

doi: 10.12029/gc20210216

于跃江, 赵忠海, 杨欣欣, 李文龙. 2021. 大兴安岭北段漠河前陆盆地早侏罗世火山岩时代的厘定[J]. 中国地质, 48(2): 580–592.

Yu Yuejiang, Zhao Zhonghai, Yang Xinxin, Li Wenlong. 2021. Dating of Early Jurassic volcanic rocks in the Mohe foreland basin of northern Greater Khingan Mountains, northeast China [J]. *Geology in China*, 48(2):580–592(in Chinese with English abstract).

大兴安岭北段漠河前陆盆地早侏罗世 火山岩时代的厘定

于跃江¹, 赵忠海², 杨欣欣³, 李文龙¹

(1. 黑龙江省自然资源调查院, 黑龙江哈尔滨 150036; 2. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁阜新 123000;

3. 黑龙江省煤田地质测试研究中心, 黑龙江哈尔滨 150036)

摘要:黑龙江省大兴安岭地区大面积分布的中基性火山岩的时代厘定对研究大兴安岭中生代火山岩带的构造演化及地层划分具有重要意义。本次基于开展的黑龙省盘古林场幅、布鲁克里河幅 1:5 万区域地质矿产调查项目, 对该区原划为中—晚侏罗世塔木兰沟组的中基性火山岩进行了系统的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、岩石学、岩石地球化学等方面研究。其中 2 件粗安岩年龄分别为 (185.8±8.1)Ma、(196.8±2.1)Ma, 玄武安山岩年龄为 (196.3±2.7)Ma, 时代为早侏罗世, 表明在塔木兰沟组中存在一套早侏罗世中基性火山岩。通过岩石地球化学研究表明, 该套中基性火山岩总体属于准铝质, 以高钾钙碱性-钙碱性系列为主, 显示富集 Ba、K、La、Ce、Sr、Zr 等大离子亲石元素和轻稀土元素, 亏损 Th、Nb、P、Zr、Ti 等高场强元素和重稀土元素特征。认为该套早侏罗世中基性火山岩的形成与蒙古—鄂霍茨克洋板块向额尔古纳地块下的俯冲作用关系密切, 构造环境为活动陆缘环境。

关键词:塔木兰沟组; 中基性火山岩; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; 地质调查工程; 大兴安岭北段; 黑龙江省
中图分类号: P588.14; P597.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2021)02-0580-13

Dating of Early Jurassic volcanic rocks in the Mohe foreland basin of northern Greater Khingan Mountains, northeast China

YU Yuejiang¹, ZHAO Zhonghai², YANG Xinxin³, LI Wenlong¹

(1. Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, Heilongjiang, China; 2. College of Mining, Liaoning Technical University, Liaoning, Fuxin 123000, China; 3. Coal Geology of Heilongjiang Province Testing Research Center, Harbin 150036, Heilongjiang, China)

Abstract: Intermediate-basic volcanic rocks are largely distributed in Greater Khingan Mountains of Heilongjiang Province, and the determination of their ages is of great significance to understanding the regional tectonic evolution and petrogenesis of the Mesozoic volcanic belt in the Great Xing'an Range. Based on the 1:50000 regional geological and mineral resources survey in the study area, the LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology, petrology and petrogeochemistry of the intermediate-basic volcanic

收稿日期: 2019-08-19; 改回日期: 2019-11-17

基金项目: 辽宁省自然科学基金(2020-BS-258)和黑龙江省地质勘查专项资金(DZKC-GY-2018003)资助。

作者简介: 于跃江, 男, 1969 年生, 高级工程师, 主要从事地质矿产方面的研究工作; E-mail: 522369043@qq.com。

通讯作者: 赵忠海, 男, 1984 年生, 博士, 副教授, 主要从事区域地质调查及矿床学研究工作; E-mail: zhaozhonghai_99@163.com。

rocks previously attributed into the Middle-Late Jurassic Tamulangou Formation were systematically studied. Zircon U-Pb dating of the two trachyandesite samples and one basaltic andesite sample yields (185.8 ± 8.1) Ma, (196.8 ± 2.1) Ma and (196.3 ± 2.7) Ma respectively, which indicates that there exists a set of early Jurassic intermediate-basic volcanic rocks in the Tamulangou Formation. These Early Jurassic volcanic rocks belong to metaluminous, mainly high-K calc-alkaline series generally enriched in large ion lithophile elements (such as Ba, K, La, Ce, Sr, Zr) and LREE, but depleted in high field strength elements (such as Th, Nb, P, Zr, Ti) and HREE. Combined with the regional tectonic evolution, it is concluded that the early Jurassic intermediate-basic volcanic rocks were formed in an active continental margin setting related to the southward subduction of the Mongol-Okhotsk oceanic plate beneath the Erguna Massif during the Early Jurassic.

Key words: Tamulangou Formation; intermediate-basic volcanic rocks; zircon U-Pb dating; geochemistry; geological survey engineering; northern Greater Khingan Mountains; Heilongjiang Province; Heilongjiang Province

About the first author: YU Yuejiang, male, born in 1969, senior engineer, engaged in geological and mineral research; E-mail: 522369043@qq.com.

About the correspondent author: ZHAO Zhonghai, male, born in 1984, doctor, associate professor, engaged in regional geological survey and ore deposit research; E-mail: zhaozhonghai_163.com.

Fund support: Funded by the Natural Science Foundation of Liaoning Province (No.2020-BS-258) and Geological Exploration in Heilongjiang Province (No.DZKC-GY-2018003).

1 引言

额尔古纳地块漠河前陆盆地位于大兴安岭火山岩带的北段,该带除发育中生代侵入岩(吴兆剑等,2010)外,火山岩地层较发育,塔木兰沟组(黑龙江省地质矿产局,1997)为该带最早形成的火山岩,前人对塔木兰沟组进行大量的研究工作,但针对塔木兰沟组形成时间、成因以及构造环境仍有不同的认识,存在一定争议。首先在形成时代方面:(1)认为形成于早侏罗世(181~193 Ma)(Wang et al., 2015);(2)形成于中侏罗世末期(169~161 Ma)(孟恩等,2011;赵中华,2011);(3)形成于晚侏罗世(154 Ma)(杨乃峰等,2017);(4)形成于晚侏罗—早白垩世(147~129 Ma)(李仁民等,2015);(5)形成于早白垩世(124~122Ma)^{①②}。

其次在构造环境方面:(1)认为岩石形成与裂谷作用有关(张昱等,2005);(2)为大陆根-柱构造(邓晋福等,1996);(3)与东北亚古亚洲洋构造域向太平洋构造域转换的地球动力学过程有关(林强等,2003);(4)与蒙古—鄂霍次克洋演化有关(许文良等,2008);(5)为大陆板内拉张环境(李仁民等,2015);(6)为板块边缘岛弧造山带环境,由古亚洲洋(或)蒙古—鄂霍茨克洋板块俯冲形成(杨乃峰等,2017);(7)为蒙古—鄂霍茨克洋板块向南俯冲额尔古纳地块的活动大陆边缘环境(Wang et al., 2015)。

本文在前人研究成果的基础上,依据在大兴安岭火山岩北段开展的黑龙江省盘古林场幅、布鲁克里河幅1:5万区域地质矿产调查项目成果,通过对塔木兰沟组岩石学、岩相学、岩石地球化学及同位素年代学等方面的研究,初步确定其形成时代,并进一步探讨了其火山成因及构造环境,对大兴安岭中生代地层划分具有重要意义。

2 区域地质背景及岩相学特征

研究区位于天山—兴蒙造山系的额尔古纳地块漠河前陆盆地(图1a)。该地区基底为晚寒武世—早奥陶世花岗岩、基性杂岩,在燕山—印支期NE向伸展构造的作用下,形成一系列张性断裂构造和断陷盆地(Miao et al., 2007; Sun et al., 2013; Tang et al., 2013; 李仁民等,2015)。盆地内出露的岩石均为中生代火山沉积岩系,地层走向近东西向,火山岩呈北东向展布(图1b)。其中中生代火山岩地层广泛发育,由老至新依次划分为下侏罗统塔木兰沟组(J_1t)、中侏罗统秀峰组(J_2x)、下白垩统光华组(K_1gn)。秀峰组仅在测区东北角零星分布(图1c),出露面积约为5 km²,约占总面积的0.1%,岩性为中粗粒岩屑长石砂岩、细砂质粉砂岩、中粗粒—细粒长石砂岩夹粉砂岩;光华组分布在研究区西部,出露面积约为62 km²,约占总面积的10%,岩性为流纹岩、流纹质火山碎屑岩、英安岩及英安质火山碎屑

