岩性组合特征更类似。

5.2 岩相特征分析

研究区位于大罕山火山盆地与突泉火山盆地交汇部位,从地层产状分析,早期沉积的砂砾岩产状总体倾向北东(突泉火山盆地方向),倾角 10° 左右,据航磁及重力资料,其与北东侧出露的万宝组(J_{2w})为断层接触。区域上在突泉火山-沉积盆地南缘出露中侏罗世万宝组(J_{2w})下部为一套粗碎屑沉积岩,上部为细碎屑沉积岩夹煤层,本次研究的这套火山-沉积地层下部粗碎屑沉积岩可能为超覆于万宝组之上;上部层位沉积夹层粒度较细,产状倾向北及北西而不是倾向南西大罕山火山盆地方向(图1),产状也平缓。上述地层产状特征表明,该套地层应为突泉火山-沉积盆地的充填物,而非其西南大罕山火山盆地充填物。

大罕山火山盆地充填物为晚侏罗世满克头鄂博组(J_{3m})及玛尼吐组(J_{3mn})酸性、中性火山岩,欠缺梅勒图期(K_{1ml})火山岩;而突泉盆地东南缘邻近研究区出露较大面积的梅勒图期(K_{1ml})中性-中基性火山岩,包括辉石安山岩、安山岩、玄武安山岩,少

量火山碎屑,证明突泉火山盆地在早白垩世经历了强烈的中基性火山活动。大兴安岭地区梅勒图期火山岩年龄介于122~136 Ma(余宏全等,2012;张玉清等,2012;沈阳地质调查中心,2013^①;金玲等,2014),研究区侵入灰黑色流纹质含角砾晶屑凝灰岩(BY1301,(165±1) Ma)的灰色斑状细晶闪长岩(样号BY1302)年龄为(131±1) Ma,其形成年龄与梅勒图期火山岩时代相当,应是邻近突泉火山盆地早白垩世中基性火山活动同期的潜火山侵入体。这也进一步说明研究区该套酸性火山-沉积地层为突泉火山盆地充填物的一部分。根据岩石组合的粗略对比及生物化石组合大致时代将其归为大罕山盆地充填的满克头鄂博组(付俊彧等,2012)本次应予修正。

5.3 年代学及生物化石组合对比

在剖面第⑤层发现大量木化石(付俊彧等,2012;沈阳地质调查中心,2013^①),都属于裸子植物中的松柏类植物茎干,经沈阳地质矿产研究所张武研究员鉴定有5属3种,2个未定种:罗曼原始落羽杉型木 *Protaxodioxylon romanense* Philippe,河北异木 *Xenoxylon hopeiense* Chang,巴图南洋杉型木 *Araucarioxylon batuense* Duan,原始柏型木属未定种 *Protocupressinoxylon* sp.,原始罗汉松型木属未定种 *Protopodocarpoxyylon* sp.。这些木化石在大兴安岭中南段属首次发现。

这些类型中的 *Araucarioxylon batuense* Duan 的种型标本产在辽西金一羊盆地的朝阳巴图营子的中侏罗统髻髻山组中(段淑英等,2000); *Protaxodioxylon romanense* Philippe 的种型标本产于法国的中侏罗统中,在中国辽西的上侏罗统土城子组中也有报道(郑少林等,2001); *Xenoxylon hopeiense* Chang,其种型标本出现在河北涿鹿厦家沟一带的中侏罗世髻髻山组中(Chang et al.,1929),该种在北京延庆(段淑英等,1986)、辽宁西部的北票长皋(丁秋红等,2000a)、朝阳任家沟等地的相当层位中分布较广泛(张武等,2000;郑少林等,2006),但该种的部分标本可延续到早白垩世,如,在辽宁义县的早白垩世义县组中也有过报道(斯行健等,1963;丁秋红等,2000b,2004;张武等,2006)。其他类型虽属未定种,其属的时代主要分布在侏罗纪-白垩纪,但那些显示白垩纪特色的类型并没有出现,反映植物的总体面貌为侏罗纪植物面貌特征。

