

大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩 U-Pb 定年及成因

司秋亮^{1,2}, 王恩德¹, 唐振², 马永非²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘 要: 为了研究大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩的形成时代和岩石成因,进行了锆石 U-Pb 同位素年龄测试和地球化学研究. LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示,哈达陶勒盖组火山岩形成于 234~244 Ma 的中三叠世. 岩石地球化学研究表明,哈达陶勒盖组火山岩具有低硅富碱、富钙镁的特征;稀土丰度总量 $w(\sum RE) = 122.32 \times 10^{-6} \sim 140.66 \times 10^{-6}$,轻、重稀土分馏较明显, $m(La)/m(Yb)_N = 11.99 \sim 18.68$,无明显 Eu 负异常($\delta_{Eu} = 0.84 \sim 0.98$),微量元素以富集 Rb, K, Ba, Th, 亏损 Nb, P, Ti 为特征. 哈达陶勒盖组火山岩岩浆源区为富集的岩石圈地幔,并遭受了地壳物质的混染.

关 键 词: 锆石 U-Pb 年龄;地球化学;哈达陶勒盖组;火山岩;大兴安岭中段

中图分类号: P 588.141; P 597.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2018)12-1779-04

Zircon U-Pb Dating and Petrogenesis of Volcanic Rocks in Hadataolegai Formation, Middle Great Xing'an Range

SI Qiu-liang^{1,2}, WANG En-de¹, TANG Zhen², MA Yong-fei²

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Shenyang Center, China Geological Survey, Shenyang 110034, China. Corresponding author: SI Qiu-liang, E-mail: siqiuliang@126.com)

Abstract: Zircon U-Pb isotopic dating and geochemical analysis were used to study the formation age and petrogenesis of the volcanic rocks in Hadataolegai Formation, the middle Great Xing'an Range. LA-ICP-MS dating results show that the volcanic rocks in Hadataolegai Formation formed in Middle Triassic from 234 Ma to 244 Ma. The geochemical study suggests that the volcanic rocks are poor in silicon, rich in alkalis, calcium and magnesium. The total RE amount ranges from 122.32×10^{-6} to 140.66×10^{-6} . Fractionation of LRE and HRE is obvious [$m(La)/m(Yb)_N = 11.99 \sim 18.68$] and Eu has no anomalies ($\delta_{Eu} = 0.84 \sim 0.98$). The trace element geochemistry are characterized evidently by enrichment of Rb, K, Ba, Th, and depletion of Nb, P, Ti. Original magma of the volcanic in Hadataolegai Formation is chiefly derived from enriched lithospheric mantle, and contaminated by crustal material.

Key words: zircon U-Pb dating; geochemistry; Hadataolegai Formation; volcanic rocks; middle Great Xing'an Range

在振兴东北老工业基地战略中,矿产资源有着不可替代的作用.近年在大兴安岭地区相继发现了多处有色金属和贵金属矿产地,具有很大的资源潜力,因此越来越多的地质工作者开始对该地区进行重点研究.不过,以往针对该地区的研究多数与中生界的侏罗系、白垩系地层有关,而关于中生界三叠系地层的研究则较少^[1-4].据以往的资料可知,大兴安岭地区普遍缺失三叠系地层,然

收稿日期: 2017-02-24
基金项目: 大兴安岭成矿带突泉-翁牛特地区地质矿产调查(DD20160048);内蒙古1:5万五家户等五幅区域地质调查(DD20160048-03)
作者简介: 司秋亮(1982-),男,河南郑州人,东北大学博士研究生,沈阳地质调查中心高级工程师;王恩德(1957-),男,辽宁大连人,东北大学教授,博士生导师.

