

# 冀西北地区中侏罗世玄武岩的首次发现 及其地质意义

白春东, 许凡, 李泽阳, 孟家葆, 朱本鸿  
河北省区域地质调查院, 河北廊坊, 065000



**内容提要:**笔者等在张家口市宣化区—涿鹿县一带中—上侏罗统髫髻山组底部首次发现玄武岩组合,其时代归属、地球化学性质及地质意义需要开展研究。本文对玄武岩开展地质学、岩石学、地球化学和同位素年代学研究。玄武岩  $\text{SiO}_2$  含量为 39.49%~49.74%,  $\text{Mg}^\#$  为 28~65, 里特曼指数  $\sigma$  主要为 2.61~33.12。玄武岩获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $164.3 \pm 2.6$  Ma, 时代为中侏罗世, 代表髫髻山组底界年龄。玄武岩属于碱性玄武岩系列, 与上覆粗面岩构成双峰式火山岩组合, 表明髫髻山组早期火山岩形成于大陆板内拉张环境。该套玄武岩是髫髻山组中性火山岩的玄武质岩浆底侵作用的地质学、岩石学和大地构造学证据。

**关键词:**冀西北; 中侏罗世玄武岩; 髫髻山组; 底侵作用; 板内拉张

中—上侏罗统髫髻山组是华北板块燕山期大规模岩浆活动的开始, 前人总结辽西—冀北地区和北京西山地区髫髻山组火山岩有玄武粗安岩、玄武岩安山岩、安山岩、粗安岩、安山质角砾岩、粗安质角砾凝灰岩夹凝灰质砂岩和凝灰质砾岩等(《河北省岩石地层》<sup>①</sup>; 《河北省区域地质志》<sup>②</sup>; 鲍亦冈等, 1995)。李伍平等(2001a, 2001b)、汪洋等(2003)、王蕊等(2007)、段超等(2016)和肖程(2016)通过髫髻山组中性火山岩的地球化学研究认为其岩浆起源于下地壳—壳幔过渡带古老玄武质岩石的部分熔融, 熔融的原因可能与中生代玄武岩浆的底侵作用有关; 汪洋等(2003)、彭艳东等(2003)认为髫髻山组火山岩具有造山带火山岩特征; 李伍平等(2001a, 2001b)、肖程(2016)认为髫髻山组火山岩形成于陆内挤压环境; 李斌等(2019)认为辽西髫髻山组火山岩落入主要落入火山弧构造环境区。

前人研究认为中—上侏罗统髫髻山组为中性火山岩和火山碎屑岩组合, 基于地球化学研究认为髫髻山组火山岩成因与中生代玄武质岩浆底侵作用有关, 尚无髫髻山组时期玄武岩出露的直接地质证据; 对髫髻山组火山岩的构造背景的认识分歧较大。

笔者在张家口市宣化—涿鹿县一带开展 1:5 万区域地质调查首次在宣化区—涿鹿县一带中侏罗统九龙山组之上, 中—上侏罗统髫髻山组底部发现

厚度大于 100 m 的玄武岩出露, 其中宣化区鳞头山、里口泉、郑家沟和涿鹿县武家沟镇一带最为典型, 玄武岩是地幔岩浆喷出到地表冷凝的产物, 对玄武岩来源及其岩浆作用过程的研究, 成为窥测地球深部和研究地球动力学的一个重要窗口, 因此笔者等对该套玄武岩开展地质学、岩石学、岩石化学和同位素年代学研究, 为燕山运动髫髻山期火山岩形成时限和构造环境研究提供新的地质证据和新思路。

## 1 区域地质背景

### 1.1 区域地质特征

依据 2017 年《中国区域地质志·河北志》(河北省区域地质矿产调查研究所<sup>③</sup>)资料, 宣化—涿鹿一带位于华北板块燕山—辽西裂陷带宣化—易县火山盆地, 是冀西北燕山运动典型的中生代火山沉积盆地, 宣化—涿鹿一带基底为中元古界, 中生界主要为下侏罗统下花园山组, 中侏罗统九龙山组, 中—上侏罗统髫髻山组, 上侏罗统土城子组和下白垩统张家口组(图 1)。

中元古界为一套碳酸盐岩和碎屑岩的组合主要出露长城系常州沟组、串岭沟组、团山子组、大红峪组和蓟县系高于庄组、雾迷山组(Jxw)、洪水庄组、铁岭组(Jxt)以及待建系下马岭组。

下花园组下部为深灰色—灰黑色粉砂质泥岩、

注:本文为河北省自然资源厅“河北省沙岭子、宣化县、深井镇、涿鹿县 1:5 万区域地质调查”的成果。

收稿日期:2023-07-08; 改回日期:2023-11-02; 网络首发:2023-11-20; 责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2023.11.055

作者简介:白春东,男,1984年生,高级工程师,主要从事区域地质调查工作; Email: bcd841025@163.com。

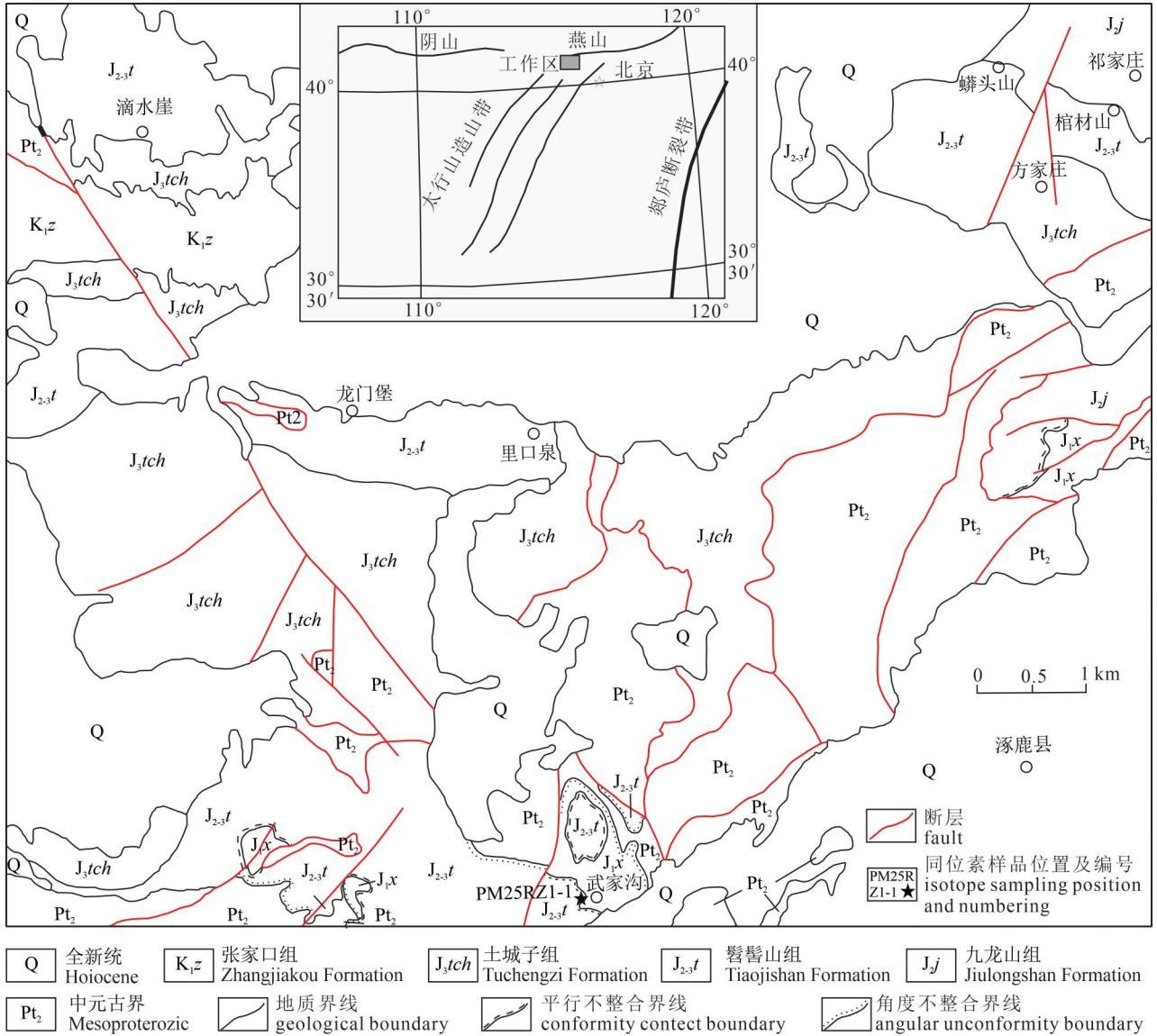


图1 河北张家口市宣化—涿鹿地区地质简图(据河北省区域地质调查院<sup>①</sup>修改)