中侏罗统髫髻山组在冀北滦平盆地、承德盆地、辽西凌源盆地、金岭寺—羊山盆地等地区广泛出露。髫髻山组岩性为一套中性火山熔岩、火山碎屑岩夹火山碎屑沉积岩及正常细碎屑沉积岩,局部夹有中酸性火山岩(李声之等,1996)。对其中的火山岩的年代学研究表明,在辽西金—羊盆地上部层位年龄介于154~161 Ma,凌源盆地中上部层位年龄(156.9±3) Ma,承德盆地髫髻山组底部层位(164.4±2.7) Ma,冀北滦平盆地髫髻山组顶部层位介于154~163 Ma,即髫髻山组形成时代介于153~165 Ma(刘健等,2006;张宏等,2008)。研究区火山岩年龄为(165±1) Ma,与其时代基本相当。

上述从岩性组合对比、岩相分析、年代学及生物化石组合特征对比分析,说明研究区该套火山—沉积地层时代应为中侏罗世晚期,归为中侏罗统新民组更合适。

值得一提的是,研究区的木化石层位,木化石群保存较好,化石丰富,近年还新发现有保存很好的全矿化杉科种子球果化石,如较小杉木型球果 *Cunninghamiostrobus minor* sp. nov. 在中国属首次发现(郑月娟等,2013)。本次研究获得含化石地层的高精度测年资料,对化石群落时限研究及区域生物地层对比都具有重要意义。

6 结 论

(1)科尔沁右翼中旗协和尔斯德一带出露的中生代酸性火山碎屑—沉积岩夹酸性火山熔岩地层,以火山碎屑岩夹火山碎屑沉积岩为主,在其中的灰色流纹质含角砾晶屑凝灰岩中获得(165±1) Ma 年龄,其明显被(131±1) Ma 的潜火山相斑状细晶闪长岩侵入,地层时代为中侏罗世。

(2)岩石组合以中酸性—酸性火山岩夹较粗粒度的碎屑沉积岩为特征,与大兴安岭中南部大坂镇—坤都镇一带出露的中侏罗统新民组下部层位相当。

(3)地层产状特征及发育早白垩世中基性火山活动同期的潜火山相斑状细晶闪长岩,证明研究区出露的这套火山—碎屑沉积岩为北侧泉火山—沉积盆地的一部分,而非研究区南西侧大罕山火山盆地的充填产物。

(4)研究区上部层位发现的木化石,在冀北—辽西地区髫髻山组内多有发现。髫髻山组时代介

于153~165 Ma,研究区该套地层较下部层获得165 Ma 年龄,二者形成时代相当。

致谢:野外调查工作得到刘世伟教授级高级工程师的指导及项目组成员的密切协作;成文过程中承蒙张武研究员的悉心指导;匿名审稿专家对论文修改完善提出宝贵意见建议,在此一并表示衷心的感谢。

注释

①沈阳地质调查中心. 2013. 大兴安岭成矿带北段基础地质综合研究成果报告[R].

②沈阳地质调查中心. 2013. 内蒙古1:5万孟恩套勒盖等五幅区域地质调查报告[R].

References

- Cheng Yinhang, Liu Yongshun, Teng Xuejian, Yang Junquan, Li Yanfong, Peng Lina, Li Ying, Liu Yang. 2013. Geochronology and Geochemistry of Middle—Late Jurassic volcanic rocks in the Mohe'ertu area, Inner Mongolia and their Geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 87(7): 943–956 (in Chinese with English abstract).
- Chang C Y. 1929. A new Xenoxylon from North China[J]. *Bulletin of the Geological Society of China*, 8(3): 243–255.
- Claesson S, Vetrin V, Bayanova T. 2000. U—Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: A record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic[J]. *Lithos*, 51(1/2): 95–108.
- Ding Qihong. 2000a. Study on the fossil woods from Yixian Formation in Western Liaoning Province[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 39(supp.): 209–219 (in Chinese with English abstract).
- Ding Qihong, Zheng Shaolin, Zhang Wu. 2000b. Mesozoic fossil woods of genus Xenoxylon from Northeast China and its Palaeoecology[J]. *Acta Palaeontologica Science*, 39(2): 237–249 (in Chinese with English abstract).
- Ding Qihong, Zhang Wu, Zheng Shaolin. 2004. Growth rings observation on fossil woods and their implication from Yixian formation of Lower Cretaceous in Western Liaoning Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 23(1): 38–41 (in Chinese with English abstract).
- Ding Qihong, Li Xiaohai, Yao Yulai, Wang Jie, Zong Wenming, Gao Xiaoyong, Li Wenbo. 2015. Revision of the Jurassic Tamulangou Formation in the Jarud Qi area, Inner Mongolia[J]. *Geology and Resources*, 24(5): 402–407 (in Chinese with English abstract).
- Duan Shuying. 1986. A petrified forest from Beijing[J]. *Acta Botanica Sinica*, 28(3): 331–335.
- Duan Shuying. 2000. Several fossil woods from Mesozoic of western Liaoning Province, Northeast, China[J]. *Acta Botanica Sinica*, 42

