

# 内蒙古科右前旗一带梅勒图组火山岩U-Pb测年及地球化学特征

吴昊, 陈满, 龚全德, 曹元宝, 张力强, 刘学元, 杜士澍, 秦越强, 陈彪,  
张钧贵, 孙浩, 郝森

WU Hao, CHEN Man, GONG Quande, CAO Yuanbao, ZHANG Liqiang, LIU Xueyuan,  
DU Shishu, QIN Yueqiang, CHEN Biao, ZHANG Jungui, SUN Hao, HAO Sen

武警黄金第四支队, 辽宁 辽阳 111000

*The Fourth Detachment of Gold Headquarters, Chinese Armed Police Force, Liaoyang 111000, Liaoning, China*

**摘要:**通过对科右前旗一带梅勒图组火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb定年和元素地球化学分析,获得梅勒图组安山质晶屑熔结凝灰岩及安山岩的喷发年龄分别为 $125.6 \pm 1.6$ Ma和 $120.2 \pm 2.2$ Ma,指示梅勒图组火山岩的形成时代介于120~126Ma之间,形成于早白垩世中期。岩石具有高的 $\text{SiO}_2$ (60.4%~65.3%)和全碱(7.0%~9.5%)含量,铝饱和指数A/CNK为0.89~0.98,属于钾玄岩及高钾钙碱性系列;稀土元素总量为 $124 \times 10^{-6}$ ~ $169 \times 10^{-6}$ , $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为5.83~13.4,负Eu异常微弱( $\delta\text{Eu}=0.84 \sim 1.05$ );在原始地幔标准化微量元素蛛网图上,样品富集Rb、Ba、Th、U、K、La、Nd,亏损Nb、Ta、P和Ti, Sr/Y值介于19.4~29.7之间。其岩石源区为富集地幔,岩浆上升过程中受到地壳物质的混染,岩石形成于板内伸展环境,其地球动力学背景可能与古太平洋板块的俯冲有关。

**关键词:**LA-ICP-MS锆石U-Pb定年;地球化学;梅勒图组;火山岩;内蒙古科右前旗

中图分类号:P597+.3;P588.14 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2019)11-1836-10

**Wu H, Chen M, Gong Q D, Cao Y B, Zhang L Q, Liu X Y, Du S S, Qin Y Q, Chen B, Zhang J G, Sun H, Hao S. A study of geochronology and geochemistry of volcanic rocks from Meiletu Formation in Horqin Right Wing Front Banner, Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(11):1836-1845**

**Abstract:** Through LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and elemental geochemical analysis of Meiletu Formation volcanic rock in Horqin Right Wing Front Banner, the authors obtained the eruption ages of  $125.6 \pm 1.6$ Ma and  $120.2 \pm 2.2$ Ma for andesite crystallinoclastic welded tuff and andesite in Meiletu Formation, indicating that the forming ages of Meiletu Formation volcanic rock are between 120 and 126Ma in the Early Cretaceous. The rock has high  $\text{SiO}_2$  (60.4%~65.3%) and total alkali content (7%~9.5%), with aluminum index A/CNK being 0.89~0.98, suggesting shoshonitic and high-K calc alkaline series; rare earths range from  $124 \times 10^{-6}$  to  $169 \times 10^{-6}$ , and  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  values are in the range of 5.83~13.4, with weak negative Eu anomalies ( $\delta\text{Eu}=0.84 \sim 1.05$ ); on the primitive mantle normalized trace element spider diagram, there exist enrichment of Rb, Ba, Th, U, K, La and Nd and depletion of Nb, Ta, P and Ti, with Sr/Y ratio between 19.4 and 29.7. The rock source area should be enriched mantle, and the magma was contaminated by crustal material during the process of magma rising. The rock was formed in an intraplate extensional environment, and its geodynamic background might have been related to subduction of paleo-Pacific plate.