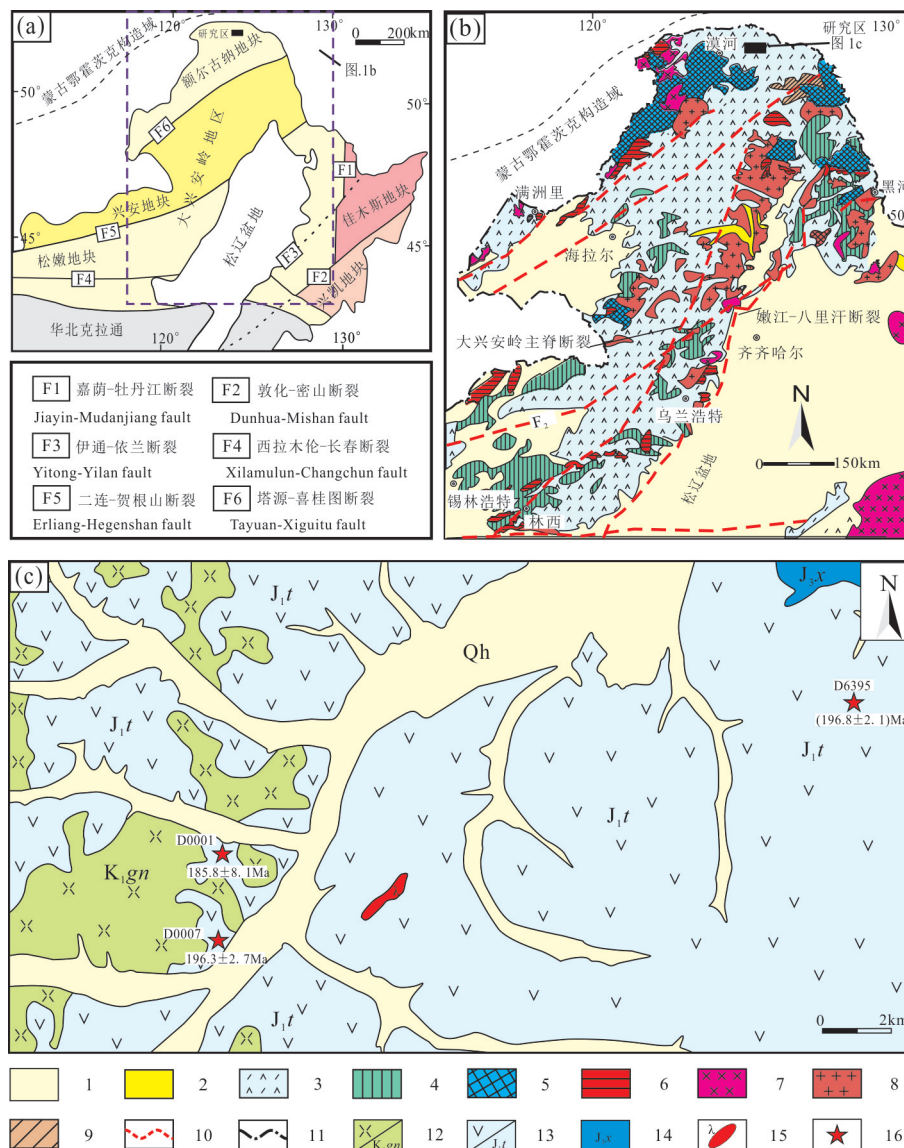


图1 中国东北大地构造略图(a)、大兴安岭地区构造分区图(b)和研究区地质简图(c)(a, b据刘晨等, 2017)

1—第四系沉积物; 2—新生代火山岩; 3—中生代火山岩; 4—古生代火山岩; 5—前寒武纪火山岩; 6—燕山期花岗岩; 7—印支期花岗岩; 8—海西期花岗岩; 9—加里东期花岗岩; 10—断裂或缝合带; 11—国界线; 12—下白垩统光华组; 13—下侏罗统塔木兰沟组; 14—上侏罗统秀峰组; 15—早白垩世火山岩; 16—采样位置及年龄

Fig. 1 Tectonic subdivisions of northeast China(a), tectonic map of Greater Khingan (b) and simplified geological map of the study area (c)(a, b modified from Liu Chen et al., 2017)

1—Quaternary sediments; 2—Cenozoic volcanic rocks; 3—Mesozoic volcanic rocks; 4—Paleozoic volcanic rocks; 5—Precambrian rocks; 6—Yanshanian granites; 7—Indosinian granites; 8—Hercynian granites; 9—Caledonian granites; 10—Fault or suture zone; 11—International border; 12—Lower Cretaceous Guanghua Formation; 13—Lower Jurassic Tamulangou Formation; 14—Upper Jurassic Xiufeng Formation; 15—Lower Cretaceous subvolcanic rocks; 16—Sampling location and age

岩;塔木兰沟组在研究区大面积分布,面积约为425 km²,约占总面积的68%。主要出露在测区的中部和东部,分布在盘古河东岸,布鲁克里河两岸;总体呈近北西向展布,局部为北东向,火山岩地层产状较缓,倾角15°~30°。被光华组喷发不整合覆盖,与秀峰组关系不清,以溢流相为主,由溢流-爆发划分

出多个喷发韵律。岩性为粗安岩、安山岩、玄武安山岩、玄武岩、玄武质角砾熔岩、安山质角砾熔岩、安山质晶屑凝灰岩、玄武安山质凝灰岩、玄武质晶屑凝灰熔岩、玄武质玻屑凝灰岩。

本文研究的火山岩位于额尔古纳地块漠河前陆盆地内。2个样品分别位于1:5万盘古林场幅盘

古林场西部和北部,样品相距直线距离5.5 km。其中盘古林场西部样品号为D0007,岩性为玄武安山岩,取样位置:52°41'52"N,123°51'01"E。盘古林场北部样品号为D0001,岩性为粗安岩,取样位置:52°414'33"N,123°52'28"E。1个样品位于1:5万布鲁克里河幅北东部,样品号为D6395,岩性为粗安岩,取样位置:52°46'34"N,124°12'23"E。具体测年样品取样位置见(图1c)。

玄武岩:斑状结构,基质为间粒结构,岩石由斑晶和基质两部分组成(图2a、b)。斑晶占岩石的35%,由斜长石、辉石矿物组成,粒度0.4~4 mm,其中斜长石呈半自形柱状,板柱状,聚片双晶发育,成分为基性斜长石,含量20%以下;辉石呈无色,短柱状、粒状,正高突起,含量占15%。基质为斜长石微晶呈支架状分布,其间充填少量的辉石、磁铁矿,粒径<0.3 mm。斜长石微晶,细柱状,聚片双晶、环带结构发育,为中一拉长石,粒径<0.3 mm;辉石无色,短柱状、粒状,正高突起,粒径<0.3 mm;磁铁矿不规则粒状,不透明,充填在粒间,粒径<0.05 mm。

玄武安山岩:斑状结构,基质交织结构,岩石由斑

晶和基质两部分组成(图2c)。斑晶占岩石的25%,由斜长石、少量的辉石矿物组成,粒度0.5~1.5 mm。斜长石含量占20%,半自形板状,柱状,单偏光无色,正交偏光一级灰白,聚片双晶、弱环带结构、卡钠复合双晶发育,成分为基性斜长石;辉石含量占5%,无色,粒状、柱状,正高突起。基质斜长石微晶流状、半交错状排列,其间充填大量辉石、磁铁矿,粒径<0.3 mm。斜长石微晶,细柱状,聚片双晶发育,为中、更长石,粒径<0.3 mm;辉石,无色,粒状、柱状,正高突起,粒径<0.3 mm。磁铁矿,不规则粒状,不透明,充填在斜长石粒间,粒径<0.1 mm。

粗安岩:斑状结构,基质交织结构,岩石由斑晶和基质两部分组成(图2d)。斑晶由斜长石、角闪石矿物组成,占岩石的30%,粒度0.3~3 mm。斜长石含量占20%,半自形板状,柱状,单偏光无色,正交偏光一级灰白,聚片双晶、环带结构发育,成分为中长石。角闪石,柱状,楔状,含量占10%。基质为细柱状斜长石、钠长石微晶流状、半交错状排列,其间充填少量磁铁矿,粒径<0.2 mm。斜长石微晶,粒径<0.2 mm,细柱状,聚片双晶发育,为更长石;钠长

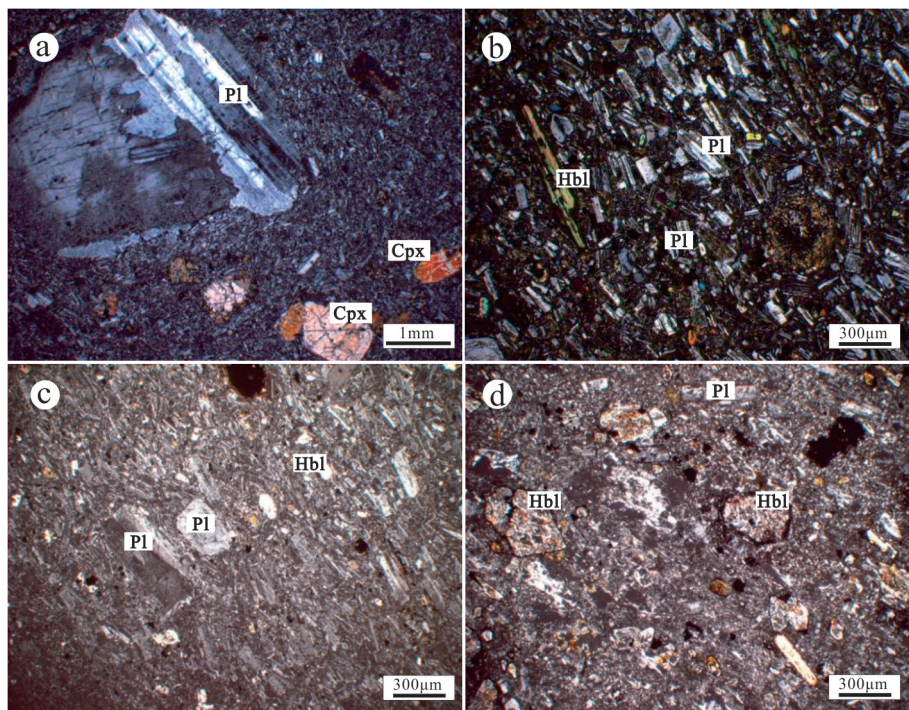


图2 研究区塔木兰沟组火山岩镜下显微照片

a、b—玄武岩;c—玄武安山岩;d—粗安岩;Pl—斜长石;Hbl—角闪石;Cpx—单斜辉石

Fig. 2 Microphotographs of the volcanic rocks from the Tamulangou Formation in the study area
a, b—basalt; c—Basaltic andesite; d—Trachyandesite; Pl—Plagioclase; Hbl—Hornblende; Cpx—Clinopyroxene