Fig. 1 Simplified geological map of Xuanhua—Zhuolu area, Zhangjiakou City (modified from Hebei Region Geological Survey<sup>①</sup>)

灰白色含砾石英砂岩,中部为灰色泥岩、灰绿色—暗绿色泥质粉砂岩、浅灰绿色—深灰绿色细粒砂岩,上部为灰白色中厚层砾岩、灰色—灰绿色中层含砾粗粒砂岩。

九龙山组下部为灰绿色—灰黄色复成分砾岩、灰色—灰黄色砂质砾岩、灰白色—灰黄色(砾质)岩屑砂岩,中部灰白色流纹质角砾凝灰岩、流纹质晶屑凝灰岩、灰黄色—灰色(含砾)粗粒岩屑砂岩、灰白色—深灰色长石砂岩,灰白色—灰绿色砾岩,上部为灰绿色复成分砾岩、灰白色—紫红色含砾粗粒岩屑砂岩、灰绿色—紫红色薄层泥岩及灰绿色薄层长石砂岩。

髫髻山组下部为玄武岩、玄武质角砾岩、粗面岩夹泥岩的火山岩组合,中部为玄武粗安质、粗安质火山岩的组合,上部为粗面质火山岩夹碎屑岩的组合。

土城子组下部为紫红色—灰绿色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩;中部为绿灰色—紫红色砾岩、绿灰色岩屑石英砂岩、紫灰色—绿灰色含砾长石岩屑砂岩夹紫红色薄层泥质粉砂岩,上部为紫红色砾岩夹流纹质角砾凝灰岩。

张家口组为一套酸性火山岩组合,主要为流纹岩、流纹质角砾熔岩夹凝灰质岩屑砂岩。

### 1.2 地质学特征

笔者等野外调查查明河北宣化区蟒头山、滴水

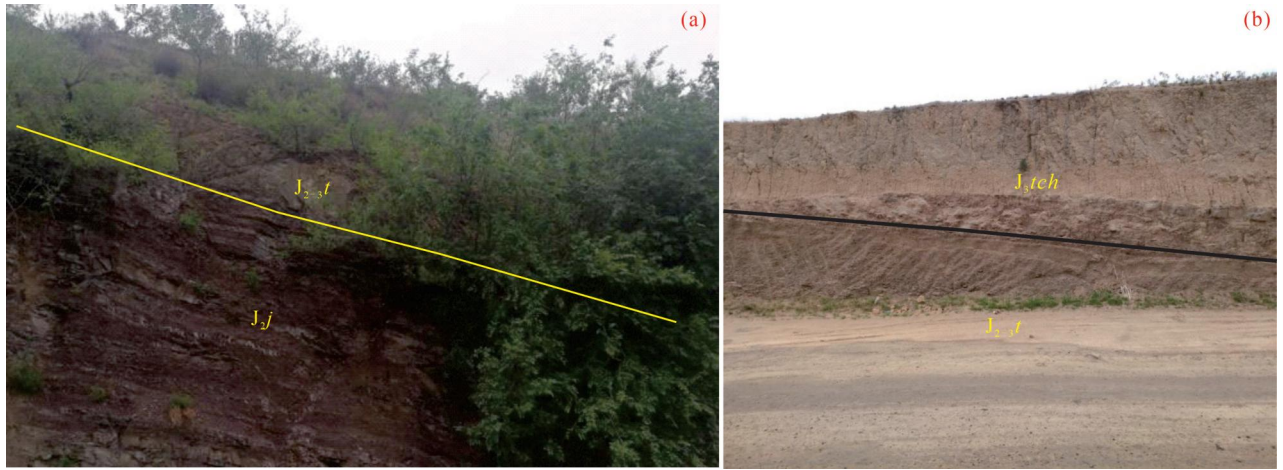


图 2 宣化祁家庄南中侏罗统九龙山组与中—上侏罗统髫髻山组整合接触(a);  
宣化区方家庄北髫髻山组与上侏罗统土城子组整合接触(b)

Fig. 2 Conformity between the Middle Jurassic Jiulongshan Formation and the Middle—Upper Jurassic Tiaojishan Formation at south of Qijia Village, Xuanhua District (a); conformity between the Upper Jurassic Tuchengzi Formation and the Tiaojishan Formation at north of Fangjia Village, Xuanhua District (b)

崖、郑家沟、里口泉和涿鹿县武家沟镇一带髫髻山组底部发育玄武岩组合。宣化区张家庄村蟒头山和祁家庄村南一带髫髻山组底部玄武岩与下伏九龙山组整合接触(图 2a);涿鹿县武家沟一带平行不整合于下侏罗统下花园组之上;方家庄北一带髫髻山组与上覆土城子组整合接触(图 2b),于宣化区蟒头山一

带和涿鹿县武家沟一带测制了髫髻山组底部玄武岩剖面(图 3 和图 4)。

### 1.3 岩石学特征

橄榄粒玄武岩呈灰黑色,粒玄结构,块状构造,由斜长石、辉石、橄榄石组成。斜长石呈半自形板条状,粒度一般 0.5~1.2 mm,杂乱似格架状分布,可

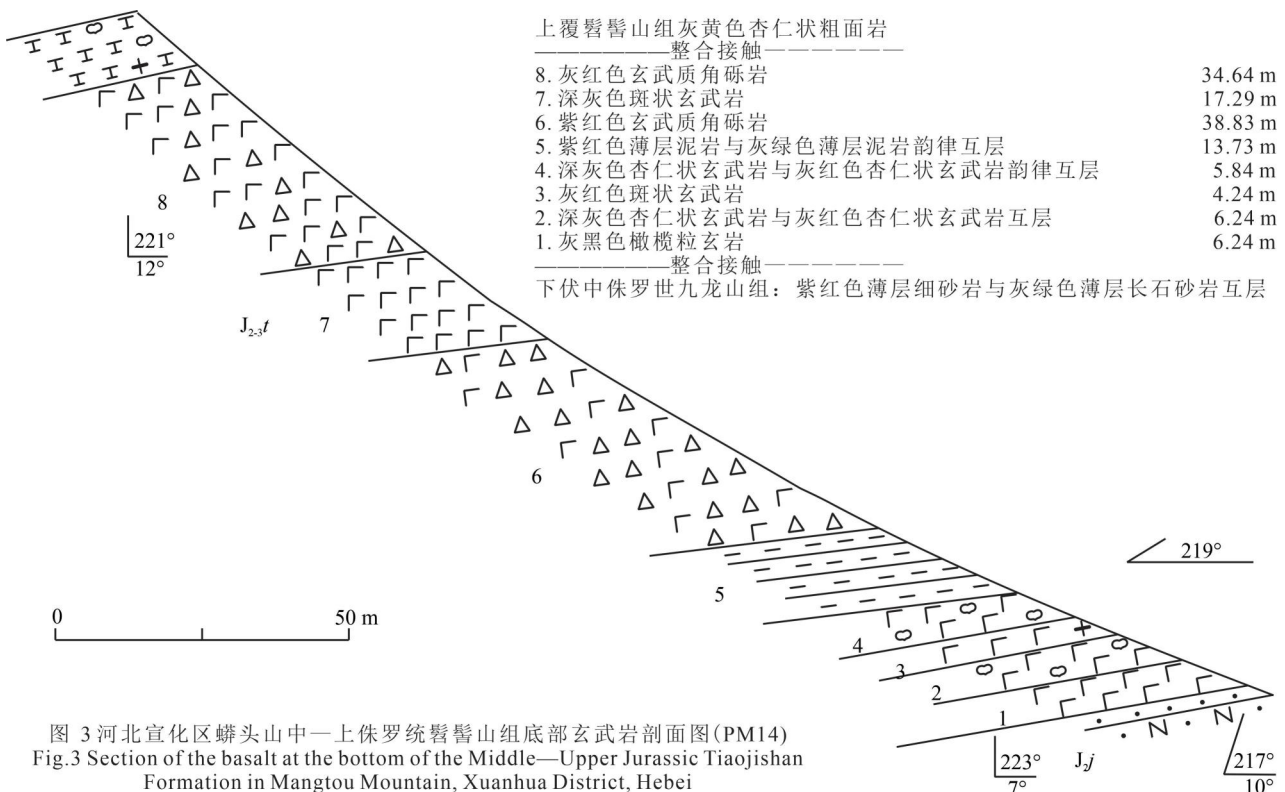


图 3 河北宣化区蟒头山中—上侏罗统髫髻山组底部玄武岩剖面图(PM14)  
Fig.3 Section of the basalt at the bottom of the Middle—Upper Jurassic Tiaojishan Formation in Mangtou Mountain, Xuanhua District, Hebei



