第 31 卷第 1 期 地 质 与 资 源 Vol. 31 No. 1
2022 年 2 月 GEOLOGY AND RESOURCES Feb. 2022
文章编号:1671-1947(2022)01-0001-12 中图分类号:P534.52;P597 开放科学标志码(OSID):
DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2022.01.001 文献标志码:A

大兴安岭北部新林地区早侏罗世火山岩的发现及其地质意义

刘 涛[1],吉 峰[2],王文东[1],王久懿[1],赵喜东[1]
1. 中国地质调查局 哈尔滨自然资源综合调查中心,黑龙江 哈尔滨 150086;
2. 大庆油田第三采油厂地质研究所,黑龙江 大庆 163000

摘 要: 大兴安岭北部新林地区战备村一带新发现早侏罗世酸性火山岩. 共测试 2 个锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄. 第一个测年样品为绢英岩化流纹岩,谐和图上测点偏离谐和线右侧为典型的不谐和年龄,与谐和线相交年龄为 192.0±1 Ma,MSWD=1.2,为流纹岩喷出后的冷却结晶年龄;第二个测试样品为弱硅化流纹岩,谐和年龄为 178.0±1 Ma,系微量放射性 Pb 丢失的结果,其成岩时代为应与绢英岩化流纹岩时代相近. 岩石化学及地球化学具有高 Ti 流纹岩和 I 型流纹岩特征. 流纹岩的 $Mg^{\#}$ 值(0.43~0.73)及 CIWP 标准矿物中紫苏辉石含量(0.25%~0.96%)佐证了流纹岩是由基性岩浆的结晶-分异演化而来.

关键词: 早侏罗世;流纹岩;锆石年龄;地球化学;大兴安岭

DISCOVERY OF THE EARLY JURASSIC VOLCANIC ROCKS IN XINLIN AREA OF NORTHERN DAXINGANLING MOUNTAINS: Geological Implication

LIU Tao[1], JI Feng[2], WANG Wen-dong[1], WANG Jiu-yi[1], ZHAO Xi-dong[1]
1. *Harbin Center of Comprehensive Natural Resources Survey, CGS, Harbin* 150086, *China*;
2. *No.* 3 *Oil Production Plant Geological Institute of Daqing Oilfield Ltd., Co., Daqing* 163000, *Heilongjiang Province, China*

Abstract: The Early Jurassic acid volcanic rocks are newly discovered in Zhanbeicun Formation of Xinlin area in northern Daxinganling Mountains, from which two samples of zircon LA-ICP-MS U-Pb ages are determined. The first is sericitized rhyolite, with the testing point deviating to the right side of concordant curve on the concordia diagram — a typical discordant age, yielding the intersecting age with concordant curve of 192.0±1 Ma (MSWD=1.2), which is the cooling crystallization age of rhyolites after extrusion. The second one is weakly silicified rhyolite with a concordant age of 178.0±1 Ma, which is the result of the loss of radioactive trace element Pb, and the rock-forming age should be close to that of the sericitized rhyolite. The volcanic rocks are petrochemically and geochemically characterized by high Ti rhyolite and I-type rhyolite. The $Mg^{\#}$ value of the rhyolite (0.43–0.73) and content of hypersthene in CIWP norm minerals (0.25%–0.96%) support that the rhyolite is derived from crystallization-differentiation of basic magma.

Key words: Early Jurassic; rhyolite; zircon age; geochemistry; Daxinganling Mountains

0 引言

大兴安岭中生代火山岩呈北北东向叠加于近东西向的古亚洲洋构造域陆相火山岩之上. 大兴安岭中生代火山岩带火山地层的划分始于 20 世纪 70 年代,由

收稿日期:2021-08-09;**修回日期:**2021-10-15. **编辑:**张哲.
基金项目:中国地质调查局项目"黑龙江大兴安岭战备村(M51E001017)、二中队幅(M51E001018) 1:5 万区域地质矿产调查"(编号 12120113072400).
作者简介: 刘涛 (1975—), 男, 高级工程师, 从事区域地质矿产调查研究工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市南岗区保健副路 1 号,E-mail//huangjinliutao@163.com

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

于工作单位较多、工作年代不同,加之研究方法各异及工作地域所限,建立了较多的地层单位. 以往工作对这套火山岩的研究程度较低,但多数研究者认为其喷发活动始于塔木兰沟组($J_{2-3}t$),结束于早白垩世甘河组(K_1g,黑龙江)、梅勒图组(K_1m,内蒙古). 近些年对大兴安岭北部开展的 1∶5 万矿产资源调查,特别是锆石 U-Pb 微区测年方法的应用,对这套中生代陆相火山岩的形成时代、岩石地球化学及成因等方面有了全新的认识. 有关这套中生代火山岩形成的构造背景主要有古太平洋板块俯冲,蒙古-鄂霍次克洋演化和地幔柱成因 3 种观点.

2013—2015 年在大兴安岭新林地区战备村一带开展的中国地质调查局 1∶50 000 区域地质矿产调查❶工作中,对出露于该区曼拉开河上游南岸的酸性火山岩采集了两件锆石 U-Pb 微区测年样品. 第一件样品(PM004TC96)地理坐标为 124°02′50″E,51°52′44″N;第二件样品(PM004TC60)地理坐标为 124°01′47″E,51°51′44″N. 测年结果表明该区出露有一套早侏罗世酸性火山岩.

1 区域地质概况

研究区古生界出露区属于东亚造山带东段,中生界出露于东亚大陆边缘大兴安岭中生代火山岩带的北段. 研究区域位于额尔古纳地块与兴安陆缘增生带(造山带)结合带的额尔古纳地块一侧,中生代大兴安岭火山岩带北东东向上叠于额尔古纳地块-兴安陆缘增生带(造山带)之上.

1.1 额尔古纳地块

额尔古纳地块主要由新元古代兴华渡口岩群(Pt_3Xh)和新元古代侵入岩构成[1]. 此外,额尔古纳地块上还大规模发育有 510~450 Ma 花岗岩类[2]. 兴华渡口岩群主要岩石类型有斜长角闪岩、变粒岩、浅粒岩、片岩、大理岩,经历了低角闪岩相变质作用,普遍发育混合岩化[2-3]. 岩石组合上,下部为钙碱性的基性—中酸性火山岩建造,上部为陆屑-碳酸盐岩复理石沉积建造,反映了活动大陆边缘的构造环境[4-5]. 新元古代侵入岩组合为辉长岩($Pt_3\upsilon$)、石英二长闪长岩($Pt_3\eta\delta$)、花岗闪长岩($Pt_3\gamma\delta$)、花岗岩($Pt_3\gamma$). 额尔古纳地块与兴安陆缘增生带(造山带)以新林-喜桂图旗深断裂相隔[6].

1.2 兴安陆缘增生带(造山带)

兴安陆缘增生带(造山带)曾被部分学者称为兴安地块,近些年随着研究程度的深入[7-14],将传统认为的变质基底确认为中生代大兴安岭隆升相伴产出的变质核杂岩. 兴安陆缘增生带(造山带)是额尔古纳地块向南增生的产物.

早—中奥陶纪,于多宝山一带形成岛弧,铜山组、多宝山组为典型的岛弧产物,研究区东部的兴隆地区相当于弧后盆地. 中奥陶纪之后,古亚洲洋演化进入了残余(洋)盆地阶段,各个残余盆地的规模、大小不一,演化特征也不尽相同,盆地的消亡、陆-陆碰撞的时限不尽相同. 早石炭世末,研究区内古亚洲洋全域封闭,完成了其演化历史.

1.3 大兴安岭中生代火山岩带

大兴安岭中生代火山岩带是大陆构造的产物. 对大兴安岭中生代火山岩地层的系统对比始于 20 世纪 80 年代各省(区)编制的地质志,之后经历各省(区)的岩石地层清理. 2013 年武警黄金三支队开展大兴安岭富西里地区地质矿产调查工作时❷,提出新的对比方案[9](表 1).