石微晶粒径 < 0.1 mm, 针柱状, 负低突起, 平行消光, 磁铁矿粒径 < 0.1 mm, 一般小于 0.05, 不规则粒状, 不透明, 充填在粒间。

3 锆石 LA-ICP-MS 测试

3.1 分析方法

锆石分选工作在廊坊市诚信地质服务有限公司实验室完成, 首先用清水将野外采集的新鲜样品表面清洗干净后晾干并粉碎至 80 目, 然后经过用水粗淘、强磁分选、电磁分选和酒精细淘之后, 在实体显微镜下手工挑选出裂隙少、表面洁净、透明度较好的锆石制作环氧树脂样品靶。锆石的投射光、反射照相, 阴极发光 (CL) 成像以及锆石 U-Pb 定年和微量元素分析在武汉上谱分析科技有限公司实验室完成, 锆石定年分析采用仪器为安捷伦电感耦合等离子体质谱仪 (Agilent 7700), 激光剥蚀系统采用 GeolasPro (激光波长 193 nm, 激光束斑 32 μm), 激光能量 80 mJ, 频率 5 Hz。实验过程中采用标准锆石 91500 (GJ-1) 作外标进行校正, 元素含量以国际标样

NIST610 为外标, Si 为内标元素进行计算, NIST612 和 NIST614 为监控盲样。测试结果采用软件 ICPMSDataCal 处理完成 (Liu et al., 2008, 2010), 谐和年龄及图像使用 Isoplot (ver3.0) 完成。

全岩主量元素和微量元素分析在黑龙江省地质矿产测试研究中心完成, 主量元素分析采用 X 射线荧光光谱仪 (XRF) 测定, 分析精密优于 5%, 微量元素采用等离子质谱仪 (ICP-MS) 测定, 分析精密优于 5%。

3.2 锆石 U-Pb 定年结果

本文对 2 件粗安岩和 1 件玄武安山岩样品进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试, 分析结果见表 1、2、3。

粗安岩 (D0001), 锆石外形特征多呈自形—半自形、短柱状、少数呈长柱状。粒径一般在 50~100 μm , 长宽比值多为 2:1, 多数具有清晰、致密的韵律环带结构。其锆石 U-Pb 同位素 LA-ICPMS 测年共打点 20 个 (图 3a, 表 1), Th/U 比值基本介于 0.82~4.32。在谐和图上 (图 3b) 分布于谐和线上及其附近, 谐和度较好。加权平均年龄为 (185.8 \pm 8.1) Ma,

表 1 粗安岩锆石 U-Pb 同位素 LA-ICP-MS 测试结果 (D0001)
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating results of zircons from the trachyandesite in the study area (D0001)

测点编号	元素含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值						表面年龄/Ma							
	Th	U		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ
TW0001-01	450	1172	0.38	0.0568	0.0012	0.6202	0.013	0.0792	0.0016	0.0231	0.0005	484	21	490	8	491	9
TW0001-02	540	1748	0.31	0.0568	0.0012	0.6175	0.0125	0.0789	0.0015	0.0245	0.0005	483	20	488	8	489	9
TW0001-03	1078	2314	0.47	0.0573	0.0012	0.6655	0.0134	0.0843	0.0017	0.0255	0.0005	503	20	518	8	521	10
TW0001-04	254	2559	0.10	0.0507	0.0011	0.2121	0.0045	0.0303	0.0006	0.0092	0.0002	228	22	195	4	193	4
TW0001-05	1628	1338	1.22	0.0498	0.0012	0.1394	0.0033	0.0203	0.0004	0.0064	0.0001	183	25	133	3	130	3
TW0001-06	397	696	0.57	0.0586	0.0013	0.6183	0.0139	0.0765	0.0015	0.0233	0.0005	553	22	489	9	475	9
TW0001-07	472	1942	0.24	0.0569	0.0012	0.6109	0.0127	0.0779	0.0015	0.0241	0.0005	488	21	484	8	483	9
TW0001-08	276	1193	0.23	0.0579	0.0012	0.6307	0.0132	0.079	0.0016	0.0244	0.0005	526	21	497	8	490	9
TW0001-09	245	524	0.47	0.0577	0.0013	0.6435	0.014	0.0808	0.0016	0.0247	0.0005	520	21	504	9	501	9
TW0001-10	136	181	0.75	0.0562	0.0024	0.2337	0.0096	0.0302	0.0006	0.0104	0.0003	82	162	182	12	190	4
TW0001-11	130	314	0.41	0.0569	0.0014	0.618	0.0148	0.0788	0.0016	0.0245	0.0005	487	24	489	9	489	9
TW0001-12	81	106	0.76	0.0676	0.0026	0.2807	0.0106	0.0301	0.0006	0.0107	0.0003	344	197	200	15	188	4
TW0001-13	363	1220	0.30	0.057	0.0012	0.617	0.0131	0.0785	0.0015	0.025	0.0005	492	21	488	8	487	9
TW0001-14	242	533	0.45	0.0583	0.0014	0.6164	0.014	0.0767	0.0015	0.0239	0.0005	541	22	488	9	476	9
TW0001-15	506	1746	0.29	0.0577	0.0012	0.615	0.0129	0.0773	0.0015	0.0242	0.0005	518	21	487	8	480	9
TW0001-16	163	175	0.93	0.0833	0.0026	0.3352	0.01	0.0292	0.0006	0.0115	0.0003	222	213	181	15	178	4
TW0001-17	203	434	0.47	0.0605	0.0015	0.6491	0.0153	0.0779	0.0015	0.025	0.0005	621	23	508	9	483	9
TW0001-18	454	1693	0.27	0.0584	0.0013	0.6306	0.0132	0.0783	0.0015	0.0244	0.0005	546	20	496	8	486	9
TW0001-19	196	368	0.53	0.0549	0.0017	0.2149	0.0063	0.0284	0.0006	0.0092	0.0002	409	33	198	5	180	4
TW0001-20	172	362	0.48	0.0609	0.0015	0.6481	0.016	0.0772	0.0015	0.025	0.0006	635	24	507	10	480	9

表2 玄武安山岩锆石U-Pb同位素LA-ICP-MS测试结果(D0007)

样品号	含量/ 10^{-6}		同位素比值									年龄/Ma					
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
D0007																	
TW0007-01	136	303	0.45	0.0506	0.0039	0.2113	0.0157	0.0303	0.0007	0.0095	0.0002	223	178	195	13	192	4
TW0007-02	401	687	0.58	0.05	0.0032	0.2128	0.0129	0.0309	0.0007	0.0097	0.0002	195	147	196	11	196	4
TW0007-03	471	2928	0.16	0.0554	0.0012	0.2466	0.0055	0.0323	0.0007	0.012	0.0003	428	22	224	4	205	4
TW0007-04	289	1087	0.27	0.057	0.0033	0.2772	0.0147	0.0353	0.0008	0.011	0.0003	492	129	248	12	223	5
TW0007-05	157	371	0.42	0.0571	0.0043	0.2302	0.0166	0.0292	0.0007	0.0091	0.0002	497	172	210	14	186	4
TW0007-06	1406	3118	0.45	0.0548	0.0012	0.2389	0.0052	0.0316	0.0006	0.0103	0.0002	406	22	218	4	200	4
TW0007-07	525	519	1.01	0.0563	0.0044	0.2492	0.0187	0.0321	0.0007	0.01	0.0002	466	179	226	15	204	5
TW0007-08	395	808	0.49	0.0512	0.0013	0.2199	0.0053	0.0311	0.0006	0.0101	0.0002	252	25	202	4	198	4
TW0007-09	619	1240	0.50	0.0529	0.0012	0.2301	0.0053	0.0315	0.0006	0.0106	0.0002	326	23	210	4	200	4
TW0007-10	160	1497	0.11	0.0569	0.0019	0.4514	0.0117	0.0575	0.0011	0.0179	0.0004	488	74	378	8	361	7
TW0007-11	244	371	0.66	0.0528	0.0042	0.2199	0.0167	0.0302	0.0007	0.0095	0.0002	321	182	202	14	192	4
TW0007-12	712	1520	0.47	0.0566	0.0013	0.2327	0.0054	0.0298	0.0006	0.0093	0.0002	475	23	212	4	189	4
TW0007-13	195	2655	0.07	0.0509	0.0011	0.241	0.0052	0.0343	0.0007	0.0119	0.0003	237	22	219	4	218	4
TW0007-14	179	238	0.75	0.0512	0.004	0.2179	0.0164	0.0309	0.0007	0.0097	0.0002	250	180	200	14	196	4
TW0007-15	567	1279	0.44	0.0511	0.0012	0.2221	0.0053	0.0315	0.0006	0.0104	0.0002	244	24	204	4	200	4
TW0007-16	88	286	0.31	0.0513	0.0017	0.2197	0.0073	0.0311	0.0006	0.0101	0.0003	253	41	202	6	197	4
TW0007-17	206	324	0.64	0.0503	0.0016	0.2163	0.0067	0.0312	0.0006	0.0102	0.0002	208	37	199	6	198	4
TW0007-18	218	566	0.39	0.0522	0.0015	0.2237	0.0061	0.0311	0.0006	0.0106	0.0002	293	30	205	5	197	4
TW0007-19	203	414	0.49	0.0758	0.0036	0.3228	0.0138	0.0309	0.0007	0.0093	0.0002	1090	98	284	11	196	4
TW0007-20	291	511	0.57	0.0517	0.0015	0.2169	0.0061	0.0304	0.0006	0.0094	0.0002	274	31	199	5	193	4

