

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2022.08.016

内蒙古克什克腾旗五道石门枕状玄武岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及早石炭世—中三叠世洋壳多期俯冲的构造意义

段明¹, 胡鹏^{1*}, 闫国强¹, 张锋¹, 张永清¹, 陈文韬², 谢瑜¹, 李志丹¹DUN Ming¹, HU Peng^{1*}, YAN Guoqiang¹, ZHANG Feng¹, ZHANG Yongqing¹, CHEN Wentao², XIE Yu¹, LI Zhidan¹

1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;

2. 山东省地质科学研究所, 山东 济南 250013

1. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

2. Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan 250013, Shandong, China

中图分类号: P588.14⁺5; P597; P534.45; P534.51 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2022)08-1504-04

Duan M, Hu P, Yan G Q, Zhang F, Zhang Y Q, Chen W T, Xie Y, Li Z D. The geochemistry characteristics, zircon U-Pb ages and tectonic significance of the Early Carboniferous—Middle Triassic oceanic crust subduction of the Wudaomen pillow basalts in Keshiketeng Banner, Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(8): 1504–1507

五道石门地区位于内蒙古克什克腾旗西北部、浑善达克沙地以东。大地构造位置属于中亚造山带东部的兴蒙造山带, 处于西拉木伦河断裂北部, 属于西拉木伦缝合带。西拉木伦缝合带由柯单山、杏树洼、九井子等蛇绿岩残片构成, 是探讨古亚洲洋的构造演化和最终缝合位置的关键地区。由于兴蒙造山带内蛇绿混杂岩带众多, 其时代和构造属性至今未达成共识, 难以确定古亚洲洋的构造演化及华北板块与西伯利亚板块的拼合过程和时限。而五道石门地区大面积的枕状玄武岩被前人认定为蛇绿岩建造的一部分, 对其进行研究对探讨古亚洲洋构造演化及板块拼合过程具有重要意义。本文对五道石门水库枕状玄武岩特征进行了系统采

样分析, 利用 ICP-MS 测定锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素特征, 同时根据大量岩石地球化学及 Sr-Nd 同位素数据, 系统地探讨了玄武岩的形成时代、性质、构造属性及其对古亚洲洋构造演化的意义和板块拼合时限。

1 研究方法

本次样品采自内蒙古克什克腾旗五道石门水库出露的枕状玄武岩, 采样点 GPS 坐标为北纬 43°35′28″、东经 117°15′57″(图 1-a)。样品新鲜, 蚀变较弱。测年样品采集自多个岩枕, 共计 150 kg, 另采集了 9 件新鲜样品用于地球化学分析。

样品的主量、微量元素测试在中国地质调查局

收稿日期: 2022-02-26; 修订日期: 2022-04-17

资助项目: 中国地质调查局项目《硬岩型铀钍等矿产资源远景调查与勘查示范》(编号: DD20160129) 和《二连-松辽盆地砂岩型铀矿调查》(编号: DD20190121)

作者简介: 段明(1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事地质矿产调查与研究。E-mail: duanming000@126.com

