



黑龙江富源沟晚三叠世中-基性火山岩的厘定及地质意义

王文东¹, 刘涛¹, 周传芳¹, 杨华本¹, 杜兵盈², 刘宇崑²

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 150081;
2. 黑龙江省地质科学研究所, 黑龙江哈尔滨 150036

摘要: 黑龙江省西北部漠河市西部地区新厘定出非正式填图单元——富源沟中-基性火山岩, 其岩石组合为灰色、灰绿色玄武安山岩、辉石玄武岩、英安质火山碎屑岩等。获得安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年的加权平均年龄为 245 ± 3 Ma, 其最小的岩浆锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄为 201 ± 2 Ma, 另外获得火山口附近英安质火山角砾岩加权平均年龄为 201 ± 1 Ma, 其形成时代应为晚三叠世。岩石地球化学特征显示, 富源沟中-基性火山岩为一套钙碱性系列岩石, 富集大离子亲石元素 Ba、K、Sr 等和轻稀土元素, 亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti、P 等和重稀土元素, 具有弧岩浆岩地球化学特征。该火山岩的厘定说明, 大兴安岭北部地区存在晚三叠世中-基性火山岩浆活动事件。综合本区火山岩的特征并结合区域上研究成果, 认为其形成与蒙古-鄂霍次克大洋板片南向俯冲作用相关。
关键词: 中-基性火山岩; 岩浆活动; 锆石 U-Pb 年龄; 晚三叠世; 蒙古-鄂霍次克洋; 黑龙江省

IDENTIFICATION OF THE LATE TRIASSIC FUYUANGOU INTERMEDIATE-BASIC VOLCANIC ROCKS IN HEILONGJIANG PROVINCE: Geological Implication

WANG Wen-dong¹, LIU Tao¹, ZHOU Chuan-fang¹, YANG Hua-ben¹, DU Bing-ying², LIU Yu-wei²

1. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Harbin 150081, China;
2. Heilongjiang Institute of Geological Sciences, Harbin 150036, China

Abstract: The Fuyuangou intermediate-basic volcanic rocks, composed of gray-grayish green basalt andesite, pyroxene basalt and dacite pyroclastic rocks, is a newly identified informal mapping unit in the western Mohe City of northwest Heilongjiang Province. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results yield the weighted mean age of andesite of 245 ± 3 Ma, and the minimum $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ concordia age of magmatic zircon is 201 ± 2 Ma. Besides, the weighted mean age of dacitic volcanic breccia near the crater is 201 ± 1 Ma, indicating that it was formed in Late Triassic. The lithogeochemical characteristics show that the Fuyuangou intermediate-basic volcanic rocks, belonging to calc-alkaline series, are enriched in LILEs (Ba, K and Sr) and LREEs, and depleted in HFSEs (Nb, Ta, Ti and P) and HREEs, with the geochemical features of arc magmatic rocks. The determination of the volcanic rocks suggests an intermediate-basic volcanic magmatic activity event in Late Triassic in the northern Daxinganling Mountains. Combined the characteristics of the volcanic rocks in the area with regional research results, it is considered that the formation of the volcanic rocks is related to the southward subduction of Mongol-Okhotsk oceanic slab.

Key words: intermediate-basic volcanic rock; magmatic activity; zircon U-Pb dating; Late Triassic; Mongol-Okhotsk Ocean; Heilongjiang Province

收稿日期: 2021-07-26; 修回日期: 2021-09-29. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“内蒙古 1:5 万洛古河、兴华沟林场、阿凌河、1072.3 高地幅区域地质矿产调查”(DD2016007803), “全国陆域及海区地质图件更新与共享”(DD20190370).

作者简介: 王文东(1985—), 男, 高级工程师, 主要从事区域地质研究工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市南岗区保健副路 1 号, E-mail//bedrock@yeah.net

0 引言

大兴安岭地区位于中亚造山带的东部,古生代经历了古亚洲洋构造体系的演化,中生代期间经历了古太平洋构造体系和蒙古-鄂霍次克构造体系的叠加与改造,从北向南依次横跨了额尔古纳地块和兴安地块^[1-3],发育的侏罗纪一早白垩世火山岩带呈北东向贯穿展布,形成背景主要与蒙古-鄂霍次克构造域^[2]或太平洋构造域^[1,3]有关。随着近年来高精度锆石 U-Pb 同位素测年工作的开展,针对大兴安岭北段广泛分布的中生代火山岩,不同学者对火山岩地层归属、时代厘定及划分对比进行了较全面的研究和总结,但主要集中于中侏罗统一早白垩统^[4-10]。额尔古纳地块上见有早侏罗世火山岩:大兴安岭新林区出露早侏罗世战备村组火山岩,主要为一套酸性火山岩,锆石 U-Pb 同位素年龄为 178~192 Ma^[11];大兴安岭满归地区出露早侏罗世变中酸性火山岩组合,其中变安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 199±1 Ma^[12]。兴安地块上见有中一晚三叠世火山岩:黑河地区兴华乡玄武安山岩形成时代为中三叠世(锆石 U-Pb 同位素年龄 242±4 Ma),罕达气乡安山岩(锆石 U-Pb 同位素年龄 225±1 Ma、223±1 Ma)形成时代为晚三叠世^[13]。目前在额尔古纳地块和兴安地块上关于早中生代弧岩浆岩的报道较多^[13-14],而与俯冲作用相关的早中生代火山岩报道较少。笔者在大兴安岭北部漠河地区开展的 1:5 万洛古河等四幅区调填图过程中新发现一套晚三叠世中-基性火山岩,将其划分为非正式填图单元富源沟中-基性火山岩,并对其进行岩石学、年代学及地球化学研究,旨在约束其形成的地质时代,确定其形成的构造环境,为蒙古-鄂霍次克洋南向俯冲作用研究提供岩石学证据。

1 地质概况及样品特征

研究区位于黑龙江省漠河市西部富源沟林场一带,大地构造位置处于额尔古纳地块北部(图 1a)。额尔古纳地块位于蒙古-鄂霍次克缝合带的东南侧,其南东侧和北西侧分别以喜桂图-塔源断裂和蒙古-鄂霍次克缝合线为界^[15]。额尔古纳地块上三叠纪岩浆作用可分为 3 期:246 Ma、225 Ma、205 Ma,以侵入岩为主^[14]。研究区内地层以中生界的陆相沉积为主,主要为中侏罗统绣峰组(J_{3x}),零星出露新元古界浅变质的

浅海相碎屑岩-碳酸盐岩组合的佳疙瘩组(Nh₃),另外在富源沟林场一带出露一套中-基性火山岩组合。研究区花岗质岩浆活动强烈,发育古生代、中生代侵入岩,具体可划分出晚奥陶世、晚二叠世、晚三叠世一早侏罗世和早白垩世 4 期岩浆活动(图 1b)。

晚三叠世富源沟中-基性火山岩呈北东向零星分布于富源沟林场一带,出露面积约 2.6 km²,主要岩性为玄武安山岩、安山岩、英安质火山角砾岩(图 1c)。该套火山岩被绣峰组粗粒长石砂岩角度不整合覆盖,局部被晚三叠世一早侏罗世二长花岗岩侵入接触。其地层层序如下:

中侏罗统绣峰组(J _{3x})		
----- 角度不整合 -----		
4.灰色安山岩		69.8 m
3.灰绿色玄武安山岩		34.9 m
2.深灰色英安质岩屑晶屑凝灰岩		11.9 m
1.杂灰色英安质火山角砾岩		5.8 m
----- 侵入接触 -----		
晚三叠世一早侏罗世二长花岗岩(η ₇ T ₃ J ₁)		

