

DOI: 10.12401/j.nwg.2023001

内蒙古中东部玛尼吐组火山岩形成时代及其 大地构造环境

柳永正¹, 张海平¹, 张永清¹, 贺宏云¹, 徐铭池², 焦建刚^{2,3,4,*}

(1. 内蒙古自治区区浆活动成矿与找矿重点实验室, 内蒙古自治区地质调查研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020;
2. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 3. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室,
陕西 西安 710054; 4. 西安市关键金属成矿与高效利用重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要: 玛尼吐组广泛分布在内蒙古中东部地区, 长期以来与满克头鄂博组和白音高老组的地质时代被定为晚侏罗世, 然而前人在玛尼吐组中发现 *Nestoriapissovi* 化石, 并认为是早白垩世冀北阶的带化石, 同位素年代学结果差异也较大, 而且形成的大地构造环境仍然存在争论。因此, 笔者对玛尼吐组火山岩进行了同位素年代学分析, 并利用全岩成分探讨其形成的大地构造环境。玛尼吐组采集的 3 个安山岩和粗安岩的锆石 U-Pb (LA-ICP-MS) 测年结果分别为 (142.4 ± 1.4) Ma、(130.0 ± 1.4) Ma 和 (145.0 ± 1.5) Ma, 显示该地区玛尼吐组形成于早白垩世。样品 SiO_2 含量为 59.43%~64.73%, Al_2O_3 含量为 15.66%~17.19%, K_2O 含量为 2.56%~5.03%, Na_2O 含量为 3.59%~4.53%, 全碱含量为 6.36%~9.56%; 微量元素以富集大离子亲石元素和 LREE, 亏损 Nb、Sr、P 和 Ti 为特征; 稀土元素 $\Sigma\text{REE} = 118.71 \times 10^{-6} \sim 189.99 \times 10^{-6}$, 轻重稀土分馏系数 $(\text{La/Yb})_N$ 为 8.88~9.58, δEu 值为 0.66~0.95, Eu 负异常, 与岛弧火山岩地球化学特征相似。对比大兴安岭西部玛尼吐组西部、中部 (~ 140 Ma) 和东部火山岩年龄, 笔者认为其玛尼图组火山岩类最老形成于晚侏罗世 (~ 158 Ma), 向东逐渐变新为早白垩世 (140~130 Ma), 这一变化与蒙古-鄂霍次克洋自西向东的闭合及陆块的后碰撞伸展有关。

关键词: 内蒙古自治区中东部; 玛尼吐组; 锆石 U-Pb 年龄; 晚侏罗世—早白垩世

中图分类号: P581; P597.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)02-0046-15

Zircon U-Pb Age and Tectonic Setting of the Manitu Formation in the Middle-East Inner Mongolia, China

LIU Yongzheng¹, ZHANG Haiping¹, ZHANG Yongqing¹, HE Hongyun¹, XU Mingchi², JIAO Jiangang^{2,3,4,*}

(1. Inner Mongolia Key Laboratory of Magmatic Mineralization and Ore-prospecting, Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China; 2. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
4. Xi'an Key Laboratory for Mineralization and Efficient Utilization of Critical Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

收稿日期: 2022-10-19; 修回日期: 2022-12-27; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 中国地质调查局项目“中国区域地质志·内蒙古志”(121201130132001), 内蒙古自然科学基金项目“内蒙古自治区地质勘查基金项目”(2020-KY05)联合资助。

作者简介: 柳永正(1969-), 男, 高级工程师, 从事野外区域地质调查工作。E-mail: nmgliuyongzheng@qq.com。

* 通讯作者: 焦建刚(1976-), 男, 博士, 教授, 主要从事矿床学研究与教学。E-mail: jiangang@chd.edu.cn。

Abstract: The Manitu Formation widely occurs in the middle–east Inner Mongolia Autonomous region, and was thought to be formed in the late Jurassic together with the regional Manketouebo Formation and the Baiyingaolao Formation. However, the *Nestoriapissovi* fossils in the andesite interlayer of the Manitu Formation indicate this formation was formed during the Jibei Stage of the early Cretaceous by previous studies. In addition, the zircon U–Pb ages for the volcanic rocks in the Manitu Formation have a wide range, and the tectonic setting is still under debate. Therefore, this study carried out the analyses of zircon U–Pb dating and whole–rock compositions to examine the age and tectonic setting of the Manitu Formation. The zircon U–Pb ages for three samples collected from Zarutqi–Bahrainyouqi are 142.4 ± 1.4 Ma, 130.0 ± 1.4 Ma and 145.0 ± 1.5 Ma, respectively, suggesting the Manitu Formation in the Zarutqi–Bahrainyouqi area were formed in the early Cretaceous. Rocks from the Manitu Formation have SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O and Na_2O of $59.43\% \sim 64.73\%$, $15.66\% \sim 17.19\%$, $2.56\% \sim 5.03\%$, $3.59\% \sim 4.53\%$, respectively, with ALK of $6.36\% \sim 9.56\%$. They have high concentration of LILE and LREE, and depletion of Nb, Sr, P and Ti. Total rare earth element (Σ REE) concentration ranges from 118.71×10^{-6} to 189.99×10^{-6} , and LREE and HREE are highly fractionated with $(\text{La}/\text{Yb})_N$ of $8.88 \sim 9.58$, with negative Eu anomalies ($\delta\text{Eu} = 0.66 \sim 0.95$), showing an island arc–like geochemistry. We propose that the formation age becomes younger from the west to east of the Great Xing'an Mountain based on the comparison of ages of rocks from the west, middle and east segment, and this may be ascribed to the closure of the Mongol–Okhotsk ocean and the subsequent post–collision extension.

Keywords: middle–east Inner Mongolia Province; Manitu Formation; zircon U–Pb age; Late Jurassic and Early Cretaceous.

玛尼吐组由李继海等在1974年建组于赤峰市巴林右旗岗根苏木床金嘎查玛尼吐西山。是以安山岩为主夹凝灰质细砂岩和钙质泥(板)岩,个别地段以火山碎屑岩、沉积岩占优势的地层。其后,不同学者对其进行了较多修订。1996年,《内蒙古自治区岩石地层》对其进行了进一步清理,将大兴安岭地区出露的以中性或偏碱性火山岩夹沉积岩为主的地层,位于满克头鄂博组和白音高老组酸性火山岩夹沉积岩之间,作为玛尼吐组处理(李文国,1996)。根据古生物化石及同位素年龄,时代确定为晚侏罗世($163.5 \sim 145$ Ma)(李文国,1996)。

2014年由全国地层委员会编制的《中国地层表》(全国地层委员会,2014),将晚侏罗世与早白垩世的界线时限从 135 Ma调整为 145 Ma,相应地将产出*Nestoriapissovi*层位的地层归属为早白垩世冀北阶。同时,前人在科尔沁右翼中旗吐列毛都线杆子玛尼图组达板剖面采到植物化石:*Baiera furcata*, *Czekanowskia setacea*, *Raphaeliadiamensis*, *Coniopteristyrmica*等;在科尔沁右翼前旗归流河镇巴龙依和山剖面玛尼吐组安山岩夹层中采到叶肢介*Nestoriapissovi*, *N. cf pissovi*, *Nxishunjingensis*等早白垩世冀北阶的带化石(徐天锡等,1965),故玛尼图组属于早白垩世。此外,前人对

玛尼吐组中酸性火山岩的定年结果差别较大,然而这种定年结果差别较大的原因尚不清楚。因此,笔者在对内蒙古中东部地区玛尼图组火山岩在详细的野外观察基础上进行了同位素年代学和地球化学分析,探讨玛尼吐组形成时代和其形成的大地构造环境。因此,准确厘定玛尼吐组形成时代对区域地层划分和反演其大地构造环境具有重要意义。

