第46卷第6期 中 国 地 质 Vol.46, No.6
2019年12月 GEOLOGY IN CHINA Dec., 2019

doi: **10.12029/gc20190612**

张晓飞,陈国超,周毅,李沅柏,滕超,王必任,庞振山,曹侃,魏均启. 2019. 内蒙古西乌旗罕乌拉地区白音高老组火山岩特征及形成构造背景[J]. 中国地质, 46(6): 1410−1432.

Zhang Xiaofei, Chen Guochao, Zhou Yi, Li Yuanbai, Teng Chao, Wang Biren, Pang Zhenshan, Cao Kan, Wei Junqi. 2019. Characteristics and tectonic setting of volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in Hanwula of Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 46(6): 1410−1432(in Chinese with English abstract).

内蒙古西乌旗罕乌拉地区白音高老组火山岩特征及形成构造背景

张晓飞[1,2,3,4],陈国超[5],周毅[4],李沅柏[4],滕超[4],王必任[4],庞振山[1,3],曹侃[6],魏均启[7]

(1.中国地质调查局发展研究中心,北京 100037;2.中国地质大学,地球科学与资源学院,北京,100083;3.自然资源部矿产勘查技术指导中心,北京 100083;4.中国地质调查局自然资源实物地质资料中心,河北 燕郊 065201;5.南阳理工学院,河南 南阳 47300;6.内蒙古地质勘查有限责任公司,内蒙古 呼和浩特 010010;7.国土资源部稀土稀有稀散矿产重点实验室,湖北 武汉 430034)

提要:大兴安岭中生代火山岩的成因和构造背景一直存在争议。内蒙古西乌旗地区发育大面积的晚中生代火山岩,是中国东部巨型火山岩带的重要组成部分。本文对西乌旗罕乌拉地区白音高老组火山岩开展了野外地质、岩石学、锆石U−Pb同位素年代学、地球化学研究,以便对其岩石成因和构造背景给予制约。白音高老组火山岩主要由流纹岩及流纹质火山碎屑岩等一套中酸性火山岩组成。采集其中的球粒流纹岩和英安斑岩进行LA−ICP−MS锆石U−Pb测年,测年锆石的CL图和Th/U值(0.34~1.25)指示其为岩浆成因锆石,测年结果分别为(140±0.8)Ma和(133±0.7)Ma,表明这套火山岩的形成时代为早白垩世早期。岩石地球化学研究表明,白音高老组火山岩属高钾钙碱性系列,具高硅、富碱、贫镁、钙,高FeO^T/MgO比值,低$Mg^{\#}$值、Nb/Ta比值的特征;相对富集轻稀土元素,亏损重稀土元素;大部分样品富集LILE,而亏损Ba、Sr和HFSE,具A型花岗岩地球化学特征,形成于伸展构造背景,为地壳部分熔融的结果。结合区域中生代火山岩的空间展布特征,认为该火山岩形成应与蒙古—鄂霍茨克洋闭合碰撞后伸展和古太平洋板块的俯冲作用有关。

关 键 词:大兴安岭;西乌旗;白音高老组;早白垩世;A型花岗岩;伸展构造环境;地质调查工程

中图分类号:P597$^+$.3;P588.14 **文献标志码**:A **文章编号**:1000−3657(2019)06−1410−23

Characteristics and tectonic setting of volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in Hanwula of Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia

ZHANG Xiaofei[1,2,3,4], CHEN Guochao[5], ZHOU Yi[4], LI Yuanbai[4], TENG Chao[4], WANG Biren[4], PANG Zhenshan[1,3], CAO Kan[6], WEI Junqi[7]

收稿日期:2018−05−02;**改回日期**:2019−05−15

基金项目:国家自然科学基金(41802222),中国地质调查局项目“内蒙古1:5万呼格吉勒图、巴彦华、巴彦布拉格、彦吉嘎庙幅区域地质调查”(1212011220453)和“矿集区矿产调查及深部找矿预测”(DD20190570)及自然资源部稀土稀有稀散矿产重点实验室开放基金项目(KLRM−KF201902)联合资助。

作者简介:张晓飞,男,1985年生,博士,工程师,主要从事区域地质矿产调查与研究工作;E−mail:zhangxiaofei521125@163.com。

通讯作者:陈国超,男,1979年生,博士,讲师,构造地质学专业,主要从事造山带岩浆作用研究;E−mail: chaoschen@126.com。

(1. *Development and Research Centre*, *China Geological Survey*, *Beijing* 100037,*China*;2. *School of Earth Sciences and Resources*, *China University of Geosciences*, *Beijing*, 100083,*China*;3. *Mineral Exploration Technical Guidance Center*, *Ministry of Natural Resources*, *Beijing* 100083, *China*;4. *Cores and Samples center of Natural Resources*, *China Geological Survey*, *Yanjiao* 065201, *Hebei*, *China*;5. *Nanyang Institutte of Technology*, *Nanyang* 47300, *Henan*, *China*; 6. *Inner Mongolia geological prospecting Co.*, *Ltd. Hohot* 010010, *InnerMongolia*, *China* ;7. *Key Laboratory of Rare Mineral*, *Ministry of Land and Resources*, *Wuhan* 430034, *China)*

Abstract: There exist different opinions concerning the petrogenesis and tectonic background of Mesozoic volcanic rocks developed in the Da Hinggan Mountains. The Late Mesozoic volcanic rocks in the Xi Ujimqin Banner of Inner Mongoliais a very important part of the huge volcanic rock belt in eastern China. The authors studied the volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in Hanwula of Xi Ujimqin Banner in such aspects as field occurrence, petrology, zircon U−Pb isotopic geochronology and geochemisty in order to constrain their petrogenesis and tectonic background. The volcanic rocks of Baiyingaolao Formation are composed of rhyolite and volcanic clastic, which are a set of felsic volcanic rocks. The cathodoluminescence (CL) images of analyzed zircons of the pyromeride and dacite porphyry from Baiyingaolao Formation and their Th/U ratios (0.34−1.25) imply the igneous origin. LA−ICP−MS U−Pb dating shows that their ages are about (140±0.8) Ma and (133±0.7) Ma respectively, suggesting the early period of Early Cretaceous. Petrological and geochemical data reveal that the rocks belong to the high potassium calc− alkaline rock series characterized by rich Si and alkali, poor magnesium and calcium, high FeO^T/MgO ratio and low $Mg^\#$, Nb/Ta ratio. LREE are richer than HREE. The trace element geochemistry is characterized evidently by enrichment of LILE, depletion of Ba, Sr and HFSE. All these geochemical characteristics of rocks show an affinity with the A− type granites, which were most probably formed in an extensional setting and originated from the partial melting of the crust. Combined with spacial distribution of the Mesozoic volcanic rocks, the authors hold that they were probably related to the post−orogenic extension following the closure of the Mongol−Okhotsk orogen, and were also affected by the subduction of the Paleo−Pacific plate.

Key words: Da Hinggan Mountains; Xi Ujimqin Banner; Baiyingaolao Formation; Early Cretaceous; A−type granite; extensional environment; geological survey engineering

About the first author: ZHANG Xiaofei, male, born in 1985, doctor, engineer, engages in regional geological survey and mineral exploration study; E−mail: Zhangxiaofei521125@163.com.

About the corresponding author: CHEN Guochao, male, born in 1979, doctor, lecturer, majors in structural geology, engages in the study of magmatism in orogenic belt ; E−mail: chaoschen@126.com.

Fund support: Supported by the National Natural Science Fund(No.41802222), China Geological Survey Program (No.1212011220453; No.DD20190570) and the Research Fund Program of Key Laboratory of Rare Mineral, Ministry of Land and Resources (No. KLRM−KF201902).

1 引言

大兴安岭地区位于中亚造山带东段，古生代以来，该区经历了古亚洲洋闭合、蒙古—鄂霍茨克洋闭合及古太平洋板块俯冲等演化阶段，其构造和岩浆作用复杂多样（赵越等，1994；吴福元等，1999；Zorin, 1999; Kravchinsky et al., 2002; Wu et al., 2002；李锦轶等，2004；Sorokin et al., 2004；孙德有等，2004；邵济安等，2010，2015；佘宏全等，2012；Chen et al., 2016；Dash et al., 2016）。该地区中生代岩浆活动强烈，形成了大面积的火山岩和众多的花岗岩（吕志成等，2004；Ying et al., 2010；孟凡超等，2013；Xu et al., 2013a；许文良等，2013b；赵丕忠等，2014），既是重要的多金属成矿带，也是研究中国乃至东北亚中生代构造岩浆演化的重要地区之一（葛文春等，1999；Davis et al., 2001；林强等，2004；Wu et al., 2011；马玉波等，2016）。而大兴安岭地区中生代火山岩的成因及其产生的构造背景争议较大，该问题的研究对于揭示区内中生代构造−岩浆作用和成矿地质背景具有重要的意义。

大兴安岭地区中生代火山活动主要发生在晚侏罗世—早白垩世（张吉衡，2009），在中南部地区

主要出露为满克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老组和梅勒图组。早期研究者对白音高老组火山岩进行了大量研究工作，但在岩石的形成时代、岩石成因和构造背景上还存在争议。形成时代上有晚侏罗世（赵国龙等，1989；李文国等，1996；邵积东等，2011）、早白垩世（葛文春等，2001；张吉衡，2009；苟军等，2010；王建国等，2013；刘哲等，2017）。岩石成因上一般认为是陆壳部分熔融的产物，但有与A_1型花岗岩（Jahn et al.，2000，2001；王兴安等，2012；秦涛等，2014）、A_2型花岗岩（王雄等，2015；张学斌等，2015；司秋亮等，2016）和I型花岗岩（Wu et al.，2003；Dong et al.，2014；李研等，2017）相当的3种认识。构造背景上一般认为该期火山-岩浆活动是蒙古—鄂霍次克洋闭合后的后碰撞拉伸作用的响应（Fan et al.，2003；孟恩等，2011；徐美君等，2011；Ouyang et al.，2013，2015；Xu et al.，2013a；Li et al.，2016；刘凯等，2018）；另有学者认为该期岩浆活动受控于古太平洋板块向古亚洲板块的俯冲作用（葛文春等，2007；Zhang et al.，2010）；还有部分学者认为岩浆作用与地幔柱相关（林强等，1998；葛文春等，1999，2005）。存在上述争议的原因主要是中生代火山岩不同地区可能存在一定差异，地层划分不统一，研究对象不一致；早期研究，火山岩时代的确定主要依据岩石组合、古生物特征、区域地层对比和Rb-Sr、K-Ar及少量U-Pb同位素数据（赵国龙等，1989；李文国等，1996；邵积东等，2011；张学斌等，2015）。

笔者在西乌旗罕乌拉地区呼格吉勒图、巴彦华、巴彦布拉格、彦吉嘎庙4个图幅1∶5万区域地质填图基础上，以该区白音高老组火山岩为研究对象，进行岩石学、锆石U-Pb同位素年代学及岩石地球化学等方面研究，探讨该套岩石的成因、形成背

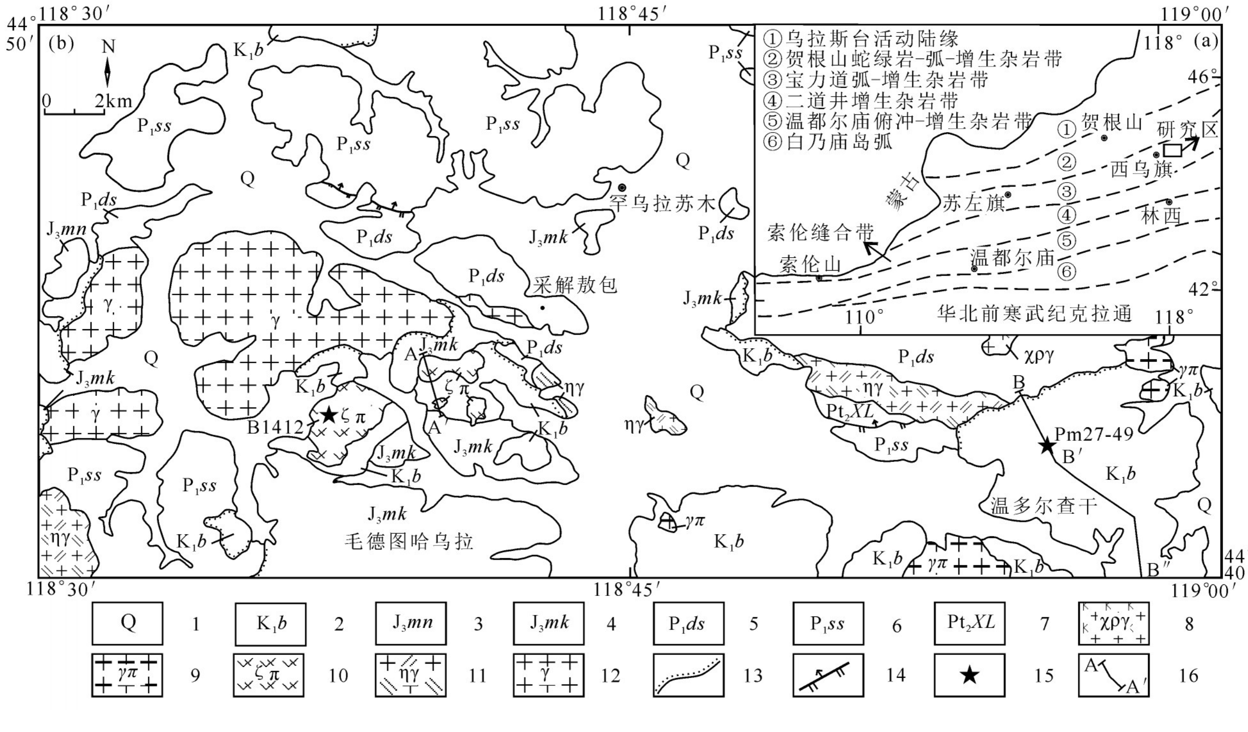

图1　研究区大地构造位置图（a，据Xiao et al.，2003）及区域地质简图（b）

1—第四系；2—下白垩统白音高老组；3—上侏罗统玛尼吐组；4—上侏罗统满克头鄂博组；5—下二叠统大石寨组；6—下二叠统寿山沟组；7—中元古界锡林浩特岩群；8—早白垩世碱长花岗岩；9—早白垩世花岗斑岩；10—早白垩世英安斑岩；11—早中三叠世侵入岩；12—早二叠世侵入岩；13—不整合接触界线；14—实测断层；15—同位素年龄采样点及编号；16—剖面位置

Fig. 1　Regional geological location of the study area (a, after Xiao et al.,2003) and geological sketch map of the study area (b)

1-Quaternary; 2-Lower Cretaceous Baiyingaolao Formation；3-Upper Jurassic Manitu Formation；4-Upper Jurassic Manketouebo Formation；5-Lower Permian Dashizhai Formation；6-Lower Permian Shoushangou Formation；7-Middle Proterozoic Xilinhot Group；8-Early Cretaceous alkali - feldspar granite；9-Early Cretaceous granite porphyry；10-Early Cretaceous dacite porphyry；11-Early - Middle Triassic intrusive rock；12-Early Permian intrusive rock；13-Unconformity；14-Measured fault；15-Isotopic age sampling position and serial number；16-Location of section