而随着近些年大比例尺区域地质填图工作的开展,在大兴安岭地区陆续发现了一些三叠系地层.在内蒙古开鲁县的哈达陶勒盖组和林西县的林西组分别发现了下三叠统孢粉化石,因此把它们的时代厘定为下三叠统^[5].在巴林左旗的地层中发现了早三叠世的叶肢介和介形虫化石,因此该地层被厘定为幸福之路组.张武等把内蒙古德发屯附近存在早三叠世木化石的地层厘定为下三叠统老龙头组.沈阳地质调查中心的杨雅军等把大兴安岭的三叠系地层从下至上依次划分为下三叠统老龙头组、哈达陶勒盖组 and 上三叠统东宫组^[6].一直以来,针对大兴安岭的三叠系地层,缺少精确的年龄数据,因此有必要对三叠系地层进行系统的年代学研究.笔者在大兴安岭地区工作多年,对大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩进行了年代学和地球化学研究,为大兴安岭地区三叠系地层的研究提供了精确年龄数据和最新证据.

1 区域地质概况

研究区位于大兴安岭中段蘑菇气镇,区内地层为上石炭统宝力高庙组粉砂岩、粉砂质板岩,中侏罗统万宝组的粉砂岩、砂砾岩.区内岩浆活动特别是中生代火山活动强烈,分布大面积的侵入岩和火山岩,中生代火山岩主要为中三叠统哈达陶勒盖组、上侏罗统玛尼吐组、下白垩统白音高老组.

哈达陶勒盖组火山岩在研究区广泛分布,大多被上侏罗统玛尼吐组和下白垩统白音高老组不整合覆盖,被早白垩世侵入岩侵入.哈达陶勒盖组火山岩岩性主要为玄武安山岩和安山岩.杏仁状玄武安山岩呈斑状结构、交织结构,块状构造.斑晶的成分主要为辉石和少量斜长石.辉石斑晶为半自形柱状或粒状晶体,粒径一般在 0.8 ~ 1.3 mm 之间,无色,正高突起,Ng' \wedge C = 42°,干涉色为三级初,部分晶体呈聚斑结构,在 7% 左右.斜长石斑晶为规则的板状晶体,长轴粒径大约在 1.0 ~ 1.3 mm 之间,晶体均被显微鳞片状绢云母所取代仅保留晶形,较少,在 3% 左右.基质由长轴粒径在 0.3 mm 左右的细条状斜长石和少量辉石组成,斜长石呈平行或半平行状态排列,微晶辉石分布在其晶粒间,部分辉石发生伊丁石化,基质在 70% 左右.基质中见非晶质的蛋白石.岩石中见大量的杏仁,杏仁的成分为绿泥石,在 20% 左右.安山岩呈多斑结构,交织结构.斜长石,自形-半自形,板状,粒度 0.2 ~ 1.0 mm,绿帘石化,定向呈线斑, 45%. 基质由定向板条状的斜长石微

晶组成,含少量的磁铁矿颗粒和绿泥石, 55% .

2 锆石年龄 U – Pb 测定

2.1 分析方法

河北省区域地质矿产调查研究所和北京凯德正科技有限公司分别完成了锆石分选工作和锆石制靶工作,国家地质实验测试中心完成了阴极发光图像采集和 U – Pb 年龄测定工作. LA – ICP – MS 锆石 U – Pb 同位素分析采用 Thermo Element II 和 New Wave UP213 进行数据采集,然后通过 GLITTER4.0 软件对获得数据进行计算,用 Andersen 方法^[7]对普通 Pb 进行了校正.

2.2 年龄测定结果

本次对 2 个哈达陶勒盖组火山岩样品 (TW15, TW23) 进行了同位素分析,用 Isoplot3.0 软件绘制锆石谐和图 (图 1). 锆石 CL 图像 (略) 显示,2 个样品的锆石多数为褐色或无色透明,锆石颗粒晶型好,有明显的环带结构,Th/U 比值分别为 0.43 ~ 1.56 和 0.64 ~ 2.04,均大于 0.1,为典型的岩浆成因锆石.

TW15 样品 (采样坐标 122°21'15", 47°28'54") 共采集了 20 个分析点,20 个分析点全部位于 U – Pb 谐和线上或其附近,²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄 219 ~ 255 Ma,其加权平均值为 (239 ± 5) Ma. TW23 样品 (采样坐标 122°22'13", 47°25'17") 共采集 30 个分析点,其中有 27 个点位于 U – Pb 谐和线上或其附近,²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄 230 ~ 249 Ma,其加权平均值为 (240 ± 2) Ma. U – Pb 测年结果表明,大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩形成于 234 ~ 244 Ma 之间的中三叠世.