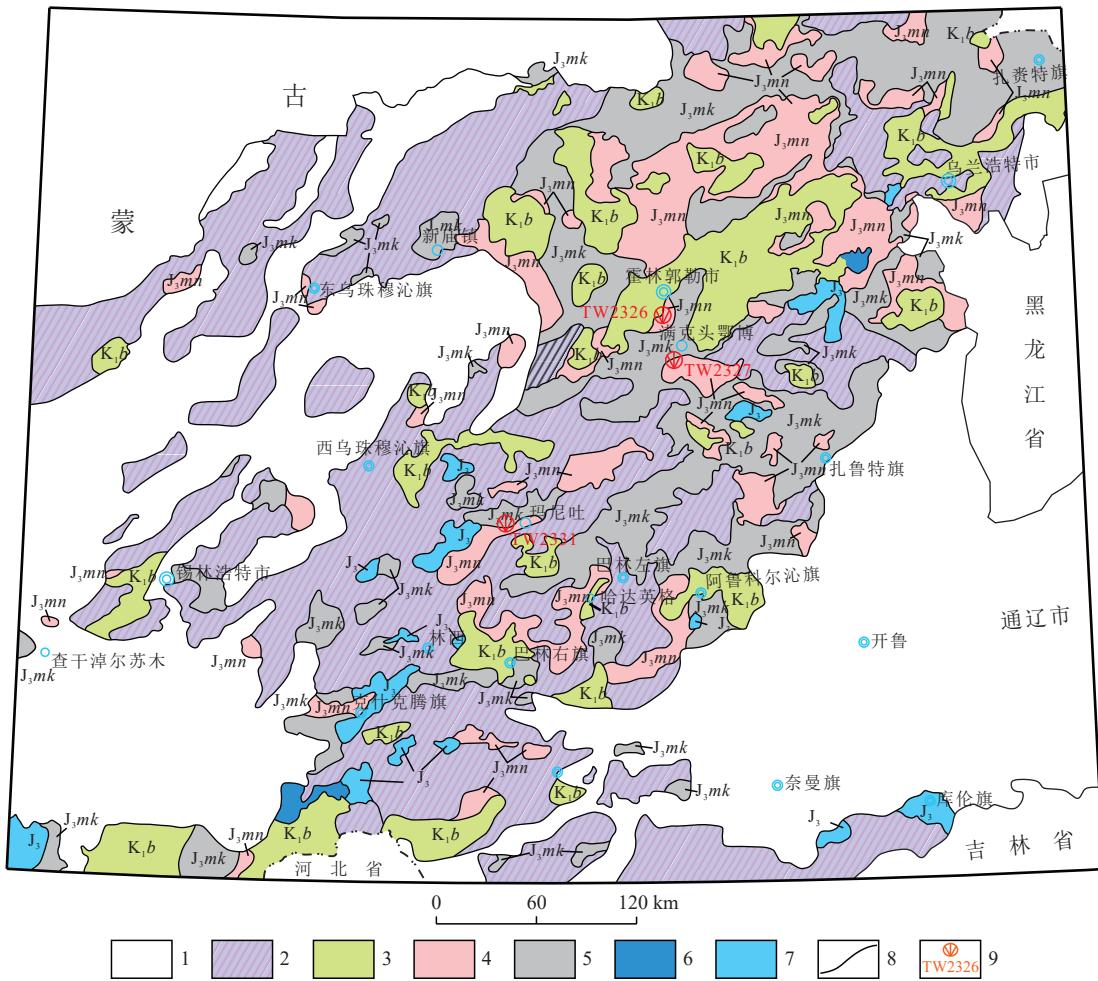
1 区域地质背景

研究区位于内蒙古中东部地区,大地构造位置属于大兴安岭中南段,该区自二叠纪末西伯利亚、华北和塔里木板块拼接后,受蒙古–鄂霍次克洋及古太平洋板块的作用,形成规模不等的火山盆地,沉积了晚侏罗世–早白垩世巨厚的火山熔岩、火山碎屑岩及火山间歇期山间盆地河湖相碎屑岩,形成了巨型的大兴安岭火山岩带。不同学者、地勘单位对该火山岩带进行了较系统的研究,尤其是近几十年来,不同比例尺的区调填图工作将晚侏罗世–早白垩世地层划分为满克头鄂博组、玛尼吐组和白音高老组3个组,并取得了生物年代学和同位素年代学的资料(邵积东等,2011;周其林等,2013;杜岳丹等,2017;张慧婷

等, 2019)。

玛尼吐组与下伏满克头鄂博组整合接触, 与上覆白音高老组为假整合接触, 岩性为中性火山熔岩、中酸性火山碎屑岩夹粗安岩、火山碎屑沉积岩、沉积岩

夹少量酸性火山岩。其下与满克头鄂博组以大量安山岩为界, 其上以大量酸性火山岩与白音高老组为界。玛尼吐组在内蒙古中东部呈北东–南西向展布(图1), 不同地区出露的岩石组合及厚度不同。



1. 盖层; 2. 前中生代基底; 3. 白音高老组; 4. 玛尼吐组; 5. 满克头鄂博组; 6. 早白垩世花岗岩;

7. 晚侏罗世花岗岩; 8. 地质界线; 9. 同位素采样位置及编号

图1 大兴安岭中南段区域地质略图及采样位置

Fig. 1 Regional geological sketch map and sampling positions in the middle–south part of the Daxinganling region

满克头鄂博组形成时代为晚侏罗世, 其不整合于中侏罗统新民组之上, 被上侏罗统玛尼吐组整合覆盖, 岩性为灰白色酸性凝灰岩、酸性熔结凝灰岩、流纹岩、英安岩夹凝灰质砂(砾)岩。白音高老组形成时代为晚侏罗世, 假整合在玛尼吐组中性火山岩之上, 并被梅勒图组中基性火山岩不整合覆盖, 岩石主体为酸性火山岩, 以多含石泡流纹岩、黑耀岩、珍珠岩为特点, 广泛分布于大兴安岭地区, 在区域上变化较小, 区别只是火山碎屑岩与火山熔岩和沉积岩夹层的多少(内蒙古自治区地质矿产局, 1996)。

阿巴嘎旗查干诺尔苏木一带的玛尼吐组(原划为上侏罗统兴安岭群道特诺尔组)岩性以黑灰、黑褐色玄武岩为主, 部分地区相变为安山岩、安山质角砾岩、凝灰质角砾岩、凝灰熔岩、英安岩夹粉砂岩及泥岩薄层, 不整合覆盖于二叠纪花岗岩之上, 被上兴安岭组(现划归白音高老组)角度不整合覆盖(陈家骐等, 1974)。苏尼特左旗二道井一带的玛尼吐组以安山质火山碎屑岩为主, 夹安山岩, 未见底, 被白音高老组不整合覆盖(张雪英等, 2012)。西乌珠穆沁旗东南部的玛尼吐组(原划为上侏罗统兴安岭群道特诺尔组), 以

灰紫、灰色安山玢岩、黑云粗面安山岩为主夹玄武安山岩、橄榄玄武岩、紫苏辉石安山岩,顶部为黄褐、灰白色粗面质凝灰岩,与满克头鄂博组整合接触,被白音高老组不整合覆盖,厚度为645~2 471 m(马秀等,1978)。

巴林右旗岗根苏木床金嘎查玛尼吐西山的玛尼吐组岩性为紫褐、暗褐色安山岩、安山质火山角砾岩、流纹状、层状安山岩与英安质角砾凝灰岩互层夹灰绿色中粒凝灰质砂岩,与下伏满克头鄂博组整合,被白音高老组不整合覆盖,厚度为183 m(辽宁省第2区测队,1971a)。克什克腾旗永隆号晚侏罗世玛尼吐组岩性为玻基安山岩、橄榄辉石安山岩、橄榄玻基玄武岩及酸性晶屑凝灰岩夹凝灰砂岩,与满克头鄂博组断层接触,被白音高老组不整合覆盖,厚度为327 m(辽宁省第2区测队,1971b)。科右前旗归流河镇巴龙依和山的玛尼吐组岩性为灰绿色、灰黄色安山质晶屑玻屑凝灰岩、辉石安山岩夹灰色沉凝灰岩、凝灰质砂岩,夹层中产叶肢介 *Nestoriapissovi*、*N. cfpissovi*、*Nxishunjingensis*、*Nestoriapissovi*、*Jibeilimnadia ovata*,整合在满克头鄂博组流纹质晶屑岩屑凝灰岩之上,被白音高老组流纹质凝灰岩不整合覆盖,厚度大于2 017 m(河北地勘局区调队,1980)。

2 玛尼吐组岩相学特征

本次样品采自内蒙古中东部东乌珠穆沁旗-扎鲁特旗-巴林右旗地区,属于大兴安岭中部南段。根据岩相学观察所采样品均为安山岩类。

深灰色碳酸盐化绿泥石化多斑状(含磁铁)角闪安山岩(样品TW2326),样品采自霍林郭勒市南约10 km处,岩石为斑状结构,基质为交织结构,块状构造。斑晶:斜长石呈0.5~3.5 mm自形-半自形板状,为中长石,含量约为25%;假像角闪石大致呈0.5~1.2 mm半自形柱状或粒状,含量约为5%。基质中斜长石微晶板条为0.05~0.2 mm细长板条状,半定向分布,含量约为40%,隐晶质含量约为15%,细粒状磁铁矿约为2%。标本具微弱磁性。次生矿物主要为绿泥石(约为8%)和碳酸盐矿物(约为5%)(图2a、图2b)。

浅绿灰色碳酸盐化绿泥石化(杏仁状)安山岩(样品TW2327),样品采自霍林郭勒市南约40 km处,岩石具有斑状结构,基质交织结构,块状构造。斑晶:斜长石呈0.5~1.5 mm自形-半自形板状,为中长石,

含量为15%。基质中斜长石微晶呈0.05~0.3 mm细长板条状,隐晶质含量为55%;次生矿物为碳酸盐矿物为5%、绿泥石为5%。标本具微弱磁性,杏仁体(以1~4 mm扁豆状方解石集合体为主)含量为5%(图2c、图2d)。

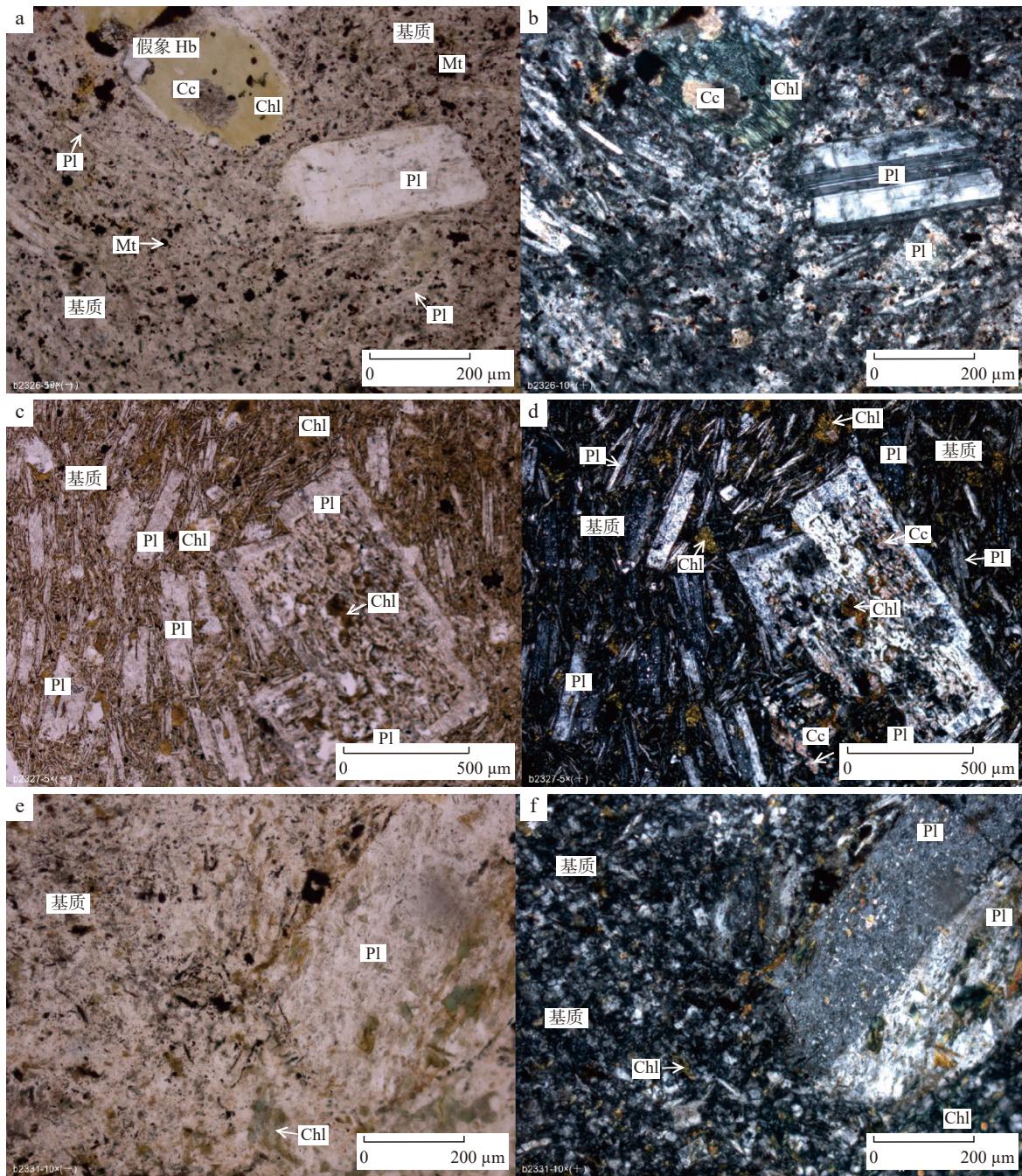
灰-浅绿灰色(含安山岩岩屑)安山岩(样品TW2331),采自巴林左旗北西方向约80 km处,岩石具有斑状结构,基质交织结构,块状构造。斑晶中斜长石呈0.5~3 mm半自形板状,为中长石,含量为15%;少量柱状假像角闪石,粒度为0.5~1.5 mm。基质:斜长石微晶呈0.05~0.3 mm细长板条状,含量为45%,隐晶质为15%。次生矿物:碳酸盐矿物为3%、绿泥石为7%,岩屑(半塑性安山岩)为10%,角砾及浆屑(半塑性压扁状安山岩)为5%,磁铁矿少量(图2e、图2f)。

