

大兴安岭柴河白音高老组流纹岩锆石 U-Pb 定年及成因探讨

司秋亮^{1,2}, 崔天日², 王恩德¹, 丁 姝³

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110034;
3. 沈阳鼎盛隆丰工程技术咨询有限公司, 辽宁 沈阳 110002)

摘 要: 为了研究大兴安岭中段柴河地区白音高老组流纹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,白音高老组流纹岩形成于年龄为 129~137 Ma 的早白垩世. 岩石地球化学研究表明,白音高老组流纹岩具有高硅富碱、贫钙镁的特征;稀土丰度总量 $m(\sum \text{REE}) = 121.35 \times 10^{-6} \sim 194.92 \times 10^{-6}$,轻重稀土分馏明显, $m(\text{La})/m(\text{Yb})_{\text{N}} = 12.2 \sim 21.7$, Eu 负异常 ($\delta_{\text{Eu}} = 0.39 \sim 0.61$),微量元素以富集 Rb, Ba, Th, K, 亏损 Nb, Sr, P, Ti 为特征;白音高老组流纹岩原始岩浆来源于上地壳岩石的部分熔融.

关 键 词: 锆石 U-Pb 年龄;地球化学;流纹岩;白音高老组;柴河地区;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(2016)03-0412-04

Zircon U-Pb Dating and Petrogenesis of the Baiyingaolao Formation Rhyolites in Chaihe Area, Great Xing'an Range

SI Qiu-liang^{1,2}, CUI Tian-ri², WANG En-de¹, DING Shu³

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110034, China; 3. Shenyang Dingshenglongfeng Project Technology Consulting Co., Ltd., Shenyang 110002, 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 rhyolites in Baiyingaolao Formation. LA-ICP-MS dating results show that the Baiyingaolao formation rhyolites in Chaihe area form in early cretaceous from 129 to 137 Ma. The geochemical study results show that the rhyolites have the characteristic of high silicon and rich alkalis, poor calcium and magnesium. The total REE amount ranges from 121.35×10^{-6} to 194.92×10^{-6} . Fractionation of LREE and HREE is obvious [$m(\text{La})/m(\text{Yb})_{\text{N}} = 12.2 \sim 21.7$], and Eu has negative anomalies ($\delta_{\text{Eu}} = 0.39 \sim 0.61$). The trace elements are characterized evidently by enrichment of Rb, Ba, Th, K and depletion of Nb, Sr, P, Ti. Original magma of Baiyingaolao formation rhyolites is chiefly derived from partial melting of up crust rocks.

Key words: zircon U-Pb dating; geochemistry; rhyolites; Baiyingaolao formation; Chaihe area; central Great Xing'an Range

大兴安岭火山岩带是我国东部中生代巨型火山岩带的重要组成部分,该火山岩带呈北北东向横亘于西伯利亚板块和华北板块及其缝合带之上.该区晚中生代火山岩分布面积大、岩石类型多

样、地球化学特征及形成构造背景复杂.研究区位于大兴安岭中段,晚侏罗世到早白垩世火山岩广泛分布.白音高老组是晚中生代火山岩的重要组成部分,代表了一次重要的岩浆活动事件.虽然前

收稿日期: 2014-12-29

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20110042110032); 中国地质调查局项目(12120113053800).

作者简介: 司秋亮(1982-),男,河南郑州人,东北大学博士研究生,沈阳地质矿产研究所高级工程师;王恩德(1957-),男,辽宁盖州人,东北大学教授,博士生导师.

人对大兴安岭北段^[1-7]和大兴安岭中南段^[8-10]的中生代火山岩进行了不少研究,但是关于白音高老组时代归属问题,至今意见尚不一致。邵积东等^[1]根据化石资料认为白音高老组时代应为晚侏罗世;苟军等^[2]、王建国等^[9]根据同位素年龄,认为白音高老组时代应为早白垩世。由此看来,对白音高老组火山岩开展更多的年代学和地球化学研究已十分必要。本文通过对大兴安岭中段柴河地区白音高老组流纹岩开展锆石 U-Pb 年代学及地球化学研究,探讨其形成时代、岩石成因。

1 区域地质概况及岩石学特征

研究区位于兴蒙造山带东段,大兴安岭主脊断裂中段,东乌旗-黑河断裂以北,嫩江断裂以西。区内大面积分布的是中生代火山岩和侵入岩,前中生代地层出露很少,仅有小面积上泥盆统大民山组和中奥陶统多宝山组,此外,在绰尔河沿岸有第四系大黑沟组玄武岩出露。区内侵入岩形成时代为白垩纪、侏罗纪和二叠纪,岩性主要为碱长花岗岩、二长花岗岩和石英二长闪长岩。研究区晚中生代火山活动强烈,分布面积广,由老到新划分为塔木兰沟组、满克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老组和梅勒图组。该区塔木兰沟组主要为玄武安山岩、安山岩;满克头鄂博组主要为流纹岩和流纹质凝灰岩;玛尼吐组主要为安山岩、英安岩;白音高老组主要为流纹岩和流纹质凝灰岩。

