

doi: 10.12029/gc20180211

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.
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).

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

刘凯¹ 吴涛涛¹ 刘金龙¹ 鲍庆中¹ 杜守营²

(1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 辽宁环宇矿业咨询有限公司, 辽宁 沈阳 110031)

摘要: 对大兴安岭北段图里河地区满克头鄂博组火山岩进行了锆石 U–Pb 年代学及岩石地球化学研究, 以便对其岩石成因和构造背景给予制约。流纹岩 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 定年结果表明, 该地区满克头鄂博组火山岩形成时代为晚侏罗世(157±1Ma)。该组火山岩具有高硅(SiO₂=69.09%~75.92%)、富碱(K₂O+Na₂O=8.04%~9.23%), 贫镁、铁、钙的特征, 属高钾钙碱性、偏铝质–弱过铝质岩石; 稀土元素配分曲线呈轻稀土富集的右倾形式, (La/Yb)_n=5.85~13.53, 无铈异常或具有较弱的铈负异常; 火山岩样品富集 Rb、Th、U、K 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素。Mg[#] 值为 12.14~31.01, 平均值 22, Nb/Ta 值(6.67~27.17, 平均值 12.23), Rb/Sr 值(0.35~3.63, 平均值 1.58), 显示火山岩岩浆源区为下地壳。依据岩石地球化学特征、构造判别图解, 结合区域构造演化特征, 认为满克头鄂博组火山岩形成于蒙古–鄂霍茨克洋闭合的造山后伸展背景。

关键词: 满克头鄂博组; 蒙古–鄂霍茨克洋; 岩石成因; 大兴安岭北段; 内蒙古

中图分类号: P588.14; P595 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2018)02–0367–10

Geochronology and geochemistry of volcanic rocks in Manketou'ebo Formation of Tulihe area, northern Da Hinggan Mountains

LIU Kai¹, WU Taotao¹, LIU Jinlong¹, BAO Qingzhong¹, DU Shouying²

(1. Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China; 2. Liaoning Huanyu Mining Consulting Corporation, Shenyang 110031, Liaoning, China)

Abstract: In this paper, the authors studied the chronology and geochemistry of volcanic rocks in Manketou'ebo Formation of Tulihe area within Da Hinggan Mountains to restrict the petrogenesis and the tectonic setting. Zircon U–Pb dating reveals that the volcanic rocks formed in (157±1) Ma, suggesting late Jurassic. The geochemical characteristics reveal that these rocks fall into the high–K calc–alkaline, metaluminous to slightly peraluminous rhyolite series, characterized by high SiO₂ content (69.09%–75.92%), high alkali content (8.04%–9.23%) but low MgO, CaO and Fe₂O₃ content. The REE patterns reveal that the rocks are enriched in light rare earth elements with significant fractionation of HREE and LREE ((La/Yb)_n=5.85–13.53), with no or lightly negative Eu

收稿日期: 2016–05–31; 改回日期: 2018–01–18

基金项目: 中国地质调查局项目(12120114055201)资助。

作者简介: 刘凯, 男, 1989 年, 工程师, 硕士生, 主要从事矿产勘查及矿床研究工作; E-mail: 294767797@qq.com。

anomaly. Rocks are enriched in LILE such as Rb, Th, U and K, relatively depleted in HFSE such as Nb, Ta and Ti. $Mg^\#$ ratios vary from 12.14 to 31.01, 22 on average; Nb/Ta ratios vary from 6.67 to 27.17, 12.23 on average; Rb/Sr ratios vary from 0.35 to 3.36, 1.58 on average, implying that the magmatic source was the lower crust. According to the geochemical features, discrimination diagrams of tectonic setting and regional tectonic evolution, the authors hold that the volcanic rocks formed in the post-orogenic extension setting after the closure of Mongol–Okhotsk Ocean.

Key words: Manketou'ebo; Mongol–Okhotsk Ocean; petrogenesis; northern Da Hinggan Mountains; Inner Mongolia

About the first author: LIU Kai, male, born in 1989, assistant engineer, master candidate, majors in structural geology, engages in solid mineral exploration and mineral deposit research; E-mail: 294767797@qq.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Project (No. 12120114055201).

1 引 言

大兴安岭地区是中国火山岩最发育的地区之一,中生代火山岩规模巨大,呈带状或串珠状展布于整个大兴安岭区域,构成了大兴安岭火山岩带的主体。近年来,随着同位素定年手段的发展,积累了大量有关大兴安岭中生代火山岩的高精度锆石 U–Pb 同位素年龄,并对不同期次火山岩年代学格架划分也取得一定认识(尹志刚等,2005;周其林等,2013; Zhang et al., 2006, 2010; 孟恩等,2011)。目前,有关大兴安岭中生代火山岩的科学问题主要集中在其岩石成因及构造背景等方面,主要的观点有:地幔柱模式(林强等,1998;葛文春等,2010);蒙古–鄂霍茨克洋闭合后伸展环境(许文良等,2013;李宇等,2015;纪政等,2015);古太平洋板块俯冲环境(张吉衡,2009)等。鉴于此,本文对大兴安岭北段图里河地区满克头鄂博组火山岩进行年代学和地球化学研究,在确定其年代的基础上,对其岩石成因、构造背景等方面予以制约。

2 地质概况及样品描述

研究区位于大兴安岭北段牙克石市图里河镇,向北距离根河市约 30 km,大地构造位置属于额尔古纳地块(图1)。区内地层主要为早石炭世莫尔根河组(C_1m)、中侏罗世塔木兰沟组(J_2tm)中基性火山岩、晚侏罗世满克头鄂博组(J_3mk)酸性火山岩及沉积岩、玛尼吐组(J_3mn)中性火山岩、早白垩世白音高老组(K_1b)酸性火山岩和梅勒图组(K_1m)基性火山岩夹沉积岩,侵入岩主要为早白垩世二长花岗岩。