本次研究在玄武安山岩、安山岩、英安质火山角砾岩中系统采集了年代学及地球化学分析样品。其中选定进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试样品为安山岩(WJL018)和近火山口的英安质火山角砾岩(WJL019),采样位置分别为 52°53'20"N、121°41'16"E 和 52°53'17"N、121°41'23"E。另外对 8 件火山岩样品进行了主量、微量和稀土元素分析。

安山岩(WJL018,图 2a)主要由斑晶、基质组成,斑状结构、交代假象结构,基质具玻晶交织结构、块状构造,斑晶为斜长石、角闪石等。斜长石为更-中长石,呈自形一半自形板粒状,正低突起,聚片双晶较清晰显示,干涉色为 I 级灰白色,粒径 0.3~1.5 mm,含量约 15%;角闪石呈自形一半自形柱状、柱粒状,均被绿泥石或绿帘石集合体交代,保留外形轮廓,呈交代假象结构,粒径 0.3~1.5 mm,含量约 3%。基质由长条状斜长石微晶及部分隐晶质、蚀变暗色矿物,少量微晶石英、磁铁矿等组成,粒径均小于 0.2 mm,其中长条状斜长石平行-半平行定向排列,其间隙充填隐晶质、蚀变暗色矿物,少量微晶石英、磁铁矿等。基质含量约为 82%。

英安质火山角砾岩(WJL019,图 2b)主要由角砾、岩屑、晶屑、胶结物组成,具角砾状结构,块状构造。角砾为安山岩、英安岩、凝灰岩等,呈棱角状-次棱角状,

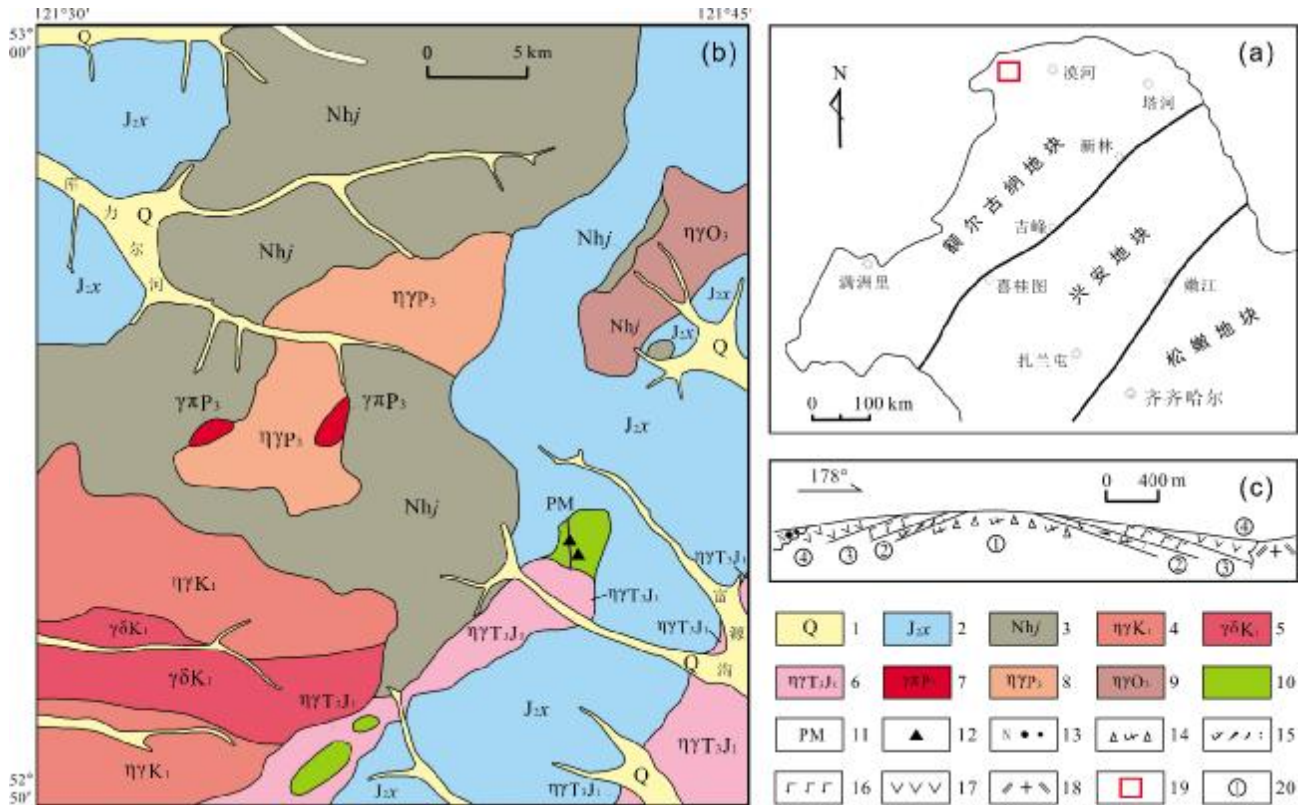


图1 大兴安岭富源沟林场地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Fuyuangou Forest Farm area in Daxinganling Mountains

1—第四系(Quaternary); 2—中侏罗统绣峰组(Middle Jurassic Xiufeng fm.); 3—南华系佳疙瘩组(Jiageda fm. of Nanhua system); 4—早白垩世二长花岗岩(Early Cretaceous monzogranite); 5—早白垩世花岗闪长岩(Early Cretaceous granodiorite); 6—晚三叠—早侏罗世二长花岗岩(Late Triassic-Early Jurassic monzogranite); 7—晚二叠世花岗斑岩(Late Permian granite porphyry); 8—晚二叠世二长花岗岩(Late Permian monzogranite); 9—晚奥陶世二长花岗岩(Late Ordovician monzogranite); 10—富源沟中—基性火山岩(Fuyuangou intermediate-basic volcanic rock); 11—剖面位置(section position); 12—采样位置(sampling site); 13—中粗粒长石砂岩(medium-coarse grained arkose); 14—英安质火山岩角砾岩(dacite volcanic breccia); 15—英安质岩屑晶屑凝灰岩(dacite lithic crystal tuff); 16—玄武安山岩(basaltic andesite); 17—安山岩(andesite); 18—二长花岗岩(monzogranite); 19—研究区位置(study area); 20—层号(layer number)

大小为2~40 mm, 杂乱分布, 含量约65%。岩屑为安山岩、英安岩、凝灰岩等, 粒径多数在0.2~2 mm, 分布在角砾之间, 以胶结物的形式存在, 含量约10%。晶屑为斜长石, 少量石英等, 呈次棱角状—次圆状, 边缘熔蚀圆化。斜长石为更—中长石, 颗粒晶面泥化、绢云母化、绿帘石化较为混浊, 正低突起, 聚片双晶显示较模糊, 干涉色为I级灰白色, 粒径0.1~0.8 mm, 含量约5%; 石英呈无色透明, 正低突起, 干涉色为I级灰白色, 粒径0.1~0.2 mm。上述晶屑以胶结物的形式分布于角砾之间。胶结物主要为隐晶质黏土矿物, 部分微晶石英、绿帘石、显微鳞片状绢云母、绿泥石等, 以混晶集合体的形式杂乱分布在角砾、岩屑、晶屑之间, 含量约20%。