代表了其成岩年龄。

粗安岩(D6395), 锆石外形特征为自形一半自形状、多呈短柱状、少数为长柱状, 粒径介于50~100 μm , 锆石长宽比值多为2:1, 多数具有韵律环带结构。其锆石U-Pb同位素LA-ICPMS测年共打点20个(图3c, 表3)Th/U比值在0.48~4.15, 具有岩浆成因锆石的特点。在谐和图上(图3d)分布于谐和线上及其附近, 谐和度较好。加权平均年龄为(196.8 \pm 2.1) Ma, 代表其成岩年龄。

玄武安山岩(D0007), 锆石外形特征为自形一半自形状、多呈短柱状, 粒径介于30~100 μm , 阴极发光图像显示锆石发育长条状环带, 是岩浆快速结晶的结果, 锆石长宽比值多为1:1, 多数具有清晰、致密的韵律环带结构。其锆石U-Pb同位素LA-ICP-MS测年共打点20个(图4a, 表2)Th/U比值在1.33~6.21, 具有岩浆成因锆石的特点。测试结果显示有15个测试点集中分布在谐和曲线上(图4b), 谐和度较好。加权平均年龄为(196.3 \pm 2.7)Ma, 代表岩石成岩年龄。

3个同位素年龄值为(185.8 \pm 8.1)Ma、(196.3 \pm 2.7)Ma、(196.8 \pm 2.1)Ma, 在谐和图上表现较好的谐和性, 为岩浆成岩年龄, 时代为早侏罗世。

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素

本次研究工作, 共取11件样品开展了主量元素和微量元素分析, 分析测试结果见表4和表5。

在主量元素特征上(表4), 塔木兰沟组中基性火山岩SiO₂含量50.84%~58.7%、Al₂O₃含量14.11%~17.3%、Fe₂O₃含量4.09%~6.26%、FeO含量0.82%~3.34%、K₂O含量1.14%~3%、CaO含量3.88%~6.85%、MgO含量2.23%~5.08%、TiO₂含量0.71%~1.33%; 分异指数DI值在40~60, 个别值超过60, 表明岩分离结晶分作用较弱; 固结指数SI=6.72~28.19, 表明本期岩石固结程度较高、时间长; FL=39.91~84.92, MF=58.53~82.39, 说明岩石中Fe、Mg含量中等偏高, 其中Mg略大于Fe; 里特曼指数(σ)为1.66~3.39。在火山岩TAS分类图解中(图5a), 样品

表3 粗安岩锆石U-Pb同位素LA-ICP-MS测试结果(D6395)

样品号		含量/ 10^{-6}		同位素比值								年龄/Ma					
D6395	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
				1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ				
TW6395-01	470	1066	0.44	0.0508	0.0011	0.2189	0.005	0.0313	0.0006	0.0102	0.0002	230	23	201	4	198	4
TW6395-02	542	1061	0.51	0.049	0.0012	0.2114	0.005	0.0313	0.0006	0.0097	0.0002	150	25	195	4	198	4
TW6395-03	385	573	0.67	0.0565	0.0016	0.24	0.0066	0.0308	0.0006	0.0092	0.0002	470	28	218	5	196	4
TW6395-04	241	140	1.72	0.058	0.0024	0.1682	0.0069	0.0211	0.0005	0.007	0.0002	528	199	126	11	132	3
TW6395-05	218	321	0.68	0.0558	0.0017	0.2397	0.0073	0.0311	0.0007	0.01	0.0002	446	34	218	6	198	4
TW6395-06	99	220	0.45	0.0537	0.0017	0.2305	0.0073	0.0311	0.0007	0.0103	0.0003	221	135	199	10	197	4
TW6395-07	532	1158	0.46	0.051	0.0012	0.2219	0.0051	0.0316	0.0006	0.01	0.0002	242	24	204	4	200	4
TW6395-08	170	100	1.70	0.0524	0.0029	0.1491	0.0082	0.0206	0.0005	0.0066	0.0002	302	84	141	7	132	3
TW6395-09	972	2148	0.45	0.051	0.0012	0.2174	0.005	0.0309	0.0006	0.0099	0.0002	242	23	200	4	196	4
TW6395-10	786	548	1.43	0.0527	0.0014	0.2288	0.006	0.0315	0.0006	0.0104	0.0002	318	17	183	12	198	4
TW6395-11	310	791	0.39	0.0509	0.0014	0.2192	0.0058	0.0312	0.0006	0.0101	0.0002	236	29	201	5	198	4
TW6395-12	141	167	0.84	0.054	0.0018	0.3105	0.0102	0.0417	0.0009	0.013	0.0003	369	39	275	8	264	5
TW6395-13	708	340	2.08	0.0653	0.0022	0.183	0.006	0.0203	0.0004	0.0067	0.0001	216	271	132	15	127	3
TW6395-14	164	400	0.41	0.0651	0.0017	0.3833	0.0097	0.0427	0.0009	0.0166	0.0004	307	128	270	12	265	5
TW6395-15	654	1363	0.48	0.0507	0.0012	0.2209	0.005	0.0316	0.0006	0.01	0.0002	229	23	203	4	200	4
TW6395-16	181	360	0.50	0.067	0.0015	1.2004	0.0262	0.13	0.0026	0.0411	0.0008	837	20	801	12	788	15
TW6395-17	104	200	0.52	0.0684	0.0023	0.2833	0.0095	0.03	0.0006	0.0118	0.0003	267	166	193	12	187	4
TW6395-18	203	845	0.24	0.0519	0.0013	0.2216	0.0056	0.031	0.0006	0.0103	0.0002	206	98	197	6	196	4
TW6395-19	196	381	0.51	0.0513	0.0016	0.2135	0.0064	0.0302	0.0006	0.0095	0.0002	252	34	197	5	192	4
TW6395-20	159	330	0.48	0.0567	0.0017	0.248	0.0074	0.0317	0.0007	0.0102	0.0002	479	32	225	6	201	4

主要落在玄武安山岩及粗安岩区域,个别投在玄武质粗面岩区域;在 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 岩浆系列判别图上(图5b),样品主要落在高钾钙碱性区域,个别落在钾玄岩和钙碱性区域;在 $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ 判别图上(图5c),样品主要落在钾质区域,个别落在铝质区域;在A/CNK-A/NK图解中(图5d)落在准铝质区。该套岩石为玄武安山岩和粗安岩为主的中基性火山岩,属准铝质高钾钙碱性岩系。

4.2 微量元素

在微量元素特征上(表5),塔木兰沟组中基性火山岩稀土总量 $\Sigma\text{REE}=133.71\times 10^{-6}\sim 218.95\times 10^{-6}$,轻稀土总量 $\text{LREE}=106.82\times 10^{-6}\sim 185.52\times 10^{-6}$,重稀土总量 $\text{HREE}=25.65\times 10^{-6}\sim 33.43\times 10^{-6}$,轻重稀土总量比值LR/HR为3.97~5.63,轻稀土元素富集程度明显增高,重稀土较为贫化, $\delta\text{Eu}=0.73\sim 0.99$ 。从稀土元素球粒陨石标准化配分图(图6a)可以看出,样品的变化趋势基本一致,表现为轻稀土元素富集的右倾特征,曲线中铀无异常,说明不管是岩浆的矿物结晶分异作用,还是岩浆部分熔融形成过程中,岩浆

均未曾与斜长石处于相平衡过程中。

塔木兰沟组中基性火山岩在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图6b)中整体表现为右倾,富集大离子亲石元素Ba、K、La、Ce、Sr、Hf和LREE,亏损高场强元素Th、Nb、P、Zr、Ti和HREE。

5 讨论

5.1 火山-沉积地层的年代

关于大兴安岭火山岩带塔木兰沟组形成时代,前人做了大量工作,通过同位素测年对其形成时代提出不同认识:(1)在塔木兰沟组玄武安山岩及粗安岩获得锆石U-Pb年龄181~193 Ma,时代厘定为早侏罗世(Wang et al., 2015);(2)在塔木兰沟组辉石安山岩中获取锆石U-Pb年龄169~161 Ma,时代厘定为中侏罗世末期(孟恩等,2011;赵中华等,2011);(3)在塔木兰沟组粗面安山岩获取锆石U-Pb年龄154 Ma,时代厘定为晚侏罗世(杨乃峰等,2017);(4)在塔木兰沟组玄武安山岩获取锆石U-Pb年龄147~129 Ma,时代厘定为晚侏罗-早白垩世(李仁民等,