景，希望对该地区中生代火山岩形成的构造背景提供科学依据。

2　区域地质背景

2.1 区域地质

内蒙古西乌旗地区位于华北板块与西伯利亚板块所夹持的中亚造山带南缘东段，处于贺根山蛇绿岩带和索伦山—西拉木伦河缝合带之间(图1a)，大兴安岭中生代火山岩带中南段。研究区位于西乌旗东北部罕乌拉地区，出露的地层单元由老至新依次为中元古界锡林浩特岩群，为一套二云母(石英)片岩、含石榴石英片岩夹斜长角闪岩，与下二叠统寿山沟组为逆断层接触。二叠系从下到上依此为：下二叠统寿山沟组，为一套浅变质海相细碎屑岩系组合，与大石寨组为逆断层接触；下二叠统大石寨组，为一套海相火山-沉积岩组合；中二叠统哲斯组，为一套滨浅海相碎屑岩夹碳酸盐岩组合，发育较为丰富的珊瑚、腕足、海百合茎、苔藓虫化石。中生界见有上侏罗统满克头鄂博组，为一套酸性火山碎屑岩-沉积碎屑岩岩石组合，含植物化石；上侏罗统玛尼吐组，为一套中基性火山熔岩岩石组合；下白垩统白音高老组为一套中酸性火山熔岩、火山碎屑岩夹火山碎屑沉积岩岩石组合。区内岩浆活动发育，晚古生代—中生代以未变质的花岗岩—中酸性火山岩为主，总体呈北东—北东东向展布。早二叠世发育辉长岩、辉石闪长岩及碱长花岗岩侵入体、大石寨组火山岩；早、中三叠世发育花岗闪长岩、二长花岗岩侵入体；晚侏罗世—早白垩世发育陆相火山岩及早白垩世侵入体。

2.2 白音高老组火山岩特征

白音高老组火山岩主要分布于研究区南部毛德图哈乌拉—温多尔查干一带，呈北东向展布，出露面积约75.5 km²，不整合覆盖在早二叠世辉石闪长岩、中三叠世二长花岗岩岩体之上，角度不整合覆盖在下二叠统寿山沟组、大石寨组之上。其分布见图1b，实测剖面见图2。岩石类型主要见有喷溢

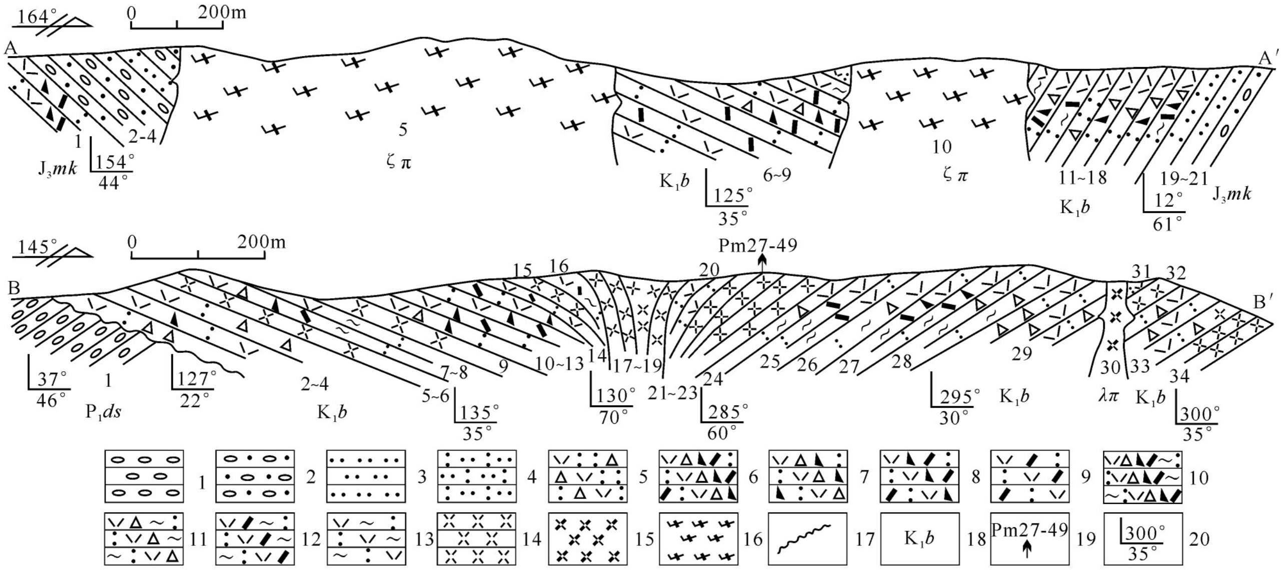

图2 罕乌拉地区白音高老组火山岩实测剖面

1—砾岩；2—砂砾岩；3—粉砂岩；4—凝灰质粉砂岩；5—流纹质凝灰角砾岩；6—流纹质含角砾岩屑晶屑凝灰岩；7—流纹质含角砾岩屑凝灰岩；8—流纹质岩屑晶屑凝灰岩；9—流纹质晶屑凝灰岩；10—流纹质含角砾岩屑晶屑熔结凝灰岩；11—流纹质含角砾熔结凝灰岩；12—流纹质晶屑熔结凝灰岩；13—流纹质熔结凝灰岩；14—流纹岩；15—流纹斑岩；16—英安斑岩；17—不整合界线；18—地质代号；19—同位素年龄采样点及编号；20—产状

Fig. 2 Measured geological section of Baiyingaolao Formation in Hanwula

1-Conglomerates; 2-Glutenites; 3-Siltstones; 4-Tuffaceous siltstones; 5-Rhyolitic tuff breccias; 6-Rhyolitic tuffs with breccia lithic and crystal clasts; 7-Rhyolitic tuffs with breccia and lithic clasts; 8-Rhyolitic tuffs with lithic and crystal clasts; 9-Rhyolitic tuffs with crystal clasts; 10-Rhyolitic welded tuffs with breccia lithic and crystal clasts; 11-Rhyolitic welded tuffs with breccia clasts; 12-Rhyolitic welded tuffs with crystal clasts; 13-Rhyolitic welded tuffs; 14-Rhyolite; 15-Rhyolite porphyry; 16-Dacite porphyry; 17-Unconformity; 18-Geological code; 19- Isotopic age sampling position and serial number; 20-Attitude

相：灰白色、灰紫色流纹岩、球粒流纹岩、黑曜岩；爆发相：灰白色流纹质（含角砾）凝灰岩、流纹质凝灰角砾岩、流纹质（含角砾）熔结凝灰岩、流纹质富晶屑熔结凝灰岩、英安质晶屑熔结凝灰岩等；次火山岩相：流纹斑岩、英安斑岩；喷发-沉积相：凝灰质砂砾岩等。火山岩相组合表现为爆发相-喷溢相系列组合，火山作用过程经历强烈爆发和宁静溢流的交互变化过程。火山活动晚期主要为次火山岩相产出，沿火山口或火山断裂（环形断裂及放射状断裂）侵入，形成似侵入岩的次火山岩。

流纹岩呈灰白色—青灰色—紫红色，具流纹构造，斑状结构（图3a、b）。斑晶占5%~10%，主要由斜长石、钾长石和石英组成，粒径0.2~1.5 mm。斜长石呈板状，隐约可见聚片双晶，主要为钠-更长石；钾长石呈板状，发育熔蚀结构，可见斑块状条纹；石英呈熔蚀不规则粒状。基质中发育流纹结构，沿流纹脱玻化程度不同，主要以长英质脱玻霏细粒状、隐晶质结构为主。

球粒流纹岩呈灰红色、浅紫色，野外露头上可见直径1~5 cm不等的石泡（图3c、d）。岩石具斑状结构、球粒结构。斑晶为斜长石、黑云母，自形程度高，粒径0.5~1 mm，含量小于5%。斜长石呈板状，聚片双晶宽窄不一，为钠更长石；黑云母呈鳞片状，褐色，表面浑浊；基质中圆形、椭圆形球粒结构发育，球粒细小密集，为纤维状长英质形成的放射状球体，直径0.15~1.0 mm，球粒之间被少量微粒长英质矿物和浑浊不规则的石英充填。副矿物主要为磷灰石、磁铁矿。

流纹质晶屑熔结凝灰岩，岩石风化面多呈灰红色、紫红色，新鲜面呈浅灰黑色、深紫色，假流动构造，熔结凝灰结构，主要由晶屑、浆屑及火山灰组成（图3e、f）。晶屑呈棱角状—次棱角状，少数自形晶，普遍有熔蚀，成分为石英、钾长石（条纹长石）、斜长石（黏土化），分布均匀，含量30%~40%。浆屑呈条带状、带状、透镜状，边缘轮廓不明显，脱玻化后边缘以纤维状长石为主，内部由嵌晶长英质或不规则粒状石英、长石组成，含量10%~20%。岩石中局部含角砾，且分布极其不均，含量1%~3%，其大小0.2~3 cm不等，大者可达5 cm，呈棱角状—次棱角状，岩性主要见有花岗岩、片岩、板岩等。

英安斑岩，呈次火山岩相产出，岩石多呈浅灰红色、灰黄色，坚硬致密，具块状构造，斑状结构（图3g、h）。斑晶主要为斜长石、钾长石，含量10%~30%，粒径0.5~4 mm。斜长石呈板状，聚片双晶发育，为更长石。钾长石呈宽板状、聚斑状，条纹稀疏斑块状，为条纹长石。少量暗色矿物呈短柱状、粒状。基质粒状石英或长英质颗粒中嵌布柱状、粒状长石微晶，无规则排列。粒状石英、长英质颗粒界限不清，粒径小于0.2 mm。

3 样品与分析测试

本次共采集锆石U-Pb定年样品2件，样品编号为Pm27-49（球粒流纹岩）和B1412（英安斑岩），地理坐标分别为44°42′08″N，118°55′56″E和44°42′54″N，118°37′03″E。采集岩石地球化学样品7件，其中酸性火山岩岩性为流纹岩（B1404、B1408）、球粒流纹岩（Pm27-49）、流纹质晶屑熔结凝灰岩（Pm13-21），次火山岩岩性为英安斑岩（B1412、Pm21-88、Pm21-137）。

3.1 锆石U-Pb定年

样品破碎和锆石挑选均由河北省区域地质调查研究所实验室完成。采用常规方法进行粉碎，用常规浮选方法分选出锆石后，再用双目镜挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒作为测定对象。将锆石颗粒黏在双面胶上，经环氧树脂固定—环氧树脂固化—表面抛光工序后，进行锆石显微照相和阴极发光照相。锆石的反射光和透射光显微照相及阴极发光（CL）显微照相在北京锆年领航科技有限公司完成。

锆石U-Pb同位素定年在天津地质矿产研究所利用LA-ICP-MS进行分析，ICP-MS为ThermoFisher公司制造的Neptune。本次实验采用的激光束斑直径为35 μm，以氦气作为剥蚀物质的载气。具体实验过程及试验方法见李怀坤等（2010）。数据采用Andersen软件对测试数据进行普通铅校正，年龄计算及谐和图绘制采用ISOPLOT（2.49版）软件完成。所有数据点年龄值的误差均为1σ，采用$^{206}Pb/^{238}U$年龄，其加权平均值具95%的置信度（Anderson，2002；Ludwig，2003）。

3.2 主微量元素分析

样品碎样和地球化学成分测试工作均在河北省廊坊区域地质矿产调查研究所实验室完成。岩

图3 白音高老组火山岩野外及显微照片

a,b—流纹岩; c,d—球粒流纹岩; e,f—流纹质晶屑熔结凝灰岩; g,h—英安斑岩; Q—石英; Pl—斜长石; Kf—钾长石; Bi—黑云母

Fig. 3 Field outcrop and microscopic characteristics of Baiyingaolao Formation

a,b−Rhyolite; c,d−Pyromeride; e,f−Rhyolitic welded tuffs with crystal clasts; g,h−Dacite porphyry; Q−Quartz; Pl−Plagioclase; Kf−K−feldspar; Bi−Biotite

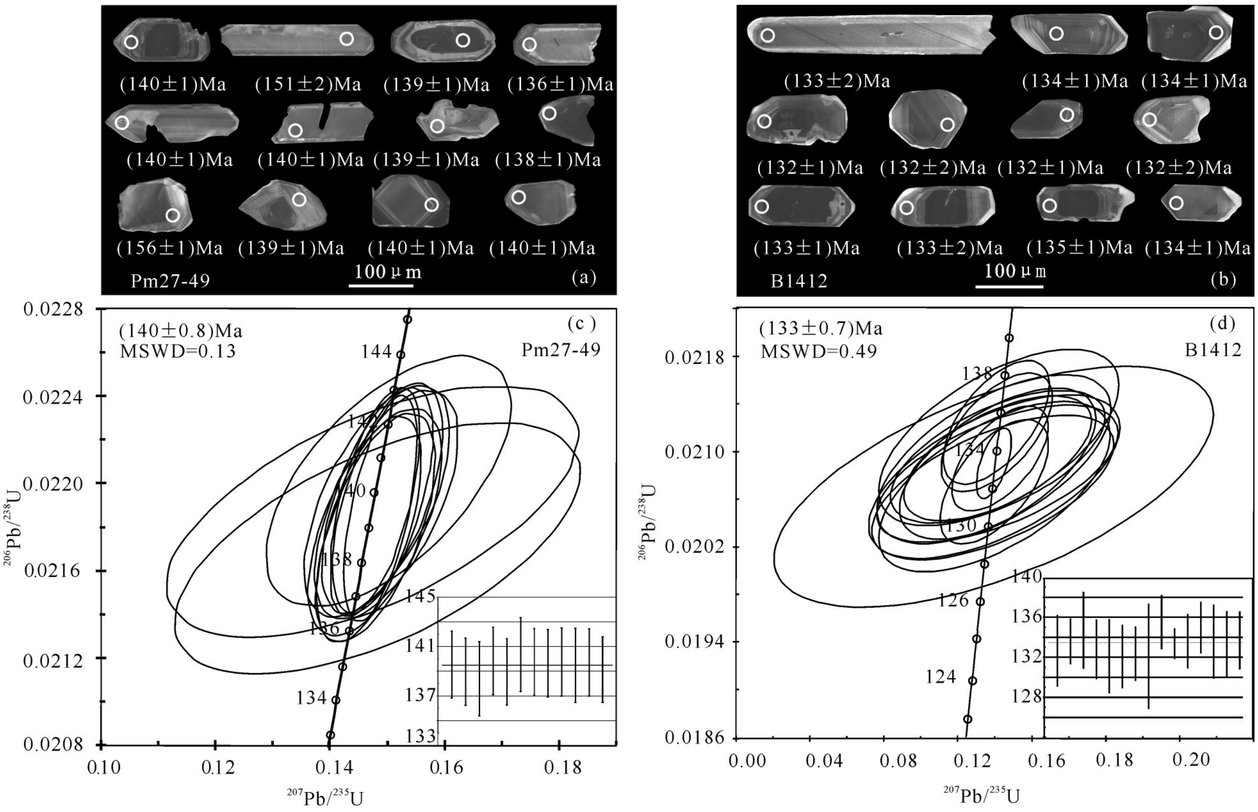

图4 罕乌拉地区白音高老组球粒流纹岩(Pm27-49)和英安斑岩(B1412)代表性单颗粒锆石阴极发光(CL)图像及其表面年龄(Ma)(a、b);罕乌拉地区白音高老组球粒流纹岩(Pm27-49)和英安斑岩(B1412)LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄谐和图(c、d)

