文章编号：1004—5589（2017）02—0346—15

大兴安岭中段索伦地区玛尼吐组火山岩年代学、地球化学及其构造背景

杜岳丹[1]，和钟铧[1]，隋振民[2]，谭皓元[1]，任子慧[1]

1. 吉林大学 地球科学学院，长春 130061；
2. 吉林农业大学 环境与资源学院，长春 130118

摘要：索伦地区玛尼吐组火山岩岩相学鉴定为安山岩、粗安岩和英安岩，化学成分显示以玄武粗面安山岩、粗安岩为主，少量流纹岩。LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年结果显示其形成于 130～132 Ma 之间的早白垩世。地球化学特点上主要属高钾钙碱性系列。稀土总量较高（95.19～198.38）$\times10^{-6}$，轻重稀土分馏较明显（LREE/HREE=6.38～10.59），弱的负铕异常（δEu=0.68～1.01），富集大离子亲石元素（K、Rb、Th）和轻稀土元素，亏损高场强元素（Nb、Ta、P、Ti）。微量元素具高 Sr（多 $>499\times10^{-6}$）和低 Yb（最大值为 $2.83\times10^{-6}<3.6\times10^{-6}$）、Y（多 $<29.9\times10^{-6}$）和高 Sr/Y 和低 Rb/Sr 比值，显示了弧火山岩的特征。正的 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值（7.3～13.7），锆石 $^{176}Hf/^{177}Hf$ 平均值为 0.282 964，显示玛尼吐组安山质岩浆源区主要为岩石圈地幔和新增生下地壳的部分熔融，且岩浆形成的过程中受到了流体的改造作用。玛尼吐组火山岩形成于岛弧构造环境，该岛弧构造背景的产生可能与受古太平洋板块俯冲作用有关。

关键词：大兴安岭；内蒙古；索伦；玛尼吐组；锆石 U-Pb；Lu-Hf 同位素

中图分类号：P597；P595　　**文献标识码**：A　　**doi**：10.3969/j.issn.1004-5589.2017.02.003

Zircon U-Pb ages, geochemical characteristics and tectonic implications of volcanic rocks from Manitu Formation of Suolun area in central Great Xing'an Range

DU Yue-dan[1], HE Zhong-hua[1], SUI Zhen-min[2], TAN Hao-yuan[1], REN Zi-hui[1]

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;
2. College of Resources and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

Abstract: The volcanic rocks in Manitu Formation of Suolun area are composed of andesite, trachy-andesite and dacite petrographically, but they are mainly basaltic andesite or trachy-andesite with minor rhyolite based on chemical composition. Zircon U-Pb dating results show that they formed in Early Cretaceous from 130 to 132 Ma. These volcanic rocks belong to high-K calc-alkaline series. They are high in total rare earth elements ($\sum$REE = 95.19×10^{-6}～198.38×10^{-6}), with high LREE/HREE (6.38～10.59) and negative Eu anomalies (δEu = 0.68～1.01). The volcanic rocks are enriched in LILE (K, Rb, Th) and LREE, but depleted in HFSE (Nb, Ta, P, Ti). Trace elements are characterized by high Sr ($>499\times10^{-6}$), low Yb (the maximum is 2.83×10^{-6},

收稿日期：2016-11-02；**改回日期**：2017-05-03
基金项目：中国地质调查局区域地质调查项目（121201140129O1）.
通讯作者：和钟铧（1968-），男，教授，主要从事构造地质方面的研究. E-mail：hezhonghua@126.com

$<3.6\times10^{-6}$) and Y (majority $<29.9\times10^{-6}$), and high ratio of Sr/Y and low ratio of Rb/Sr, indicating the characteristic of arc volcanic rocks. The volcanic rocks have positive values of $\varepsilon_{Hf}(t)$ (7.3 ~ 13.7), and the initial $^{176}Hf/^{177}Hf$ ratios for magmatic zircons is 0.282 964, suggesting that the andesitic magma of Manitu Formation was derived from the lithosphere mantle and partial melting of newly accreted lower crust, and is affected by the subduction fluid. Volcanic rocks of Manitu Formation formed in the island arc tectonic environment caused by the subductions of the Paleo-Pacific Plate beneath the Eurasian continent.

Key words: central Great Xing'an Range; Inner Mongolia; Suolun; Manitu Formation; zircon U-Pb dating; geochronology; Hf isotope

0　引言

大兴安岭呈 NNE 向纵贯整个东北地区。纵切华北板块与西伯利亚板块缝合带，叠加于松嫩微陆块、兴安微陆块及额尔古纳微陆块之上，整体为巨型火山岩带所覆盖。近年来，大兴安岭中生代火山岩研究工作不断深入，积累了大量高精度锆石 U-Pb、$^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素年龄，同时取得了晚中生代火山岩岩相学、年代学、地球化学资料和成果。但这些成果在空间上主要以北段[1-12]和南段[13-18]以及部分构造背景[19-26]的研究为主，对于南北段交汇的中段[27,28]地区资料比较缺乏；在年代上以满克头鄂博组[29-31]与白音高老组[9,12,32-34]为主，对于玛尼吐组[10,11,35]的研究亦较少。尤其是玛尼吐组火山岩作为承上启下的地层单元，可靠年龄及地球化学数据较少，组内独立的 Lu-Hf 同位素研究不多，仅孙德有[10]在满洲里地区进行过研究，且其时代为晚侏罗世，时间上与大兴安岭主脊地区玛尼吐组年龄分布多为 130 ~ 145 Ma 之间的早白垩世的特点不一致，空间上对广大的大兴安岭中段地区代表性也较差[6,7,10,18,23,26-28,35]。目前研究表明安山岩可出现在不同的构造环境，其成因十分复杂[17]。本文在已有研究成果的基础上，对索伦地区玛尼吐组火山岩进行了详细的岩相学、U-Pb 测年和同位素地球化学研究，为该地区中生代构造岩浆活动和火山岩形成的构造背景提供参考，为进一步理解大兴安岭巨型火山岩带的成因提供材料。

1　地质背景与岩石学特征

兴蒙造山带位于华北板块与西伯利亚板块之间，属于东亚造山带的东延部分，具有多块体拼贴的构造属性[36]。大兴安岭地区自西向东可划分出三个微地块，分别为额尔古纳地块、兴安地块和松嫩地块（图 1）。在古生代该区处于古亚洲洋构造演化阶段；兴安地块沿塔源—喜桂图断裂于早古生代早期与额尔古纳地块拼合[37,38]；松嫩地块沿贺根山—黑河断裂于晚古生代与兴安地块拼贴[38]，之后这些微陆块作为一个整体在古生代末期与华北陆块拼合，完成了华北板块与西伯利亚板块的碰撞拼贴及期间古亚洲洋的消减闭合。自中生代以来，大兴安岭地区又遭受到了蒙古—鄂霍茨克构造域与古太平洋构造域的叠加改造。岩浆活动强烈，盆岭构造发育，广泛发育中生代花岗岩与火山岩[7,38,39]。

索伦地区位于兴安地块，属大兴安岭中段地区，在地理划分方法中属于南段北缘（一般认为 47°20′为南北分区线），在 Nd 同位素填图中属于北段南缘[15,22]，是南北大兴安岭火山岩的重要衔接地带。

研究区前中生代地层出露较少，主要为哲斯组、林西组的浅变质岩及大石寨组火山岩。大面积分布中生代的火山岩和侵入岩，且该区域玛尼吐组十分发育，总体上横贯研究区中部。该区中生代火山岩主体地层自下而上依次为晚侏罗世满克头鄂博组，主要为一套酸性火山岩、火山碎屑岩；早白垩世玛尼吐组，主要为中基性-中酸性火山熔岩和火山碎屑岩；早白垩世白音高老组，主体岩性为酸性火山岩、火山碎屑岩。侵入岩以早白垩世的黑云母正长花岗岩、黑云母二长花岗岩和花岗斑岩与闪长玢岩为主，以及部分晚侏罗世的花岗闪长岩（图 1）。该区域出露的玛尼吐组火山岩主体岩性为安山岩、角闪安山岩、粗面安山岩、英安岩及部分安山质岩屑晶屑凝灰熔岩。

安山岩　岩石具有斑状结构，块状构造。斑晶为斜长石，含量一般约占岩石总体的 5% ~15%，个别达 20%。斜长石呈半自形-自形板状，粒径 1.0 ~7.0 mm，聚片双晶发育，绢云母化轻微，部