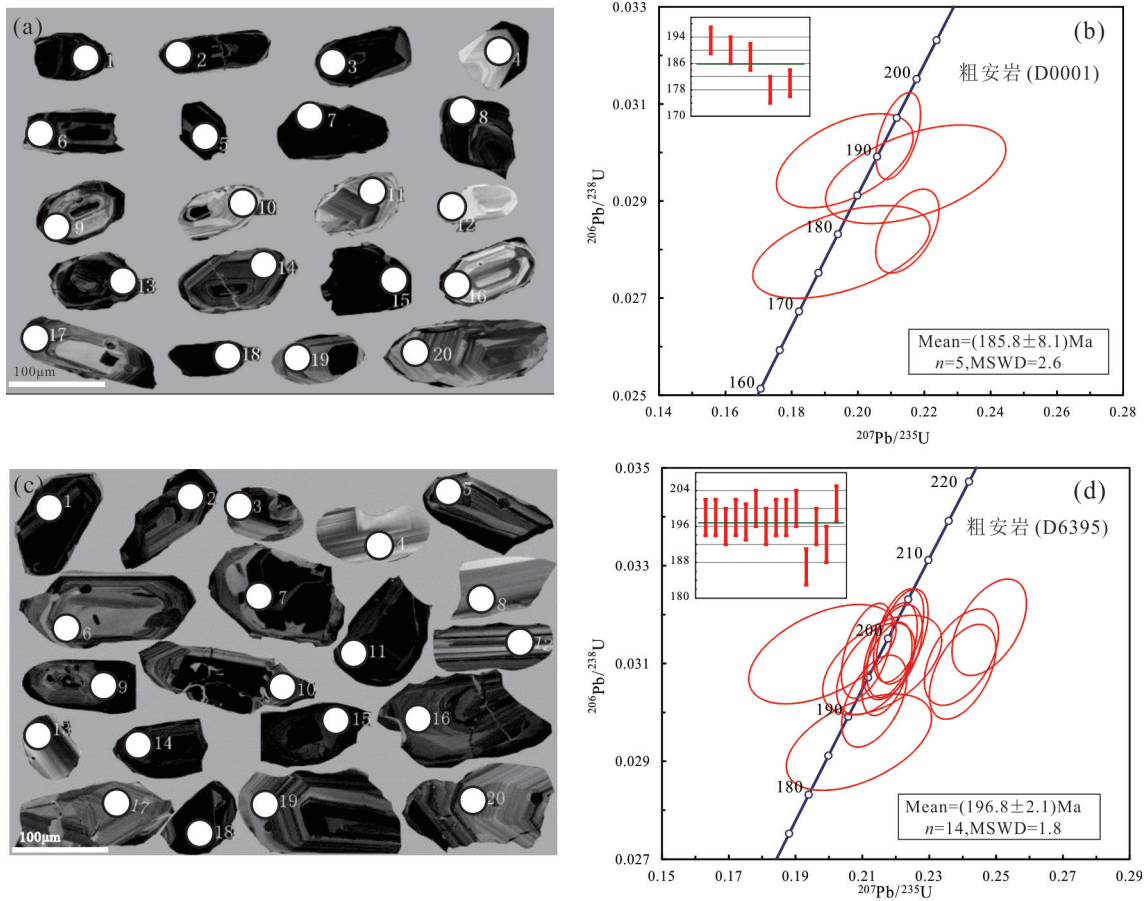


图3 粗安岩锆石阴极发光图像(a、c)及锆石U-Pb同位素年龄谱和图(b、d)

Fig. 3 CL images (a, c) and Zircon U-Pb concordia diagram (b, d) of the trachyandesite in the study area

2015);(5)在塔木兰沟组玄武安山岩及玄武岩获取锆石U-Pb年龄124~122 Ma,时代厘定为早白垩世^[10]。

本文通过黑龙江省盘古林场幅、布鲁克里河幅

1:5万区域地质矿产调查项目,在大兴安岭漠河前陆盆地原塔木兰沟组玄武安山岩及粗安岩获取U-Pb 锆石 LA-ICP-MS 年龄为(185.8±8.1) Ma、(196.3±2.7)Ma、(196.8±2.1)Ma,将其时代厘定为早

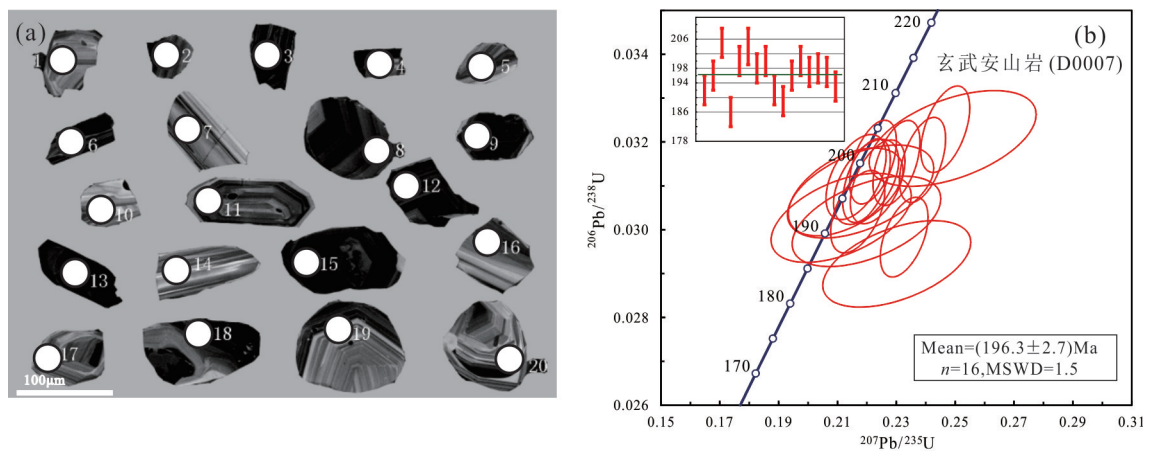


图4 玄武安山岩(D0007)锆石阴极发光图像(a)及锆石U-Pb同位素年龄谱和图(b)

Fig. 4 CL images (a) and Zircon U-Pb concordia diagram of the basalt andesite (D0007) in the study area

表4 塔木兰头组火山岩主量元素分析结果表(%)

Table 4 Major element compositions of the Tamulangou Formation volcanic rocks(%)

岩石名称	样品编号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	LOS	Σ
玄武岩	GS1163	51.9	0.84	14.11	6.17	1.42	0.13	4.69	6.85	3	1.98	0.2	3.06	8.32	99.56
粗面玄武岩	GS0007	50.84	1.31	16.33	4.41	3.1	0.1	4.79	5.09	3.45	2.85	0.44	2.64	6.76	100.03
玄武安山岩	GS0026	54.76	1	16.66	6.26	1.23	0.12	4.24	5.4	3.59	2.2	0.28	2	3.98	99.72
玄武安山岩	GSP4TC112	55.04	0.9	16.34	5.13	2.04	0.12	5.08	6.81	3.88	1.89	0.27	1.2	1.76	99.26
玄武安山岩	GSP2TC3	54.7	0.97	16.71	5.89	0.82	0.07	3.65	5.27	2.87	1.54	0.28	2.88	7.18	99.95
玄武安山岩	GSP6LT115	53.78	1.33	17.3	5.78	3.06	0.12	4.75	6.79	3.37	1.14	0.47	1.04	1.34	99.23
粗安岩	GS0027	56.84	1.01	16.85	5.15	1.49	0.1	4.03	5.78	4.09	2.45	0.31	0.58	1.88	99.98
粗安岩	GS0029	58.7	0.74	17.19	4.09	1.18	0.1	2.23	3.88	4.56	2.78	0.27	0.34	3.84	99.56
粗安岩	GS6395	57.56	0.71	17.15	5.36	1.3	0.1	3.03	5.78	4.61	2.42	0.31	1.32	1.7	100.03
粗安岩	GS0001	55.92	1.14	16.67	4.09	3.34	0.11	3.92	6.09	4.14	2.68	0.4	0.78	1.06	99.56
粗安岩	GS6096	57.36	0.97	16.42	5.43	1.18	0.08	3.73	5.41	4.27	3	0.35	1.04	1.66	99.86

侏罗世,说明在塔木兰沟组存在一套早侏罗世中基性火山岩,该期火山岩的发现,证明在漠河前陆盆地沉积前存在一期火山活动,对大兴安岭中生代地层划分具有重要意义。

5.2 成因及构造环境

中生代额尔古纳地块处于滨古太平洋板块构造域陆缘强烈活动时期,在古太平洋对欧亚大陆持

续俯冲以及蒙古—鄂霍茨克洋关闭的联合作用下(吴兆剑等,2020;刘希瑶等,2020;李中会等,2020),晚三叠—早白垩世本区进入了强烈构造活动期。体现为早期(晚三叠世)的陆缘弧型侵入岩的大面积出露、中期(中侏罗世)前陆盆地堆积、晚期(早白垩世)北东向火山岩带(大兴安岭火山岩)的形成。经过这期强烈的构造运动,形成了著名的北东