白音高老组在研究区广泛分布,大多喷发不整合覆盖在上侏罗统满克头鄂博组和玛尼吐组之上,在研究区中部白音高老组喷发不整合在上泥盆统大民山组之上。白音高老组流纹岩呈灰白色、

浅灰色,流纹岩大部分是块状构造,局部流纹构造发育,流纹构造是流纹岩中一种常见的构造。斑晶较少,主要由石英、钾长石、斜长石、黑云母组成。斜长石以更长石为主,呈自形、半自形板状,粒径 1~2 mm,具卡钠双晶、聚片双晶, $Np' \wedge (010) = 10^\circ \sim 15^\circ$ (An 为 27~32),光轴角 $2V(-) =$ 中等偏大。基质呈雏晶球粒结构,雏晶-粒状结构,主要由雏晶不规则粒状长英质矿物构成,构成粗细相间之流纹构造。

2 锆石年龄 U-Pb 测定

2.1 分析方法

对选自柴河地区白音高老组流纹岩的新鲜样品进行锆石挑选和制靶,由中国地质科学院国家地质实验测试中心完成阴极发光图像采集和锆石 U-Pb 年龄测定。锆石数据分析采用 Thermo Element II 及配套的 New Wave UP213 激光剥蚀系统,激光波长 213 nm,激光斑束直径为 30 μm ,脉冲频率 10 Hz,实验中采用高纯度氦气作为剥蚀物质的载体。使用国际标准锆石 91500 作为标准样进行校正,扣除 Pb 的影响。所测单点的同位素比值及元素含量采用 GLITTER^[11] 软件进行处理,实验获得的数据采用文献[12]的方法进行同位素比值的校正,最后使用 Isoplot 软件进行谐和图的绘制和年龄计算。详细的实验分析步骤和处理方法见文献[13]。

2.2 年龄测定结果

本文对柴河地区的 2 个流纹岩样品 (PM04RZ27, PM12RZ11) 进行了锆石 U-Pb 同位素分析,结果见图 1。锆石阴极发光图像显示,

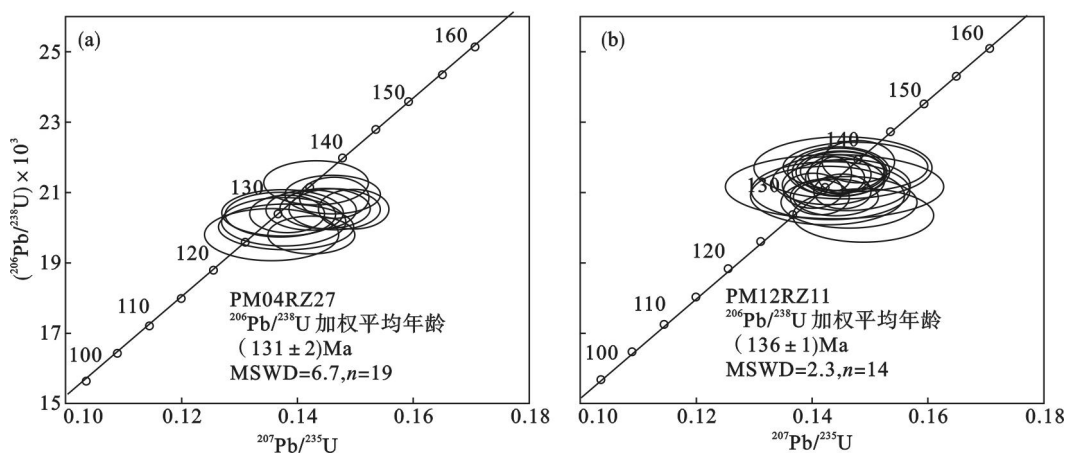


图 1 白音高老组流纹岩 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 1 U-Pb age concordant diagrams of the rhyolites in Baiyingaolao formation

(a)—PM04RZ27; (b)—PM12RZ11.

所测流纹岩样品锆石具有明显岩浆成因的震荡生长环带结构. 2 个样品锆石 Th/U 比值分别为 0.46 ~ 1.24 和 0.60 ~ 2.69, 均大于 0.1, 为典型的岩浆成因锆石.

PM04RZ27 样品(采自二十四道沟盆地, 121°42'11"N, 47°32'35"E)中锆石 19 个分析点均位于 U-Pb 谐和线上或其附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于 126 ~ 134 Ma 之间, 其加权平均值为 $(131 \pm 2)\text{Ma}$, MSWD = 6.7.