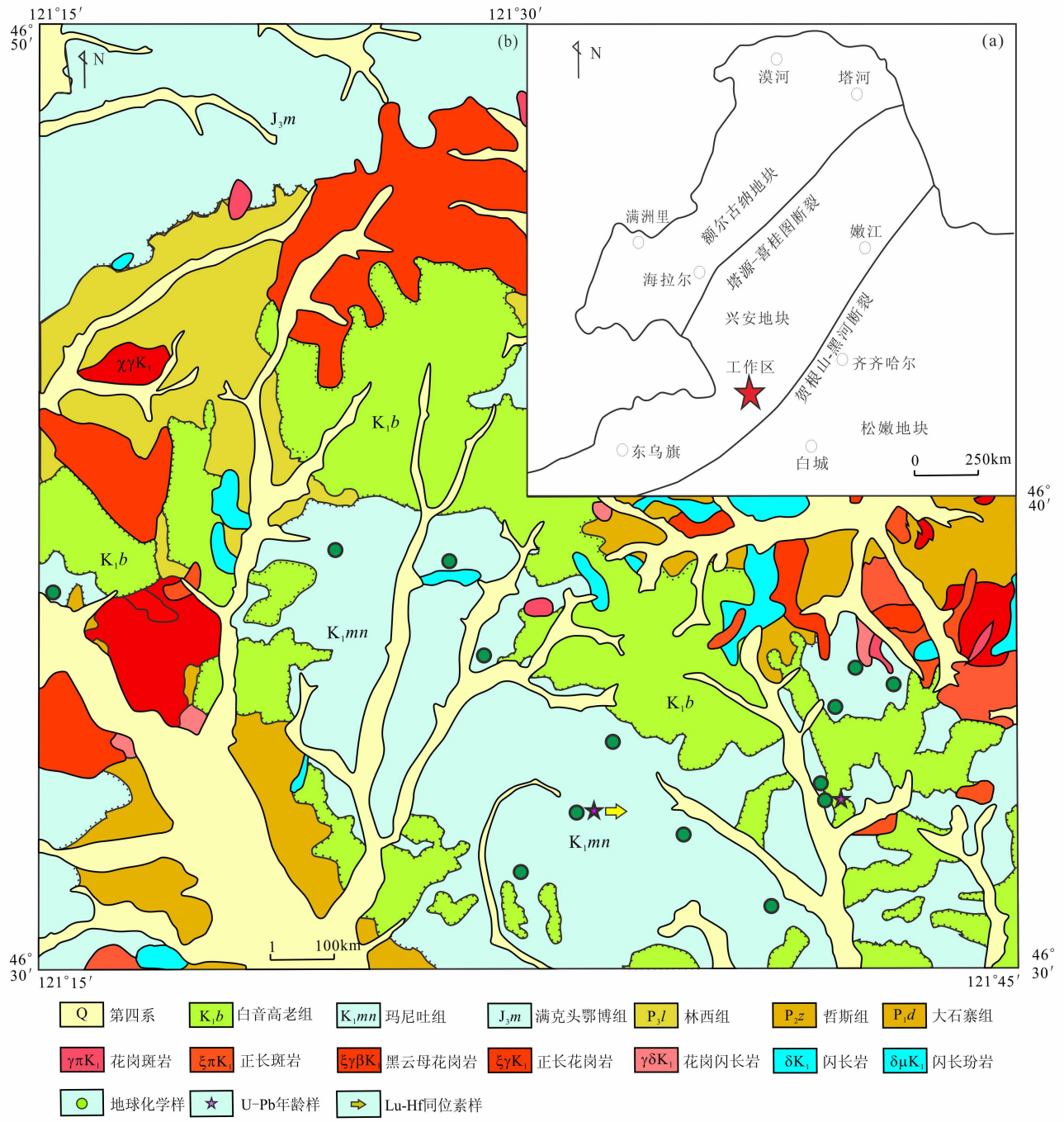


图 1 大兴安岭中部索伦地区地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of Suolun Region, Great Xing'an Range

分颗粒可见熔蚀麻点结构。基质多为交织结构、玻晶交织结构，主要由斜长石、火山玻璃及少量不透明矿物磁铁矿组成，板条状、针状斜长石微晶半定向排列，所构成的不规则格架中充填有火山玻璃、隐晶质及少量不透明矿物磁铁矿和细小的角闪石(图 2a)。部分安山岩无斑晶，岩石整体为交织结构，局部为玻晶交织结构，块状构造，岩石主要由斜长石微晶和火山玻璃及不透明矿物磁铁矿组成(图 2b)。

角闪安山岩 岩石具斑状结构，块状构造。斑晶含量约为 5% ~15%，斑晶成分为斜长石和角闪石。斜长石斑晶为半自形板状，粒径在 0.5 ~ 3.0

mm，可见聚片双晶，绢云母化明显。一级灰白干涉色。斑晶角闪石为半自形柱状，含量约为 3% ~ 6%，粒径在 0.5 ~ 3.0 mm，具有浅绿色-绿色多色性，部分角闪石具有暗化边。基质为玻晶交织结构，板条状斜长石微晶杂乱分布，期间充填有隐晶质、火山玻璃和不透明矿物磁铁矿（图 2c）。

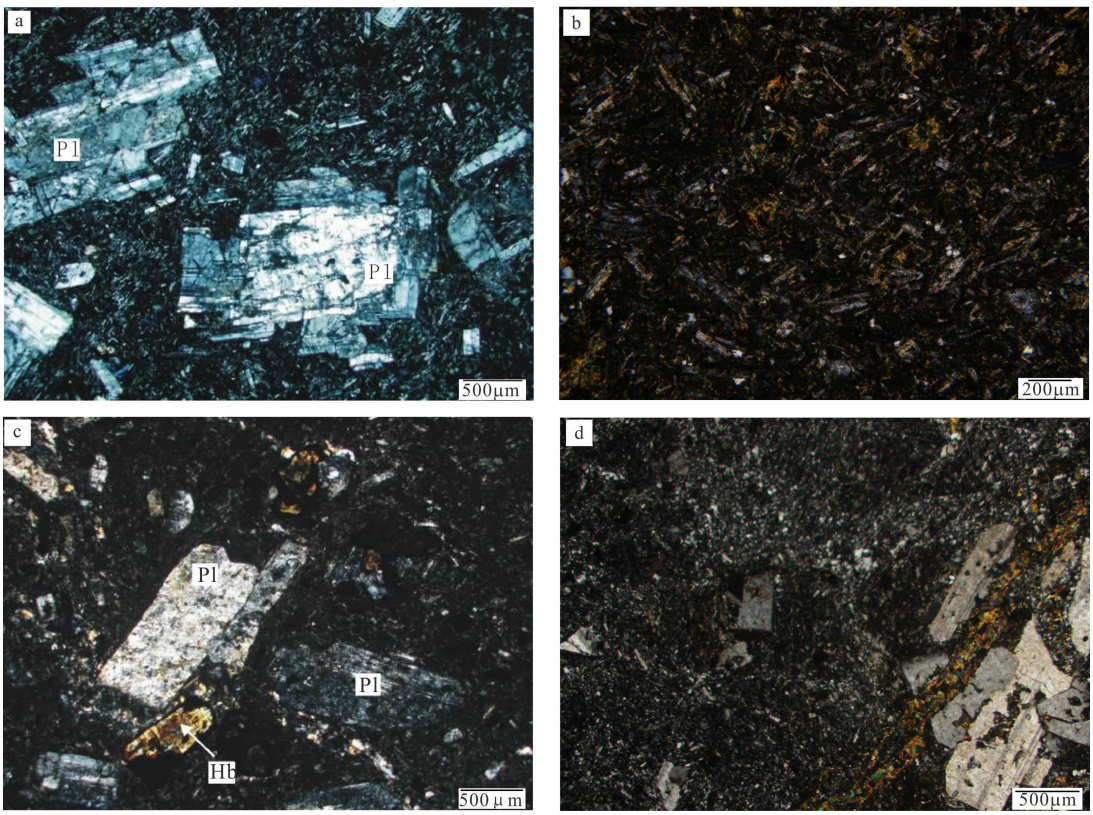


图 2　索伦地区玛尼吐组火山岩显微照片

Fig. 2　Microphotographs of Manitu Formation from Suolun region, Great Xing'an Range

粗安岩　岩石具斑状结构，流动构造。斑晶主要为斜长石，少量碱性长石，含量约占岩石总体的 6% ~8%。斑晶斜长石半自形板状，粒径在 0.5 ~ 1.5 mm，可见聚片双晶，绢云母化明显。碱性长石斑晶半自形板状，变种为正长石粒径在 0.5 ~ 1.5 mm，土化明显。基质为玻晶交织结构，基质主要由细板条状斜长石微晶组成，少量碱性长石微晶出现，细板条状长石微晶半定向排列，充填有火山玻璃（图 2d）。

2　分析方法

本文样品的锆石分选由河北区域地质矿产调查研究所完成；锆石制靶、显微图像采集、U-Pb 年龄测定及元素地球化学数据分析等均在中国地质大学（北京）完成；锆石原位 Lu-Hf 同位素分析在中国科学院地质与地球物理研究所完成。He 气作为剥蚀物质的载气，使用美国国家标准技术研究院的人工合成硅酸盐玻璃标准物质 NIST610 进行仪器最佳化，使用哈佛大学国际标准锆石 91500 作为外标，对剥蚀和传输以及离子化过程中的质量歧视效应和同位素分馏进行校正。本文锆石测定过程中激光束斑直径为 30 μm，所测单点的同位素比值及元素含量采用 GLITTER4.0 软件进行处理，普通 Pb 校正按照文献［40］的方法用 ComPbCorr3.15 软件进行，最后使用 Isoplot 3.0 软件进行锆石 U-Pb 谐和图的绘制和年龄计算。详细的实验分析步骤和数据处理方法参见文献［41］。锆石微区 Hf 同位素测定实验过程中使用 193 nm 激光系统与 Neptune MC -ICP -MS 联用进行 Lu -Hf 同位素分析。实验过程中采用高纯度的氦气（He）作为剥蚀物质的载气，所使用的激光束斑直径为 60 μm，激光脉冲宽度为 15 ns，剥蚀采样时间为 23 s，采用国际标

准锆石 91500 进行仪器最佳化，详细的测试步骤及仪器运行条件等，参见文献［42］。河北区域地质矿产调查研究所实验室完成了全岩主、微量元素的测定。主量元素采用 XRF 玻璃熔片法分析，分析精度和准确度优于 5%；稀土和微量元素采用 ICP-MS 分析方法，分析精度和准确度一般优于 10% 。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年代学

本次研究分别对索伦地区玛尼吐组的两件火山岩样品（P18-3-2、PB2060）进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析（表 1）。锆石的阴极发光（CL）图像显示，所测火山岩样品的锆石均为自形-半自形晶，呈长柱状、短柱状，发育清晰的震荡生长环带（图 3），结合其较高的 Th/U 比值（各点均 >0.1，平均值分别为 0.56 和 0.52），暗示其为典型岩浆成因锆石（表 1）。