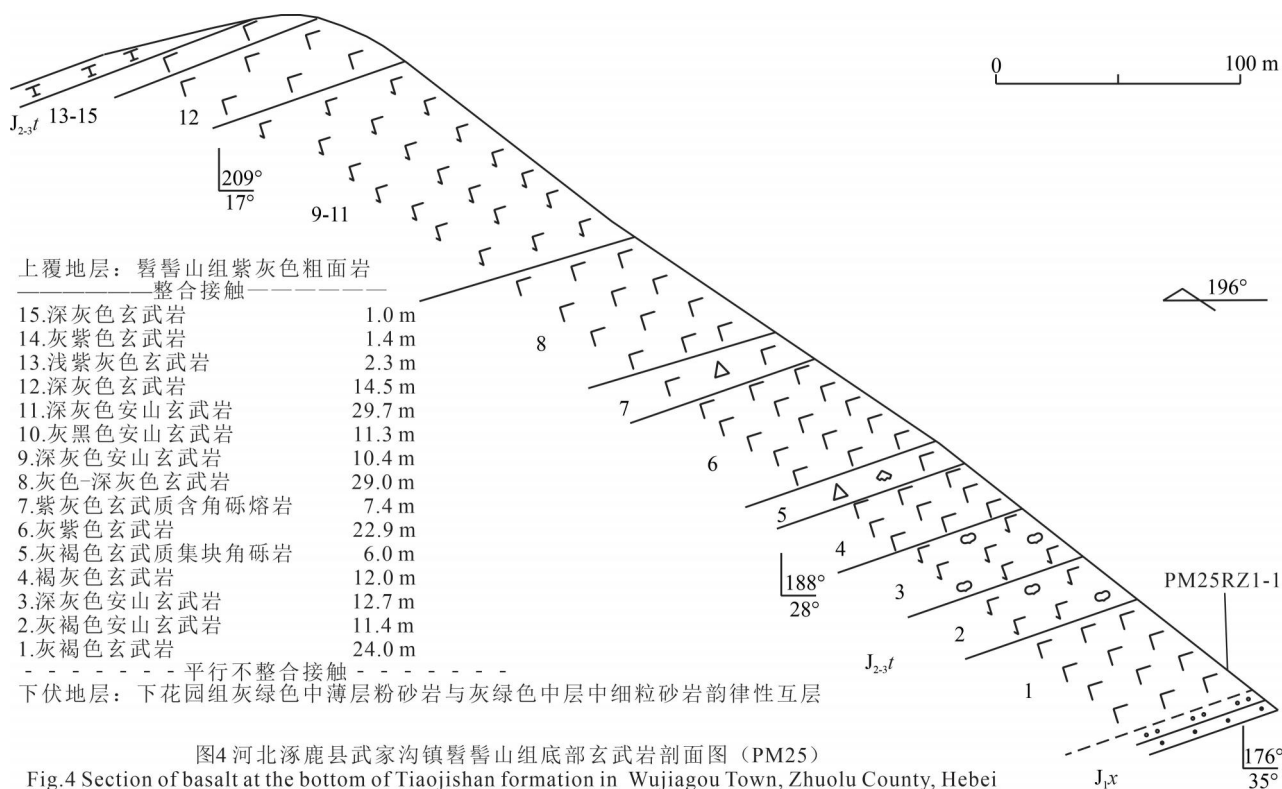


Fig.4 Section of basalt at the bottom of Tiaoji Shan formation in Wujiagou Town, Zhuolu County, Hebei

见环带构造,聚片双晶较发育含量约 60%~65%;辉石主要为单斜辉石,略带紫色调,为含钛辉石,呈他形粒状,粒度一般 0.2~2 mm,杂乱填隙状分布,部分粒内嵌布板条状斜长石颗粒,构成嵌晶含长结构,含量约 15%~20%;橄榄石呈半自形—他形粒状,粒度一般<0.2 mm,少数 0.2~1 mm,填隙状分布于斜长石粒间,均被皂石等交代呈假像,含量约 20%±;岩内气孔较发育,呈不规则状,大小一般 0.2~1.5 mm,杂乱分布,均被碳酸盐、绿泥石等填充成杏仁体。

斑状玄武岩,呈深灰色,少斑结构—基质间粒结构,块状构造,由斑晶、基质组成。斑晶由斜长石组成,呈半自形板状、板条状,大小一般 0.5~1.2 mm,聚片双晶较发育,含量约 3%~5%;基质由斜长石、辉石、橄榄石组成,斜长石呈半自形板条状,粒度一般 0.2~0.5 mm,杂乱似格架状分布,聚片双晶较发育,含量约 75%±;辉石主要为单斜辉石,呈半自形—他形柱状、粒状,粒度一般<0.1 mm,杂乱填隙状分布于斜长石粒间,含量约 15%±。橄榄石呈半自形—他形粒状,粒度一般<0.2 mm,填隙状分布于斜长石粒间,沿边缘被铁质及皂石等交代呈假像,含量约 5%~10%。

杏仁状玄武岩,呈灰红色,斑状结构—基质间隐

结构,杏仁状构造,由斑晶、基质组成。斑晶由斜长石组成,呈半自形板状、板条状,大小一般 0.2~1.2 mm,含量约 5%~10%;基质由斜长石、玻璃质组成,斜长石呈细小板条状、纤状,粒度一般<0.1 mm,杂乱似格架状分布,含量 65%~70%;玻璃质呈隐晶状,部分脱玻成纤状长石及暗色矿物,填隙状分布于斜长石粒间,含量约 25%。岩内气孔较发育,呈近圆状、不规则状等,大小一般 0.2~2 mm,少数 2~5 mm,杂乱分布,均被碳酸盐、皂石、硅质等填充成杏仁体。

## 2 样品采集、锆石分选及分析方法

### 2.1 样品采集

笔者等在河北省张家口市宣化区和涿鹿县一带对中—上侏罗统髻髻山组玄武岩进行系统地质调查,采集 9 件岩石地球化学样品,其中 5 件采自宣化区蟒头山剖面 (PM14) 底部玄武岩,3 件采自宣化区里口泉剖面 (PM18),1 件采集于涿鹿县武家沟镇剖面 (PM25) 底部玄武岩 (图 5) 与同位素测年样品 PM25RZ1-1 配套采取 (地理坐标 N 40°20'59" E 115°02'50"),同位素样品重 28.4 kg。