**Key words:** LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; geochemistry; Meiletu Formation; volcanic rock; Horqin Right Wing Front Banner, Inner Mongolia

收稿日期:2018-03-08;修订日期:2018-06-25

资助项目:中国地质调查局项目《内蒙古东部复兴屯、树木沟、特格乌拉、苑家街1:5万地质矿产综合调查》(编号:12120115041901)

作者简介:吴昊(1987-),男,硕士,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: wh61804@163.com

通讯作者:陈满(1973-),男,硕士,总工程师,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: zhyym@163.com

大兴安岭地区是中亚造山带的重要组成部分,古生代—中生代经历了多次板块拼合构造作用,使该区地质背景异常复杂,形成东北地区最大的火山岩带<sup>[1]</sup>。长期以来地质学家对该火山岩带进行了研究,对其成因有不同观点,如地幔柱成因<sup>[2-3]</sup>、与太平洋板块俯冲有关<sup>[4-8]</sup>、与鄂霍茨克洋演化有关<sup>[9-11]</sup>、裂谷作用<sup>[12]</sup>、边缘陆块型火山岩<sup>[13]</sup>等。前人对大兴安岭地区火山岩的研究较深入,但是对大兴安岭中南段科右前旗一带研究相对薄弱,特别是对该地区梅勒图组的年代学及地球化学研究较少,制约了区域之间的对比及综合研究。本文通过对科右前旗一带梅勒图组安山岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及主量微量元素分析,结合区域资料,探讨其形成时代、岩石属性及形成的地球动力学背景,为研究大兴安岭中生代火山岩提供素材。

## 1 地质背景

研究区古生代大地构造位置属于天山—兴蒙造山系中的大兴安岭弧盆系,三级构造单元为锡林浩特岩浆弧(图 1-a),中生代以来西伯利亚板块与华北板块主体已拼合为一个整体,本区主要受太平洋构造域和特提斯构造域的影响。区内地层主要为古生代及中生代地层(图 1-b),古生代地层自下而上依次为大石寨组、林西组及哲思组,总体为一套遭受变形变质的火山碎屑岩及沉积岩组合,岩性为变质砾岩、砂岩、灰岩及流纹质晶屑凝灰岩,夹部分火山熔岩,主要分布在区域东北部。中生代地层在区内广泛发育,自下而上依次发育土城子组、满克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老祖和梅勒图组,主要为一套火山碎屑岩、火山熔岩及火山—沉积岩组合,岩性为凝灰岩、安山岩、凝灰质砂岩、砾岩等,相对新鲜。区内构造主要有断裂和褶皱构造,断裂主要为北东向、北西向及近南北向,北东向多为基底断裂,中生代以来再次活化;褶皱主要发育在古生代地层中。区内岩浆活动发育,均为白垩纪侵入体(待发表数据),岩性为正长斑岩、闪长玢岩、二长斑岩、花岗斑岩等。

## 2 样品特征

研究区梅勒图组大面积出露在研究区东南部老头山及老婆山一带,其岩性组合为安山岩、辉石安山岩、安山质晶屑熔结凝灰岩、凝灰质长石砂岩等。本次采取样品主要为安山岩及安山质晶屑熔

结凝灰岩,2 件样品用于测年,5 件用于主量和微量元素测试。

安山岩(图 2-a),岩石风化面呈锈褐色,新鲜面呈绿灰色,斑状结构,块状构造。斑晶主要由斜长石组成,粒径 0.20~1.00mm,低正突起,一级灰干涉色,聚片双晶发育,弱绢云母化,约占 30%;基质主要为隐晶质,约占 68%;其余为副矿物,主要由磁铁矿组成,约占 2%。岩石多发育气孔,局部被硅质充填构成杏仁体。

安山质晶屑熔结凝灰岩(图 2-b),岩石风化面呈锈褐色,新鲜面呈灰紫色,晶屑熔结凝灰结构,块状构造。岩石主要由晶屑、塑性岩屑、火山尘等组成。晶屑主要由斜长石和黑云母构成,斜长石为淡褐色,聚片双晶发育,弱绢云母化,粒径介于 0.5~2mm 之间,约占 15%;黑云母已脱色,片状,沿解理有铁质析出,弱黝帘石化,粒径介于 0.3~1.5mm 之间,约占 5%;塑性岩屑呈土黑色,条状,两端撕裂状,长度一般 2~12mm,约占 8%,其余由隐晶质火山尘组成,约占 72%。