- (2): 207–213 (in Chinese with English abstract).
- Fernando C, John M H, Paul W H, Peter K. 2003. Atlas of zircon textures[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 469–500.
- Fu Junyu, Song Weimin, Tao Nan, Pang Xuejiao, Bian Xiongfei, Wu Tong, Zhang Zhibin. 2012. The new material of Upper Jurassic fossil woods found in the Manketouebo Formation of Horqin Right Wing Middle Banner, Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 31(5): 653–661 (in Chinese with English abstract).
- Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Li Xianhua. 2000. Geochemical research into origins of two types of Mesozoic rhyolites in Daxing'anling[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(2): 172–178 (in Chinese with English abstract).
- Jin Ling, Yang Weihong, Yang Deming, He Zhonghua, Ma Rui, Wang Jianguo. 2014. Geochronology and geological significance of andesites from Meiletu Formation in Keyouzhongqi, Inner Mongolia[J]. *Global Geology*, 33(1): 48–58 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, Zhang Yongqing, Li Huimin. 2009. Study on determination of zircon U–Pb isotopic age with Laser Ablation Multicollector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA–MC–ICPMS) [J]. *Journal of Minerals*, 29 (supp.): 600–601 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenguo, Jiang Wande, Wang Hui, Li Qingfu, Liu Yinlin, Li Shulong, Sun Xilin, Guo Liangtian, Wang Aishun, Liang Jinquan. 1996. Inner Mongolia Autonomous Region Rock Formation[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 245–264.
- Li Shengzhi, Wang Jixing, Wang Xifu, Deng Shaoying, Lu Xueliang, Tian Yanping, Xu Hongcai, Li Xiang, Chen Yinggong, Yang Youshi, Zhang Chongshan, Xu Guilin. 1996. Hebei Province Rock Formation[M]. China University of Geosciences Press, 79–80.
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Yuan Zhongkuan, Min Gengde, Chen Mingzhi, Li Wenyuan, Quan Zhichun, Yin Chengxiao. 1998. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in Northeastern China[J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 33(2): 129–139 (in Chinese with English abstract).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, Wu Fuyuan. 1999. Geomechanical significance of the mesozoic volcanics in Northeast Asia[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 42(supp.): 75–84 (in Chinese with English abstract).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Cao Lin, Sun Deyou, Lin Jinguo. 2003. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan Ling: The bimodal volcanic rocks[J]. *Geochemica*, 32(3): 208–222 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jian, Zhao Yue, Liu Xiaoming. 2006. Age of the Tiaojiangshan Formation volcanics in the Chengde Basin, northern Hebei Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(11): 2617–2630 (in Chinese with English abstract).
- Qu Guangsheng, Pu Quansheng, Hang Songshan, Sui Liancheng, Zhao Wufeng. 1997. Lithostratigraphic of Heilongjiang Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 142–152.
- She Hongquan, Li Jinwen, Xiang Anping, Guan Jidong, Yang Xuncheng, Zhang Dequan, Tan Gang, Zhang Bin. 2012. U–Pb ages of the zircons from primary rocks in middle–northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 571–594 (in Chinese with English abstract).
- Shao Jidong, Wang Hui, An Cunjie, Xu Zongpei. 2005. A discussion on the late Jurassic–early Cretaceous stratigraphic division of the northern area of the Da Hinggan Mountains[J]. *Journal of Stratigraphy*, 29(supp.): 573–578 (in Chinese with English abstract).
- Si Xingjian, Li Xingxue. 1963. Fossil Plants of China, Mesozoic Plants from China[M]. Beijing: Science Press, 1–429 (in Chinese).
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U–Pb Age[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589–1604 (in Chinese).
- Zhao Zhonghua, Sun Deyou, Gou Jun, Ren Yunsheng, Fu Changliang, Zhang Xueyuan, Wang Xi, Liu Xiaoming. 2011. Chronology and geochemistry of volcanic rocks in Tamulangou Formation from Southern Manchuria, Inner Mongolia[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(6): 1865–1880 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hong, Wang Mingxin, Liu Xiaoming. 2008. Constrains on the upper boundary age of the Tiaojiangshan Formation volcanic rocks in west Liaoning–North Hebei by LA–ICP–MS dating[J]. *Chinese Science Bulletin*, 53(15): 1815–1824 (in Chinese).
- Zhang Jiheng, Gao Shan, Ge Wenchun, Fu Yuan, Yang Jinhua, Wilde S A, Li Ming. 2010. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Rang, north–eastern China: Implications for subduction–induced delamination[J]. *Chemical Geology*, 276(3–4): 144–165.
- Zhang Wu, Zheng Shaolin, Ding Qihong. 2000. Early Jurassic coniferous woods from Liaoning, China[J]. *Liaoning Geology*, 17 (2): 88–95 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wu, Li Yong, Zheng Shaolin, Li Nan, Wang Yongdong, Yang Xiaojun, Yang Jiaju, Yi Tiemei, Fu Xiaoping. 2006. Fossil woods of China[M]. Beijing: China Forestry Press, 1–356.
- Zhang Yuqing. 2012. The Meiletu Formation in the Abagaqi area, Inner Mongolia[J]. *Journal of Stratigraphy*, 36(1): 71–76 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Shaolin, Zhang Wu, Ding Qihong. 2001. Discovery of fossil plants from Middle–Upper Jurassic Tuchengzi Formation in Western Liaoning, China[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 40(1): 67–85 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Yuejuan, Zheng Shaolin, Chen Shuwang, Kou Linlin, Zhang Jian, Huang Xin. 2013. A new permineralized taxodiaceous cone