### 2.2 分析方法

岩石地球化学分析测试由河北省区域地质矿产



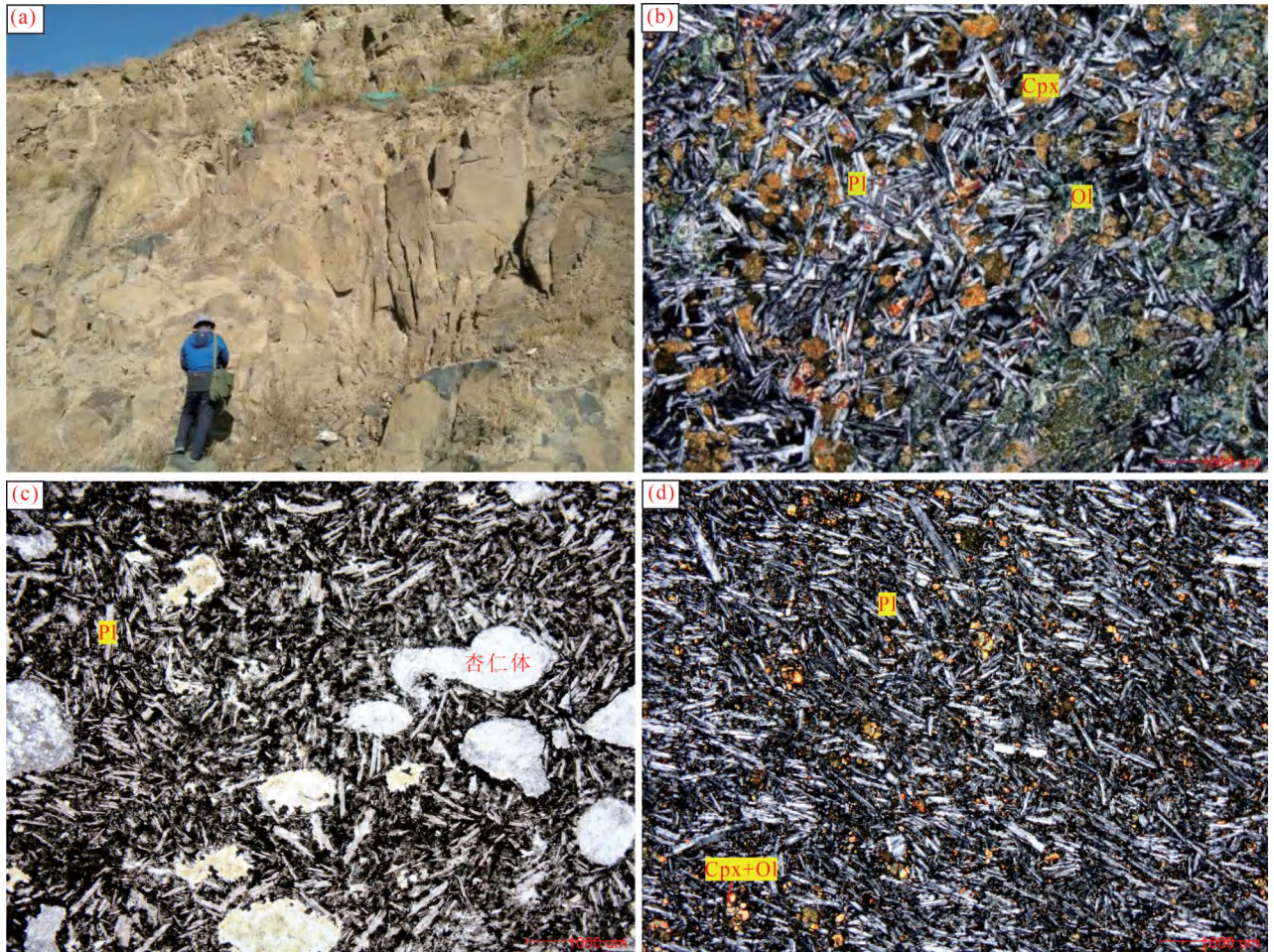


图 5 宣化区郑家沟一带中—上侏罗统髫髻山组玄武岩野外照片 (a); 宣化区蟒头山中—上侏罗统髫髻山组底部橄榄粒玄武岩 (PM14-1-b1) 显微结构照片 (b), 杏仁状玄武岩 (PM14-4-b1) 显微结构照片 (c), 斑状玄武岩 (PM14-7-b1) 显微结构照片 (d)

Fig. 5 Field photographs of the basalt of Middle—Upper Jurassic Tiaojishan Formation in Zhengjiagou area, Xuanhua District (a); microstructure photographs of olivine dolerite (PM14-1-b1) (b), almond basalt (PM14-4-b1) (c) and porphyry basalt (PM14-7-b1) (d) at the bottom of the Middle—Upper Jurassic Tiaojishan Formation in Mangtou Mountain, Xuahua district

调查研究实验室测试完成, 主量元素采用碱烧法制备样品, 使用 Axios<sub>max</sub>X 射线荧光光谱仪完成分析测试, 相对误差不大于 2%, 烧失量、H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> 和 H<sub>2</sub>O<sup>-</sup> 采用 P1245 电子分析天平完成测试。微量元素和稀土元素采用酸溶法制备样品, 使用 X Serise2 等离子体质谱仪完成测试, 相对误差不大于 5%, 测试方法见高剑峰等 (2003)。

用于锆石 U-Pb 测年样品由河北省区域地质矿产调查研究所实验室粉碎并挑选锆石。在双目镜下根据锆石颜色、自形程度、形态等特征初步分类, 挑选出具有代表性的锆石, 将锆石与标样一起放入环氧树脂制成的样品靶中, 并对其进行抛光, 直到样品露出一个光洁的平面, 然后在阴极发光上进行锆石

显微照相, 同位素测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光照片进行初选, 再与 CL 图像反复对比, 力求避开内部裂隙和包裹体, 以获得较准确的年龄信息。

锆石 LA-ICP-MS 原位 U-Pb 定年由北京科荟测试技术有限公司完成, 锆石定年分析使用的仪器为 LA-MC-ICP-MS, 所给定同位素的比值和年龄误差 (标准偏差) 1 $\sigma$  水平。

### 3 分析结果

#### 3.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果

玄武岩锆石晶型以次浑圆、浑圆柱粒状, 次浑圆粒状为主, 大小 50 ~ 150  $\mu\text{m}$  发育柱面 (110)、



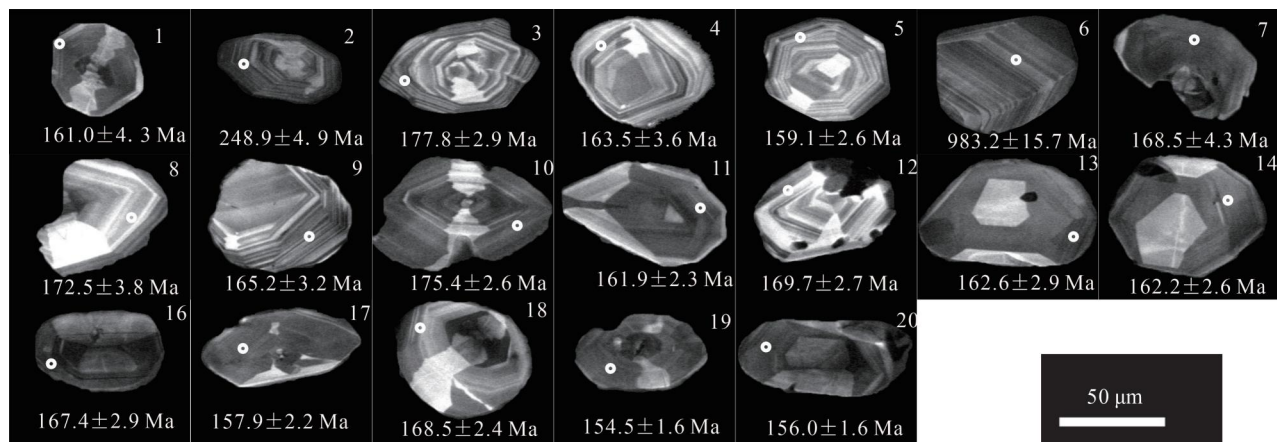


图6 涿鹿县武家沟村中—上侏罗统髫髻山组底部玄武岩中锆石阴极发光图像

Fig. 6 CL images of the zircons from basalt at the bottom of the Tiaojishan Formation in Wujiagou village, Zhuolu County

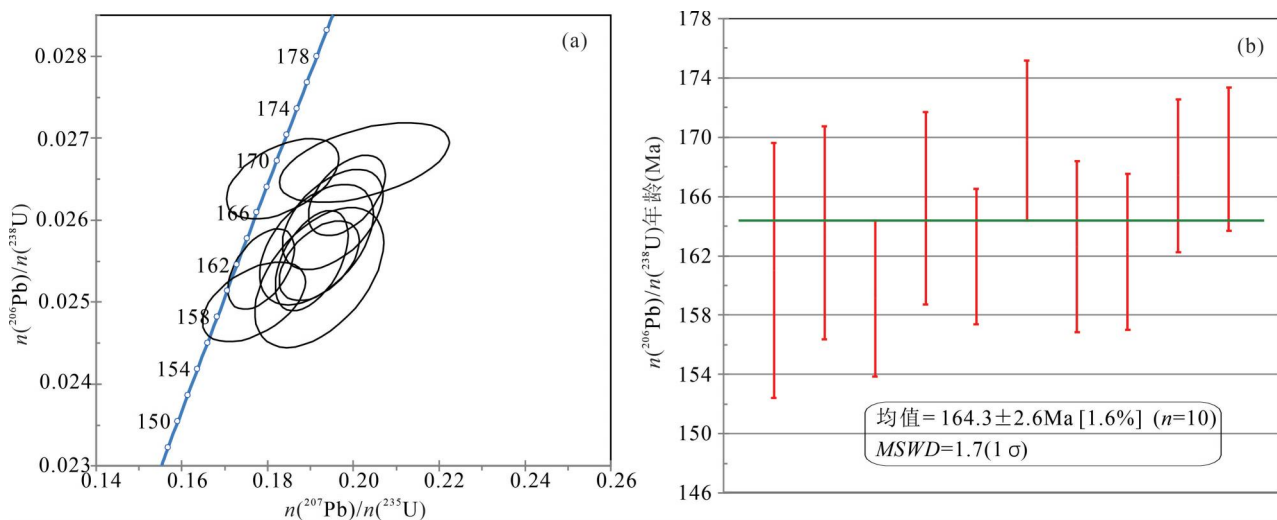


图7 涿鹿县武家沟村中—上侏罗统髫髻山组底部玄武岩 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图(a)和表面年龄分布图(b)

Fig. 7 LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram (a) and apparent ages distribution diagram (b) of the zircons from the basalt at the bottom of the Tiaojishan Formation in Wujiagou village, Zhuolu County