Fig.4 Cathodoluminescence images of typical single-crystal zircons and their apparent ages (Ma) for the pyromeride(Pm27-49) and dacite porphyry(B1412) of Baiyingaolao Formation in Hanwula(a, b);LA-ICP-MS zircon U-Pb concordant age diagram for the pyromeride(Pm27-49)and dacite porphyry(B1412)of Baiyingaolao Formation in Hanwula(c, d)

石样品首先粗碎至2~4 cm,然后用3%~5%的稀盐酸经超声波清除表面杂质,再研磨至200目。主量元素采用X射线荧光光谱仪法,分析精度优于5%;微量元素采用X Serises 2电感耦合等离子体质谱ICP-MS分析方法,精度和准确度优于5%。

4 分析结果

4.1 锆石U-Pb年代学

白音高老组火山岩样品Pm27-49(球粒流纹岩)的锆石为浅黄色-无色透明,在CL图像中,锆石自形程度较高,大部分呈长柱状,少量为短柱状(图4a),长度多为90 ~240 μm。锆石具有明显的震荡环带,指示它们为岩浆成因锆石(Belousova et al., 2002;吴元保等,2004)。锆石LA-ICP-MS U-Pb分析结果(表1)显示,15个测点的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄为(136±1)Ma~(140±1)Ma(9、12号点分别为(156±2)Ma、(151±2)Ma,应为捕获锆石)。$^{206}Pb/^{238}U$和$^{207}Pb/^{235}U$谐和性较好,$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄为(140±0.8)Ma(MSWD=0.13)(图4c)。因此,球粒流纹岩的结晶年龄确定为(140±0.8)Ma。

白音高老组火山岩样品B1412(英安斑岩)的锆石为浅黄色-无色透明,在CL图像中,大部分锆石较自形,多呈长柱状,少量为短柱状(图4b),长度多为80~340 μm。锆石LA-ICP-MS U-Pb分析结果(表1)显示,16个测点的$^{206}Pb/^{238}U$年龄介于(132±1)Ma~(136±1)Ma,$^{206}Pb/^{238}U$和$^{207}Pb/^{235}U$谐和性较好(图4d),$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄为(133±0.7)Ma(MSWD=0.49)。因此,英安斑岩的结晶年龄确定为(133±0.7)Ma。

4.2 主量元素

白音高老组火山岩主量元素分析结果见表2。白音高老组酸性火山岩样品的SiO_2和碱含量较高,样品Pm13-21(流纹质晶屑熔结凝灰岩)的K_2O含量明显高于其他样品,Na_2O和Na_2O/K_2O比值低于

表1 罕乌拉地区白音高老组火山岩球粒流纹岩(Pm27-49)和英安斑岩(B1412)LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析结果

Table1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope analysis results for the pyromeride(Pm27-49)and dacite porphyry(B1412) of Baiyingaolao Formation in Hanwula

样品点号	含量/10^{-6}		同位素比值										表面年龄/Ma					
	Pb	U	^{206}Pb/^{238}U	1σ	^{207}Pb/^{235}U	1σ	^{207}Pb/^{206}Pb	1σ	^{208}Pb/^{232}Th	1σ	^{232}Th/^{238}U	1σ	^{206}Pb/^{238}U	1σ	^{207}Pb/^{235}U	1σ	^{207}Pb/^{206}Pb	1σ
球粒流纹岩(Pm27－49)																		
Pm27－49－01	61	2068	0.0219	0.0002	0.1488	0.0026	0.0493	0.0008	0.0086	0.0003	1.2500	0.0040	140	1	141	2	163	38
Pm27－49－02	21	931	0.0218	0.0002	0.1479	0.0043	0.0492	0.0014	0.0090	0.0003	0.3650	0.0000	139	1	140	4	158	65
Pm27－49－03	28	1157	0.0213	0.0002	0.1467	0.0059	0.0500	0.0019	0.0127	0.0004	0.4040	0.0020	136	1	139	6	194	90
Pm27－49－04	28	1199	0.0217	0.0002	0.1482	0.0144	0.0495	0.0047	0.0076	0.0002	0.4950	0.0000	138	1	140	14	173	224
Pm27－49－05	23	1022	0.0219	0.0002	0.1490	0.0043	0.0493	0.0014	0.0073	0.0002	0.4420	0.0010	140	1	141	4	161	65
Pm27－49－06	23	1003	0.0218	0.0002	0.1467	0.0037	0.0488	0.0012	0.0069	0.0002	0.4830	0.0030	139	1	139	4	140	57
Pm27－49－07	23	976	0.0220	0.0002	0.1502	0.0087	0.0495	0.0028	0.0075	0.0002	0.5020	0.0000	140	1	142	8	170	133
Pm27－49－08	30	1337	0.0219	0.0002	0.1491	0.0036	0.0493	0.0011	0.0067	0.0002	0.4680	0.0010	140	1	141	3	164	53
Pm27－49－09	29	990	0.0244	0.0003	0.3983	0.0157	0.1182	0.0037	0.0134	0.0006	0.4780	0.0020	156	2	340	13	1929	57
Pm27－49－10	29	1278	0.0219	0.0002	0.1498	0.0051	0.0496	0.0017	0.0071	0.0002	0.4990	0.0010	140	1	142	5	176	78
Pm27－49－11	35	1465	0.0219	0.0002	0.1482	0.0052	0.0490	0.0017	0.0078	0.0002	0.5620	0.0010	140	1	140	5	149	79
Pm27－49－12	58	1887	0.0237	0.0002	0.3408	0.0118	0.1043	0.0030	0.0100	0.0003	0.9070	0.0010	151	2	298	10	1703	54
Pm27－49－13	18	805	0.0219	0.0002	0.1473	0.0147	0.0488	0.0047	0.0070	0.0003	0.4160	0.0010	139	1	140	14	140	228
Pm27－49－14	35	1434	0.0219	0.0002	0.1478	0.0032	0.0489	0.0010	0.0080	0.0002	0.6440	0.0000	140	1	140	3	144	49
Pm27－49－15	25	1037	0.0218	0.0002	0.1478	0.0048	0.0491	0.0015	0.0081	0.0002	0.5420	0.0010	139	1	140	5	153	74
英安斑岩(B1412)																		
B1412－01	3	145	0.0208	0.0003	0.1397	0.0278	0.0488	0.0113	0.0043	0.0004	0.4363	0.0006	133	2	133	26	136	546
B1412－02	9	393	0.0209	0.0002	0.1427	0.0106	0.0494	0.0038	0.0059	0.0001	0.6605	0.0020	134	1	135	10	169	179
B1412－03	4	191	0.0211	0.0003	0.1422	0.0266	0.0488	0.0105	0.0053	0.0004	0.4335	0.0036	135	2	135	25	140	504
B1412－04	6	294	0.0208	0.0002	0.1413	0.0267	0.0492	0.0092	0.0072	0.0004	0.4469	0.0025	133	1	134	25	159	439
B1412－05	3	154	0.0207	0.0003	0.1398	0.0256	0.0490	0.0106	0.0065	0.0005	0.3389	0.0026	132	2	133	24	146	508
B1412－06	5	227	0.0207	0.0002	0.1388	0.0268	0.0486	0.0099	0.0065	0.0004	0.5014	0.0030	132	2	132	25	131	477
B1412－07	9	414	0.0207	0.0002	0.1398	0.0119	0.0489	0.0042	0.0072	0.0002	0.3660	0.0020	132	1	133	11	141	201
B1412－08	4	170	0.0207	0.0004	0.1394	0.0486	0.0488	0.0193	0.0083	0.0005	0.5733	0.0027	132	3	133	46	141	927
B1412－09	7	339	0.0212	0.0002	0.1408	0.0117	0.0481	0.0040	0.0078	0.0003	0.3765	0.0011	136	1	134	11	103	195
B1412－10	33	1376	0.0209	0.0001	0.1396	0.0038	0.0484	0.0013	0.0057	0.0000	0.9797	0.0007	133	1	133	4	120	66
B1412－11	1	65	0.0212	0.0009	0.1424	0.0910	0.0487	0.0000	0.0011	0.0014	0.3968	0.0023	135	6	135	86	135	-
B1412－12	6	294	0.0209	0.0002	0.1415	0.0208	0.0490	0.0072	0.0063	0.0002	0.5130	0.0004	134	1	134	20	148	345
B1412－13	7	317	0.0212	0.0002	0.1410	0.0123	0.0483	0.0042	0.0050	0.0001	0.7301	0.0004	135	1	134	12	115	206
B1412－14	4	191	0.0209	0.0003	0.1396	0.0258	0.0484	0.0102	0.0041	0.0003	0.3901	0.0017	134	2	133	25	116	497
B1412－15	6	267	0.0209	0.0003	0.1416	0.0217	0.0491	0.0077	0.0051	0.0003	0.4880	0.0040	133	2	134	21	155	365
B1412－16	6	296	0.0210	0.0002	0.1416	0.0237	0.0490	0.0085	0.0040	0.0001	0.8182	0.0015	134	1	134	23	147	405

其他样品，可能与分析样品里含有较多的钾长石晶屑有关。其余样品的SiO_2含量为73.39%~77.26%；Na_2O为3.29%~4.20%，平均为3.80%；K_2O为3.44%~5.05%，平均为4.14%；（Na_2O+K_2O）为7.65%~8.34%，Na_2O/K_2O为0.65~1.22，平均0.96。Al_2O_3、FeO^T、CaO和MgO含量较低，其中Al_2O_3为11.58%~12.29%，平均为12.02%；FeO^T为1.03%~1.44%，平均为1.18%；CaO为0.27%~0.85%，平均为0.47%；MgO为0.04%~0.08%，平均为0.06%，$Mg^\#$为4.69~12.23；A/CNK介于1.00~1.07，平均为1.04，为弱过铝质高钾钙碱性系列（图5a）。分析结果（表2）显示，白音高老组火山岩部分样品烧失量较大（B1404），可能遭受蚀变作用，K、Na等活动性较强的元素可能有一定程度的变化，本文采用Nb/Y−Zr/TiO_2微量元素分类图解，样品落入到流纹岩范围（图5b）。

次火山岩与酸性火山岩相比具有较低的SiO_2含量，为67.07%~67.96%；较高的Na_2O+K_2O、Al_2O_3、FeO^T、CaO和MgO含量，分别为8.36%~9.80%、15.98%~16.23%、2.88%~3.30%、0.34%~1.64%和0.18%~0.30%，以及较高的A/CNK和$Mg^\#$值，分别为1.15~1.20和8.89~15.47，为过铝质高钾钙碱性系列（图5a）。在Nb/Y−Zr/TiO_2图中，样品落入到流纹英安岩和英安岩范围（图5b）。在哈克图解中（图略），次火山岩和酸性火山岩具有一定演化性，随着SiO_2含量的增加，TiO_2、FeO^T、CaO、MgO和P_2O_5含量下降，Na_2O、Al_2O_3变化不明显，K_2O随SiO_2含量的增加而增加。

4.3 稀土元素

白音高老组火山岩稀土元素分析结果见表2。

表2 罕乌拉地区白音高老组火山岩主量元素(%)和微量元素(10^{-6})分析结果

Table2 Major(%) and trace element (10^{-6}) analysis results of volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in Hanwula

样品号	B1404	B1408	Pm13－21	Pm27－49	B1412	Pm21－88	Pm21－137	样品号	B1404	B1408	Pm13－21	Pm27－49	B1412	Pm21－88	Pm21－137
岩性	流纹岩		流纹质晶屑熔结凝灰岩	球粒流纹岩	英安斑岩			岩性	流纹岩		流纹质晶屑熔结凝灰岩	球粒流纹岩	英安斑岩		
SiO_2	73.39	77.26	80.37	77.18	67.96	67.07	67.72	Co	0.26	0.54	0.33	1.48	1.29	1.92	2.57
TiO_2	0.08	0.08	0.04	0.09	0.37	0.44	0.47	Ni	1.00	1.60	1.80	21.90	2.00	2.10	2.90
Al_2O_3	12.29	12.21	9.27	11.58	15.98	16.23	15.99	Li	33.15	13.36	88.70	20.03	15.75	39.72	32.94
FeO^T	1.06	1.03	0.80	1.44	3.02	3.30	2.88	Sc	3.35	2.94	8.99	2.06	7.00	7.40	6.90
Fe_2O_3	0.68	1.00	0.82	1.25	2.70	3.17	2.73	La	32.65	36.78	5.87	44.83	25.30	22.49	23.48
FeO	0.46	0.14	0.07	0.33	0.62	0.48	0.46	Ce	69.26	66.99	12.39	80.45	55.96	50.99	59.10
MnO	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	Pr	7.93	8.26	1.83	12.87	7.00	6.85	7.16
MgO	0.06	0.08	0.07	0.04	0.26	0.18	0.30	Nd	29.69	30.11	7.76	47.69	28.26	28.01	29.09
CaO	0.85	0.27	0.13	0.27	0.34	1.23	1.64	Sm	5.89	5.89	2.77	9.97	5.50	5.49	5.71
Na_2O	3.92	3.29	0.10	4.20	4.23	3.57	3.31	Eu	0.17	0.15	0.05	0.10	1.43	1.65	1.68
K_2O	3.93	5.05	7.69	3.44	5.57	5.04	5.05	Gd	5.00	5.07	2.47	8.05	4.63	4.62	4.62
P_2O_5	0.01	0.01	0.02	0.03	0.09	0.12	0.13	Tb	0.89	0.90	0.54	1.36	0.74	0.77	0.77
LOI	4.26	0.53	1.29	1.47	1.62	2.21	1.92	Dy	4.79	5.02	3.29	7.35	3.82	3.99	4.10
Total	99.95	99.95	99.88	99.90	99.77	99.76	99.74	Ho	0.91	0.97	0.63	1.32	0.73	0.75	0.76
Cs	86.29	4.75	3.62	4.51	6.57	2.00	5.23	Er	2.72	2.93	1.93	3.79	2.18	2.18	2.19
Rb	228.80	234.90	193.50	131.50	109.40	94.20	105.40	Tm	0.45	0.49	0.36	0.60	0.35	0.34	0.35
Sr	64.10	24.50	24.80	16.10	77.30	171.40	226.10	Yb	2.99	3.29	2.68	4.19	2.40	2.31	2.31
Ba	99.20	115.60	71.50	134.10	1447.00	1373.00	1431.00	Lu	0.56	0.57	0.47	0.83	0.63	0.53	0.56
Ga	23.80	24.70	16.55	26.68	28.20	24.20	23.30	Y	28.36	31.38	16.47	34.73	20.96	21.12	20.19
Nb	11.82	8.65	16.77	14.19	9.42	8.18	7.86	$Mg^\#$	9.10	12.23	13.42	4.69	13.27	8.89	15.47
Ta	1.29	1.15	1.52	1.24	0.75	0.62	0.64	REE	163.93	167.43	59.50	223.38	138.92	130.96	141.89
Zr	145.70	108.40	69.50	244.60	341.40	304.90	305.40	δEu	0.09	0.08	0.05	0.03	0.86	1.00	1.00
Hf	6.14	4.77	3.92	7.80	8.24	8.75	8.42	Nb/Ta	9.14	7.51	11.04	11.46	12.49	13.18	12.36
Th	25.37	21.73	14.57	22.17	9.72	7.66	7.46	Rb/Sr	3.57	9.59	7.80	8.17	1.42	0.55	0.47
V	7.50	9.30	26.90	19.20	16.40	18.60	23.20	T°C	778.65	762.00	731.47	831.77	862.96	853.86	850.65
Cr	4.70	2.70	14.80	14.60	3.60	4.00	5.60	DI	94.03	96.40	97.72	96.41	91.57	86.54	85.23