满克头鄂博组火山岩在区内广泛分布,岩性以流纹岩为主,也分布有流纹质晶屑凝灰熔岩、流纹质含角砾岩屑晶屑凝灰岩等酸性火山熔岩、火山碎

屑岩。用于年龄测试的样品 D2016 采自满克头鄂博组火山岩,岩性为浅黄色流纹岩,采样点坐标: $121^\circ 22' 30'' E, 50^\circ 30' 25'' N$ (图1)。浅黄色流纹岩在区内产状平缓,风化面灰褐色,新鲜面为浅黄色,斑状结构,流纹构造(图2)。斑晶成分主要为石英,呈次圆状,粒度主要在 1~1.5 mm,含量约为 5%,有沿流动方向被“拉长”的现象。基质中针状长英质矿物呈放射状,形成球粒结构。

3 分析方法

3.1 岩石地球化学

样品的主量元素和微量元素的测试分析在沈阳地质矿产研究所实验测试中心完成。常量元素用 XRF 玻璃熔片法,分析精度优于 2%~5%;稀土元素和微量元素采用 ICP–MS 分析方法,分析精度和准确度一般优于 5%~10%。

3.2 锆石 LA–ICP–MS 年代学

锆石分选、制靶、CL 图像采集工作在河北省廊坊诚信地质服务有限公司完成,锆石 U–Pb 年代学和微量元素含量分析测试工作在中国科学院青藏高原研究所大陆碰撞与高原隆升重点实验室完成。测试仪器为激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA–ICP–MS)。LA–ICP–MS 激光剥蚀系统为美国 NewWave 公司生产的 UP193FX 型 193 nm ArF 准分子系统,激光器来自于德国 ATL 公司,ICP–MS 为 Agilent 7500 a。激光器波长为 193 nm,脉冲宽度 < 4 ns,束斑直径为 10~125 μm 可调,本次测试所用束斑直径为 35 μm ,脉冲频率为 7 Hz。锆石标样采用 Plesovice (年龄为 337 ± 0.37 Ma)(Slama et al., 2008);成分标样采用 NIST SRM 612,其中 ^{29}Si 作为内标元素。样品的同位素比值及元素含量计算采用 GLITTER 程序,普通铅校正采用 Anderson(2002)提出的校正程

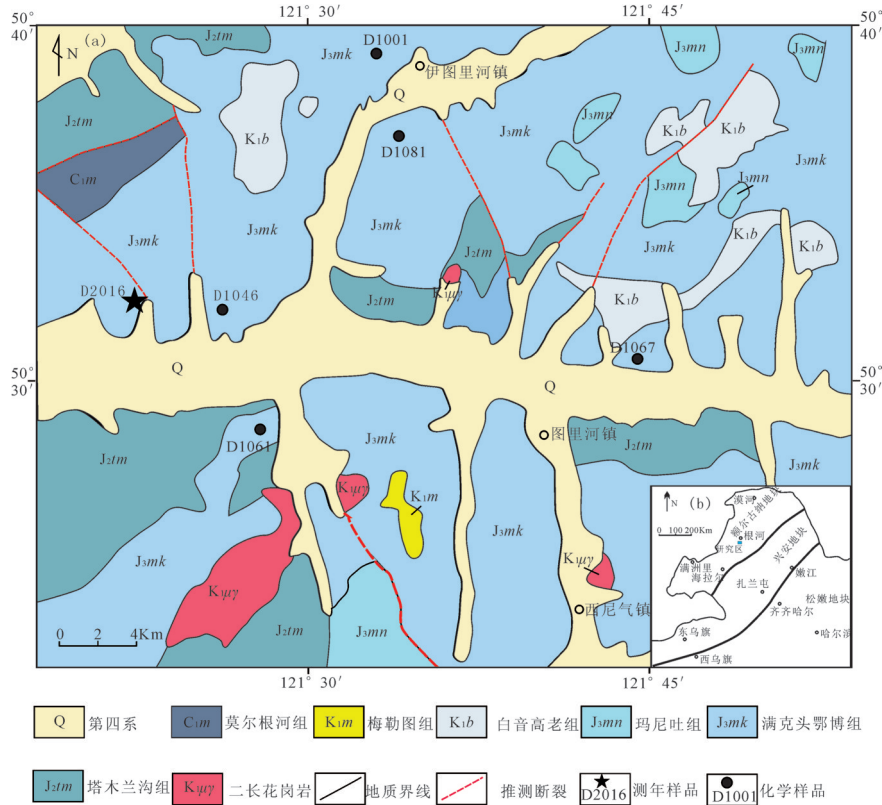


图1 研究区地质略图(a)及大地构造位置图(b)
Fig.1 Geological sketch map (a) and tectonic location of the research area (b)

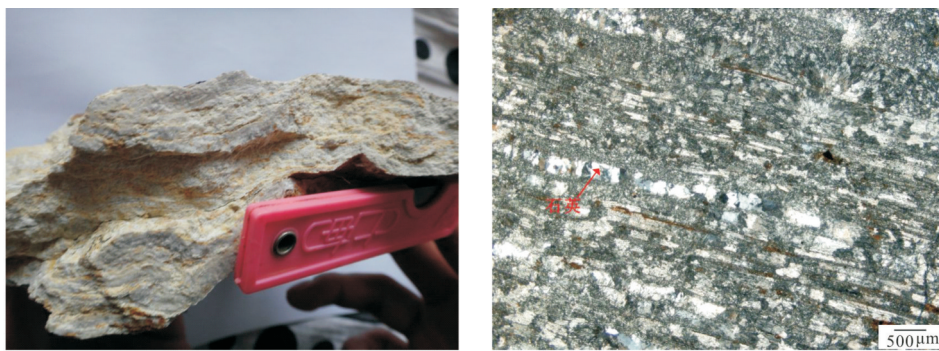


图2 满克头鄂博组流纹岩手标本及镜下照片(正交偏光)
Fig.2 Hand specimen and photomicrograph (crossed nicols) of Manketou'ebo rhyolites

序,U-Pb谐和图、年龄分布频率图绘制和年龄权重平均计算采用 Isoplot(Ludwig, 2003)程序完成。

4 分析结果

4.1 地球化学特征

4.1.1 主量元素

满克头鄂博组火山岩主量和微量元素分析结果见表1。其中, SiO₂ 含量为 69.09%~75.92%, 全碱含量

(K₂O+Na₂O)含量为 8.04%~9.23%, Al₂O₃ 含量为 12.48%~16.07%, FeO^T、MgO、CaO 含量较低, 其中 FeO^T 含量为 1.17%~3.03%, MgO 含量为 0.09%~0.76%, CaO 含量为 0.32%~0.59%。火山岩样品的 A/CNK 比值为 1.04~1.29, 为准铝质-弱过铝质岩石, 过碱指数 PI 介于 0.73~0.91。在火山岩 TAS 分类图(图3)中, 6 个样品均落入流纹岩范围, 且所有样品均属于高钾钙碱性系列(图4)。