* 通信作者: 胡鹏(1989-), 男, 硕士, 工程师, 从事矿产资源调查与研究。E-mail: 82491364@qq.com

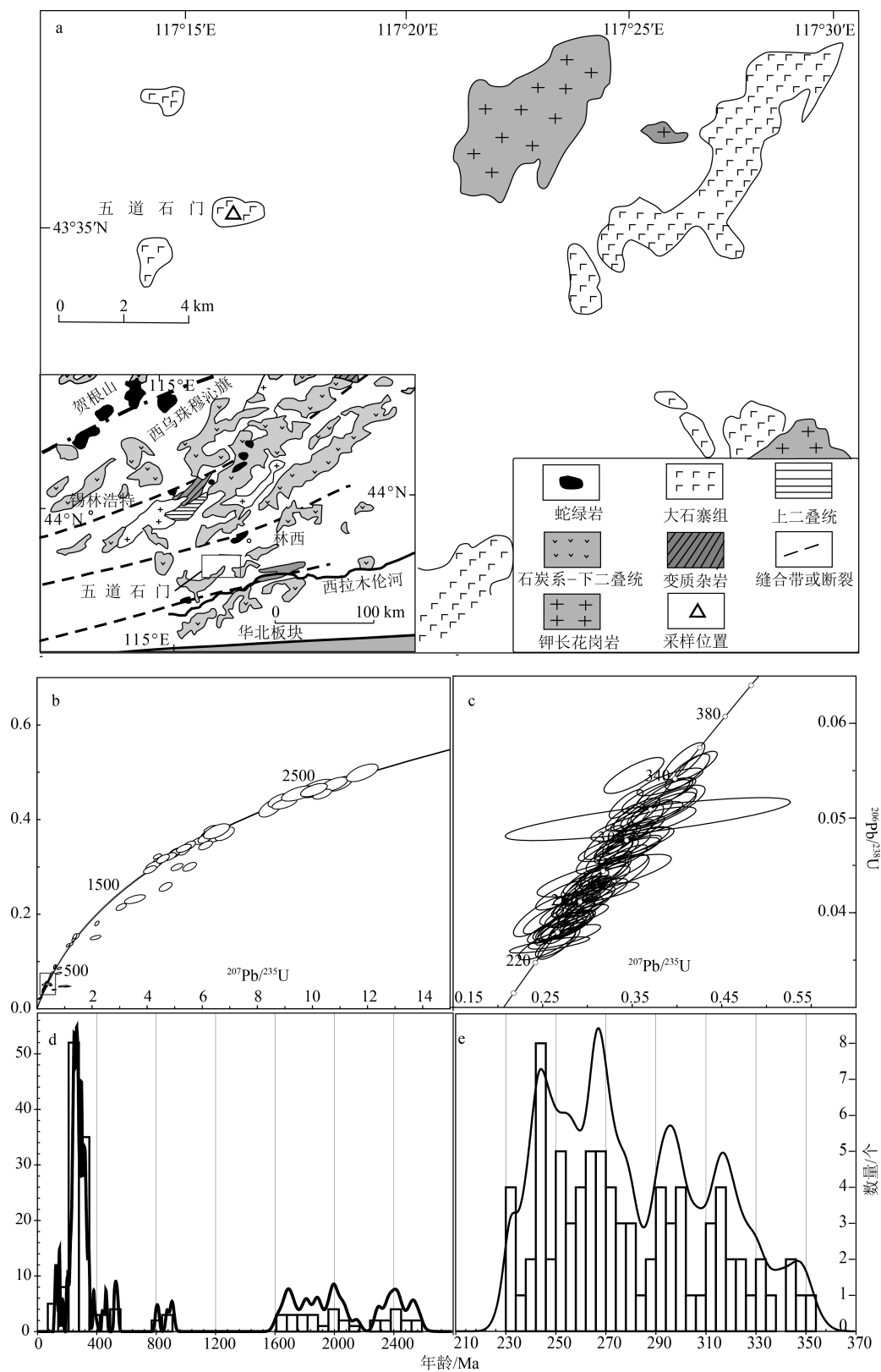


图 1 五道石门玄武岩大地构造位置及锆石 U-Pb 年龄特征

Fig. 1 Geotectonic location and zircon U-Pb age characteristics of Wudaoshimen basalt
 a—五道石门在中亚造山带的位置^[2]; b—所有锆石年龄谐和图; c—玄武岩形成期锆石年龄谐和图;
 d—所有锆石年龄频率分布图; e—玄武岩形成期锆石年龄频率分布图

天津地质调查中心元素分析实验室完成。测试仪器为 X 射线荧光光谱仪 XRF1500, 分析精度优于 1%。Sr、Nd 含量和同位素比值测定均由 Triton 热电质谱完成。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年分析在中国地质调查局天津地质调查中心实验室完成。LA-ICP-MS 由激光剥蚀进样系统和质谱检测系统两部分组成。本次分析的激光剥蚀束斑直径为 29 μm , 剥蚀频率为 7 Hz, 激光能量密度为 3 J/cm²。U-Pb 同位素定年和微量元素含量处理中, 采用锆石标样 91500 和玻璃标样 SRM 610 作外标分别进行同位素和微量元素分馏校正, 同时以 Plesovice 为监控标样监控数据质量。测试过程中, 每个样品采集 15 s 空白信号和 50 s 样品信号。

锆石 Hf 同位素测试使用多接收器电感耦合等离子体质谱仪, 其为美国 Thermo Fisher 公司生产的 NEP-TUNE。测试方法参考耿建珍等^[1]。

2 研究结果

五道石门玄武岩出露于五道石门水库沿岸(图 1-a), 岩枕呈灰色、绿色, 椭球状, 长轴 0.5~1 m, 边部具有冷凝边结构, 内部发育气孔杏仁构造。镜下观察发现, 玄武岩具斑状结构, 局部发育杏仁状构造, 杏仁成分主要为绿泥石, 少量为方解石和石英, 斑晶主要为斜长石, 基质具间粒结构, 主要由微晶斜长石、透辉石组成。