2 锆石 U-Pb 测年

2.1 测试方法

锆石 U-Pb 分析在天津地质调查中心同位素实验室 LA-ICP-MS 仪器上完成, 利用 193 nm 激光器对锆石进行剥蚀, 采用的激光剥蚀斑束直径为 35 μm , 激光能量密度为 13~14 J/cm^2 , 频率为 8~10 Hz。采用 TEMORA 作为外部锆石年龄标准。以 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。样品信号采集时间 60 s (其中 20 s 为空白的测定)。详细分析方法及仪器参数见文献[16]。采用 ICP-MS DataCal 和 Isoplot 程序进行数据处理, 数据处理方法见文献[17]。

2.2 测试结果

(1)安山岩(WJL018): 锆石大部分颗粒呈长柱状,

少量为不规则形状,长度集中在 80~100 μm ,宽度集中在 50~70 μm ,长宽比介于 1:1~2:1. 锆石阴极发光图像显示,具岩浆成因的振荡生长环带(图 3). 锆石的 Th 和 U 的含量分别为 29×10^{-6} ~ 596×10^{-6} 和 37×10^{-6} ~ 1135×10^{-6} ,Th/U 值介于 0.22~1.23 之间(表 1,扫描首页 OSID 二维码可见),表明为岩浆成因^[18]. 对样品进行了 24 个测点分析,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄集中分布在 444~453 Ma 和 243~247 Ma,加权平均年龄分别为 447 ± 5 Ma

(MSWD=0.83, $n=4$)和 245 ± 3 Ma (MSWD=0.59, $n=4$),除此之外 444~453 Ma 和 1782 ± 36 Ma, 1718 ± 25 Ma, 1415 ± 27 Ma, 979 ± 10 Ma, 903 ± 9 Ma 等年龄谐和度较低,可能为捕获早期锆石年龄. 19 号测点为最小的年龄,其 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 谐和年龄为 201 ± 2 Ma(图 4),由于其稍微偏离谐和线(谐和度为 90%),具有一定的可信度,代表了火山岩的成岩年龄.

(2)英安质火山角砾岩(WJL019):锆石呈长柱状

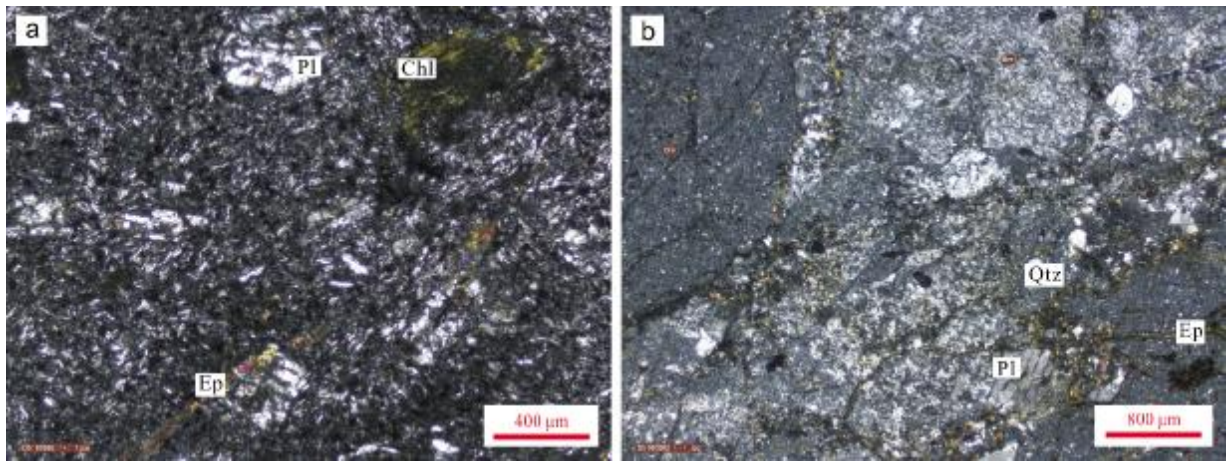


图 2 富源沟林场地区安山岩和英安质火山角砾岩显微镜下照片

Fig. 2 Microphotographs of andesite and dacitic volcanic breccia in Fuyuangou Forest Farm area
正交偏光(under cross-polarized light); Qtz—石英(quartz); Pl—斜长石(plagioclase); Ep—绿帘石(epidote); Chl—绿泥石(chlorite)

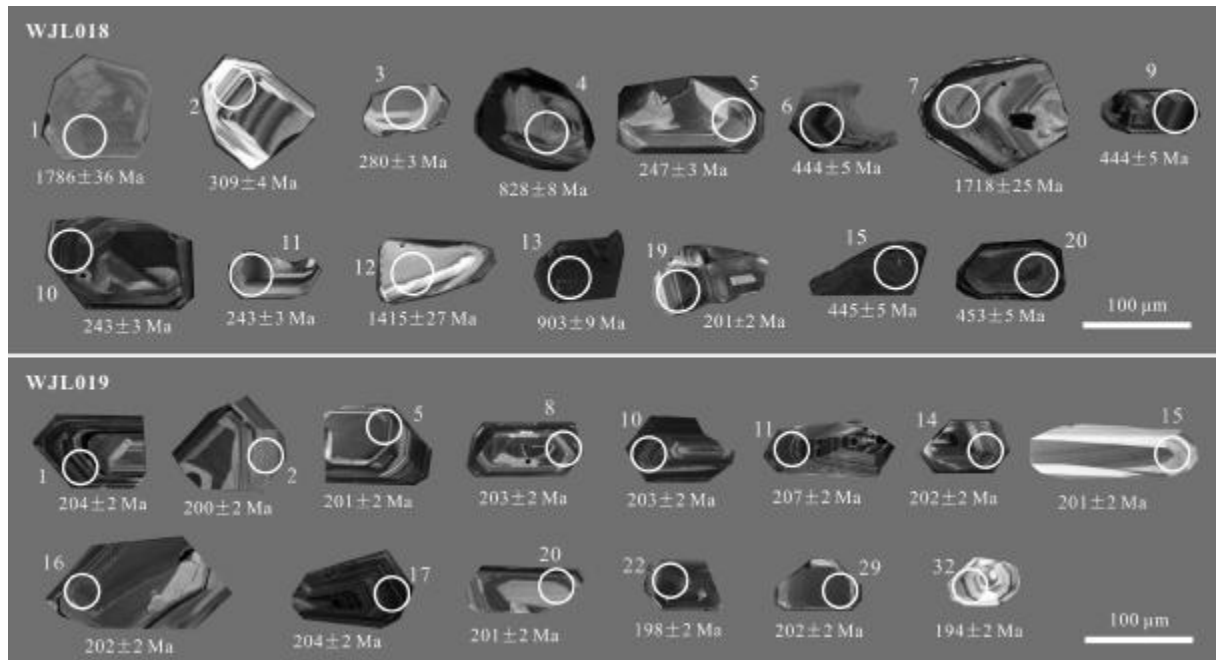


图 3 富源沟中-基性火山岩锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of zircons from Fuyuangou intermediate-basic volcanic rocks