研究区位于北北东向大兴安岭中生代火山岩带的东北端,大乌苏地区被大兴安岭中生代火山岩覆盖全区(图 1). 区内自西南向东北主要出露有塔木兰沟组中基性火山岩、满克头鄂博组(J_3m)酸性火山岩、玛尼图组(J_3mn)中性火山岩和零星分布的白音高老组(K_1b)中酸性火山岩,在图幅西南部的塔木兰沟组下部出露一套酸性火山岩(现命名为战备村组).

近年来,单颗粒锆石原位微区 U-Pb 定年方法的应用,为大兴安岭造山带中生代火山岩的研究、对比创造了新的契机.

2 早侏罗世火山岩特征

2.1 岩石学特征

早侏罗世战备村组(J_1z)主要由酸性火山岩组成,样品采自新林区曼拉开河上游南岸 PM004 剖面(图 2). 岩石类型为一套浅灰、灰白色流纹质火山碎屑岩及部

❶武警黄金第三支队. 1∶50 000 战备村幅、二中队幅区域地质矿产调查报告. 2015.

❷武警黄金第三支队. 1∶50 000 十里长岭幅、富西里幅、陡岸山幅、瓦拉里幅地质矿产调查报告. 2013.

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

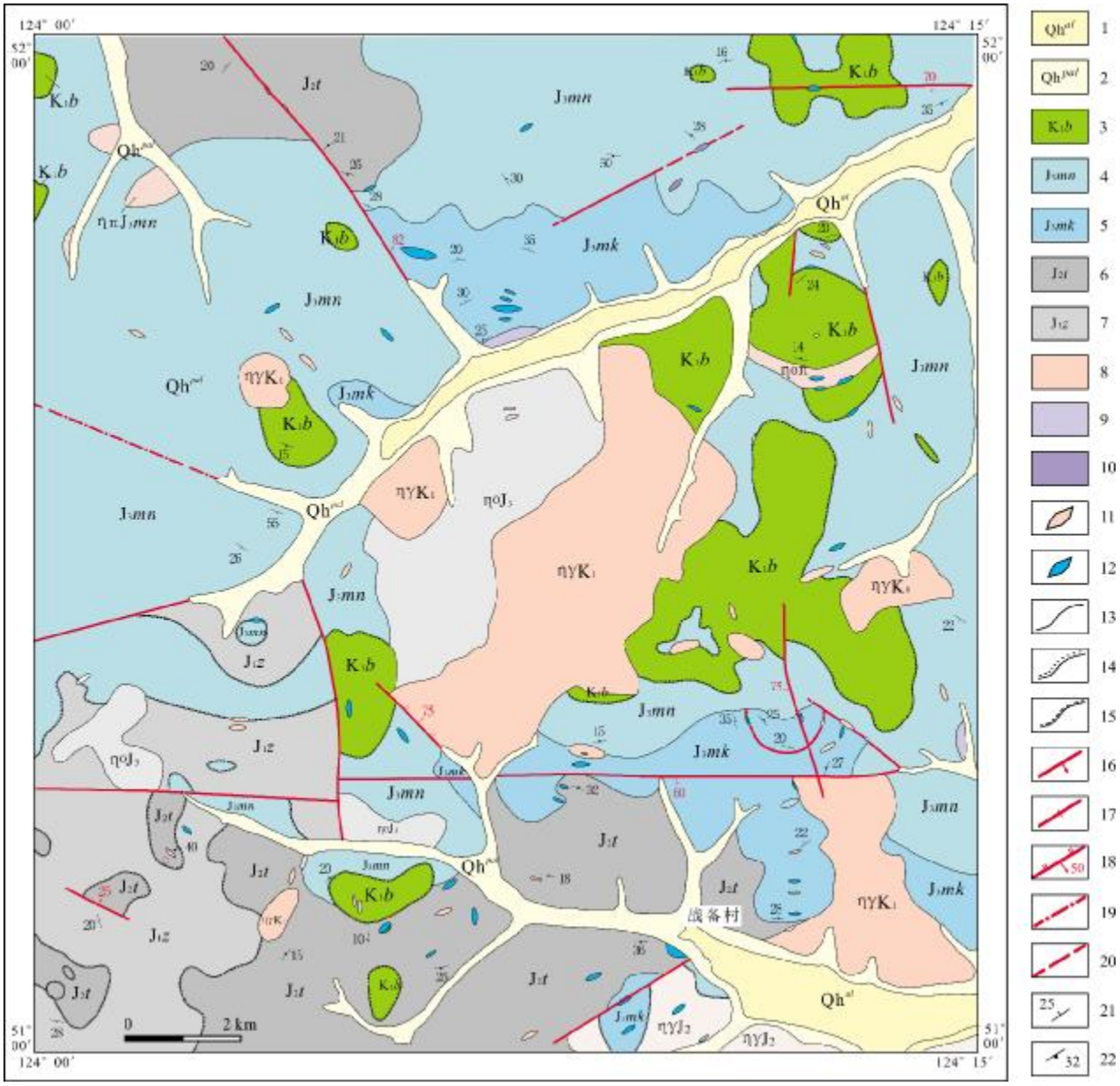

图 1　大兴安岭新林地区地质图

Fig. 1　Geological map of Xinlin area in Daxinganling Mountains

1—现代河床及低河漫滩堆积物(modern riverbed and low floodplain accumulation); 2—高河漫滩堆积物(high floodplain accumulation); 3—白音高老组(Baiyingaolao fm.); 4—玛尼吐组(Manitu fm.); 5—满克头鄂博组(Manketouebo fm.); 6—塔木兰沟组(Tamulangou fm.); 7—战备村组(Zhanbeicun fm.); 8—似斑状细中粒二长花岗岩 (porphyritic fine-medium grain monzogranite); 9—似斑状细中粒石英二长闪长岩 (porphyritic fine-medium grain quartz monzodiorite); 10—细粒黑云母二长花岗岩(fine grain biotite monzogranite); 11—石英二长岩脉(quartz monzonite dike); 12—闪长岩脉(diorite dike); 13—地质界线(geological boundary); 14—角度不整合界线(angular unconformity); 15—平行不整合界线(parallel unconformity); 16—实测性质不明断层(surveyed unidentified fault); 17—火山机构断裂(volcanic edifice fault); 18—正断层及倾角(normal fault and dip angle); 19—物探推测断层(geophysically inferred fault); 20—推测性质不明断层(inferred unidentified fault); 21—地层产状(formation occurrence); 22—流理产状(flow occurrence)

分流纹岩、碎屑熔岩夹少量沉凝灰岩(图 3),岩石多见石英晶屑和石英斑晶, 不同程度发育绢云母化和碳酸盐化, 成层性较好. 火山碎屑岩主要为含角砾熔结凝灰岩,角砾成分主要为花岗岩、流纹岩.