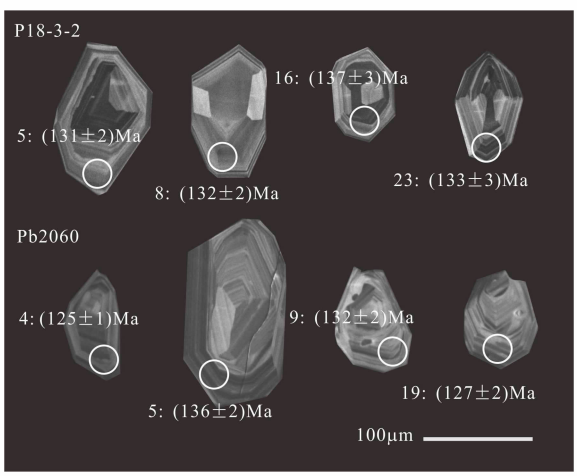


图 3 索伦地区玛尼吐组火山岩锆石 CL 图像

Fig. 3 Zircon CL images of Manitu Formation in Suolun region

样品 P18-3-2（46°33′11″N，121°39′34″E），从岩相学看属于蚀变安山岩，按化学成分属于英安岩。25 个锆石颗粒分析点全部位于 U-Pb 谐和线上，其 $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄介于 126 ~ 140 Ma 之间，其中两个测点由于平均方差较大，运用 Isoplot 3.0 软件投图时自动进行了剔除，加权平均年龄为（132 ± 1.8）Ma，（MSWD = 3.6，n = 23）（图 4），代表岩浆结晶年龄。说明该火山岩形成时代为早白垩世。

样品 PB2060（46°33′24″N，121°33′32″E），从岩相学看属于安山岩，按化学成分属于安山岩。15 个锆石颗粒分析点除 6 号外（CL 图像显示其环带结构不清晰），均位于 U-Pb 谐和线上，$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄介于 125 ~ 136 Ma 之间，加权平均年龄为（130 ± 2.7）Ma，（MSWD = 4.3，n = 13），代表岩浆结晶年龄。另有一粒锆石年龄为（154 ± 2）Ma，应当属于捕获锆石（图 4）。

除极少量的不谐和年龄点外，两组 U-Pb 年龄数据绝大多数显示谐和度较好，本区玛尼吐组火山岩形成于 130 ~ 132 Ma 之间的早白垩世，而不是前人认为的晚侏罗世。

3.2 火山岩的地球化学特征

3.2.1 主量元素

由 TAS 分类图解（图 5a）可以看出，本区玛尼吐组火山岩主要表现为玄武安山岩、粗面玄武质安山岩、粗安岩、粗面岩和英安岩。从表 2 中可以看出研究区安山岩整体上具有高 SiO_2 含量（52.11% ~ 69.63%）、Al_2O_3 含量（15.46% ~ 18.51%，平均值 16.97%）、K_2O 含量（0.90% ~ 4.10%）、Na_2O 含量（3.29% ~ 7.44%）及全碱含量（$K_2O + Na_2O$ = 4.82% ~ 8.54%，平均值 6.86%）的特征和低的 MgO 含量（0.27% ~ 3.98%，平均值为 2.33%）、$Mg^{\#}$值（14 ~ 49），且含量与 SiO_2 呈现明显的负相关。在 SiO_2 - K_2O（图 5b）图解中大部分样品属于高钾钙碱性系列，部分 SiO_2 含量较低的样品属于钙碱性系列。火山岩的 CaO 含量为 1.32% ~ 7.31%，平均值为 4.42%；岩石富含 Na_2O，K_2O/Na_2O 在 0.12 ~ 1.03，平均值为 0.58，相对富碱且具有变化范围较大的铝指数，$Al_2O_3/(CaO + K_2O + Na_2O)$ 为 0.82 ~ 1.12，过碱指数 $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3$ 为 0.41 ~ 0.81，属于准铝质-弱过铝质系列。TiO_2 含量、MnO 含量及 P_2O_5 含量均较低。

综上，常量元素地球化学特征显示玛尼吐组火山岩具有高钾钙碱性弱过铝质岩石特征，总体上显示富碱，贫钙、镁的特点。

3.2.2 稀土及微量元素特征

玛尼吐组火山岩稀土元素总量（ΣREE）为 $95.19 \times 10^{-6} \sim 198.38 \times 10^{-6}$，平均值为 131.18×10^{-6}，变化范围较大；具有较高的 LREE/HREE 分馏指数，为 6.38 ~ 9.64。轻稀土元素（LREE）含

表 1　索伦地区玛尼吐组火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果

Table 1　Zircon LA-ICP-MS U-Pb data for Manitu Formation in Suolun region

测点号	含量/10^{-6}		Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$\pm1\sigma$	$^{207}Pb/^{235}U$	$\pm1\sigma$	$^{206}Pb/^{238}U$	$\pm1\sigma$	年龄/ Ma					
	Th	U								$^{207}Pb/^{206}Pb$	$\pm1\sigma$	$^{207}Pb/^{235}U$	$\pm1\sigma$	$^{206}Pb/^{238}U$	$\pm1\sigma$
P18-3-2-1	88	174	0.51	0.048 4	0.002 2	0.131 7	0.005 8	0.019 8	0.000 4	116	68	126	5	126	2
P18-3-2-2	142	247	0.57	0.050 2	0.001 8	0.142 4	0.005 0	0.020 6	0.000 3	202	52	135	4	131	2
P18-3-2-3	88	175	0.50	0.051 4	0.002 5	0.143 1	0.006 8	0.020 2	0.000 4	261	74	136	6	129	2
P18-3-2-4	112	185	0.61	0.050 2	0.002 3	0.130 7	0.005 8	0.018 9	0.000 3	205	69	125	5	121	2
P18-3-2-5	63	145	0.44	0.046 7	0.002 3	0.132 2	0.006 4	0.020 6	0.000 4	32	69	126	6	131	2
P18-3-2-6	92	221	0.42	0.049 4	0.002 0	0.137 7	0.005 4	0.020 2	0.000 3	168	60	131	5	129	2
P18-3-2-7	126	237	0.53	0.047 2	0.001 8	0.133 6	0.004 9	0.020 5	0.000 3	59	53	127	4	131	2
P18-3-2-8	159	249	0.64	0.049 3	0.001 9	0.140 4	0.005 2	0.020 6	0.000 3	164	56	133	5	132	2
P18-3-2-9	98	180	0.54	0.050 2	0.002 2	0.145 0	0.006 3	0.021 0	0.000 4	202	68	137	5	134	2
P18-3-2-10	150	232	0.64	0.048 7	0.001 9	0.145 0	0.005 6	0.021 6	0.000 4	134	60	138	5	138	2
P18-3-2-11	194	264	0.74	0.048 4	0.001 8	0.138 9	0.005 1	0.020 8	0.000 3	117	56	132	5	133	2
P18-3-2-12	171	229	0.75	0.051 5	0.002 4	0.138 6	0.006 3	0.019 5	0.000 4	262	71	132	6	125	2
P18-3-2-13	125	227	0.55	0.047 9	0.001 9	0.136 6	0.005 4	0.020 7	0.000 4	93	59	130	5	132	2
P18-3-2-14	119	226	0.53	0.052 2	0.002 2	0.140 9	0.005 8	0.019 6	0.000 4	294	62	134	5	125	2
P18-3-2-15	91	185	0.49	0.049 3	0.002 1	0.140 1	0.006 0	0.020 6	0.000 4	161	66	133	5	132	2
P18-3-2-16	87	155	0.56	0.048 0	0.002 4	0.142 6	0.007 0	0.021 5	0.000 4	100	77	135	6	137	3
P18-3-2-17	120	242	0.50	0.045 9	0.001 9	0.132 9	0.005 4	0.021 0	0.000 4	-8	53	127	5	134	2
P18-3-2-18	151	272	0.55	0.058 0	0.003 6	0.165 6	0.009 8	0.020 7	0.000 5	531	89	156	9	132	3
P18-3-2-19	75	170	0.44	0.046 6	0.002 2	0.134 6	0.006 1	0.021 0	0.000 4	27	63	128	5	134	2
P18-3-2-20	78	172	0.45	0.049 8	0.002 4	0.151 3	0.007 3	0.022 0	0.000 4	188	77	143	6	140	3
P18-3-2-21	192	284	0.68	0.050 8	0.001 8	0.149 5	0.005 1	0.021 4	0.000 4	130	49	141	5	136	2
P18-3-2-22	213	291	0.73	0.050 7	0.001 8	0.151 2	0.005 2	0.021 6	0.000 4	228	49	143	5	138	2
P18-3-2-23	86	164	0.52	0.051 3	0.002 8	0.147 1	0.007 8	0.020 8	0.000 4	253	83	139	7	133	3
P18-3-2-24	137	243	0.56	0.048 6	0.003 4	0.146 1	0.010 0	0.0218 0	0.000 4	127	160	138	9	139	3
P18-3-2-25	85	172	0.49	0.047 4	0.002 1	0.152 5	0.006 6	0.023 3	0.000 4	69	63	144	6	149	3
PB2060-01	39	79	0.49	0.056 1	0.004 1	0.154 7	0.011 0	0.020 0	0.000 4	456	168	146	10	128	2
PB2060-02	99	262	0.38	0.049 0	0.001 2	0.141 1	0.003 3	0.020 9	0.000 2	149	35	134	3	133	1
PB2060-03	30	87	0.35	0.050 1	0.002 6	0.136 7	0.006 8	0.019 8	0.000 3	200	85	130	6	126	2
PB2060-04	105	332	0.32	0.048 3	0.001 4	0.130 0	0.003 4	0.019 5	0.000 2	112	41	124	3	125	1
PB2060-05	95	190	0.50	0.049 3	0.001 6	0.145 3	0.004 3	0.021 4	0.000 3	162	48	138	4	136	2
PB2060-08	81	158	0.51	0.053 4	0.002 0	0.156 6	0.005 7	0.021 3	0.000 3	344	57	148	5	136	2
PB2060-09	85	148	0.58	0.047 6	0.001 7	0.135 4	0.004 7	0.020 6	0.000 3	77	55	129	4	132	2
PB2060-11	61	104	0.59	0.051 9	0.002 4	0.172 4	0.007 5	0.024 1	0.000 4	279	71	162	6	154	2
PB2060-12	78	126	0.62	0.047 5	0.001 9	0.138 6	0.005 2	0.021 2	0.000 3	74	60	132	5	135	2
PB2060-14	44	95	0.47	0.047 6	0.002 3	0.141 9	0.006 5	0.021 6	0.000 3	78	73	135	6	138	2
PB2060-17	33	81	0.41	0.049 9	0.002 3	0.144 5	0.006 4	0.021 0	0.000 3	191	76	137	6	134	2
PB2060-18	163	265	0.62	0.050 7	0.001 6	0.144 2	0.004 2	0.020 7	0.000 2	225	46	137	4	132	2
PB2060-19	114	164	0.69	0.055 0	0.003 4	0.150 9	0.009 0	0.019 9	0.000 3	410	141	143	8	127	2
PB2060-21	88	142	0.62	0.046 1	0.002 8	0.126 5	0.007 5	0.019 9	0.000 3	131	133	121	7	127	2