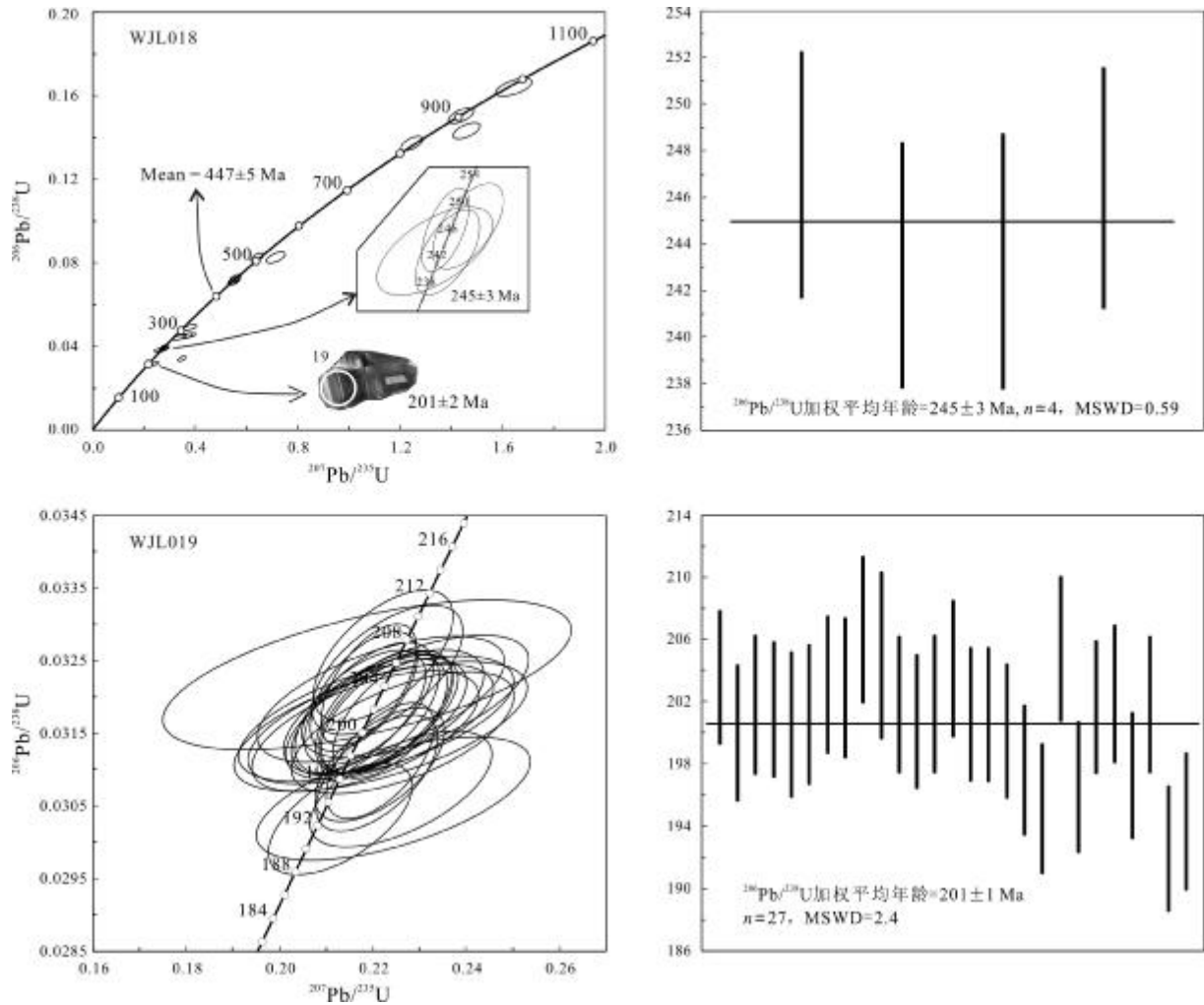


图4 富源沟中-基性火山岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of Fuyuangou intermediate-basic volcanic rocks

或短柱状,自形程度较高,长度集中在 90~100 μm ,宽度集中在 40~60 μm ,长宽比介于 1:1~2:1. 锆石阴极发光图像显示,具有明显的振荡生长环带(图 3). 锆石的 Th 和 U 的含量分别为 76×10^{-6} ~ 932×10^{-6} 和 163×10^{-6} ~ 818×10^{-6} , Th/U 值介于 0.36~1.69 之间(表 1,扫描首页 OSID 二维码可见),表明为岩浆成因. 对样品进行了 30 个测点分析, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄主要集中在 196~207 Ma,加权平均年龄为 201 ± 1 Ma (MSWD=2.4, $n=27$)(图 4).

3 岩石地球化学特征

样品全岩主量元素和微量元素分析测试在河北省区域地质矿产调查研究所完成,其中主量元素采用熔片法 X 射线荧光光谱法(XRF)测定,微量元素和稀土

元素采用 Finnigan MAT 公司生产的双聚焦高分辨等离子体质谱仪 ICP-MS 进行测定,分析测试具体实验条件和步骤见文献[19]. 测试分析结果如表 2(扫描首页 OSID 二维码可见).

3.1 主量元素

富源沟中-基性火山岩样品的 SiO_2 含量为 53.94%~57.68%,平均值为 55.55%; Al_2O_3 含量为 17.51%~18.81%,平均值为 17.97%;全碱($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)含量为 3.01%~4.83%,平均值为 4.27%; MgO 含量为 3.01%~4.4%,平均值为 3.65%,相应的 $\text{Mg}^\#$ 值为 47.1~54.6; TiO_2 含量变化于 0.97%~1.17%,其平均值(1.04%)与钙碱性系列安山岩平均值(1.16%)相近^[20]. A/CNK 为 0.57~0.89,平均值为 0.73,具有准铝质岩石特点. 在硅-碱图(TAS 分类图,图 5a)中,样品点主要

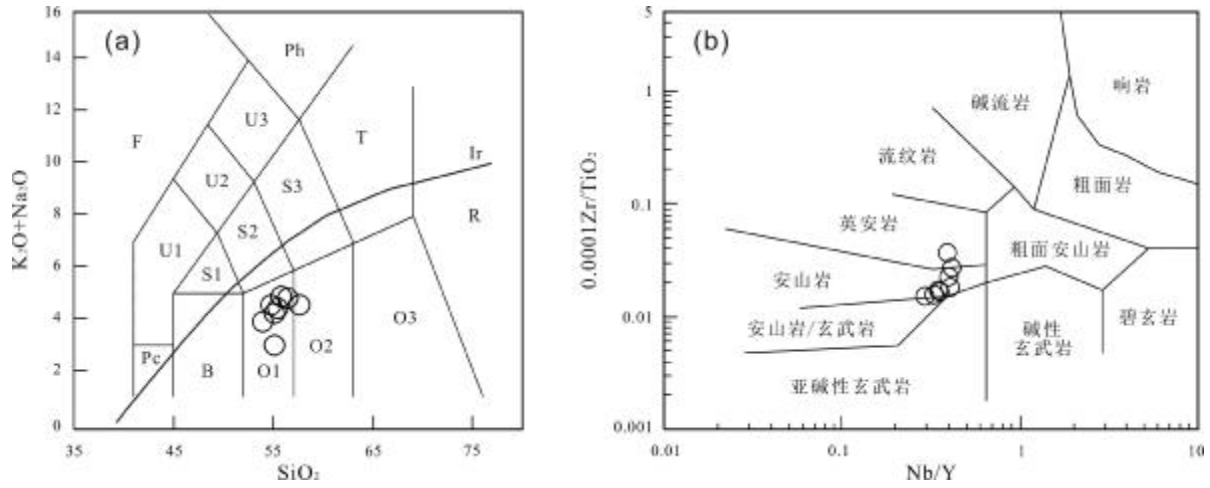


图 5 富源沟中-基性火山岩分类判别图

Fig. 5 Classification and discrimination diagrams of Fuyuangou intermediate-basic volcanic rocks

a—TAS 分类图解 (据文献 [21])(The TAS classification diagram, after Reference [21]); b—Nb/Y-Zr/TiO₂ 图解 (据文献 [22])(The Nb/Y-Zr/TiO₂ diagram, after Reference [22]); F—副长岩(foiidite); Pc—苦橄玄武岩(picirite basalt); U1—碱玄武岩(tephrite); U2—响岩质碱玄武岩(phonotephrite); U3—碱玄武质响岩(tephriphonolite); Ph—响岩(phonolite); S1—粗面玄武岩(trachybasalt); S2—玄武粗安岩(basaltic trachandesite); S3—粗安岩(trachyandesite); T—粗面岩(trachyte); B—玄武岩(basalt); O1—玄武安山岩(basaltic andesite); O2—安山岩(andesite); O3—英安岩(dacite); Ir—碱性(alkaline); R—亚碱性(sub-alkaline)