3 分析方法

3.1 锆石U-Pb同位素分析方法

笔者在玛尼吐组中所采集到的3件锆石U-Pb同位素样品,锆石挑选由河北省区域地质调查研究所实验室完成。锆石挑选方法:将样品粉碎至300 μm,经淘洗、磁选和密度分选后,在体视镜下挑选锆石颗粒。样品锆石制靶、透射光、反射光和阴极发光(CL)图像的采集在北京锆年领航科技有限公司完成(Beijing GeoAnalysis CO., Ltd)完成。方法:将锆石样品用双面胶粘在载玻片上,放上PVC环,然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入PVC环中,待树脂充分固化后将样品座从载玻片上剥离,并对其进行抛光,然后对靶上样品照阴极发光照片,反射光和透射光照片。

3件样品锆石U-Pb同位素定年均在内蒙古自治区岩浆活动成矿与找矿重点实验室(Inner Mongolia key laboratory of magmatic mineralization and ore-prospecting)完成。使用仪器与系统:Neptune多接收电感耦合等离子体质谱仪和GeolasHD准分子激光器(LA-ICP-MS)。根据锆石阴极发光照片、反射光和透射光照片选择锆石的合适区域,利用193 nmArF激光器对锆石进行剥蚀,激光剥蚀的斑束为32 nm,能量密度为10 J/cm²,频率为6 Hz,激光剥蚀物质以He为载气送入Neptune(MC-ICP-MS),利用动态变焦扩大色散使质量数相差很大的U-Pb同位素可以同时接收从而进行U-Pb同位素测定。锆石标样采用GJ-1标准锆石。数据处理采用中国地质大学刘勇胜



a、b. 样品 TW2326; c、d. 样品 TW2327; e、f. 样品 TW2331; a、c、e. 单偏光; b、d、f. 正交偏光; Cc. 方解石 (Calcite); Chl. 绿泥石; Hb. 普通角闪石; Mt. 磁铁矿; Pl. 斜长石

图 2 大兴安岭中南段玛尼吐组样品显微照片

Fig. 2 Photomicrography of the volcanic rocks of the Manitu Formation in the middle-south part of the Daxinganling region

编写的 ICP-MSDataCal 程序 (Liu et al., 2008) 和 Isplot 程序 (Ludwig, 2003) 进行分析和作图, 采用²⁰⁸Pb 对普通铅进行校正。利用 NIST610 作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

3.2 全岩主元素和微量元素方式方法

主、微量元素全分析在河北省区域地质矿产调

查研究所实验室完成, 分析流程如下: 将岩石粉碎粗碎至厘米级的块体, 选取蚀变较弱且无脉体穿插的块体, 用纯化水冲洗干净, 烘干并粉碎至 200 目备测试使用。取 0.3 g 左右样品, 准确称量后置于酒精清洗干净的、干燥的陶瓷坩埚中, 分别记录坩埚重、样品重和坩埚+样品重。将盛有样品的坩埚置于高温炉中

灼烧 40 min(900 °C)。在坩埚未完全冷却前将其放入干燥器中冷却至常温, 称重坩埚+样品。在假设坩埚质不变的前提下计算样重的损失, 即烧失量(LOI)。主量、微量元素的分析测试均在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。常量元素测试采用 XRF 玻璃熔片法, 分析精度和准确度优于 5%; 稀土和微量元素采用 ICP-MS 分析方法, 分析精度和准确度优于 10%。

4 分析结果

4.1 锆石 U-Pb 同位素年龄分析结果

笔者对采自内蒙古自治区中东部东乌珠穆旗-

扎鲁特旗-巴林右旗地区的 3 件玛尼吐组火山岩样品(TW2326、TW2327 和 TW2331)进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析。CL 图像显示, 所测的 3 个火山岩的锆石颗粒晶形较好, 具明显岩浆成因的振荡生长环带结构(图 3)。锆石 Th/U 值大于 0.1, 分别为 0.21~0.76、0.9~3.21 和 0.21~0.53, 为典型岩浆成因的锆石(Belousova et al., 2002)。

TW2326 样品采自霍林河市南玛尼吐组。42 个锆石颗粒分析点中除 27 点(344.35 Ma)、36 点(200.39 Ma)外, 其他点均位于 U-Pb 谱和线上; 29 个锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 136.73~147.83 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为(142.4±1.4)Ma, MSWD=2.0, 代表岩浆结晶年龄(表 1, 图 4)。

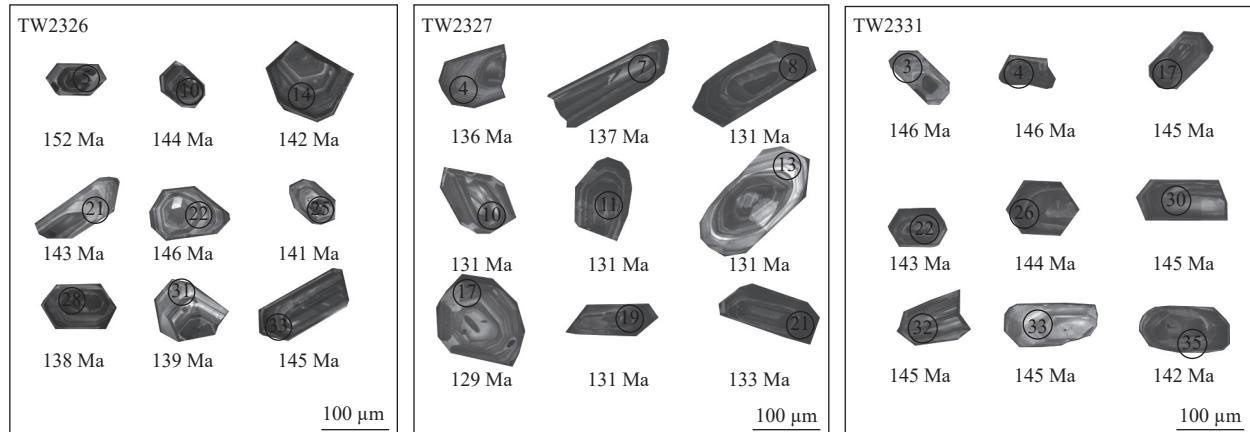


图 3 玛尼吐组锆石 CL 图像和 LA-ICP-MS 分析点

Fig. 3 Zircon CL images and analyzed points for the LA-ICP-MS measurements from the samples of the Manitu Formation

表 1 大兴安岭中南部玛尼吐组锆石 U-Pb 年龄

Tab. 1 U-Pb ages of zircons from samples of the Manitu Formation in the middle-south Daxinganling region

点号	元素含量(10^{-6})			Th/U	同位素比值			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	年龄(Ma)					
	Pb	U	Th		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$	1σ
TW2326.1	8	316	104	0.33	0.02349	0.00064	0.16769	0.01990	0.05128	0.00587	149.69	2.87	157.41	11.93
TW2326.2	8	363	111	0.31	0.02326	0.00044	0.16373	0.01655	0.05089	0.00487	148.25	2.12	153.96	10.18
TW2326.3	35	1528	401	0.26	0.02320	0.00034	0.16817	0.00471	0.05257	0.00117	147.83	1.74	157.83	3.06
TW2326.4	10	483	140	0.29	0.02144	0.00034	0.15352	0.01326	0.05188	0.00434	136.73	1.86	145.02	8.72
TW2326.5	28	965	686	0.71	0.02389	0.00030	0.31506	0.01432	0.09553	0.00385	152.21	1.57	278.09	4.71
TW2326.6	28	1060	394	0.37	0.02398	0.00044	0.29215	0.02423	0.08634	0.00576	152.75	2.06	260.25	8.39
TW2326.7	12	560	195	0.35	0.01957	0.00036	0.27314	0.01919	0.10064	0.00583	124.92	2.09	245.20	7.14
TW2326.8	26	1097	506	0.46	0.02308	0.00033	0.14791	0.00568	0.04650	0.00163	147.11	1.72	140.06	4.03
TW2326.9	9	409	106	0.26	0.02247	0.00031	0.15433	0.01522	0.04959	0.00473	143.27	1.66	145.73	9.94
TW2326.10	29	1272	500	0.39	0.02255	0.00037	0.16631	0.00597	0.05336	0.00146	143.77	1.89	156.21	3.80
TW2326.11	44	1549	396	0.26	0.02570	0.00021	0.33995	0.00921	0.09597	0.00238	163.58	1.24	297.13	2.98
TW2326.12	68	578	203	0.35	0.05487	0.00238	3.87765	0.24811	0.50158	0.01341	344.35	4.44	1609.04	6.52
TW2326.13	19	854	241	0.28	0.02244	0.00028	0.15945	0.00715	0.05156	0.00220	143.08	1.56	150.22	4.65