3 地球化学特征

元素地球化学数据在国土部东北实验测试中心获得,测试结果 (略) 表明,哈达陶勒盖组火山岩主要化学成分特征如下: SiO₂ 质量分数较低, 58.86% ~ 65.72%; Al₂O₃ 15.30% ~ 16.74%; w (Na₂O + K₂O) = 7.30% ~ 8.44%, w (K₂O)/w (Na₂O) = 0.42 ~ 1.41, MgO 1.70% ~ 3.28%, CaO 2.09% ~ 4.83%. 在岩石系列 w (K₂O) – w (SiO₂) 图解 (略) 上大部分落入钾玄岩和高钾钙碱性系列. 所有样品的 A/CNK 介于 0.88 ~ 1.07,多数为准铝质岩石,少量为弱过铝质岩石. 岩石具有低硅、富碱,富钙、镁的特征.

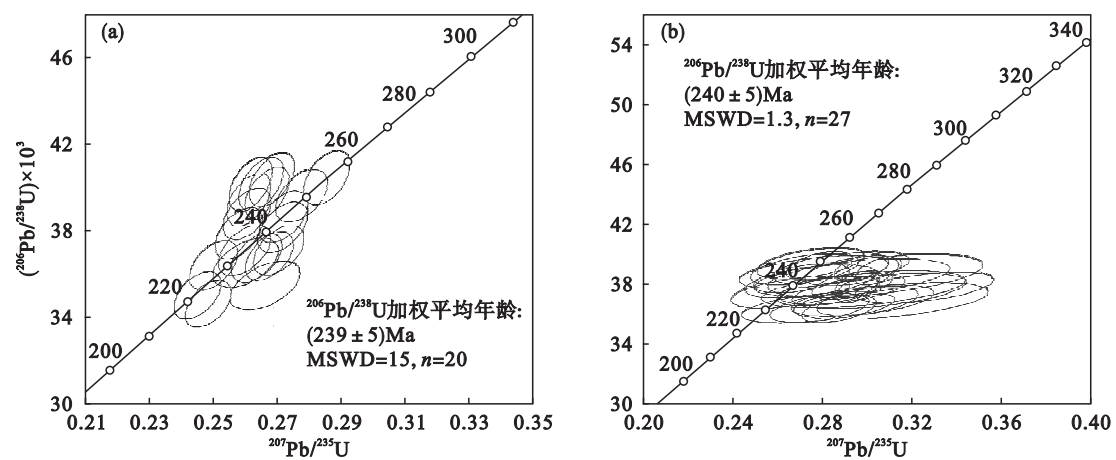


图 1 哈达陶勒盖组火山岩 U - Pb 年龄谐和图
Fig. 1 U-Pb age concordant diagrams of the volcanic rocks in Hadataolegai Formation
(a)—TW15; (b)—TW23.

哈达陶勒盖组火山岩稀土总量 $w(\sum RE) = 122.32 \times 10^{-6} \sim 140.66 \times 10^{-6}$, 平均值为 133.48×10^{-6} ; 轻、重稀土总量分别为 $w(\sum LRE) = 111.72 \times 10^{-6} \sim 129.91 \times 10^{-6}$ 和 $w(\sum HRE) = 9.11 \times 10^{-6} \sim 11.38 \times 10^{-6}$, 轻、重稀土比值介于 $10.26 \sim 14.01$, 平均值为 12.49 . 稀土配分曲线右倾(图 2a), 斜率较大, $m(La)/m(Yb)_N = 11.99 \sim 18.68$, 说明轻稀土富集程度

高且轻、重稀土分馏明显. $\delta_{Eu} = 0.84 \sim 0.98$, 在稀土元素配分模式图上无明显负异常, 表明斜长石未参与多阶段的分离结晶.