4.1.2 微量元素

满克头鄂博组火山岩稀土元素含量中等, ΣREE 为 $110.46 \times 10^{-6} \sim 213.85 \times 10^{-6}$, 平均值为 147.6×10^{-6} 。在稀土元素配分模式上, 表现为 LREE 富集右倾型 (图 5), 轻重稀土元素分馏明显, $(\text{La}/\text{Yb})_n = 5.85 \sim 13.53$, 无铈异常或具有较弱的铈负异常, $\delta\text{Eu} = 0.42 \sim 1.14$, 平均值为 0.89。微量元素原始地幔蛛网图 (图 5) 上, 火山岩样品富集 Rb、Th、U、K 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素, 大离子亲石元素中 Ba 和 Sr 具有不同程度的亏损。

表 1 满克头鄂博组火山岩主量 (%) 与微量元素 (10^{-6}) 分析结果

Table 1 Major and trace element compositions of Manketou'ebo volcanic rocks

样号	D1046	D1061	D2016	D1001	D1067	D1081
SiO ₂	69.09	75.92	73.84	70.92	69.31	74.55
Al ₂ O ₃	16.07	12.48	13.81	14.97	14.73	13.48
Fe ₂ O ₃	1.94	0.60	1.05	1.41	2.63	0.79
FeO	0.58	0.63	0.49	0.72	0.67	0.54
FeO ^T	2.33	1.17	1.43	1.99	3.04	1.25
CaO	0.57	0.34	0.32	0.37	0.59	0.37
MgO	0.38	0.09	0.19	0.44	0.76	0.16
K ₂ O	4.35	5.60	5.62	5.44	4.14	5.43
Na ₂ O	4.88	3.22	2.42	3.32	3.85	3.33
TiO ₂	0.47	0.26	0.26	0.37	0.4	0.19
P ₂ O ₅	0.10	0.10	0.05	0.07	0.16	0.03
MnO	0.10	0.03	0.03	0.06	0.18	0.08
LOI	1.11	0.47	1.62	1.57	2.24	0.81
Total	99.64	99.74	99.70	99.66	99.66	99.76
A/CNK	1.17	1.04	1.29	1.24	1.24	1.12
Mg [#]	22.60	12.10	19.20	28.40	31.00	18.60
PI	0.79	0.91	0.73	0.76	0.73	0.84
V	36.10	28.00	15.10	35.20	22.10	28.50
Cr	0.50	1.80	3.10	4.80	9.40	1.40
Co	5.30	2.20	1.30	4.80	3.00	4.30
Ni	0.90	2.90	1.50	4.00	1.00	4.80
Rb	135.00	143.00	228.00	131.00	176.00	182.00
Sr	401.00	235.00	630.00	127.00	780.00	112.00
Ba	1667.00	856.00	181.00	1133.00	936.00	813.00
Li	26.40	26.80	3.20	11.10	15.60	15.00
Zr	331.00	261.00	200.00	425.00	230.00	340.00
Nb	12.50	12.10	17.50	13.20	10.00	14.40
Hf	6.62	4.96	4.34	6.11	4.53	6.24
Ta	1.37	1.16	1.75	1.32	1.50	0.53
Th	4.12	4.43	9.42	3.87	7.65	6.92
U	2.23	2.83	5.55	4.12	4.60	5.41
Y	21.90	17.40	17.00	21.40	24.10	20.10
La	34.30	27.00	34.30	45.90	21.40	26.00
Ce	71.00	44.70	60.30	101.60	57.60	62.40
Pr	8.66	5.72	7.48	9.91	4.96	5.57
Nd	32.00	19.00	25.80	34.50	18.80	18.00
Sm	5.72	3.42	4.30	5.84	4.08	3.40
Eu	1.64	0.66	1.07	1.31	1.35	0.42
Gd	4.49	2.83	3.36	4.91	3.49	2.94
Tb	0.71	0.43	0.48	0.67	0.62	0.47
Dy	3.92	2.55	2.64	3.60	3.62	2.88
Ho	0.75	0.50	0.50	0.70	0.75	0.58
Er	1.90	1.33	1.43	1.81	1.96	1.62
Tm	0.40	0.29	0.30	0.38	0.41	0.35
Yb	2.36	1.87	1.89	2.37	2.56	2.17
Lu	0.32	0.26	0.26	0.33	0.38	0.30
ΣREE	213	176	121	127	110	144
(La/Yb) _n	10.1	10.0	12.7	13.5	5.8	8.4
δEu	1.02	0.67	0.89	0.78	1.14	0.42

注: A/CNK=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O), 摩尔比; 过碱指数 PI=(Na₂O+K₂O)/Al₂O₃, 摩尔比; Mg[#]=100*Mg/(Mg+Fe²⁺); (La/Yb)_n=(La/0.310)/(Yb/0.209); $\delta\text{Eu} = 2 \times (\text{Eu}/0.0735) / [(\text{Sm}/0.195) + (\text{Gd}/0.259)]$ 。

4.2 锆石 LA-ICP-MS 年代学

满克头鄂博组火山岩样品 U-Th-Pb 同位素分析结果见表 2。从锆石 CL 图像 (图 6) 可以看出, 锆石颗粒晶型完好, 多呈长柱、短柱状, 部分呈断头晶, 具有明显的震荡生长环带结构, 锆石 Th/U 比值为 0.56~1.23, 说明为典型岩浆成因锆石。23 个锆石分析点的数据比较集中, 均落在谐和线上或其附近 (图 7), 其 ²⁰⁶Pb/²⁰⁸U 加权平均年龄为 (157±1) Ma (MSWD=1.4)。该年龄可以代表火山岩的形成时代。