落在安山岩、玄武安山岩区域,属于亚碱性岩石系列. 在 Nb/Y-0.0001 Zr/TiO₂ 图解(图 5b)中,绝大部分样品点落入安山岩区域,少量落入流纹英安岩/英安岩区域. AFM 图解进一步划分表明岩石属于钙碱性系列(图 6),里特曼指数 σ 为 0.74~1.83. 在 SiO₂-K₂O 图

(图 7)中,样品点主要落在钙碱性系列,少数落入拉斑系列和高钾钙碱性系列. 综合主量元素分析可知,富源沟中-基性火山岩为一套准铝质钙碱性系列岩石.

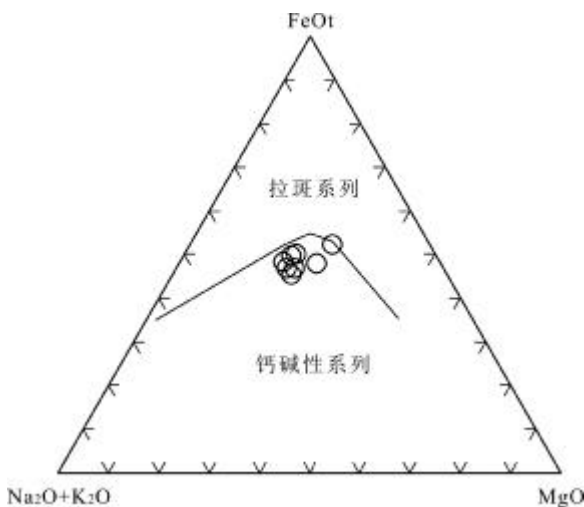


图 6 富源沟中-基性火山岩样品 AFM 图解 (据文献[23])

Fig. 6 The AFM diagram of Fuyuangou intermediate-basic volcanic rocks (After Reference [23])

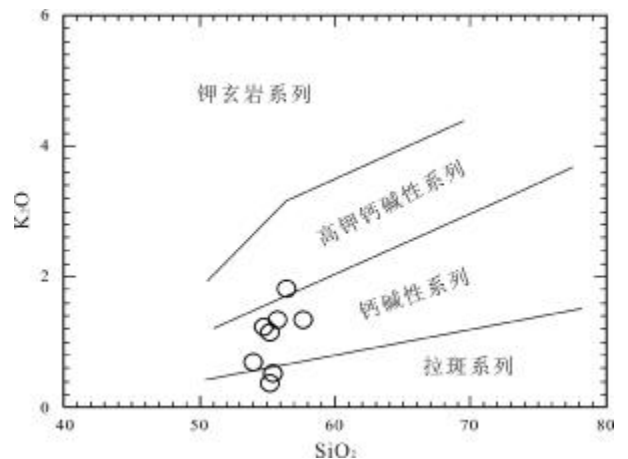


图 7 富源沟中-基性火山岩样品 SiO₂-K₂O 图解 (据文献[24])

Fig. 7 The SiO₂-K₂O diagram of Fuyuangou intermediate-basic volcanic rocks (After Reference [24])

3.2 稀土元素

富源沟中-基性火山岩样品稀土元素总量(Σ REE)介于 $97.28 \times 10^{-6} \sim 181.55 \times 10^{-6}$,平均值为 $125.43 \times$

10^{-6} . 岩石球粒陨石标准化的稀土元素配分曲线具有轻稀土元素富集的右倾特征,轻、重稀土分异明显(图 8a). LREE/HREE 值为 6.52~10.3, 平均值为 7.65; $(La/Yb)_N$ 值为 5.82~7.62, 平均值为 6.95; δEu 为 0.99~1.07, 不具负铕异常,反映了岩浆斜长石分离结晶不明显.

3.3 微量元素

富源沟中-基性火山岩样品微量元素分析结果(表 2,扫描首页 OSID 二维码可见)显示,所有样品呈现出一致的变化趋势,反映岩石的母岩浆应该具有同源性,以富集大离子亲石元素(Ba、K、Sr 等)、亏损高场强元素(Nb、Ta、Ti、P 等)为特征(图 8b),具有弧火山岩的 TNT(Nb、Ta 和 Ti)亏损的微量元素分配特征,与俯冲带岩浆岩地球化学特征类似^[25].

4 讨论

4.1 形成时代

富源沟中-基性火山岩以中性火山熔岩为主,野外调查在火山口附近发现少量英安质岩屑晶屑凝灰岩和英安质火山角砾岩,并且在剖面中英安质岩屑晶屑凝灰岩在安山岩中以夹层出现,另外在火山口附近发育英安质火山角砾岩. 安山岩样品的锆石最小 $^{206}Pb/^{238}U$ 谐和年龄为 201 ± 2 Ma (Th/U 值 0.68);英安质火山角砾岩的角砾和岩屑为安山岩、英安岩、凝灰岩,胶结物主要为隐晶质黏土矿物,其火山角砾和岩屑成分

为富源沟中-基性火山岩岩性组合,故其锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄 201 ± 1 Ma (MSWD=2.4, $n=27$, Th/U 值 0.36~1.69) 可以代表本期火山岩的形成年龄. 野外见中侏罗统绣峰组与下伏的安山岩呈角度不整合接触,接触面产状为 $300^\circ \angle 35^\circ$, 两者之间存在较薄的红褐色风化壳. 综上,分析认为富源沟中-基性火山岩形成时代为晚三叠世.