第一件锆石 U-Pb 微区测年样品(PM004TC60)岩性为绢英岩化流纹岩,斑状结构,基质为霏细—显微晶

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

表 1 大兴安岭中生代火山岩地层对比新方案

Table 1 Correlation of the Mesozoic volcanic strata in Daxinganling Mountains

内蒙古自治区地质矿产局(1982)				黑龙江省地质矿产局(1982)	内蒙古自治区地质矿产局(1982)	内蒙古自治区地质矿产局(1996)	黑龙江省地质矿产局(1996)	张立东(2010)	邵积东(2010)		武警黄金第三支队(2012)	同位素测年及化石
大兴安岭中南部		大兴安岭北部										
上侏罗统		欧肯河组	下白垩统							下白垩统	孤山镇组	114 Ma osestherlia 130 Ma
	梅勒图组	伊列克得组		甘河组	伊列克得组	甘河组	甘河组	甘河组	甘河组		甘河组/九峰山组	
				九峰山组		大磨拐河组	九峰山组		大磨拐河组			
		上库力组		光华组	上库力组	梅勒图组/龙江组	光华组	龙江组	梅勒图组		光华组	
	白音高老组	七一牧场组		龙江组	玄武岩组		龙江组				龙江组(玄武岩组)	
		木瑞组	上侏罗统	木瑞组/王福店组	木瑞组	白音高老组	白音高老组	白音高老组	白音高老组	下白垩统—上侏罗统	白音高老组	135 Ma Nestoria 150 Ma
	玛尼吐组	吉祥峰组		吉祥峰组	吉祥峰组	玛尼吐组		玛尼吐组	玛尼吐组		玛尼吐组	
	满克头鄂博组					满克头鄂博组		满克头鄂博组	满克头鄂博组		满克头鄂博组	
		塔木兰沟组		塔木兰沟组	塔木兰沟组	土城子组	塔木兰沟组	塔木兰沟组	土城子组	中侏罗统	呼中组/塔木兰沟组	155~168 Ma
						塔木兰沟组			塔木兰沟组			

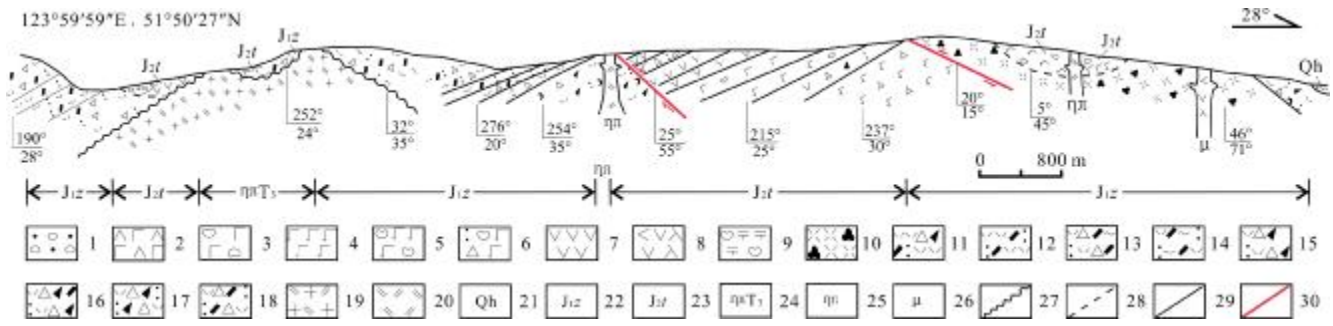

图 2 新林区曼拉开河上游南岸侏罗系战备村组剖面图(PM004)

Fig. 2 Profile of Jurassic Zhanbeicun Formation on the south bank of Manlakai River in Xinlin area

1—第四系冲洪积物(Quaternary alluvium-diluvium); 2—橄榄玄武岩(olivine basalt); 3—杏仁状玄武岩(amygdaloid basalt); 4—玄武安山岩(basaltic andesite); 5—杏仁状玄武安山岩(amygdaloid basaltic andesite); 6—杏仁状玄武安山质角砾凝灰熔岩(amygdaloid basaltic andesitic brecciated tuff lava); 7—安山岩 (andesite); 8—角闪安山玢岩 (hornblende andesitic porphyrite); 9—杏仁状粗安岩 (amygdaloid trachyandesite); 10—球粒流纹岩(spherulite rhyolite); 11—流纹质角砾岩屑晶屑凝灰熔岩 (rhyolitic brecciated lithic-crystal tuff lava); 12—流纹质晶屑凝灰熔岩 (rhyolitic crystal tuff lava); 13—流纹质角砾晶屑熔结凝灰岩(rhyolitic brecciated crystal ignimbrite); 14—流纹质晶屑熔结凝灰岩(rhyolitic crystal ignimbrite); 15—流纹质角砾岩屑玻屑凝灰岩(rhyolitic brecciated lithic-vitric tuff); 16—流纹质角砾岩屑晶屑凝灰岩(rhyolitic brecciated lithic-crystal tuff); 17—流纹质角砾岩屑凝灰岩(rhyolitic brecciated lithic tuff); 18—流纹质角砾晶屑凝灰岩(rhyolitic brecciated crystal tuff); 19—二长花岗岩(monzogranite); 20—二长斑岩(monzoporphyry); 21—第四系(Quaternary); 22—战备村组(Zhanbeicun fm.); 23—塔木兰沟组(Tamulangou fm.); 24—晚二叠世二长花岗岩(Late Permian monzogranite); 25—二长斑岩(monzoporphyry); 26—玢岩(porphyrite); 27—角度不整合(angular unconformity); 28—平行不整合(parallel unconformity); 29—地质界线(geological boundary); 30—实测断层(surveyed fault)

质结构,局部具粒状变晶结构(后期蚀变特征),致密块状构造. 矿物成分,斑晶为石英、少量钾长石等. 其中,石英呈他形粒状,边缘熔蚀呈浑圆状、港湾状,无色透明,颗粒大小为 0.3~1.6 mm,含量为 3%;钾长石为正

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

长石,自形—半自形板状、板粒状,边缘具熔蚀现象,颗粒晶面泥化、弱绢云母化而较为混浊,多数不显双晶,少数可见卡氏双晶较模糊显示,颗粒大小为 0.2~1.8 mm,含量为 2%. 基质由霏细状—显微晶质的长石、石英,镶嵌粒状石英集合体和少量金属矿物磁铁矿等组成. 其中镶嵌粒状石英集合体呈不规则状杂乱分布,系弱硅化的产物,含量约为 95%. 手标本发育少量孔洞,呈不规则状,孔壁生长石英晶簇,构成晶洞、晶簇构造.

第二件锆石 U-Pb 微区测年样品(PM004TC96)岩性为弱硅化流纹岩,斑状结构,基质为霏细—显微结构,由于遭受后期绢云母化蚀变,局部表现为晶质鳞片粒状变晶结构,致密块状构造. 矿物成分,斑晶为钾长石、斜长石,少量石英等. 其中,钾长石为正长石,呈半自形—他形板粒状,颗粒晶面泥化而较为混浊,颗粒大小为 0.2~1.0 mm,含量为 2%;斜长石为更-中长石,自形—半自形板状、板粒状,颗粒晶面泥化而较为混浊,细而密的聚片双晶较模糊显示,颗粒大小为 0.2~1.0 mm,含量为 1%;石英多熔蚀成次圆状、不规则状,无色透明,颗粒大小为 0.2~0.3 mm,少量. 基质由次圆状、不规则状石英或石英集合体、鳞片状绢云母、部分隐晶质及少量磁铁矿等组成,以混晶集合体的形式分布,含量为 97%.

2.2　锆石 LA-ICP-MS 年代学

2.2.1　分析方法

测试样品在河北省区域地质调查研究所进行粉碎、分选,挑选出晶形和透明度较好、无明显裂痕和包裹体的锆石颗粒,进行透射光和后射光图象的采集;在国土资源部华北矿产资源监督检测中心进行锆石阴极发光(CL)图像的采集. 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析在国土资源部华北矿产资源监督检测中心进行,使用标准锆石 91500 进行分馏校正,标准锆石TEMORA1 作为未知样品测定,获得的年龄为 415±4 Ma. 激光束束斑为 30 μm. 实验获得的数据采用 Andersen[15]的方法进行同位素比值校正,以扣除普通 Pb 的影响,然后用 ISOPLOT 宏程序进行年龄谐和图的生成和处理,所给定的同位素比值和年龄的误差(标准误差)在 1σ 水平.