续表1

点号	元素含量(10^{-6})			Th/U	同位素比值				年龄(Ma)					
	Pb	U	Th		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$	1 σ
TW2326.14	16	734	153	0.21	0.02224	0.00030	0.14977	0.00723	0.04887	0.00227	141.79	1.63	141.71	4.98
TW2326.15	34	1449	498	0.34	0.02315	0.00047	0.16444	0.00572	0.05147	0.00131	147.56	2.23	154.58	3.69
TW2326.16	9	382	95	0.25	0.02251	0.00039	0.16942	0.01498	0.05428	0.00454	143.52	1.98	158.91	8.93
TW2326.17	5	219	77	0.35	0.02320	0.00034	0.16828	0.02544	0.05276	0.00814	147.82	1.76	157.93	15.17
TW2326.18	9	388	88	0.23	0.02278	0.00038	0.15895	0.01521	0.05045	0.00461	145.23	1.91	149.78	9.65
TW2326.19	24	1052	294	0.28	0.02236	0.00035	0.21381	0.00927	0.06899	0.00231	142.53	1.81	196.75	4.51
TW2326.20	37	1652	371	0.22	0.02319	0.00041	0.15479	0.00421	0.04847	0.00103	147.76	1.99	146.14	2.99
TW2326.21	6	280	67	0.24	0.02243	0.00034	0.13819	0.01737	0.04441	0.00542	143.01	1.77	131.43	12.63
TW2326.22	7	324	72	0.22	0.02298	0.00043	0.15859	0.01774	0.04979	0.00541	146.44	2.10	149.47	11.25
TW2326.23	10	311	88	0.28	0.02551	0.00034	0.58479	0.02173	0.16646	0.00575	162.39	1.65	467.54	3.92
TW2326.24	8	335	98	0.29	0.02239	0.00032	0.16204	0.01753	0.05244	0.00555	142.72	1.71	152.49	10.89
TW2326.25	18	802	372	0.46	0.02208	0.00029	0.15526	0.00745	0.05104	0.00234	140.78	1.60	146.54	4.96
TW2326.26	53	1559	517	0.33	0.02551	0.00054	0.60267	0.03035	0.16954	0.00563	162.38	2.30	478.93	5.19
TW2326.27	8	271	86	0.32	0.02461	0.00039	0.43185	0.02108	0.12709	0.00571	156.75	1.86	364.49	5.04
TW2326.28	31	1401	479	0.34	0.02169	0.00029	0.16072	0.00595	0.05367	0.00164	138.31	1.65	151.34	3.90
TW2326.29	19	804	331	0.41	0.02287	0.00047	0.15302	0.00786	0.04861	0.00220	145.79	2.27	144.57	5.28
TW2326.30	7	292	90	0.31	0.02217	0.00024	0.16746	0.02099	0.05478	0.00685	141.36	1.42	157.21	12.60
TW2326.31	9	399	131	0.33	0.02184	0.00026	0.15326	0.01282	0.05085	0.00416	139.30	1.51	144.79	8.46
TW2326.32	27	1138	607	0.53	0.02158	0.00036	0.17952	0.00679	0.06012	0.00170	137.61	1.92	167.65	3.98
TW2326.33	37	1584	610	0.38	0.02269	0.00036	0.16230	0.00522	0.05178	0.00126	144.65	1.83	152.71	3.45
TW2326.34	10	460	187	0.41	0.02175	0.00026	0.16811	0.01166	0.05603	0.00375	138.72	1.51	157.78	7.05
TW2326.35	12	522	396	0.76	0.02146	0.00032	0.15050	0.01078	0.05078	0.00344	136.89	1.76	142.35	7.27
TW2326.36	100	1708	847	0.50	0.03157	0.00105	1.34153	0.12576	0.29384	0.01826	200.39	3.44	863.89	9.46
TW2326.37	15	662	294	0.44	0.02179	0.00031	0.15082	0.00783	0.05019	0.00247	138.93	1.70	142.63	5.34
TW2326.38	8	363	142	0.39	0.02171	0.00033	0.14720	0.01446	0.04918	0.00474	138.44	1.78	139.44	9.90
TW2326.39	31	1344	482	0.36	0.02230	0.00045	0.18301	0.00783	0.05916	0.00169	142.15	2.22	170.65	4.45
TW2326.40	7	295	132	0.45	0.02241	0.00085	0.29629	0.08778	0.08097	0.01664	142.85	3.90	263.50	29.65
TW2326.41	38	1688	549	0.33	0.02251	0.00039	0.15431	0.00439	0.04973	0.00106	143.52	1.97	145.71	3.10
TW2326.42	4	194	65	0.33	0.02176	0.00038	0.15956	0.02759	0.05317	0.00903	138.76	2.00	150.32	17.34
TW2327.1	17	342	511	1.50	0.02478	0.00018	0.66169	0.01820	0.19129	0.00451	157.77	1.18	515.65	3.02
TW2327.2	26	1034	931	0.90	0.02027	0.00017	0.29131	0.00424	0.10432	0.00106	129.38	1.25	259.59	1.91
TW2327.3	5	115	270	2.34	0.02482	0.00022	0.13833	0.01427	0.04062	0.00410	158.05	1.28	131.56	10.39
TW2327.4	13	339	1052	3.10	0.02142	0.00017	0.16390	0.00468	0.05553	0.00148	136.61	1.22	154.11	3.11
TW2327.5	9	143	429	3.01	0.02640	0.00021	0.26508	0.01092	0.07332	0.00291	167.99	1.24	238.75	4.30
TW2327.6	10	245	774	3.16	0.02371	0.00019	0.15135	0.00613	0.04647	0.00181	151.07	1.22	143.10	4.24
TW2327.7	24	715	1314	1.84	0.02144	0.00018	0.20900	0.00362	0.07151	0.00119	136.73	1.25	192.72	2.13
TW2327.8	36	1260	2133	1.69	0.02050	0.00015	0.14288	0.00196	0.05053	0.00047	130.82	1.21	135.61	1.85
TW2327.9	43	1056	2414	2.29	0.01863	0.00020	0.27946	0.00405	0.11091	0.00160	119.00	1.44	250.23	1.91
TW2327.10	14	471	889	1.89	0.02056	0.00016	0.14307	0.00351	0.05053	0.00113	131.22	1.21	135.77	2.75
TW2327.11	27	887	1628	1.84	0.02056	0.00017	0.15523	0.00251	0.05482	0.00070	131.20	1.24	146.52	2.04
TW2327.12	38	1470	2063	1.40	0.01983	0.00015	0.13348	0.00173	0.04889	0.00044	126.56	1.19	127.22	1.80
TW2327.13	7	206	417	2.03	0.02060	0.00016	0.17978	0.00731	0.06306	0.00248	131.48	1.22	167.87	4.25
TW2327.14	8	240	583	2.42	0.02048	0.00016	0.12636	0.00661	0.04474	0.00223	130.71	1.22	120.82	5.38