5 讨论

5.1 满克头鄂博组时代

近年来学者们对大兴安岭地区满克头鄂博组

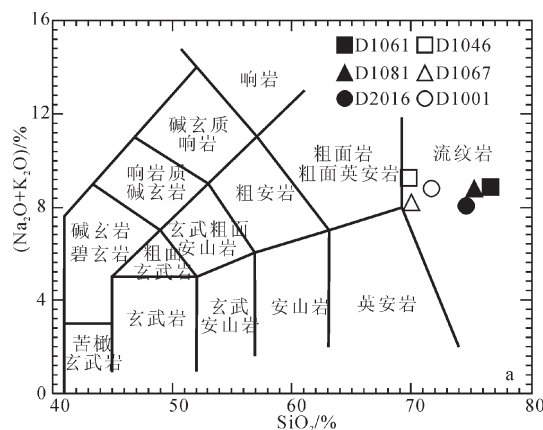


图 3 岩石 TAS 分类图 (据 Le Maitre et al, 1989)
Fig.3 TAS classification chart of rocks (after Le Maitre et al., 1989)

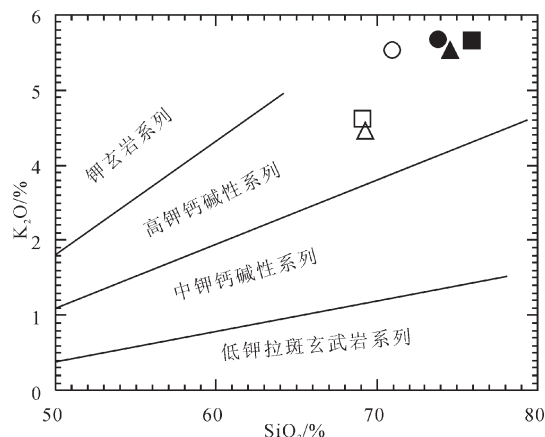


图 4 岩石 SiO₂-K₂O 图解 (据 Peccerillo and Taylor, 1976)
Fig.4 SiO₂-K₂O diagram of rocks (after Peccerillo and Taylor, 1976)

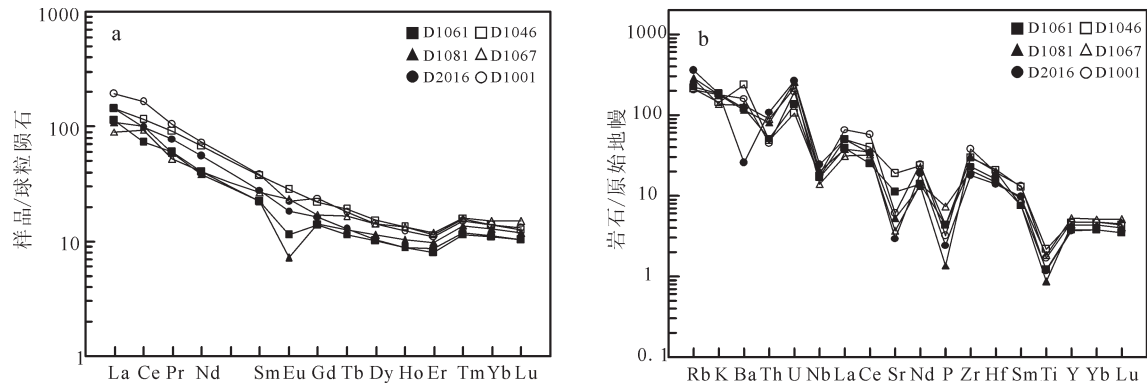


图5 岩石稀土元素球粒陨石标准化配分图解(a, 标准值据 Boynton, 1984)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b, 标准值据 Sun et al., 1989)

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns (a, normalization values after Boynton, 1984) and primitive mantle-normalized trace element spider diagrams (b, normalization values after Sun et al., 1989)

火山岩的研究取得了许多成果,获得了大量的同位素数据(刘俊杰等,2006;孟恩等,2011;苟军,2013;吴涛涛等,2014)。笔者通过归纳整理大兴安岭地区满克头鄂博组高精度测年结果(表3),发现满克头鄂博组火山岩年龄介于162~122 Ma,时代跨度较大,但是仍然可以看出主要集中于150~160 Ma;结合本文的测年结果,确定满克头鄂博组火山岩形成于晚侏罗世。

5.2 淡色流纹岩源区

目前主要有玄武岩浆或安山岩浆的分离结晶作用(葛文春等,2000;林强等1998,2003)及地壳岩石的部分熔融两种成因观点(郭峰等,2001;高晓峰等,2005)。

在地球化学研究中,满克头鄂博组火山岩以高硅,富碱,富铝,贫铁、镁、钙为特征。岩石为高钾钙碱性, SiO_2 含量为 69.09%~75.92%, $\text{Mg}^\#$ 值介于 12.14~31.01, 具有壳源属性(Atherton et al., 1993)。 $\delta\text{Eu}=0.42\sim 1.14$, 表明源区可能有斜长石残留或发生了分离结晶。岩体富集轻稀土元素、贫重稀土元素,以及 Nb、Ta 等高场强元素的亏损表明源区可能残留石榴子石。Cr、Ni、Co 和 V 含量分别介于 $0.5\times 10^{-6}\sim 9.4\times 10^{-6}$ 、 $0.9\times 10^{-6}\sim 4.8\times 10^{-6}$ 、 $1.3\times 10^{-6}\sim 5.3\times 10^{-6}$ 和 $15.1\times 10^{-6}\sim 36.1\times 10^{-6}$, 显示岩石母岩浆没有幔源物质的加入(邓晋福等,1999)。另外该地区缺乏同时代的玄武岩,不能构成双峰式火山岩组合(苟军等,2010),而野外调查发现该组火山岩在区内大面积发育,短时间内如此大规模酸性岩浆的喷发,很难解释

为基性岩浆的分异残余。此外,样品 Nb/Ta 值(6.67~27.17, 平均值 12.23)接近地壳平均值 8.3(Rudnick et al., 2003), Rb/Sr 值(0.35~3.63, 平均值 1.58)接近地壳值 0.35(Rudnick et al., 2003), Th/Nb 值(0.29~0.77, 平均值 0.46)接近地壳平均值 0.44。综上所述,满克头鄂博组应为下地壳岩石部分熔融的产物。