4.2 岩石成因

富源沟中-基性火山岩在火山岩分类命名图解上主要落入玄武安山岩和安山岩区域,主体为一套钙碱性岩石,另外在稀土元素配分曲线和微量元素蛛网图上呈现出一致的变化趋势,具有同源岩浆演化的特点. 关于钙碱性安山岩的成因主流观点为^[13,26-27]:幔源玄武质岩浆底侵导致下地壳物质部分熔融作用;幔源玄武质岩浆分离结晶;幔源玄武质岩浆与源自陆壳的酸性岩浆混合及俯冲流体或熔体交代地幔楔的部分熔融. 富源沟中-基性火山岩 $Mg^\#$ 值为 47.1~54.6,与基性下地壳物质部分熔融产生的岩浆明显不同 ($Mg^\#$ 值通常小于 45),另外 Lu/Yb 和 Rb/Sr 值分别介于 0.14~0.17 和 0.03~0.09,与幔源岩浆的 Lu/Yb (0.14~0.15) 和 Rb/Sr (0.03~0.047) 值相近^[28]. 富源沟中-基性火山岩不具有 Eu 负异常,且其 Cr (9.31×10^{-6} ~ 46.2×10^{-6})、Ni (5.87×10^{-6} ~ 23.1×10^{-6}) 等含量偏低,均低于原始玄武岩浆 Cr (300×10^{-6} ~ 500×10^{-6})、Ni (300×10^{-6} ~ 400×10^{-6}) 的范围^[29],说明其不可能是直接由地幔物质发生部分熔融

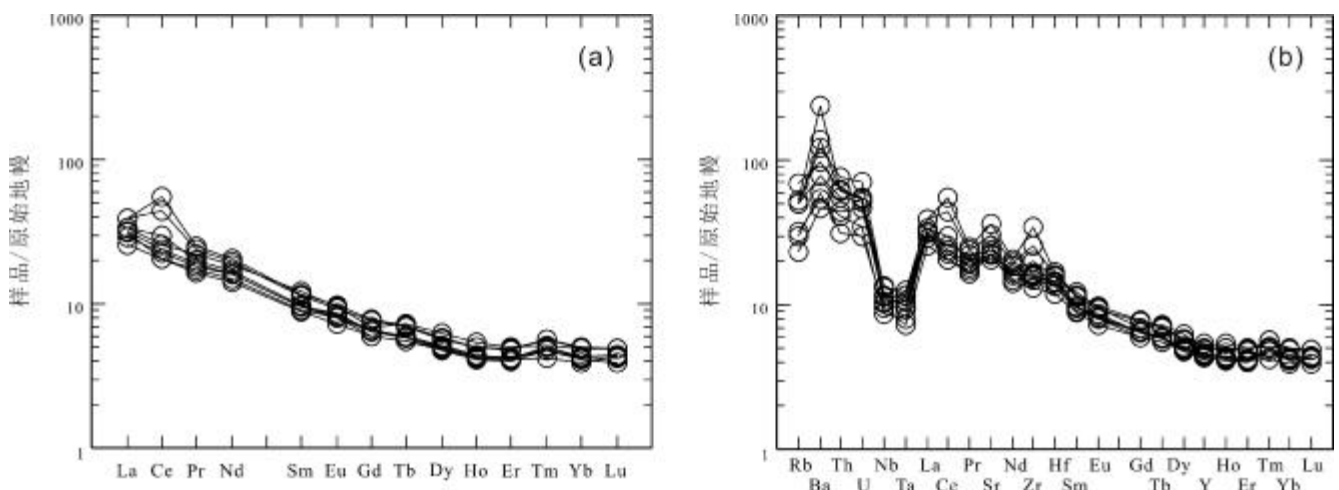


图 8 富源沟中-基性火山岩原始地幔标准化稀土元素配分图和微量元素蛛网图

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element spidergram of Fuyuangou intermediate-basic volcanic rocks

的产物. 富源沟中-基性火山岩具有 Nb、Ta 负异常和 Zr 正异常, 表明其可能遭受后期地壳混染或者起源于受俯冲流体交代的岩石圈地幔, Nb/U 和 Ce/Pb 值主体为 6.4~10.8 和 2.7~4.6, 与大陆地壳的 Nb/U(10) 和 Ce/Pb(4) 范围基本一致^[30], 并且安山岩(WJL018)锆石 U-Pb 测年数据中出现了较多元古宙的捕获锆石, 表明在安山岩的形成过程中可能受到了地壳不同程度的混染. 富源沟中-基性火山岩富集大离子亲石元素 Ba、K、Sr 等和轻稀土元素, 亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti、P 等和重稀土元素, 与俯冲带弧岩浆岩具有类似的地球化学特征, 其原始岩浆可能与受到流体交代的地幔楔的部分熔融有关, 并在上升过程中遭受了地壳物质混染.

4.3 构造背景和地质意义

研究区位于蒙古-鄂霍次克构造带东部. 早中生代(三叠纪-早侏罗世)蒙古-鄂霍次克大洋板块持续南向俯冲, 控制了大兴安岭-冀北-辽西地区的岩浆活动, 并在中侏罗世闭合, 而晚侏罗世-早白垩世主要表现为闭合后的伸展背景^[31]. 近年来, 在额尔古纳地块-兴安地块上识别出了较多的三叠纪时期的蒙古-鄂霍次克大洋板块南向俯冲的火成岩记录^[13-14, 32-33], 另外该时期发育的斑岩型矿床(如八大关 Cu-Mo 矿、八八一 Cu-Mo 矿、太平川 Mo 矿)的形成与蒙古-鄂霍次克洋的向南俯冲有关^[34]. 额尔古纳地块-兴安地块上晚三叠世以岩浆侵入作用为主, 在兴安地块上罕达气-扎兰屯-蘑菇气地区产出少量火山岩, 岩石组合及地球化学特征显示形成于活动大陆边缘环境, 是蒙古-鄂霍次克大洋板块持续南向俯冲作用的物质表现^[35]. 兴安地块上蒙古-鄂霍次克大洋板块南向俯冲的火山岩记录主要有: 黑河地区兴华乡钙碱性系列玄武安山岩(锆石 U-Pb 同位素年龄 242 ± 4 Ma)^[13], 蘑菇气地区哈达陶勒盖组火山岩(锆石 U-Pb 同位素年龄 $230.2 \pm 2.2 \sim 210.9 \pm 3.5$ Ma)^[32], 罕达气乡晚三叠世高镁安山岩(锆石 U-Pb 同位素年龄 225 ± 1 Ma、 223 ± 1 Ma)^[13], 扎兰屯地区高镁玄武安山岩(锆石 U-Pb 同位素年龄 228 ± 2 Ma)^[13] 和具有 O 型埃达克岩地球化学特征的哈达陶勒盖组中性火山岩^[36].

三叠纪蒙古-鄂霍次克大洋板块南向俯冲的物质记录在额尔古纳地块上主要表现为侵入岩, 而火山岩方面的研究报道较少. 新巴尔虎右旗地区的哈达陶勒

盖组安山岩锆石 U-Pb 同位素年龄为 254.3 ± 7.9 Ma, 形成于蒙古-鄂霍次克板块向南俯冲引起的陆缘弧背景^[37]. 富源沟中-基性火山岩样品具钙碱性系列岩石特征, 富集 Ba、K、Sr 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta、Ti、P 等, 同岛弧安山岩特征相似, 并具有较高的 Nb/Yb 和 Th/Yb 值, 在 Th/Yb-Nb/Yb 图解(图 9)中样品投影在大陆弧区域. 另外结合在 Th-Hf/3-Ta 图解(图 10a)上投点到钙碱性玄武岩区域, 在 Zr-Ti/100-Y \times 3 图解(图 10b)落入钙碱性玄武岩区域内或落在钙碱性玄武岩附近, 在 Zr-Ti/100-Sr/2 图解(图 10c)中均落入钙碱性岛弧火山岩区内, 暗示其可能为活动大陆边缘环境下俯冲作用的产物. 结合前文所述, 额尔古纳地块三叠纪的构造背景主要受蒙古-鄂霍次克大洋板块南向俯冲的影响, 本次厘定的位于额尔古纳地块上晚三叠世富源沟中-基性火山岩的形成与蒙古-鄂霍次克大洋板块南向俯冲作用有关, 为三叠纪蒙古-鄂霍次克大洋板块向额尔古纳地块俯冲作用形成的火山弧产物.