哈达陶勒盖组火山岩微量元素蛛网图曲线右倾(图 2b)呈“隆起”特征, 大离子亲石元素 (Rb, K, Ba, Th) 和轻稀土较富集, 而高场强元素 (Nb, P, Ti) 则出现亏损.

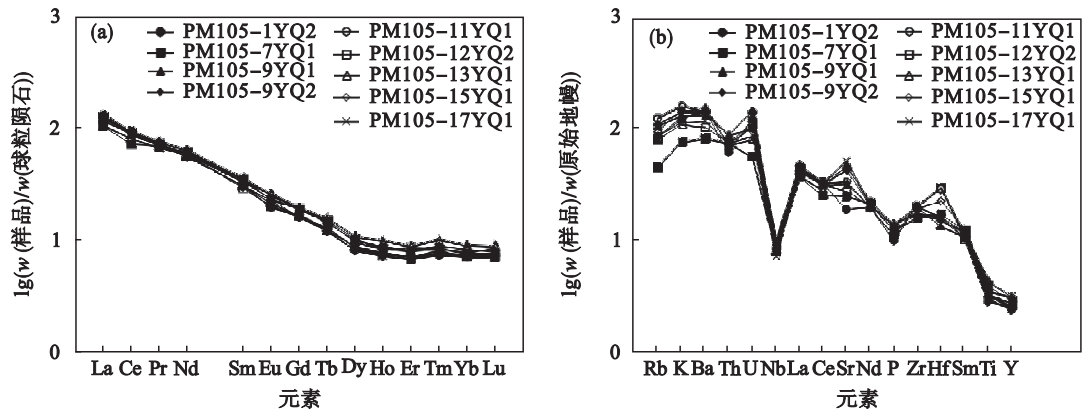


图 2 哈达陶勒盖组火山岩稀土元素配分模式图和微量元素蛛网图
Fig. 2 RE element distribution pattern and microelement spidergram of the volcanic rocks in Hadataolegai Formation
(a)—稀土元素配分模式图; (b)—微量元素蛛网图.

4 讨 论

4.1 形成年代

本文高精度 U - Pb 定年结果显示, 哈达陶勒盖组火山岩形成年代分别为 $(239 \pm 5) \text{ Ma}$ 和 $(240 \pm 2) \text{ Ma}$, 2 个锆石样品都是典型的岩浆成因锆石 ($\text{Th}/\text{U} > 1$), 所以定年结果代表了哈达陶勒盖组火山岩的形成时代. 而且从野外接触关系来

看, 哈达陶勒盖组被晚侏罗世玛尼吐组火山岩覆盖, 侵入到晚石炭 - 早二叠世宝力高庙组粉砂岩中, 野外接触关系与定年结果吻合.

结合本区哈达陶勒盖火山岩的岩石组合特征和前人研究成果, 最终把大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩的形成年代定为中三叠世.

4.2 岩石成因

岩石富集大离子亲石元素 (Rb, K, Ba, Th) 和轻稀土, 表明岩浆源区可能为富集地幔, 亏损高

场强元素(Nb,P,Ti)则揭示了岩浆源区的岩浆在上升过程中受到地壳物质的混染或存在流体交代作用。

微量元素 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 主要集中在 0.05~0.13(均值为 0.08),接近洋岛玄武岩 OIB(0.047)、原始地幔(0.03)和富集型洋中脊 E-MORB(0.033)的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$,明显低于壳源岩浆的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})(>0.5)^{[8]}$ 。Th 质量比为 5.21~7.22 $\mu\text{g/g}$,明显高于来自亏损地幔的玄武岩的 Th 质量比($<0.2 \mu\text{g/g}$)^[9],而富集地幔中 Th 含量高,因此哈达陶勒盖组火山岩应该是富集地幔的部分熔融形成的。 $w(\text{La})/w(\text{Nb})=5.31\sim5.54$,明显区别于美国盆岭省软流圈地幔来源的玄武岩($w(\text{La})/w(\text{Nb})<1.5$),而与内华达州起源于富集岩石圈地幔熔岩特征相似($w(\text{La})/w(\text{Nb})>1.5$)^[10]。 $w(\text{Ti})/w(\text{Zr})=15.23\sim27.48$ (平均值 20.63),与壳源岩石的比值(<20)不符^[11]; $w(\text{Ti})/w(\text{Y})=298\sim381$ (平均值 341),与壳源岩石的比值(<100)不符^[12];基性相容组分 Cr,Co,Ni 质量分数较高,分别为 $(24.08\sim97.28)\times10^{-6}$ 、 $(12.09\sim24.77)\times10^{-6}$ 和 $(20.01\sim77.20)\times10^{-6}$,这显示出岩浆是地幔来源而非地壳来源的特征。