表2 索伦地区玛尼吐组火山岩主量元素（%）和微量元素（10^{-6}）分析结果

Table 2 Major and trace element data for Manitu Formation in Suolun region

样号	*AB9138-2	PB3010	PB2008	PB9070	P8-25-1	PB4239	PB2060	PB2242-2	P18-3-3	PB4049	*AB2219	AB1241	P10-13-1	*P18-3-2
岩性	安山岩	角闪安山岩	辉石安山岩	辉石安山岩	安山质岩屑熔岩	安山岩	安山岩	安山岩	安山岩	角闪安山岩	安山岩	安山岩	安山岩	安山岩
SiO_2	54.95	54.11	54.07	55.87	55.96	60.30	58.22	62.96	52.11	60.94	56.94	68.94	60.88	69.63
TiO_2	1.08	1.05	1.07	0.99	0.82	0.80	0.86	0.79	0.95	0.72	1.20	0.35	1.09	0.43
Al_2O_3	16.94	18.29	17.78	17.27	18.51	17.41	17.35	15.92	18.41	16.44	15.46	15.66	16.53	15.64
Fe_2O_3	2.49	5.44	4.13	3.80	6.69	2.63	6.97	2.76	4.68	3.92	6.22	2.96	5.61	2.64
FeO	4.85	2.98	3.75	3.77	1.94	2.72	0.91	2.10	3.05	1.53	2.73	0.18	1.32	0.58
CaO	5.11	6.66	7.31	6.70	3.64	4.98	5.63	2.42	4.49	4.48	4.82	1.43	2.87	1.32
MgO	2.92	2.96	3.98	3.73	1.95	2.09	3.26	1.92	3.67	2.16	2.16	0.33	1.22	0.27
K_2O	1.93	1.91	1.35	1.16	3.80	2.82	1.62	3.84	2.45	3.38	1.36	4.10	3.16	0.90
Na_2O	4.49	3.54	3.62	3.66	4.61	3.98	3.77	3.79	4.70	3.29	5.77	4.44	5.19	7.44
MnO	0.12	0.18	0.14	0.14	0.12	0.10	0.14	0.07	0.21	0.11	0.14	0.08	0.09	0.05
P_2O_5	0.27	0.29	0.29	0.26	0.39	0.31	0.26	0.25	0.32	0.20	0.61	0.13	0.41	0.18
LOI	4.62	2.30	2.20	2.34	3.45	1.59	1.93	2.87	4.75	2.45	5.28	1.09	2.93	0.80
TOL	99.77	99.70	99.69	99.68	101.90	99.71	100.90	99.69	99.79	99.63	102.70	99.70	101.30	99.87
K_2O/Na_2O	0.43	0.54	0.37	0.32	0.82	0.71	0.43	1.01	0.52	1.03	0.24	0.92	0.61	0.12
K_2O+Na_2O	6.42	5.44	4.97	4.82	8.41	6.80	5.39	7.63	7.15	6.67	7.13	8.54	8.35	8.33
A/CNK	0.95	0.96	0.90	0.93	1.05	0.97	1.00	1.11	1.04	0.99	0.82	1.12	1.00	1.04
A/NK	1.83	2.37	2.46	2.44	1.61	1.85	2.23	1.56	1.81	1.85	1.45	1.36	1.41	1.23
Li	75.65	31.87	6.50	19.89	36.00	17.51	27.60	38.24	67.53	28.35	36.5	15.31	43.90	15.58
Be	1.40	1.42	1.19	1.23	1.39	1.59	1.21	1.69	1.36	2.00	1.18	2.23	1.60	2.30
Sc	14.43	13.42	15.75	17.46	10.10	12.13	16.20	8.19	13.05	12.85	13.90	3.99	10.90	6.04
V	161.39	161.47	157.36	171.09	91.55	93.57	102.04	79.68	144.47	104.22	82.13	35.43	89.29	29.25
Cr	24.38	11.81	31.66	42.19	2.28	11.60	15.90	17.05	27.50	23.94	11.60	9.08	10.50	6.44
Co	28.29	27.99	25.89	22.12	13.20	12.69	17.60	11.45	22.77	14.57	9.76	3.94	11.00	5.56
Ni	16.64	9.55	16.60	12.37	3.64	3.36	7.97	4.23	12.75	5.20	7.65	3.53	8.53	2.51
Cu	24.83	29.25	31.91	27.68	12.20	18.99	6.70	17.87	21.19	21.58	20.60	15.02	20.30	6.68
Zn	102.50	103.00	92.86	88.78	101.00	89.04	88.00	76.63	94.25	82.03	78.30	66.83	79.10	53.42
Ga	19.68	23.50	20.32	18.86	18.50	21.83	19.20	19.87	21.29	21.27	16.40	19.60	19.70	13.94
Rb	42.49	16.16	8.87	20.10	70.00	61.42	27.50	66.55	27.95	62.48	48.50	97.14	72.30	11.41
Sr	666.19	885.68	922.66	634.06	985.04	627.66	597.03	534.02	911.28	617.65	413.02	344.21	480.02	484.86
Zr	149.47	170.02	146.73	123.05	254.01	177.28	195.03	187.86	150.57	205.55	274.03	212.64	397.00	165.30
Nb	5.75	6.05	5.56	6.08	6.72	8.21	6.36	8.65	6.36	9.42	8.76	10.46	11.20	9.08
Y	16.95	22.29	17.15	21.15	23.30	19.14	23.30	20.31	17.43	24.44	30.70	15.61	27.80	16.88
La	19.24	23.65	16.04	20.65	26.80	19.37	21.90	27.58	20.57	23.94	29.90	28.56	37.60	29.46
Ce	38.77	48.05	34.13	38.19	55.50	40.83	44.80	54.56	44.79	50.60	63.70	53.32	78.20	56.53