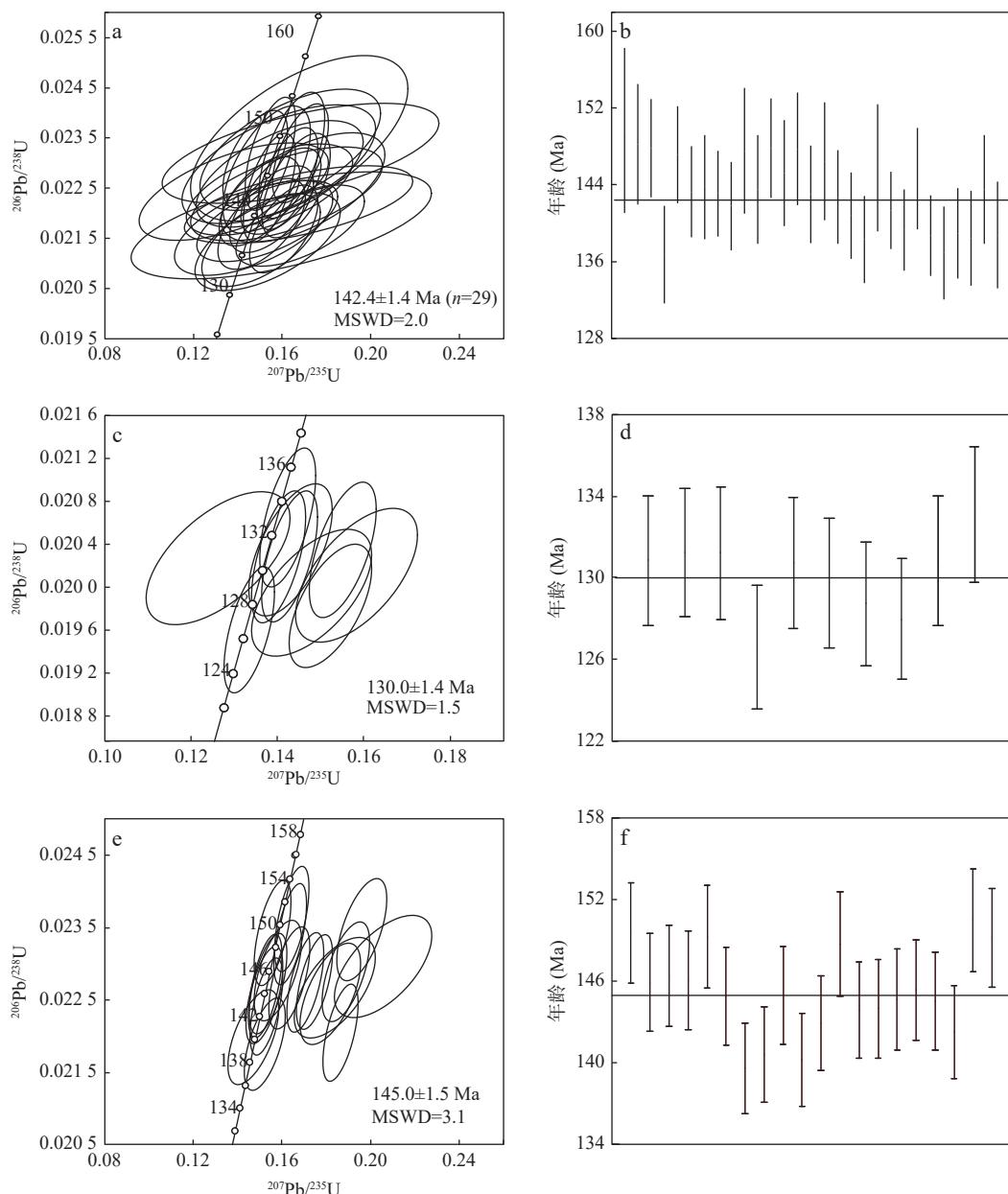
续表1

点号	元素含量(10^{-6})			Th/U	同位素比值						年龄(Ma)			
	Pb	U	Th		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$	1 σ
TW2327.15	37	1 334	2 137	1.60	0.019 94	0.000 14	0.160 86	0.002 02	0.058 54	0.000 50	127.28	1.16	151.46	1.76
TW2327.16	10	293	746	2.54	0.020 33	0.000 16	0.158 33	0.005 42	0.056 37	0.001 80	129.73	1.23	149.24	3.64
TW2327.17	11	284	912	3.21	0.020 17	0.000 14	0.147 90	0.005 37	0.053 21	0.001 87	128.70	1.18	140.05	3.83
TW2327.18	17	682	821	1.20	0.020 05	0.000 14	0.152 24	0.003 41	0.055 02	0.001 11	127.94	1.16	143.89	2.56
TW2327.19	38	1 446	1959	1.36	0.020 50	0.000 16	0.140 32	0.001 86	0.049 65	0.000 43	130.81	1.21	133.33	1.82
TW2327.20	2	58	129	2.25	0.020 38	0.000 26	0.205 32	0.026 76	0.070 19	0.009 39	130.04	1.60	189.62	13.09
TW2327.21	49	1 839	2 414	1.31	0.020 86	0.000 17	0.142 43	0.001 96	0.049 41	0.000 38	133.10	1.25	135.21	1.85
TW2327.22	18	215	517	2.40	0.047 58	0.000 38	0.406 77	0.011 00	0.061 75	0.001 47	299.64	1.23	346.55	2.98
TW2331.1	19	761	342	0.45	0.023 47	0.000 19	0.196 09	0.003 86	0.060 26	0.000 95	149.58	1.23	181.82	2.33
TW2331.2	19	809	305	0.38	0.022 90	0.000 18	0.188 81	0.003 71	0.059 36	0.000 88	145.93	1.23	175.61	2.32
TW2331.3	8	337	97	0.29	0.022 97	0.000 19	0.205 69	0.008 65	0.063 50	0.002 34	146.40	1.26	189.93	4.38
TW2331.4	11	469	120	0.26	0.022 92	0.000 18	0.158 07	0.003 90	0.050 13	0.001 13	146.06	1.24	149.01	2.76
TW2331.5	24	808	287	0.35	0.026 57	0.000 26	0.332 95	0.007 89	0.088 65	0.001 52	169.04	1.35	291.82	2.67
TW2331.6	21	871	456	0.52	0.023 43	0.000 20	0.155 82	0.002 85	0.047 98	0.000 66	149.30	1.26	147.04	2.21
TW2331.7	11	465	140	0.30	0.024 58	0.000 20	0.171 16	0.004 25	0.050 54	0.001 15	156.51	1.25	160.42	2.78
TW2331.8	15	638	200	0.31	0.023 83	0.000 21	0.185 55	0.004 04	0.055 97	0.000 95	151.80	1.28	172.82	2.50
TW2331.9	46	2 107	629	0.30	0.021 29	0.000 17	0.168 66	0.002 59	0.057 24	0.000 53	135.81	1.24	158.26	1.97
TW2331.10	17	725	282	0.39	0.022 73	0.000 19	0.153 84	0.002 88	0.049 05	0.000 75	144.90	1.25	145.30	2.25
TW2331.11	36	1 491	529	0.35	0.021 96	0.000 16	0.251 96	0.005 17	0.082 48	0.001 36	140.04	1.19	228.17	2.40
TW2331.12	9	305	83	0.27	0.025 05	0.000 20	0.367 00	0.006 85	0.106 63	0.001 75	159.49	1.23	317.43	2.24
TW2331.13	16	659	185	0.28	0.024 94	0.000 23	0.189 64	0.004 07	0.054 88	0.000 94	158.78	1.31	176.32	2.48
TW2331.14	13	610	135	0.22	0.021 89	0.000 16	0.152 36	0.003 28	0.050 48	0.000 98	139.60	1.19	144.00	2.48
TW2331.15	32	1 430	513	0.36	0.022 06	0.000 18	0.186 44	0.002 23	0.061 66	0.000 56	140.64	1.24	173.58	1.72
TW2331.16	17	511	141	0.28	0.034 39	0.000 24	0.242 25	0.004 49	0.051 13	0.000 83	217.95	1.16	220.26	2.23
TW2331.17	40	1 774	475	0.27	0.022 74	0.000 18	0.170 57	0.002 66	0.054 16	0.000 54	144.98	1.24	159.91	1.99
TW2331.18	35	1 412	743	0.53	0.022 24	0.000 17	0.215 83	0.002 78	0.070 37	0.000 56	141.78	1.20	198.43	1.79
TW2331.19	9	403	100	0.25	0.021 99	0.000 17	0.146 91	0.004 32	0.048 45	0.001 33	140.23	1.22	139.18	3.19
TW2331.20	10	494	108	0.22	0.020 89	0.000 17	0.161 56	0.005 11	0.055 83	0.001 63	133.28	1.26	152.06	3.39
TW2331.21	57	1 621	738	0.45	0.025 96	0.000 21	0.657 29	0.007 93	0.184 30	0.001 51	165.24	1.25	512.96	1.73
TW2331.22	21	957	307	0.32	0.022 42	0.000 18	0.153 13	0.002 37	0.049 54	0.000 59	142.92	1.22	144.68	1.98
TW2331.23	78	1 197	424	0.35	0.036 92	0.000 64	1.943 08	0.082 52	0.340 79	0.010 91	233.74	1.96	1 096.06	4.42
TW2331.24	24	374	154	0.41	0.037 14	0.000 33	1.667 87	0.026 62	0.327 99	0.004 54	235.05	1.29	996.38	2.02
TW2331.25	7	291	88	0.30	0.023 34	0.000 21	0.122 89	0.005 64	0.038 38	0.001 68	148.73	1.29	117.69	4.75
TW2331.26	18	791	307	0.39	0.022 57	0.000 18	0.152 03	0.002 83	0.048 92	0.000 77	143.89	1.22	143.70	2.24
TW2331.27	7	259	69	0.27	0.023 93	0.000 26	0.377 60	0.016 18	0.107 88	0.003 86	152.42	1.45	325.27	4.46
TW2331.28	22	899	303	0.34	0.023 84	0.000 21	0.187 37	0.003 71	0.056 44	0.000 79	151.86	1.28	174.38	2.34
TW2331.29	8	369	92	0.25	0.022 59	0.000 19	0.181 77	0.005 12	0.058 17	0.001 48	143.99	1.26	169.58	3.08
TW2331.30	23	984	332	0.34	0.022 69	0.000 20	0.152 38	0.002 43	0.048 73	0.000 57	144.66	1.29	144.01	2.02
TW2331.31	15	534	247	0.46	0.026 58	0.000 26	0.191 74	0.004 03	0.052 15	0.000 90	169.09	1.36	178.11	2.44
TW2331.32	16	694	256	0.37	0.022 81	0.000 19	0.163 39	0.003 23	0.051 86	0.000 83	145.37	1.27	153.67	2.33
TW2331.33	6	283	72	0.25	0.022 67	0.000 18	0.183 98	0.007 13	0.058 62	0.002 15	144.54	1.24	171.48	4.07
TW2331.34	19	755	171	0.23	0.024 75	0.000 22	0.251 84	0.005 02	0.074 55	0.001 42	157.59	1.30	228.07	2.35
TW2331.35	33	1 468	432	0.29	0.022 32	0.000 17	0.187 73	0.002 35	0.061 05	0.000 49	142.27	1.20	174.69	1.76

续表1

点号	元素含量(10^{-6})			Th/U	同位素比值						年龄(Ma)			
	Pb	U	Th		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$	1 σ
TW2331.36	26	810	216	0.27	0.02671	0.00023	0.49023	0.01010	0.13206	0.00218	169.92	1.27	405.07	2.40
TW2331.37	25	1079	231	0.21	0.02362	0.00020	0.16449	0.00239	0.05066	0.00056	150.51	1.25	154.63	1.91
TW2331.38	26	1127	312	0.28	0.02341	0.00018	0.16370	0.00227	0.05071	0.00048	149.19	1.22	153.94	1.86
TW2331.39	21	886	204	0.23	0.02409	0.00021	0.16796	0.00266	0.05099	0.00071	153.44	1.29	157.64	2.01
TW2331.40	29	1029	282	0.27	0.02434	0.00023	0.36983	0.00976	0.10791	0.00211	155.03	1.32	319.53	2.91

注：测试单位为内蒙古自治区岩浆活动成矿与找矿重点实验室。



a、b. 样品 TW2326; c、d. 样品 TW2327; e、f. 样品 TW2331

图4 大兴安岭中南部玛尼吐组 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图和加权平均年龄图

Fig. 4 LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram and weighted average age of zircon grains from Manitu Formation

TW2327样品采自扎鲁特旗阿日昆都楞苏木浑敖包扎勒嘎玛尼吐组。10个锆石颗粒分析点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为127.28~133.10 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为(130.0±1.4)Ma, MSWD=1.5, 代表岩浆结晶年龄(表1, 图4)。

TW2331样品采自巴林右旗白庙子镇床金玛尼吐组。20个锆石颗粒分析点中 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为140.04~149.58 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值(145.0±1.5)Ma, MSWD=3.1, 代表岩浆结晶年龄(表1, 图4)。

4.2 岩石地球化学特征

结合本次研究和前人数据, 玛尼吐组岩石 SiO_2 含量为52.11%~69.63%, Al_2O_3 含量为14.8%~18.51%, 全碱含量为6.36%~9.56%(在样品TW2326中, $\text{K}_2\text{O} < \text{Na}_2\text{O}$, 另2个样品 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$), A/CNK值为0.82~1.12, σ 值为1.80~5.61, 属钙碱性系列(表2)。 CaO 含量为1.16%~7.31%、 MgO 含量为0.27%~3.98%, TiO_2 含量偏低(表2)。在火山岩分类图解上, 经过全岩主量元素100%标准化之后, 1个样品落入安山岩

区域, 另外2个落入粗面岩区域(图5a)。在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解上投点(图5b), TW2327落入钾玄岩系列区, TW2326落入高钾钙碱性系列区, TW2331落在钾玄岩系列区与高钾钙碱性系列区分界线靠近前者一侧; 在TAS分类图解上(图5a)投点, TW2326落入安山岩区, TW2327落入粗安岩区, TW2331落入粗面英安岩区, 靠近英安岩区; 标准矿物计算石英含量为9.61%~22.18%, σ 值为2.30~5.35, AR值为1.92~2.90。