2.2.2　锆石特征

绢英岩化流纹岩(PM004TC60)中锆石在阴极发光图像(图 4a)上多呈短柱状,少数呈长柱状,长 50~100 μm,长宽比为 2∶1~1∶1. 多数锆石发育震荡环带,显示出岩浆锆石的特点. 该样品共测试 31 个测点,主要选择在震荡环带区域,测试结果如表 2(扫描首页 OSID 二维码可见). 31 个锆石的 Th/U 比值 20 号测点为 0.063,其他在 0.315~0.854 之间,表明为岩浆锆石. 31 个锆石的 $^{206}Pb/^{238}U$、$^{207}Pb/^{235}U$、$^{207}Pb/^{206}Pb$ 三组年龄值差别很大,表现为 $^{206}Pb/^{238}U<^{207}Pb/^{235}U<^{207}Pb/^{206}Pb$,表明锆石 U-Pb 体系自形成以来未能保持封闭状态,可能遭受后期热液改造,导致放射性 Pb 大量丢失,为典型的不谐和年龄. 谐和图上测点偏离谐和线右侧,与谐和线相交年龄为 192.0±1 Ma,MSWD=1.2(图 5a),为流纹岩喷出后的冷却结晶年龄.

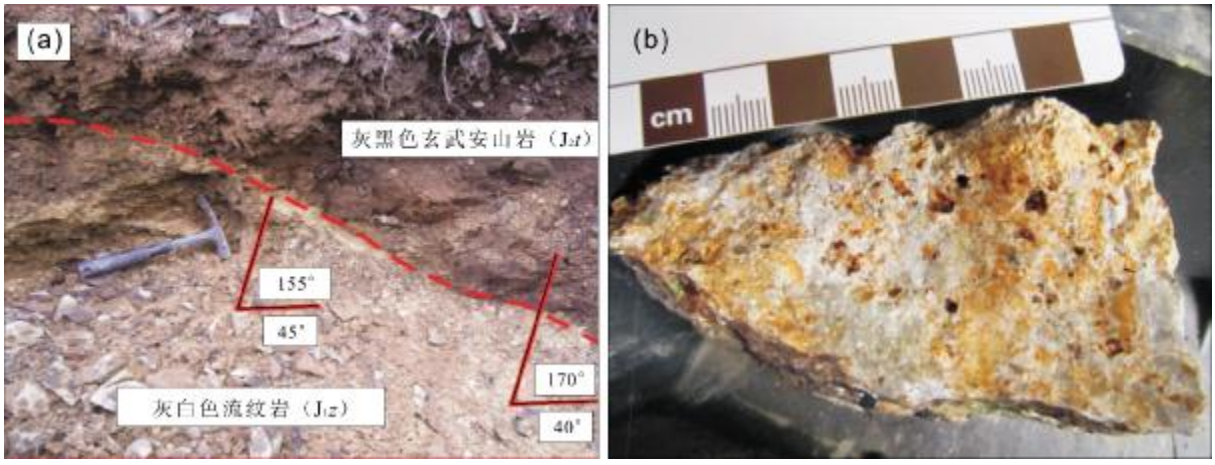

图 3　早侏罗世火山岩露头及标本

Fig. 3　Outcrop and specimen of the Early Jurassic volcanic rocks

a—战备村组与塔木兰沟组接触关系(contact between Zhanbeicun and Tamulangou fms.); b—战备村组流纹岩(rhyolite of Zhanbeicun fm.)

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

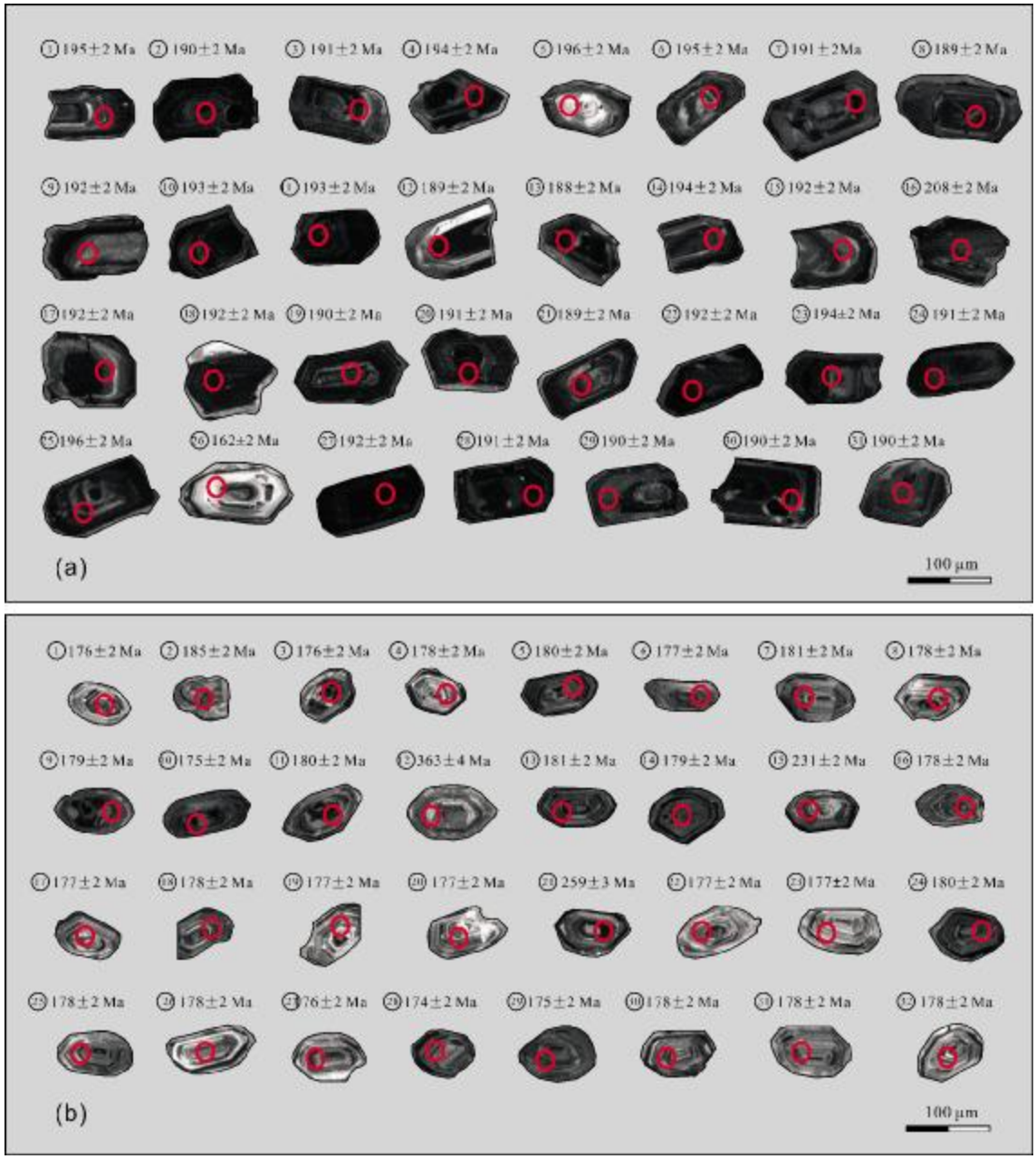

图 4 战备村组流纹岩锆石阴极发光图像及年龄

Fig. 4 CL images and ages of zircons from the rhyolites of Zhanbeicun Formation

弱硅化流纹岩(PM004TC96)中锆石在阴极发光图像(图 4b)上多呈短柱状,少数呈长柱状,长 50~100 μm,长宽比为 2∶1~1∶1. 锆石发育震荡环带,显示出典型岩浆锆石的特点. 该样品共测试 32 个测点,主要选择在震荡环带区域, 测试结果如表 3 (扫描首页 OSID 二维码可见). 32 个锆石的测试结果 Th/U 比值介于 0.3023~1.4158 之间,均大于 0.3,表明这些锆石为岩浆锆石. 32 个锆石的 $^{206}Pb/^{238}U$、$^{207}Pb/^{235}U$、$^{207}Pb/^{206}Pb$ 三组年龄值中,$^{206}Pb/^{238}U$ 与 $^{207}Pb/^{235}U$ 值基本一致,而 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 则较前二组年龄略偏差±(10~15) Ma,表明锆石遭受了后期热液改造. 其协和年龄为 178.0±1 Ma(图 5b),系微量放射性 Pb 丢失的结果. 其结晶冷却年龄应与绢英岩化流纹岩时代相近. 测点 12、15、21 的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄分别为 363.0±4、231±2、259.0±3 Ma,可能为捕获的老锆石.