5.3 构造背景及成因

前人对大兴安岭地区满克头鄂博组的研究表明,该套火山岩多数具 A 型花岗岩的特征,代表了区域处于伸展环境(张旗等,2012)。本文对岩石进行构造判别图解,在 R_1-R_2 图解(图 8)中,岩石样品总体落在造山期后范围;在 $(Y+Nb)-Rb$ 构造环境判别图解(图 9)中,岩石介于同碰撞和板内环境范围之间,同样具有造山后花岗岩特征。

对于大兴安岭中生代火山岩形成的构造背景主要有 3 种观点:一是地幔柱模式(葛文春等,2000;林强等,2003);二是与古太平洋板块俯冲有关(张吉衡,2009);三是与蒙古—鄂霍茨克洋闭合后的造山带伸展有关(许文良等,2013;李宇等,2015;纪政等 2015)。

年代学研究表明大兴安岭中生代火山岩的形成时代具有较大的变化范围,且不存在所谓的环状火山岩带,很难用地幔柱作用模式予以解释(Fan et al., 2003; Zhang et al., 2008);考虑研究区所处的构造位置,中生代太平洋板块的俯冲到达不了大兴安岭地区(邵济安等,2000;赵大鹏等,2004),而且在远离太平洋板块的蒙古国中东部存在和中国大兴

表2 满克头鄂博组流纹岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果
Table 2 Zircon isotopic LA-ICP-MS U-Pb analyses for Manketou'ebo rhyolites

测试点号	Pb/10 ⁶	Th/10 ⁶	U/10 ⁶	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄/Ma	1σ
15E05039	0.76	17.65	21.67	0.81	0.0486	0.00293	0.16278	0.00958	0.02429	0.00029	155	2
15E05038	0.47	9.47	13.71	0.69	0.0518	0.00414	0.17375	0.0136	0.02432	0.00038	155	2
15E05037	0.78	20.47	21.74	0.94	0.04891	0.00328	0.1617	0.01059	0.02397	0.00034	153	2
15E05036	0.81	17.94	22.37	0.80	0.04869	0.00283	0.16631	0.00943	0.02477	0.00031	158	2
15E05035	1.16	25.17	31.99	0.79	0.04656	0.00219	0.15857	0.00724	0.0247	0.00026	157	2
15E05034	0.68	11.54	19.65	0.59	0.04712	0.00296	0.1606	0.00987	0.02472	0.00032	157	2
15E05033	0.64	14.79	17.14	0.86	0.04986	0.00609	0.16743	0.02005	0.02435	0.00061	155	4
15E05031	1.18	36.28	29.42	1.23	0.0522	0.00206	0.17644	0.00668	0.02452	0.00024	156	2
15E05027	0.50	10.47	14.19	0.74	0.04776	0.0036	0.15992	0.01183	0.02429	0.00035	155	2
15E05024	1.03	24.28	28.42	0.85	0.04827	0.0023	0.16097	0.00744	0.02419	0.00026	154	2
15E05023	0.73	19.26	19.25	1.00	0.04881	0.00282	0.16399	0.00924	0.02438	0.00029	155	2
15E05022	0.75	12.55	21.52	0.58	0.0495	0.00278	0.17103	0.00935	0.02507	0.00029	160	2
15E05021	0.73	21.31	18.37	1.16	0.05028	0.00262	0.16993	0.00861	0.02453	0.00027	156	2
15E05020	0.51	14.48	12.96	1.12	0.0491	0.00426	0.16356	0.01392	0.02417	0.0004	154	3
15E05018	0.38	5.93	10.53	0.56	0.05799	0.00416	0.20002	0.01404	0.02503	0.00036	159	2
15E05014	0.56	10.23	16.02	0.64	0.05353	0.00511	0.18081	0.01691	0.02452	0.00049	156	3
15E05013	0.81	15.01	22.45	0.67	0.05105	0.00245	0.17635	0.00819	0.02507	0.00027	160	2
15E05011	0.79	14.24	22.19	0.64	0.05229	0.00253	0.1792	0.0084	0.02488	0.00025	158	2
15E05010	0.60	9.88	16.41	0.60	0.05118	0.00279	0.17974	0.00952	0.02549	0.00029	162	2
15E05008	0.72	19.96	18.73	1.07	0.05133	0.00273	0.17622	0.00911	0.02492	0.00029	159	2
15E05007	0.92	15.13	26.65	0.57	0.05145	0.0021	0.17427	0.00683	0.02459	0.00023	157	1
15E05005	0.51	9.51	14.42	0.66	0.04978	0.00355	0.17105	0.01196	0.02495	0.00034	159	2
15E05004	0.60	15.68	15.51	1.01	0.04953	0.00368	0.16812	0.01223	0.02464	0.00036	157	2