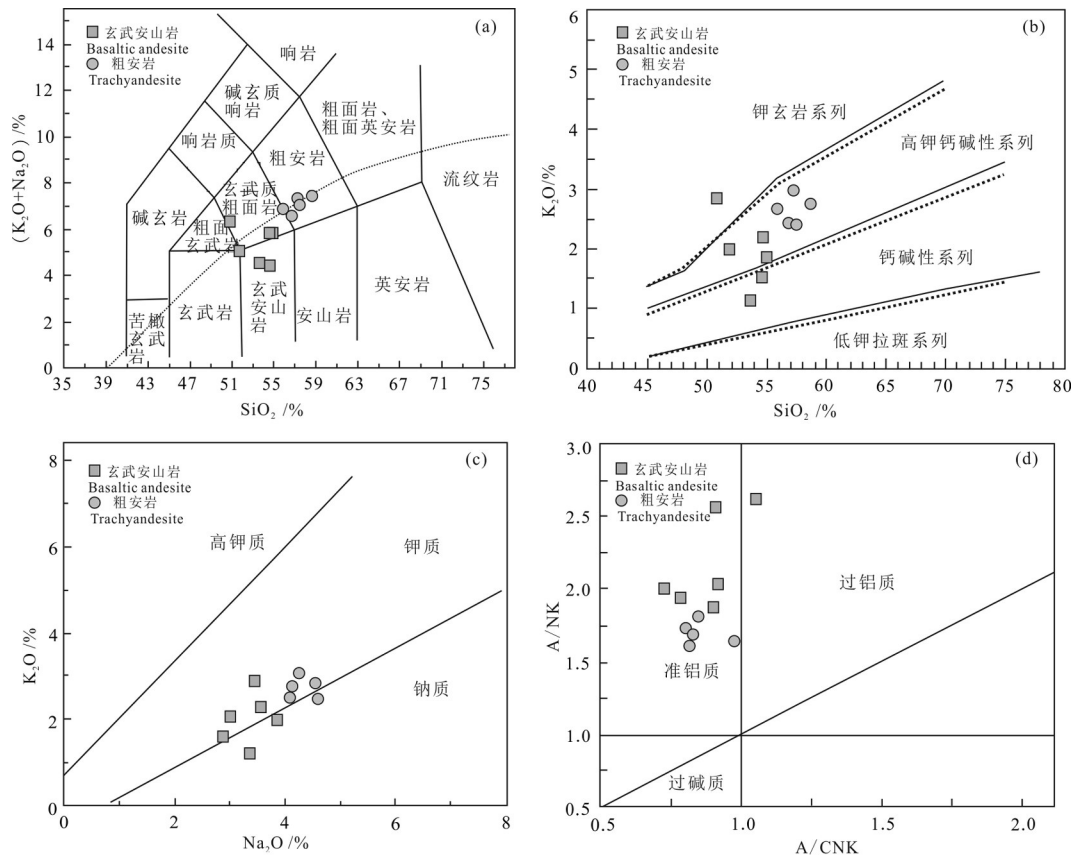


图5 塔木兰沟组火山岩 TAS 岩石化学图解(a)、K₂O—SiO₂图解(b)、K₂O—Na₂O 图解(c)和 A/NK—A/CNK 图解(d) (据 Peccerillo & Taylor, 1976)

Fig.5 Diagrams of TAS (a)、K₂O—SiO₂ (b)、K₂O—Na₂O (c) and A/NK—A/CNK (d) of volcanic rocks in the Tamulangou Formation (after Peccerillo & Taylor, 1976)

表5 塔木兰沟组火山岩微量元素分析结果表(K元素含量/10⁻²,其他元素含量/10⁻⁶)
Table 5 Trace element compositions of the Tamulangou Formation volcanic rocks

样品编号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LR/HR	δEu	La/Sm	La/Yb
XT1163	玄武岩	23	47.3	5.92	24.6	4.66	1.34	3.77	0.55	3.05	0.56	1.59	0.22	1.62	0.23	15.3	133.71	106.82	26.89	3.97	0.95	3.1	9.57
XT0007	粗面玄武岩	40.2	81.9	10.4	42.2	7.4	2.05	5.73	0.78	3.75	0.63	1.73	0.21	1.54	0.21	18.2	216.93	184.15	32.78	5.62	0.93	3.42	17.6
XT0026	玄武安山岩	33.1	64.6	8.21	32.1	5.56	1.63	4.36	0.63	3.28	0.59	1.69	0.23	1.73	0.25	16.4	174.36	145.2	29.16	4.98	0.98	3.74	12.9
XTP4TC112	玄武安山岩	29.9	59.4	7.25	29.7	5.2	1.5	4.07	0.57	2.95	0.51	1.45	0.19	1.5	0.21	14.2	158.6	132.95	25.65	5.18	0.96	3.62	13.44
XTP2TC3	玄武安山岩	29.2	51.7	7.13	28.6	5.11	1.51	4.21	0.59	3	0.53	1.47	0.17	1.39	0.18	15.3	150.09	123.25	26.84	4.59	0.97	3.59	14.16
XTP6LT115	玄武安山岩	37.8	78.8	9.79	39.6	6.88	1.95	5.69	0.78	3.86	0.65	1.85	0.24	1.77	0.25	18.1	208.01	174.82	33.19	5.27	0.93	3.46	14.4
XT0027	粗安岩	37	74.3	9.05	36.6	6.41	1.76	4.89	0.69	3.53	0.62	1.78	0.23	1.73	0.24	17.1	195.93	165.12	30.81	5.36	0.93	3.63	14.42
XT0029	粗安岩	34.4	66.3	7.97	30.9	5.34	1.47	4.06	0.59	3.02	0.52	1.48	0.19	1.5	0.21	15.2	173.15	146.38	26.77	5.47	0.93	4.05	15.46
XT6395	粗安岩	36.5	70.3	8.45	32.7	5.29	1.6	4.41	0.63	3.34	0.65	1.88	0.25	1.95	0.29	17	185.24	154.84	30.4	5.09	0.99	4.34	12.62
XT0001	粗安岩	42	83.8	10.3	40.6	7.03	1.79	5.56	0.79	3.86	0.65	1.87	0.24	1.71	0.25	18.5	218.95	185.52	33.43	5.55	0.85	3.76	16.56
XT6096	粗安岩	40.4	78.2	9.52	37	6.46	1.73	5.04	0.7	3.43	0.58	1.7	0.22	1.71	0.23	17.2	204.12	173.31	30.81	5.63	0.9	3.93	15.93

样品编号	岩石名称	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	Li	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb	Sb	Sr	Ta	Th	Ti	W	Zn	Zr	K
WL1163	玄武岩	871	1.22	0.024	0.11	23.2	172	2.27	26.7	20.2	13.6	38.5	0.51	5.8	35.59	15.9	37	0.36	518	1.45	2	4634	0.41	69	144	1.4
WL0007	粗面玄武岩	979	2.82	0.049	0.078	25.9	136	6.19	28.7	23.8	10.1	38.6	0.4	12.5	46.4	17	66	0.23	704	2.13	4.6	7501	0.61	97	231	2.18
WL0026	玄武安山岩	1224	1.29	0.036	0.18	16	54.2	0.98	20.7	20.9	19.5	11.1	0.43	6	29.83	16.3	35	0.34	1051	1.26	2.1	4683	0.36	64.1	186	1.74
WLP4TC112	玄武安山岩	875	1.66	0.031	0.089	28.7	183	0.81	33.6	24.3	16.5	8.51	0.71	6.2	57.63	20.5	34	0.28	985	1.13	2.1	4960	0.45	78.1	163	1.54
WLP2TC3	玄武安山岩	555	1.99	0.062	0.071	25.4	87.4	4.59	36.7	24	11.7	12.3	0.51	7.2	47.48	17.8	36	0.24	611	0.93	2.1	4946	0.56	80.7	156	1.08
WLP6LT115	玄武安山岩	1455	1.79	0.034	0.099	31.7	63.2	19.6	34.1	23.2	22.2	22.6	0.36	9.9	44.89	17.5	29	0.12	1196	1.55	2.1	7200	0.34	98.5	203	0.86
WL0027	粗安岩	936	2.02	0.076	0.072	19.7	127	1.9	21	25	18.5	14.2	0.63	7.8	32.79	24.3	56	0.4	970	1.07	2.5	5465	0.65	78.6	187	1.79
WL0029	粗安岩	1527	1.63	0.01	0.078	14.6	62.2	1.04	23.3	24.8	20.8	20.6	0.72	7	20.9	16	45	0.2	1047	1.16	2	4377	0.46	70.4	193	1.97
WL6395	粗安岩	1035	1.52	0.014	0.076	16.3	17.5	0.67	15.4	25	19.4	13.9	0.51	7.3	9.59	16	45	0.26	941	1	2	3825	0.42	82.5	223	1.9
WL0001	粗安岩	927	2.09	0.014	0.046	25.5	108	2.42	20.3	24.3	19.6	7.27	0.84	9.8	46.99	16.7	64	0.18	1053	1.59	3.7	6367	0.49	89.4	220	1.97
XT6096	粗安岩	1025	2.3	0.013	0.065	20.3	102	2.14	26.5	25.2	19	12.4	0.48	8.2	30.02	29.9	68	0.41	929	1.65	2.4	5494	0.77	87.7	190	2.06

向大兴安岭主脊火山岩带。

塔木兰沟组中基性火山岩整体表现为右倾,富集大离子亲石元素和LREE,说明岩浆可能来源于富集地幔型源区(葛文春,1997);亏损高场强元素和HREE,表明岩浆源区发生了流体交代,或上升过程中发生地壳物质的混染。