注：$Mg^\# = 100\times(Mg^{2+}/(Mg^{2+}+TFe^{2+}))$；$\delta Eu=Eu_N/(Sm_N\times Gd_N)1/2$；$T°C = 12,900/[2.95 + 0.85 \times M + \ln(496,000/Zr)] - 273.15$, $M = (Na + K + 2Ca)/(Al \times Si)$; $DI = Q + Or + Ab + Ne + Lc + Kp$。

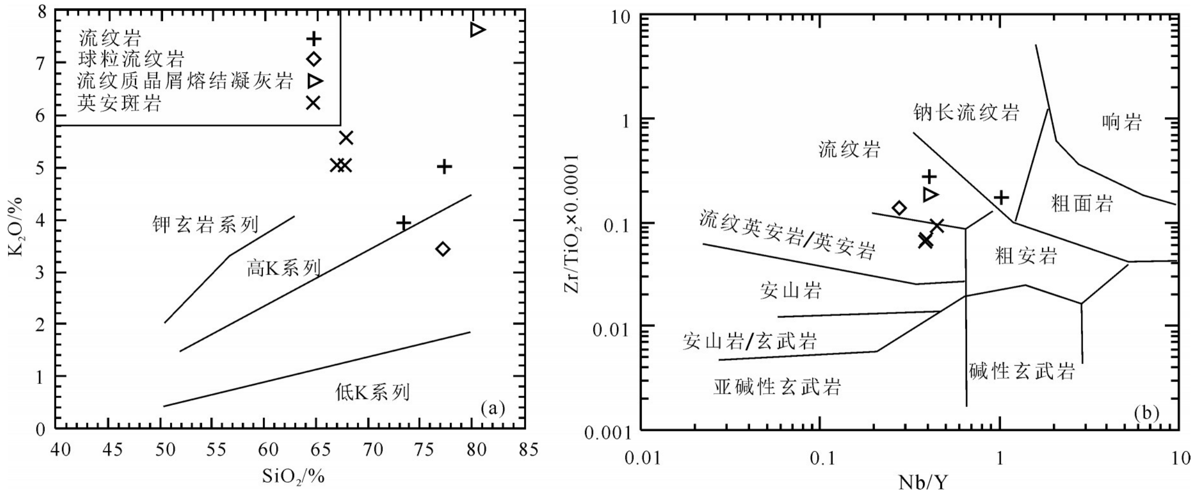

图5 罕乌拉地区白音高老组火山岩SiO_2–K_2O图解(a)(转引自Rollinson,1993)和Nb/Y–Zr/TiO_2分类命名图解(b)(转引自Wilson,1989)

Fig.5 SiO_2–K_2O diagrams(a,after Rollinson,1993) and Nb/Y–Zr/TiO_2 classifying–naming diagrams(b,after Wilson,1989) for volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in Hanwula

白音高老组酸性火山岩的稀土元素总量(ΣREE)为43.03×10^{-6}~233.38×10^{-6},样品Pm13–21(流纹质晶屑熔结凝灰岩)含量明显低于其他样品,为43.03×10^{-6},可能与样品含有较多石英、长石等晶屑有关。其余样品的稀土元素总量(ΣREE)为163.93×10^{-6}~233.38×10^{-6};LREE/HREE比值为7.13~7.94,平均为7.59;$(La/Yb)_N$比值为7.21~7.53,平均为7.37。在球粒陨石标准化稀土元素配分图解上(图6a),稀土元素具有一定分馏,富集轻稀土元素,亏损重稀土元素。Yb含量在2.99×10^{-6}~4.19×10^{-6},Lu含量在0.56×10^{-6}~0.83×10^{-6},$(Yb/Lu)_N$比值为5.08~5.74,平均为5.37;$(Gd/Yb)_N$比值为1.24~1.55,平均为1.38,

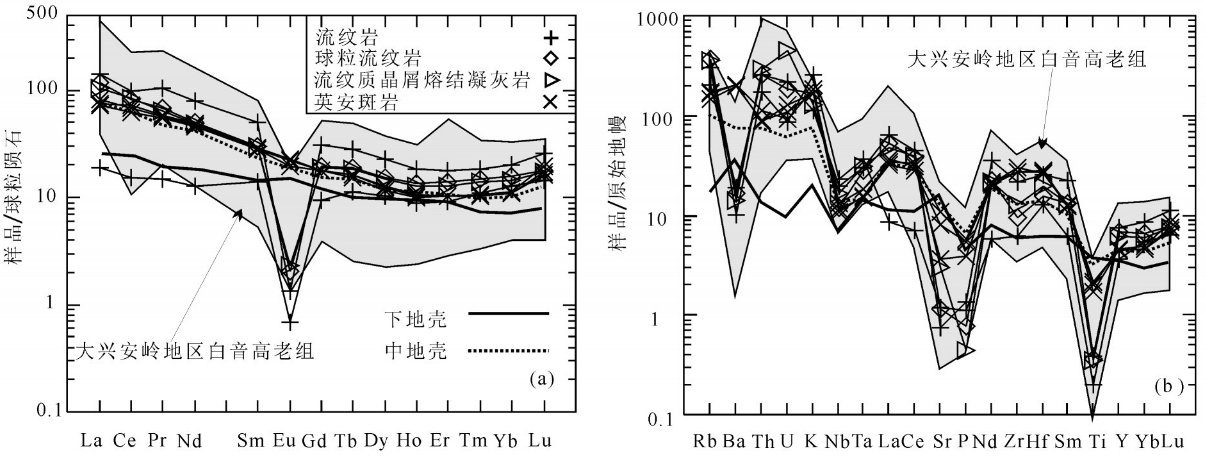

图6 罕乌拉地区白音高老组火山岩球粒陨石标准化稀土元素配分图(a)(球粒陨石标准化数据引自Boynton,1984)和原始地幔标准化蛛网图(b)(原始地幔标准化数据引自Sun and MC Donough.,1989)

下地壳、中地壳据Rudnick et al.,2003;大兴安岭地区白音高老组火山岩数据据苟军等,2010;Dong et al.,2014;Kong et al.,2014;秦涛等,2014;聂立军等,2015;王雄等,2015;Yang et al.,2015;张乐彤等,2015;张学斌等,2015

Fig.6 Chondrite–normalized REE patterns(a)(normalization values after Boynton,1984)and primitive mantle–normalized trace element spider diagrams(b)(normalization values after Sun and Mc Donough.,1989)for volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in Hanwula lower crust, middle Crust (after Rudnick et al.,2003);data of Baiyingaolao Formation in the Da Hinggan Mountains (after Gou Jun et al.,2010;Dong Yu et al.,2014;Kong Yuanming et al.,2014;Qin Tao et al.,2014;Nie Lijun et al.,2015;Wang Xiong et al.,2015;Yang Wubin et al.,2015;Zhang Letong et al.,2015;Zhang Xuebin et al.,2015)

表现出平坦的重稀土元素配分模式。样品δEu介于0.03~0.09，显示明显Eu负异常。

次火山岩的稀土元素总量(REE)低于酸性火山岩，为130.96×10^{-6}~141.39×10^{-6}；$(La/Yb)_N$比值低于酸性火山岩，为6.57~7.11；$(Gd/Yb)_N$比值高于酸性火山岩，为1.56~1.62。整体上与酸性火山岩相似，稀土元素具有一定分馏，富集轻稀土元素，亏损重稀土元素(图6a)。样品δEu介于0.86~1.00，具有轻微的Eu负异常。

4.4 微量元素

白音高老组火山岩微量元素分析结果见表2。在原始地幔标准化微量元素蛛网图中(图6b)，白音高老组火山岩整体表现为富集Rb、Th、Cs等大离子亲石元素(LILE)，亏损Sr和Nb、Ta、P、Ti等高场强元素(HFSE)。但酸性火山岩与次火山岩具有一定区别，酸性火山岩明显亏损Ba、Sr、P、Ti元素，而次火山岩具有Ba、Zr、Hf的正异常。酸性火山岩的Rb含量为131.50×10^{-6}~234.90×10^{-6}，Sr含量为16.13×10^{-6}~64.12×10^{-6}，Y含量介于28.36×10^{-6}~34.73×10^{-6}，Rb/Sr和Sr/Y比值分别为3.57~9.59和0.46~2.26；Nb含量为8.65×10^{-6}~14.19×10^{-6}，Ta含量为1.15×10^{-6}~1.29×10^{-6}，Nb/Ta比值为7.51~11.46，平均为9.37；Cr含量变化范围较大，介于2.68×10^{-6}~14.60×10^{-6}，平均为7.33×10^{-6}；Ni含量介于1.02×10^{-6}~21.94×10^{-6}，平均为8.18×10^{-6}。

次火山岩Rb/Sr比值小于酸性火山岩，为0.47~1.42；Sr/Y和Nb/Ta比值大于酸性火山岩，分别为3.69~11.20和12.36~13.18；Cr和Ni含量较为稳定，分别为3.58×10^{-6}~5.55×10^{-6}和1.96×10^{-6}~2.87×10^{-6}。

5 讨论

5.1 形成时代

内蒙古自治区地质局区域地质测量队在1976年1∶20万罕乌拉幅区调中将该套火山岩划归为晚侏罗世❶，缺少精确的同位素年代学及岩石地球化学资料。本文研究的西乌旗罕乌拉地区白音高老组喷溢相球粒流纹岩和次火山岩相英安斑岩中的锆石多呈自形，内部结构清晰，生长震荡环带发育，Th/U值较高(0.34~1.25)，表明锆石为岩浆成因，因此所测得的年龄代表岩浆结晶年龄。球粒流纹岩的形成时代为(140±0.8)Ma(MSWD=0.13)，英安斑岩的形成时代为(133±0.7)Ma(MSWD=0.49)，该区白音高老组火山岩的形成时代介于140~133 Ma，应为早白垩世早期。对大兴安岭地区白音高老组测年数据进行归纳整理(表3)，60个年龄数据表明其形成年龄介于144~121 Ma，集中于141~124 Ma，整体上没有明显的间断(图7)，与本文结果相符。在球粒流纹岩样品中见有捕获锆石(9、12号)，锆石特征显示为岩浆成因，其年龄值分别为(156±2)Ma、(151±2)Ma，区域研究表明大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩年龄峰值集中在160~150 Ma(张吉衡，2009；王建国等，2013；李鹏川等，2016)，这2颗锆石应代表该区满克头鄂博组火山岩的年龄信息。

5.2 岩石成因与源区

研究区白音高老组火山岩具有较高的SiO_2和(Na_2O+K_2O)含量，较低的CaO和MgO含量；FeO^T/MgO比值(平均为17.74)远高于一般I型花岗岩(平均为2.27，Whalen et al.，1987)，接近世界A型花岗岩的平均值(22.84，Whalen et al.，1987)；具较高的Ga、Zr、Nb和Y含量，较低的Sr和Ba含量，10000×Ga/Al比值介于2.75~4.35(平均3.46)，明显高于I型和S型花岗岩平均值(分别为2.1和2.28)，接近A型花岗岩(3.75，Whalen et al.，1987)。酸性火山岩Zr+Nb+Ce+Y平均值为281.50×10^{-6}，稍低于A型花岗岩，次火山岩Zr+Nb+Ce+Y平均为341.68×10^{-6}，接近A型花岗岩的下限值(350×10^{-6})。白音高老组火山岩Nb/Ta平均值为11.02，高于高分异I型花岗岩(2.3~9.9)。相对于A型花岗岩，高分异I型花岗岩具有较低的FeO^T含量(<1.00%)和较高的Rb含量(>270×10^{-6})，而白音高老组火山岩具有较高的FeO^T含量(平均为2.12%)和较低的Rb含量(平均为150.70×10^{-6})，区别于高分异I型花岗岩(Whalen et al.，1987)。据Watson et al.(1983)的公式，用岩石主要元素和Zr含量计算样品的锆石饱和温度，白音高老组次火山岩的锆石饱和温度为851~863℃，较高的成岩温度同样不支持它们为I型(764℃；King et al.，1997)。在10000×Ga/Al−Nb和10000×Ga/Al−Zr判别图解中(图8)，所有样品点都投影于A型花岗岩区。因此，综上所述，白音高老组火山岩应为A型。

地球化学特征显示，白音高老组次火山岩和酸性火山岩具有一定差别。次火山岩的分异指数*DI*(85.23~91.57)低于酸性火山岩(94.03~96.41)，但结

表3 大兴安岭地区白音高老组火山岩年龄测定结果

Table3 The ages of volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in Da Hinggan Mountains

序号	地区	岩性	测试方法	纬度	经度	年龄/ Ma	资料来源
1	西乌旗罕乌拉	球粒流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	44°42′08″	118°55′56″	140±0.8	本文
2	西乌旗罕乌拉	英安斑岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	44°42′54″	118°37′03″	133±0.7	本文
3	赤峰	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	42°51′43"	118°06′04"	132±1.0	郝彬等,2016
4	赤峰	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	42°57′08"	118°04′42"	130±1.0	郝彬等,2016
5	兴安地块呼伦湖东岸	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	49°11′36″	117°52′14″	144±0.6	黄明达等,2016
6	塔尔气	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			132±2.0	李杰等,2016
7	二十四道沟盆地	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	47°32'35″	121°42'11″	131±2.0	司秋亮等,2016
8	敖尼尔林场东	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	47°45'50″	121°34'25″	136±1.0	司秋亮等,2016
9	伊勒呼里山	流纹质凝灰岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	51°17'01″	123°49'57″	124±1.1	尹志刚等,2016
10	伊勒呼里山	流纹质玻屑凝灰岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	51°22'46″	123°51'10″	125±0.7	尹志刚等,2016
11	扎兰屯韩家地窝棚	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	47°54'46″	122°22'07″	130±5.0	杜玉春,2015
12	柴河源林场天然砬子	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	47°34'22″	120°43'53″	127±0.5	聂立军等,2015
13	吐列毛杜	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	45°31'10″	120°44'11″	127±2.1	Yang et al.,2015
14	柴河	流纹岩	SHIRMP锆石U−Pb			131±1.0	张乐彤等,2015
15	锡林浩特	流纹岩	SHIRMP锆石U−Pb			134±0.8	张乐彤等,2015
16	锡林浩特	石泡流纹岩	SHIRMP锆石U−Pb			137±1.2	张乐彤等,2015
17	锡林浩特	碎斑熔岩	SHIRMP锆石U−Pb			139±0.9	张乐彤等,2015
18	五岔沟	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	46°57'40″	120°22'04″	134±1.0	Dong et al.,2014
19	五岔沟	流纹质凝灰岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	46°48'11″	120°22'11″	133±2.0	Dong et al.,2014
20	五岔沟	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	48°35'57″	120°22'02″	133±1.0	Dong et al.,2014
21	五岔沟	流纹质凝灰岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	46°46'50″	120°17'07″	132±2.0	Dong et al.,2014
22	五岔沟	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	46°46'38″	120°17'49″	130±3.0	Dong et al.,2014
23	乌兰哈拉盖	流纹质晶屑凝灰岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			131±0.5	黄猛,2014
24	西乌旗	流纹质熔结凝灰岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			135±0.8	黄猛,2014
25	西乌旗	流纹质角砾熔结凝灰岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			134±0.9	黄猛,2014
26	科右中旗	流纹质玻屑岩屑晶屑凝灰熔岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	45°34′51″	120°35′52″	125±1.0	孔元明,2014
27	科右中旗	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			122±1.0	Kong et al.,2014
28	嫩江县	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			128 ± 0.8	刘阁等,2014
29	苏尼特左旗	石英粗安岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	44°37′07.8″	112°20′33.1″	135±5.6	秦旭亮,2014
30	苏尼特左旗	粗安岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	44°37′29.8″	112°24′37.7″	135±3.8	秦旭亮,2014
31	大石门林场	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			126±0.94	秦涛等,2014
32	大旗村	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			130±2.0	秦涛等,2014
33	扎兰屯地区	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			130 ±5.0	张亚明等,2014
34	西哲里木苏木	钠闪石流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			141±1.0	王建国等,2013
35	东乌旗辉音敖包	流纹质熔结凝灰岩	SHIRMP锆石U−Pb			135±2.0	陈英富等,2012
36	东乌旗辉音敖包	流纹岩	SHIRMP锆石U−Pb			129±3.0	陈英富等,2012
37	东乌旗辉音敖包	石泡流纹岩	SHIRMP锆石U−Pb			124±0.5	陈英富等,2012
38	下营子	流纹岩	SHIRMP锆石U−Pb	44°03′53″	117°46′48″	144±1.4	李可等,2012
39	赤峰	粗安质熔结凝灰岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	42°56'09″	118°03'24″	132±1.0	杨杨等,2012
40	赤峰	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	43°00'13″	118°29'34″	138±3.0	杨杨等,2012
41	阿尔山	流纹岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			125±2.0	陈良,2010
42	阿尔山	流纹质凝灰熔岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb			125±1.0	陈良,2010
43	五岔沟	熔结凝灰岩	LA−ICP−MS锆石U−Pb	46°45'38″	120°04'16″	126±1.0	方红薇,2010

续表3

序号	地区	岩性	测试方法	纬度	经度	年龄/ Ma	资料来源
44	五岔沟	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	46°45'38″	120°04'16″	125±2.0	方红薇,2010
45	五岔沟	流纹质凝灰熔岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	46°45'38″	120°04'16″	125±1.0	方红薇,2010
46	满洲里南部	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	48°37'13″	116°49'02″	141±1.0	苟军等,2010
47	满洲里南部	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	49°19'48″	117°29'46″	139±1.0	苟军等,2010
48	满洲里南部	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	49°32'34″	116°44'41″	141±1.0	苟军等,2010
49	满洲里南部	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	49°30'07″	117°11'28″	141±1.0	苟军等,2010
50	林东	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	44°10'57″	119°15'37″	125±4.0	Ying et al.，2010
51	阿尔山	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb			126±1.2	张吉衡,2009
52	灰通河	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	44°16'44″	118°35'29″	131±1.0	张吉衡,2009
53	阿勒坦大阪	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	48°19'48″	120°01'08″	129±1.0	张吉衡,2009
54	巴雅尔图胡硕	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	45°05'32″	120°22'39″	132±1.0	张吉衡,2009
55	沙仁台	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	46°21'18″	120°34'21″	134±1.0	张吉衡,2009
56	阿尔山	流纹岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	47°09'07″	119°56'33″	124±1.0	张吉衡,2009
57	乌兰哈德	凝灰熔岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	45°39'20″	120°47'39″	124±1.0	张吉衡,2009
58	中心屯	熔结凝灰熔岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	46°07'56″	121°10'23″	136±1.0	张吉衡,2009
59	白音高老	熔结凝灰熔岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	43°55'59″	119°17'41″	139±1.0	张吉衡,2009
60	上伙房	凝灰熔岩	LA-ICP-MS锆石U-Pb	43°07'54″	117°41'37″	141±1.0	张吉衡,2009

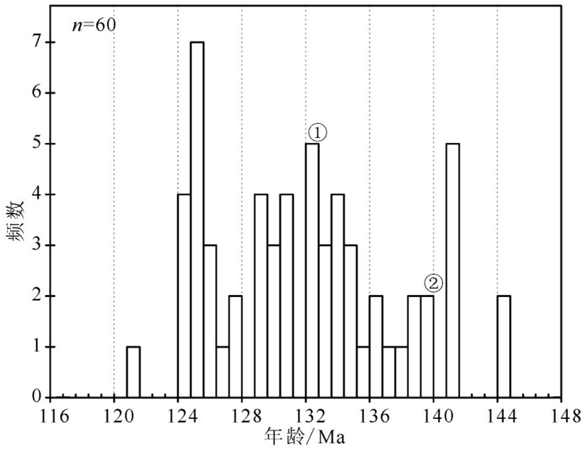

图7 大兴安岭地区白音高老组火山岩年龄直方图(图中白音高老组年龄数据见表3;①、②分别代表本文133、140 Ma火山岩所处年龄段)

Fig.7 Age probability diagram for volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in the Da Hinggan Mountains(ages of Baiyingaolao Formation after Table 3;① and ② representing 133,140Ma of this paper,respectively)

晶温度高于酸性火山岩(分别为851~863℃和731~832℃)。相对于次火山岩，酸性火山岩具有更高的REE和Rb含量以及Rb/Sr比值。在Harker图解中(图略)，次火山岩和酸性火山岩具一定变化趋势，显示酸性火山岩可能为次火山岩分异结晶的结果。但是，酸性火山岩和次火山岩成分上存在一定的间断，并且次火山岩具有较高的钾含量，靠近或属于碱性系列，而酸性火山岩为高钾钙碱性系列，酸性火山岩具有比次火山岩明显的Sr、Ba和Ti异常，不符合结晶分异的结果。并且，如果两者为结晶分异的关系，次火山岩(英安斑岩)的年龄应早于酸性火山岩(流纹岩)，这与研究结果不符。以上说明，次火山岩和酸性火山岩应为同一岩浆房，不同期次作用的结果。由于酸性火山岩分异程度较高，经过斜长石、钾长石等矿物分离结晶，具有较高的SiO_2和Rb含量以及Rb/Sr比值，较低的TiO_2、FeO^T、MgO和CaO含量，明显的Sr、Ba、Eu和Ti负异常以及较低的结晶温度。

白音高老组火山岩具有较低的Nb/Ta比值和$Mg^{\#}$值，相对富集轻稀土元素，亏损重稀土元素，大部分样品LILE富集，而Ba、Sr和HFSE亏损等特征，显示具壳源特征(Rudnick et al.，2014)。其Rb/Sr(原始地幔0.3)和Ti/Zr(地壳＜20)比值与壳源岩浆近似，与幔源岩浆明显不同(Sun et al.，1989;Pearce，1983)，进一步说明白音高老组火山岩具有一定壳源特征。

研究区白音高老组火山岩较低的Sr/Y和$(La/Yb)_N$比值和高的重稀土含量，表明源区熔融时残留相中缺乏石榴石(Defant et al.，1990)；另外白音高老组火山岩具有较低的Sr含量，并在微量元素蛛

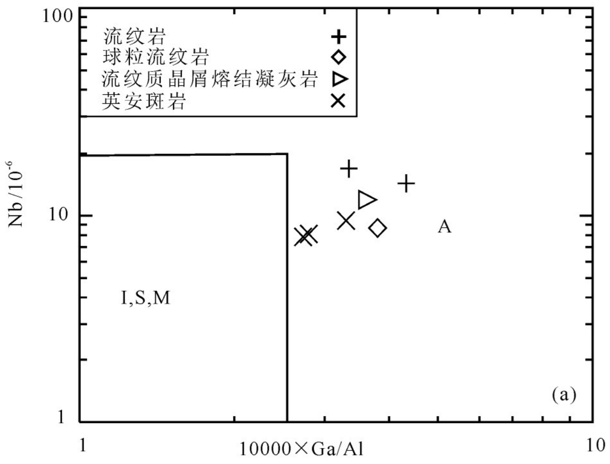

图8 罕乌拉地区白音高老组火山岩10000×Ga/Al−Nb图解（a）和10000×Ga/Al−Zr图解（b）（a、b，据Whalen et al.，1987）
Fig.8 Diagrams of 10000×Ga/Al−Nb（a）and 10000×Ga/Al−Zr（b）（a, b，after Whalen et al.，1987）for volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in Hanwula

网图上具明显的Ba和Sr的负异常，这暗示源区残留相中可能存在斜长石。石榴石具有较高的稳定压力（大于1.0~1.2 GPa），而当压力大于1.5 GPa，斜长石会变得不稳定（Sen et al.，1994），因此白音高老组火山岩形成压力较低，应为正常厚度地壳部分熔融结果。大兴安岭地区白音高老组火山岩同位素研究显示，其具有较高的火山岩$\varepsilon_{\mathrm{Hf}}(t)$和$\varepsilon_{\mathrm{Nd}}(t)$值（张玉涛等，2007；Zhang et al.，2008；苟军等，2010；Kong et al.，2014）。大兴安岭地区经过早期大洋的俯冲及其幔源岩浆的底侵作用，形成新生地壳，由于后碰撞阶段的拉伸作用使这些新生地壳部分熔融，形成了白音高老组火山岩，白音高老组火山岩的Sr和Hf同位素特征正是源区特征的体现。所以白音高老组火山岩可能为新生镁铁质地壳部分熔融的结果。

5.3 火山岩形成的构造环境探讨

Eby（1990，1992）将A型花岗岩划分为A_1和A_2两种类型，并指出A_1型花岗岩产于与上地幔热柱、裂谷作用有关的非造山环境，A_2型花岗岩主要产出于与大陆边缘地壳伸展作用或与陆内剪切作用产生的拉张环境有关的后造山环境。利用Nb−Y−Ce、Nb−Y−3×Ga及Y/Nb−Rb/Nb判别图（图9），研究区白音高老组火山岩样品基本都位于A_2型花岗岩区。目前对于A型花岗岩物质来源和成因的解释有着不同的认识，比较统一的观点是其形成于伸展构造环境（Eby，1990，1992；Frost et al.，2001；Bonin，2007）。结合同时期大兴安岭地区广泛发育的双峰式岩浆作用（葛文春等，1999；郭锋等，2001；Wang et al.，2006；裴福萍等，2008；Zhang et al.，2008，

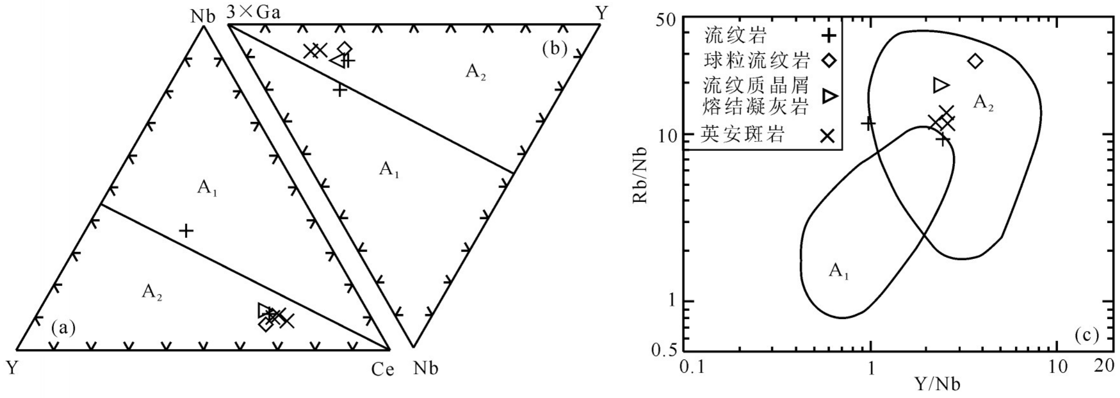

图9 罕乌拉地区白音高老组火山岩构造环境图解（据Eby，1992）
Fig.9 Tectonic discrimination diagrams for volcanic rocks of Baiyingaolao Formation in Hanwula（after Eby，1992）

2010；孟恩等，2011）、A型花岗岩（孙德有等，2004，2005；Wang et al.，2006；隋振民等，2007；施璐等，2013；李竞妍等，2014；吴涛涛等，2016）和变质核杂岩（张履桥等，1998；Liu et al.，2006，刘俊来等，2008，2011；林伟等，2013），进一步证实大兴安岭地区在早白垩世处于伸展构造背景。但对于这种伸展构造体制是后碰撞阶段（蒙古—鄂霍茨克构造体系），还是俯冲阶段弧后环境（环太平洋构造体系）或者是板内体系还存在较大的争论。

研究显示，大兴安岭地区发育S型花岗岩（170 Ma左右）（李宇等，2015）、具埃达克质特征的岩浆岩（164~140 Ma）（高晓峰等，2005；武广等，2008；何付兵等，2013；黄凡等，2014），结合辽西地区晚侏罗世—早白垩世自北向南推覆事件的存在（张长厚等，2002；赵越等，2004；张宏等，2008；孟恩等，2011），证明在中侏罗世—早白垩世大兴安岭地区存在地壳加厚事件（赵越等，1994），由于加厚陆壳的不稳定性，导致造山后的伸展环境或加厚陆壳的拆沉作用。所以西乌旗罕乌拉地区白音高老组火山岩可能与蒙古—鄂霍茨克洋闭合碰撞后的伸展环境相关。

从整个东北地区中生代火山的时空分布来看，目前在松辽盆地以东地区尚未发现160~138 Ma的火山岩，而早白垩世晚期（133~106 Ma）火山岩在大兴安岭、吉黑东部及松辽盆地底部断陷层广泛分布（Wang et al.，2006；Zhang et al.，2008，2010；孟恩等，2011；徐美君等，2011；许文良等，2013b），且显示出由东部陆缘向西部陆内，火山岩中的碱性组分具有增高的成分极性变化，在靠近陆内一侧的松辽盆地和大兴安岭地区则显示双峰式火山岩组合的特征，表明了早白垩世晚期受到了东部板块俯冲作用的影响（郭锋等，2001；Wang et al.，2006；Zhang et al.，2008，2010；孟恩等，2011；许文良等，2013b）。中国东部在早白垩世广泛出露变质核杂岩、断陷盆地和拆离构造，例如：呼和浩特、达子营和万福等变质核杂岩（关会梅等，2008；申亮等，2011）；松辽、大杨树和孙吴等断陷盆地（杨建国等，2006），这些伸展构造具有近似的伸展方向（NW-SE），变质核杂岩的形成时代主体介于130~110 Ma（刘俊来等，2011；林伟等，2013），也印证了位于太平洋西岸的欧亚大陆东缘在早白垩世具伸展性质的构造背景（林伟等，2013）。以上研究表明，古太平洋板块俯冲作用对中国东部早白垩世晚期火山岩具有一定影响。结合本文白音高老组火山岩球粒流纹岩和英安斑岩的形成时代分别为（140±0.8）Ma和（133±0.7）Ma，所以流纹岩的形成可能主要受控于蒙古—鄂霍茨克洋俯冲/碰撞后的后造山伸展垮塌作用，英安斑岩为后期古太平洋俯冲和蒙古—鄂霍茨克后碰撞阶段共同作用的结果。

6 结 论

（1）内蒙古西乌旗罕乌拉地区白音高老组球粒流纹岩的形成时代为（140±0.8）Ma，英安斑岩的形成时代为（133±0.7）Ma，整体形成于早白垩世早期。

（2）白音高老组火山岩具A型花岗岩地球化学特征，为地壳部分熔融的结果。

（3）西乌旗罕乌拉地区白音高老组火山岩形成于伸展构造环境，为蒙古—鄂霍茨克构造体系和环太平洋构造体系共同作用的结果，流纹岩主要受控于蒙古—鄂霍茨克洋俯冲/碰撞后的后造山伸展垮塌作用，英安斑岩为后期古太平洋俯冲和蒙古—鄂霍茨克后碰撞阶段共同叠加作用的结果。

致谢：感谢项目组成员在野外和室内整理工作中的大力支持，论文撰写过程中，中国石化石油勘探开发研究院冯建赟博士提出了宝贵意见，审稿专家对本文提出了修改意见，在此一并致以衷心的感谢。

注释

❶内蒙古自治区地质局区域地质测量队．1976．罕乌拉幅（L-30-29）1∶20万区域地质调查报告．

Reference

Anderson T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb[J]. Chemical Geology，192(1/2):59-79.

Belousova E, Griffin W, O'Reilly S Y. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock Type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143(5):602-622.

Bonin B. 2007. A- type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects[J]. Lithos, 97:1-29.

Boynton WV. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[C]// Henderson P(ed.). Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam:Elservier, 63-114.

Chen Liang. 2010. Mesozoic Magma Evolution and Metallogenesis of

Porphyry Molybdenum Deposit in Aershan Area,Da Hinggan Mountains[D]. Beijing: China University of Geosciences, 1−125 (in Chinese with English abstract).

Chen Yanjing, Zhang Cheng, Wang Pin, Pirajno F, Li Nuo. 2016. The Mo deposits of Northeast China:A powerful indicator of tectonic settings and associated evolutionary trends[J]. Ore Geology Reviews, 205:168−184.

Chen Yingfu, Wang Genhou, Duan Bingxin. 2012. Zircon SHRIMP geochronology and geochemistry of Late Jurassic volcanic rocks in Huiyin Obo area of Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 39(6):1690− 1699(in Chinese with English abstract).

Dash B, Yin An, Jiang Neng, Tseveendorj B, Han Baofu. 2016. Petrology, structural setting, timing, and geochemistry of Cretaceous volcanic rocks in eastern Mongolia:Constraints on their tectonic origin[J]. Gondwana Research, 27:281−299.

Davis G A, Zheng Yadong, Wang Cong, Darby B J, Zhang Changhou, Gehrels G. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt,with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China[J].Memoirs− Geological Society of America,194: 171−197.

Defant M J, Drummond M S.1994. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. Nature, 347 (6294):662−665.

Dong Yu, Ge Wenchun, Yang Hao, Zhao Guochun, Wang Qinghai, Zhang Yanlong, Su Li. 2014. Geochronology and geochemistry of Early Cretaceous volcanic rocks from the Baiyingaolao Formation in hte central Great Xing'an Range, NE China,and its tectonic implications[J]. Lithos, 205:168−184.

Du Yuchun. 2015. Early Cretaceous Volcanic Rock and Cause Analysis in Zhalantun Area[D]. Fuxin:Liaoning Technical University,1−73 (in Chinese with English abstract).

Eby. 1990. The A−type granitoids:a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. Lithos,20:115−134.

Eby. 1992. Chemical subdivision of the A− type granitoids: petrogenetic and tectonic implications[J]. Geology, 20:641−644.

Fan Weiming, Guo Feng, Wang Yuejun, Lin Ge. 2003. Late Mesozoic calcalkaline volcanism of post−orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research,121(1/2):115−135.

Fang Hongwei. 2010. Characteristics and Tectonic Setting of the Volcanic Rocks from Mesozoic Baiyin'gaolao Formation in Wuchagou area,Middle of Daxing'anling[D]. Beijing: China University of Geosciences,1−69(in Chinese with English abstract).

Frost B R, Arculus R J, Barnes C G, Collins W J, Ellis D J, Frost C D. 2001. A geochemical classification of granitic rocks[J]. Journal of Petrology,42:2033−2048.

Gao Xiaofeng, Guo Feng, Fan Weiming, Li Chaowen, Li Xiaoyong. 2005. Origin of late Mesozoic intermediate−felsic volcanic rocks from the northern Da Hinggan Mountain,NE China[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(3):737− 748(in Chinese with English abstract).

Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Yuan Zhongkuan, Li Wenyuan, Chen Mingzhi, Yin Chengxiao. 1999. Geochemical characteristics of the Mesozoic basalts in Da Hinggan Ling: Evidence of the mantle− crust interaction[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(3):397−407 (in Chinese with English abstract).

Ge Wenchun, Li Xianhua, Lin Qiang, Sun Deyou, Wu Fuyuan,Yun Sunghyo. 2001. Geochemistry of Early Cretaceous alkaline rhyolites from Hulun Lake, Daxing'anling and its tectonic implications[J]. Chinese Journal of Geology, 36(2):176− 183(in Chinese with English abstract).

Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, Zhang Jiheng. 2005. Zircon U−Pb ages and its significance of the Mesozoic granites in the Wulanhaote region,central Da Hinggan Mountain[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 749− 762(in Chinese with English abstract).

Ge Wenchun, Sui Zhenmin, Wu Fuyuan, Zhang Jiheng, Xu Xuechun, Cheng Ruiyu. 2007. Zircon U−Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the Early Paleozoic granites in the northwestern Da Hinggan Mts, northeastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(2): 423− 440(in Chinese with English abstract).

Gou Jun, Sun Deyou, Zhao Zhonghua, Ren Yunsheng, Zhang Xueyuan, Fu Changliang, Wang Xi, Wei Hongyan. 2010. Zircon LA−ICPMS U− Pb dating and petrogenesis of rhyolites in Baiyingaolao Formation from the southern Manzhouli,Inner−Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica,26(1):333− 344(in Chinese with English abstract).

Guan Huimei, Liu Junlai, Ji Mo, Zhao Sheng jin, Hu Ling, Davis G A. 2008. Discovery of the Wanfu metamorphic core complex in southern Liaoning and its regional tectonic implication[J]. Earth Science Frontiers,15(3): 199− 208(in Chinese with English abstract).

Guo Feng, Fan Weiming, Wang Yuejun, Lin Ge. 2001. Petrogenesis of the Late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mts,China[J]. Acta Petrologica Sinica,17(1):161− 168(in Chinese with English abstract).

Hao Bin, Song Jiang, Li Chaozhu, Yang Xinde. 2016. Zircon U−Pb Age and Geochemical Characteristics of the Late Mesozoic Volcanic Rocks in Chifeng area[J]. Geotectonica et Metallogenia,40 (6):1261−1274(in Chinese with English abstract).

He Fubing, Xu Jixiang, Gu Xiaodan, Cheng Xinbin, Wei Bo, Li Zhao, Liang Yanan, Wang Zelong, Huang Qi. 2013. Ages, Origin and Geological Implications of the Amuguleng Composite Granite in East Ujimqin Banner,Inner Mongolia[J]. Geological Review, 59(6): 1150−1164(in Chinese with English abstract).

Huang Fan, Wang Denghong, Wang Ping'an, Wang Chenghui, Liu Shanbao, Liu Cuihui, Xie Youwei, Zheng Binghua, Li Songbai. 2014. Petrogenesis and Metallogenic Chronology of the Yili Mo Deposit in the Northern Great Khing’an Ranges[J]. Acta Geologica Sinica, 88(3):361−379(in Chinese with English abstract).

Huang Meng. 2014. The Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of Volcanic Rock in Baiyinggaolao Formation from Xiwuzhumuqin area Inner Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences,1−53(in Chinese with English abstract).

Huang Mingda, Cui Xiaozhuang, Pei Shengliang, Zhang Hengli, Zhang Jianqiang. 2016. Rhyolite zircon U− Pb dating and its tectonic significance in Bayan Gol Formation, Hinggan Massif[J]. Coal Geology of China, 28(11):30− 37(in Chinese with English abstract).

Jahn BM,Wu Fuyuan,Chen Bin. 2000. Massive granitoid generation in central Asia:Nd isotope evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic[J]. Episodes,23:82−92.

Jahn B M, Wu Fuyuan, Capdevila R, Martineay F, Zhao Zhenhua, Wang Yixian. 2001. Highly evolved juvenile granites with tetrad REE patterns:the Woduhe and Baerzhe granites from the Great Xing’an Mountains in NE China[J]. Lithos,59:171−198.

King P L, White A J R, Chappell B W, Allen C M. 1997. Characterization and origin of aluminous A−type granites from the Lachlan Fold Belt,Southeastern Australia[J]. Journal of Petrology, 38(3):371−391.

Kong Yuanming. 2014. Characteristics and Tectonic Setting of Acid Volcanic Rocks in Early Cretaceous Baiyingaolao Formation from Keyouzhongqi Area, Inner Mongolia[D]. Changchun: Jilin University, 1−52 (in Chinese with English abstract).

Kong Yuanming, Ma Rui, He Zhonghua, Yang Deming, Wu Qing, Wang Yang. 2014. Characteristics and tectonic setting of volcanic rocks in Early Cretaceous Baiyingaolao Formation of Keyouzhouqi area, Inner Mongolica[J]. Global Geology, 17(2):78−85.

Kravchinsky V A, CognèJ P, Harbert W P, Kuzmin M I. 2002. Evolution of the Mongol—Okhotsk Ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol—Okhotsk suture zone, Siberia[J]. Geophysical Journal International,148:34−57.

Li Huaikun, Zhu Shixing, Xiang Zhenqun, Su Wenbo, Lu Songnian, Zhou Hongying, Geng Jianzhen, Li Sheng, Yang Fengjie. 2010. Zircon U− Pb dating on tuffbed from Gaoyuzhuang Formation in Yanqing,Beijing:Further constraints on the new subdivision of the Mesoproterozoic stratigraphy in the northern North China Craton[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(7): 2131− 2140(in Chinese with English abstract).

Li Jie, Lü Xinbiao, Chen Chao, Gun Minshan, Yang Yongsheng, Xu Yiqun, Wang Lin, Zhang Shuai. 2016. Geochronological and geochemical characteristics of the rhyolites in Taerqi of middle Da Hinggan Mountains and their geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 35(6): 906− 918(in Chinese with English abstract).

Li Jinyi, Mo Shenguo, He Zhengjun, Sun Guihua, Chen Wen. 2004. The timing of crustal sinistral strike−slip movement in the northern Great Khing'an ranges and its constraint on reconstruction of the crustal tectonic evolution of NE China and adjacent areas since the Mesozoic[J]. Earth Science Frontiers,11(3): 157− 168(in Chinese with English abstract).

Li Jingyan, Guo Feng, Li Chaowen, Li Hongxia, Zhao Liang. 2014. Neodymium isotopic variations of Late Paleozoic to Mesozoic I− and A− type granitoids in NE China: Implications for tectonic evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 30(7):1995−2008(in Chinese with English abstract).

Li Ke, Zhang Zhicheng, Li Jianfeng, Tang Wenhao, Feng Zhishuo, Li Qiugen. 2012. Zircon SHRIMP U− Pb age and geochemical characteristics of the Mesozoic volcanic rocks in Xi Ujimqin Banner,Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 31(5): 671−685(in Chinese with English abstract).

Li Pengchuan, Li Shichao, Liu Zhenghong, Li Gang, Bai Xinhui, Wan Le. 2016. Formation age and tectonic environment of volcanic rocks from Manketouebo Formation in Linxi area,Inner Mongolia[J]. Global Geology, 35(1):77− 88(in Chinese with English abstract).

Li Tiegang, Wu Guang, Liu Jun, Wang Guorui, Hu Yanqing, Zhang Yunfu,Luo Dafeng, Mao Zhihao, Xu Bei. 2016. Geochronology, fluid inclusions and isotopic characteristics of the Chaganbulagen Pb−Zn−Ag deposit,Inner Mongolia,China[J]. Lithos, 17(2):78−85.

Li Wenguo, Li Qingfu, Jiang Wande. 1996. Inner Mongolia Autonomous Region Lithostratigraphic[M]. Wuhan: Chinese Geology University Press:1−344(in Chinese).

Li Yan, Wang Jian, Han Zhibin, Hou Xiaoguang, Wang Shiyan. 2017. Zircon U−Pb dating and petrogenesis of the Early Jurassic rhyolite in Badaguan area, northern Da Hinggan Mountains[J]. Geology in China,44(2):346−357(in Chinese with English abstract).

Li Yu, Ding Leilei, Xu Wenliang, Wang Feng, Tang Jie, Zhao Shuo, Wang Zijin. 2015. Geochronology and geochemistry of muscovite granite in Sunwu area, NE China:Implications for the timing of closure of the Mongol—Okhotsk Ocean[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(1):56−66(in Chinese with English abstract).

Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Chong Kwan Won, Kyung Duck Min, Myung Shik Jin,Moon Wonlee,Chi Soon Kwon, Sung Hyo Yun. 1998. Tectonic significance of mesozoic volcanic rocks in northeastern China[J]. Scientia Geologica Sinica,33(2): 129−139(in Chinese with English abstract).

Lin Qiang,Ge Wenchun,Wu Fuyuan,Sun Deyou,Zao Lin. 2004. Geochemistry of Mesozoic granites in Da Hinggan Ling ranges[J]. Acta Petrologica Sinica,20(3):403− 412(in Chinese with English abstract).

Lin Wei,Wang Jun,Liu Fei,Ji Wenbin,Wang Qingchen. 2013. Late Mesozoic extension structures on the North China Craton and adjacent regions and its geodynamics[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(5):1791−1810(in Chinese with English abstract).

Liu Ge, Lü Xinbiao, Chen Chao, Yang Yongsheng, Wang Qingjun,Sun Yaofeng. 2014. Zircon U− Pb chronology and geochemistry of Mesozoic bimodal volcanic rocks from Nenjiang area in Da Hinggan Mountains and their tectonic implications[J]. Acta Petrologica et Mineralogica,33(3):458− 470(in Chinese with English abstract).

Liu Junlai, Guan Huimei, Ji Mo, Hu Ling. 2006. Late Mesozoic metamorphic core complexes:New constraints on lithosphere thinning in North China[J]. Progress in Natural Science,16:633−638.

Liu Junlai, Davis GA, Ji Mo, Guan Huimei, Bai Xiangdong. 2008. Crustal detachment and destruction of the North China craton: constraints from Late Mesozoic extensional structures[J]. Earth Science Frontiers, 15(3): 72−81(in Chinese with English abstract).

Liu Junlai, Ji Mo, Shen Liang, Guan Huimei, Davis G A. 2011. Early Cretaceous extensional structures in the Liaodong Peninsula: Structural associations, geochronological constraints and regional tectonic implications[J]. Sci. China Earth Sci.,54:823−842(in Chinese).

Liu Kai, Wu Taotao, Liu Jinlong, Bao Qingzhong, Du Shouying. 2018. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks in Manketou'ebo Formation of Tulihe area,northern Da Hinggan Mountains[J]. Geology in China, 45(2):367− 376(in Chinese with English abstract).

Liu Zhe, Xue Huaimin, Cao Guangyue. 2017. Zircon U− Pb geochronology, intraplate extensional environment and genesis of Mesozoic volcanic rocks in Zhenglan Banner area,Inner Mongolia, China[J]. Geology in China, 44(1):151− 176(in Chinese with English abstract).

Ludwig K R. 2003. Isoplot 3.0:A Geochronological toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley:Berkeley Geochronology Center,1−70.

Lü Zhicheng, Duan Guozheng, Hao Libo, Li Dianchao, Pan Jun, Wu Fengchang. 2004. Petrological and Geochemical Studies on the Intermediate− Basic Volcanic Rocks from the Middle—South Part of the Da Hinggan Mountains[J]. Geological Journal of China Universities,10(2):186−198(in Chinese with English abstract).

Ma Yubo, Xing Shuwen, Xiao Keyan, Zhang Tong, Tian Fang, Ding Jianhua, Zhang Yong, Ma Lukuo. 2016. Geological characteristics and mineral resource potential of the Cu− Mo− Ag metallogenic belt in Daxinganling Mountains[J]. Acta Geologica Sinica,90(7): 1316−1333(in Chinese with English abstract).

Meng En, Xu Wenliang, Yang Debin, Qiu Kunfeng, Li Changhua, Zhu Hongtao. 2011. Zircon U−Pb chronology, geochemistry of Mesozoic volcanic rocks from the Lingquan basin in Manzhouli area, and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(4):1209−1226 (in Chinese with English abstract).

Meng Fanchao, Liu Jiaqi, Cui Yan, Gao Jinliang, Liu Xiang, Tong Ying. 2014. Mesozoic tectonic regimes transition in the Northeast China:Constriants from temporal−spatial distribution and associations of volcanic rocks[J]. Acta Petrologica Sinica,30(12):3569−3586(in Chinese with English abstract).

Nie Lijun, Jia Haiming, Wang Cong, Lu Xingbo. 2015. Chronology, geochemistry of rhyolites from Baiyingaolao Formation in the middle part of Da Hinggan Mountains and its tectonic implications[J]. Global Geology, 34(2):296− 304(in Chinese with English abstract).

Ouyang Hegen, Mao Jingwen, Santosh M, Zhou Jie, Zhou Zhenhua, Wu Yue, Hou Lin. 2013. Geodynamic setting of Mesozoic magmatism in NE China and surrounding regions:Perspectives from spatio− temporal distribution patterns of ore deposits[J]. Journal of Asian Earth Sciences,78:222−236.

Ouyang Hegen, Mao Jingwen, Zhou Zhenhua, Su Huiming. 2015. Late Mesozoic metallogeny and intracontinental magmatism,southern Great Xing'an Range,northeastern China[J]. Gondwana Research, 27:1153−1172.

Pearce J A. 1983. The Role of Sub−continental Lithosphere in Magma Genesis at Destructive Plate Margins[M]. Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Chester:Nantwich Shiva Academic Press,1153−1172.

Pei Fuping, Xu Wenliang, Yang Debin, Ji Weiqiang, Yu Yang, Zhang Xingzhou. 2008. Mesozoic volcanic rocks in the southern Songliao basin:Zircon U−Pb ages and their constraints on the nature of basin basement[J]. Earth Science, 33(5):603− 617(in Chinese with English abstract).

Qin Tao, Zheng Changqing, Cui Tianri, Li linchuan, Qian Cheng, Chen Huijun. 2014. Volcanic rocks of the Baiyingaolao Formation in the Southwest of Zhalantun, Inner Mongolia[J]. Geology and Resources, 23(2):146−153 (in Chinese with English abstract).

Qin Xuliang. 2014. The Petrology Characteristics of the Mesozoic Volcanic Rocks in Sonid Zuoqi Area of Inner Mongolia[D]. Shijiazhuang:Shijiazhuang University of Economics, 1−49 (in Chinese with English abstract).

Rollinson H R. 1993. Using Geochemical Data:Evaluation, Presentation, Interpreation[M]. New York:Longman,1−352.

Rudnick R L, Gao S. 2014. Composition of the continental crust[J]. Treatise on Geochemistry,4:1−51.

Sen C, Dunn T. 1994. Dehydration melting of a basaltic composition amphibolite at 1.5 and 2.0 GPa:Implication for the origin of adakites[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology,117(4): 394−409.

Shao Ji'an, Mu Baolei,Zhu Huizhong,Zhang Lüqiao. 2010. Material source and tectonic settings of the Mesozoic mineralization of the DaHing gan Mts[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(3):649− 656(in Chinese with English abstract).

Shao Ji'an, Tang Kedong. 2015. Research on the Mesozoic ocean−continent transitional zone in the Northeast Asia and its implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(10):3147− 3154(in Chinese with English abstract).

Shao Jidong, Tan Qiang, Wang Hui, Zhang Ming, He Hongyun. 2011. The Mesozoic Strata and the Jurassic—Cretaceous boundary in the Daxinganling region[J]. Geology and Resources, 20(1):4− 11(in Chinese with English abstract).

She Hongquan, Li Jinwen, Xiang Anping, Guan Jidong, Yang Yuncheng, Zhang Dequan, Tan Gang,Zhang Bin. 2012. U−Pb ages of the zircons from primary rocks in middle− northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(2): 571− 594(in Chinese with English abstract).

Shen Liang, Liu Junlai, Hu Ling, Ji Mo, Guan Huimei, Davis G A. 2011. The Dayingzi detachment fault system in Liaodong Peninsula and its regional tectonic significance[J]. Sci. China Earth Sci., 54(10):1469−1483(in Chinese).

Shi Lu, Zheng Changqing, Yao Wengui, Li Juan, Xu Jiulei, Gao Yuan, Cui Fanghua. 2013. Geochronology, petro− geochemistry and Tectonic setting of the Hamagou Forest Farm A−Type granites in the Wuchagou Region, central great Xinggan range[J]. Acta Geologica Sinica, 87(9):1264−1276(in Chinese with English abstract).

Si Qiuliang, Cui Tianri, Wang Ende, Ding Shu. 2016. Zircon U−Pb dating and petrogenesis of the Baiyingaolao Formation rhyolites in Chaihe area, Great Xing'an Range[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 37(3):412− 415(in Chinese with English abstract).

Sorokin A A, Yarmolyuk V V, Kotov A B, Sorokin A P, Kudryashov N M, Li Jinyi. 2004. Geochronology of Triassic—Jurassic granitoids in the southern framing of the Mongol—Okhotsk fold belt and the problem of Early Mesozoic granite formation in central and eastern Asia[J]. Doklady Earth Sciences,399(8):1091−1094.

Sui Zhenmin, Ge Wenchun,Wu Fuyuan, Zhang Jiheng, Xu Xuechun, Cheng Ruiyu. 2007. Zircon U− Pb ages,geochemistry and its petrogenesis of Jurassic granites in northeastern part of the Da Hinggan Mts[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(2):461− 480(in Chinese with English abstract).

Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, Gao Shan. 2004. The final closing time of the west Lamulun River—Changchun—Yanji plate suture zone:Evidence from the Dayushan granitic pluton,Jilin Province[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition),34 (2):174−181(in Chinese with English abstract).

Sun Deyou, Wu Fuyuan, Gao Shan, Lu Xiaoping. 2005. Confirmation of two episodes of A− type granite emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the central Jilin Province,and their constraints on the structural pattern of eastern Jilin—Heilongjiang area,China[J]. Earth Science Frontiers, 12(2):263−275(in Chinese with English abstract).

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts:Implications for mantle composition and processes[C]//Sunders A D, Norry MJ (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. London:Geol. Soc. Spec. Publ., 42:313−345.

Wang Fei, Zhou Xinhua, Zhang Liancheng, Ying Jifeng, Zhang Yutao, Wu Fuyuan,Zhu Rixiang. 2006. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an Range(NE China): Timing and implications for the dymamic setting of NE Asia[J]. Earth and Planetary Science Letters,251:179−198.

Wang Jianguo, He Zhonghua, Xu Wenliang. 2013. Petrogenesis of riebeckite rhyolites in the southern Da Hinggan Mts. : Geohronological and geochemical evidence[J]. Acta Petrologica Sinica,29(3):853−863(in Chinese with English abstract).

Wang Xing'an, Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong, Zhu Kai. 2012. Petrogenesis and tectonic setting of the K− feldspar granites in Chaihe area, central Great Xing'an Range:constraints from petro−geochemistry and zircon U−Pb isotope chronology[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(8):2647−2655(in Chinese with English abstract).

Wang Xiong, Chen Yuejun, Li Yong, Li Senlin, Wang Changbing, Liu Yongjun, Zhu Huailiang, Wu Guoxue. 2015. Geochemical characteristics and geological implication of volcanic rocks in Early Cretaceous Baiyingaolao Formation from Taerqi area, middle—north part of Da Hinggan mountains[J]. Global Geology, 34(1):25−33(in Chinese with English abstract).

Watson E B, Harrison T M. 1983. Zircon saturation revisited: Temperature and composition effects in a variety of crustal magma types[J]. Earth and Planetary Science Letters,64(2):295−304.

Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. 1987. A− type granites: Geochemical characteristics discrimination and petrogeneisis[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology,95:407−419.

Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis[M]. London:Springer,295−323.

Wu Fuyuan,Sun Deyou,Lin Qiang. 1999. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China[J]. Acta Petrologica Sinica,15(2):181− 189(in Chinese with English abstract).

Wu Fuyuan, Sun Deyou, Li Huimin, Jahn B M, Wilde S A. 2002. A−type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis[J]. Chemical Geology, 187(1/2): 143−173.

Wu Fuyuan, Jahn B M, Wilde S A, Lo Chunhua, Yui Tzenfu, Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou. 2003. Highly fractionated I−type granites in NE China(I): Geochronology and petrogenesis[J]. Lithos, 66:241−273.

Wu Fuyuan, Sun Deyou, Ge Wenchun, Zhang Yanbin, Grant M L, Wilde S A, Jahn B M. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 41 (1):1−30.

Wu Guang, Chen Yanjing, Sun Fengyue, Li Jingchun, Li Zhitong, Wang Xijin. 2008. Geochemistry of the Late Jurassic granitoids in the northern end area of Da Hinggan Mountains and their geological and prospecting implication[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(4):899−910(in Chinese with English abstract).

Wu TaoTao, Chen Cong, Liu Kai, Bao Qingzhong, Zhou Yongheng, Song Wanbing. 2016. Petrogenesis and Tectonic Setting of the Monzonite Granite in Yitulihe area,Northern Great Xing'an Range[J]. Acta Geologica Sinica,90(10):2637− 2647(in Chinese with English abstract).

Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U− Pb age[J]. Chinese Science Bulletin,49(15):1554−1569(in Chinese).

Xiao Wenjiao, Windley B F, Hao Jie, Zhai Mingguo. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture,Inner Mongolia,China:Termination of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Tectonics,22(6):1069−1089.

Xu Meijun, XU Wenliang, Meng En, Wang Feng. 2011. LA−ICP−MS zircon U−Pb chronology and geochemistry of Mesozoic volcanic rocks from the Shanghulin—Xiangyang basins in Ergun area, northeastern Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China,30(9): 1321−1338(in Chinese with English abstract).

Xu Wenliang, Pei Fuping, Wang Feng, Meng En, Ji Weiqiang, Yang Debin, Wang Wei. 2013a. 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,74:167−193.

Xu Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, Meng En, Tang Jie, Xu Meijun, Wang Wei. 2013b. 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,29(2):339− 353(in Chinese with English abstract).

Yang Jianguo, Wu Heyong, Liu Junlai. 2006. Stratigraphic correlation of the Mesozoic and Cenozoic in the outer basins of the Daqing exploration area,Heilongjiang,China[J]. Geological Bulletin of China, 25(9/10):1088−1093(in Chinese with English abstract).

Yang Wubin, Niu Hecai, Cheng Liren, Shan Qiang, Li Ningbo. 2015. Geochronology,geochemistry and geodynamic implications of the Late Mesozoic volcanic rocks in the southern Great Xing'an Mountains,NE China[J]. Journal of Asian Earth Sciences,113:454−470.

Yang Yang, Gao Fuhong, Chen Jingsheng, Zhou Yi, Zhang Jian, Jin Xin, Zhang Yanlong. 2012. Zircon U− Pb ages of Mesozoic volcanic rocks in Chifeng area[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 42(Suppl. 2):257−268(in Chinese with English abstract).

Yin Zhigang, Wang Wencai, Zhang Yuelong, Wang Yang, Han Yu, Cao Zhongqiang, Zheng Bei. 2016. 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),46(3): 766−780(in Chinese with English abstract).

Ying Jifeng, Zhou Xinhua, Zhang Lianchang, Wang Fei. 2010. Geochronological framework of Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, NE China and their geodynamic implications[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 39:786−793.

Zhang Changhou, Wang Genhou, Wang Guosheng, Wu Zhengwen, Sun Lusuo, Sun Weihua. 2002. Thrust tectonics in the eastern segment of the intraplate Yanshan orogenic belt,western Liaoning Province, North China[J]. Acta Geologica Sinica,76(1):64− 76(in Chinese with English abstract).

Zhang Hong, Wei Zhongliang, Liu Xiaoming, Li Dong. 2008. Tuchengzi Formation LA− ICP− MS dating in northern Hebei—western Liaoning[J]. Science in China(Series D), 38(8):960−970(in Chinese).

Zhang Jiheng, Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Wilde S A, Yang Jinhui, Liu Xiaoming. 2008. Large−scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range,Northeastern China[J]. Lithos, 102:138−157.

Zhang Jiheng. 2009. Geochronology and geochemistry of the mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range,northeastern China[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 1−105 (in Chinese with English abstract).

Zhang Jiheng, Gao Shan, Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Wilde S A, Li Ming. 2010. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: Implications for subduction− induced delamination[J]. Chemical Geology, 276(3/4):144−165.

Zhang Letong, Li Shichao, Zhao Qingying, Li Xuefei, Wang Lu, Li Zihao. 2015. Formation age and geochemical characteristics of volcanic rocks from Baiyingaolao Formation of middle Da Hinggan mountains[J]. Global Geology, 34(1):44− 54(in Chinese with English abstract).

Zhang Lianchang, Zhou Xinhua, Ying Jifeng, Wang Fei, Guo Feng, Wan Bo, Chen Zhiguang. 2008. Geochemistry and Sr−Nd−Pb−Hf isotopes of Early Cretaceous basalts from the Great Xing’an Range, NE China:Implications for their origin and mangle source characteristics[J]. Chemical Geology, 256:12−23.

Zhang Lüqiao, Shao Ji'an, Zheng Guangrui. 1998. Metamorphic core complex in ganzhuermiao,Inner Mongolia[J]. Scientia Geologica Sinica,33(2):140−146(in Chinese with English abstract).

Zhang Qi. 2013. Is the Mesozoic magmatismin eastern China related to the westward subduction of the Pacific plate?[J]. Acta Petrologica et Mineralogica,32(1):113−128(in Chinese with English abstract).

Zhang Xuebin, Zhou Changhong, Lai Lin, Xu Cui, Tian Ying, Chen Lizhen, Wei Min. 2015. Geochemistry and zircon U−Pb dating of volcanic rocks in eastern Xilin Hot, Inner Mongolia and their geological implications[J]. Geology and Exploration,51(2):290−

302(in Chinese with English abstract).

Zhang Yaming, Du Yuchun, Cui Tianri, Li Linchuan, Qin Tao. 2014. Baiyingaolao Group volcanic rock characteristics and genesis in Zhalantun region[J]. Metal Mine, (6):101− 104(in Chinese with English abstract).

Zhang Yutao, Zhang Lianchang, Ying Jifeng, Zhou Xinhua, Wang Fei, Hou Quanlin, Liu qing. 2007. Geochemistry and source characteristics of Early Cretaceous volcanic rocks in Tahe, North Da Hinggan Mountain[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(11):2811−2822(in Chinese with English abstract).

Zhao Guolong, Yang Guiling, Wang Zhong, Fu Jiayou, Yang Yuzhuo. 1989. Mesozoic Volcanic Rocks in the Central—Southern Da Hinggan Ling Range[M]. Beijing: Beijing Press of Science and Technology, 1−260 (in Chinese).

Zhao Pizhong, Xie Xuejing, Cheng Zhizhong. 2014. Regional geochemical background and metallogenic belt division of North Da Hinggan Mountain[J]. Acta Geologica Sinica,88(1):99− 108(in Chinese with English abstract).

Zhao Yue, Yang Zhenyu, Ma Xinghua. 1994. Geotectonic transition from PaleoAsian system and Paleo− Tethyan system to Paleo−Pacific active continental margin in eastern Asia[J]. Scientia Geologica Sinica,29(2):105− 119(in Chinese with English abstract).

Zhao Yue, Xu Gang, Zhang Shuanhong, Yang Zhenyu, Zhang Yueqiao, Hu Jianmin. 2004. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia[J]. Earth Science Frontiers,11(3):319−328(in Chinese with English abstract).

Zorin Y A. 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia Okhotsk collisional belt, Trans− Baikal region(Russia)and Mongolia[J]. Tectonophysics,306(1):33−56.

附中文参考文献

陈良. 2010. 大兴安岭阿尔山地区中生代岩浆演化与斑岩钼矿成矿作用[D]. 北京:中国地质大学,1−125.

陈英富,王根厚,段炳鑫. 2012. 内蒙古东乌珠穆沁旗辉音敖包一带晚侏罗世火山岩特征及时代[J]. 中国地质,39(6):1690−1699.

杜玉春. 2015. 扎兰屯地区早白垩世火山岩特征及成因分析[D]. 阜新:辽宁工程技术大学硕士论文,1−73.

方红薇. 2010. 大兴安岭中段五岔沟一带中生代白音高老组火山岩特征及其构造背景[D]. 北京:中国地质大学,1−69.

高晓峰,郭锋,范蔚茗,李超文,李晓勇. 2005. 南兴安岭晚中生代中酸性火山岩的岩石成因[J]. 岩石学报,21(3):737−748.

葛文春,林强,孙德有,吴福元,元钟宽,李文远,陈明植,尹成孝. 1999. 大兴安岭中生代玄武岩的地球化学特征:壳幔相互作用的证据[J]. 岩石学报,15(3):396−407.

葛文春,李献华,林强,孙德有,吴福元,尹成孝. 2001. 呼伦湖早白垩世碱性流纹岩的地球化学特征及其意义[J]. 地质科学,36(2):176−183.

葛文春,吴福元,周长勇,张吉衡. 2005. 大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石U−Pb年龄及地质意义[J]. 岩石学报,21(3):749−762.

葛文春,隋振民,吴福元,张吉衡,徐学纯,程瑞玉. 2007. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石U−Pb年龄、Hf同位素特征及地质意义[J]. 岩石学报,23(2):423−440.

苟军,孙德有,赵忠华,任云生,张学元,付长亮,王晰,魏红艳. 2010. 满洲里南部白音高老组流纹岩锆石U−Pb定年及岩石成因[J]. 岩石学报,26(1):333−344.

关会梅,刘俊来,纪沫,赵胜金,胡玲,Davis G A. 2008. 辽宁南部万福变质核杂岩的发现及其区域构造意义[J]. 地学前缘,15(3):199−208.

郭锋,范蔚茗,王岳军,林舸. 2001. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用[J]. 岩石学报,17(1):161−168.

郝彬,宋江,李朝柱,杨欣德. 2016. 赤峰地区晚中生代火山岩锆石U−Pb年代学及地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学,40(6):1261−1274.

何付兵,徐吉祥,谷晓丹,程新彬,魏波,李昭,梁亚南,王泽龙,黄淇. 2013. 内蒙古东乌珠穆沁旗阿木古楞复式花岗岩体时代、成因及地质意义[J]. 地质论评,59(6):1150−1164.

黄凡,王登红,王平安,王成辉,刘善宝,刘翠辉,谢有炜,郑兵华,李松柏. 2014. 大兴安岭北段宜里钼矿岩石成因及成岩成矿年代学[J]. 地质学报,88(3):361−379.

黄猛. 2014. 内蒙古西乌旗地区白音高老组火山岩地球化学特征及其构造环境[D]. 北京:中国地质大学,1−53.

黄明达,崔晓庄,裴圣良,张恒利,张建强. 2016. 兴安地块白音高老组流纹岩锆石U−Pb年龄及其构造意义[J]. 中国煤炭地质,28(11):30−37.

孔元明. 2014. 内蒙古科右中旗地区早白垩世白音高老组酸性火山岩特征及形成的构造背景[D]. 长春:吉林大学硕士学位论文,1−52.

李怀坤,朱士兴,相振群,苏文博,陆松年,周红英,耿建珍,李生,杨锋杰. 2010. 北京延庆高于庄组凝灰岩的锆石U−Pb定年研究及其对华北北部中元古界划分新方案的进一步约束[J]. 岩石学报,26(7):2131−2140.

李杰,吕新彪,陈超,衮民汕,杨永胜,徐益群,王琳,张帅. 2016. 大兴安岭中段塔尔气地区流纹岩年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质通报,35(6):906−918.

李锦轶,莫申国,和政军,孙桂华,陈文. 2004. 大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造演化重建的制约[J]. 地学前缘,11(3):157−168.

李竞妍,郭峰,李超文,李红霞,赵亮. 2014. 东北地区晚古生代—中生代I型和A型花岗岩Nd同位素变化趋势及其构造意义[J]. 岩石学报,30(7):1995−2008.

李可,张志诚,李建锋,汤文豪,冯志硕,李秋根. 2012. 内蒙古乌珠穆沁地区中生代中酸性火山岩SHRIMP锆石U−Pb年龄和地球化学

特征[J]. 地质通报,31(5):671−685.

李鹏川,李世超,刘正宏,李刚,白新会,万乐. 2016. 内蒙古林西地区满克头鄂博组火山岩形成时代及构造环境[J]. 世界地质,35(1):77−88.

李文国,李庆富,姜万德. 1996. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社:1−344.

李研,王建,韩志滨,侯晓光,王石岩. 2017. 大兴安岭北段八大关地区早侏罗世流纹岩锆石 U−Pb定年与岩石成因[J]. 中国地质,44(2):346−357.

李宇,丁磊磊,许文良,王枫,唐杰,赵硕,王子进. 2015. 孙吴地区中侏罗世白云母花岗岩的年代学与地球化学:对蒙古—鄂霍茨克洋闭合时间的限定[J]. 岩石学报,31(1):56−66.

林强,葛文春,孙德有,吴福元,元钟宽,闵庚德,陈明植,李文远,权致纯,尹成孝. 1998. 中国东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J]. 地质科学,33(2):129−139.

林强,葛文春,吴福元,孙德有,曹林. 2004. 大兴安岭中生代花岗岩类的地球化学[J]. 岩石学报,20(3):403−412.

林伟,王军,刘飞,冀文斌,王清晨. 2013. 华北克拉通及邻区晚中生代伸展构造及其动力学背景的讨论[J]. 岩石学报,29(5):1791−1810.

刘阁,吕新彪,陈超,杨永胜,王庆军,孙耀锋. 2014. 大兴安岭嫩江地区中生代双峰式火山岩锆石U−Pb定年、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志,33(3):458−470.

刘俊来,Davis G A,纪沫,关会梅,白相东. 2008. 地壳的拆离作用与华北克拉通破坏:晚中生代伸展构造约束[J]. 地学前缘,15(3):72−81.

刘俊来,纪沫,申亮,关会梅,Davis G A. 2011. 辽东半岛早白垩世伸展构造组合、形成时代及区域构造内涵[J]. 中国科学:地球科学,41(5):618−637.

刘凯,吴涛涛,刘金龙,鲍庆中,杜守营. 2018. 大兴安岭北段图里河地区满克头鄂博组火山岩年代学及地球化学[J]. 中国地质,45(2):367−376.

刘哲,薛怀民,曹光跃. 2017. 内蒙古正蓝旗地区中生代火山岩锆石U−Pb年龄与板内伸展环境成因讨论[J]. 中国地质,44(1):151−176.

吕志成,段国正,郝立波,李殿超,潘军,吴丰昌. 2004. 大兴安岭中南段中生代中基性火山岩岩石学地球化学研究[J]. 高校地质学报,10(2):186−198.

马玉波,邢树文,肖克炎,张彤,田放,丁建华,张勇,马路阔. 2016. 大兴安岭Cu−Mo−Ag多金属成矿带主要地质成矿特征及潜力分析[J]. 地质学报,90(7):1316−1333.

孟恩,许文良,杨德彬,邱昆峰,李长华,祝洪涛. 2011. 满洲里地区灵泉盆地中生代火山岩的锆石U−Pb年代学、地球化学及其地质意义[J]. 岩石学报,27(4):1209−1226.

孟凡超,刘嘉麒,崔岩,高金亮,刘祥,童英. 2014. 中国东部地区中生代构造体制的转变:来自火山岩时空分布与岩石组合的制约[J]. 岩石学报,30(12):3569−3586.

聂立军,贾海明,王聪,卢兴波. 2015. 大兴安岭中段白音高老组流纹岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. 世界地质,34(2):296−304.

裴福萍,许文良,杨德彬,纪伟强,于洋,张兴洲. 2008. 松辽盆地南部中生代火山岩:锆石U−Pb年代学及其对基底性质的制约[J]. 地球科学,33(5):603−617.

秦涛,郑常青,崔天日,李林川,钱程,陈会军. 2014. 内蒙古扎兰屯地区白音高老组火山岩地球化学、年代学及其地质意义[J]. 地质与资源,23(2):146−153.

秦旭亮. 2014. 内蒙古苏尼特左旗地区中生代火山岩岩石学特征[D]. 石家庄:石家庄经济学院硕士学位论文,1−49.

邵济安,牟保磊,朱慧忠,张履桥. 2010. 大兴安岭中南段中生代成矿物质的深部来源与背景[J]. 岩石学报,26(3):649−656.

邵济安,唐克东. 2015. 东北亚中生代洋陆过渡带的研究及启示[J]. 岩石学报,31(10):3147−3154.

邵积东,谭强,王慧,张明,贺宏云. 2011. 大兴安岭地区中生代地层特征及侏罗—白垩纪界限的讨论[J]. 地质与资源,20(1):4−11.

佘宏全,李进文,向安平,关继东,杨郧城,张德全,谭刚,张斌. 2012. 大兴安岭中北段原岩锆石U−Pb测年及其与区域构造演化关系[J]. 岩石学报,28(2):571−594.

申亮,刘俊来,胡玲,纪沫,关会梅,Davis G A. 2011. 辽东半岛大营子拆离断层系及其区域构造意义[J]. 中国科学:地球科学,41(4):437−451.

施璐,郑常青,姚文贵,李娟,徐久磊,高源,崔芳华. 2013. 大兴安岭中段五岔沟地区蛤蟆沟林场A型花岗岩年代学、岩石地球化学及构造背景研究[J]. 地质学报,87(9):1264−1276.

司秋亮,崔天日,王恩德,丁姝. 2016. 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[J]. 东北大学学报(自然科学版),37(3):412−415.

隋振民,葛文春,吴福元,张吉衡,徐学纯,程瑞玉. 2007. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗质岩石的锆石U−Pb年龄、地球化学特征及成因[J]. 岩石学报,23(2):461−468.

孙德有,吴福元,张艳斌,高山. 2004. 西拉木伦河—长春—延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版),34(2):174−181.

孙德有,吴福元,高山,路孝平. 2005. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质A型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约[J]. 地学前缘,12(2):264−275.

王建国,和钟铧,许文良. 2013. 大兴安岭南部纳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,29(3):853−863.

王兴安,徐仲元,刘正宏,朱凯. 2012. 大兴安岭中部柴河地区钾长花岗岩的成因及构造背景:岩石地球化学、锆石U−Pb同位素年代学的制约[J]. 岩石学报,28(8):2647−2655.

王雄,陈跃军,李勇,李森林,王长兵,刘永俊,朱怀亮,吴国学. 2015. 大兴安岭中北段塔尔气地区早白垩世白音高老组火山岩地球化学特征及意义[J]. 世界地质,34(1):25−33.

吴福元,孙德有,林强. 1999. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报,15(2):181−189.

吴涛涛,陈聪,刘凯,鲍庆中,周永恒,宋万兵. 2016. 大兴安岭北部伊图里河地区二长花岗岩的成因及构造背景[J]. 地质学报,90(10): 2637−2647.

吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. 科学通报,49(16):1589−1604.

武广,陈衍景,孙丰月,李景春,李之彤,王希今. 2008. 大兴安岭北端晚侏罗世花岗岩类地球化学及其地质和找矿意义[J]. 岩石学报,24(4):899−910.

徐美君,许文良,孟恩,王枫. 2011. 内蒙古东北部额尔古纳地区上护林—向阳盆地中生代火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄和地球化学特征[J]. 地质通报,30(9):1321−1338.

许文良,王枫,裴福萍,孟恩,唐杰,徐美君,王伟. 2013b. 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,29(2):339−353.

杨建国,吴河勇,刘俊来. 2006. 大庆探区外围盆地中、新生代地层对比及四大勘探层系[J]. 地质通报,25(9/10):1088−1093.

杨杨,高福红,陈井胜,周漪,张健,金鑫,张彦龙. 2012. 赤峰地区中生代火山岩锆石U-Pb年代学证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版),42(增刊2):257−268.

尹志刚,王文材,张跃龙,王阳,韩宇,曹忠强,郑贝. 2016. 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),46(3):766−780.

张长厚,王根厚,王果胜,吴正文,张路锁,孙卫华. 2002. 辽西地区燕山板内造山带东段中生代逆冲推覆构造[J]. 地质学报,76 (1):64−76.

张宏,韦忠良,柳小明,李栋. 2008. 冀北—辽西地区土城子组的LA-ICP-MS测年[J]. 中国科学(D辑),38(8):960−970.

张吉衡. 2009. 大兴安岭中生代火山岩年代学及地球化学研究[D]. 武汉:中国地质大学,1−105.

张乐彤,李世超,赵庆英,李雪菲,王璐,李子昊. 2015. 大兴安岭中段白音高老组火山岩的形成时代及地球化学特征[J]. 世界地质,34(1): 44−54.

张履桥,邵济安,郑广瑞. 1998. 内蒙古甘珠尔庙变质核杂岩[J]. 地质科学,33(2):140−146.

张学斌,周长红,来林,徐翠,田颖,陈丽贞,魏民. 2015. 锡林浩特东部早白垩世白音高老组岩石地球化学特征、LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb年龄及地质意义[J]. 地质与勘探,51(2):290−302.

张亚明,杜玉春,崔天日,李林川,秦涛. 2014. 扎兰屯地区白音高老组火山岩特征及成因[J]. 金属矿山,(6):101−104.

张玉涛,张连昌,英基丰,周新华,王非,侯泉林,刘庆. 2007. 大兴安岭北段塔河地区早白垩世火山岩地球化学及源区特征[J]. 岩石学报,23(11):2823−2835.

赵国龙,杨桂林,王忠,傅嘉友,杨玉琢. 1989. 大兴安岭中南部中生代火山岩[M]. 北京:北京科学技术出版社:1−260.

赵丕忠,谢学锦,程志中. 2014. 大兴安岭成矿带北段区域地球化学背景与成矿带划分[J]. 地质学报,88(1):99−108.

赵越,杨振宇,马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学,29(2):105−119.

赵越,徐刚,张拴宏,杨振宇,张岳桥,胡健民. 2004. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘,11(3):319−328.