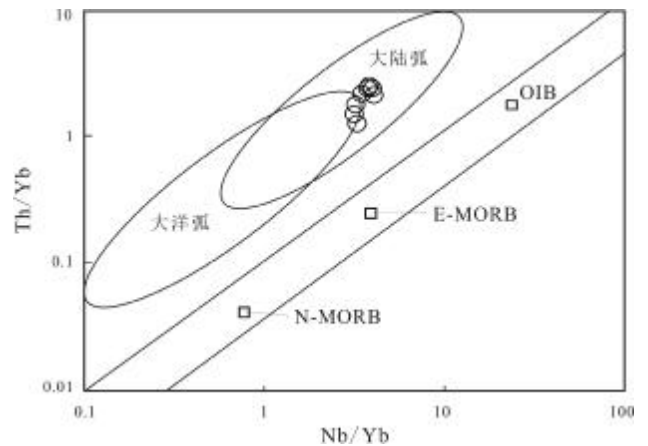


图 9 Nb/Yb-Th/Yb 图解

(据文献[38])

Fig. 9 The Nb/Yb-Th/Yb diagram

(After Reference [38])

N-MORB—正常洋脊玄武岩(normal mid-ocean ridge basalt); E-MORB—富集洋脊玄武岩(enriched mid-ocean ridge basalt); OIB—洋岛玄武岩(ocean island basalt)

5 结论

(1) 黑龙江省漠河市西部地区新发现一套晚三叠世中-基性火山岩, 其中安山岩获得锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 201 ± 2 Ma, 英安质火山角砾岩获得锆石

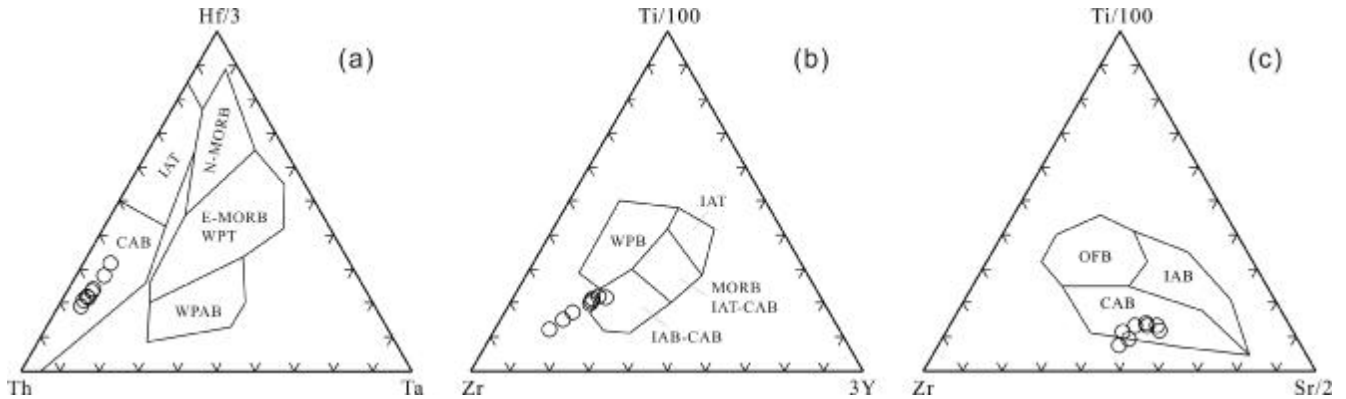


图 10 火山岩微量元素成分构造环境判别图

Fig. 10 Tectonic environment discrimination diagrams of trace elements for volcanic rocks

a—据文献[39] (after Reference [39]); b, c—据文献[40] (after Reference [40]); N-MORB—正常洋脊玄武岩(normal mid-ocean ridge basalt); E-MORB—富集洋脊玄武岩(enriched mid-ocean ridge basalt); WPT—板内拉斑玄武岩(within-plate tholeiite); WPAB—板内碱性玄武岩(within-plate alkali basalt); IAB—岛弧玄武岩(island arc basalt); IAT—岛弧拉斑玄武岩(island arc tholeiite); MORB—洋中脊玄武岩(mid-ocean ridge basalt); WPB—板内玄武岩(within-plate basalt); OFB—洋底玄武岩(ocean floor basalt); IAB—岛弧玄武岩(island arc basalt); CAB—钙碱性玄武岩(calc-alkali basalt)

U-Pb 平均年龄为 201 ± 1 Ma. 结合与上覆中侏罗统绣峰组的角度不整合接触关系, 认为富源沟中-基性火山岩形成于晚三叠世。

(2)富源沟中-基性火山岩为一套钙碱性系列岩石, 富集大离子亲石元素 Ba、K、Sr 等, 亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti、P 等, 具有俯冲带岩浆地球化学特征, 其原始岩浆可能与受到流体交代的地幔楔的部分熔融有关, 并在上升过程中遭受了地壳物质混染, 形成于蒙古-鄂霍次克洋向额尔古纳地块俯冲的火山弧环境。

致谢: 衷心感谢审稿专家及编辑部老师在论文修改过程中给予的指导与帮助。

参考文献(References):

- [1]林强, 葛文春, 曹林, 等. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 208-222.
Lin Q, Ge W C, Cao L, et al. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan Ling: The bimodal volcanic rocks[J]. *Geochimica*, 2003, 32(3): 208-222.
- [2]许文良, 王枫, 裴福萍, 等. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景: 来自中生代火山岩组合时空变化的制约[J]. 岩石学报, 2013, 29(2): 339-353.
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.

- [3]张兴洲, 刘洋, 曾振, 等. 大兴安岭北部 ± 130 Ma 火山岩的地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(1): 1-13.
Zhang X Z, Liu Y, Zeng Z, et al. The geological implications of ± 130 Ma volcanic rocks in the Northern Da Hinggan Mountains[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2017, 47(1): 1-13.
- [4]王惠, 郭灵俊, 白翠霞, 等. 大兴安岭中北部晚侏罗世-早白垩世地层新认识[J]. 地质通报, 2005, 24(9): 867-871.
Wang H, Guo L J, Bai C X, et al. New idea of Late Jurassic-Early Cretaceous strata in the north-central Da Hinggan Mountains, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(9): 867-871.
- [5]刘世伟. 大兴安岭地区中生代火山岩岩石地层的划分与对比问题[J]. 地质与资源, 2009, 18(4): 241-244.
Liu S W. Division and correlation of the Mesozoic volcanic rocks and strata in Daxinganling Region[J]. *Geology and Resources*, 2009, 18(4): 241-244.
- [6]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.
- [7]尹志刚, 王文材, 张跃龙, 等. 伊勒呼里山中生代火山岩: 锆石 U-Pb 年代学及其对岩浆事件的制约[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, 46(3): 766-780.
Yin Z G, Wang W C, Zhang Y L, et al. Mesozoic volcanic rocks in Yilehuli area: Zircon U-Pb ages and their constraints on the magmatic events[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2016, 46(3): 766-780.
- [8]杜兵盈, 刘宇崑, 张铁安, 等. 黑龙江省西北部侏罗纪一早白垩世