(100)、偏锥面(311)和锥面(111),延长系数为1.1~2.0和2.0~3.0,从阴极发光(CL)图像(图6)可以看出锆石具有清晰的内部结构和典型岩浆成因的振荡环带(吴元宝和郑永飞,2004),具有岩浆锆石特征,Th/U值介于0.72~2.07,平均值为1.23,大于0.5,表明这些锆石为岩浆成因;3、8、10、17、19、20号锆石发育稀疏的振荡环带,具有基性岩浆锆石特征,玄武岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分析结果见表1。

玄武岩测试测定19颗锆石19个点,2号点和6号点的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 表面年龄分别为248.9 Ma和987.7 Ma,代表玄武岩上升捕获的锆石年龄;7号点远离谐和线,3、8、10、17、19、20号点的 $n(^{206}\text{Pb})/$

$n(^{238}\text{U})$ 表面年龄数据较离散,其余10个点的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 表面年龄集中介于159.1~169.7 Ma,且都位于谐和线附近(图7),表明这些锆石在形成后 U-Pb 同位素体系保持封闭状态。获得 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 加权平均年龄为 $164.3 \pm 2.6$  Ma ( $n=10$ ,  $MSWD = 1.7$ ) (图7),代表了玄武岩结晶年龄,髫髻山组底部玄武岩形成时代为中侏罗世。

### 3.2 主量元素特征

中—上侏罗统髫髻山组底部玄武岩的主量元素及相关参数见表2。

髫髻山组底部玄武岩 $\text{SiO}_2$ 含量39.49%~49.74%,其中2号、3号、5号和9号样品的烧蚀量为5.08%~10.69%,由碳酸盐交代引起,剔除烧蚀

表 1 涿鹿县武家沟村髻髻山组底部玄武岩中 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果  
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data of zircon from basalt at the bottom of the Tiaojishan Formation in Wujiagou village, Zhuolu County

测点号	元素含量 ( $\times 10^{-6}$ )			Th/U	同位素比值						同位素年龄 (Ma)						谐和度 (%)
	Pb	Th	U		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		
					测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	
1	10.4	171	331	1.18	0.0253	0.0007	0.1921	0.0122	0.0556	0.0035	161.0	4.3	178.4	10.4	438.9	134.3	89
2	33.5	553	635	2.07	0.0394	0.0008	0.2821	0.0080	0.0520	0.0010	248.9	4.9	252.3	6.4	287.1	46.3	98
3	4.8	93	127	1.77	0.0280	0.0005	0.2232	0.0112	0.0580	0.0028	177.8	2.9	204.6	9.3	531.5	105.5	85
4	4.9	98	145	1.66	0.0257	0.0006	0.1915	0.0108	0.0549	0.0032	163.5	3.6	177.9	9.2	409.3	162.0	91
5	4.3	109	125	1.95	0.0250	0.0004	0.1769	0.0098	0.0521	0.0032	159.1	2.6	165.4	8.5	300.1	142.6	96
6	27.7	82	129	1.56	0.1648	0.0028	1.6452	0.0436	0.0724	0.0014	983.2	15.7	987.7	16.8	998.2	36.1	99
7	8.9	109	251	1.07	0.0265	0.0007	0.3507	0.0213	0.0954	0.0045	168.5	4.3	305.2	16.0	1536.1	83.2	42
8	4.3	46	127	0.87	0.0271	0.0006	0.2005	0.0121	0.0552	0.0039	172.5	3.8	185.5	10.3	420.4	159.2	92
9	6.1	115	172	1.65	0.0260	0.0005	0.1952	0.0095	0.0543	0.0021	165.2	3.2	181.1	8.0	383.4	91.7	90
10	8.2	94	236	0.95	0.0276	0.0004	0.1958	0.0101	0.0522	0.0029	175.4	2.6	181.6	8.6	300.1	125.0	96
11	13.9	256	424	1.31	0.0254	0.0004	0.1785	0.0063	0.0513	0.0020	161.9	2.3	166.7	5.4	253.8	88.9	97
12	3.4	65	96	1.42	0.0267	0.0004	0.2026	0.0162	0.0557	0.0047	169.7	2.7	187.3	13.6	438.9	188.9	90
13	8.6	149	261	1.15	0.0255	0.0005	0.1903	0.0069	0.0548	0.0024	162.6	2.9	176.9	5.9	405.6	100.0	91
14	8.2	124	258	0.94	0.0255	0.0004	0.1921	0.0076	0.0547	0.0019	162.2	2.6	178.4	6.5	398.2	79.6	90
16	19.3	253	611	0.72	0.0263	0.0004	0.1986	0.0073	0.0547	0.0017	167.4	2.6	184.0	6.1	466.7	75.0	90
17	8.9	139	287	0.89	0.0248	0.0003	0.1763	0.0102	0.0516	0.0028	157.9	2.2	164.9	8.8	333.4	124.1	95
18	5.5	70	170	0.74	0.0265	0.0004	0.1835	0.0107	0.0510	0.0032	168.5	2.4	171.1	9.2	239.0	150.9	98
19	10.3	147	328	0.74	0.0243	0.0002	0.1824	0.0096	0.0547	0.0029	154.5	1.6	170.2	8.2	398.2	123.1	90
20	25.1	405	817	0.76	0.0245	0.0003	0.1806	0.0047	0.0537	0.0014	156.0	1.6	168.6	4.0	366.7	61.1	92

量影响,在 TAS 图解(图 8)中样品落入碱玄岩、玄武岩和粗面玄武岩范围, MgO 含量为 2.22% ~ 9.30%, TiO<sub>2</sub> 含量为 1.42% ~ 3.14%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量大多为 0.15% ~ 1.13%; K<sub>2</sub>O 含量为 0.28% ~ 2.74%, Na<sub>2</sub>O 含量为 2.51% ~ 4.56%, CaO 含量为 7.06% ~ 16.41%, 玄武岩的 Mg<sup>#</sup> 为 28~65, 其中 1、6、8、9 号号样品 Mg<sup>#</sup> 为 59~65, 近似于原始岩浆的产物, 2~5 号、7 号、10 号样品为经历分离结晶的岩浆产物, 里特曼指数  $\sigma$  主要为 2.61~33.12。

玄武岩在 SiO<sub>2</sub>—(K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)图解中主要落入碱性玄武岩系列(图 9), 随着玄武岩 Mg<sup>#</sup> 的减小, 玄武岩具富钾的变化趋势。

## 4 讨论

### 4.1 中侏罗统玄武岩的确定

#### 4.1.1 髻髻山组底部玄武岩锆石 U-Pb 年龄结果

笔者在野外地质调查表明髻髻山组底部玄武岩整合于中侏罗统九龙山组之上, 2021 年河北省宣化南部中生代动植物群遗迹调查(河北省区域地质调查院<sup>③</sup>) 在宣化一带九龙山组中获得真蕨类化石 *Coniopteris hymenophylloides*, *C. tatungensis*, *C. bella*, *Cladophlebis raciborskii*, *C. delicutula*, *C. cf. delicutula*, *C. argntula*; 苏铁类化石: *Nilssoniasp.*, *N. orientavis*, *N. linearis*, *N. pecten*, *N. ptevophylloides*, *Ctenishebeiensis*, *C. chinensis*, *C. cf. readi*, *Pseudoctenishebeiensis*, *P. xiajiagouensis*, *Xenoxylonxiajiagouensis*, *X. hebeiensis*, *X. latiporosum*, *Cupressinoxylonfujuei*; 真蕨类和苏铁类化石等均属 *Coniptions*—*Phenocopsis* 植物群的

表 2 髫髻山组底部玄武岩主元素 (%) 及相关参数  
Table 2 Analytical results of basalt of Tiaojishan Formation