续表 2

样号	* AB9138-2	PB3010	PB2008	PB9070	P8-25-1	PB4239	PB2060	PB2242-2	P18-3-3	PB4049	* AB2219	AB1241	P10-13-1	* P18-3-2
Pr	5.08	6.37	4.61	5.24	7.41	5.24	5.70	6.90	6.42	6.44	8.71	6.04	10.20	7.05
Nd	22.83	28.33	21.60	22.62	31.40	22.83	24.10	28.53	26.81	28.41	38.90	22.69	42.40	26.02
Sm	4.83	5.69	4.50	4.69	5.90	4.55	4.98	5.55	5.45	5.50	8.01	3.84	8.05	4.65
Eu	1.50	1.78	1.39	1.39	1.66	1.23	1.36	1.52	1.35	1.47	2.06	1.05	1.92	0.94
Gd	4.07	4.90	3.84	4.14	4.92	3.91	4.50	5.06	4.08	5.11	6.72	4.05	6.63	3.57
Tb	0.71	0.82	0.64	0.74	0.85	0.70	0.79	0.80	0.68	0.85	1.16	0.55	1.09	0.59
Dy	3.58	4.23	3.39	4.04	4.07	3.53	4.13	3.91	3.34	4.45	5.90	2.67	5.24	2.91
Ho	0.65	0.81	0.65	0.78	0.87	0.68	0.80	0.76	0.64	0.86	1.12	0.53	1.04	0.59
Er	1.77	2.39	1.85	2.27	2.32	2.06	2.37	2.22	1.58	2.62	2.83	1.65	2.73	1.59
Tm	0.25	0.37	0.29	0.36	0.39	0.32	0.44	0.34	0.27	0.43	0.47	0.27	0.44	0.29
Yb	1.55	2.47	1.90	2.40	2.26	2.15	2.51	2.25	1.54	2.83	2.48	1.89	2.50	1.79
Lu	0.26	0.43	0.34	0.35	0.38	0.37	0.36	0.39	0.39	0.46	0.39	0.38	0.34	0.46
Mo	0.24	0.52	0.66	0.43	0.32	0.76	0.68	0.67	0.42	0.69	0.71	0.93	0.32	0.27
In	0.06	0.06	0.06	0.06	0.03	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05
Cs	4.23	0.50	12.52	1.91	2.01	3.11	3.38	5.80	1.68	2.57	4.81	7.46	7.75	1.40
Ba	512.00	642.00	612.00	743.00	1 175.00	854.00	828.00	952.00	751.00	1 229.00	628.00	1 113.00	381.00	665.00
Hf	5.62	4.83	4.20	4.01	6.66	5.02	4.92	5.93	4.55	6.43	6.67	5.87	8.92	4.60
Ta	0.52	0.38	0.37	0.50	0.44	0.56	0.48	0.57	0.34	0.60	0.56	0.75	0.78	0.47
W	1.06	0.45	0.36	0.56	0.44	0.80	1.14	1.50	0.39	0.96	1.70	1.61	1.87	0.61
Tl	0.36	0.24	0.09	0.13	0.30	0.44	0.37	0.61	0.22	0.44	0.25	0.35	0.35	0.15
Pb	9.90	12.16	9.72	9.95	17.00	14.50	13.60	17.56	12.63	17.83	21.70	20.97	16.30	23.14
Bi	0.10	0.06	0.06	0.12	0.05	0.10	0.25	0.14	0.11	0.05	0.02	0.06	0.04	0.13
Th	2.68	4.97	2.11	4.39	3.55	6.14	5.53	10.56	1.80	5.90	6.77	5.80	11.90	5.84
U	0.86	0.90.00	0.81	1.22	0.90	2.13	1.57	2.41	0.62	2.90	2.18	1.92	3.06	1.57
Ti	6 502.00	6 290.00	6 435.00	5 917.00	4 950.00	4 826.00	5 148.00	4 743.00	5 711.00	4 341.00	7 200.00	2 114.00	6 540.00	2 583.00
P	1 543.00	1 638.00	1 649.00	1 483.00	2 209.00	1 720.00	1 471.00	1 421.00	1 805.00	1 146.00	3 455.00	741.00	2 328.00	1 004.00
K	16 032.00	15 833.00	11 208.00	9 619.00	31 532.00	23 356.00	13 443.00	31 841.00	20 320.00	28 005.00	11 285.00	34 018.00	26 221.00	7 437.00
ΣREE	105.07	130.25	95.19	107.77	144.65	107.75	118.66	140.39	117.90	134.00	172.44	127.50	198.43	136.41
LREE	92.24	113.92	82.30	92.79	128.70	94.10	102.75	124.58	105.39	116.43	151.34	115.51	178.40	124.70
HREE	12.83	16.41	12.91	15.03	16.05	13.72	15.90	15.73	12.52	17.60	21.07	11.98	20.01	11.78
LREE/HREE	7.19	6.94	6.38	6.17	8.02	6.86	6.47	7.92	8.42	6.61	7.18	9.64	8.91	10.59
La_N/Yb_N	8.93	6.88	6.06	6.31	8.51	6.46	6.26	8.78	9.60	6.07	8.65	10.83	10.79	11.78
δEu	1.01	1.01	1.00	0.94	0.92	0.87	0.86	0.86	0.84	0.84	0.84	0.80	0.78	0.68
δCe	0.94	0.94	0.96	0.88	0.95	0.98	0.96	0.94	0.95	0.98	0.96	0.95	0.96	0.93
$Mg^{\#}$	43.00	40.00	49.00	48.00	31.00	43.00	45.00	43.00	48.00	44.00	32.00	17.00	26.00	14.00
K_2O/P	33.10	39.17	29.60	25.94	52.27	47.27	33.03	59.26	38.16	59.70	20.23	56.08	42.69	11.12
Rb/Sr	0.06	0.02	0.01	0.03	0.07	0.10	0.05	0.13	0.03	0.10	0.12	0.28	0.15	0.02

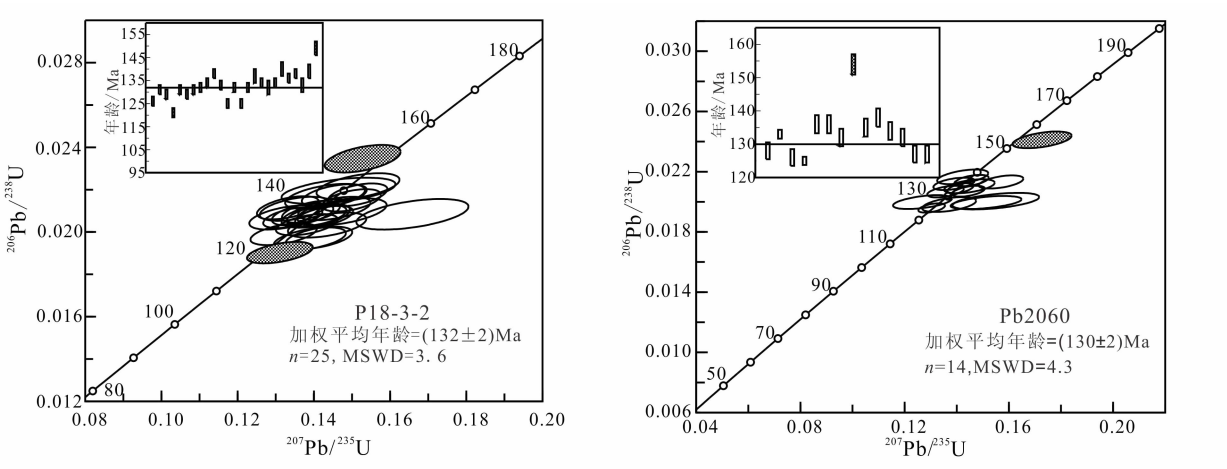


图 4 索伦地区玛尼吐组火山岩的锆石$^{207}Pb/^{235}U-^{206}Pb/^{238}U$年龄谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagrams of Manitu Formation in Suolun region

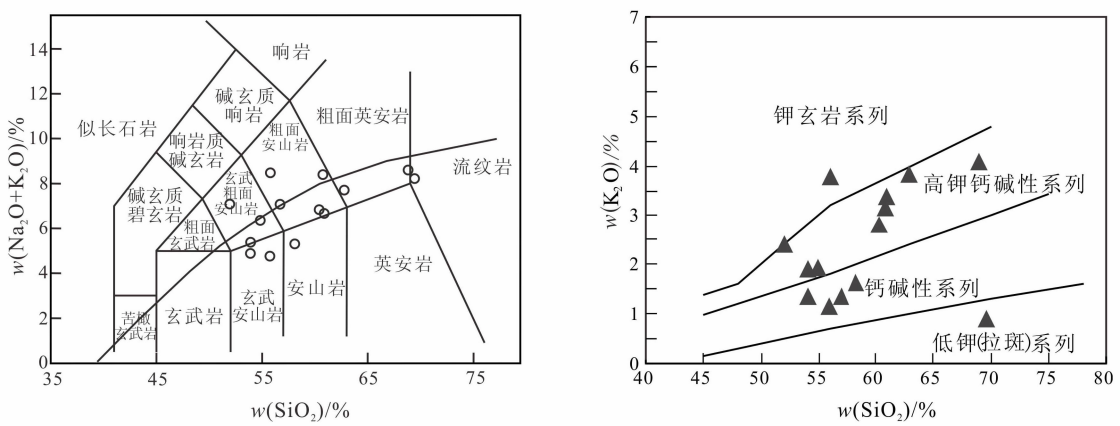


图 5 索伦地区玛尼吐组火山岩 $Na_2O+K_2O-SiO_2$（a）、SiO_2-K_2O（b）图解

Fig. 5 Plots of total alkali versus SiO_2 (TAS) (a), K_2O versus SiO_2 (b) diagrams for Manitu Formation in Suolun region

量为 82.29 × 10^{-6} ~ 178.37 × 10^{-6}，平均值为 116 × 10^{-6}；重稀土元素（HREE）含量为 12.91 × 10^{-6} ~ 21.07 × 10^{-6}，平均值为 15.25 × 10^{-6}；轻重稀土比值（LREE/HREE）为 6.17 ~ 10.59，平均值为 7.66。在球粒陨石标准化稀土元素配分图中（图 6a），呈现出左高右低的右倾型分配模式，轻稀土元素富集，重稀土元素亏损，重稀土元素呈现相对舒缓的波状，$(La/Yb)_N$ 值范围为 6.01 ~ 11.78，平均值为 8.28，轻、重稀土分馏明显。δEu 值为 0.68 ~ 1.01，平均值为 0.87，具有轻微 Eu 负异常，部分样品未见 Eu 负异常，且多数样品 HREE 分布未出现比较一致的轻度内凹，表明岩浆源区的残留矿物中无角闪石存在或角闪石的分离结晶作用不明显。

在微量元素蛛网图中（图 6b），微量元素特征显示富集大离子亲石元素（LILE）K、Rb、Th 和轻稀土元素，亏损高场强元素（HFSE）Nb、Ta、P、Ti。研究区玛尼吐期火山岩 Rb/Sr 比值变化于 0.01 ~ 0.28，平均为 0.11，高于原始地幔（0.03）、E-MORB（0.033）、OIB（0.047）的 Rb/Sr 比值，低于壳源岩浆（>0.5）；Th/U 比值在 2.03 ~ 4.40 之间，平均为 3.34，介于壳源岩石（≈6）与原始地幔之间；同时微量元素具高 Sr（多 > 499 × 10^{-6}）和低 Yb（最大值为 2.83 ×

10^{-6}，$<3.6\times10^{-6}$）、Y（多 $<29.9\times10^{-6}$）和高 Sr/ Y 和低 Rb/Sr 比值，均显示了弧火山岩或有大陆地壳物质参与的特征，这些地球化学特征揭示玛尼吐期安山质岩石的岩浆源区既有来自地幔源区的特征，亦有壳源的痕迹。