2.3 岩石化学特征

2.3.1 主量元素

主量元素分析结果见表 4. 测试样品的主量元素

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

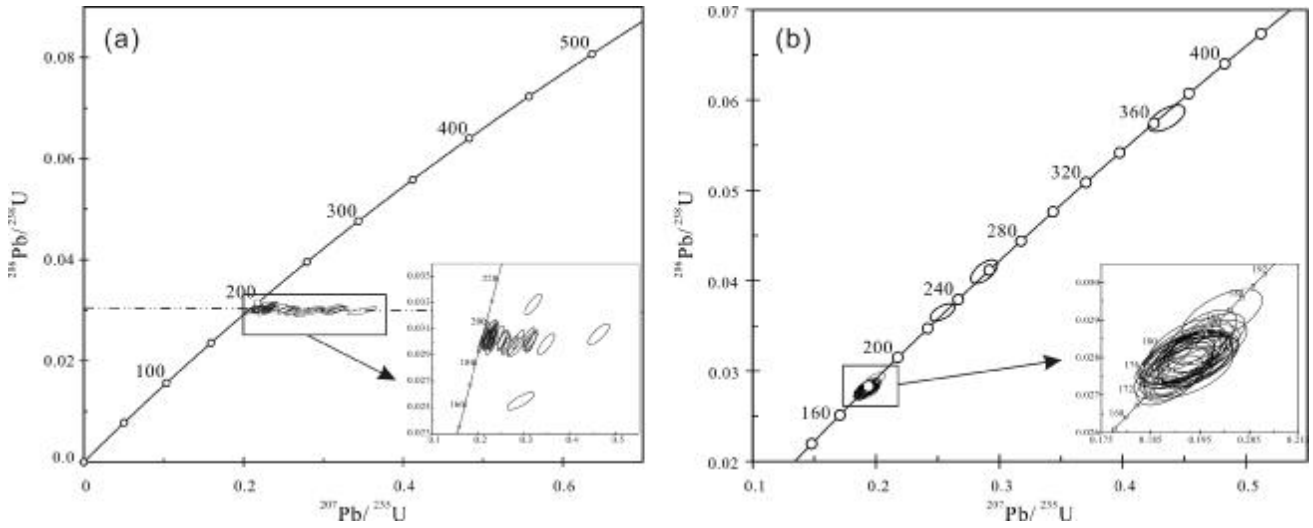

图 5　战备村组流纹岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和年龄图

Fig. 5　The zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram of rhyolites from Zhanbeicun Formation

表 4　战备村组流纹岩主量元素特征表

Table 4　Contents of major elements in rhyolites from Zhanbeicun Formation

成分	本次研究		文献[19]数据						文献[20]数据
	弱硅化流纹岩（PM004TC96）	绢英岩化流纹岩（PM004TC60）	流纹岩（SPM2TC50）	流纹岩（SPM13TC23）	流纹岩（SPM13TC45）	流纹岩（SPM13TC47）	流纹岩（SPM13TC51）	流纹岩（SPM13TC55）	流纹岩（D2148）
SiO_2	77.73	77.49	72.18	69.56	68.19	69.74	66.86	69.11	65.2
Al_2O_3	12.77	12.47	14.02	15.70	16.80	15.74	17.05	15.70	15.2
TiO_2	0.13	0.10	0.43	0.38	0.36	0.39	0.47	0.43	0.63
Fe_2O_3	0.46	0.47	0.98	1.19	1.93	2.35	1.72	1.45	2.51
FeO	0.07	0.05	1.15	0.81	0.26	0.12	1.03	0.84	2.22
CaO	0.17	0.07	0.55	0.69	1.06	0.45	0.45	1.04	1.88
MgO	0.38	0.10	0.86	0.38	0.46	0.46	0.73	0.40	0.86
K_2O	4.88	6.03	3.62	5.80	3.42	3.85	4.51	5.12	5.27
Na_2O	1.92	2.12	4.52	4.55	6.15	5.39	5.46	4.65	4.06
MnO	0.02	0.02	0.07	0.06	0.08	0.09	0.12	0.09	0.08
P_2O_5	0.02	0.01	0.10	0.06	0.08	0.09	0.15	0.08	0.19
LOI	1.35	0.95	1.37	0.61	0.95	1.04	1.09	0.84	1.72
Total	99.89	99.89	99.85	99.77	99.74	99.71	99.74	99.76	99.82
K_2O/Na_2O	2.54	2.84	0.80	1.27	0.56	0.71	0.83	1.10	1.30
Na_2O+K_2O	6.80	8.15	8.13	10.35	9.57	9.24	9.97	9.77	9.33
$Mg^{\#}$	0.73	0.43							
A/CNK	1.46	1.23	1.14	1.05	1.07	1.14	1.16	1.04	0.96
A/NK	1.51	1.25	1.24	1.14	1.22	1.21	1.23	1.19	1.23

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

含量与中国流纹岩平均值相比，SiO_2、MgO、CaO、Na_2O 含量偏高，TiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、FeO、MnO 含量偏低，K_2O 和 P_2O_5 则接近.

火山岩的 SiO_2 含量为 77.49%~77.73%（高硅）；Al_2O_3 为 12.08%~12.77%，较正常流纹岩的含量低；全碱含量（Na_2O+K_2O）为 6.89%~8.43%，富钾（K_2O 4.88%~6.03%），低钠（Na_2O 1.92%~2.12%），K_2O/Na_2O 为 2.54~2.84；A/CNK 为 1.223~1.460，A/NK 为 1.245~1.513；MgO 含量为 0.10%~0.38%，而 $Mg^{\#}$ 值为 0.43~0.73.

在 TAS 图（图 6a）上投于流纹岩区，位于 Irvine 分界线以下（亚碱性区），在 A/NK-A/CNK 图（图 6b）上投于过铝质区，在 K_2O-SiO_2 图（图 6c）上投于钾玄岩系列及高钾钙碱性岩系列，在 K_2O-Na_2O 图（图 6d）上投于高钾质区.

值得注意是，火山岩 MgO 含量（0.10%~0.38%）和 $Mg^{\#}$ 值（0.43~0.73）可能暗示着该岩石具有原生基性岩浆的属性（玄武质原生岩浆 $Mg^{\#}$=0.65~0.75），后经后期岩浆分异作用演化为酸性岩浆.