- from the Upper Jurassic of Inner Mongolia(in Chinese)[J]. Chinese Science Bulletin, 58(supp.): 178-184 (in Chinese).
- Zhong Hui, Han Yandong, Fu Junyu, Li Yangchun, Zhang Yu. 2008. Controlling factors and significance of Early Cretaceous volcanostratigraphic framework in Northern Daxinganling region: A case study of Kuxi volcanotectonic depression[J]. Geology and Resources, 17(1): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Hui, Gao Xiaoyong, Wu Yue. 2016. Discussion on petrology and genesis of the pisolitic tuff in Xinmin formation in Arlu Horqin Qi, Inner Mongolia[J]. Geology and Resources, 25(2): 121-124 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Qilin, Wang Xianzhong, Ji Feng, Liu Zhijie, Liu Tao, Zhao Bingxin, Li Dexin, Biao Shanghu. 2013. Corresponding relations of Mesozoic volcanic Formations in the Da Hinggan Mountains[J]. Geological Review, 59(6): 1077-1084 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 程银行, 刘永顺, 滕学建, 杨俊泉, 李艳锋, 彭丽娜, 李影, 刘洋. 2013. 内蒙古莫合尔图中一晚侏罗世火山岩年代学、地球化学研究及其意义[J]. 地质学报, 87(7): 943-956.
- 丁秋红. 2000a. 辽宁西部义县组木材化石的研究[J]. 古生物学报, 39(增刊): 209-219.
- 丁秋红, 郑少林, 张武. 2000b. 东北地区中生代化石木异木属及其古生态[J]. 古生物学报, 39(2): 237-249.
- 丁秋红, 张武, 郑少林. 2004. 辽西下白垩统义县组化石木年轮的观察及其意义[J]. 地质科技情报, 23(1): 38-41.
- 丁秋红, 李晓海, 姚玉来, 王杰, 宗文明, 郜晓勇, 李文博. 2015. 内蒙古扎鲁特旗地区中侏罗统塔兰沟组的厘定[J]. 地质与资源, 24(5): 402-407.
- 段淑英. 1986. 北京硅化木[J]. 植物学报, 28(3): 331-335.
- 段淑英. 2000. 中国东北辽宁省西部几种中生代化石木[J]. 植物学报, 42(2): 207-213.
- 付俊彧, 宋维民, 陶楠, 庞雪娇, 卞雄飞, 吴桐, 张志斌. 2012. 内蒙古科尔沁右翼中旗上侏罗统满克头鄂博组木化石新资料[J]. 地质通报, 31(5): 653-661.
- 葛文春, 林强, 孙德有, 吴福元, 李献华. 2000. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究[J]. 地球科学, 25(2): 172-178.
- 金玲, 杨伟红, 杨德明, 和钟铎, 马瑞, 王建国. 2014. 内蒙古科右中旗地区梅勒图组安山岩年代学特征及其地质意义[J]. 世界地质, 33(1): 48-58.
- 刘健, 赵越, 柳小明. 2006. 冀北承德盆地髻髻山组火山岩的时代[J]. 岩石学报, 22(11): 2617-2630.
- 林强, 葛文春, 孙德有, 吴福元, 元钟宽, 闵庚德, 陈明植, 李文远, 权致纯, 尹成孝. 1998. 东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J]. 地质科学, 33(2): 129-139.