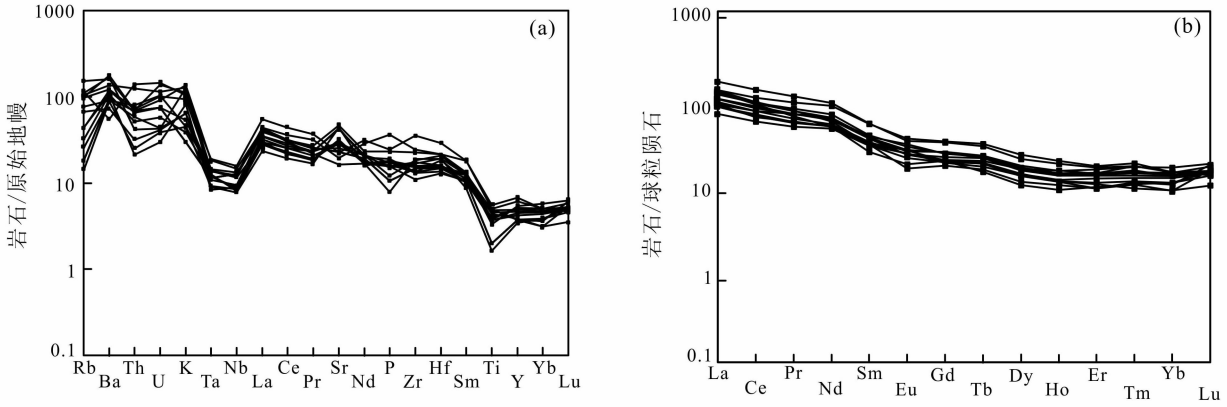


图 6　索伦地区玛尼吐组火山岩微量元素原始地幔标准化蛛网图（a）和稀土元素球粒陨石标准化配分图解（b）

Fig. 6　Primitive mantle-normalized trace element spider（a）diagram and chondrite-normalized REE pattern（b）for Manitu Formation in Suolun region

3.3　锆石 Lu-Hf 同位素测定

对样品 PB2060 进行了 Lu-Hf 同位素测试（表 3）。所测锆石 $^{176}Lu/^{177}Hf$ 值较低（绝大多数 <0.002），暗示其形成后具有低的放射性成因 Hf 的积累。

本区玛尼吐组火山岩具有正的锆石 $\varepsilon_{Hf}(t)$（7.3 ~ 13.7），平均值为 10.5，$^{176}Hf/^{177}Hf$ 平均值为 0.282 964。$\varepsilon_{Hf}(t)$ 为正值的岩石一般来自亏损地幔或亏损地幔形成的基性下地壳物质再熔融[6, 39, 42]。索伦地区玛尼吐组火山岩与其他相近地区、相近时代的壳源火山岩对比[10, 12, 30, 31]，呈现出 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 的极大值与平均值较大，T_{DM2}（Ma）平均值明显较小的特点，与同期壳源岩石 Lu-Hf 同位素数据对比，具有一定的不同。在火山岩锆石 ε_{Hf}/t-T/Ma 图解上，处于与附近其他同期壳源火成岩相比更靠近原始地幔线的位置（图 7），说明本区玛尼吐组火山岩岩浆源区含有幔源物质参与。

表 3　索伦地区玛尼吐组火山岩锆石 Hf 同位素分析结果

Table 3　Zircon Hf isotopic data for Manitu Formation in Suolun region

测点号	t /Ma	$^{176}Yb/^{177}Hf$	$^{176}Lu/^{177}Hf$	$^{176}Hf/^{177}Hf$	2σ	$\varepsilon_{Hf(0)}$	$\varepsilon_{Hf(t)}$	2σ	T_{DM1}/Ma	T_{DM2}/Ma	$f_{Lu/Hf}$
PB2060 01	130	0.027 092	0.000 799	0.282 899	0.000 025	4.48	7.26	0.90	499	721	-0.98
PB2060 02	130	0.024 519	0.000 847	0.282 920	0.000 026	5.22	8.00	0.92	470	674	-0.97
PB2060 03	130	0.044 715	0.001 382	0.282 958	0.000 026	6.56	9.30	0.91	422	591	-0.96
PB2060 04	130	0.032 770	0.001 116	0.282 957	0.000 028	6.53	9.29	1.00	420	592	-0.97
PB2060 05	130	0.040 694	0.001 367	0.282 980	0.000 025	7.34	10.08	0.89	390	541	-0.96
PB2060 06	130	0.089 768	0.002 750	0.282 995	0.000 022	7.88	10.50	0.78	382	514	-0.92
PB2060 07	130	0.036 626	0.001 426	0.283 047	0.000 052	9.73	12.46	1.85	293	388	-0.96
PB2060 08	130	0.082 146	0.002 429	0.282 943	0.000 024	6.04	8.68	0.86	456	630	-0.93
PB2060 09	130	0.050 344	0.001 599	0.283 004	0.000 024	8.22	10.93	0.86	357	486	-0.95
PB2060 10	130	0.031 051	0.001 024	0.283 077	0.000 034	10.77	13.54	1.19	248	318	-0.97
PB2060 12	130	0.039 847	0.001 274	0.283 052	0.000 051	9.90	12.64	1.82	285	376	-0.96
PB2060 11	154	0.035 040	0.001 224	0.283 066	0.000 038	10.41	13.67	1.34	264	329	-0.96

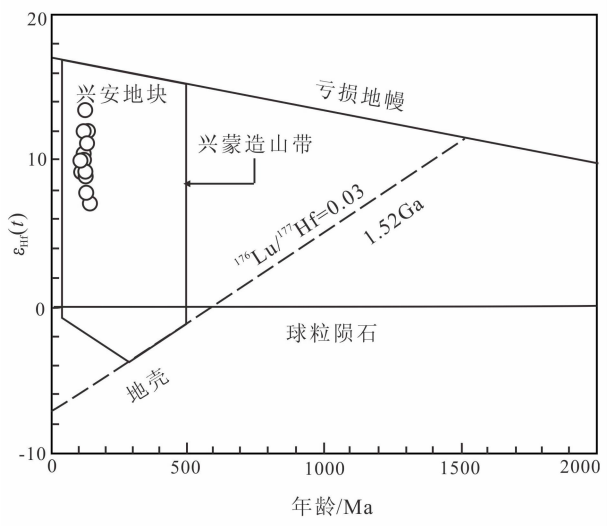


图 7 索伦地区玛尼吐组火山岩锆石 $\varepsilon_{Hf}/t-T$/Ma 图解

Fig. 7 Plot of ε_{Hf}/t versus T for zircons from Manitu Formation in Suolun region

4 讨论

4.1 形成时代

在大兴安岭地区，玛尼吐组火山岩呈现较老的（145 ~ 158 Ma）晚侏罗世年龄的样品[10]，主要分布在大兴安岭主脊以西的阿尔山、满洲里部分地区以及南端的赤峰部分地区，其他大部分年龄主要集中于 130 ~ 145 Ma 之间。参考近几年区域上其他学者最新的的研究结果[7,11,26-28]，以及本次研究的测年结果表明区内玛尼吐组主要形成于 130 ~ 132 Ma 之间，认为索伦地区玛尼吐组火山岩的形成时代为早白垩世，不是之前认为的晚侏罗世。

4.2 岩浆源区和岩石成因

据前人资料，不同区域玛尼吐组岩石的地球化学特征极其多样，除了较普遍的一套中酸性火山岩[10,11,27,35]，还包含一些具有埃达克岩性质的英安岩[15,43]，又包含表现出高 $Mg^{\#}$特点的安山岩、玄武安山岩[28]。不同地区玛尼吐组火山岩是否有幔源物质参与存在不同认识[10,11,14,19,27,35]。研究区玛尼吐组火山岩主要为安山岩，关于安山质岩石的成因主要有玄武质岩浆分离结晶、玄武质岩浆与长英质岩浆混合及地幔或大洋板片部分熔融 3 种看法。由于研究区周围没有大面积分布的同时代玄武质岩石，且火山岩稀土元素中的负铕异常不明显，岩浆演化过程中斜长石分离结晶作用较弱，显示研究区的安山质岩石与玄武岩浆的分离结晶作用无关。此外，本文研究的玛尼图组安山岩内未见反环带斑晶或不平衡矿物共生等现象，暗示其亦不太可能是玄武质岩浆与源自陆壳的酸性岩浆混合的产物。研究区安山岩样品的 Rb/Sr 比值平均为 0.11，高于原始地幔（0.03）、E-MORB（0.033）、OIB（0.047）的 Rb/Sr 比值，低于壳源岩浆（>0.5）；Th/U 比值为 2.03 ~ 4.40（平均值为 3.34），介于壳源岩石（≈6）与原始地幔之间；微量元素特征与陆壳既有相似之处，也有明显的差别。将研究区玛尼吐组安山岩与安第斯地区、大陆岛弧及大洋岛弧安山岩做比较[17]，发现其微量元素特征类似于安第斯与大陆岛弧安山岩，且与大陆岛弧安山岩最相近。玛尼吐期火山岩的 Hf/Sm、Ta/Hf、Nb/Ta、Sm/Nd、$(La/Yb)_N$ 平均值分别为 1.039、0.091、15.04、0.197 和 8.27，均接近于球粒陨石原始地幔值[2]，表明研究区玛尼吐组安山岩的源岩主要为地幔物质。此外，其 $\varepsilon_{Hf}(t) = +9.10 \pm 1.10$，显示其地幔源区具有亏损的同位素特征。大离子亲石元素富集与 Hf 同位素亏损的这种解耦现象暗示研究区安山岩的地幔源区在部分熔融之前遭到流体交代作用的改造。研究区安山岩样品明显富集 LILE（K、Rb、Th）和 LREE，亏损 HFSE（如 Nb、Ta），表明该流体最可能为俯冲板片通过脱水作用释放出来[17]。综上所述，研究区玛尼吐期安山岩的产生可能是由古太平洋板块俯冲，引起的地壳加厚拆沉，软流圈物质上涌，使曾经遭受过俯冲板片来源的流体交代改造的岩石圈地幔部分熔融造成。