## 3 分析方法

主量和微量元素分析测试在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成,主量元素使用 X-射线荧光分析(XRF),微量元素使用仪器为电感耦合等离子体质谱谱仪(ICP-MS 法),实验过程中室内温度为 20℃,相对湿度 30%。主量元素分析误差优于 3%,稀土和微量元素分析误差优于 5%。

锆石挑选和处理在廊坊区域地质调查研究所进行。锆石制靶及阴极发光图像制备在北京锆年领航科技有限公司完成,仪器为日本 JEOL 公司生产的 JSM6510 型扫描电子显微镜。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年在北京科荟测试有限公司完成,锆石定年分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为 25 $\mu$ m,频率为 10Hz,能量密度约为 2.5J/cm<sup>2</sup>,以氦为载气。信号较小的 <sup>207</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb、<sup>204</sup>Pb(+<sup>204</sup>Hg)、<sup>202</sup>Hg 用离子计数器(multi-ion-counters)接收,<sup>208</sup>Pb、<sup>232</sup>Th、<sup>238</sup>U 信号用法拉第杯接收,实现了所有目标同位素信号的同时接收且不同质量数的峰基本上都是平坦的,进而可以获得高精度的数据,均匀锆石颗粒的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U、<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 测试误差(2 $\sigma$ )均为