前人对塔木兰沟组构造环境有几种不同的认识:(1)塔木兰沟期构造环境处于陆内拉张体制之下,岩石形成与裂谷作用有关(张昱等,2005);(2)塔木兰沟组构造环境为大陆根-柱构造(邓晋福等,1996);(3)塔木兰沟组玄武岩地幔源区的形成经历了亏损地幔与古老洋壳物质相互作用的地球化学

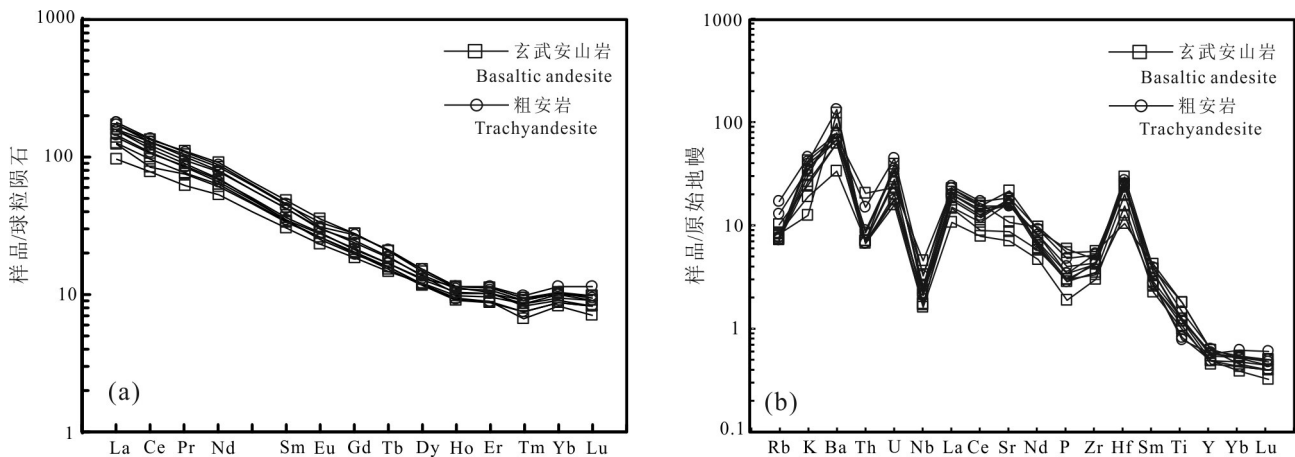


图6 塔木兰沟组火山岩稀土微量配分图(球粒陨石和原始地幔标准化值据 Sun & McDonough, 1989)

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element patterns of the Tamulangou Formation volcanic rocks (Chondrite and primitive mantle values referring to Sun & McDonough, 1989)

过程,这个过程可能与东北亚古亚洲洋构造域向太平洋构造域转换的地球动力学过程有关(林强等, 2003);(4)构造环境与蒙古—鄂霍次克洋演化有关(陈志广等, 2006;张连昌等, 2007;许文良等, 2008);(5)构造环境岩受到漠河盆地张性断裂构造的控制,为板内玄武岩,由于上升过程中受到岩石圈物质的混染作用,又显示有岛弧玄武岩的特征,为大陆板内拉张环境(尹志刚等, 2005;李仁民等, 2015);(6)构造环境为板块边缘岛弧造山带环境,由古亚洲洋和(或)蒙古—鄂霍次克洋板块俯冲形成(杨乃峰等, 2017);(7)构造环境为蒙古—鄂霍次克洋板块向南俯冲额尔古纳地块的活动大陆边缘环境(Wang et al., 2015)。

本次项目研究的塔木兰沟组中基性火山岩形成构造环境,在火山岩(Y+Nb)-Rb判别图解上(图

7a),样品落入火山弧区域。在Yb-Ta判别图解上(图7b),样品多落入火山弧区域,个别落入同碰撞区域。在火山岩Ta/Yb-Th/Yb判别图解上(图7c),样品落入钙碱性活动大陆边缘区域。在火山岩Sr/Nd-Th/Yb判别图解上(图7d),样品落入俯冲板片流体加入区域。岩石为一套准铝质高钾钙碱性岩系。

本文通过岩石化学、地球化学及构造环境等综合研究,认为该套火山岩构造环境为活动陆缘环境。在蒙古—鄂霍次克洋俯冲作用下,加厚的陆壳底部发生了大规模的熔融,导致软流圈地幔上隆及幔源岩浆喷溢形成了本区准铝质的高钾钙碱性-钙碱性系列的火山岩。

6 结 论

(1)大兴安岭北段漠河前陆盆地粗安岩及玄武

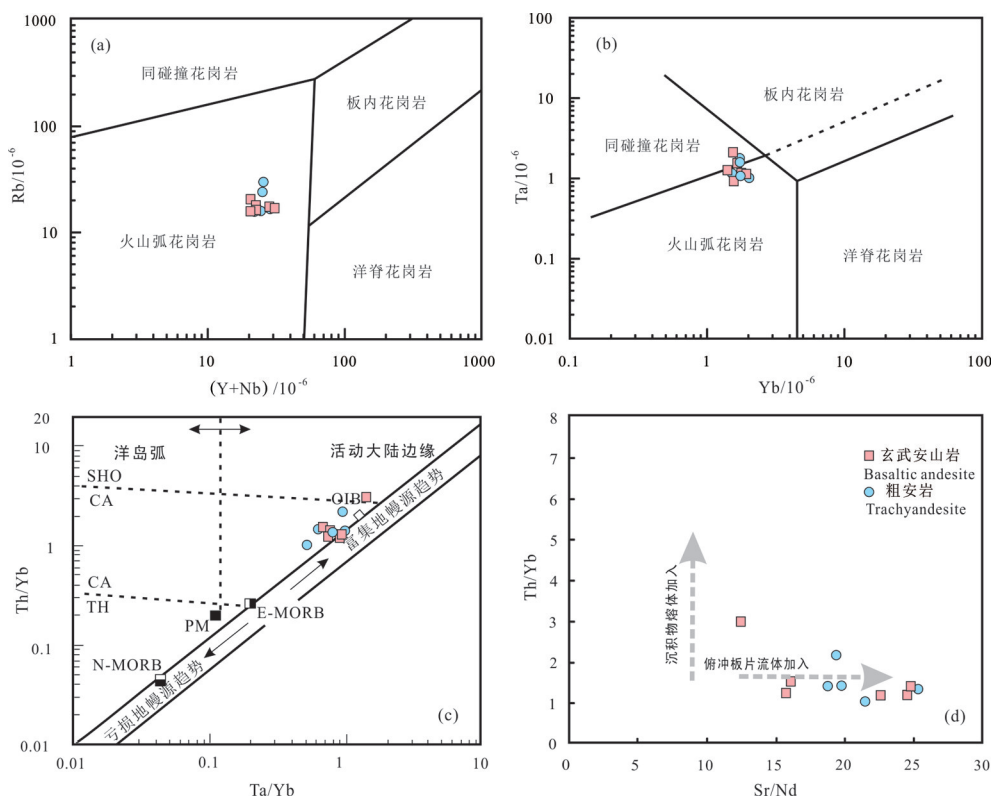


图7 塔木兰沟组火山岩构造环境判别图Rb-(Y+Nb)图解(a)、Ta-Yb图解(b)、Th/Yb-Ta/Yb图解(c)和Th/Yb-Sr/Nd图解(据Pearce et al., 1984; Labanieh et al., 2012)

CA—钙碱性系列;SHO—橄辉玄武质;TH—拉班系列;E-MORB—富集大洋玄武岩;N-MORB—正常大洋玄武岩;OIB—洋岛玄武岩;PM—原始地幔

Fig.7 Rb-(Y+Nb) (a), Ta-Yb(b), Th/Yb-Ta/Yb (c) and Th/Yb-Sr/Nd (d) diagram showing discrimination of tectonic environment of the Tamulangou Formation volcanic rocks(after Pearce et al., 1984; Labanieh et al., 2012)

CA—Calc-alkaline; SHO—Shoshonitic basalt; TH—Tholeiitic; E-MORB—Enriched mid ocean ridge basalt; N-MORB—Normal mid ocean ridge basalt; OIB—Ocean island basalt; PM—Primitive Mantle

安山岩U-Pb锆石LA-ICP-MS年龄为(185.8±8.1)Ma、(196.8±2.1)Ma、(196.3±2.7)Ma。原认为形成于中—晚侏罗世及早白垩世的塔木兰沟组火山岩中玄武岩及粗安岩形成于早侏罗世,证明该区存在早侏罗世火山喷发事件。

(2)初步认为该套早侏罗世中基性火山岩的形成与蒙古—鄂霍茨克洋板块向额尔古纳地块下的俯冲作用关系密切,构造环境为活动陆缘环境。

(3)漠河前陆盆地早侏罗世火山岩的发现,对大兴安岭中生代火山岩地层划分具有重要意义。

致谢:感谢黑龙江省地球物理地球化学勘查院张树岐等为本文提供资料;同时感谢匿名审稿人和编辑部老师在成稿过程中提出的宝贵意见。

注释

①黑龙江省有色金属地质勘查研究总院. 2014. 黑龙江省古鲁干河幅、449.3高地幅1:5万区域地质矿产调查报告[R].

②黑龙江省地质科学研究所. 2014. 黑龙江省西罗奇幅、新建幅1:5万区域地质矿产调查报告[R].