PM12RZ11 样品(采自敖尼尔林场东, 121°34'25"N, 47°45'50"E)中锆石 14 个分析点均位于 U-Pb 谐和线上或其附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于 130 ~ 139 Ma 之间, 其加权平均值为 $(136 \pm 1)\text{Ma}$, MSWD = 2.3.

U-Pb 测年结果表明, 大兴安岭中段柴河地区白音高老组流纹岩形成于 129 ~ 137 Ma 之间的早白垩世.

3 地球化学特征

元素地球化学数据在国土资源部沈阳地质实验测试中心获得, 测试结果表明, 白音高老组流纹岩 SiO_2 质量分数较高, 介于 72.87% ~ 76.29%, Al_2O_3 介于 12.25% ~ 13.57%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) = 7.15\% \sim 8.86\%$, $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O}) = 0.76 \sim 1.61$, MgO 介于 0.01% ~ 0.84%, CaO 介

于 0.12% ~ 1.13%. 在 TAS 火山岩分类命名图解中, 全部样品均落入亚碱性系列的流纹岩范围内; 在 $w(\text{SiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O})$ 图解中, 全部样品落入高钾钙碱性系列; 所有样品的 A/CNK 介于 1.03 ~ 1.11, 为弱过铝质岩石. 岩石高硅、富碱和贫钙、镁, 具有典型的 A 型流纹岩特征.

白音高老组流纹岩稀土元素总量 $w(\sum\text{REE}) = 121.35 \times 10^{-6} \sim 194.92 \times 10^{-6}$, 所有样品都具有轻稀土元素富集的右倾特征, 重稀土分配较为平坦(见图 2a), 轻、重稀土分馏明显, 分馏系数为 $m(\text{La})/m(\text{Yb})_{\text{N}} = 12.2 \sim 21.7$, 中等铕负异常 ($\delta_{\text{Eu}} = 0.39 \sim 0.61$), 这些特点反映出岩浆经历了斜长石的分离结晶作用或者岩浆源区有斜长石残留. 通过微量元素原始地幔蛛网图(见图 2b)可以看出, 样品富集大离子亲石元素(Rb, Ba, K, Th 和 LREE), 亏损高场强元素(Nb, Sr, P 和 Ti), 这些特点暗示岩浆可能来源于地壳. 基性相容组分 Cr, Co, Ni 质量分数较低, 分别为 $4.10 \times 10^{-6} \sim 15.10 \times 10^{-6}$, $0.22 \times 10^{-6} \sim 2.49 \times 10^{-6}$ 和 $2.24 \times 10^{-6} \sim 10.10 \times 10^{-6}$, 这显示出岩浆是地壳来源而非地幔源的特征. 白音高老组流纹岩的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr}) = 0.40 \sim 1.07$, 明显高于原始地幔(0.03), E-MORB (0.033) 和 OIB (0.047) 的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值^[14]; $w(\text{Ti})/w(\text{Zr}) = 6.84 \sim 18.45 (< 20)$, 位于壳源岩浆范围内^[15].

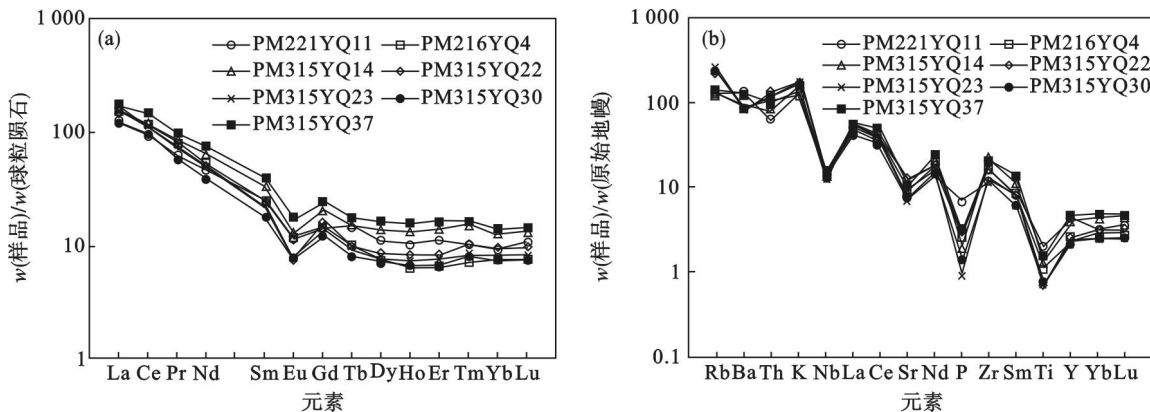


图 2 白音高老组流纹岩稀土元素配分模式图和微量元素蛛网图

Fig. 2 REE element distribution pattern and microelement spidergram of the rhyolites in Baiyingaolao formation

(a)—稀土元素配分模式图; (b)—微量元素蛛网图.