微量元素组成上玛尼吐组火山岩以富集Rb、K、Th、U、La和LREE, 亏损Ba、Nb、Sr、P和Ti为特征(图6a), 是壳源岩浆或幔源岩浆被地壳物质混染的典型特征。基性相容组分Cr、Co、Ni含量较高, 分别为 1.99×10^{-6} ~ 8.18×10^{-6} 、 0.18×10^{-6} ~ 2.57×10^{-6} 、 1.10×10^{-6} ~ 3.55×10^{-6} (表2)。 $\Sigma\text{REE}=118.71 \times 10^{-6}$ ~ 189.99×10^{-6} , 轻重稀土分馏明显, 分馏系数 $(\text{La/Yb})_N$ 为8.88~9.58, δEu 值为0.66~0.95, Eu负异常不明显, TW2331安山岩具中等的负Eu异常(表2)。稀土元素球粒陨石标准化配分图(图6b)显示, 所有样品具有相同的变化趋势, 具轻稀土元素富集的右倾斜特征。

表2 玛尼吐组火山岩全岩主量(%)和微量元素(10^{-6})组成及相关地球化学参数

Tab. 2 Major(%) and trace element(10^{-6}) contents and related parameters of the Manitou Formation

样号	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	灼失	总量	ALK	A/NK	A/CNK
TW2326	59.43	15.67	4.76	1.30	4.56	2.34	2.56	3.80	0.89	0.22	0.073	4.15	99.753	6.36	1.737	0.905
TW2327	58.94	17.19	5.35	0.79	1.39	1.13	5.03	4.53	0.81	0.40	0.093	4.17	99.823	9.56	1.333	1.114
TW2331	64.73	15.66	3.46	2.07	2.18	0.77	4.23	3.59	0.72	0.19	0.11	1.96	99.67	7.82	1.494	1.084
样号	Q	An	Ab	Or	A	P	C	Di	Hy	Il	Mt	Ap	DI	SI	σ	AR
TW2326	15.22	19.01	33.71	15.86	31.19	37.39	0	2.57	7.24	1.77	4.09	0.53	64.79	16.08	2.30	1.92
TW2327	9.61	4.49	40.17	31.15	66.26	9.55	2.85	0	4.4	1.61	4.75	0.97	80.93	6.8	5.35	2.90
TW2331	22.18	9.8	31.11	25.6	48.1	18.41	1.71	0	3.58	1.4	4.17	0.45	78.89	5.48	2.75	2.35
样号	Cr	Ni	Co	Rb	Cs	Sr	Ba	V	Sc	Nb	Ta	Zr	Hf	Ga	U	Th
TW2326	162	35.4	17.2	61.3	4.22	545	598	126	12.4	4.96	0.38	222	5.70	20.6	1.82	7.10
TW2327	2.45	2.95	8.01	125	3.73	389	836	65.0	10.6	7.95	0.48	227	5.44	20.6	1.64	5.59
TW2331	7.53	2.45	7.51	154	7.89	301	815	52.2	8.29	14.4	1.43	263	7.05	24.0	6.42	18.6
样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE
TW2326	34.7	67.6	8.58	31.2	6.04	0.24	4.98	0.76	4.21	0.78	1.92	0.26	1.64	0.24	20.7	118.71
TW2327	22.4	46.8	6.31	23.5	5.01	1.28	4.18	0.66	3.72	0.72	1.86	0.18	1.81	0.28	20.3	132.23
TW2331	27.6	52.6	6.83	24.9	4.88	1.44	4.20	0.64	3.69	0.73	2.00	0.31	2.08	0.33	20.1	189.99
样号	LREE	HREE	LREE/HREE	$\text{La}_{\text{N}}/\text{Yb}_{\text{N}}$	δEu	δCe										
TW2326	105.30	33.71	7.85	8.88	0.83	0.95										
TW2327	118.25	34.08	8.46	9.52	0.95	0.91										
TW2331	169.94	49.45	8.48	9.58	0.66	0.95										

注: 测试单位为河北省区域地质矿产调查研究所实验室。

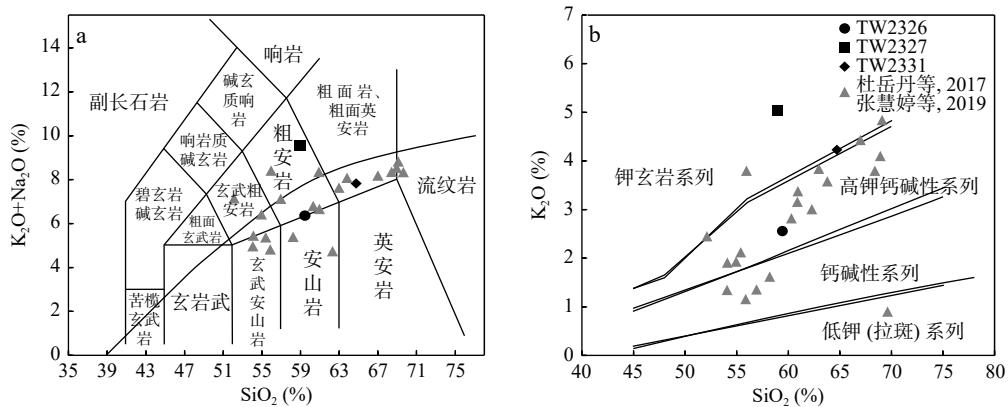


图 5 玛尼吐组样品全岩(K_2O+Na_2O)– SiO_2 图解(a)和 K_2O – SiO_2 图解(b)(据 Maitre et al., 2002)

Fig. 5 (a) ($K_2O + Na_2O$) versus SiO_2 diagram and (b) K_2O versus SiO_2 diagram for samples from the Manitu Formation

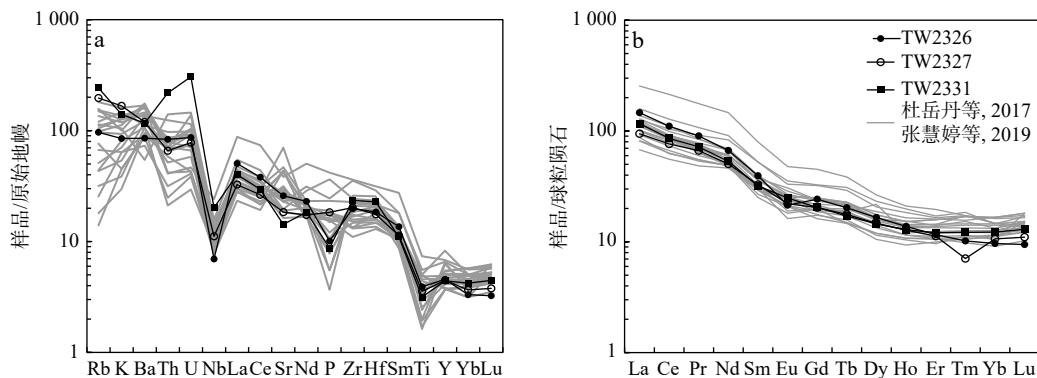


图 6 玛尼吐组流纹岩原始地幔标准化微量元素蛛网图(a)和球粒陨石标

准化稀土元素配分模式图(b)(据 Sun et al., 1989)

Fig. 6 (a) Primitive mantle normalized trace element spider diagrams and (b) chondrite-normalized rare-earth element patterns for rhyolite from the Manitu Formation

5 讨论

5.1 形成时代

玛尼吐组在大兴安岭不同地区的岩石组合和形成时代有所不同, 大兴安岭西部满洲里-阿尔山地区一带玛尼吐组主要由安山岩、粗安岩和少量流纹岩、英安岩组成, 属于高钾钙碱性-钙碱性系列, 其中粗安岩形成时代为 146~158 Ma (孙德有等, 2011; 孙明坤等, 2013), 安山岩和英安岩形成时代为 153~156 Ma (邵永旭等, 2020); 中部奇力滨一带主要由粗面安山岩、粗面岩和安山岩组成, 南段主要为安山岩和英安岩, 其中粗面安山岩和粗面岩形成时代为 141~142 Ma (崔玉斌等, 2021); 东部扎兰屯柴河地区和索伦地区主要为粗面安山岩、流纹岩、英安岩和火山碎屑岩组成, 为高钾钙碱性-钾玄岩系列, 其中扎兰屯柴河地区

流纹岩和科右前旗安山岩形成时代为 130~135 Ma (李世超等, 2013; 杜岳丹, 2017)。笔者对内蒙古以东大兴安岭地区完成的 163 幅 1:5 万区调、12 幅 1:25 万区调和 3 个科研单位 128 个同位素年龄进行统计后发现, 玛尼吐组形成的同位素年龄值变化范围很大, 大于 145 Ma 的年龄值有 50 个, 小于 145 Ma 的年龄值有 68 个 (表 3)。

前人综合研究工作所取得的大兴安岭中部玛尼吐组的年龄均在北段, 而南段的定年结果较少, 目前已取得的玛尼吐组年龄都是在地质调查工作过程中完成的。2012 年内蒙古自治区地质调查院完成的内蒙古 1:5 万额仁布格(L49E020015)等 5 幅区域地质调查对苏尔昌特地区玛尼吐组安山岩的锆石 LA-ICP-MS 年龄为 (139 ± 1) Ma。2015 年内蒙古自治区地质调查院完成的内蒙古 1:5 万巴润布拉格(L49E022016)等 5 幅区域地质调查, 得到哈恩努如地

表3 玛尼吐组同位素年龄按阶统计表

Tab. 3 Compilation of the formation ages of the Manitu Formation

晚侏罗世				早白垩世				
卡洛维阶	牛津阶	基默里奇阶	提塘阶	贝里阿斯阶	凡兰吟阶	欧特里沃阶	巴列姆阶	阿普特阶
				冀北阶		热河阶		
(166.1±1.2)~(163.5±1.0)~(157.3±1.0)~(152.1±0.9)~(145.0±0.8)~(139.8~132.9~129.4~125.0~123.5±1) Ma	(163.5±1) Ma	(157.3±1) Ma	(152.1±0.9) Ma	139.8 Ma	132.9 Ma	129.4 Ma	125.0 Ma	113.0 Ma
孙德有等, 杜岳丹, 崔玉斌等, 邵济安等, 林强等, 付俊彧等, 崔玉斌等, 张慧婷等, 邵积东等, 2011	2017	2021	1999	1988	2018	2021	2019	2011