枕状玄武岩的主量元素含量与 N-MORB(正常洋中脊玄武岩)和马里亚纳 FAB(前弧玄武岩)相似, SiO₂ 含量介于 47.5%~49.83% 之间; MgO 含量介于 6.4%~7.54% 之间; Mg[#] 值为 37~50, 平均为 41; Na₂O 含量介于 2.33%~3.9% 之间, 远高于 K₂O 含量(0.053%~0.55%), Na₂O/K₂O 为 7~66.4, 平均为 16.8; TiO₂ 含量为 1.37%~2.18%, 平均为 1.97%; TFe₂O₃ 含量介于 10.4%~14.3% 之间, 平均为 13%, 与马里亚纳 FAB 相似(8.88%~14.16%)。

五道石门枕状玄武岩稀土元素总量为 31.35×10^{-6} ~ 83.79×10^{-6} , 平均为 49×10^{-6} , 高于 N-MORB 和 FAB(39.1×10^{-6} 和 33.86×10^{-6}); LREE/HREE 值较低(1.36~1.55), 平均为 1.48, 略高于 N-MORB 和马里亚纳 FAB(平均分别为 1.32 和 1.09), 稀土元素球粒陨石标准化图显示轻稀土元素亏损型曲线($(\text{La/Yb})_{\text{N}}=0.58\sim0.75$)。在微量元素原始地幔标

准化蛛网图上, 呈现出类似 N-MORB 的轻稀土元素亏损型, 但是相对 N-MORB, 富集大离子亲石元素 K、Rb、Ba、U, 轻度亏损高场强元素 Nb、Ti 异常富集。

本次测试的 162 颗五道石门枕状玄武岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄可分为 6 组(图 1-b、d): 2277~2606 Ma($n=12$)、1252~2072 Ma($n=25$)、800~1065 Ma($n=7$)、380~539 Ma($n=7$)、232~351 Ma($n=88$)(图 1-c、e)、117~223 Ma($n=17$)。锆石的 Th/U 值均大于 0.1, 显示岩浆锆石的特征。其中, 232~351 Ma 的锆石数量较多, 分布相对集中, 锆石稀土元素总量在 209.6×10^{-6} ~ 3722.63×10^{-6} 之间(多小于 2000×10^{-6} , 仅有 2 颗锆石大于 2000×10^{-6}), 平均为 892.07×10^{-6} , 具有明显的正 Ce、负 Eu 异常, 重稀土元素显著富集, 符合玄武岩浆锆石的稀土元素曲线特征, 可将其认定为玄武岩结晶的年龄。88 个点的平均年龄为 279 Ma, 与王炎阳等^[2]测得的年龄一致, 但是本次测试结果显示, 该阶段的年龄分布连续且平均, 体现了玄武岩喷发的持续性。该期 Hf 同位素特征显示 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}=0.282392\sim0.282946$, 平均为 0.282715; 测试的 22 颗锆石中有 18 颗锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为正值, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值变化范围为 0.06~11.88, T_{DM1} 为 440~801 Ma(除 1 颗锆石为 440 Ma 外, 其余均大于 554 Ma), T_{DM2} 为 535~1294 Ma; 另外, 4 颗锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为负值, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 -7.57~-0.42, T_{DM1} 为 942~1228 Ma, T_{DM2} 为 1330~1773 Ma。

玄武岩的 Sr-Nd 同位素测试结果显示, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.70393~0.704864, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值为 0.513175~0.513220。根据本次测得玄武岩形成的平均年龄 279 Ma, 计算所得的 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 值为 -16.5~-0.6, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 9.89~10.89, I_{Sr} 值为 0.70301~0.70413, I_{Nd} 值为 0.512788~0.512839。以上 Sr-Nd 同位素特征反映了亏损的地幔源区。

上述对五道石门枕状玄武岩的同位素和地球化学研究表明, 五道石门玄武岩主量元素特征与 N-MORB 相似, 具有高度富钠、贫钾的拉斑玄武岩的特征, TFe₂O₃ 含量更接近于马里亚纳 FAB。稀土元素总量和轻重稀土元素比值均略高于 N-MORB, 稀土元素球粒陨石标准化图显示轻稀土元素亏损型曲线, 除具有轻的负异常 Eu 外, 与 N-MORB 曲线高度一致。微量元素相对 N-MORB,