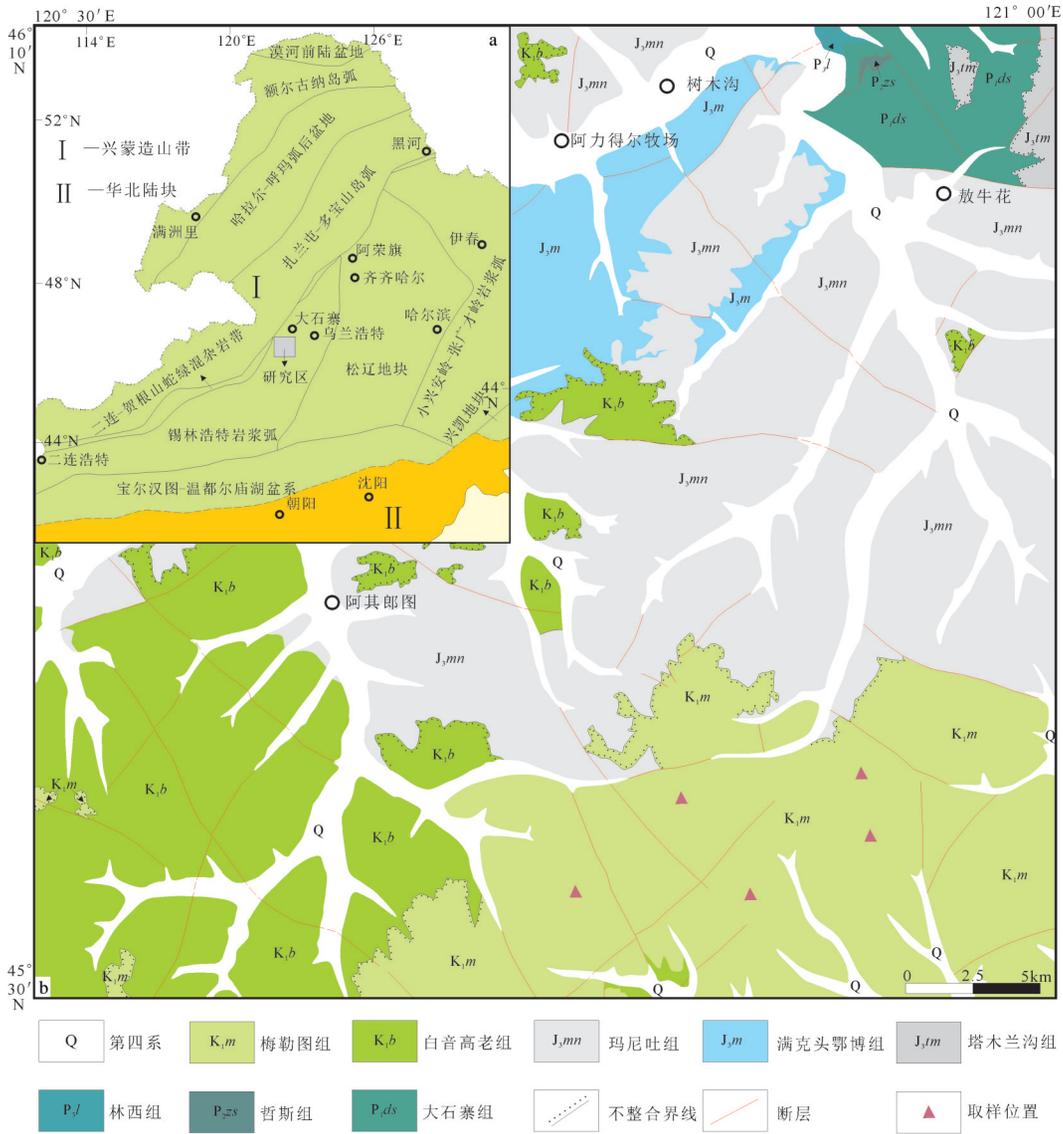


图1 研究区大地构造位置(a)及地质简图(b)

Fig. 1 Tectonic location (a) and simplified geological map (b) of the study area

2%左右,对锆石标准的定年误差在1%(2σ)左右。LA-MC-ICP-MS激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式,数据分析前用锆石GJ-1调试仪器,使之达到最优状态,锆石U-Pb定年以锆石GJ-1为外标,U、Th含量以锆石M127(U含量为 $923 \times 10^{-6}$ ,Th为 $439 \times 10^{-6}$ ,Th/U值为0.475)<sup>[14]</sup>为外标进行校正。测试过程中每测定10个样品前后重复测定2个锆石GJ-1对样品进行校正,并测量1个锆石Plesovice,观察仪器的状态以保证测试的精确度。数据处理采用ICPMSDataCal程序<sup>[15]</sup>,测量过程中绝大多数分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 1000$ ,未进行普通铅校正, $^{204}\text{Pb}$ 由离

子计数器检测, $^{204}\text{Pb}$ 含量异常高的分析点可能受包体等普通铅的影响,对 $^{204}\text{Pb}$ 含量异常高的分析点在计算时剔除,锆石U-Pb谐和图用Isoplot 3.0程序获得<sup>[16]</sup>。详细实验测试过程参见侯可军等<sup>[17]</sup>。

## 4 分析结果

### 4.1 锆石U-Pb年代学

本次分别对梅勒图组安山质晶屑熔结凝灰岩和安山岩样品进行了锆石U-Pb定年,锆石大部分为自形晶,多数呈长柱状,大小集中在40~170μm,长宽比介于1~4之间。阴极发光图像(CL)显示,