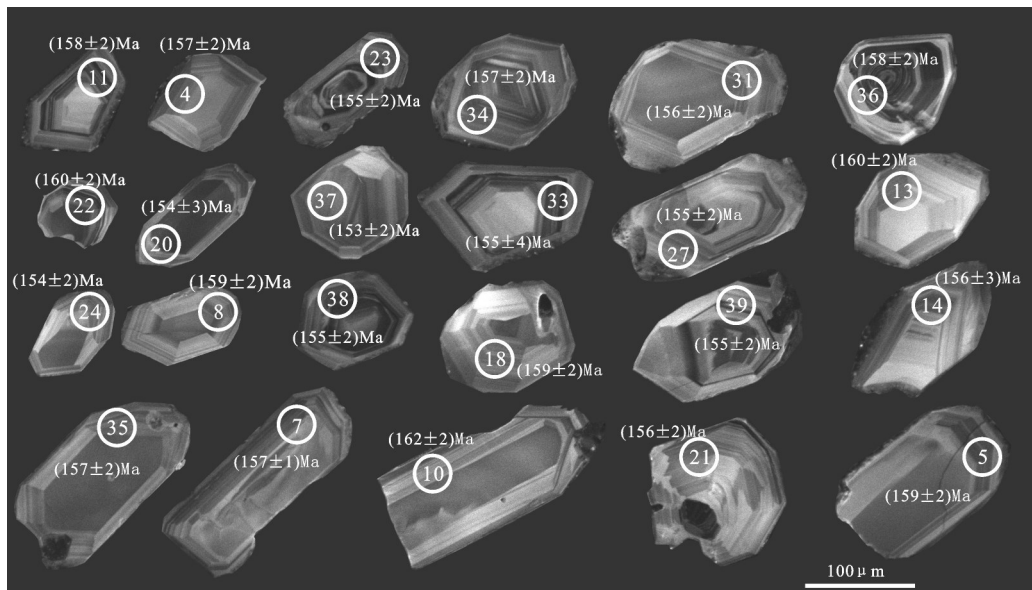


图6 流纹岩锆石阴极发光图像
Fig. 6 CL images of zircons for rhyolites

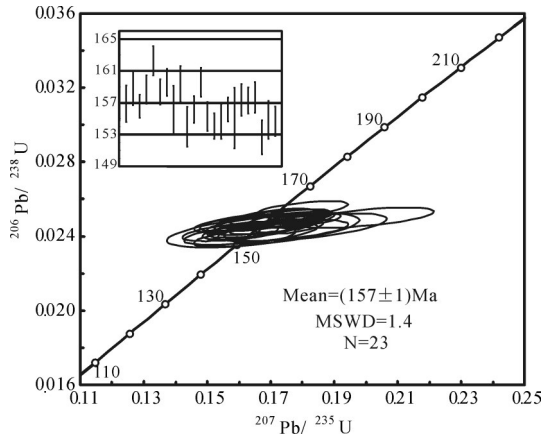


图7 流纹岩锆石U-Pb年龄谐和图
Fig. 7 U-Pb concordia diagrams for rhyolites

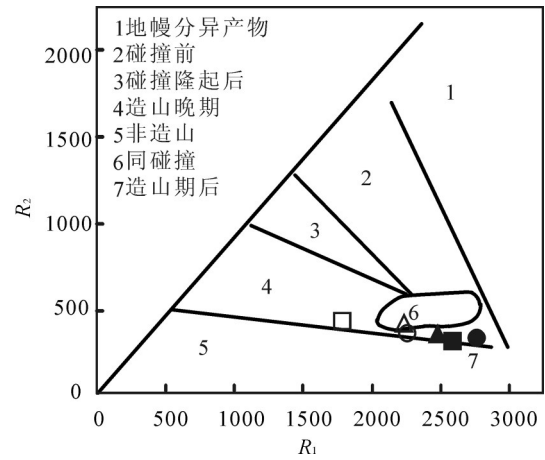


图8 岩石R₁-R₂图解(据Batchelor et al, 1985)
Fig.8 R₁-R₂ diagram of rocks
(after Batchelor et al., 1985)

安岭地区相同的火山岩(Fan et al., 2003; 孙德有等, 2011),因此研究区晚侏罗世火山岩的形成可能与太平洋板块俯冲的关系不大。

研究表明,蒙古鄂霍茨克海形成于古生代早期,于中侏罗世关闭,同时已有资料显示该地区早白垩世应处于造山后伸展环境(李锦轶等, 2004; Zorin et al., 1995, 1999)。大兴安岭区域火山岩由西向东总体上具有时代逐渐变新的趋势(Wang et al., 2006),与蒙古鄂霍茨克洋闭合的特征相符,因此认为大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩可能形成于蒙古鄂霍茨克洋闭合的造山后伸展环境。

中侏罗世大洋闭合,发生碰撞造山之后使得陆壳增厚,基性下地壳在一定条件下(>1.0 GPa)会形成榴辉岩,榴辉岩比地幔物质密度大,由于重力不平衡,加厚的陆壳于约155 Ma(晚侏罗世)发生拆沉作用(Kay and Kay, 1993; Xu et al., 2006),导致区域

在该阶段处于伸展环境。加厚的地壳因重力不稳定而拆沉到软流圈中,并发生不同程度的部分熔融,上涌的软流圈同时发生减压部分熔融,上升的幔源岩浆诱发未发生拆沉的下地壳物质发生部分熔融,从而形成满克头鄂博组。

6 结论

(1)图里河地区满克头鄂博组火山岩由酸性火山熔岩和火山碎屑岩夹沉积岩组成,流纹岩锆石U-Pb年龄为(157±1)Ma,形成时代为晚侏罗世。

(2)火山岩为高钾钙碱性、偏铝质-弱过铝质岩石,为下地壳部分熔融的产物。

(3)满克头鄂博组火山岩形成于造山后伸展环境,可能与蒙古鄂霍茨克洋闭合后的岩石圈伸展作用密切相关。

表3 大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩测年结果
Table 3 Ages of Manketou'ebo volcanic rocks of Da Hinggan Mountains

采样地区	测年结果/Ma	测试方法	来源	
大兴安岭 北段	新巴尔虎右旗	162~150	锆石 U-Pb 和 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	陈志广等, 2006
	满洲里	162~156	锆石 U-Pb	苟军, 2013
	满洲里	141	锆石 U-Pb	孟恩等, 2011
	额尔古纳	144	锆石 U-Pb	徐美君等, 2011
	得耳布尔	159	锆石 U-Pb	吴海涛等, 2014
	图里河	157	锆石 U-Pb	本文
	根河	163~160	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	Wang et al., 2006
大兴安岭 中南段	阿尔山	143~139	锆石 U-Pb	纪政等, 2015
	塔尔气	143~141	锆石 U-Pb	张超, 2014
	中南部地区	160~150/136~122	锆石 U-Pb 和 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	张吉衡, 2009

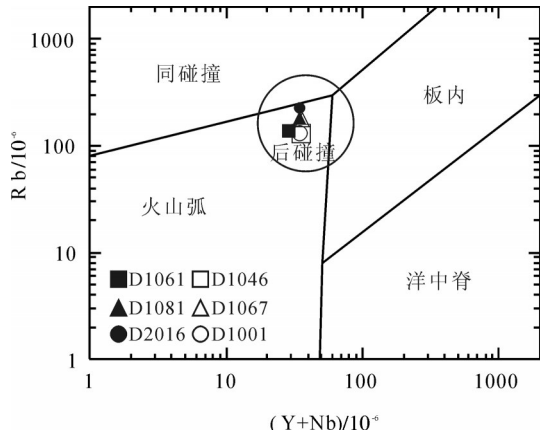


图9 岩石(Y+Nb)-Rb图解(据Pearce等,1984)

Fig. 9 (Y+Nb)-Rb diagram of rocks (after Pearce et al., 1984)