4.3 构造背景

本区早白垩世火山岩均表现为低的 TiO_2 含量，一般均 <1%。TiO_2 含量 <1.75% 是判断造山带火山岩的一个重要标志，暗示区域上具有类似造山的构造背景。东亚大陆边缘发育一系列南北向展布的侏罗纪—白垩纪增生杂岩，中国东北吉黑东部近南北向的早-中侏罗世钙碱性火成岩组合[44]及小兴安岭—张广才岭地区同时代的双峰式火成岩组合[45]的存在，均表明古太平洋板块在早-中侏罗世时已经开始向东北地区东部边缘俯冲[44]。南兴安岭玛尼吐组火山岩具有埃达克岩特征，暗示此时区域上存在一个加厚的地壳，可能为古太平洋俯冲挤压和蒙古—鄂霍茨克缝合带对俯冲板片的阻止作用而造

成的地壳加厚[46]。古太平洋板块在早白垩世期间运动方向发生了改变[47]，包括大兴安岭在内的整个东北地区，处于由挤压向伸展转换的阶段，由于重力失稳，加厚的地壳与岩石圈地幔发生拆沉，导致岩石圈伸展减薄。同时期区域上广泛发育的 A 型花岗岩和变质核杂岩，均表明此时东北地区处于伸展环境。在该伸展环境下，软流圈上涌，加热上覆地壳，形成了大范围的岩浆活动。综上所述，索伦地区早白垩世玛尼吐组安山岩的形成可能主要受到古太平洋板块俯冲作用的影响。

5　结论

（1）索伦地区玛尼吐组火山岩的形成时代为早白垩世，不是之前认为的晚侏罗世。

（2）火山岩源岩主要为地幔物质和新生下地壳物质的部分熔融，同时受到了流体改造作用。

（3）索伦地区玛尼吐组火山岩形成于岛弧环境，主要受古太平洋俯冲作用的影响。

参考文献：

[1] 林强，葛文春，曹林，等. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征 [J]. 地球化学，2003，32（3）：208-222.
LIN Qiang，GE Wen-chun，CAO Lin，et al. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan Ling：the bimodal volcanic rocks [J]. Geochimica，2003，32（3）：208-222.

[2] 葛文春，林强，孙德有，等. 大兴安岭中生代玄武岩的地球化学特征：壳幔相互作用的证据 [J]. 岩石学报，1999，15（3）：396-406.
GE Wen-chun，LIN Qiang，SUN De-you，et al. Geochemical characteristics of the Mesozoic basalts in Da Hinggan Ling：evidence of the mantle crust interaction [J]. Acta Petrologica Sinica，1999，15（3）：396-406.

[3] 葛文春，吴福元，周长勇，等. 大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义 [J]. 岩石学报，2005，21（3）：749-762.
GE Wen-chun，WU Fu-yuan，ZHOU Chang-yong，et al. Zircon U-Pb ages and its significance of the Mesozoic granites in the Wulanhaote region，central Da Hinggan Mountain [J]. Acta Petrologica Sinica，2005，21（3）：749-762.

[4] Wang F，Zhou X H，Zhang L C，et al. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an Range（NE China）：timing and implications for the dynamic setting of NE Asia [J]. Earth & Planetary Science Letters，2006，251（1/2）：179-198.

[5] 张连昌，陈志广，周新华，等. 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，2007，23（11）：2823-2835.
ZHANG Lian-chang，CHEN Zhi-guang，ZHOU Xin-hua，et al. Characteristics of deep sources and tectonic-magmatic evolution of the Early Cretaceous volcanics in Genhe area，Da-Hinggan Mountains：constraints of Sr-Nd-Pb-Hf isotopic geochemistries [J]. Acta Petrol Sinica，2007，23（11）：2823-2835.

[6] Zhang J H，Ge W C，Wu F Y，et al. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range，northeastern China [J]. Lithos，2008，102（1）：138-157.

[7] Zhang J H，Gao S，Ge W C，et al. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range，northeastern China：implications for subduction-induced delamination [J]. Chemical Geology，2010，276（3）：144-165.

[8] 周新华，英基丰，张连昌，等. 大兴安岭晚中生代火山岩成因与古老地块物质贡献：锆石 U-Pb 年龄及多元同位素制约 [J]. 地球科学，2009，34（1）：1-10.
ZHOU Xin-hua，YING Ji-feng，ZHANG Lian-chang，et al. The petrogenesis of Late Mesozoic volcanic rock and the contributions from ancient micro-continents：constraints from the zircon U-Pb dating and Sr-Nd-Pb-Hf isotopic systematics [J]. Earth Science，2009，34（1）：1-10.

[9] 苟军，孙德有，赵忠华，等. 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，2010，26（1）：333-344.
GOU Jun，SUN De-you，ZHAO Zhong-hua，et al. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and petrogenesis of rhyolites in Baiyingaolao Formation from the southern Manzhouli，Inner-Mongolia [J]. Acta Petrol Sinica，2010，26（1）：333-344.

[10] 孙德有，苟军，任云生，等. 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，2011，27（10）：3083-3094.
SUN De-you，GOU Jun，REN Yun-sheng，et al. Zircon U-Pb dating and study on geochemistry of volcanic rocks in Manitu Formation from southern Manchuria，Inner Mongolia [J]. Acta Petrol Sinica，2011，27（10）：

3083-3094.

[11] 李永飞，郜晓勇，孙守亮. 大兴安岭中段突泉盆地玛尼吐组火山岩地球化学特征与$^{40}Ar/^{39}Ar$测年［J］. 地质与资源，2013，22（6）：444-451.
LI Yong-fei，GAO Xiao-yong，SUN Shou-liang. Geochemical characteristics and Laser $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of the volcanics from the Manitu Formation of Tuquan Basin in central Daxing'anling［J］. Geology and Resources，2013，22（6）：444-451.

[12] Dong Y，Ge W C，Yang H，et al. Geochronology and geochemistry of Early Cretaceous volcanic rocks from the Baiyingaolao Formation in the central Great Xing'an Range，NE China，and its tectonic implications［J］. Lithos，2014，205：168-184.

[13] 郭锋，范蔚茗，王岳军，等. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用［J］. 岩石学报，2001，17（1）：161-168.
GUO Feng，FAN Wei-ming，WANG Yue-jun，et al. Petrogenesis of the Late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mts［J］. Acta Petrologica Sinica，2001，17（1）：161-168.

[14] 吕志成，段国正，郝立波，等. 大兴安岭中南段中生代中基性火山岩岩石学地球化学研究［J］. 高校地质学报，2004，10（2）：186-198.
LÜ Zhi-cheng，DUAN Guo-zheng，HAO Li-bo，et al. Petrological and geochemical studies on the intermediate-basic volcanic rocks from the Middle-South part of the Da Hinggan Mountains［J］. Geolgica Journal of China Universities，2004，10（2）：186-198.

[15] 高晓峰，郭锋，范蔚茗，等. 南兴安岭晚中生代中酸性火山岩的岩石成因［J］. 岩石学报，2005，21（3）：737-748.
GAO Xiao-feng，GUO Feng，FAN Wei-ming，et al. Origin of late Mesozoic intermediate-felsic volcanic rocks from the northern Da Hinggan Mountain，NE China［J］. Acta Petrol Sinica，2005，21（3）：737-748.

[16] 高晓峰，郭锋，李超文. 南兴安岭晚中生代火山岩的岩石成因（Ⅱ）：Pb同位素制约［J］. 中山大学学报：自然科学版，2009，48（6）：121-126.
GAO Xiao-feng，GUO Feng，LI Chao-wen，et al. Origin of Late Mesozoic volcanic rocks from the southern Da Hinggan Mountain，NE China（Ⅱ）：constraints of Pb isotope［J］. Journal of Sun Yatsen University：Natural Science Edition，2009，48（6）：121-126.

[17] 吴华英，张连昌，周新华，等. 大兴安岭中段晚中生代安山岩年代学和地球化学特征及成因分析［J］. 岩石学报，2008，24（6）：1339-1352.
WU Hua-ying，ZHANG Lian-chang，ZHOU Xin-hua，et al. Geochronology and geochemical characteristics of the Late Mesozoic andesites in the central Da-Hinggan Mountains，and its genesis［J］. Acta Petrologica Sinica，2008，24（6）：1339-1352.

[18] 杨扬，高福红，陈井胜，等. 赤峰地区中生代火山岩锆石U-Pb年代学证据［J］. 吉林大学学报：地球科学版，2012，42（增刊2）：257-268.
YANG Yang，GAO Fu-hong，CHEN Jing-sheng，et al. Zircon U-Pb ages of Mesozoic volcanic rocks in Chifeng area［J］. Journal of Jilin University：Earth Science Edition，2012，42（Suppl. 2）：257-268.

[19] 邵济安，张履桥，牟保磊，等. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用［J］. 地学前缘，1999，6（4）：339-346.
SHAO Ji-an，ZHANG Lü-qiao，MU Bao-lei. Magmatism in the Mesozoic extending orogenic process of Da Hinggan MTS［J］. Earth Science Frontiers，1999，6（4）：339-346.

[20] 葛文春，林强，孙德有，等. 葛文春，林强，孙德有，等. 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，2000，25（2）：172-178.
GE Wen-chun，LIN Qiang，SUN De-you，et al. Geochemical resarch into origins of two types of Mesozoic rhyolites in Daxing'anling［J］. Acta Geoscientica Sinica，2000，25（2）：172-178.