CIWP 标准矿物计算结果为：石英 42.27%~47.69%，为石英过饱和岩石，可能系蚀变结果；钙长石 0.27%~0.76%，钠长石 16.49%~18.13%，正长石 29.26%~36.02%；刚玉 2.38%~4.12%；紫苏辉石 0.25%~0.96%；金红石 0.02%~0.03%；钛铁矿 0.15%~0.20%，赤

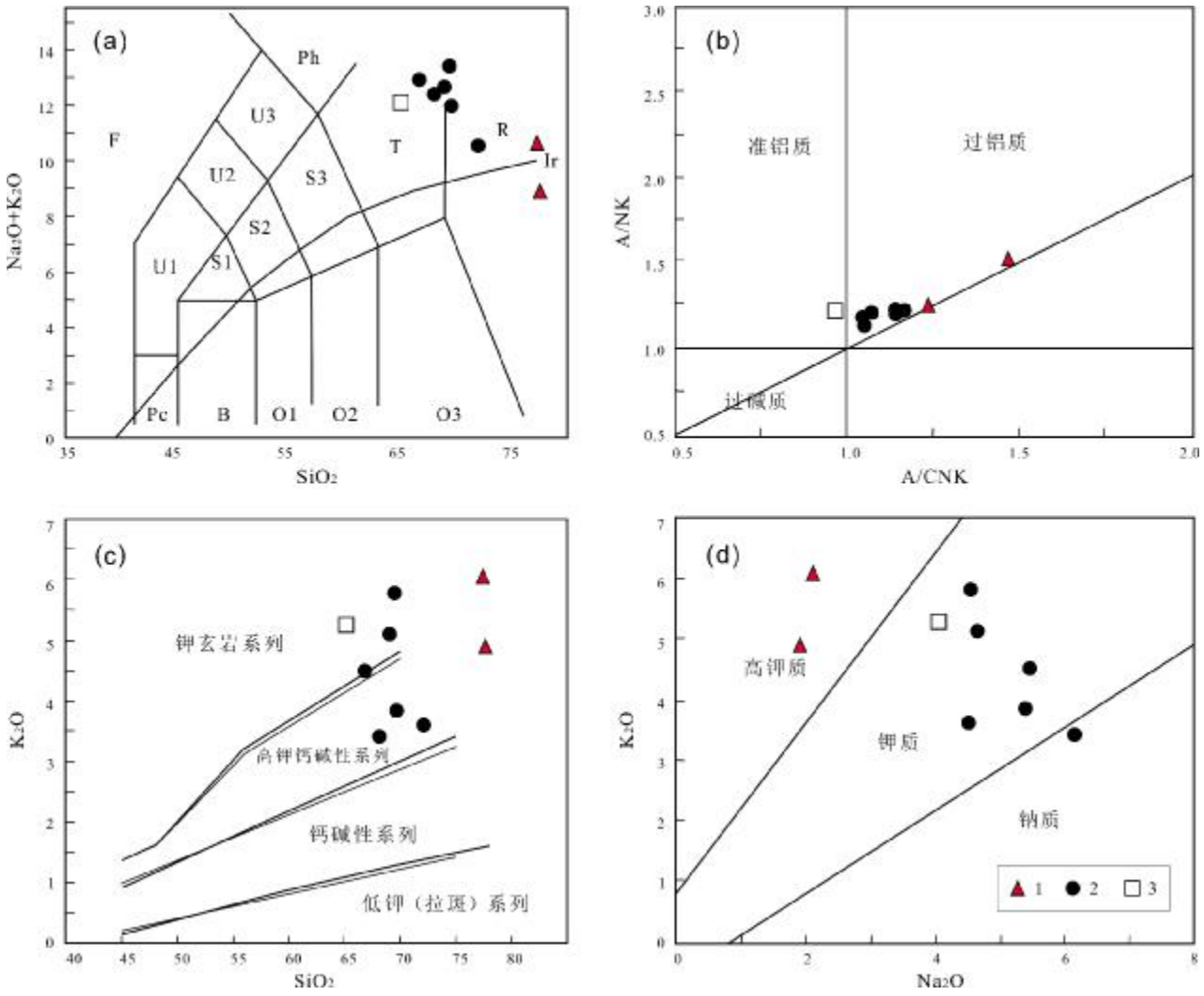

图 6 战备村组流纹岩分类判别图解

Fig. 6 The discrimination diagrams of rhyolites from Zhanbeicun Formation

a—据文献[16](after Reference [16])；b—据文献[17](after Reference [17])；c、d—据文献[18](after Reference [18])；1—本研究数据(data of the current study)；2—文献[19]数据(data from Reference [19])；3—文献[20]数据(data from Reference [20])

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

铁矿 0.47%~0.48%;磷灰石 0.03%~0.04%. 刚玉的出现表示岩石为铝过饱和系列，而紫苏辉石的出现则暗示其系基性岩浆演化为酸性岩浆的产物，副矿物金红石及磷灰石的出现可能反映源区特征.

另外,固结指数(SI)为 1.14~4.93,液相线温度为 684~694 ℃,碱度率(AR)为 3.21~4.71,组合指数(σ43)为 1.33~1.92,分异指数(DI)为 93.44~96.42.

2.3.2　稀土、微量元素

稀土、微量元素分析结果见表 5. 一般来说微量元素多为非活动性元素，这类元素不易迁移，即使在风化、蚀变的条件下尚能完整地保留在原来的岩石中,所以较能反映原来岩石的微量元素特征. 样品稀土总量较低,ΣREE 为 81.84×10^{-6}~110.32×10^{-6},与玄武岩的平均值(99×10^{-6})相近,暗示着岩石系基性岩浆经分异演化成酸性岩浆；轻重稀土分馏明显,$(La/Yb)_N$ 为 36.87~40.19 之间,表明岩浆经历过分异-演化作用;轻稀土分馏系数 $(La/Sm)_N$ 为 9.92~11.76,重稀土分馏系数 $(Gd/Yb)_N$ 为 2.34~2.45；中等铕负异常,δEu 值为 0.54~0.57 之间,表明源区有斜长石残留或参与分异结晶作用；δCe 值为 0.87~0.88.

稀土元素配分模式图(图 7a)表现为轻稀土元素富集的右倾特征,轻重稀土分异程度较高,重稀土分布相对较为平坦，暗示着岩浆经历了一定的演化过程. 微量元素蛛网图(图 7b)表现为低 Sr、Ba、P、Ti(谷)和相对高 K、Rb、Th(峰)的特征.

3　火山岩岩浆源区及形成环境讨论

大兴安岭中生代流纹岩类划分为高 Ti 流纹岩和低 Ti 流纹岩. 高 Ti 流纹岩类与亚碱性系列玄武岩类紧密伴生,两者在地球化学上构成连续变异系列;而低 Ti 流纹岩类则与碱性系列玄武岩类构成地球化学双峰态. 这两类流纹岩的岩相学和地球化学特征为:起源于地幔柱亏损成分的亚碱性系列玄武岩浆经过单斜辉石、斜长石、磷灰石、锆石的分离结晶,形成亚碱性系列低钾玄武岩→高钾玄武岩→高 Ti 流纹岩演化系列;起源于地幔柱富集成分的碱性系列玄武岩浆侵入下地壳，使下地壳岩石发生部分熔融，形成碱性系列玄武岩-低 Ti 流纹岩双峰态组合[23].

根据岩石学和微量元素地球化学特征，可将大兴安岭地区晚侏罗世—早白垩世流纹岩类划分为Ⅰ型流纹岩和Ⅱ型流纹岩. 稀土和微量元素特征为：Ⅰ型流纹岩呈右倾的稀土分布曲线，不相容元素以强烈富集 Rb、Ba、Th、K 和亏损 Sr、Ti、P、Nb 为特征,其形成与钙碱性系列玄武岩浆的结晶分异作用有关；Ⅱ型流纹岩具有与大陆裂谷流纹岩一致的稀土和不相容元素分布模式,以 Ba、Sr 的强烈亏损与Ⅰ型流纹岩相区别,与碱性系列玄武岩类构成双峰式火山岩组合，其成因与地壳岩石的非理想熔融作用相联系. 两类流纹岩的形成