亏损相容元素 Cr、Ni 和高场强元素 Nb、Th。Th 一般富集于沉积物中,较低的 Th 含量表明,其岩浆源区受到俯冲板块表层沉积物的影响较小,Th/La 值为 0.026~0.039, Th/Ce 值为 0.009~0.012,均低于大陆地壳的平均值(0.30 和 0.15),甚至低于幔源岩浆的比值(0.12 和 0.02~0.05)。因此推测,地壳混染在岩浆演化中的影响较弱,测试数据基本可以代表原始岩浆的成分。富集大离子亲石元素 K、Rb、Ba、U,轻度亏损高场强元素 Nb,异常富集 Ti,除富集 Ti 外,与马里亚纳 FAB 原始地幔标准化蛛网图高度一致。微量元素系列玄武岩构造环境判别图解(图略)显示,该玄武岩具有 N-MORB 和 IAT(岛弧拉斑玄武岩)。综合主量和微量元素特征看,五道石门枕状玄武岩兼具洋中脊玄武岩和岛弧玄武岩的特征,更接近洋中脊玄武岩的特征,与马里亚纳 FAB 玄武岩也较接近,推测其形成于前弧或弧后盆地环境。但越来越多的研究表明,仅依靠地球化学数据判别玄武岩的形成环境是不可靠的,弧后盆地玄武岩拥有更宽泛的地球化学特征,因为玄武岩的地球化学性质受原生地幔影响很大。地幔大尺度地球化学不均一性被越来越多的学者承认,所以还需要更多的证据。笔者和王炎阳等^[2]在五道石门玄武岩中均发现大量的具有华北地台基底年龄特征的锆石,证明其是在华北地台基底之上的拉张环境下形成的。结合区域地质背景,推测为弧后盆地环境,且玄武岩的地球化学性质更多的反映了地幔源区的特征。本次测得的五道石门枕状玄武岩 Sr-Nd 同位素特征具备亏损的地幔源区性质,成岩期锆石 Hf 同位素特征也指示其源岩可能来自于新元古代地幔,同时有一定程度的地壳物质混染。因此判断,玄武岩形成于成分接近于马里亚纳 FAB 的地幔源区。

依据本次测得的五道石门枕状玄武岩的形成年龄(232~351 Ma)及分布较平均的特点,推测在此期间玄武岩喷发是一个长期且连续的过程,喷发持续了 130 Ma。测得最老的形成年龄(351 Ma)与许强伟等^[3]在内蒙古克什克腾旗长岭子地区测得具有大陆边缘弧特征的大石寨组安山质凝灰岩的形成年龄(350.0±6.5 Ma)一致,说明早石炭世古亚洲洋向华北板块还存在俯冲作用。测得最晚的形成年龄与前人在双井子地区测得的同碰撞壳源花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(229.2±4.1 Ma 和

237.5±2.7 Ma)^[4]及苏尼特左旗以南哈拉图地区的约 230 Ma 的与板块碰撞有关的富钾花岗岩年龄^[5]一致,支持西伯利亚板块和中朝板块沿西拉木伦缝合带碰撞并最终在三叠纪终结。而 117~223 Ma ($n=17$)的年轻锆石可以认为是中生代构造热事件的反映。另外 4 组老的锆石为捕获锆石,记录了太古宙—早古生代完整的华北地台基底的演化特征,缺失震旦纪锆石年龄,此时华北地台处于整体隆升阶段,而玄武岩 T_{DMI} 恰好在这个时期,说明玄武质岩浆可能从震旦纪地幔源区分离出来, T_{DMI} 大于锆石结晶年龄,说明可能存在一定程度的地壳混染。

3 结 论

(1)五道石门枕状玄武岩的形成年龄在 232~351 Ma 之间,为早石炭世—中三叠世多期次火山喷发的产物。

(2)玄武岩具有 N-MORB(大洋中脊玄武岩)和 IAT(岛弧拉斑玄武岩)的地球化学特征,成分与马里亚纳 FAB 相似,Sr-Nd-Hf 同位素特征反映了亏损的地幔源区特征。

(3)发现多颗具有华北地台基底年龄特征的捕获锆石,推测五道石门枕状玄武岩形成于华北地台基底之上的弧后盆地环境。

(4)早石炭世—中三叠世古亚洲洋板块向华北板块存在连续俯冲的作用,西伯利亚板块和华北板块于中三叠世最终沿西拉木伦缝合带碰撞拼合。

致谢:在论文完成过程中得到王惠初和相振群研究员的帮助指导,在此表示衷心感谢。

主要参考文献

- [1] 耿建珍,李怀坤,张健,等. 锆石 Hf 同位素组成的 LA-MC-ICP-MS 测定[J]. 地质通报,2011,(10): 34-39.
- [2] 王炎阳,徐备,程胜东,等. 内蒙古克什克腾旗五道石门基性火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报,2014,30(7): 2056-2062.
- [3] 许强伟,王玘,王志强,等. 内蒙古克什克腾旗大石寨组凝灰岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄,地球化学特征及其构造意义[J]. 地质论评,2019,65(1): 119-149.
- [4] 李锦轶,高立明,孙桂华,等. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束[J]. 岩石学报,2007,(3): 565-582.
- [5] Chen B, Jahn B M, Wilde S, et al. Two contrasting paleozoic magmatic belts in northern inner mongolia, china: petrogenesis and tectonic implications[J]. Tectonophysics, 2000, 328(1): 157-182.