致谢: 本文野外工作得到沈阳地质调查中心邵军研究员和吉林大学李云峰老师的指导和帮助,审稿专家和编辑部老师为本文的最终定稿付出了辛勤的汗水,对他们的帮助一并表示感谢。

Reference

- Andersen T. 1992. Correction of common Lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, (1/2): 59-79.
- Atherton M P, Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. *Nature*, 362: 144-146.
- Batchelor R A, Bowden P. 1985. Petrogenetic Interpretation of granitoid rock Series using multicationic parameters[J]. *Chemical Geology*, 48: 43-45.
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[J]. *Rare Earth Element Geochemistry*, 2(2): 63-114.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Zhao Hailing, Zhao Guochun, Cao Yongqing, Yu Xuezheng. 1999. Igneous Petrotectonic assemblage and crust-mantle metallogenic system[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(2): 259-270(in Chinese with English abstract).
- Fan W M, Guo F, Wang Y J, Lin G. 2003. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121(1): 115-135.
- 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.
- Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Li Xianhua. 2000. geochemical research into origins of two types of Mesozoic rhyolites in Great Xing'an Radge[J]. *Earth Science*, 25(2): 172-178 (in Chinese with English abstract).
- 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).
- Gou Jun, Sun Deyou, Zhao Zhonghua, Ren Yunsheng, Zhang Xueyuan, Fu Changliang, Wang Xi, Wei Hongyan. 2010. Zircon U-Pb dating and petrogenesis of rhyolites in Baiyingaolao Formation from the southern Manzhouli, Inner-Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1): 333-334(in Chinese with English abstract).
- Gou Jun. 2013. Petrogenesis and Tectonic Setting of Mesozoic Volcanic Rocks, Southern Manzhouli Area, Inner Mongolia[D]. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Guo Feng, Fan Weiming, Wang Yuejun, Lin Ge. 2001. Petrogenesis of the Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mts, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1):61-68(in Chinese with English abstract).
- Han Baofu. 2007. Diverse Post-collisional Granitoids and their tectonic setting discrimination[J]. *Earth Science Frontiers*, 14(3): 64-72(in Chinese with English abstract).
- Ji Zheng, Ge Wenchun, Yang Hao, Zhao Guochun, Wang Qinghai, Bi Junhui, Dong Yu. 2015. Chronology and geochemistry of Manketo'ebo Formation, Middle Great Xing'an Range[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 45(1): 206(in Chinese with English abstract).
- Kay R W, Kay S M. 1993. Delamination and delamination magmatism[J]. *Tectonophysics*, 219(1): 177-189.
- Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms[M]. Blackwell, Oxford.193.
- 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): 157-167(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, Yuan Zhongkuan, Min Gengde, Chen Mingzhi, Li Wenyuan, Quan Zhichun, Yin Chengxiao. 1998. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in northeastern China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 33: 129-139 (in Chinese with English abstract).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Cao Lin, Sun Deyou, Lin Jingguo. 2003. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan: The bimodal volcanic rocks[J]. *Geochimica*, 32(3): 208-222(in Chinese with English abstract).
- Liu Junjie, Ju Wenxin, Zhao Jiufeng, Liu Yongzheng, Yin Jiancheng. 2006. Discussion on the characteristic and structural environmental of the Late Jurassic volcanic rock in Genhe Terrain, Daxing'anling[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*,

- 1: 40–48(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K. 2003. User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for microsoft Excel[J]. California: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1–700.
- 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).
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Petrol.*, 25(4): 956–983.
- Peccerillo R, Taylor S R. 1976. Geochemistry of eocene calc–alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. *Contrib. Mineral Petrol.*, 58: 63–81.
- Rudnick R L, Cao S. 2003. Composition of the continental crust[C]// Rudnick R L(ed.). *The Crust*, Oxford: Elsevier Pergamon, 3: 1–64.
- Shao Ji'an, Liu Futian, Chen Hui. 2000. Seismic tomography of the northwest Pacific and its geodynamic implications[J]. *Progress in Natural Science*, 10(8): 757–761(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 Da Hinggan and its implications to geotectonic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 571–594(in Chinese with English abstract).
- Slama J, Kosler J, Condon D J, Crowley J L, Gerdes A, Hanchar J M, Horstwood S A, Morris G A. 2008. Plesovice Zircon: A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis[J]. *Chemical Geology*, 249(1/2): 1–35.
- Sun Deyou, Gou Jun, Ren Yunsheng, Fu Changliang, Wang Xi, Liu Xiaoming. 2011. Zircon U–Pb dating and study on geochemistry of volcanic rocks in Manitu Formation from southern Manchuria, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(10): 2083–2094(in Chinese with English abstract).
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, 42: 313–345.
- Tang J, Xu W L, Wang F, Zhao S, Wang W. 2005. Early Mesozoic southward subduction history of the Mongol–Okhotsk oceanic plate: Evidence from geochronology and geochemistry of Early Mesozoic intrusive rocks in the Erguna massif, NE China[J]. *Gondwana Research*, 1–26.
- Wang F, Zhou X H, Zhang L C, Ying J F, Zhang Y T. 2006. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an range(NE China): Timing and implications for the dynamic setting of NE Asia[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 251(1): 179–198.
- Wu Guang, Chen Yanjing, Sun Fengyue, Li Jingchun, Li Zhitong, Wang Xijin. 2008. Geochemistry of Late Jurassic granitoids in the northern end area of Da Hinggan Mountains and their geological and prospecting implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 899–908(in Chinese with English abstract).
- Wu Taotao, Zhao Dongfang, Shao Jun, Bao Qingzhong, Qiang Hongbo. 2014. Geological and geochemical characteristics and genesis of the Biliyagu Lead–Zinc–silver deposit, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 41(4): 1242–1252(in Chinese with English abstract).
- 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 Basin in Ergun area, northeastern Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(9): 1321–1338(in Chinese with English abstract).
- Xu W L, Wang Q H, Wang D Y, Liu X M. 2006. Mesozoic adakitic rocks from the Xuzhou–Suzhou area, eastern China: Evidence for partial melting of delaminated lower continental crust[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(4): 454–464.
- Xu Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, Meng En, Tang Jie, Xu Meijun, Wang Wei. 2013. 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).
- Yin Zhigang, Zhao Haibin, Zhao Handong, Zhang Yuelong. 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*, 2005, 24(9): 848–853(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chao, Yang Weihong, He Zhonghua, Wu Hao, Wu Qing. 2014. Chronology and geochemistry of rhyolites in Manketouebo Formation from Ta'erqi Area, southern–central Greater Xing'an Range[J]. *Global Geology*, 33(2): 254–264(in Chinese with English abstract).
- Zhang L C, Zhou X H, Ying J F. 2008. Geochemistry and Sr–Nd–Pb–Hf isotopes of Early Cretaceous basalts from the Great Xinggan Range, NE China: Implications for their origin and mantle source characteristics[J]. *Chem. Geol.*, 256: 12–23.
- Zhang J H, Ge W C, Wu F Y, Liu X M. 2006. Mesozoic bimodal volcanic suite in Zhalantun of the Da Hinggan Range and its geological significance: Zircon U–Pb age and Hf isotopic constraints [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80: 801–812.
- Zhang Jiheng. 2009. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, Northeastern China[D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Zhang J H, Gao S, Ge W C, Yang J H, Wilde Simon A, Li M. 2010. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: Implications for subduction–induced delamination [J]. *Chemical Geology*, 276: 144–165.
- Zhang L C, Zhou X H, Ying J F. 2008. Geochemistry and Sr–Nd–Pb–Hf isotopes of Early Cretaceous basalts from the Great Xinggan Range, NE China: Implications for their origin and mantle source characteristics[J]. *Chem. Geol.*, 256: 12–23.