玄武质岩石受到地壳混染的程度可以利用 $w(\text{Ti})/w(\text{Yb})$ 值来判断,如 $w(\text{Ti})/w(\text{Yb})>5000$ 则表明岩石很少或未受到地壳物质的混染^[13],而大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩的 $w(\text{Ti})/w(\text{Yb})$ 值远小于 5000(介于 2874~3684),表明达陶勒盖组火山岩原始岩浆受到了一定程度的地壳物质混染。

综上所述,大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩岩浆源区为富集的岩石圈地幔,但岩浆在上升过程中遭受了地壳物质的混染。

5 结 论

1) 大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩形成年龄为 $(239\pm5)\text{Ma}$ 和 $(240\pm2)\text{Ma}$,年代为中三叠世。

2) 大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩富集大离子亲石元素,亏损高场强元素,多种微量元素比值显示地幔特征,种种特征表明哈达陶勒盖组火山岩岩浆源区为富集的岩石圈地幔,并遭受了地壳物质的混染。

参考文献:

- [1] Zhang J H, Ge W C, Wu F Y, 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.
- [2] Zhang J H, Gao S, Ge W C, 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.
- [3] Meng E, Xu W L, Pei F P. Chronology of late Paleozoic volcanism in eastern and southeastern margin of Jiamusi massif and its tectonic implications [J]. *Chinese Sciences Bulletin*, 2008, 53(8): 1231-1245.
- [4] Xu W L, Wang F, Pei F P, et al. Mesozoic tectonic regimes and regional ore-forming background in NE China: constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(2): 339-353.
- [5] 杨兵, 张雄华, 葛梦春, 等. 内蒙古林西地区晚二叠世—早三叠世孢粉组合及三叠系的发现 [J]. *地球科学*, 2014, 39(7): 784-794.
(Yang Bing, Zhang Xiong-hua, Ge Meng-chun, et al. Late Permian-early Triassic Palynological assemblages in Linxi, Inner Mongolia and discovery of Triassic strata [J]. *Earth Science*, 2014, 39(7): 784-794.)
- [6] 杨雅军, 张立东, 张立君, 等. 大兴安岭地区三叠系划分与对比 [J]. *地质与资源*, 2012, 21(1): 67-73.
(Yang Ya-jun, Zhang Li-dong, Zhang Li-jun, et al. Division and correlation of the Triassic strata in Great Khingan Mountains [J]. *Geology and Resources*, 2012, 21(1): 67-73.)
- [7] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192(1): 59-79.
- [8] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process [C]// *Magmatism in the Ocean Basins*. London: Geological Society, 1989: 313-345.
- [9] 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: 956-983.
- [10] Fitton J G, James D, Kempton P D, et al. The role of lithospheric mantle in the generation of Late Cenozoic basic magmas in the western United States [J]. *Journal of Petrology*, 1988 (Special Lithosphere Issue): 331-349.
- [11] Pearce J A. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins [C]// *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Chester: Nantwich Shiva Academic Press, 1983: 230-249.
- [12] Tischendorf G, Paelchen W. Classification of granitoids [J]. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 1985, 13(5): 615-627.
- [13] Hart W K, Woldegabriel G, Walter R C, et al. Basaltic volcanism in Ethiopia: constraints on continental rifting and mantle interactions [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1989, 94(B6): 7731-7748.