

# 大兴安岭柴河流纹质碎斑熔岩 锆石 U-Pb 定年及成因探讨

司秋亮<sup>1</sup>, 崔天日<sup>2</sup>, 王恩德<sup>1</sup>, 门业凯<sup>1</sup>

(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)

**摘 要:** 为了研究大兴安岭柴河地区流纹质碎斑熔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分析。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示,柴河流纹质碎斑熔岩形成于年龄为 135 ~ 138 Ma 的早白垩世。岩石地球化学研究表明,柴河流纹质碎斑熔岩具有高硅富碱、贫钙镁的特征;稀土丰度总量  $\Sigma \text{REE}$  介于  $150.1 \times 10^{-6} \sim 191.5 \times 10^{-6}$ ,轻重稀土分馏明显,  $m(\text{La})/m(\text{Yb})_{\text{N}} = 11.8 \sim 14.45$ , Eu 负异常 ( $\delta_{\text{Eu}} = 0.59 \sim 0.75$ );微量元素以富集 Rb, Ba, K, 亏损 Nb, P 和 Ti 为特征,与 I 型花岗岩相似;碎斑熔岩原始岩浆来源于地壳岩石的部分熔融。

**关 键 词:** 流纹质碎斑熔岩; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; 大兴安岭; 柴河地区

中图分类号: P 588.141; P 597.3 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2014)03-0443-04

## Zircon U-Pb Dating and Petrogenesis of the Rhyolitic Porphyroclastic Lava in Chaihe Area, Daxinganling Mountains

SI Qiu-liang<sup>1</sup>, CUI Tian-ri<sup>2</sup>, WANG En-de<sup>1</sup>, MEN Ye-kai<sup>1</sup>

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

**Abstract:** In order to study the formation age and petrogenesis of the rhyolitic porphyroclastic lava in Chaihe area, Daxinganling mountains, zircon U-Pb isotopic dating and geochemical analysis were used. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results show that Chaihe rhyolitic porphyroclastic lava formed in early cretaceous from 135 to 138 Ma. The geochemical study show that characteristics of the rhyolitic porphyroclastic lava have high silicon and alkalis, poor calcium and magnesium. The total REE abundances ranged from  $150.1 \times 10^{-6} \sim 191.5 \times 10^{-6}$ , highly fractionated LREE from HREE [ $m(\text{La})/m(\text{Yb})_{\text{N}} = 11.8 \sim 14.45$ ] and negative Eu anomalies ( $\delta_{\text{Eu}} = 0.59 \sim 0.75$ ). The trace elements are characterized evidently by enrichment of Rb, Ba, K, strong depletion of Nb, P, Ti. The geochemical characteristics show similarity with the I-type granite. The porphyroclastic lava's original magma is chiefly derived from partial melting of crust.

**Key words:** rhyolitic porphyroclastic lava; zircon U-Pb dating; geochemistry; Daxinganling Mountains; Chaihe area

“碎斑熔岩”一词为 20 世纪 60 年代由福建省区测队首次创名为“显微粒状碎斑酸性熔岩”,70 年代将其正式命名为“粒状碎斑熔岩”。80 年代以后,中国东南沿海、内蒙古正镶白旗等地先后发现碎斑熔岩<sup>[1-2]</sup>,但是在大兴安岭柴河地区发

现碎斑熔岩还属首次。笔者对柴河碎斑熔岩的地貌特征和岩石学特征进行了详细的描述<sup>[3]</sup>,但是关于柴河碎斑熔岩的形成时代、岩浆来源和构造背景,一直还有争论,由此看来,在该区开展年代学和岩石成因研究已十分必要。近几年来,笔者对

收稿日期: 2013-06-12

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); 中国地质调查局基础地质调查成果集成与综合研究项目(1212011121134)。

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工程师;王恩德(1965-),男,辽宁大连人,东北大学教授,博士生导师。

柴河流纹质碎斑熔岩作了一些锆石 U - Pb 同位素年龄测试和地球化学分析,根据这些资料,对碎斑熔岩的形成时代和岩石成因提出一些看法,为以后的工作提供了新的支持.

# 1 区域地质概况及岩石学特征

研究区大地构造位置属于兴蒙造山带东段,中生代隶属于滨西太平洋中新代巨型火山岩带大兴安岭火山岩带次一级柴河 - 济沁河火山喷发带,由二十四道沟、敖尼尔 - 四道沟和柴河 - 固里河 3 个以伸展为主的构造背景下形成的火山喷发盆地构成. 区内晚中生代火山活动强烈,主要由晚侏罗世满克头鄂博组 ( $J_3m$ ) 流纹质熔岩及碎屑岩、玛尼吐组 ( $J_3mn$ ) 安山质熔岩及碎屑岩、早白垩世白音高老组 ( $K_1b$ ) 流纹质熔岩及碎屑岩构成. 碎斑熔岩体在柴河地区广泛分布,平面上呈北东向和东西向的椭圆形. 碎斑熔岩体沿多条裂隙和中心 - 裂隙式火山通道侵出而成,在剖面上呈多条宽窄不一的内倾的蘑菇状或漏斗状. 岩体宏观上具有分带性,可划分出内部相、过渡相、边缘相 3 个相带<sup>[3]</sup>.

碎斑熔岩的碎斑矿物成分体积分数一般为 30% ~ 50%,局部可达 65% 以上,以流纹质为主,英安质次之;斑晶矿物主要由石英、钾长石、斜长石及少量黑云母、角闪石、辉石构成. 碎斑熔岩具有熔岩和碎屑岩的双重结构,碎斑结构是主体结构 and 标型结构;基质主要为玻璃质、霏细质和显微粒状结构.

# 2 锆石年龄 U - Pb 测定

## 2.1 分析方法

锆石分选工作在河北省廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司完成,锆石制靶在北京凯德正科技有限公司完成,阴极发光图像采集、U - Pb 年龄测定在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成. 锆石数据分析采用 Thermo Element II 及配套的 New Wave UP213 激光剥蚀系统,激光剥蚀所用光束斑直径为 30  $\mu\text{m}$ ,采用高纯度 He 气作为剥蚀物质的载体. 测试过程中在每测定 10 个样品前后重复测定 1 个锆石 91 500 对样品进行校正,并测量 1 个锆石 Plesovice,观察仪器的状态以保证测试的精确度. 测试结果通过 GLITTER 软件<sup>[4]</sup>计算得出,实验获得的数据采用文献<sup>[5]</sup>中的方法进行同位素比值的校正以扣除普通 Pb 的影响,谐和图的绘制采用 Isoplot ( ver2. 06 ) 完成. 详细的实验原理和流程见文献<sup>[6]</sup>.

## 2.2 年龄测定结果

本文对 2 个碎斑熔岩样品 ( PM10RZ13, PM10RZ23 ) 进行了 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 同位素分析,分析结果如图 1 所示. 立体显微镜和 CL 图像显示,所测碎斑熔岩样品锆石多为无色透明 - 褐色,颗粒晶型较好,呈短柱状或长柱状,具有明显岩浆成因的震荡生长环带结构. 2 个样品锆石 Th 和 U 质量比均大于 0. 1,分别为 0. 52 ~ 1. 69 和 0. 56 ~ 1. 20,为典型的岩浆成因锆石<sup>[7]</sup>.

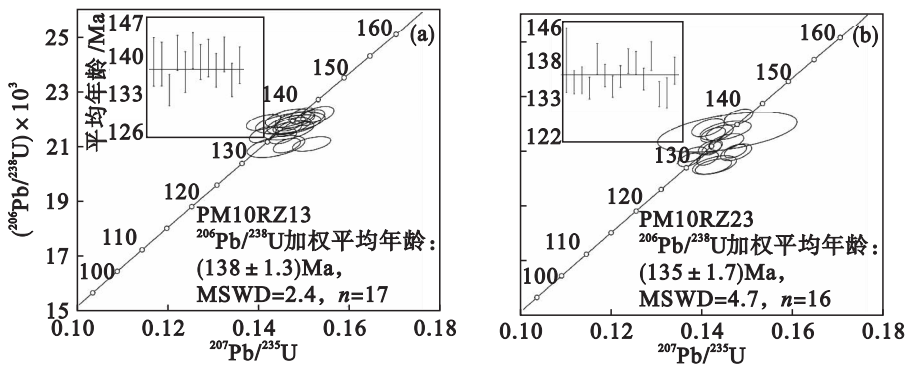


图 1 柴河流纹质碎斑熔岩 U - Pb 年龄谐和图  
Fig. 1 U - Pb concordia diagrams of the rhyolitic porphyroclastic lava in Chaihe area  
(a) — PM10RZ13; (b) — PM10RZ23.

PM10RZ13 样品中锆石 17 个分析点均位于 U - Pb 谐和线上或其附近,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄介于 134 ~ 142 Ma 之间,其加权平均值为 ( 138 ± 1. 3 ) Ma,MSWD = 2. 4.

PM10RZ23 样品中锆石 16 个分析点均位于 U - Pb 谐和线上或其附近,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄介于 130 ~ 142 Ma 之间,其加权平均值为 ( 135 ± 1. 7 ) Ma,MSWD = 4. 7.

U-Pb 测年结果表明,柴河流纹质碎斑熔岩形成于 135 ~ 138 Ma 之间的早白垩世。

### 3 地球化学特征

本文共取 6 个样品进行地球化学测试,测试结果可知:柴河流纹质碎斑熔岩 SiO<sub>2</sub> 质量分数较高,介于 67.65% ~ 69.94%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 介于 14.18% ~ 15.68%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) = 8.0\% \sim 8.13\%$ , $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O}) = 0.82 \sim 1.03$ ,MgO 介于 0.69% ~ 1.07%,CaO 介于 1.42% ~ 1.85%。所有样品的 A/CNK 变化范围为 1.02 ~ 1.13,是弱过铝-过铝质岩石。在 TAS 火山岩分类命名图解中,大部分样品均落入亚碱性系列的流纹岩范围内,属于高钾钙碱性系列。通过 Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O 图解和 Zr-SiO<sub>2</sub> 图解可知,所有样品的岩石化学参数点都落于 I 型花岗岩区域,表明其具有 I 型花岗

岩的成分特征。

柴河流纹质碎斑熔岩稀土元素总量  $m(\sum \text{REE}) = 150.1 \times 10^{-6} \sim 191.5 \times 10^{-6}$ ,所有样品具有相同的变化趋势,具有轻稀土元素富集的右倾特征。轻重稀土分馏明显,分馏系数  $m(\text{La})/m(\text{Yb})_{\text{N}}$  为 11.8 ~ 14.45,重稀土分配较为平坦(图 2a),铕负异常, $\delta_{\text{Eu}}$  为 0.59 ~ 0.75,反映岩浆源区有斜长石残留或岩浆经历了斜长石的分离结晶作用。在微量元素原始地幔蛛网图上所有样品的分布形式相似(图 2b),富集大离子亲石元素(LILE),如 Rb,Ba,K 和 LREE,亏损高场强元素(HFSE),如 Nb,P 和 Ti,这些特点暗示岩浆可能来源于地壳。 $w(\text{Ti})/w(\text{Zr}) = 15.28 \sim 17.55 (< 20)$ ,位于壳源岩浆范围内<sup>[10]</sup>; $w(\text{Nd})/w(\text{Th})$  比值为 2.29 ~ 2.69 (平均为 2.43),接近壳源岩石的比值( $\approx 3$ )<sup>[11]</sup>。

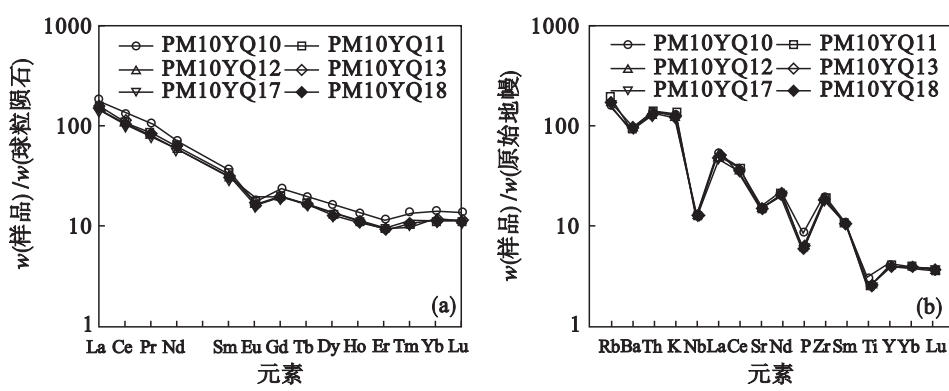


图2 柴河流纹质碎斑熔岩稀土元素配分模式图和微量元素蛛网图  
Fig. 2 Chondrite-normalized REE distribution pattern and primitive mantle-normalized spidergram of Chaihe rhyolitic porphyroclastic lava  
(a) — 据文献[8]得的球粒陨石标准化值; (b) — 据文献[9]得的原始地幔标准化值。

### 4 结 论

1) 本文高精度 U-Pb 定年结果显示,柴河流纹质碎斑熔岩形成年代分别为  $(138 \pm 1.3) \text{ Ma}$  和  $(135 \pm 1.7) \text{ Ma}$ , 2 个锆石样品都具有典型岩浆成因特征( $m(\text{Th})/m(\text{U})$  比值均大于 0.1), 这意味着其定年结果代表了火山岩的形成时代。2013 年最新的国际地层年代表中晚侏罗世和早白垩世的界线为  $(145 \pm 0.8) \text{ Ma}$ , 因此柴河流纹质碎斑熔岩的形成年代应应为早白垩世。

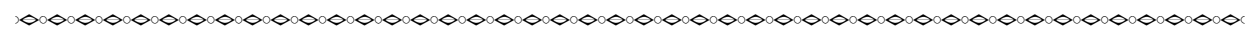
2) 柴河流纹质碎斑熔岩富集 Rb,Ba,K 等大离子亲石元素和 LREE, 亏损 Nb,P 和 Ti 等高场强元素。 $w(\text{Ti})/w(\text{Zr})$  比值位于壳源岩浆范围内; $w(\text{Nd})/w(\text{Th})$  比值接近壳源岩石的比值, 这

些特征与富集型岩石圈地幔部分熔融的成因模式并不吻合;同时研究区的基性火山岩与碎斑熔岩的形成时代不一致,可以排除碎斑熔岩由基性岩浆分离结晶作用所成的可能性;而且,基性与酸性岩浆的混合会造成混合后岩浆中的钙镁组分升高和 SiO<sub>2</sub> 含量的降低,实际情况却并非如此,因此可以排除岩浆混合的成因模式。综合以上特征可知,柴河流纹质碎斑熔岩原始岩浆来源于地壳岩石的部分熔融。

### 参考文献:

[1] 陶奎元,黄光昭,王美星,等. 中国东南部碎斑熔岩基本特征及成因基理的探讨[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊,1985,6(1):1-19.  
(Tao Kui-yuan, Huang Guang-zhao, Wang Mei-xing, et al.

- The characteristic and genetic mechanism of porphyroclastic lava in southeastern China [J]. *Bulletin Nanjing Institute of Geology and Mineral Resource, Chinese Academy Geological Science*, 1985, 6(1):1–19. )
- [ 2 ] 赖绍聪,徐海江. 内蒙古镶白旗碎斑熔岩长石特征及其岩石学意义[J]. *矿物学报*, 1990, 12(1):26–35.  
(Lai Shao-cong, Xu Hai-jiang. Features and petrologic significance of feldspars in porphyroclastic lava from Baiqi area, Inner Mongolia [J]. *Acta Mineralogical Sinica*, 1990, 12(1):26–35. )
- [ 3 ] 崔天日,杨芳林,司秋亮,等. 大兴安岭中段柴河地区碎斑熔岩的发现及其意义[J]. *地质与资源*, 2012, 21(1):35–41.  
(Cui Tian-ri, Yang Fang-lin, Si Qiu-liang, *et al.* Discovery and significance of the porphyroclastic lava in Chaihe area, middle Daxinganling Mountains[J]. *Geology and Resources*, 2012, 21(1):35–41. )
- [ 4 ] 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, 211:47–69.
- [ 5 ] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report 204 Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192:59–79.
- [ 6 ] Yuan H L, Gao S, Liu X M, *et al.* Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser blation inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Geostandard Newsletter; the Journal of Geostandards and Geoanalysis*, 2004, 28:353–370.
- [ 7 ] 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, 143:602–622.
- [ 8 ] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [M]//Rare Earth Element Geochemistry. New York: Elsevier Science Publishing Company Inc, 1984:63–114.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 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.
- [ 11 ] Bea F, Arzamastsev A, Montero P, *et al.* Anomalous alkaline rocks of Soustov, Kola: evidence of mantle-derived metasomatic fluids affecting crustal materials [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2001, 140:554–556.



(上接第 442 页)

- [ 7 ] 董明晓,郑康平. 一种点云数据噪声点的随机滤波处理方法[J]. *中国图像图形学报*, 2004, 9(2):245–248.  
(Dong Ming-xiao, Zheng Kang-ping. A random filter algorithm for reducing noise error of point cloud data [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(2):245–248. )
- [ 8 ] 王青,李江雄,柯映林,等. 曲面上曲线约束变形及光顺技术研究[J]. *浙江大学学报:工学版*, 2008, 42(9):1573–1579.  
(Wang Qing, Li Jiang-xiong, Ke Ying-lin, *et al.* Constrained deformation and smoothing technique of discrete curve on surface [J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2008, 42(9):1573–1579. )
- [ 9 ] Song H, Feng H Y. A progressive point cloud simplification algorithm with preserved sharp edge data [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, 45(5):583–592.
- [ 10 ] Pingbo T, Akinci B, Huber D. Quantification of edge loss of laser scanned data at spatial discontinuities [J]. *Automation in Construction*, 2009, 18(8):1070–1083.
- [ 11 ] Dyn N, Levin D. A 4-point interpolation subdivision scheme for curve design [J]. *Computer Aided Geometric Design*, 1987, 4(4):257–268.