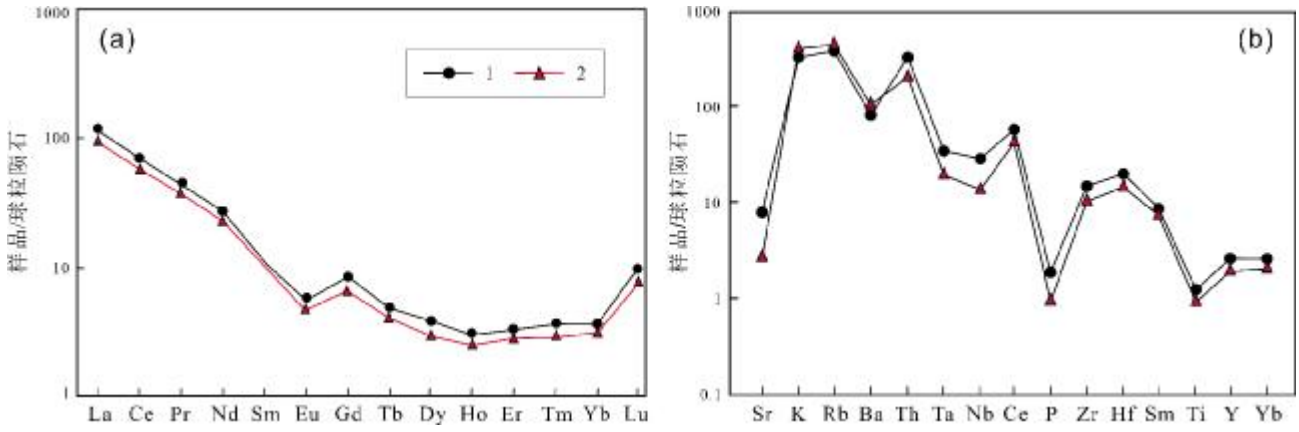

图 7　战备村组流纹岩球粒陨石标准化稀土元素分布模式和球粒陨石标准化微量元素蛛网图

(据文献[21-22])

Fig. 7　Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element spidergram of rhyolites from Zhanbeicun Formation

(From References [21-22])

1—样品(sample) PM004TC96; 2—样品(sample) PM004TC60

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

表 5 战备村组火山岩稀土、微量元素特征表

Table 5 Contents of REEs and trace elements in rhyolites from Zhanbeicun Formation

样品编号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
PM004TC96	弱硅化流纹岩	32.54	51.41	5.05	14.70	1.79	0.31	1.72	0.19	0.96	0.17	0.54	0.09
PM004TC60	绢英岩化流纹岩	23.93	37.60	3.76	11.30	1.56	0.27	1.32	0.15	0.69	0.12	0.42	0.06
样品编号	岩性	Yb	Lu	Y	∑REE	LREE	HREE	L/H	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$	δEu	δCe
PM004TC96	弱硅化流纹岩	0.58	0.27	5.33	110.32	105.80	4.52	23.41	40.19	11.76	2.45	0.54	0.88
PM004TC60	绢英岩化流纹岩	0.47	0.20	4.01	81.84	78.42	3.42	22.96	36.87	9.92	2.34	0.57	0.87
样品编号	岩性	Rb	Sr	Ba	Th	U	Nb	Ta	Zr	Hf	Co	Ni	Cr
PM004TC96	弱硅化流纹岩	137.37	95.49	580.40	14.13	3.10	10.27	0.71	104.04	4.09	0.08	0.63	6.07
PM004TC60	绢英岩化流纹岩	155.80	32.17	666.20	9.14	3.24	5.00	0.39	72.30	3.01	0.21	0.85	6.13
样品编号	岩性	V	Sc	Li	Cs	W	Bi	Mo	Cu	Pb	Zn	Hg	Ag
PM004TC96	弱硅化流纹岩	6.44	3.04	8.44	2.62	0.40	0.05	0.50	5.65	32.49	19.00	0.02	0.03
PM004TC60	绢英岩化流纹岩	22.27	2.64	8.57	2.00	1.92	0.06	0.73	5.06	6.66	15.30	0.01	0.06

含量单位：10^{-6}.

与地幔柱上涌导致上覆岩石圈伸展作用有关. 高 Ti 流纹岩和低 Ti 流纹岩分别相当于Ⅰ型流纹岩和Ⅱ型流纹岩[24]，也就是说，大兴安岭地区流纹岩的成因为两种，即钙碱性系列玄武岩浆的结晶分异作用和大陆裂谷成因(双峰式)流纹岩.

本次研究的新林地区早侏罗世流纹岩的微量元素特征与高 Ti 和低 Ti 两类流纹岩及大陆流纹岩对比见表 6. 对比结果显示，研究区早侏罗世流纹岩，大多数特征与高 Ti 流纹岩相近，可能为钙碱性系列玄武岩浆结晶分异作用的产物.

结合前述，MgO 含量 (0.10%~0.38%)、$Mg^{\#}$ 值 (0.43~0.73)，以及 CIWP 标准矿物中出现紫苏辉石 (0.25%~0.96%)，也佐证新林地区早侏罗世流纹岩系基性岩浆的分异演化而来.

该区原划为中—晚侏罗世塔木兰沟组的中基性火山岩进行的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究，其中 2 件粗安岩年龄分别为 185.8±8.1、196.8±2.1 Ma，玄武安山岩年龄为 196.3±2.7 Ma，表明在在盘古林场一带也发育一套早侏罗世碱性、中基性火山岩[25]. 其岩石地球化学特征与新林地区出露的流纹岩非常类似，即显示富集 Ba、K、La、Ce、Sr、Zr 等大离子亲石元素和轻稀土元素，亏损 Th、Nb、P、Zr、Ti 等高场强元素和重稀土元素特征，佐证了新林地区出露的流纹岩为双峰式火山岩的酸性端元.

4 结论

(1)大兴安岭北部新林地区战备村一带新发现早侏罗世酸性火山岩，其成岩时代为早侏罗世(192.0±1 Ma).

(2)近年来，大兴安岭地区已有早侏罗世火山岩的报道. 李中会等[19]在满归镇(大兴安岭西坡)建立的满归变中酸性火山岩(J_1m)，锆石 U-Pb LA-ICP-MS 同位素年龄为 199±1 Ma. 也就是说，新林地区(大兴安岭东坡近岭脊) 早侏罗世酸性火山岩的出露并非是孤立的单一事件.

(3)上黑龙江漠河盆地盘古林场出露的早侏罗世碱性、中基性火山岩的发现，表明根据地球化学特征推断其岩浆成因是有可行的.

(4)本次发现的早侏罗世酸性火山岩系基性岩浆的分异演化产物，暗示着大兴安岭中生代火山岩始于上地幔底侵作用(可能系地幔柱上涌的结果).

参考文献(References)：

[1]表尚虎，郑卫政，周兴福. 大兴安岭北部锆石 U-Pb 年龄对额尔古

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

表 6　流纹岩微量元素特征对比表

Table 6　Comparison of trace element characteristics between rhyolites of different regions