样号	PM14-					PM18-			PM25	
	1-YQ1	3-YQ1	6-YQ1	7-YQ1	8-YQ1	3-YQ1	8-YQ1	10-YQ1	YQ1-1	YQ12-1
位置	宣化区蟒头山					宣化区里口泉			涿鹿县武家沟	
层位	下部玄武岩		上部玄武岩			下部玄武岩			上部玄武岩	
编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	46.61	42.91	45.93	49.74	39.49	46.39	47.82	45.54	43.40	45.75
TiO <sub>2</sub>	1.51	1.42	2.81	3.14	2.32	1.50	1.51	1.68	1.56	1.88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.15	17.56	13.04	14.58	11.16	18.08	19.36	17.22	14.85	17.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.38	7.74	11.04	10.98	8.76	3.77	3.84	7.20	6.81	5.95
FeO	1.58	2.64	2.38	2.01	1.18	6.59	4.19	3.65	2.72	3.63
MnO	0.127	0.106	0.161	0.164	0.152	0.156	0.125	0.123	0.164	0.17
MgO	7.23	3.55	2.74	3.48	2.22	8.44	5.61	9.30	9.16	6.52
CaO	9.52	14.45	7.91	7.06	16.41	8.08	8.87	7.62	9.62	11.59
Na <sub>2</sub> O	2.79	2.88	4.56	3.81	4.17	3.38	3.86	2.72	2.55	2.51
K <sub>2</sub> O	0.28	0.28	2.74	2.21	2.14	0.32	0.33	0.35	1.08	0.69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.154	0.162	1.001	1.125	0.897	0.160	0.160	0.165	0.332	0.458
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.72	2.16	2.04	1.92	1.04	2.84	3.58	4.03	4.14	2.57
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	1.82	1.78	0.97	1.38	0.53	1.01	1.51	1.89	2.29	1.02
Los	3.36	5.86	5.08	1.14	10.69	2.28	3.45	3.89	6.82	2.53
Total	99.87	99.87	99.65	99.66	99.72	99.88	99.60	99.68	99.36	99.73
σ	2.61		18.18	5.36		4.02	3.63	3.73	33.12	3.72
Mg <sup>#</sup>	59	40	28	34	30	60	57	62	65	57

注:σ、Mg<sup>#</sup>计算公式参见邓晋福等,2015。

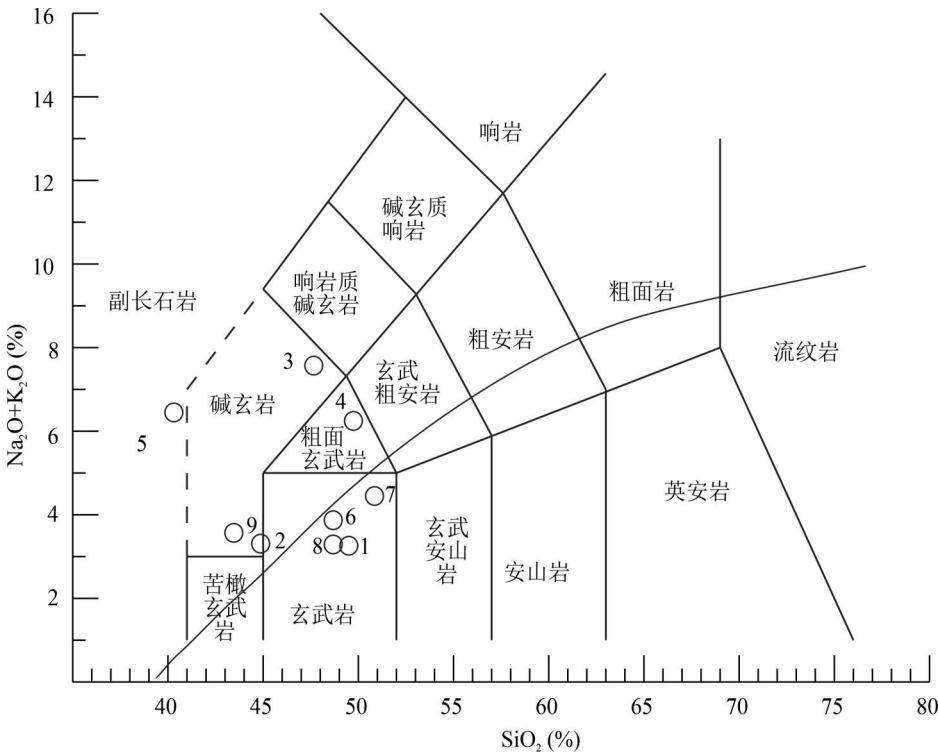


图 8 冀西北中—上侏罗统髫髻山组玄武岩 TAS 图解 (底图据 Le Bas, 1986)

Fig. 8 TAS diagram of the basalt at the bottom of the Tiaojishan Formation in northwestern Hebei (after Le Bas, 1986)

组成部分,时代为中侏罗统;2017年河北省西洋河幅等5幅1:5万区域地质调查(中国人民武装警察部队黄金七支队<sup>①</sup>)对贾家庄一带九龙山组中部火山岩标志层(岩性为粗面岩)获得锆石 U-Pb 年龄结果为 167 ± 28 Ma,时代为中侏罗世晚期;笔者在宣化区武家沟北王帽山一带髫髻山顶部粗面岩获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 161.0 ± 1.2 Ma (另文发表),笔者等在土城子组中部粉砂岩中获得植物化石义马似木贼 (*Equisetites yimaensis* Xi, 1977),该化石多形成于中—晚侏罗世,上述结果表明髫髻山组时代归属于中侏罗世末期。

笔者等本次工作在髫髻山组底部玄武岩中获得



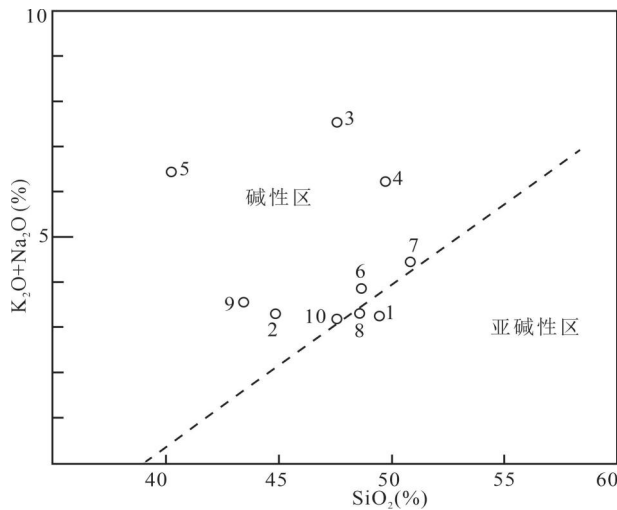


图 9 冀西北中—上侏罗统髫髻山组底部玄武岩 SiO<sub>2</sub>—(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) 图解 (底图据 Irvine, 1971)

Fig. 9 SiO<sub>2</sub>—(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) diagram of the basalt at the bottom of the Middle—Upper Jurassic Tiaojiashan Formation in northwestern Hebei

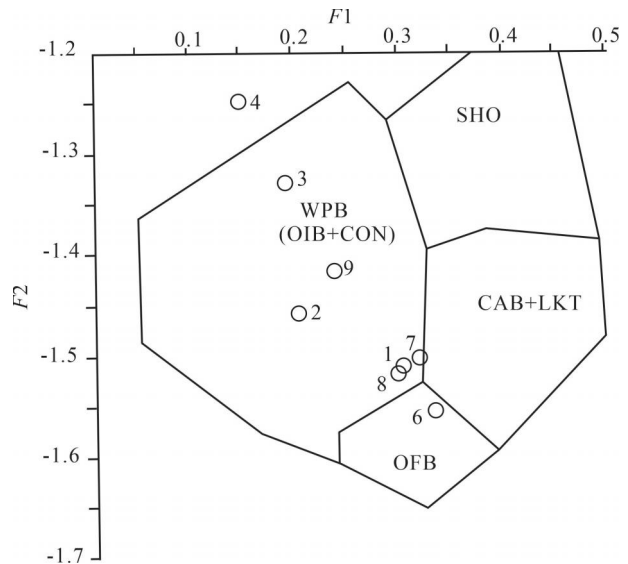


图 10 冀西北中—上侏罗统髫髻山组底部玄武岩 F1—F2 图解 (底图据 Pearce, 1976)

Fig. 10 F1—F2 diagram of the basalt at the bottom of the Middle—Upper Jurassic Tiaojiashan Formation in northwestern Hebei

锆石 U-Pb 年龄  $164.3 \pm 2.6$  Ma, 时代为中侏罗统末期, 同位素年龄结果与九龙山组、髫髻山组、土城子组的同位素年龄结果和化石结果范围吻合, 且与野外地质关系一致, 说明玄武岩形成时代为中侏罗统末期, 同时玄武岩的同位素年龄代表了髫髻山组的底界年龄, 即锆石 U-Pb 年龄  $164.3 \pm 2.6$  Ma 代表了髫髻山组的底界年龄。

#### 4.1.2 中侏罗世玄武岩的确定

杨福全等 (1999) 研究承德盆地南大岭组是一套溢流相玄武岩, 整合在晚三叠时杏石口组之上, 其上被下侏罗统下花园组整合接触, 其时代为早侏罗世; 赵越等 (2006) 认为 171 Ma 的锆石组可能是北京西山南大岭组玄武岩的喷溢年龄。

笔者野外调查显示该套玄武岩在蟒头山和祁家庄南一带整合覆盖于中侏罗统九龙山组之上, 在武家沟一带平行不整合于下侏罗统下花园组含煤岩系之上; 本文中玄武岩锆石 U-Pb 年龄  $164.3 \pm 2.6$  Ma; 上述野外地质关系和同位素年龄结果表明宣化—涿鹿地区髫髻山组底部玄武岩与南大岭组玄武岩为不同时期基性火山活动的产物, 因此该套玄武岩是区域上首次发现的中侏罗世基性火山岩。

### 4.2 髫髻山组底部玄武岩的地质意义

#### 4.2.1 构造环境讨论

汪洋等 (2003) 认为髫髻山组火山岩具有造山带火山岩特征; 李伍平等 (2001a, 2001b) 认为北京

西山髫髻山组火山岩形成于陆内挤压环境; 肖程 (2016) 认为辽西髫髻山组火山岩形成于陆内挤压环境; 李斌等 (2019) 认为辽西髫髻山组火山岩落入主要落入火山弧构造环境区。

笔者野外调查的冀西北宣化—涿鹿地区侏罗纪时期处于华北板块内部; 髫髻山组底部玄武岩在 F1—F2 构造判别图解中主要落入板内玄武岩区或附近 (图 10), 说明该套玄武岩形成于大陆板内环境。

笔者等测制的蟒头山剖面 (图 4) 显示玄武岩之上为灰黄色杏仁状粗面岩覆盖, 粗面岩的 SiO<sub>2</sub> 含量为 62.27%~63.79%, 属于碱性系列 (另文发表), 玄武岩和粗面岩的岩石学和岩石化学显示二者构成双峰式火山岩组合, 说明髫髻山组底部火山岩形成于板内拉张环境。

上述髫髻山组底部火山岩地质学、岩石学特征和玄武岩的岩石化学特征均表明该套玄武岩形成于大陆板内拉张环境, 因此髫髻山组早期火山活动形成于板内拉张环境。

#### 4.2.2 地质意义

前人研究表明华北板块北部河北—辽宁一带侏罗纪玄武岩主要出露于下侏罗统南大岭组, 中—上侏罗统髫髻山组火山岩为一套安山质、粗安质的火山岩组合; 笔者等在宣化区—涿鹿县一带髫髻山组

底部发现的玄武岩与上部粗安岩和粗面岩的火山岩组合,具有玄武岩—粗安岩—粗面岩完整的火山岩演化序列;该套玄武岩的发现是对髻髻山组岩石组合和岩浆活动的补充和完善。

李伍平等(2001a,2001b)研究认为北京地区髻髻山组岩浆起源于下地壳—壳幔过渡带古老(太古宙)的玄武质岩石的部分熔融,造成源区岩石发生熔融的原因可能与中生代玄武岩浆的底侵作用有关;李伍平等(2007)研究认为燕山造山带中—晚侏罗统髻髻山期(蓝旗期)中酸性火山岩为高铯低钇的(Aidakitic,埃达克质)火山岩,岩浆起源于增厚(>40 km)下地壳玄武质钙碱性岩石的部分熔融,而引起下地壳玄武质岩石熔融主要与底侵作用有关;王蕊等(2007)研究认为北京西山髻髻山组火山岩由于来自富集地幔的基性岩浆的底侵而形成;段超等(2016)研究太行山北段木吉村髻髻山组火山岩认为表明髻髻山组火山岩的形成不可能由单一的富集地幔或地壳重熔再循环演化而来,而是古老华北克拉通地壳与富集地幔相互作用演化的产物;肖程(2016)研究认为河北青龙—辽宁建昌组髻髻山组火山岩成因不同于典型的高铯低钇中酸性岩(埃达克岩),火山岩的形成可能与岩浆底侵作用有关,应是中—新太古代下地壳基性火成岩部分熔融形成。

笔者等在宣化区—涿鹿县一带野外调查发现的玄武岩产出于髻髻山组底部,整合覆盖于九龙山组之上,同时该套玄武岩属于碱性玄武岩系列,在板内拉张背景形成,表明玄武岩是髻髻山组中性火山岩成因的玄武质底侵作用的地质学、岩石学和大地构造学证据。

## 5 结论

笔者等在宣化区—涿鹿县一带中—上侏罗统髻髻山组底部首次发现玄武岩组合,其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄  $164.3 \pm 2.6$  Ma,时代为中侏罗统,代表了髻髻山组底界年龄;该玄武岩与上覆粗面岩构成双峰式火山岩组合,说明髻髻山组早期火山活动形成于大陆板内拉张环境,是髻髻山组中性火山岩的玄武质岩浆底侵成因的地质学、岩石学和大地构造学证据。

**致谢:**项目实施过程中河北省区域地质调查院的李金和教授级高级工程师参加了本项目野外工作,对本项目进行指导,样品分析过程中受到河北省区域地质矿产调查研究所实验室的帮助,审稿专家

和编辑提出了宝贵建议,在此一并致谢!

## 注 释 / Notes

- ① 河北省地矿局(编著). 1996. 河北省岩石地层.
- ② 河北省区域地质矿产调查研究所(编著). 2017. 中国区域地质志. 河北志.
- ③ 河北省区域地质调查院. 2021. 河北省宣化南部中生代动植物群遗迹调查报告.
- ④ 中国人民武装警察部队黄金七支队. 2017. 河北省西洋河幅等5幅 1:5万区域地质调查报告.
- ⑤ 河北省区域地质调查院. 2023. 河北省沙岭子、宣化县、深井镇、涿鹿县 1:5万区域地质调查报告.

## 参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京: 地质出版社: 1~381.
- 邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 肖庆辉, 狄永军, 苏尚国, 赵国春, 段培新, 戴蒙. 2015. 关于火成岩常用图解的正确使用: 讨论与建议. 地质论评, 61(4): 717~734.
- 高建峰, 陆建军, 赖明远, 林雨萍, 濮巍. 2003. 岩石样品中微量元素的高分辨率等离子质谱分析. 南京大学学报(自然科学版), 39(6): 844~850.
- 段超, 毛景文, 谢桂青, 陈志宽, 马国玺, 王志敏, 陈焘, 李伟. 2016. 太行山北段木吉村髻髻山组安山岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征及其对区域成岩成矿规律的指示. 地质学报, 90(2): 250~266.
- 李斌, 陈井胜, 刘森, 杨帆, 吴振, 杜继宇. 2019. 辽西髻髻山组的形成时代及地球化学特征. 地质论评, 65(S1): 63~64.
- 李伍平, 路凤香, 李献华. 2001a. 北京西山晚侏罗统粗安岩的成因及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 20(3): 247~254.
- 李伍平, 路凤香, 李献华, 周瑶琪, 孙善平, 李家振, 章大港. 2001b. 北京西山髻髻山组火山岩的地球化学特征与岩浆起源. 岩石矿物学杂志, 20(2): 123~133.
- 李伍平, 赵越, 李献华, 路凤香, 梁细荣, 涂湘林. 2007. 燕山造山带中—上侏罗统髻髻山期(蓝旗期)火山岩的成因及其动力学意义. 岩石学报, 23(3): 557~564.
- 彭艳东, 张立东, 张长捷, 郭胜哲, 邢德和, 贾斌, 陈树旺, 丁秋红. 2003. 辽西北票、义县地区髻髻山旋回火山岩的地球化学特征. 地质与资源, 12(3): 177~184.
- 吴元宝, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589~1604.
- 肖程, 孙德有, 邵飞, 庄廷新, 高岩, 王广婷. 2016. 河北青龙—辽宁建昌地区中生代火山岩: 时代、地球化学特征与岩石成因. 铀矿地质, 32(4): 216~223.
- 于海飞, 张志诚, 帅歌伟, 陈彦, 汤文豪. 2016. 北京十三陵—西山髻髻山组火山岩年龄及其地质意义. 地质论评, 62(4): 807~826.
- 杨富全, 韩金良, 张金方. 1999. 论河北承德上谷早侏罗统南大岭组. 华北地质矿产杂志, 14(1): 53~58.
- 王蕊, 陈斌, 柳小明. 2007. 北京西山地区髻髻山组和东岭台组火山岩的地球化学特征与岩浆起源. 高校地质学报, 13(3): 603~612.
- 汪洋, 姬广发. 2003. 北京四海地区髻髻山组—后城组山岩岩石化