球粒陨石标准化值和原始地幔标准化值据文献[15]得到.

4 结 论

1) 本文高精度 U-Pb 定年结果显示, 白音高老组流纹岩形成年代分别为 $(131 \pm 2)\text{Ma}$ 和

$(136 \pm 1)\text{Ma}$, 2 个锆石样品都是典型的岩浆成因锆石, 所以定年结果代表了白音高老组流纹岩的形成时代. 晚侏罗世和早白垩世的界线为 $(145 \pm 0.8)\text{Ma}$, 因此大兴安岭中段柴河地区白音高老组流纹岩的形成年代应为早白垩世, 这与最新文献

中关于白音高老组时代归属的结论是一致的。

2) 白音高老组流纹岩富集大离子亲石元素 (Rb, Ba, K, Th 和 LREE), 亏损高场强元素 (Nb, Sr, P 和 Ti), 基性相容组分 Cr, Co, Ni 含量较低, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值明显高于原始地幔, $w(\text{Ti})/w(\text{Zr}) = 6.84 \sim 18.45 (< 20)$, 位于壳源岩浆范围内, 以上特征表明白音高老组流纹岩不是来源于地幔的部分熔融; 基性与酸性岩浆的混合会造成混合后岩浆中的 SiO_2 含量的降低和钙镁组分的升高, 而白音高老组流纹岩并没有出现这种情况, 因此白音高老组流纹岩不是来源于岩浆混合; 柴河地区的基性火山岩形成时代 (161 ± 3) Ma, 未发表数据) 与白音高老组流纹岩形成时代也不一致, 所以白音高老组流纹岩不是由基性岩浆分离结晶作用形成能的; 根据研究可知, $w(\text{Rb})/w(\text{Nb})$ 的比值有规律地从地幔岩石向上地壳岩石增高, 柴河地区白音高老组流纹岩平均 $w(\text{Rb})/w(\text{Nb})$ 比值 (11.5) 超过平均上地壳的 $w(\text{Rb})/w(\text{Nb})$ 比值 (4.5), 同时在 Nb/Y - Rb/Y 图中, 投影点落入上地壳演化区。综合以上特征可知, 大兴安岭中段柴河地区白音高老组流纹岩原始岩浆来源于上地壳岩石的部分熔融。

参考文献:

- [1] 邵积东, 王慧, 安存杰, 等. 大兴安岭北部地区晚侏罗世 - 早白垩世地层划分有关问题的讨论 [J]. 地层学杂志, 2005, 29 (sup1): 573 - 578.
(Shao Ji-dong, Wang Hui, An Cun-jie, et al. A discussion on the late Jurassic early Cretaceous stratigraphic division of the northern area of the Da Hinggan Mountains [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2005, 29 (sup 1): 573 - 578.)
- [2] 苟军, 孙德有, 赵忠华, 等. 满洲里南部白音高老组火山岩的形成时代与岩石成因 [J]. 岩石学报, 2010, 26 (1): 333 - 344.
(Gou Jun, Sun De-you, Zhao Zhong-hua, et al. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and petrogenesis of rhyolites in Baiyingaolao Formation from the southern Manzhouli, Inner-Mongolia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26 (1): 333 - 344.)
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Ying J F, Zhou X H, Zhang L C, 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.
- [7] Xu W L, Pei F P, Wang F, et al. Spatial-temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China: constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic regimes [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 74 (18): 167 - 193.
- [8] Zhang J H, Ge W C, Wu F Y, et al. Mesozoic bimodal volcanic in Zhalantun of the Da Hinggan Rang and its geological significance: zircon U-Pb age and Hf isotopic constraints [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80 (1): 58 - 69.
- [9] 王建国, 和钟铎, 许文良. 大兴安岭南部钠闪石流纹岩的岩石成因: 年代学和地球化学证据 [J]. 岩石学报, 2013, 29 (3): 853 - 863.
(Wang Jian-guo, He Zhong-hua, Xu Wen-liang. Petrogenesis of riebecki rhyolites in the southern Da Hinggan Mts.: geochronological and geochemical evidence [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29 (3): 853 - 863.)
- [10] 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.
- [11] Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) to in situ U-Pb zircon geochronology [J]. *Chemical Geology*, 2004, 211 (1/2): 47 - 69.
- [12] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192 (1): 59 - 79.
- [13] Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Geostandard Newsletter; the Journal of Geostandards and Geoanalysis*, 2004, 28 (3): 353 - 370.
- [14] 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 Special Publication, 1989: 313 - 345.
- [15] 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.