References

- Chen Zhiguang, Zhang Lianchang, Zhou Xinhua, Wan Bo, Ying Jifeng, Wang Fei. 2006. Geochronology and geochemical characteristics of volcanic rocks section in Manzhouli Xinyouqi, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2971–2986(in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, Wu Zongxu, Luo Zhaohua. 1996. The Key of Continental Root–Column Tectonic Dynamic, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–100(in Chinese).
- Ge Wenchun. 1997. Geochemical Characteristics and Geotectonic Background of the Volcanic Rocks in Da Hinggan, NE China[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology (in Chinese with English abstract).
- Heilongjiang Province Bureau of Geology and Mineral Resources. 1997. Lithostratigraphy of Heilongjiang Province[M]. Wuhan: China University of China Press, 142–143(in Chinese).
- Labanieh S, Chauvel C, Germa A, Quidelleur X. 2012. Martinique: A clear case for sediment melting and slab dehydration as a function of distance to the trench[J]. *Journal of Petrology*, 53(12): 2441–2464.
- Li Zhonghui, Li Yang, Li Ruijie, Li Kai. 2020. Zircon U–Pb dating and geochemical of rhyolites from the Xinmin formation in Sangenhe forest farm, Northern Daxinganling Mountains[J]. *Geology and Resources*, 29(4): 10–318(in Chinese with English abstract).
- Li Zhumin, Shi Shaoshan, Li Yuhua, Wang Yuli, Shi Jianmin, Jiang Shan. 2015. Zircon U–Pb dating and geochemistry of the volcanic rocks of Tamulangou Formation in the south edge of Mohe Basin: Geological implication[J]. *Geology and Resources*, 24(6): 526–531 (in Chinese with English abstract).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Cao Lin, Sun Deyou, Lin Jingguo. 2003. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan Ling: The bimodal volcanic rocks[J]. *Geochimica*, 32(3): 208–222(in Chinese with English abstract).
- Liu Chen, Sun Jinggui, Qiu Dianming, Gu Alei, Han Jilong, Sun Fanting, Yang Mei, Feng Yangyang. 2017. Genesis and geological significance of Mesozoic volcanic rocks in Xiaomoerke, northern slope of Greater Khingan Range: Hf isotopic geochemistry and zircon U–Pb chronology[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 47(4): 1138–1158(in Chinese with English abstract).
- Liu Xiyao, Wang Deli, Liu Chi. 2020. Geochemistry of Mesozoic granitoids in Northern Da Hinggan Mountains[J]. *Geology and Resources*, 29(3): 207–211, 281(in Chinese with English abstract).
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, Gao Changgui, Gao Shan, Xu Juan, Chen Haihong. 2010. Haihong reappraisal and refinement of zircon U–Pb isotope and trace element analyses by LA–ICP–MS[J]. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535–1546.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Günther, Detlef, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA–ICP–MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257(1): 34–43.
- 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).
- Miao Laicheng, Liu Dunyi, Zhang Fuqin, Fan Weiming, Shi Yuruo, Xie Hangqiang. 2007. Zircon SHRIMP U–Pb ages of the “Xinghuadukou Group” in Hanjiayuanzi and Xinlin areas and the “Zhalantun Group” in Inner Mongolia, Da Hinggan Mountains[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(8): 1112–1124.
- Pearce Julian A, Harris Nigel B W, Tindle Andrew G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 25(4): 956–983.
- Peccerillo A, Taylor S R. 1976. Rare earth elements in East Carpathian volcanic rocks[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 32(2): 121–126.
- Sun Deyou, Gou Jun, Wang Tianhao, Ren Yunsheng, Liu Yongjiang, Guo Hongyu, Liu Xiaoming, Hu Zhaochu. 2013. Geochronological and geochemical constraints on the Erguna massif basement, NE China—subduction history of the Mongol Okhotsk oceanic crust[J]. *International Geology Review*, 55(14): 801–1816.
- Sun S S, McDonough W F S. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1): 313–345.

- Wu Zhaojian, Li Jin, Han Xiaozhong, Zhang Chao. 2020. Geochronology and geochemistry of Late Mesozoic igneous rocks in Jifeng area of Northern Da Hinggan Mountains and their tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 39(2-3): 234-252(in Chinese with English abstract).
- Xu Tangjie, Wang Wenliang, Wang Feng, Xu Wei, Zhang Meijun, Zhang Yihan. 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.
- Xu Wenliang, Ge Wenchun, Pei Fuping, Meng En, Yu Yang, Yang Debin. 2008. Geochronological framework and tectonic implication of Mesozoic volcanism in Northeast China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 27(Supp.): 286-287(in Chinese with English abstract).
- Yang Naifeng, Yang Liting. 2017. Zircon U-Pb geochronology, petrogeochemistry and tectonic significance of volcanic rocks from Tamulangou Formation in western Huzhong, northern Great Xinan Range[J]. Global Geology, 36(2): 361-370(in Chinese with English abstract).
- Yin Zhigang, Zhao Haibin, Zhao Handong, Zhang Yuelong. 2005. Geochemical characteristics and tectonic setting of basaltic rocks of the Tamulangou Formation at the northern end of the Da Hinggan Mountains, China[J]. Geological Bulletin of China, 24(9): 848-853(in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Chen Zhiguang, Zhou Xinhua, Ying Jifeng, Wang Fei, Zhang Yutao. 2007. Characteristics of deep sources and tectonic magmatic evolution of the Early Cretaceous volcanic in Genhe area, Da Hinggan Mountains: Constraints of Sr-Nd-Pb-Hf isotopic geochemistries[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(11): 2823-2835(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yu, Zhao Huanli, Han Yandong. 2005. Geochemical characteristics and tectonic background of basalt from Tamulangou Formation in northern Daxinganling[J]. Geology and Resources, 14(2): 87-96(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhonghua, Sun Deyou, Gou Jun, Ren Yunsheng, Fu Changliang, Zhang Xueyuan, Wang Xi, Liu Xiaoming. 2011. Chronology and geochemistry of volcanic rocks in Tamulangou Formation from southern Manchuria, Inner-Mongolia[J]. Journal of University: Earth Science Edition, 41(6): 1865-1880(in Chinese with English abstract).
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 吴宗絮, 罗照华. 1996. 中国大陆根-柱构造—大陆动力学钥匙[M]. 北京: 地质出版社, 1-100.
- 葛文春. 1997. 大兴安岭中生代火山岩的地球化学特征及其大地构造背景[D]. 长春: 长春科技大学.
- 黑龙江省地质矿产局. 1997. 黑龙江省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 142-143.
- 李中会, 李阳, 李睿杰, 李凯. 2020. 大兴安岭北段三根河林场新民组流纹岩锆石 U-Pb 定年及地球化学特征[J]. 地质与资源, 29(4): 310-318.
- 李仁民, 石绍山, 李愈华, 王宇利, 时建民, 江山. 2015. 漠河盆地南缘塔木兰沟组火山岩锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质与资源, 24(6): 526-531.
- 林强, 葛文春, 曹林, 孙德有, 林经国. 2003. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征[J]. 地球化学, 32(3): 208-222.
- 刘晨, 孙景贵, 邱殿明, 古阿雷, 韩吉龙, 孙凡婷, 杨梅, 冯洋洋. 2017. 大兴安岭北段东坡中北部小莫尔可地区中生代火山岩成因及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 47(4): 1138-1158.
- 刘希瑶, 王德力, 刘驰. 2020. 大兴安岭北部中生代花岗岩类地球化学特征及地质意义[J]. 地质与资源, 29(3): 207-211, 281.
- 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 年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 27(4): 1209-1226.
- 吴兆剑, 李津, 韩效忠, 张超. 2020. 大兴安岭北段吉峰地区晚中生代花岗岩质石年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质通报, 39(2/3): 234-252.
- 许文良, 葛文春, 裴福平, 孟恩, 于洋, 杨德彬. 2008. 东北地区中生代火山岩作用的年代学格架及构造意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 27(增刊): 286-287.
- 杨乃峰, 杨李汀. 2017. 大兴安岭北段呼中西部塔木兰沟组火山岩年代学、岩石地球化学特征及其构造意义[J]. 世界地质, 36(2): 361-370.
- 尹志刚, 赵海滨, 赵寒冬, 张跃龙. 2005. 大兴安岭北端塔木兰沟组玄武质岩石的地球化学特征及构造背景[J]. 地质通报, 24(9): 848-853.
- 张连昌, 陈志广, 周新华, 英基丰, 王非, 张玉涛. 2007. 大兴安岭根河地区早白垩世火山岩深部源区与构造-岩浆演化: Sr-Nd-Pb-Hf 同位素地球化学制约[J]. 岩石学报, 23(11): 2823-2835.
- 张昱, 赵焕力, 韩彦东. 2005. 大兴安岭北段塔木兰沟组玄武岩地球化学及构造背景[J]. 地质与资源, 14(2): 87-96.
- 赵忠华, 孙德有, 苟军, 任云生, 付长亮, 张学元, 王晰, 柳小明. 2011. 满洲里南部塔木兰沟组火山岩年代学与地球化学[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 41(6): 1865-1880.

附中文参考文献

- 陈志广, 张连昌, 周新华, 万博, 英基丰, 王非. 2006. 满洲里新右旗火山岩剖面年代学和地球化学特征[J]. 岩石化学, 22(12): 2971-