区玛尼吐组安山岩锆石 LA-ICP-MS 年龄为 (136.1.1±1) Ma。查干敖包苏木东 1 km 处玛尼吐组安山岩进行了锆石 U-Pb 定年为 (133.3±1.1) Ma。笔者在东乌旗—巴林右旗采集的角闪安山岩和粗面岩样品中, 锆石 U-Pb 同位素定年结果分别为 (142.4±1.4) Ma、(130.0±1.4) Ma 和 (145.0±1.5) Ma, 仅有 1 个样品形成于晚侏罗世, 其他 2 个样品同位素年龄小于 145 Ma, 形成于早白垩世。因此, 笔者认为扎鲁特旗—巴林右旗一带出露的玛尼吐组应该形成于早白垩世, 与前人在地质调查工作中所得到的年龄一致, 而且说明大兴安岭南段玛尼吐组的形成时代与北段结拜呢相同。结合前人对大兴安岭中生代火山沉积地层时空分布的研究 (杨雅军等, 2020, 2022), 笔者认为玛尼吐组形成时代为晚侏罗世—早白垩世, 而且形成时代具有从西向东逐渐变年轻的趋势。

5.2 玛尼吐组火山—沉积岩形成的大地构造环境讨论

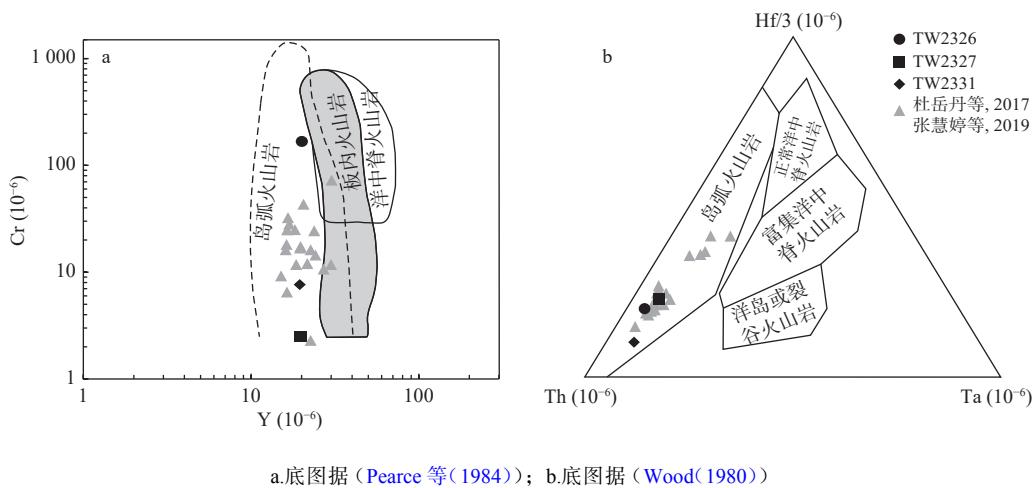
大兴安岭中生代火山岩产出的大地构造环境目前还存在很大争论, Zhang 等 (2008, 2010) 和 Wang 等 (2006) 认为其形成与古太平洋板块的俯冲有关, 林强 (1988, 2000) 认为其形成与地幔柱活动有关, 而 Ying (2010)、Fan (2003) 和 Meng (2003) 认为其形成与蒙古—鄂霍次克洋的闭合有关, 或形成于大陆裂谷 (蒋国源等, 1988) 或与大陆根柱构造有关 (邓晋福等, 1988), 或与中生代大陆岩石圈内部伸展背景下幔源岩浆参与地壳演化的一次造山运动 (邵济安等, 1999)。《东北地区大地构造相图 (1:150 万) 说明书》认为: 中生代中晚期以来, 中国东部动力学体系发生了根本的变化, 中侏罗世三联点扩张形成的太平洋是这一转变的标志和直接动力来源。中侏罗世—早白垩世库拉板块向北移动和向亚洲东北部俯冲、微板块拼贴。在这一构造背景下, 东北地区中侏罗世—早白垩世大地构造整体上以拉张构造背景为主 (付俊彧等, 2018)。

本次论文中样品和前人对玛尼吐组玄武质安山

岩、安山岩和英安岩的化学分析结果相似, 在球粒陨石标准化稀土元素配分模式图上均具有轻稀土元素相对于重稀土元素的富集, 在原始地幔标准化微量元素蛛网图上均具有亏损高场强元素 (如 Nb 和 Ti) 的特征, 与岛弧岩浆岩的地球化学特征相似 (葛文春等, 1999), 暗示玛尼吐组火山岩可能形成于俯冲环境。玛尼吐组火山岩中 Cr 和 Y 含量变化范围较小, 与岛弧火山岩的 Cr 和 Y 含量相似 (图 7a), 而其 Th、Hf 和 Ta 的组成则明确指示其组成与岛弧火山岩相似 (图 7b)。然而, 关于玛尼吐组的成因无论是幔源岩浆参与地壳演化的一次造山运动 (邵济安等, 1999) 或大陆裂谷 (蒋国源等, 1988) 或蒙古—鄂霍次克洋的闭合有关, 都认为其形成于拉张环境。虽然也有学者认为玛尼吐组的形成与古太平洋的俯冲有关 (Wang et al., 2006; Zhang et al., 2008, 2010), 但也有学者认为晚侏罗世—早白垩世古太平洋向欧亚大陆之下的斜向俯冲为近北向或北东向的, 直到晚白垩世才是近垂直的 (Maruyama et al., 1986; Kimura et al., 1990)。因此, 在晚侏罗世—早白垩世古太平洋板块对玛尼吐组的形成没有影响 (Ying et al., 2010)。

古生物学和古地磁学证据表明蒙古—鄂霍次克洋的俯冲持续至三叠纪—早侏罗世 (Zorin, 1999; Tomurtogoo et al., 2005), 至晚侏罗世蒙古—鄂霍次克洋开始闭合, 蒙古—华北地块与西伯利亚地块碰撞, 而且多数学者认为大洋闭合—陆块碰撞从西部开始向东进行, 直至早白垩世东部闭合并发生碰撞造山 (Metelkin et al., 2010)。大兴安岭地区玛尼吐组中—酸性火山岩从西到东逐渐变新的特征与蒙古—鄂霍次克洋闭合的过程密切相关, 因此其形成可能是陆块碰撞—造山后拉张阶段的产物 (Fan et al., 2003; Meng, 2003)。

前人研究认为高钾钙碱性系列岩浆岩是后碰撞岩浆活动的主要特征, 而且在造山的晚期阶段, 火山岩会由高钾钙碱性向安粗质岩石过渡 (Liegeois et al.,



a.底图据(Pearce等(1984)); b.底图据(Wood(1980))

图7 玛尼吐组大地构造环境判别图解

Fig. 7 Tectonic discrimination diagrams of the samples from the Manitu Formation

1998)。本次研究和前人的研究表明玛尼吐组火山岩主要为高钾钙碱性系列岩石,与后碰撞岩浆活动的特征一致。玛尼吐组火山岩岛弧地球化学特征可能是继承了蒙古-鄂霍茨克洋俯冲时期流体交代的源区特征,在后碰撞岩石圈伸展和软流圈上涌过程中发生部分熔融形成的(崔玉斌等,2021)。

6 结论

(1)玛尼吐组代表晚侏罗—早白垩世大兴安岭地区以中性火山熔岩为主夹中性火山碎屑岩及沉积岩组合。大兴安岭中部南段扎鲁特旗-巴林右旗一带出露的玛尼吐组安山岩形成时代为(142.4 ± 1.4)Ma、(130.0 ± 1.4)Ma 和 (145.0 ± 1.5)Ma, 即早白垩世,结合前人对不同地区出露的玛尼吐组火山岩定年结果,玛尼吐组从西到东具有逐渐变新的趋势。

(2)玛尼吐组火山岩从东到西逐渐变新与蒙古-鄂霍茨克洋由东向西的闭合过程一致,而且玛尼吐组火山岩为高钾钙碱性系列,与后碰撞阶段典型的岩石组合相似,指示玛尼吐组应形成于蒙古-鄂霍茨克洋闭合-陆块碰撞后的伸展阶段,其岛弧火山岩的地球化学特征可能是继承了俯冲阶段源区的特征。

参考文献(References):

- 陈家骐. 查干诺尔公社幅 K-50-2 1/20 万区域地质调查报告[R]. 内蒙古:内蒙古自治区区测队, 1974.
- 崔玉斌, 王凯, 何付兵, 等. 大兴安岭北段奇力滨地区玛尼吐组火山岩年代学、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质学报, 2021, 95(11): 3301–3316.

- CHUI Yubin, WANG Kai, HE Fubing, et al. Geochronology and geochemical characteristics of volcanic rocks from the Manitu Formation in the Qilibin area, northern Great Xing'an Range and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2021, 95(11): 3301–3316.
- 邓晋福, 鄂莫崖, 路风香. 汉诺坝玄武岩化学及其演化趋势[J]. 岩石学报, 1988, 04(01): 22–33.
- DENG Jinfu, YUE Molan, LU Fengxiang. The Chemistry of Han-nuoba Basalts Andtheir Trends of Magmatic Evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1988, 04(01): 22–33.
- 杜岳丹, 和钟铧, 隋振民, 等. 大兴安岭中段索伦地区玛尼吐组火山岩年代学、地球化学及其构造背景[J]. 世界地质, 2017, 36(02): 346–360.
- DU Yuedan, HE Zhonghua, SUI Zhenmin, et al. Zircon U-Pb ages, geochemical characteristics and tectonic implications of volcanic rocks from Manitu Formation of Suolun area in central Great Xing'an Range[J]. *Global Geology*, 2017, 36(02): 346–360.
- 杜岳丹. 大兴安岭中段索伦地区玛尼吐组火山岩年代学、地球化学及其构造背景[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 1–60.
- DU Yuedan. Zircon U-Pb Ages, geochemical Characteristics and Its Tectonic Setting of Volcanic Rocks from Manitu Formation in Suolun Area, Central Great Xing 'an Range[D]. Changchun: Jilin University, 2017: 1–60.
- 付俊彧, 那福超, 郑少林, 等. 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, 2018, 45(01): 129–140.
- FU Junyu, NA Fuchao, ZHENG Saolin, et al. A study of geological age of the Mesozoic volcanic-sedimentary strata in Xiehe'side area, Horqin Right Wing Middle Banner, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 2018, 45(01): 129–140.
- 葛文春, 林强, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代玄武岩的地球化学特征: 壳幔相互作用的证据[J]. 岩石学报, 1999, 14(03): 396–406.