[21] 高晓峰. 东北地区中生代火成岩Sr-Nd-Pb同位素填图及其对区域构造演化的制约：博士学位论文［D］. 广州：中国科学院研究生院，2007.
GAO Xiao-feng. Sr-Nd-Pb isotope mapping of Mesozoic igneous rocks in NE China：constraints on tectonic evolution of the eastern CAOB：doctor's degree thesis［D］. Guangzhou：Guangzhou Institute of Geochemistry，Chinese Academy of Sciences，2007.

[22] 范蔚茗，郭锋，高晓峰，等. 东北地区中生代火成岩Sr-Nd同位素区划及其大地构造意义［J］. 地球化学，2008，37（4）：361-372.
FAN Wei-ming，GUO Feng，GAO Xiao-feng，et al. Sr-Nd isotope mapping of Mesozoic igneous rocks in NE China：constraints on tectonic framework and crustal growth［J］. Geochimica，2008，37（4）：361-372.

[23] Ying J F，Zhou X H，Zhang L C，et al. Geochronological framework of Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range，NE China，and their geodynamic implications［J］. Journal of Asian Earth Sciences，2010，39

(6)：786-793.

[24] 许文良，王枫，裴福萍，等. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景：来自中生代火山岩组合时空变化的制约［J］. 岩石学报，2013，29（2）：339-353.
XU Wen-liang，WANG Feng，PEI Fu-ping，et al. Mesozoic tectonic regimes and regional ore-forming background in NE China：constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations［J］. Acta Petrol Sinica，2013，29（2）：339-353.

[25] 孟凡超，刘嘉麒，崔岩，等. 中国东北地区中生代构造体制的转变：来自火山岩时空分布与岩石组合的制约［J］. 岩石学报，2014，30（12）：3569-3586.
MENG Fan-chao，LIU Jia-qi，CUI Yan，et al. Mesozoic tectonic regimes transition in the Northeast China：constriants from temporal-spatial distributions of volcanic rocks［J］. Acta Petrologica Sinica，2014，30（12）：3569-3586.

[26] Wu B Y，Niu H C，Cheng L R，et al. Geochronology，geochemistry and geodynamic implications of the Late Mesozoic volcanic rocks in the southern Great Xing'an Mountains，NE China［J］. Journal of Asian Earth Sciences，2015，113：454-470.

[27] 李世超，徐仲元，刘正宏，等. 大兴安岭中段玛尼吐组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征［J］. 地质通报，2013，32（2）：399-407.
LI Shi-chao，XU Zhong-yuan，LIU Zheng-hong，et al. Zircon U-Pb dating and geochemical study of volcanic rocks in Manitu Formation of central Da Hinggan Mountains［J］. Geological Bulletin of China，2013，32（2）：399-407.

[28] 陶传忠，李伫民，王大千，等. 乌兰浩特地区玛尼吐组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地球化学特征［J］. 地质与资源，2015，24（2）：102-109.
TAO Chuan-zhong，LI Zhu-min，WANG Da-qian，et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemistry of the volcanic rocks from Manitu Formation in Ulanhot region of southern Daxing'anling［J］. Geology and Resources，2015，24（2）：102-109.

[29] 孟宪锋，张正平，徐翠，等. 内蒙古东北部东乌珠穆沁旗乌兰哈德一带晚侏罗世满克头鄂博组的地质特征及岩性段划分［J］. 地质通报，2010，29（11）：1649-1654.
MENG Xian-feng，ZHANG Zheng-ping，XU Cui，et al. Geologic characteristics and lithologic member division in the Late Jurassic Manketou'ebo Formation in Wulanhade area，Dongwuzhumuqinqi，Inner Mongolia，China［J］. Geological Bulletin of China，2010，29（11）：1649-1654.

[30] 张超，杨伟红，和钟铧，等. 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，2014，33（2）：255-265.
ZHANG Chao，YANG Wei-hong，HE Zhong-hua，et al. Chronology and geochemistry of rhyolites in Manketou'ebo Formation from Ta'erqi area，southern-central Greater Xing'an Range［J］. Global Geology，2014，33（2）：255-265.

[31] Ji Z，Ge W C，Wang Q H，et al. Petrogenesis of Early Cretaceous volcanic rocks of the Manketouebo Formation in the Wuchagou region，central Great Xing'an Range，NE China，and tectonic implications：geochronological，geochemical，and Hf isotopic evidence［J］. International Geology Review，2015，58（5）：1-18.

[32] 张乐彤，李世超，赵庆英，等. 大兴安岭中段白音高老组火山岩的形成时代及地球化学特征［J］. 世界地质，2015，34（1）：44-54.
ZHANG Le-tong，LI Shi-chao，ZHAO Qing-ying，et al. Formation age and geochemical characteristics of volcanic rocks from Baiyingaolao Formation of middle Da Hinggan Mountains［J］. Global Geology，2015，34（1）：44-54.

[33] 肖中军，王振强，吴煜，等. 内蒙古苏尼特左旗白音乌拉北部白音高老组时代重新厘定：来自 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的证据［J］. 地质通报，2015，34（9）：1706-1714.
XIAO Zhong-jun，WANG Zhen-qiang，WU Yu，et al. Redetermination of the age of Baiyingaolao Formation in Sonid Left Banner，Inner-Mongolia：evidence from LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons［J］. Geological Bulletin of China，2015，34（9）：1706-1714.

[34] 司秋亮，崔天日，王恩德，等. 大兴安岭柴河白音高老组流纹岩锆石 U-Pb 定年及成因探讨［J］. 东北大学学报：自然科学版，2016，37（3）：412-415.
SI Qiu-liang，CUI Tian-ri，WANG En-de，et al. Zircon U-Pb dating and petrogenesis of the Baiyingaolao Formation rhyolites in Chaihe area，Great Xing'an Range［J］. Journal of Northeastern University：Natural Science，2016，37（3）：412-415.

[35] 司秋亮，崔天日，唐振，等. 大兴安岭中段柴河地区玛尼吐组火山岩年代学、地球化学及岩石成因［J］. 吉林大学学报：地球科学版，2015，45（2）：389-403.
SI Qiu-liang，CUI Tian-ri，TANG Zhen，et al. Chronol-

ogy, geochemistry and petrogenesis of the volcanic rocks in Manitu Formation in Chaihe area, central Great Xing'an Range [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition , 2015, 45 (2): 389-403.

[36] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 兴蒙造山带东段斑岩型 Cu, Mo 矿床成矿时代及其地球动力学意义 [J]. 科学通报, 2007, 52 (20): 2407-2417.
GE Wen-chun, WU Fu-yuan, ZHOU Chang-yong, et al. Porphyry Cu－Mo deposits in the eastern Xing'an Mongolian orogenic belt: mineralization ages and their geodynamic implications [J]. Chinese Bulletin, 2007, 52 (20): 2407-2417.

[37] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 大兴安岭北部塔河花岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约 [J]. 科学通报, 2005, 50 (12): 1239-1247.
GE Wen-chun, WU Fu-yuan, ZHOU Chang-yong, et al. Emplacement age of Tahe granite and its constraints on the tectonic nature of the Erguna block in the northern part of the Da Hinggan Range [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50 (12): 1239-1247.

[38] Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China [J]. Journal of Asian Earthences, 2011, 41 (1): 1-30.

[39] 隋振民, 葛文春, 徐学纯, 等. 大兴安岭十二站晚古生代后造山花岗岩的特征及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2009, 25 (10): 2679-2686.
SUI Zhen-min, GE Wen-chun, XU Xue-chun, et al. Characteristics and geological implications of the Late Paleozoic post-orogenic Shierzhan granite in the Great Xing'an Range [J]. Acta Petrological Sinica, 2009, 25 (10): 2679-2686.

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

[41] Yuan H, Gao S, Liu X, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Geostandards & Geoanalytical Research, 2007, 28 (3): 353-370.

[42] Wu F Y, Yang Y H, Xie L W, et al. Hf isotopic compositions of the standard zircons and bad-deleyites used in U-Pb geochronology [J]. Chemical Geology, 2006, 234 (1/2): 105-126.

[43] 郑吉林, 张文强, 徐立明, 等. 大兴安岭玻乌勒山地区玛尼吐组火山岩地球化学特征及成矿预测 [J]. 黄金科学技术, 2015, 23 (01): 46-52.
ZHENG Ji-lin, ZHANG Wen-qiang, XU Li-ming, et al. Geochemistry characteristics and metallogenic prognosis of the volcanic rocks from Manitu Formation of Bowule Mountain area in Da Hinggan Mountain [J]. Gold Science and Technology, 2015, 23 (1): 46-52.

[44] Xu W L, Pei F P, Wang F, et al. 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, 2013, 74: 167-193.

[45] 唐杰, 许文良, 王枫, 等. 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, 2011, 30 (04): 508-520.
TANG Jie, XU Wen-liang, WANG Feng, et al. Petrogenesis of bimodal volcanic rocks from Maoershan Formation in Zhangguangcai range: evidence from geochronology and geochemistry [J]. Global Geology, 2011, 30 (4): 508-520.

[46] 纪政, 葛文春, 杨浩, 等. 大兴安岭中段塔尔气地区早白垩世花岗岩成因及形成构造环境 [J]. 世界地质, 2016, 35 (2): 283-296.
JI Zheng, GE Wen-chun, YANG Hao, et al. Petrogenesis of Early Cretaceous granites in Taerqi area of central Great Xing'an Range and its tectonic setting [J]. Global Geology, 2016, 35 (2): 283-296.

[47] Yang W B, Niu H C, Cheng L R, et al. Geochronology, geochemistry and geodynamic implications of the Late Mesozoic volcanic rocks in the southern Great Xing'an Mountains, NE China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 113: 454-470.