- 地层划分与对比[J]. 地层学杂志, 2019, 43(1): 28-35.
- Du B Y, Liu Y W, Zhang T A, et al. Stratigraphic subdivision and correlation of the Jurassic-Early Cretaceous in northwestern Heilongjiang Province[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2019, 43(1): 28-35.
- [9] 杨晓平, 江斌, 杨雅军. 大兴安岭早白垩世火山岩的时空分布特征[J]. 地球科学, 2019, 44(10): 3237-3251.
- Yang X P, Jiang B, Yang Y J. Spatial-temporal distribution characteristics of Early Cretaceous volcanic rocks in Great Xing'an Range area[J]. *Earth Science*, 2019, 44(10): 3237-3251.
- [10] 杨雅军, 江斌, 王筱箐, 等. 黑龙江黑宝山-罕达气盆地早白垩世九峰山组年代地层划分[J]. 地质与资源, 2020, 29(5): 403-410.
- Yang Y J, Jiang B, Wang X Z, et al. Chronostratigraphic division of the Early Cretaceous Jiufengshan Formation in Heibaoshan-Handaqi basin, Heilongjiang Province[J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(5): 403-410.
- [11] 郑吉林, 王文东, 杨华本, 等. 大兴安岭北部下侏罗统战备村组的建立及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(7): 1106-1114.
- Zheng J L, Wang W D, Yang H B, et al. The establishment of the Lower Jurassic Zhanbeicun Formation in northern Da Hinggan Mountains and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(7): 1106-1114.
- [12] 李中会, 李睿杰, 李阳, 等. 大兴安岭满归地区变中酸性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质调查, 2020, 7(1): 47-52.
- Li Z H, Li R J, Li Y, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages and geological significance of the meta-intermediate-acidic volcanic rocks in Mangui area of Da Hinggan Mountains[J]. *Geological Survey of China*, 2020, 7(1): 47-52.
- [13] 李宇. 兴安地块中生代火成岩的年代学与地球化学: 对蒙古-鄂霍茨克构造体系演化的制约[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- Li Y. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic igneous rocks in the Xing'an massif, NE China: Constraints on the evolution of the Mongol-Okhotsk tectonic regime [D]. Changchun: Jilin University, 2018.
- [14] 唐杰. 额尔古纳地块中生代火成岩的年代学与地球化学: 对蒙古-鄂霍茨克缝合带构造演化的制约[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- Tang J. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic igneous rocks in the Erguna massif, NE China: Constraints on the tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk suture zone[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [15] 孙晨阳, 唐杰, 许文良, 等. 造山带内微陆块地壳的增生与再造过程: 以额尔古纳地块为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(7): 804-817.
- Sun C Y, Tang J, Xu W L, et al. Crustal accretion and reworking processes of micro-continental massifs within orogenic belt: A case study of the Erguna massif, NE China [J]. *Science China Earth Sciences*, 2017, 60(7): 1256-1267.
- [16] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪 (LA-MC-ICPMS) 测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物学报, 2009, 29(S1): 600-601.
- Li H K, Geng J Z, Hao S, et al. The study of zircon U-Pb dating by means of LA-MC-ICPMS [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2009, 29(S1): 600-601. (in Chinese)
- [17] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. *In situ* analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(1/2): 34-43.
- [18] Belousova E, Griffin W, 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(5): 602-622.
- [19] Liang Q, Jing H, Gregoire D C. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. *Talanta*, 2000, 51(3): 507-513.
- [20] 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(4): 956-983.
- [21] 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, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks[M]. Oxford: Blackwell, 1989.
- [22] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements[J]. *Chemical Geology*, 1977, 20(4): 325-343.
- [23] Irvine T N, Barager W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. *Canadian Journal of Earth Sciences* 1971, 8(5): 523-548.
- [24] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamou area, Northern Turkey [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1976, 58(1): 63-81.
- [25] Wilson W. Igneous petrogenesis [M]. Dordrecht: Springer, 1989: 327-373.
- [26] 纪政, 葛文春, 杨浩, 等. 大兴安岭中段晚三叠世安第斯型安山岩: 蒙古-鄂霍茨克大洋板片南向俯冲作用的产物[J]. 岩石学报, 2018, 34(10): 2917-2930.
- Ji Z, Ge W C, Yang H, et al. The Late Triassic Andean-type andesite from the central Great Xing'an Range: Products of the southward subduction of the Mongol-Okhotsk oceanic plate[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2018, 34(10): 2917-2930.
- [27] 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.
- [28] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of

- oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- [29] Hess P C. Phase equilibria constraints on the origin of ocean floor basalts[C]//Morgan J P, Blackman D K, Sinton J M. *Mantle flow and melt generation at mid-ocean ridges*. Washington: American Geophysical Union, 1992: 67-102.
- [30] Hofmann A W, Jochum K P, Seufert M, et al. Nb and Pb in oceanic basalts: New constraints on mantle evolution[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1986, 79(1/2): 33-45.
- [31] 许文良, 孙晨阳, 唐杰, 等. 兴蒙造山带的基底属性与构造演化过程[J]. *地球科学*, 2019, 44(5): 1620-1646.
- Xu W L, Sun C Y, Tang J, et al. Basement nature and tectonic evolution of the Xing'an-Mongolian Orogenic Belt[J]. *Earth Science*, 2019, 44(5): 1620-1646.
- [32] 马永非, 刘永江, 温泉波, 等. 大兴安岭中段晚三叠世哈达陶勒盖组火山岩成因及构造背景[J]. *地球科学*, 2017, 42(12): 2146-2173.
- Ma Y F, Liu Y J, Wen Q B, et al. Petrogenesis and tectonic settings of volcanic rocks from Late Triassic Hadataolegai Fm. at central part of Great Xing'an Range[J]. *Earth Science*, 2017, 42(12): 2146-2173.
- [33] 司秋亮, 王恩德, 唐振, 等. 大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩 U-Pb 定年及成因[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(12): 1779-1782.
- Si Q L, Wang E D, Tang Z, et al. Zircon U-Pb dating and petrogenesis of volcanic rocks in Hadataolegai Formation, middle Great Xing'an Range[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2018, 39(12): 1779-1782.
- [34] 江思宏, 张莉莉, 刘翼飞, 等. 兴蒙造山带成矿规律及若干科学问题[J]. *矿床地质*, 2018, 37(4): 671-711.
- Jiang S H, Zhang L L, Liu Y F, et al. Metallogeny of Xing-Meng Orogenic Belt and some related problems [J]. *Mineral Deposits*, 2018, 37(4): 671-711.
- [35] 唐杰, 许文良, 王枫. 东北亚早中生代火成岩组合的时空变异: 对古太平洋板块俯冲开始时间的制约[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2016, 35(6): 1181-1194.
- Tang J, Xu W L, Wang F. Rock associations and their spatial-temporal variations of the Early Mesozoic igneous rocks in the NE Asia: Constraints on the initial subduction timing of the Paleo-Pacific Plate [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2016, 35(6): 1181-1194.
- [36] 李世超, 张凌宇, 李鹏川, 等. 大兴安岭中段早三叠世 O 型埃达克岩的发现及其大地构造意义[J]. *地球科学*, 2017, 42(12): 2117-2128.
- Li S C, Zhang L Y, Li P C, et al. Discovery and tectonic implications of Early Triassic O-type adakite in middle of Great Xing'an Range[J]. *Earth Science*, 2017, 42(12): 2117-2128.
- [37] 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.
- [38] Pearce J A, Peate D W. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas[J]. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 1995, 23(1): 251-285.
- [39] Wood D A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1980, 50(1): 11-30.
- [40] Pearce J A. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins [C]//Zartman R E. *Continental basalts and mantle xenoliths*. Chester: Nantwich Shiva Academic Press, 1983: 230-249.