地区	大兴安岭			巴西南部	印度德干暗色岩系	韩国庆尚盆地	肯尼亚裂谷
岩石	高 Ti 流纹岩[24]	低 Ti 流纹岩[24]	战备村早侏罗世流纹岩	Parana 流纹岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩
Rb/Ba	0.007~0.28(0.14)	2.44~8.06(5.25)	0.24~0.24(0.24)	0.17~0.34(0.25)	0.07~0.19(0.13)	0.10~0.23(0.17)	30.6~408(219)
Rb/Sr	0.39~1.74(1.07)	6.18~13.52(9.85)	1.44~4.84(3.14)	0.69~2.46(1.57)	0.02~2.64(1.30)	0.47~1.23(0.85)	72.5~383(228)
Ba/Sr	3.89~12.0(7.93)	1.38~2.85(2.12)	6.08~20.71(13.39)	3.22~8.28(5.75)	2.60~18.0(10.20)	3.00~7.96(5.48)	0.39~3.13(1.76)
Zr/Ba	0.12~0.30(0.18)	1.95~7.17(4.56)	0.18~0.11(0.15)	0.41~0.54(0.48)	0.34~1.12(0.73)	0.10~0.26(0.19)	68.9~1546(807)
Nb/Ta	6.32~33.5(19.9)	11.4~13.9(12.7)	12.69~14.55(13.62)	11.1~14.7(12.9)		6.40~8.74(7.60)	12.3~14.7(13.5)
La/Yb	12.1~18.3(15.3)	6.81~10.50(8.65)	56.03~51.40(53.71)	6.49~9.75(8.12)		4.51~16.5(10.5)	3.15~6.51(4.83)
δEu	0.45~0.74(0.60)	0.05~0.20(0.13)	0.54~0.57(0.56)			0.57~0.70(0.64)	0.04~0.06(0.05)
Ba	(1112)	(44.9)	(623.3)	(768)	(1132)	(861)	(6.00)
Sr	(211)	(20.0)	(63.83)	(164)	(145)	(171)	(2.80)
P	(281)	(120)	(63.5)	(1333)		(516)	(55.6)
Ti	(2398)	(1019)	(689.5)	(6322)		(1245)	(1451)
Co	(3.27)	(0.66)	(0.15)	(15.4)		(101)	(0.25)
Ni	(7.78)	(3.49)	(0.74)	(6.83)	(13.9)	(20.4)	
Th	(12.6)	(26.5)	(11.62)	(13.9)	(24.4)	(9.00)	(66.0)

注:括号内为平均值;含量单位 10^{-6}.

纳地块构造归属的制约[J]. 地质学报, 2012, 86(8): 1262-1272.
Biao S H, Zheng W Z, Zhou X F. Zircon U-Pb age of the North Da Hinggan Mts., NE China and its constraint to attribute of the Ergun Block[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(8): 1262-1272.

[2]武广. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用[D]. 长春: 吉林大学, 2005: 31-36.
Wu G. Metallogenic setting and metallogenesis of nonferrous-precious metals in northern Da Hinggan Mountain [D]. Changchun: Jilin University, 2005: 31-36.

[3]孙广瑞, 李仰春, 张昱. 额尔古纳地块基底地质构造[J]. 地质与资源, 2002, 11(3): 129-139.
Sun G R, Li Y C, Zhang Y. The basement tectonics of Ergun massif [J]. Geology and Resources, 2002, 11(3): 129-139.

[4]Zorin Y A, Belichenko V G, Turutanov E K, et al. The East Siberia transect[J]. International Geology Review, 1995, 37(2): 154-175.

[5]黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 5-25.
Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Heilongjiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 5-25. (in Chinese)

[6]Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 41(1): 1-30.

[7]黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 2019: 5-25.
Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Heilongjiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2019: 5-25. (in Chinese)

[8]赵海滨, 于庆文, 刘旭光, 等. 黑龙江新开岭变质核杂岩特征、隆升时间及与金的成矿关系[J]. 地球科学, 2004, 29(S1): 37-40.
Zhao H B, Yu Q W, Liu X G, et al. Characteristics, uplifting time and metallogenic relationship of Xinkailing metamorphic core complex in Heilongjiang Province[J]. Earth Sciences, 2004, 29(S1): 37-40.

[9]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(6): 1077-1084.
Zhou Q L, Wang X Z, Ji F, et al. Corresponding relations of Mesozoic volcanic formations in the Da Hinggan Mountains [J]. Geological Review, 2013, 59(6): 1077-1084.

[10]赵海滨, 莫宣学, 徐受民, 等. 黑龙江新开岭变质核杂岩的组成及其演化[J]. 地质科学, 2007, 42(1): 176-188.
Zhao H B, Mo X X, Xu S M, et al. Composition and evolution of the Xinkailing metamorphic core complexes in Heilongjiang Province[J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(1): 176-188.

[11]梁琛岳, 刘永江, 李伟, 等. 黑龙江嫩江地区科洛杂岩伸展构造特

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

征[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 291-299.
Liang C Y, Liu Y J, Li W, et al. Characteristics of extensional structure of Keluo complex in Nenjiang area, Heilongjiang, China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 291-299.
[12]梁琛岳, 刘永江, 李伟, 等. 黑龙江省嫩江地区科洛杂岩隆升时代[J]. 地质科学, 2012, 47(2): 360-375.
Liang C Y, Liu Y J, Li W, et al. Uplift age of Keluo complex at Nenjiang area, Heilongjiang Province [J]. Chinese Journal of Geology, 2012, 47(2): 360-375.
[13]刘勃然, 李伟, 贾杰, 等. 大兴安岭北段嘎拉山伸展滑脱构造[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(4): 1142-1152.
Liu B R, Li W, Jia J, et al. Extensional detachment structure in Galashan, Northern Great Xing'an Ranges, NE China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2014, 44(4): 1142-1152.
[14]申亮,赵胜金,于海洋,等. 大兴安岭哈达陶勒盖组火山岩年龄、地球化学特征及其陆缘弧构造背景[J]. 中国地质, 2020, 47(4): 1041-1055.
Shen L, Zhao S J, YU H Y, et al. Zircon age and geochemical characteristics of Hadataolegai Formation volcanic rocks in Da Hinggan Mountains and its continental marginal arc setting [J]. Geology in China, 2020, 47(4): 1041-1055.
[15]Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb[J]. Chemical Geology, 2002, 192(1/2): 59-79.
[16]Le Maitre R W, Bateman P D, Keller A, et al. A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks[M]. Oxford: Blackwell, 1989: 1-236.
[17]Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 1989, 22(4): 247-263.
[18]Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58(1): 63-81.
[19]李中会, 李阳, 李睿杰, 等. 满归地区早侏罗世岩浆作用及其地质意义[J]. 中国地质调查, 2020, 7(5): 54-65.
Li Z H, Li Y, Li R J, et al. Magmatic activity and its geological significance in Early Jurassic in Mangui area of Inner Mongolia[J]. Geological Survey of China, 2020, 7(5): 54-65.
[20]乔牡冬, 孙加鹏, 李宇菡, 等. 大兴安岭新林区中生代流纹岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质与资源, 2018, 27(4): 324-336.
Qiao M D, Sun J P, Li Y H, et al. Chronology, geochemistry and geological implication of the Mesozoic rhyolites in Xinlin area, Daxinganling Mountains[J]. Geology and Resources, 2018, 27(4): 324-336.
[21]Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[J]. Developments in Geochemistry, 1984, 2: 63-114.
[22]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.
[23]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, 30(4): 322-328.
Lin Q, Ge W C, Sun D Y, 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, 30(4): 322-328.
[24]葛文春, 林强, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(2): 172-178.
Ge W C, Lin Q, Sun D Y, et al. Geochemical research into origins of two types of Mesozoic rhyolites in Daxing'anling [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(2): 172-178.
[25]于跃江, 赵忠海, 杨欣欣, 等. 大兴安岭北段漠河前陆盆地早侏罗世火山岩时代的厘定[J]. 中国地质, 2021, 48(2): 580-592.
Yu Y J, Zhao Z H, Yang X X, et al. Dating of Early Jurassic volcanic rocks in the Mohe foreland basin of northern Greater Khingan Mountains, Northeast China[J]. Geology in China, 2021, 48(2): 580-592.

(上接第 20 页/Continued from Page 20)

[18]Li N, Zhang J P, Xing L D, et al. New records of Jurassic-Cretaceous boundary Tuchengzi Formation petrified wood from Yanqing, Beijing, China: Palaeoclimatic implications[J]. Historical Biology, 2021, 33(9): 1686-1696.
[19]Creber G T. Tree rings: A natural data-storage system[J]. Biological Reviews, 1977, 52(3): 349-381.
[20]Jefferson T H. Palaeoclimatic significance of some MesozoicAntarctic fossil floras[C]// Oliver R L, Jame D R, Jago J B. Antarctic Earth Science Proceeding 5thIntSymp (Adelaide1982). Cambridge: Cambridge UnivPress, 1983: 593-598.

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn