

doi: 10.12029/gc20200410

申亮,赵胜金,于海洋,柳志辉,周颖帅,张猛,朴丽丽. 2020. 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, 47(4): 1041-1055.

Shen Liang, Zhao Shengjin, Yu Haiyang, Liu Zhihui, Zhou Yingshuai, Zhang Meng, Piao Lili. 2020. Zircon age and geochemical characteristics of Hadataolegai Formation volcanic rocks in Da Hinggan Mountains and its continental marginal arc setting[J]. Geology in China, 47(4):1041-1055(in Chinese with English abstract).

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

申亮¹,赵胜金^{2,3,4},于海洋^{2,3},柳志辉^{2,3},周颖帅^{2,3},张猛^{2,3},朴丽丽^{2,3}

(1. 中国地质调查局发展研究中心,北京 100037;2. 内蒙古自治区第十地质矿产勘查开发院,内蒙古赤峰 024005;
3. 内蒙古第十地质矿产勘查开发有限责任公司,内蒙古赤峰 024005;4. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

摘要:根据野外调查,将大兴安岭北段新巴尔虎右旗地区的一套火山岩归属为哈达陶勒盖组。通过 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年,获得哈达陶勒盖组绿帘石化安山岩的年龄加权平均值为(254.3±7.9)Ma(MSWD=4.7),结合区域地层对比,将该组的形成时代置于早三叠世。根据元素地球化学分析,可将哈达陶勒盖组火山岩划分为中基性和酸性火山岩两类。其中,中基性火山岩岩浆可能来源于受俯冲作用影响的岩石圈地幔,并遭受到地壳物质的混染;而酸性火山岩岩浆则形成于地壳。结合区域地质特征,通过构造环境判别,该组火山岩的形成可能与蒙古-鄂霍茨克板块向南俯冲引起的陆缘弧背景密切相关。哈达陶勒盖组的厘定丰富了大兴安岭北段地层层序,也为大兴安岭地区区域构造演化和岩浆活动提供了证据。

关键词:锆石 U-Pb 测年;哈达陶勒盖组;陆缘弧背景;蒙古-鄂霍茨克缝合带;大兴安岭
中图分类号:P597 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2020)04-1041-15

Zircon age and geochemical characteristics of Hadataolegai Formation volcanic rocks in Da Hinggan Mountains and its continental marginal arc setting

SHEN Liang¹, ZHAO Shengjin^{2,3,4}, YU Haiyang^{2,3}, LIU Zhihui^{2,3},
ZHOU Yingshuai^{2,3}, ZHANG Meng^{2,3}, PIAO Lili^{2,3}

(1. Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2. No. 10 Institute of Geological Exploration, Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, Chifeng 024005, Inner Mongolia, China; 3. Inner Mongolia Tenth Geological Mineral Exploration and Development Co., Ltd., Chifeng 024005, Inner Mongolia; 4. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: A series of volcanic rocks, such as basalt, andesite and rhyolite, were determined in Xin Barag Right Banner of northern Da Hinggan Mountains. Geological survey reveals that these volcanic rocks should be assigned to Hadataolegai Formation. SHRIMP zircon U-Pb dating indicates that the epidotized andesite from Hadataolegai Formation was formed at (254.3±7.9) Ma

收稿日期:2019-10-12;改回日期:2020-06-18

基金项目:中国地质调查局项目(DD20160048-15、12120114086201、DD20190405 和 DD20190406)资助。

作者简介:申亮,女,1983年生,博士,工程师,从事区域地质研究;E-mail:2547163401@qq.com。

通讯作者:赵胜金,男,1982年生,博士,高级工程师,矿物学、岩石学、矿床学专业,从事区域地质调查及矿产勘查;E-mail:zhshjin2008@163.com。

(MSWD=4.7). According to geochemical researches, these volcanic rocks of Hadataolegai Formation can be divided into two types, i.e., intermediate–basic rocks and acidic rocks. The magma of intermediate–basic rocks was derived from the lithospheric mantle affected by the southward subduction of Mongolia–Okhotsk plate. The acidic volcanic rocks have a crustal–derived magma source features. Based on tectonic setting analysis, the authors hold that the Hadataolegai Formation volcanic rocks were formed under the continental marginal arc environment and related to southward subduction of Mongolia–Okhotsk plate. The determination of Hadataolegai Formation improves the stratigraphic sequence of northern Da Hinggan Mountains and provides a favorable evidence for regional tectonic evolution of Da Hinggan Mountains.

Key words: zircon U–Pb ages; Hadataolegai Formation; continental marginal arc setting; Mongolia–Okhotsk suture; Da Hinggan Mountains

About the first author: SHEN Liang, female, born in 1983, doctor, engineer, majors in regional geology research; E–mail: 2547163401@qq.com.

About the corresponding author: ZHAO Shengjin, male, born in 1982, doctor, senior engineer, majors in mineralogy, petrology and mineral deposits, engages in regional survey of geology and mineral resources; E–mail: zhshjin2008@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Projects (No.DD20160048–15, 12120114086201, DD20190405 and DD20190406).

1 引 言

大兴安岭位于中亚造山带东缘,呈NNE走向展布在兴安地块和额尔古纳地块上,属于古亚洲构造域与太平洋构造域的叠加部位。该区的构造演化依次经历了古生代古亚洲洋构造域、中生代蒙古–鄂霍茨克洋构造带及中–新生代环太平洋构造域的影响与叠加,构造演化历史十分复杂(李锦轶等, 2009, 2019; 刘永江等, 2010; 唐杰等, 2011; 余宏全等, 2012; Donskaya et al., 2012; 许文良等, 2013; Mi et al., 2018, 2020)。研究表明,三叠纪是古生代古亚洲构造域向中生代蒙古–鄂霍茨克洋构造带及环太平洋构造域转换的重要时期,大兴安岭在该时期处于重要的构造位置,因此关于大兴安岭三叠纪构造背景的研究,对认识三大构造域(带)的转变具有重要的指示意义(马永非等, 2017)。

对于大兴安岭地区的中生代岩浆岩,前人关注的焦点是侏罗纪、白垩纪岩石(林强等, 1998; Jahn et al., 2001; Wu et al., 2006; 邵济安等, 2007; Xu et al., 2013a,b; 郑吉林等, 2016; 乔牡冬等, 2018; 刘凯等, 2018; 赵胜金等, 2018a,b; 张晓飞等, 2019),对于三叠纪岩浆岩(Wu et al., 2002; Zhang et al., 2004; Xu et al., 2009; 张连昌等, 2012; Yang et al., 2016)特别地层研究较少。近年来,随着区域地质调查工作的开展,陆续有学者在大兴安岭地区发现三叠纪地层(郑月娟等, 2013; 杨兵等, 2014; 周建平等, 2015;

陈树旺等, 2020),但对哈达陶勒盖组的研究则更少,特别是在哈达陶勒盖组的形成时代和构造背景方面仍然存在争议。杨雅军等(2012)通过野外调查,将大兴安岭三叠系划分为下三叠统老龙头组、哈达陶勒盖组及上三叠统东官组;丁秋红等(2005)在内蒙古开鲁县发现含下三叠统孢粉化石的地层证据,并将该套地层厘定为下三叠统哈达陶勒盖组;张武等(2006)在内蒙古德发屯附近原大磨拐河组发现早三叠世木化石,将这组地层重新厘定为下三叠统老龙头组,同时认为,老龙头组与哈达陶勒盖组为同时异相地层。马永非等(2017)在大兴安岭中段哈达陶勒盖组测得锆石U–Pb年龄为210~230 Ma,属于晚三叠世,并认为该时期大兴安岭的构造演化背景受蒙古–鄂霍茨克洋板块向南俯冲作用影响明显,表现为弧后伸展;司秋亮等(2017, 2018)对大兴安岭中段蘑菇气地区哈达陶勒盖组火山岩进行了锆石测年,获得年龄(239.3±5.4)Ma、(240.6±2.3)Ma,表明其形成时代为中三叠世。李世超等(2017)对索伦和扎兰屯附近的哈达陶勒盖组火山岩进行了详细的岩石地球化学分析,认为该组的中酸性火山岩属于O型埃达克岩,其形成可能与古亚洲洋的闭合、碰撞有关。

研究区位于新巴尔虎右旗地区,大地构造位置属于大兴安岭北段额尔古纳地块(田京等, 2014)。该区三叠纪地层出露有限,鲜有报道(赵胜金等, 2018c)。近年,笔者等在新巴尔虎右旗地区进行1:

5万区域地质调查过程中,发现了一套哈达陶勒盖组火山岩。通过哈达陶勒盖组火山岩锆石U-Pb测年和地球化学研究,揭示其岩石组合和形成时代,探讨其岩石成因及形成的构造背景,以期为大兴安岭北部地区的岩浆活动和构造演化提供依据。

2 地质背景与样品特征

新巴尔虎右旗位于大兴安岭北段西部,大地构造位置处于中亚造山带东缘,大兴安岭北段额尔古纳地块上,夹持于北侧的蒙古-鄂霍茨克缝合带与南侧德尔布干断裂之间(田京等,2014;方曙等,2016)(图1a)。研究区中生代地层分布广泛,以侏罗-白垩纪火山岩地层为主,三叠纪地层出露范围有限。由老到新依次为下三叠统哈达陶勒盖组、下侏罗统柴河组(赵胜金等,2018a)、中侏罗统塔木兰沟组、上侏罗统满克头鄂博组、玛尼吐组,下白垩统白音高老组、梅勒图组、大磨拐河组,以及第四系沉积物。侵入岩主要为早三叠世(糜棱岩化)花岗闪长岩、中二叠世二长花岗岩和晚侏罗世二长花岗岩

(图1b)。研究区发育一条穿过早三叠世花岗闪长岩和哈达陶勒盖组的近EW向的韧性剪切带(赵胜金等,2020),使得花岗闪长岩和哈达陶勒盖组部分火山岩发生韧性变形。

哈达陶勒盖组由吉林省区调队于1980年根据科尔沁右翼前旗索伦镇哈达陶勒盖剖面建组,最初建组时的时代定为早三叠世,岩性以安山岩为主夹中酸性或酸性火山岩和碎屑沉积层(杨雅军等,2012)。该地层在研究区分布面积不大,约30 km²,总体呈NEE走向(图1)。岩石组合主要为灰色安山岩、绿帘石化安山岩、绿帘石化玄武安山岩夹薄层千糜岩化流纹岩及集块角砾凝灰岩,局部见长石岩屑砂岩、炭质板岩等沉积岩,为普遍遭受弱变质作用改造的一套以中性火山岩为主夹少量酸性火山岩和沉积岩的岩石组合,其上被中侏罗统塔木兰沟组、上侏罗统满克头鄂博组火山岩和下白垩统大磨拐河组不整合覆盖(图2)。

绿帘石化安山岩:浅灰色,显微粒状变晶结构、变余斑状结构,基质呈变余交织结构。斑晶:暗色

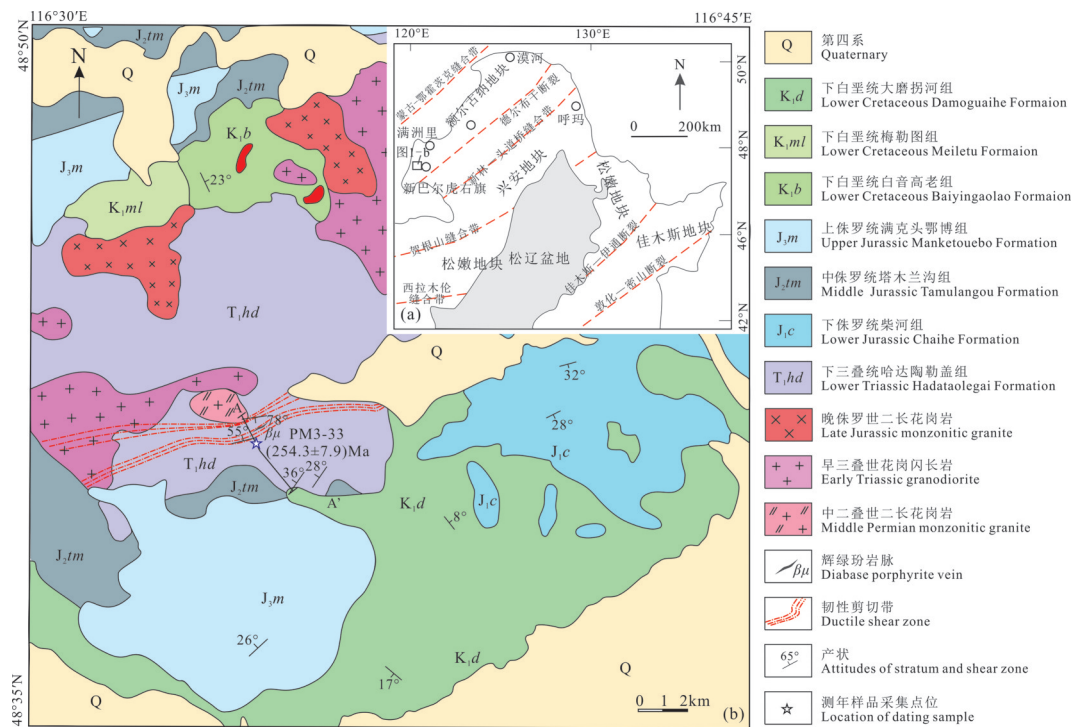


图1 区域构造位置图(a,据刘勃然等,2016修改)及研究区地质简图(b,据内蒙古自治区第十地质矿产勘查开发院,2017^①;内蒙古自治区地质调查院,2017^②;赵胜金等,2018b,c;Mi et al., 2020修改)

Fig.1 Tectonic location of the study area (a, modified from Liu Boran et al., 2016) and simplified geological map of the study area (b, modified from No. 10 Institute of Geological Exploration, Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, 2017^①; Geological Survey Institute of Inner Mongolia, 2017^②; Zhao Shengjin et al., 2018b,c; Mi et al., 2020)

矿物假象,粒状或柱状,0.2~1.4 mm,含量94%,具暗化边,内部被绿帘石、石英集合体替代,推测原为辉石矿物,含量6%。基质:斜长石,呈微晶针柱状假象,粒度大小0.1~0.3 mm,定向或半定向排列,变余交织结构,被绿帘石(30%)、绿泥石(5%)等矿物交代(图3)。

玄武安山岩:灰色,斑状结构,基质呈交织结构。斑晶:斜长石,呈板柱状,粒度大小0.4~1.6 mm,不新鲜,绢云母化,见残余的聚片双晶,含量10%。基质:含量90%,其中的斜长石呈微晶长条状,粒度大小0.2~0.3 mm,具聚片双晶,稀疏绢云母化,呈定向或半定向分布,显示交织结构特征,其间隙中分布有脱玻化物质和金属矿物微粒(5%)。岩石中出现少量绿帘石,含量约5%。

流纹质玻屑凝灰岩:灰白色,玻屑凝灰结构。岩屑呈棱角状或次棱角状,大小0.5~1.5 mm,由流纹岩碎屑组成,含量4%;晶屑呈棱角状,大小0.1~0.8 mm,由透长石和少量石英、黑云母碎屑组成,含量4%;玻屑呈弧面棱角状,大小0.1~0.5 mm,界线较模糊,杂乱分布,脱玻为霏细-微粒状(0.01~0.05 mm)长英矿物,含量92%。

3 测试方法

1件绿帘石化安山岩样品(PM3-33)的采样点地理坐标为北纬48°39'13"、东经116°34'42"。样品在河北省廊坊峰泽源岩矿检测技术实验室采用常规方法进行粉碎,并用强磁选和电磁选方法进行分选,在双目镜下挑选出晶形较好、无明显裂痕、包裹体的锆石颗粒。锆石制靶及透射光、反射光、阴极

发光图像的采集、U-Pb同位素分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心完成,测试仪器为SHRIMP(Sensitive High Resolution Ion MicroProbe)仪,具体测试方法见宋彪等(2015)。测试数据见表1。

10件样品的主量元素分析在内蒙古自治区第十地质矿产勘查开发院完成,分析使用GGX-610原子吸收分光光度计、T6新悦可见光分光光度计及SRJX8-13箱式电阻炉,各项相对偏差及相对偏差允许限符合《地质矿产实验室测试质量管理规范》。微量和稀土元素分析测试在华北有色地质勘查局燕郊中心实验室完成,采用Thermo ICP-6000电感耦合等离子体光谱仪(ICP-AES)完成。测试数据见表2。微量和稀土元素的球粒陨石和原始地幔标准化数据参见Sun et al.(1989)。

4 测试结果

4.1 锆石U-Pb年龄

本文对1件绿帘石化安山岩样品PM3-33进行了锆石U-Pb测年,数据结果如表1所示。阴极发光(CL)图像显示,锆石呈灰色、灰白色和灰黑色,亮度强弱不等,可能反映了不同锆石Th、U元素含量的差异;晶体呈自形一半自形四方双锥柱状,部分晶棱晶面熔蚀明显,呈四方双锥柱状轮廓,少量锆石内部可见黑色固相包体;锆石粒径一般为0.02~0.1 mm,个别达0.25 mm,长宽比多为1:1~2:1,个别达2:1~3:1。依据锆石CL图像可知,锆石内部组构简单,且发育明显的振荡环带(图4),指示了明显的岩浆锆石特征。

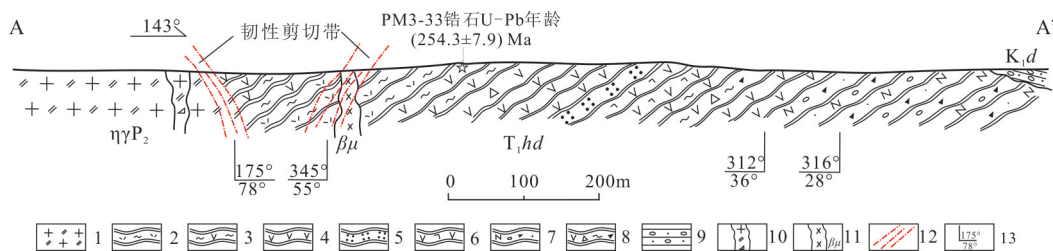


图2 新巴尔虎右旗哈达陶勒盖组AA'剖面

1—中二叠世二长花岗岩;2—糜岩化流纹岩和英安岩;3—绿帘石化安山岩;4—变安山岩;5—变凝灰岩;6—变玄武安山岩;7—变质含砾长石岩屑砂岩;8—变安山质角砾集块岩;9—砂质砾岩;10—碎裂细中粒二长花岗岩;11—辉绿玢岩脉;12—韧性剪切带;13—产状

Fig.2 Geological section of Hadataolegai Formation in Xin Barag Right Banner

1—Middle Permian monzonitic granite; 2—Mylonitized rhyolite and dacite; 3—Epidote andesite; 4—Meta-andesite; 5—Meta-tuff; 6—Meta-basaltic andesite; 7—Metamorphic gravel-bearing feldspathic lithic sandstone; 8—Meta-andesite berccia agglomerate; 9—Sandy conglomerate; 10—Cataclastic fine-grained monzonite; 11—Diabase porphyrite vein; 12—Ductile shear zone; 13—Attitudes of strata and shear zone

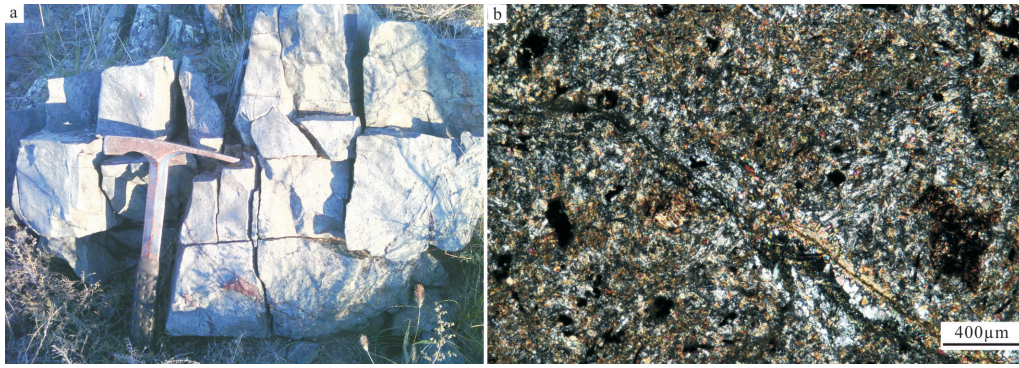


图3 绿帘石化安山岩野外露头(a)和显微照片(b)

Fig.3 The outcrop (a) and microphotograph (b) of the epidotized andesite from Hadataolegai Formation

本次对 14 颗锆石进行了 SHRIMP U-Pb 测年。结果显示, Th 含量为 $108 \times 10^{-6} \sim 1490 \times 10^{-6}$, U 含量为 $159 \times 10^{-6} \sim 2519 \times 10^{-6}$, Th/U 值介于 0.43~1.09, 均大于 0.4, 具典型的岩浆成因锆石特点。其中 1 和 7 号锆石的 U-Pb 年龄较老, 可能为捕获锆石; 11 号锆石年龄较年轻, 不参与年龄加权平均值计算; 另有 5、8、10、13 号锆石环带发育好, 但年龄极其年轻, 均小于 30 Ma, 其年龄加权平均值为 (26.46 ± 0.76) Ma, 时代归属古近纪渐新世, 但考虑到该组岩石组合特征, 笔者认为该年龄可能是围岩组分混入的结果, 本次暂不予考虑。剩余 7 个数据点(2、3、4、6、9、12、14 号)均位于谐和线上或附近, 且数据点分布集中(图 3), 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $(244.9 \pm 3.8) \sim (266.3 \pm 3.6)$ Ma, 年龄加权平均值为 (254.3 ± 7.9) Ma (MSWD=4.7)。

4.2 地球化学特征

本次对 10 件火山岩样品进行了主量、微量和稀土元素分析, 分析数据结果见表 2。

4.2.1 主量元素

野外和镜下观察发现, 部分样品发生了浅变

质, 为了尽可能地消除蚀变带来的影响。本次利用抗蚀变元素 Nb、Y、Zr、Ti 进行岩石分类(图 5)。根据 A-C-FM 原岩判别图解(图 5a), 10 件样品整体落入中酸性火山岩区和基性火山岩及部分沉积灰质岩区, 表明所采样品为变火山岩样品, 与野外和镜下特征吻合。在抗蚀变元素 Nb/Y-Zr/Ti 和 Nb/Y-Zr/TiO₂*0.0001 岩石分类图解(图 5c、d)中, 3 件样品落入流纹-英安岩区, 6 件样品落入安山岩-玄武安山岩区, 1 件样品过渡到碱性玄武岩区。在 TFeO-(Na₂O+K₂O)-MgO 图解(图 5b)中, 样品点基本都落在钙碱性系列, 仅 1 件样品落入拉斑系列。

按照火山岩岩石分类图解(图 5c、d), 10 件哈达陶勒盖组火山岩大致可分为酸性火山岩和中基性火山岩 2 类。(1)酸性火山岩: 3 件样品 D1110-1、D1057-1、PM3-21, 岩性判为流纹英安岩。该类火山岩具有较高的 SiO₂ 含量(67.80%~73.81%), 相对较高的 Na₂O(1.32%~6.29%)、K₂O(2.1%~3.22%) 和 Na₂O+K₂O(3.42%~9.51%) 含量, 以及相对较低的 Al₂O₃(13.4%~15.92%)、MgO(0.30%~0.78%) TiO₂(0.33%~0.59%) 和 TFeO(2.41%~4.36%) 含量。其

表 1 早三叠世哈达陶勒盖组绿帘石化安山岩锆石 U-Th-Pb 测年数据分析结果

Table 1 SHRIMP zircon U-Th-Pb isotopes analyses of the epidotized andesite from Hadataolegai Formation

点号	元素含量				Th/U	同位素比值						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	
	$^{206}\text{Pb}/\%$	U/ 10^{-6}	Th/ 10^{-6}	$^{206}\text{Pb}/10^{-6}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^*$	1 σ	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	1 σ		
PM3-33-2	1.36	1412	1490	49.0	1.09	0.051	4.4	0.279	4.6	0.040	1.4	252.0	± 3.4
PM3-33-3	0.34	159	108	5.31	0.70	0.059	11	0.313	11	0.039	1.8	244.9	± 4.4
PM3-33-4	0.20	252	190	8.39	0.78	0.056	4.2	0.298	4.5	0.039	1.6	244.9	± 3.8
PM3-33-6	3.88	1453	1335	54.3	0.95	0.051	7.7	0.295	7.9	0.042	1.6	264.3	± 4.2
PM3-33-9	0.41	241	217	8.01	0.93	0.078	8.6	0.330	8.8	0.040	1.8	251.8	± 4.4
PM3-33-12	5.21	372	322	13.6	0.89	0.055	15	0.303	15	0.040	1.7	254.1	± 4.3
PM3-33-14	0.51	2518	1059	91.7	0.43	0.051	1.7	0.295	2.2	0.042	1.4	266.3	± 3.6

注: Pb 代表普通 Pb, Pb* 代表放射成因 Pb。

表2 哈达陶勒盖组火山岩主量(%),微量及稀土元素(10^{-6})分析结果Table 2 Major (%), rare earth and trace (10^{-6}) element compositions of volcanic rocks from Hadataolegai Formation

样号	D1110-1	D1057-1	PM3-21	PM3-70	D1133-1	D1054-2	PM3-33	PM3-67	T1070-1	D1127-2
野外定名	千糜岩化 英安岩	千糜岩化 英安岩	糜棱岩化 流纹岩	变英安质 凝灰岩	粗面安山岩	绿帘石化 玄武岩	绿帘石化 安山岩	绿帘石化 玄武岩	绿帘石化 安山岩	玄武岩
成分定名	流纹岩	英安岩	英安岩	安山岩	玄武安山岩	玄武安山岩	玄武安山岩	玄武安山岩	玄武安山岩	碱性玄武岩
SiO ₂	67.80	67.87	73.81	56.52	54.84	50.61	50.21	48.87	54.41	49.72
TiO ₂	0.39	0.59	0.33	1.04	1.33	0.83	1.35	1.45	1.04	1.38
Al ₂ O ₃	15.47	15.92	13.40	19.44	17.03	15.46	16.21	16.87	16.14	19.31
Fe ₂ O ₃	2.44	2.78	1.18	5.58	2.87	2.24	6.01	6.12	6.28	8.76
FeO	2.16	1.29	1.35	2.45	4.97	6.80	3.65	3.35	2.51	1.53
MnO	0.11	0.05	0.05	0.07	0.08	0.44	0.18	0.17	0.14	0.11
MgO	0.59	0.30	0.78	1.62	4.76	7.96	6.92	6.76	2.09	3.76
CaO	1.01	0.65	3.57	3.61	5.14	10.58	8.69	8.39	13.74	4.85
Na ₂ O	5.48	6.29	1.32	5.87	3.43	2.30	3.32	2.68	0.51	4.70
K ₂ O	3.18	3.22	2.10	1.43	3.26	0.70	0.23	0.07	0.37	1.80
P ₂ O ₅	0.10	0.15	0.08	0.15	0.48	0.17	0.36	0.43	0.31	0.37
Na ₂ O+K ₂ O	8.66	9.51	3.42	7.30	6.69	3.00	3.55	2.75	0.88	6.50
烧失量	0.96	0.44	1.72	1.83	1.21	1.47	2.38	4.41	1.83	1.99
A/NK	1.22	1.15	2.61	1.86	1.72	3.59	3.24	4.38	12.50	2.06
A/CNK	1.11	1.08	1.35	1.27	1.01	0.84	0.97	1.12	0.82	1.22
TFeO	4.36	3.79	2.41	7.47	7.55	8.82	9.06	8.86	8.16	9.41
Mg [#]	19.45	12.36	36.57	27.88	52.91	61.68	57.66	57.64	31.34	41.59
SI	4.26	2.17	11.59	9.67	24.68	39.80	34.83	36.20	18.33	18.72
DI	81.28	87.99	69.30	55.77	46.48	15.92	20.01	19.33	25.58	36.55
AR	3.21	3.69	1.37	1.93	1.86	1.26	1.33	1.24	1.06	1.74
σ43	3.02	3.62	0.38	3.89	3.72	1.16	1.69	1.23	0.07	6.04
La	51.20	39.40	30.40	41.80	42.20	10.70	28.70	33.30	20.80	23.90
Ce	109.00	91.00	62.20	83.90	88.20	23.90	61.40	72.10	44.10	50.70
Pr	13.10	10.10	6.94	9.55	10.60	3.29	7.91	9.08	5.76	6.72
Nd	53.00	40.50	28.00	38.30	44.80	15.00	34.80	39.70	24.80	30.60
Sm	9.67	7.65	5.42	7.52	7.85	3.17	7.06	7.59	4.80	6.62
Eu	2.67	1.68	1.02	1.68	1.87	1.06	1.83	2.05	1.37	1.75
Gd	9.24	6.83	4.76	7.14	5.58	3.34	6.37	7.39	5.06	5.84
Tb	1.43	1.08	0.80	1.15	0.72	0.53	0.95	1.10	0.80	0.90
Dy	7.72	6.18	4.70	6.40	3.18	3.30	5.19	5.70	4.50	4.89
Ho	1.49	1.16	0.96	1.25	0.55	0.66	0.95	1.04	0.85	0.90
Er	4.04	3.54	3.04	3.57	1.34	1.84	2.63	2.90	2.43	2.55
Tm	0.61	0.54	0.46	0.54	0.17	0.26	0.35	0.40	0.34	0.33
Yb	3.74	3.64	2.94	3.34	0.96	1.56	2.03	2.26	2.07	1.90
Lu	0.54	0.56	0.42	0.46	0.12	0.21	0.28	0.30	0.30	0.27
Y	38.30	28.60	25.40	30.70	13.60	16.10	22.80	25.20	22.20	22.30
ΣREE	305.75	242.46	177.46	237.30	221.74	84.92	183.25	210.11	140.18	160.17
LREE	238.64	190.33	133.98	182.75	195.52	57.12	141.70	163.82	101.63	120.29
HREE	28.81	23.53	18.08	23.85	12.62	11.70	18.75	21.09	16.35	17.58
LR/HR	8.28	8.09	7.41	7.66	15.49	4.88	7.56	7.77	6.22	6.84
δEu	0.85	0.70	0.60	0.69	0.82	0.99	0.82	0.83	0.84	0.84
(La/Yb) _N	9.23	7.30	6.97	8.44	29.64	4.62	9.53	9.93	6.77	8.48
Rb	69.70	70.00	71.60	32.50	124.00	21.40	5.30	3.30	13.30	33.30
Sr	432.00	136.00	201.00	535.00	955.00	461.00	643.00	673.00	1340.00	814.00
Ba	495.00	716.00	492.00	725.00	426.00	163.00	229.00	141.00	73.00	329.00
Nb	16.30	15.80	9.59	13.50	9.18	2.58	5.64	6.72	7.18	7.04
Ta	1.01	1.03	0.72	1.14	0.55	0.23	0.42	0.47	0.62	0.47
Zr	498.00	427.00	176.00	259.00	199.00	75.30	168.00	211.00	127.00	162.00
Hf	10.10	11.60	6.01	6.36	4.50	1.66	4.23	4.51	2.56	3.43
Th	8.65	9.19	8.10	13.50	4.56	1.36	5.41	5.77	2.81	1.65
Cr	99.80	130.00	85.90	112.00	228.00	479.00	323.00	224.00	146.00	33.20
Co	2.50	2.80	3.10	19.50	25.70	40.90	39.50	36.60	28.10	29.40
Ni	3.70	4.90	8.60	27.40	69.40	93.30	154.00	99.80	56.90	12.50
Li	11.50	10.20	12.60	10.80	49.50	14.20	20.10	20.30	10.90	30.80
Sc	10.10	10.70	6.70	19.40	13.70	32.70	23.90	24.80	21.00	17.60
U	1.77	1.94	1.78	3.06	0.92	0.35	1.34	1.26	0.98	0.78
Ti	2278.00	3466.00	2016.00	6137.00	7860.00	5165.00	6872.00	6920.00	6408.00	8357.00

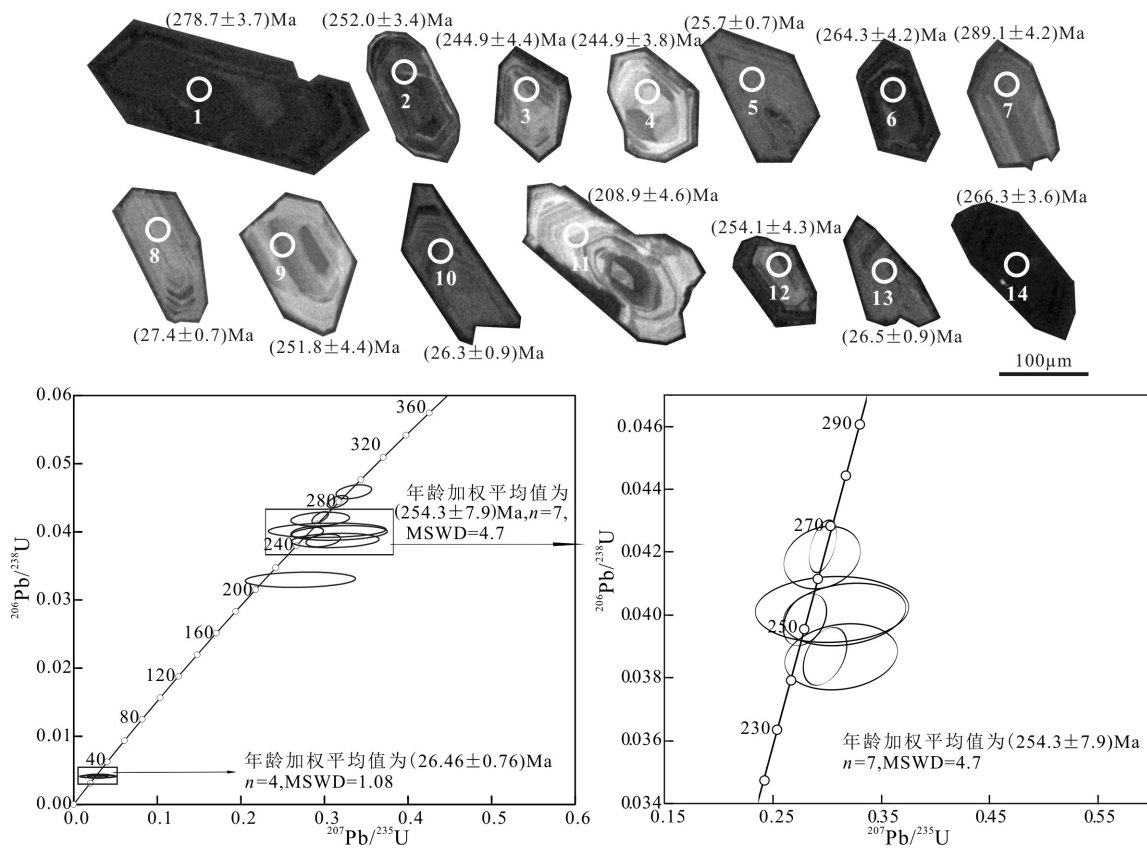


图4 哈达陶勒盖组绿帘石化安山岩锆石阴极发光(CL)图像和U-Pb年龄谱和图

Fig.4 Zircon CL images and U-Pb concordia plot of the epidotized andesite from Hadataolegai Formation

A/CNK 值介于 1.08~1.35, 属于过铝质系列; $Mg^{\#}$ 为 12.36~36.57; 里特曼指数 (σ) 为 0.38~3.62, 显示钙碱性特征; 分异指数 (DI) 高 (69.30~87.99), 固结指数 (SI) 极低 (2.17~11.59, 远小于 40), 表明岩浆分异程度较高。(2) 中基性岩类: 7 件样品 D1133-1、T1070-1、PM3-70、D1127-2、D1054-2、PM3-33 和 PM3-67, 岩性判别为安山岩-玄武安山岩, 一个样品为玄武岩。该类火山岩具有较低的 SiO_2 含量 (48.87%~56.52%), 相对较低的 Na_2O (0.51%~5.87%)、 K_2O (0.07%~3.26%) 和 (Na_2O+K_2O) (0.88%~7.3%) 含量, 以及相对较高的 Al_2O_3 (15.46%~19.44%)、 MgO (1.62%~7.96%)、 TiO_2 (0.83%~1.45%) 和 $TFeO$ (7.47%~9.41%)。其 A/CNK 值介于 0.82~1.22, 属于准铝质-过铝质系列; $Mg^{\#}$ 为 27.88~61.68; 里特曼指数 (σ) 为 0.07~6.04, 平均值为 2.54, 大多显示钙碱性特征 (仅 1 个样品为碱性); 分异指数 (DI) 较高 (25.58~55.77), 固结指数 (SI) (9.67~24.68, 小于 40) 较低, 表明岩浆分异程度高。

4.2.2 稀土和微量元素

稀土元素含量及参数特征见表 2。10 件火山岩样品的稀土元素总量 (ΣREE) 为 84.92×10^{-6} ~ 305.8×10^{-6} , 平均值为 196.33×10^{-6} , 为较高丰度型; LREE/HREE 值为 4.6~15.49, (La/Yb)_N 值为 4.62~29.64, 平均值为 10.09, 属轻稀土元素富集型。稀土元素配分曲线右倾 (图 6a), 斜率较大, 轻、重稀土元素分馏较强。其中, 酸性火山岩 δEu 值为 0.60~0.85, 平均值为 0.72, 具有较明显的负 Eu 异常; 中基性火山岩 δEu 值为 0.69~0.99, 平均值为 0.83, 显示弱-微弱的负 Eu 异常。

从微量元素蛛网图 (图 6b) 看, 总体上中基性和酸性火山岩的配分曲线均右倾, 相对富集大离子亲石元素、亏损高场强元素, 且强烈亏损高场强元素 Nb, 但是也存在明显不同。例如, 酸性火山岩的配分曲线更加一致, 明显富集 Rb、K、Ba 等大离子亲石元素, 强烈亏损 Nb、Ti 等高场强元素和 Sr; 中基性火山岩与酸性火山岩相比配分曲线一致性相对较差, 且相对富集 Sr 元素, 部分亏损大离子亲石元素 K, 暗示二者在成因或演化过程中具有差异性 (龙登红

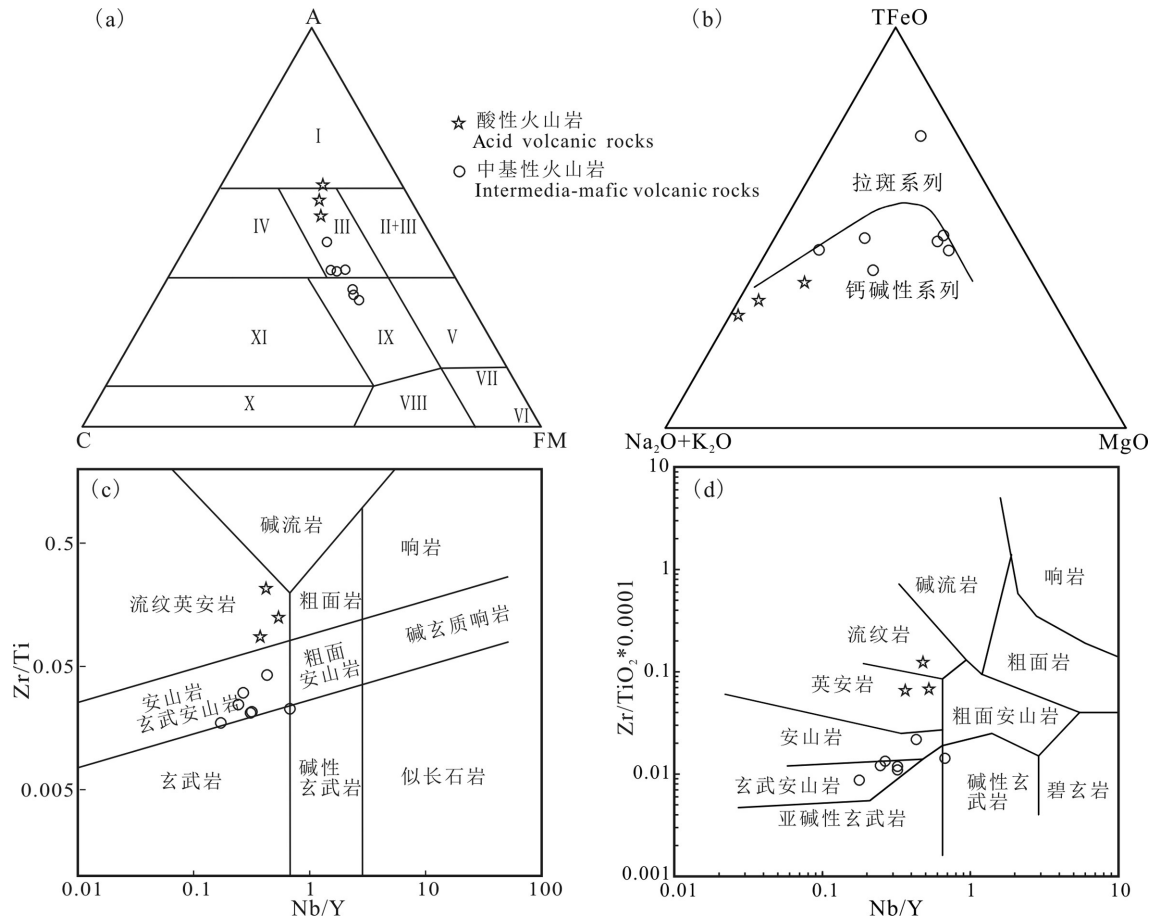


图5 哈达陶勒盖组火山岩 A-C-FM(a)、TFeO-(Na₂O+K₂O)-MgO(b)、Nb/Y-Zr/Ti(c)和 Nb/Y-Zr/TiO₂*0.0001(d)图解
 I—纯泥质岩; II—铁质泥质岩; III—中酸性火山岩; IV—钙质泥质岩; V—胶体化学沉积及灰岩; VI—胶体化学沉积; VII—超基性岩; VIII—超基性火山岩及部分白云质岩石; IX—基性火山岩及部分沉积灰质岩石; X—碳酸盐岩沉积岩; XI—泥灰质沉积岩

Fig. 5 Diagrams of A-C-FM (a), TFeO-(Na₂O+K₂O)-MgO (b), Nb/Y-Zr/Ti (c) and Nb/Y-Zr/TiO₂*0.0001 (d) for volcanic rocks from Hadataolegai Formation

I - Argillaceous rocks; II - Iron argillaceous rocks; III - Intermediate-acid volcanic rocks; IV - Calcareous argillaceous rocks; V - Colloid chemical deposition and limestone; VI - Colloid chemical deposition; VII - Ultramafic rock; VIII - Ultramafic volcanic rocks and some dolomitic rocks; IX - Mafic volcanic rocks and some sedimentary limestone; X - Carbonate sedimentary rocks; XI - Marl sedimentary rocks

等,2020)。

5 讨论

5.1 地层归属与时代

哈达陶勒盖组由吉林省区调队1980年在科尔沁右翼前旗索伦镇哈达陶勒盖建组,岩性为安山岩、安山质或英安质凝灰岩、熔结凝灰岩、凝灰熔岩夹粉砂岩、页岩及凝灰质砂岩。哈达陶勒盖组在大兴安岭中南段断续发育,研究程度相对较高,在北段则鲜有报道(表3)。例如丁秋红等(2005)依据孢粉化石证据,将内蒙古开鲁县的哈达陶勒盖组归为下三叠统;张武等(2006)通过早三叠世的木化石证

据,将内蒙古德发屯的老龙头组重新厘定为下三叠统,并认为老龙头组与哈达陶勒盖组为同时异相;杨雅军等(2012)通过野外调查,将大兴安岭哈达陶勒盖组归为下三叠统。但是,司秋亮等(2017,2018)、马永非等(2017)根据高精度的锆石U-Pb测年,获得的哈达陶勒盖组时代相对较晚,分别为中三叠世和晚三叠世。

笔者在大兴安岭北段新巴尔虎右旗地区发现的这套哈达陶勒盖组,以中性火山岩为主夹少量酸性火山岩和沉积岩,上被中侏罗统塔木兰沟组、上侏罗统满克头鄂博组火山岩和下白垩统大磨拐河组不整合覆盖,且被早三叠世花岗闪长岩(247.5±

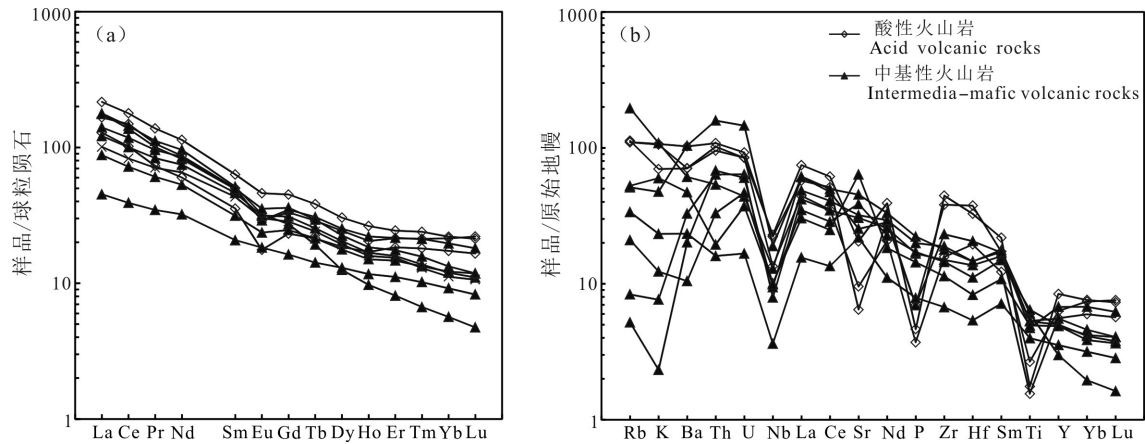


图6 哈达陶勒盖组火山岩稀土元素球粒陨石标准化配分图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)
(球粒陨石和原始地幔标准化数据据 Sun et al., 1989)

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace elements spider diagrams (b) of volcanic rocks from Hadataolegai Formation
(normalized data of chondrites and primordial mantle after Sun et al., 1989)

1.9 Ma)(赵胜金等, 2018c)侵入。从岩石组合和接触关系看, 可与其他地区的哈达陶勒盖组对比。对其中的绿帘石化安山岩进行锆石 U-Pb 测年发现, 其形成年龄为(254.3±7.9)Ma, 时代归属晚二叠世—早三叠世。再结合项目组其他成员在研究区北部的测年结果((249±1.9)Ma, 内蒙古自治区地质调查院^⑨), 以及区域构造环境、岩性组合特征等, 笔者认为将该套地层定为下三叠统哈达陶勒盖组, 时代为早三叠世早期更合理。鉴于蒙古—鄂霍茨克板块南向俯冲自西向东对大兴安岭地区产生的构造影响, 相比大兴安岭中段地区, 研究区更靠近蒙古—鄂霍茨克洋, 所以在岩浆—构造活动时间上也较老。该地层的厘定说明, 大兴安岭北段存在早三叠世岩浆活动事件。

5.2 岩石成因

由前文已知, 大兴安岭北段新巴尔虎右旗哈达陶勒盖组中基性火山岩的 SiO₂ 和 Na₂O+K₂O 含量较低, Al₂O₃、MgO、TiO₂、TFeO 及 Cr、Co、Ni、Sc 含量较

高, 暗示岩浆来源为地幔; La/Nb 值介于 2.9~5.1, 平均值为 4.0, 明显不同于美国盆岭省软流圈地幔来源的玄武岩(La/Nb<1.5), 而近似于内华达州起源于岩石圈地幔玄武岩特征(La/Nb>1.5)(Fitton et al., 1988); 结合 Y-Sr/Y 和 Yb_N-(La/Yb)_N 图解(图 7), 中基性火山岩落入经典岛弧岩石区, 暗示岩浆可能来源于与俯冲作用有关的岩石圈地幔。样品的 Mg[#] 值为 31.34~61.68, 平均值为 47.2, 低于原始岩浆的 Mg[#] 值(68~75)(Wilson, 1989), 表明中基性火山岩经历了结晶分异作用; 弱—微弱的负 Eu 异常指示, 岩浆在上涌过程中出现少量斜长石分离结晶作用, 且可能有地壳混染作用存在; Nb/Ta 值介于 11.2~16.7, 平均值为 13.43, 接近大陆地壳值(11~12, Barth et al., 2000), 低于原始地幔比值(17.3, Sun et al., 1989), 意味着这套地幔来源的中基性火山岩的地壳混染程度高。因此, 这套中基性火山岩可能来源于俯冲作用下的岩石圈地幔, 并遭受了明显的地壳混染。

表3 大兴安岭哈达陶勒盖组地层时代

Table 3 The stratigraphic ages of Hadategai Formation in the Da Hinggan Mountains

地 区	技术方法	时代依据	文 献		
中段	德发屯	古生物	含早三叠世木化石	早三叠世	张武等(2006)
中段	萨马街	锆石 U-Pb 测年	210~230 Ma	晚三叠世	马永非等(2017)
中段	蘑菇气	锆石 U-Pb 测年	234~244 Ma	中三叠世	司秋亮等(2017,2018)
南段	内蒙古开鲁县	古生物	含早三叠世孢粉化石	早三叠世	丁秋红等(2005)
中北段	扎兰屯	区域地层对比		早三叠世	杨雅军等(2012)
北段	新巴尔虎右旗北部	锆石 U-Pb 测年	(249±1.9) Ma	早三叠世	内蒙古自治区地质调查院 ^⑨
	新巴尔虎右旗	锆石 U-Pb 测年	(254.3±7.9) Ma	晚二叠世—早三叠世	本文

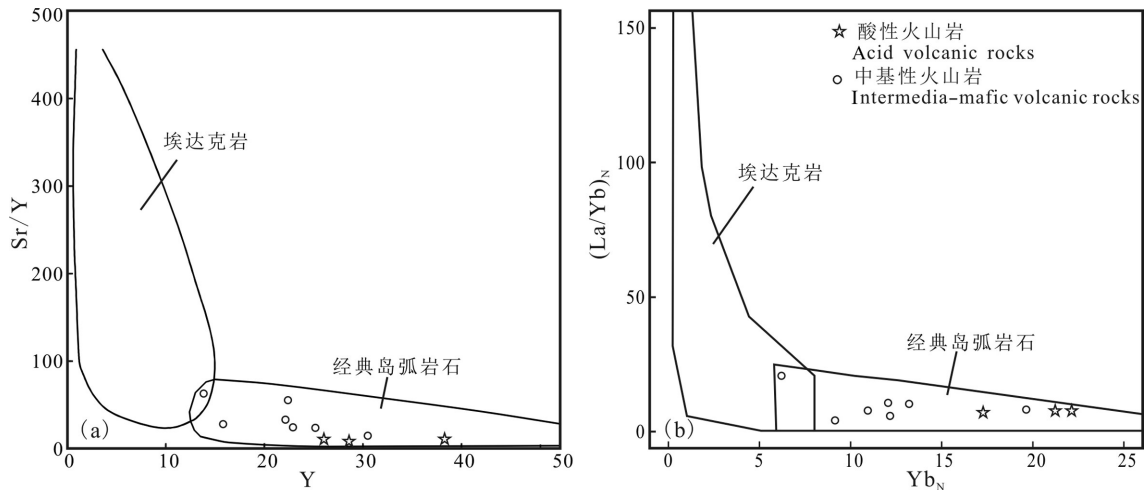


图7 哈达陶勒盖组火山岩 Y-Sr/Y 和 $Yb_N-(La/Yb)_N$ 图解
Fig.7 The diagrams of Y-Sr/Y and $Yb_N-(La/Yb)_N$ for Hadataolegai Formation volcanic rocks

酸性火山岩在 Y-Sr/Y 和 $Yb_N-(La/Yb)_N$ 图解(图7)中同样落入经典岛弧岩石区。其具有负 Eu、Sr、P 异常,其中负 Eu、Sr 异常说明岩浆演化过程中经历了斜长石的结晶分异过程;负 P 异常说明有磷灰石的结晶分异。较高的 SiO_2 和 Na_2O+K_2O 含量和相对较低的 MgO 、 TiO_2 、 $TFeO$ 含量,以及过铝质特征表明,哈达陶勒盖组酸性火山岩可能为壳源形成;富集轻稀土元素和大离子亲石元素,强烈亏损 Nb、Ti 等高场强元素等特征也揭示了壳源特征。因此,这套酸性火山岩的岩浆可能形成于地壳。

5.3 构造环境

新巴尔虎右旗地区位于大兴安岭北段,大地构造位置处于古亚洲洋构造域、蒙古-鄂霍茨克洋构造带和环太平洋构造域叠加部位,以西为蒙古-鄂霍茨克缝合带。研究区哈达陶勒盖组火山岩的形成背景与古亚洲洋构造域、环太平洋构造域和蒙古-鄂霍茨克洋构造带的关系分析如下。

目前,对于环太平洋构造域,部分学者通过东北地区岩浆岩的研究认为,古太平洋板块可能从早-中侏罗世开始向西俯冲(许文良等,2008; Xu et al., 2009; Wu et al., 2011; Yang et al., 2016),且晚侏罗世-早白垩世依泽奈崎板块的俯冲方向(NNE向)和较高分辨率的地震层析图像研究也揭示,古太平洋的俯冲影响距离可能不会超过长春-沈阳一线(Maruyama et al., 1986, 1997; Kimura et al., 1990; 邵济安等,2000,2001),暗示大兴安岭地区早中生代岩浆事件与古太平洋板块的俯冲无关。

对于古亚洲洋构造域的演化历史众多学者已基本达成共识,即古亚洲洋在晚二叠世-早三叠世已经完成最终闭合(Wu et al., 2002, 2007, 2011; Li et al., 2006; Cao et al., 2013; Li et al., 2014)。前人研究认为,古亚洲洋闭合后的碰撞体制在早-中三叠世可能依然存在,但是主要影响索伦-西拉木伦-长春一带(王涛等,2016),并未影响到中蒙边界-额尔古纳一带以及蒙古中西部地区。因此,大兴安岭北段额尔古纳地块的早中生代构造岩浆事件可能与古亚洲构造域无关。

研究区位于蒙古-鄂霍茨克洋构造带东部(图1a),该带在东北亚地区的构造演化历史中具有重要作用(李锦轶等,2009)。以往对蒙古-鄂霍茨克洋板块向北俯冲的研究较多,但是随着中国及蒙古境内的额尔古纳地块三叠纪闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩及正长花岗岩组成的NE向岩浆岩带,以及与岛弧侵入杂岩相关的大型-特大型斑岩型铜钼矿床等的发现,揭示蒙古-鄂霍茨克板块存在向南的俯冲作用(Xu et al., 2013; 许文良等,2013; 孟凡超等,2014; Tang et al., 2014, 2016; Yang et al., 2016)。最近研究表明,这种南向的俯冲作用可以从早中二叠世一直持续到晚三叠世,并于中侏罗世在额尔古纳西北部闭合(李宇等,2015; Mi et al., 2020)。结合前文所述,笔者认为,大兴安岭地区早中二叠世-三叠纪的构造背景主要受蒙古-鄂霍茨克板块南向俯冲的影响。

新巴尔虎右旗地区哈达陶勒盖组火山岩的形

成时代属于早三叠世,为一套以中性火山岩为主夹酸性火山岩和部分沉积岩的岩石组合。在(Yb+Ta)-Rb图解(图8a)和(Y+Nb)-Rb图解(图8b)中,样品全部落入火山弧花岗岩区且靠近板内花岗岩区,指示了火山弧构造背景。在Hf/3-Th-Ta图解(图8c)和Hf/3-Th-Nb/16图解(图8d)中,样品点均落在钙碱性火山玄武岩区(CAB区),同样指示了火山弧构造背景。因此,笔者认为,哈达陶勒盖组火山岩的形成可能与蒙古-鄂霍茨克板块南向俯冲的陆缘弧背景有关。

6 结论

(1)通过锆石U-Pb同位素测年,获得新巴尔虎

右旗地区哈达陶勒盖组安山岩的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于(244.9±3.8)~(266.3±3.6)Ma,年龄加权平均值为(254.3±7.9)Ma,时代归属晚二叠世-早三叠世。结合前人测年结果,将研究区哈达陶勒盖组火山岩的形成时代置于早三叠世更合理。

(2)根据岩石地球化学分析,哈达陶勒盖组中基性火山岩岩浆起源于受俯冲作用影响的岩石圈地幔,并在上涌过程中遭受地壳物质的混染;酸性火山岩岩浆可能形成于地壳。

(3)经过构造环境判别和区域构造演化分析,大兴安岭北段哈达陶勒盖组火山岩的形成可能与蒙古-鄂霍茨克板块南向俯冲的陆缘弧背景有关。

致谢:成文过程中得到中国地质调查局沈阳地

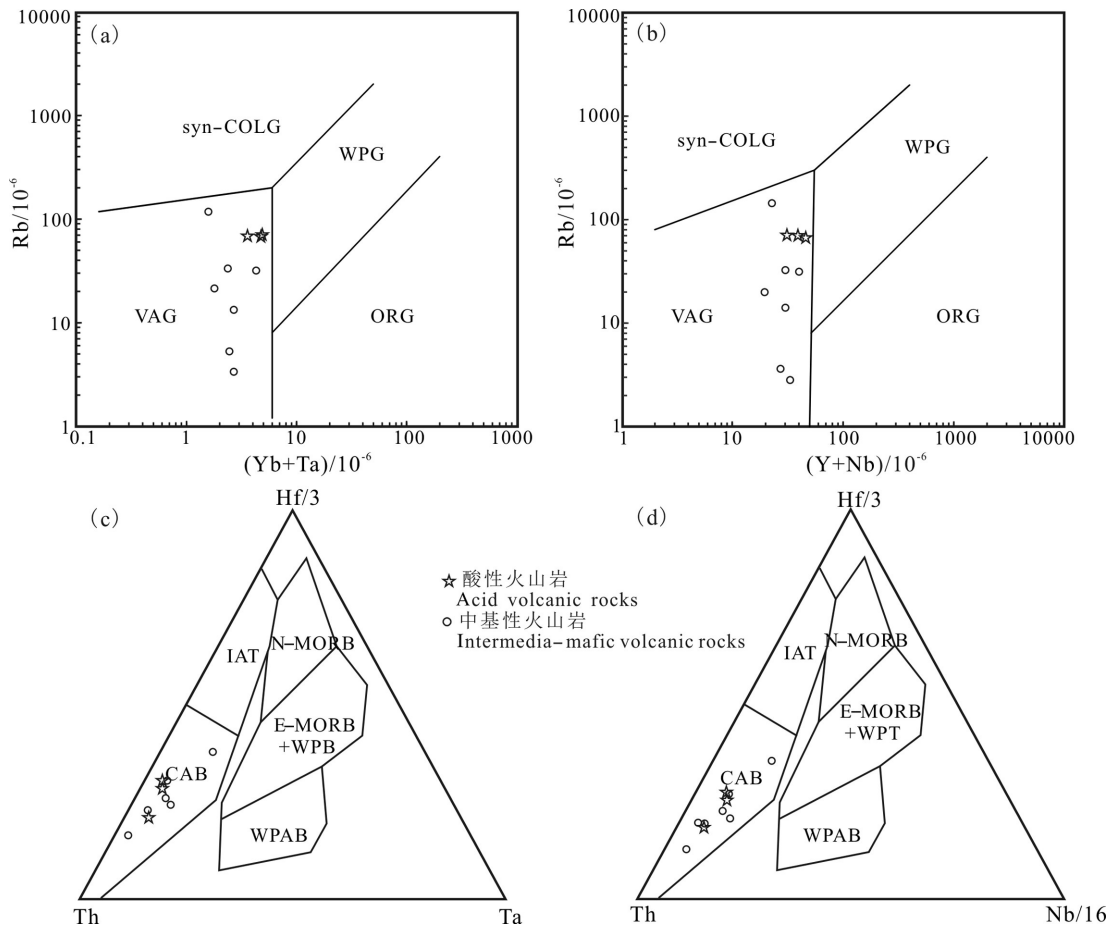


图8 哈达陶勒盖组火山岩构造环境判别图

ORG—洋脊花岗岩;WPG—板内花岗岩;VAG—火山弧花岗岩;syn-COLG—同碰撞花岗岩;N-MORB—正常洋脊玄武岩区;E-MORB+WPB—异常型洋脊拉斑玄武岩区和板内玄武岩及其分异产物;WPAB—板内碱性玄武岩区;IAT—拉斑型岛弧玄武岩;CAB—钙碱性火山弧玄武岩区

Fig.8 Discrimination diagrams for tectonic setting of volcanic rocks in Hadataolegai Formation

ORG—Ocean ridge granite; WPG—Within-plate granite; VAG—Volcanic arc granite; syn-COLG—Syn-collision granite; N-MORB—Normal mid-ocean ridge basalt; E-MORB+WPB—Enriched mid-ocean ridge basalt and intraplate basalt; WPAB—Intraplate alkaline basalt; IAT—Island arc tholeiite; CAB—Calc-alkaline basalt

质调查中心宋维民高级工程师和辽宁省地质矿产研究院吴文彬工程师的帮助;论文审稿过程中,两位匿名专家提出了建设性的修改意见,在此一并表示诚挚的感谢。

注释

①内蒙古自治区第十地质矿产勘查开发院.2017.内蒙古1:5万乌音呼日勒庙等四幅区域地质矿产调查报告[R].

②内蒙古自治区地质调查院.2017.内蒙古1:5万浩勒包等四幅地质矿产调查报告[R].

References

- Barth M G, McDonough W F, Rudnick R L. 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust[J]. *Chemical Geology*, 165: 197–213.
- Belousova E A, Kostitsyn Y A, Griffin W L, Begg G C, O'Reilly S Y, Pearson N J. 2010. The growth of the continental crust: Constraints from zircon Hf–isotope data[J]. *Lithos*, 119: 457–466.
- Cao Huahua, Xu Wenliang, Pei Fuping. 2013. Zircon U–Pb geochronology and petrogenesis of the Late Paleozoic–Early Mesozoic intrusive rocks in the eastern segment of the northern Margin of the North China Block[J]. *Lithos*, 170–171: 191–207.
- Chen Shuwang, Zheng Yuejuan, Zhang Jian, Zhang Haihua, Zhang Dejun, Su Fei, Huang Xin, Gong Fanhao, Zhen Zhen. 2020. The sedimentary environment and boundary of Permian–Triassic strata in the southern Da Hinggan Mountains, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 47(3): 821–838. (in Chinese with English abstract).
- Ding QiuHong, Zhang Lijun, Xu Kun. 2005. The Lower Triassic series and its palynological assemblages in southern Songliao Basin, NE China[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 22 (1):107–114(in Chinese with English abstract).
- Donskaya T V, Gladkochub D P, Mazukabzov A M. 2012. The Late Triassic Kataev volcanoplutonic association in Western Transbaikalia, a fragment of the active continental margin of the Mongol–Okhotsk Ocean[J]. *Russianian Geology and Geophysics*, 53(1): 22–36.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A–type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J]. *Geology*, 20, 641–644.
- Fitton J G, James D, Kempton P D, Ormerod D S, Leeman W P. 1988. The role of lithospheric mantle in the generation of Late Cenozoic basic magmas in the western United States[J]. *Journal of Petrology*, (Special Lithosphere Issue): 331–349.
- Jahn Borming, Wu Fuyuan, Capdevila R, Martineau F, Zhao Zhenhua, Wang Yixian. 2001. Highly evolved juvenile granites with letrated REE patterns:The Woduhe and Baerzhe granites from the Great Xing'an mountains in NE China[J]. *Lithos*, 59: 171–198.
- Kimura G, Takahashi M, Kono M. 1990. Mesozoic collision–extrusion tectonics in eastern Asia[J]. *Tectonophysics*, 181(1–4): 15–23.
- Li Jinyi, Mo Shenguo, He Zhengjun, Sun Guihua, Chen Wen. 2004. The timing of crustal sinistral strike–slip movement in the northern Great Xing'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 Jinyi, Zhang Jin, Yang Tiannan, Li Yaping, Sun Guihua, Zhu Zhixin, Wang Lijia. 2009. Crustal tectonic division and evolution of the southern part of the North Asian Orogenic Region and its adjacent areas[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 39(4): 584–605(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo–Asian Ocean and subduction of the Paleo–Pacific Plate[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3–4): 207–224.
- Li Shichao, Zhang Lingyu, Li Pengchuan, Shi Lu, Zheng Changqing. 2017. Discovery and tectonic implications of Early Tertiary O–type adakite in Middle of Great Xing'an Range[J]. *Earth Sciences*, 42(12): 2117–2128(in Chinese with English abstract).
- Li Wenguo, Jiang Wandu, Wang Hui. 1996. The Rocks and Strata of Inner Mongolia Autonomous Region[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1–240(in Chinese).
- Li Yu, Xu Wenliang, Wang Feng, Tang Jie, Pei Fuping, Wang Zijin. 2014. Geochronology and geochemistry of Late Paleozoic volcanic rocks on the western Margin of the Songnen–Zhangguangcai Range Massif, NE China: Implications for the amalgamation history of the Xing'an and Songnen–Zhangguangcai Range massifs[J]. *Lithos*, 205: 394–410.
- 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).
- Liu Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Yuan Zhongkuan, He Gengde, Chen Mingzhi, Li Wenyuan, Quan Zhichun. 1998. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in northeastern China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 33(2): 129–139(in Chinese with English abstract).
- Liu Boran, Li Wei, Zhang Shouzhi, Peng Tianming, Feng Zhiqiang. 2016. Extensional Detachment, Northern Great Xing'an Ranges, NE China[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 46 (5): 1140–1148(in Chinese with English abstract).
- 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 Yongjiang, Zhang Xingzhou, Jin Wei, Chi Xiaoguo, Wang Chengwen, Ma Zhihong, Han Guoqing, Wen Quanbo, Zhao Yingli, Wang Wendi, Zhao Xifeng. 2010. Late Paleozoic tectonic evolution in Northeast China[J]. *Geology in China*, 37(4): 943–951(in Chinese with English abstract).

- Chinese with English abstract).
- Long Denghong, Wang Sicheng, Hao Hechao, Mu Xufeng, Wang Liangliang, Liang Minghong, Gao Xiaofeng. 2020. Geochemical features and tectonic significance of volcanic rock in Qijiaoqing Group of middle section of Bogda, Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 53(1):13–23(in Chinese with English abstract).
- Maruyama Shaigenori, Isozaki Yukio, Kimura Gaku, Terabayashi Masaru. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. *Island Arc*, 6(1): 121–142.
- Maruyama S, Send T. 1986. Orogeny and relative plate motions: Example of the Japanese Islands[J]. *Tectonophysics*, 127(3–4): 305–329.
- Ma Yongfei, Liu Yongjiang, Wen Quanbo, Zhang Zhibin, Li Wei, Si Qiuliang, Tang Zhen. 2017. Petrogenesis and tectonic settings of volcanic rocks from Late Triassic Hadataolegai Fm. at central part of Great Xing'an Range[J]. *Earth Sciences*, 42(12): 2146–2173(in Chinese with English abstract).
- Mi Kuifeng, Liu Zhenjiang, Liu Ruibin, Li Chunfeng, Wang Jianping, Peng Runmin. 2018. U–Pb zircon, geochemical and Sr–Nd–Hf isotopic constraints on age and origin of the intrusions from Wunugetushan porphyry deposit, Northeast China: implication for Triassic–Jurassic Cu–Mo mineralization in Mongolia–Erguna metallogenic belt[J]. *International Geology Review*, 60(4): 496–512.
- Mi Kuifeng, Lü Zhicheng, Yan Tingjie, Zhao Shengjin, Yu Haiyang. 2020. SHRIMP U–Pb zircon geochronology and Hf isotope analyses of Middle Permian–Early Triassic intrusions in southern Manzhouli area, Northeast China: implications for the subduction of Mongol–Okhotsk plate beneath the Erguna massif[J]. *International Geology Review*, 62(5): 549–567.
- Qiao Mudong, Sun Jiapeng, Li Yuhan, Liu Yu, Zhang Wenqiang, Wang Jiuyi. 2018. Chronology, geochemistry and geological implication of the Mesozoic rhyolites in Xinlin area, Daxinganling Mountains[J]. *Geology and Resources*, 27(4): 324–336(in Chinese with English abstract).
- Saunders A D, Storey M, Kent R W, Nory M J. 1992. Consequences of plume–lithosphere interactions[J]. *Geological Society of Special Publication*, London, 68: 41–60.
- Shao Ji'an, Liu Futian, Chen Hui, Han Qingjun. 2001. Relationship between Mesozoic magmatism and subduction in Da hinggān–Yanshan area[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 56–63(in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an, Lu Fengxiang, Li Wuping. 2007. Mesozoic intracontinental andesites formed by underplating in west Liaoning Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(4): 701–707(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).
- Si Qiuliang, Tang Zhen, Ma Yongfei, Zhang Zhibin, Sun Wei, Zang Yanqing. 2017. Chronology study on volcanic rocks of Hadataolegai Formation in Moguqi area, Central Great Xing'an Mountains[J]. *Geological Review*, 63(sup.): 261–262 (in Chinese with English abstract).
- Si Qiuliang, Wang Ende, Tang Zhen, Ma Yongfei. 2018. Zircon U–Pb dating and petrogenesis of volcanic rocks in Hadataolegai Formation, Middle Great Xing'an Range[J]. *Journal of Northeastern University(Natural Science)*, 39(12): 1779–1782(in Chinese with English abstract).
- Song Biao. 2015. SHRIMP zircon U–Pb age measurement: Sample preparation, measurement, data processing and explanation [J]. *Geological Bulletin of China*, 34(10): 1–12(in Chinese with English abstract).
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle compositions and processes[C]//Saunders A D, Nory M J. *Magmatism in the Ocean Basins*, 42 (1). Geological Society, Special Publications, London, 313–345.
- Tang Jie, Xu Wenliang, Wang Feng. 2013. Geochronology and geochemistry of Neoproterozoic Magmatism in the Erguna Massif, NE China: Petrogenesis and implications for the breakup of the Rodinia supercontinent[J]. *Precambrian Research*, 224: 597–611.
- Tang Jie, Xu Wenliang, Wang Feng, Gao Fuhong, Cao Huahua. 2011. Petrogenesis of bimodal volcanic rocks from Maoershan Formation in Zhangguangcai Range: Evidence from geochronology and geochemistry[J]. *Global Geology*, 30(4): 508–520(in Chinese with English abstract).
- Tian Jing, Li Jinwen, Wang Runhe, Liu Wen, Xiang Anping, Kang Yongjian, Guo Zhijun, Dong Xuzhou. 2014. Zircon LA–ICP–MS U–Pb ages and geochemical features of intrusions in Erentaolegai area of Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 41(4): 1092–1107(in Chinese with English abstract).
- Wang Dezi, Zhou Xinmin. 2002. Genesis and Crustal Evolution of Late Mesozoic Granitic Volcanic–Intrusive Complex in Southeastern China[M]. Beijing: Science Press, 160–188(in Chinese).
- Wang Wei, Xu Wenliang, Wang Feng, Meng En. 2012. Zircon U–Pb chronology and assemblages of Mesozoic granitoids in the Manzhouli–Erguna area, NE China: constraints on the regional tectonic evolution[J]. *Geological Journal of China Universities*, 18 (1): 88–105(in Chinese with English abstract).
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis*[M]. London: Unwin Hyman Press.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Ge Wenchun, Zhang Yanbin, Grant Matthew L, Wilde Simon A, Jahn Borming. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(1): 1–30.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Li Huimin, Jahn Borming, Wilde Simon 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, Zhao Guochun, Sun Deyou, Wilde Simon A, Yang Jinhui. 2007. The Hulan Group: Its role in the evolution of the Central Asian Orogenic Belt of NE China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(3/4): 542–556.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Li Huimin, Janh Borming, Wilde Simon A. 2002. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis[J]. *Chemical Geology*, 187: 143–173.
- Wu Fuyuan, Yang Yueheng, Xie Liewen, Yang Jinhui, Xu Ping. 2006. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U–Pb geochronology[J]. *Chemical Geology*, 234(1/2): 105–126.
- 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, Ji Weiqiang, Pei Fuping, Meng En, Yu Yang, Yang Debin, Zhang Xingzhou. 2009. Triassic volcanism in eastern Heilongjiang and Jilin Provinces, NE China: Chronology, geochemistry, and tectonic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34: 392–402.
- Xu Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, Meng En, Tan Gang, Xu Meijun, Wang Wei. 2013b. U–Pb ages of the zircons from primary rocks in middle–northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2): 339–353 (in Chinese with English abstract).
- Yang Hao, Ge Wenchun, Yu Qian, Zheng Ji, Liu Xiwen, Zhang Yanlong, Tian Dexin. 2016. Zircon U–Pb–Hf isotopes, bulk rock geochemistry and petrogenesis of Middle to Late Triassic I-type granitoids in the Xing’an Block, northeastern China: implications for Early Mesozoic tectonic evolution of the Central Great Xing’an Range[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 119: 30–48.
- Yang Bing, Zhang Xionghua, Ge Mengchun, Zhao Shengmin, Wei Yi, Huang Xing, Luan Tengfei, Wei Xinxiang, Yang Zhiyong. 2014. Late Permian–Early Triassic palynological assemblages in Linxi Inner Mongolia and discovery of Triassic strata[J]. *Earth Sciences*, 39(7): 784–794(in Chinese with English abstract).
- Yang Yajun, Zhang Lidong, Zhang Lijun, Zhou Guomin, Pang Xuejiao. 2012. Division and correlation of the Triassic strata in Daxinganling Region[J]. *Geology and Resources*, 21(1): 67–73 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiheng, Ge Wenchun, Wu Fuyuan. 2008. Large–scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing’an Range, Northeastern China[J]. *Lithos*, 102(1/2): 138–157.
- Zhang Lianchang, Ying Jifeng, Chen Zhiguang, Wu Huaying, Wang Fei, Zhou Xinhua. 2012. Age and tectonic setting of Triassic basic volcanic rocks in southern Da Hinggan Range[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 911–920(in Chinese with English abstract).
- Zhang Wu, Fu Xiaoping, Ding Qihong, Li Nan, Li Yong, Zheng Shaolin. 2006. A new knowledge of the Lower Triassic Laolongtou Formation in the Defatun area, Jalaid Qi, Inner Mongolia[J]. *Journal of Stratigraphy*, 30(1): 26–32 (in Chinese with English abstract).
- 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).
- Zhao Shengjin, Yu Haiyang, Shen Liang, Zhang Meng, Zhou Yingshuai, Liu Zhihui, Zhang Yulong. 2018a. Determination and geological significance of Chaihe Formation of the Lower Jurassic in North Daxing’anling Range[J]. *Geological Bulletin of China*, 37(7): 1302–1314(in Chinese with English abstract).
- Zhao Shengjin, Gao Lidong, Yu Haiyang, Piao Lili, Liu Zhihui, Zhou Yingshuai, Zhang Meng, Zhang Yulong, Yang Haixing, Zhao Wanli. 2018b. Classification and Geological Significance of the Upper Jurassic Haritaolegai Formation Basalt in the Northern Da Hinggan Mountains[J]. *Geoscience*, 32(4): 718–726(in Chinese with English abstract).
- Zhao Shengjin, Yu Haiyang, Zhou Yingshuai, Liu Zhihui, Zhang Meng, Piao Lili, Wu Zhonghua, Zhang Yulong. 2018c. New progresses and achievements of 1: 50 000 regional geological survey of Wuyinhurile Temple sheet and the other three sheets in Inner Mongolia[J]. *Geological Survey of China*, 5(3): 49–55(in Chinese with English abstract).
- Zhao Shengjin, Yu Haiyang, Shen Liang, Zhou Yingshuai, Liu Zhihui, Zhang Meng, Yang Haixing, Gao Lidong, Sui Haitao. 2020. The discovery of XinBarag Right Banner ductile shear zone in the north Da Hinggan Mountains and its geological implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 39(4): 450–458(in Chinese with English abstract).
- Zheng Jilin, Wang Wendong, Yang Huaben, Liang Zhongkai, Wei Xiaoyong, Yan Yongsheng, Huai Baofeng, He Xiaoming. 2016. The establishment of the Lower Jurassic Zhanbeicun Formation in northern Da Hinggan Mountains and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 7: 1106–1114(in Chinese with English abstract).
- Zheng Yuejuan, Su Fei, Chen Shuwang, Zhang Jian, Huang Xin, Gong Fanhao. 2013. New discovery of fossils in the Lower Triassic Xingfuzhulu Formation, Bairin Right Banner, Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(9): 1423–1435(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈树旺, 郑月娟, 张健, 张海华, 张德军, 苏飞, 黄欣, 公繁浩, 甄甄. 2020. 大兴安岭南部二叠系—三叠系界线及沉积环境演化[J]. *中国地质*, 47(3): 821–838.
- 丁秋红, 张立君, 许坤. 2005. 松辽盆地西南部下三叠统及其孢粉组合[J]. *微体古生物学报*, 22(1): 107–114.
- 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.
- 李锦轶, 张进, 杨天南. 2009. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 39(4): 584-605.
- 李世超, 张凌宇, 李鹏川, 施璐, 郑常青. 2017. 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, 42(12): 2117-2128.
- 李文国, 姜万德, 王惠. 1996. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 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, 阎庚德, 陈明植, 李文远, 权致纯, 尹成孝. 1998. 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.
- 刘勃然, 李伟, 张守志, 彭志明, 冯志强. 2016. 大兴安岭北段伸展构造[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 46(5): 1140-1148.
- 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.
- 刘永江, 张兴洲, 金巍, 迟效国, 王成文, 马志红, 韩国卿, 温泉波, 赵英利, 王文弟, 赵喜峰. 2010. 东北地区晚古生代区域构造演化[J]. 中国地质, 37(4): 943-951.
- 龙登红, 王思成, 郝贺超, 慕旭峰, 王亮亮, 梁明宏, 高晓峰. 2020. 新疆博格达中段木垒地区七角井组火山岩岩石地球化学特征及构造意义[J]. 西北地质, 53(1): 13-23.
- 马永非, 刘永江, 温泉波, 张志斌, 李伟, 司秋亮, 唐振. 2017. 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, 42(12): 2146-2173.
- 乔壮冬, 孙加鹏, 李宇箭, 刘玉, 张文强, 王久懿. 2018. 大兴安岭新林区中生代流纹岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质与资源, 27(4): 324-336.
- 邵济安, 刘福田, 陈辉. 2000. 西北太平洋地震层析剖面及地球动力学启示[J]. 自然科学进展, 10(8): 757-760.
- 邵济安, 刘福田, 陈辉, 韩庆军. 2001. 大兴安岭—燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用关系[J]. 地质学报, 75(1): 56-63.
- 邵济安, 路凤香, 李伍平. 2007. 辽西中生代陆内底侵作用背景下形成的安山岩[J]. 岩石学报, 23(4): 701-707.
- 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 1998. 大兴安岭中南段中生代的构造热演化[J]. 中国科学: D辑, 28(3): 193-200.
- 余宏全, 李进文, 向安平, 关继东, 杨郎城, 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.
- 司秋亮, 唐振, 马永非, 张志斌, 孙巍, 臧延庆. 2017. 大兴安岭中段蘑菇气地区哈达陶勒盖组火山岩U-Pb定年及成因[J]. 地质论评, 63(supp.): 261-262.
- 司秋亮, 王恩德, 唐振, 马永非. 2018. 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), 39(12): 1779-1782.
- 宋彪. 2015. 用SHRIMP测定锆石U-Th-Pb同位素工作方法[J]. 地质通报, 34(10): 1-12.
- 唐杰, 许文良, 王枫, 高福红, 曹花花. 2011. 张广才岭帽儿山组双峰式火山岩成因: 年代学与地球化学证据[J]. 世界地质, 30(4): 508-513.
- 田京, 李进文, 王润和, 刘文, 向安平, 康永建, 郭志军, 董旭舟. 2014. 内蒙古额仁陶勒盖地区侵入岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及地球化学特征[J]. 中国地质, 41(4): 1092-1107.
- 王德滋, 周新民. 2002. 中国东南部晚中生代花岗岩质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[J]. 北京: 科学出版社, 160-188.
- 王涛, 郭磊, 李舫, 张建军, 杨奇荻, 童英, Tatiana Donskaya. 2016. 东北亚中生代古亚洲洋、蒙古、鄂霍茨克洋和古太平洋构造体制鉴别的花岗岩证据[C]//2016年中国地球科学联合学术年会.
- 王伟, 许文良, 王枫, 孟恩. 2012. 满洲里—额尔古纳地区中生代花岗岩的锆石U-Pb年代学与岩石组合: 对区域构造演化的制约[J]. 高校地质学报, 18(1): 88-105.
- 许文良, 葛文春, 裴福萍, 孟恩, 于洋, 杨德彬. 2008. 东北地区中生代火山作用的年代学格架及其构造意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 27(z1): 286-287.
- 许文良, 王枫, 裴福萍, 孟恩, 唐杰, 徐美君, 王伟. 2013. 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.
- 杨兵, 张雄华, 葛梦春, 赵省民, 韦一, 黄兴, 栾腾飞, 魏信祥, 杨志勇. 2014. 内蒙古林西地区晚二叠世—早三叠世孢粉组合及三叠系的发现[J]. 地球科学, 39(7): 784-794.
- 杨雅军, 张立东, 张立君, 周国民, 庞雪娇. 2012. 大兴安岭地区三叠系划分与对比[J]. 地质与资源, 21(1): 67-73.
- 张连昌, 英基丰, 陈志广, 吴华英, 王菲, 周新华. 2012. 大兴安岭南段三叠纪基性火山岩时代与构造环境[J]. 岩石学报, 24(4): 911-920.
- 张武, 傅晓平, 丁秋红, 李楠, 李勇, 郑少林. 2006. 内蒙古扎拉特旗德发屯地区下三叠统龙头组的新发现[J]. 地层学杂志, 30(1): 26-32.
- 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其形成构造背景[J]. 中国地质, 46(6): 1410-1433.
- 赵胜金, 于海洋, 申亮, 张猛, 周颖帅, 柳志辉, 张玉龙. 2018a. 大兴安岭北段下侏罗统柴河组的厘定及地质意义[J]. 地质通报, 37(7): 1302-1314.
- 赵胜金, 高利东, 于海洋, 朴丽丽, 柳志辉, 周颖帅, 张猛, 张玉龙, 杨海星, 赵万莉. 2018b. 大兴安岭北段上侏罗统哈日陶勒盖玄武岩的厘定及其地质意义[J]. 现代地质, 32(4): 718-726.
- 赵胜金, 于海洋, 周颖帅, 柳志辉, 张猛, 朴丽丽, 武中华, 张玉龙. 2018c. 内蒙古1: 5万乌音呼日勒庙等四幅区域地质矿产调查新进展[J]. 中国地质调查, 5(3): 49-55.
- 赵胜金, 于海洋, 申亮, 周颖帅, 柳志辉, 张猛, 杨海星, 高利东, 隋海涛. 2020. 大兴安岭北段新巴尔虎右旗韧性剪切带的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 39(4): 450-458.
- 郑月娟, 苏飞, 陈树旺, 张健, 黄欣, 公繁浩. 2013. 内蒙古巴林右旗下三叠统幸福之路组化石新发现[J]. 地质通报, 32(9): 1423-1435.
- 周建平, 刘永江, 温泉波, 李伟民, 张丽, 马国祥. 2015. 内蒙古东北部巨日河地区早—中三叠世碎屑锆石年龄及其地质意义[J]. 世界地质, 34(4): 914-926.
- 郑吉林, 王文东, 杨华本, 梁中恺, 魏小勇, 闫永生, 怀宝峰, 贺小明. 2016. 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, 35(7): 1106-1114.