- Zhang Qi, Ran Hao, Li Chengdong. 2012. A-type granite: What is the essence? [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(4): 621–626(in Chinese with English abstract).
- Zhao Dapeng, Lei Jianshe, Tang Rongyu. 2004. Origin of Changbai volcano in Northeast China: Evidence of seismic tomography[J]. *Chinese Sci. Bull.*, 49(14): 1439–1446(in Chinese with English abstract).
- Zhao Shuyue, Han Yandong, Zhu Chunyan, Guo Kuicheng, Wang Jianmin, Liu Baoshan. 2004. Significance of intermediate and intermediate-acid volcanic rocks in the northern sector of the Da Hinggan volcanic eruption zone[J]. *Journal of Geomechanics*, 10(3): 276–287(in Chinese with English abstract).
- Zhou Qilin, Wang Xianzhong, Ji Feng, Liu Zhijie, Liu Tao, Zhao Bingxin, Huai Baofeng, Li Dexin, Biao Shanghu. 2013. Corresponding relations of Mesozoic volcanic formations in the Da Hinggan Mountains[J]. *Geological Review*, 59(6) : 1077–1084(in Chinese with English abstract).
- Zorin Y A, Belichenko V G, Turatanov E K. 1995. The East Siberia Transects[J]. *Internal Geol. Review*, 37: 154–175.
- Zorin Y A. 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia–Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region(Russia) and Mongolia[J]. *Tectonophysics*, 306: 33–56.
- ### 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]. *岩石学报*, 22(12): 2971–2986.
- 邓晋福, 莫宣学, 罗照华, 赵海玲, 赵国春, 曹永清, 于学政. 1999. 火成岩构造组合与壳-幔成矿系统[J]. *地学前缘*, 6(2): 259–270.
- 韩宝福. 2007. 后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性[J]. *地学前缘*, 14(3): 64–72.
- 高晓峰, 郭峰, 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, 李献华. 2000. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究[J]. *地球科学*, 25(2): 172–178.
- 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): 333–334.
- 苟军. 2013. 满洲里南部中生代火山岩的时代、成因及构造背景[D]. 长春: 吉林大学.
- 郭峰, 范蔚茗, 王岳军, 林舸. 2001. 大兴安岭南段中生代双峰式火山作用[J]. *岩石学报*, 17(1): 61–68.
- 纪政, 葛文春, 杨浩, 赵国春, 王青海, 毕君辉, 董玉. 2015. 大兴安岭中段满克头鄂博组火山岩年代学与地球化学[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 45(1): 206.
- 李锦轶, 莫申国, 何政军, 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): 157–167.
- 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: 129–139.
- 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.
- 刘俊杰, 鞠文信, 赵九峰, 张海平, 柳永正, 殷建成. 2006. 大兴安岭根河岩区晚侏罗世火山岩特征及构造环境探讨[J]. *华南地质与矿产*, 1: 40–48.
- 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Pb年代学、地球化学及其地质意义[J]. *岩石学报*, 27(4): 1209–1226.
- 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): 757–761.
- 孙德有, 苟军, 任云生, 付长亮, 王晰, 柳小明. 2011. 满洲里南部玛尼吐组火山岩锆石U–Pb年龄与地球化学研究[J]. *岩石学报*, 27(10): 2083–2094.
- 吴涛涛, 赵东芳, 邵军, 鲍庆中, 王宏博. 2014. 内蒙古哥伦比亚谷铅锌银矿床地质地球化学特征及成因[J]. *中国地质*, 41(4): 1242–1252.
- 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一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. 2013. 中国东北中生代构造体制与区域成矿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.
- 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.
- 张超, 杨伟红, 和钟铎, 吴浩, 吴庆. 2014. 大兴安岭中南段塔尔气地区满克头鄂博组流纹岩年代学和地球化学研究[J]. *世界地质*, 33(2): 254–264.
- 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]. 北京: 中国地质大学.
- 张旗, 冉峰, 李承东. 2012. A型花岗岩的实质是什么?[J]. *岩石矿物学杂志*, 31(4): 621–626.
- 赵大鹏, 雷建设, 唐荣余. 2004. 中国东北长白山火山的起源: 地震层析成像证据[J]. *科学通报*, 49(14): 1439–1446.
- 赵书跃, 韩彦东, 朱春燕, 郭奎城, 王建民, 刘宝山. 2004. 大兴安岭火山喷发带北段中性、中酸性火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. *地质力学学报*, 10(3): 276–287.
- 周其林, 王献忠, 吉峰, 刘智杰, 刘涛, 赵炳新, 怀宝峰, 李德新, 表尚虎. 2013. 大兴安岭中生代火山岩地层对比[J]. *地质评论*, 59(6) : 1077–1084.