- 林强, 葛文春, 孙德有, 吴福元. 1999. 东北亚中生代火山岩的地球动力学意义[J]. 地球物理学报, 42(增刊): 75-84.
- 林强, 葛文春, 曹林, 孙德有, 林经国. 2003. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征[J]. 地球化学, 32(3): 208-222.
- 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 张永清, 李惠民. 2009. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物学报, 29(增刊): 600-601.
- 李文国, 姜万德, 王惠, 李庆富, 刘印琳, 李淑龙, 孙希林, 郭良畋, 王挨顺, 梁金全. 1996. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 245-264.
- 李声之, 王继兴, 王喜富, 邓绍颖, 卢学良, 田燕平, 许洪才, 李翔, 陈英功, 杨有世, 张崇山, 徐桂林. 1996. 河北省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 79-80.
- 曲关生, 浦全生, 韩松山, 隋连成, 赵武峰. 1997. 黑龙江省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 142-152.
- 余宏全, 李进文, 向安平, 关继东, 杨郜城, 张德全, 谭刚, 张斌. 2012. 大兴安岭中北段原岩锆石 U-Pb 测年及其与区域构造演化关系[J]. 岩石学报, 28(2): 571-594.
- 邵积东, 王惠, 安存杰, 徐宗培. 2005. 大兴安岭北部地区晚侏罗世一早白垩世地层划分有关问题的讨论[J]. 地层学杂志, 29(增刊): 573-578.
- 斯行建, 李星学. 1963. 中国植物化石, 中国中生代植物: 中国各门类化石, 中国植物化石第二册[M]. 北京: 科学出版社, 1-429.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1589-1604.
- 赵忠华, 孙德有, 苟军, 任云生, 付长亮, 张学元, 王晰, 柳小明. 2011. 满洲里南部塔兰沟组火山岩年代学与地球化学[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 41(6): 1865-1880.
- 张宏, 王明新, 柳小明. 2008. LA-ICP-MS 测年对辽西—冀北地区髻髻山组火山岩上限年龄的限定[J]. 科学通报, 53(15): 1815-1824.
- 张武, 郑少林, 丁秋红. 2000. 辽宁早侏罗世化石木材[J]. 辽宁地质, 17(2): 88-95.
- 张武, 李勇, 郑少林, 李楠, 王永栋, 杨小菊, 杨家驹, 宸铁梅, 傅晓平. 2006. 中国木化石[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 1-356.
- 张玉清. 2012. 内蒙古阿巴嘎旗的梅勒图组[J]. 地层学杂志, 36(1): 71-76.
- 郑少林, 张武, 丁秋红. 2001. 辽西中上侏罗统土城子组植物化石的新发现[J]. 古生物学报, 40(1): 67-85.
- 郑月娟, 郑少林, 陈树旺, 寇林林, 张健, 黄欣. 2013. 内蒙古晚侏罗世一个新的杉科球果[J]. 科学通报, 58(增刊): 178-184.
- 钟辉, 韩彦东, 付俊彧, 李仰春, 张昱. 2008. 大兴安岭北段早白垩世光华期火山地层格架控制因素及意义——以根河市库西火山构造洼地为例[J]. 地质与资源, 17(1): 1-8.
- 钟辉, 郜晓勇, 伍月. 2016. 内蒙古阿鲁科尔沁旗新民组“豆状”凝灰岩岩石学特征及成因探讨[J]. 地质与资源, 25(2): 121-124.
- 周其林, 王献忠, 吉峰, 刘智杰, 刘涛, 赵炳新, 怀宝峰, 李德新, 表尚虎. 2013. 大兴安岭中生代火山岩地层对比[J]. 地质论评, 59(6): 1077-1084.