- 学特征. 北京地质, 15(1): 1~11.
- 赵越, 宋彪, 张拴宏, 刘健. 2006. 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. 地学前缘, 13(2): 184~190.
- Ayers J. 1998. Trace element modeling of aqueous fluid - peridotite interaction in the mantle wedge of subduction zones. Contributions to Mineralogy and Petrology, 132(4): 390~404.
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements; Meteorite studies. In: Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier; 63~114.
- Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo. 2004#. Petrogenesis, Tectonic Environment and Mineralization. Beijing: Geological Publishing House; 1~381.
- Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Penxin, Dai Meng. 2015#. On the correct application in the common igneous Petrological diagrams; discussion and suggestion. Geological Review, 61(4): 717~734.
- Duan Chao, Mao Jingwen, Xie Guiqing, Chen Zhikuan, Ma Guoxi, Wang Zhimin, Chen Tao, Li Wei. 2016#. Zircon U - Pb Geochronological and Hf isotope study on Tiaojishan volcanic formation, Mujicun, North Taihang Mountain, and implication for regional metallogeny and magmatism. Acta Geologica Sinica, 90(2): 250~266.
- Gao Jianfei, Lu Jianjun, Lai Mingyuan, Lin Yuping, Pu Wei. 2003#. Determination of trace elements in rock sample by high resolution plasma mass spectrometry. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 39(6): 844~850.
- Hofmann A W. 1988. Chemical differentiation of the Earth: The relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. Earth and Planetary Science Letters, 90(3): 297~314.
- Irvine T N, Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8(5): 523~548.
- Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, Zanettin B, IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Journal of Petrology, 27(3): 745~750.
- Li Bing, Chen Jingsheng, Liu Miao, Yang Fan, Wu Zhen. 2019#. Formation age and geochemical characteristics the Tiaojishan Formation in Western Liaoning, 65(S1): 63~64.
- Li Wuping, Lu Fengxiang, Li Xianhua. 2001a#. Genesis of Late Jurassic trachyandesite in Western Hills of Beijing and its geological implications. Acta Petrologica et Mineralogica, 20(3): 247~254.
- Li Wuping, Lu Fengxiang, Li Xianhua, Zhou Yaoqi, Sun Shanping, Li Jiazhen, Zhang Dagang. 2001b#. Geochemical features and origin of volcanic rocks of Tiaojishan Formation in Western Hills of Beijing. Acta Petrologica et Mineralogica, 20(2): 123~133.
- Li Wuping, Zhao Yue, Li Xianhua, Lu Fengxiang, Liang Xirong, Tu Xianglin. 2007#. Genesis of the Middle - Late Jurassic volcanic rocks of Tiaojishan (Lanqi) period and its geodynamic implication, Yanshan orogen, east China. Acta Petrologica Sinica, 23(3): 557~564.
- Miyashiro A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. American Journal of Science, 274(4): 321~355.
- Nakamura E, Campbell I H, Sun Shensu. 1985. The influence of subduction processes on the geochemistry of Japanese alkaline basalts. Nature, 316(6023): 55~58.
- Pearce J. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries; Andesites. In: Thorpe R S. ed. Orogenic Andesites and Related Rocks. Chichester, England: John Wiley & Sons; 525~548.
- Pearce J A. 1976. Statistical analysis of major element patterns in basalts. Journal of Petrology, 17(1): 15~43.
- Peng Yandong, Zhang Lidong, Zhang Changjie, Guo Shengzhe, Xing Dehe, Jia Bin, Chen Shuwang, Ding Qihong. 2003#. Chemistry of volcanic rocks of tiaojishan formation in Beipiao-Yixian, western Liaoning, China. Journal of Precious Metallic Geology, 12(3): 177~184.
- Rapp R P, Watson E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8 - 32 kbar; Implications for continental growth and crust - mantle recycling. Journal of Petrology, 36(4): 891~931.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. Lithos, 22(4): 247~263.
- Ryerson F J, Watson E B. 1987. Rutile saturation in magmas; Implications for TiNbTa depletion in island-arc basalts. Earth and Planetary Science Letters, 86(2~4): 225~239.
- Smithies R H. 2000. The Archaean tonalite - trondhjemite - granodiorite (TTG) series is not an analogue of Cenozoic adakite. Earth and Planetary Science Letters, 182(1): 115~125.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; Implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, 42(1): 313~345.
- Wang Yang, Ji Guangfa. 2003#. A preliminary discussion on petrochemical characteristics of the volcanic rocks of Tiaojishan - Houcheng Formation in Sihai area, Beijing Municipality. Beijing Geology, 15(1): 1~11.
- Wang Rui, Chen Bin, Liu Xiaomin. 2007#. Geochemical characteristics and origin of the Tiaojishan and Donglingtai Formations from Western Hills, Beijing. Geological Journal of China Universities, 13(3): 603~612.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004#. Genetic mineralogy of zircon and its constraints on U - Pb age interpretation. Chinese Science Bulletin, 49(15): 1589~1604.
- Xiao Cheng, Sun Deyou, Shao Fei, Zhuang Tingxin, Gao Yan, Wang Guangting. 2016#. Geochemistry and genesis of Mesozoic volcanical rocks in Qinglong-Jianchang area. Uranium Geology, 32(4): 216~223.
- Yang Fuquan, Hang Jinliang, Zhang Jinfang. 1999#. On the early Jurassic Nandaling Formation in Shanggu, Chengde. Jour. Geol. & Min. Res. North China, 14(1): 53~58.
- Yu Haifei, Zhang Zhicheng, Shuai Gewei, Chen Yan, Tang Wenhao. 2016#. SHRIMP and LA - ICP - MS U - Pb ages and geological significance of the volcanic rocks in the Tiaojishan Formation in Ming Tombs area - Western Hills, Beijing. Geological Review, 62(4): 807~826.
- Zhao Yue, Song Biao, Zhang Shuanhong, Liu Jian. 2006#. Geochronology of the inherited zircons from Jurassic Nandaling basalt of the Western Hills of Beijing, North China; Its implications. Earth Science Frontiers, 13(2): 184~190.



# The first discovery of Middle Jurassic basalts in Northwestern Hebei Province and its geological significance

BAI Chundong, XU Fan, LI Zeyang, MENG Jiabao, ZHU Benhong  
Hebei Regional Geological Survey, Langfang, Hebei, 065000

**Abstract:** This paper is the result of geological survey. Writers first discovered the basalt association at the bottom of the Middle—Upper Jurassic Tiaojishan Formation in the Xuanhua District—Zhuolu County area, Zhangjiakou City, whose age, geochemical properties, and geological significance requires to further research. This article conducts geological, petrological, geochemical, and isotopic chronological studies on the basalts. The  $\text{SiO}_2$  content of the basalt ranges from 39.49% to 49.74%,  $\text{Mg}^\#$  ranges from 28 to 65, and the Rittmann index ( $\sigma$ ) ranging from 2.61 to 33.12. The basalt belongs to the alkaline basalt series and forms bimodal volcanic rock combination with the overlying trachyte, indicating that the early volcanic rocks of the Tiaojishan Formation were formed in a continental plate tensile environment. This set of basalts is a geological, petrological, and tectonic study of the basaltic magma underplating of the neutral volcanic rocks of the Tiaojishan Formation.

**Acknowledgements:** This paper is the result of the 1 : 50000 Regional Geological Survey of Shalingzi, Xuanhua County, Shenjing Town, and Zhuolu County in Hebei Province by the Department of Natural Resources of Hebei Province

**Keyword:** northwestern Hebei; Middle Jurassic basalts; Tiaojishan Formation; plate tension

**First author:** BAI Chundong, male, born in 1984, senior engineer, is mainly engaged in regional geological survey; Email: bcd841025@163.com

**Manuscript** received on: 2023-07-08; Accepted on: 2023-11-02; Published online on: 2023-11-20

**Doi:** 10. 16509/j. georeview. 2023. 11. 055

**Edited by:** ZHANG Yuxu

## 期刊处刘志强同志荣获中国科协卓越行动计划“优秀期刊管理人”荣誉称号

2023年12月13日,中国科学技术协会公布了2023年度中国科技期刊卓越行动计划选育高水平办刊人才子项目—优秀人才案例遴选汇编项目入选案例,刘志强同志荣获中国科协卓越行动计划“优秀期刊管理人”荣誉称号。

根据《中国科技期刊卓越行动计划实施细则》《关于征集2023年度中国科技期刊卓越行动计划优秀人才案例的通知》,经公开申报、资格审查、专家评审、结果公示环节,中国科协公布了办刊优秀人才名单,本次评选对象主要包括优秀期刊管理人、优秀主编、优秀编委、优秀编辑和优秀审稿人,每个方向评选20人。

期刊优秀人才公布网址:[https://www.cast.org.cn/xw/tzgg/KJCX/art/2023/art\\_c9f5c4493ec24b1a951845e9d5c2e76a.html](https://www.cast.org.cn/xw/tzgg/KJCX/art/2023/art_c9f5c4493ec24b1a951845e9d5c2e76a.html)

Senior engineer LIU Zhiqiang were awarded the title of “Excellent Journal Manager” by China Association for Science and Technology