- GE Wenchun, LIN Qiang, SUN Deyou, et al. Geochemical characteristics of the Mesozoic basalts in Da Hinggan Ling: Evidence of the mantle crust interaction[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 14(03): 396–406.
- 河北地勘局区调队. 康保幅 K-50-19 太仆寺旗幅 K-50-20 1/20 万区域地质调查报告[R]. 廊坊市: 河北地勘局区调队, 1980.
- 蒋国源, 权恒. 大兴安岭根河、海拉尔盆地中生代火山岩[C]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所文集, 1988, (17): 27–104.
- JIANG Guoyuan, QUAN Huan. Mesozoic Volcanic Rocks of Genhe and Hailar Basins in Da Hinggan Ling Range[C]. Proceedings of Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 1988, (17): 27–104.
- 李世超, 徐仲元, 刘正宏, 等. 大兴安岭中段玛尼吐组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. *地质通报*, 2013, 32(Z1): 399–407.
- LI Shichao, XU Zhongyuan, LIU Zhenghong, et al. Zircon U-Pb dating and geochemical study of volcanic rocks in Manitu Formation of central Da Hinggan Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(Z1): 399–407.
- 李文国. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 1–344.
- LI Wenguo. Stratigraphy (lithostratigraphic) of Nei Mongol Autonomous Region[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 1–344.
- 辽宁省第2区测队. 辽宁省白塔子庙幅 L-50-35 林西县幅 K-50-5 1/20 万地质图矿产图及其说明书[R]. 沈阳: 辽宁省第2区测队, 1971a.
- 辽宁省第2区测队. 辽宁省克什克腾旗幅 K-50-10 五分地幅 K-50-11 1/20 万地质图矿产图及其说明书[R]. 沈阳: 辽宁省第2区测队, 1971b.
- 林强, 方占仁. 花岗质岩石中微粒交生体的成因研究[J]. *岩石学报*, 1988, 04(02): 42–49+98–99.
- LIN Qiang, FANG Zhanren. Study of the Origin of Micro-intergrowth Occurred in the Granitoid Rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1988, 04(02): 42–49+98–99.
- 林强, 葛文春, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代两类流纹岩与玄武岩的成因联系[J]. *长春科技大学学报*, 2000, 45(04): 322–328.
- LIN Qiang, GE Wenchun, SUN Deyou, et al. Genetic Relationships Between Two Types of Mesozoic Rhyolite and Basalts in Great Xing'an Ridge[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2000, 45(04): 322–328.
- 马秀. 西乌珠穆沁旗幅 L-50-34 1/20 万区域地质测量报告[R]. 呼和浩特: 内蒙古自治区区测队, 1978.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1996: 54–60.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. Lithostratigraphy of Inner Mongolia Autonomous Region[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1996, 54–60.
- 全国地层委员会. 中国地层表(2014)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- National Stratigraphic Commission. China Stratigraphic Table (2014) Specification[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2018.
- 邵积东, 谭强, 王惠, 等. 大兴安岭地区中生代地层特征及侏罗-白垩纪界线的讨论[J]. *地质与资源*, 2011, 20(01): 4–11.
- SHAO Jidong, TAN Qiang, WANG Hui, et al. The Mesozoic Strata and the Jurassic-Cretaceous Boundary in the Daxinganling Region[J]. *Geology and Resources*, 2011, 20(01): 4–11.
- 邵济安, 赵国龙, 王忠, 等. 大兴安岭中生代火山活动构造背景[J]. *地质论评*, 1999, 45(S1): 422–430.
- SHAO Ji'an, ZHAO Guolong, WANG Zhong, et al. Tectonic Setting of Mesozoic Volcanism in Da Hinggan Mountains, Northeastern China[J]. *Geological Review*, 1999, 45(S1): 422–430.
- 邵永旭, 李钢柱, 姜海蛟, 等. 大兴安岭西缘罕布庙地区玛尼吐组火山岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义[J]. *地质学报*, 2020, 94(12): 3590–3606.
- SHAO Yongxu, LI Gangzhu, JIANG Hajiao, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemistry of volcanic rocks from Manitu Formation in Hanbumiao area, the western Great Xing'an Range and their tectonic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(12): 3590–3606.
- 孙德有, 苟军, 任云生, 等. 满洲里南部玛尼吐组火山岩锆石 U-Pb 年龄与地球化学研究[J]. *岩石学报*, 2011, 27(10): 3083–3094.
- SUN Deyou, GOU Jun, REN Yunsheng, et al. Zircon U-Pb dating and study on geochemistry of volcanic rocks in Manitu Formation from southern Manchuria, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(10): 3083–3094.
- 孙明坤, 郝晓飞, 宋海瑞. 浅析内蒙古阿尔山地区玛尼吐组火山岩地球化学特征[C]. 中国核科学技术进展报告(第三卷)——中国核学会 2013 年学术年会论文集第 1 册(铀矿地质分册), 2013: 247–256.
- SUN Mingkun, HAO Xiaofei, SONG Hairui. The analysis of inner Mongolia aer manitu formation volcanic geochemical characteristics[C]. Progress Report on China Nuclear Science & Technology (Vol. 3): Chinese Nuclear Society 2013 Academic Annual Conference Proceedings Volume 1 (Uranium Mineral Geology Volume), 2013: 247–256.
- 徐天锡. 索伦幅 L-51-14 1/20 万区域地质测量报告[R]. 呼和浩特: 内蒙地质局第2区测队, 1965.
- 杨雅军, 杨晓平, 江斌, 等. 大兴安岭中生代火山岩地层时空分布与蒙古—鄂霍茨克洋、古太平洋板块俯冲作用响应[J]. *地学前缘*, 2022, 29(02): 115–131.
- YANG Yajun, YANG Xiaoping, JIANG Bin, et al. Spatio-temporal distribution of Mesozoic volcanic strata in the Great Xing'an Range: Response to the subduction of the Mongol-Okhotsk Ocean and Paleo-Pacific Ocean[J]. *Earth Science Frontiers*, 2022, 29(02): 115–131.

- 杨雅军, 杨晓平, 江斌, 等. 大兴安岭地区 *Nestoria* 动物群分布、时限及晚中生代火山-沉积地层的厘定[J]. *地质通报*, 2020, 39(06): 827–838.
- YANG Yajun, YANG Xiaoping, JIANG Bin, et al. Distribution and time frame of *Nestoria* fauna and determination of Late Mesozoic volcanic-sedimentary strata in the Da Hinggan Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(06): 827–838.
- 张慧婷, 郑常青, 张乔. 内蒙古中东部蘑菇气地区玛尼吐组火山岩构造背景[J]. *西安科技大学学报*, 2019, 39(05): 802–810.
- ZHANG Huiting, ZHENG Changqing, ZHANG Qiao. Volcanic rocks tectonic setting of the Manitu Formation in the Moguqi area, Mid-Eastern Inner Mongolia[J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2019, 39(05): 802–810.
- 张雪英. 二道井幅 K49E005020 碱矿幅 K49E005021 乌兰干吉尔庙幅 K49E006020 达赖雀尔吉苏木幅 K49E006021 1/5 万区域矿产地质调查报告[R]. 呼和浩特: 华北地质勘查局 519 大队, 2012.
- 周其林, 王献忠, 吉峰, 等. 大兴安岭中生代火山岩地层对比[J]. *地质论评*, 2013, 59(06): 1077–1084.
- ZHOU Qilin, WANG Xianzhong, JI Feng, et al. Corresponding Relations of Mesozoic Volcanic Formations in the Da Hinggan Mountains[J]. *Geological Review*, 2013, 59(06): 1077–1084.
- Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2002, 143(5): 602–622.
- Fan Weiming, Guo Feng, Wang Yuejun, et al. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2003, 121(1–2): 115–135.
- Kimura G, Takahashi M, Kono M. Mesozoic collision—extrusion tectonics in eastern Asia[J]. *Tectonophysics*, 1990, 181(1–4): 15–23.
- Liegeois J P, Navez J, Hertogen J, et al. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids. The use of sliding normalization[J]. *Lithos*, 1998, 45(1–4): 1–28.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(1–2): 34–43.
- Ludwig K R. Isoplot/Ex version 3. 00: A geochronology toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4: 1–70.
- Maitre R, Streckeisen A, Zanettin B, et al. Igneous Rocks. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms[M]. New York: Cambridge University Press, 2002: 1–236.
- Maruyama S, Send T. Orogeny and relative plate motions: example of the Japanese Islands[J]. *Tectonophysics*, 1986, 127(3–4): 305–329.
- Meng Qingren. What drove late Mesozoic extension of the northern China –Mongolia tract[J]. *Tectonophysics*, 2003, 369(3–4): 155–174.
- Metelkin D V, Vernikovsky V A, Kazansky A Y, et al. Late Mesozoic tectonics of Central Asia based on paleomagnetic evidence[J]. *Gondwana Research*, 2010, 18(2–3): 400–419.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25(4): 956–983.
- Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42(1): 313–345.
- Tomurtogoo O, Windley B F, Krone A, et al. Zircon age and occurrence of the Adaatsag ophiolite and Muron shear zone, central Mongolia: constraints on the evolution of the Mongol–Okhotsk ocean, suture and orogen[J]. *Journal of the Geological Society*, 2005, 162(1): 125–134.
- Wang Fei, Zhou Xinhua, Zhang Lianchang, et al. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an Range (NE China): Timing and implications for the dynamic setting of NE Asia[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 251(1–2): 179–198.
- Wood D A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1980, 50(1): 11–30.
- Ying Jifeng, Zhou Xinhua, Zhang Lianchang, et al. Geochronological framework of Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, NE China, and their geodynamic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, 39(6): 786–793.
- Zhang Jiheng, Gao Shan, Ge Wenchun, et al. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: implications for subduction-induced delamination [J]. *Chemical Geology*, 2010, 276(3–4): 144–165.
- Zhang Jiheng, Ge Wenchun Wu Fuyuan, et al. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range, Northeastern China[J]. *Lithos*, 2008, 102(1–2): 138–157.
- Zorin Y A. Geodynamics of the western part of the Mongolia – Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia[J]. *Tectonophysics*, 1999, 306(1): 33–56.