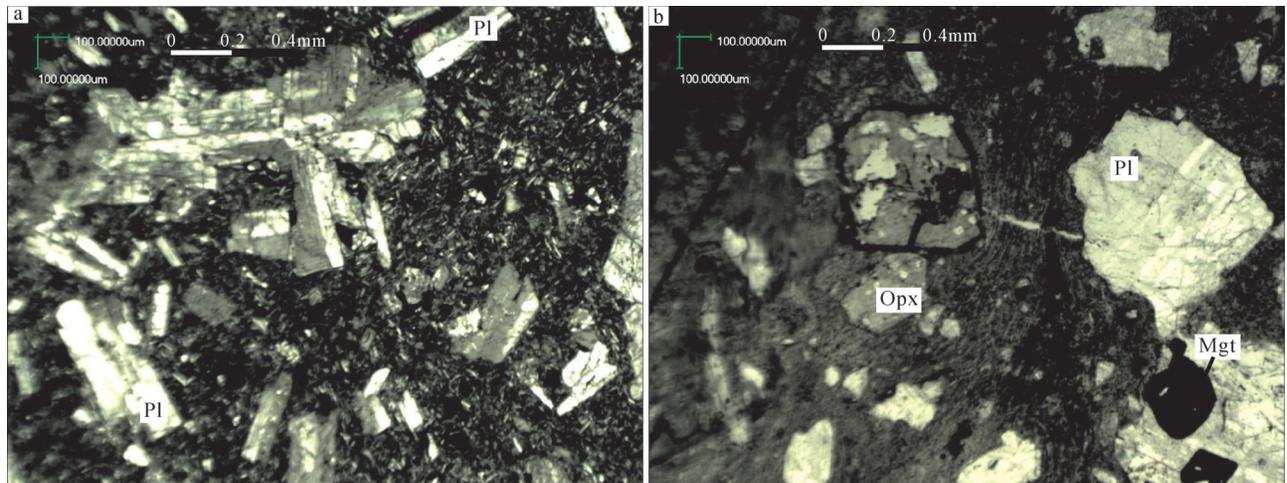


图 2 梅勒图组火山岩显微照片

Fig. 2 Microphotographs of Meiletu Formation volcanics

a—安山岩(+); b—安山质晶屑熔结凝灰岩(+); Pl—斜长石; Opx—单斜辉石; Mgt—磁铁矿; (+)—偏光显微镜下的正交偏光

锆石具清楚的生长韵律环带(图 3)。锆石的 Th/U 值为 0.33 ~ 1.51, 远大于 0.1, 与典型岩浆成因锆石的 Th/U 值一致<sup>[18]</sup>。结合其 CL 图像特征, 认为这些锆石均为岩浆成因。2 件样品的定年结果见表 1。

测年结果显示, 安山质晶屑熔结凝灰岩 11 颗锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄较集中, 介于 122 ~ 128 Ma 之间, 在  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图(图 4-a)上, 所有数据点均落在谐和线上及其附近, 谐和度较好, 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值为  $125.6 \pm 1.6\text{Ma}$  (MSWD=0.6)。

安山岩 17 颗锆石的 17 个分析点年龄数据较分散, 存在明显的 3 组年龄区间, 分别为 2431 ~ 2502 Ma ( $n=6$ )、200 ~ 213 Ma ( $n=4$ ) 和 117 ~ 124 Ma ( $n=7$ ), 其中前两组为捕获锆石年龄, 予以剔除, 后一组应为岩浆结晶年龄。在  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图(图 4-b)上, 该组中 7 颗锆石的 7 个数据点均落在谐和线上及其附近, 谐和度较好, 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值为  $120.2 \pm 2.2\text{Ma}$  (MSWD=0.95)。

#### 4.2 岩石地球化学

该区梅勒图组火山岩具有相对高的  $\text{SiO}_2$  和全碱含量(表 2), 其  $\text{SiO}_2$  含量为 60.4% ~ 65.3%, 全碱 ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) 含量为 7.0% ~ 9.5%,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  值介于 0.47 ~ 1.10 之间,  $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  和  $\text{TFeO}$  含量分别为 0.84% ~ 2.02%、2.50% ~ 4.92% 及 3.98% ~ 6.21%,  $\text{Mg}^\#$  值介于 27 ~ 37 之间, 铝饱和指数 A/CNK 为 0.89 ~ 0.98。在火山岩 TAS 判别图解中, 样品点主要落入粗

面岩及粗面安山岩区, 位于碱性与亚碱性分界线附近(图 5-a); 在 A/CNK—A/NK 图解上, 样品点均落入准铝质区(图 5-b); 在  $\text{Na}_2\text{O}$ — $\text{K}_2\text{O}$  判别图解中, 样品点多落入钾质区(图 5-c); 在  $\text{SiO}_2$ — $\text{K}_2\text{O}$  图解(图 5-d)中, 样品点全部落入钾玄岩及高钾钙碱性系列区。

稀土元素总量为  $124 \times 10^{-6} \sim 169 \times 10^{-6}$ , Yb 含量为  $2.06 \times 10^{-6} \sim 2.88 \times 10^{-6}$ 。在球粒陨石标准化稀土元素配分图解中, 样品普遍具有轻稀土元素富集、重稀土元素亏损特征, 轻、重稀土元素分馏程度明显, 其  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  值为 5.83 ~ 13.4, 曲线总体呈右倾型, 负 Eu 异常微弱 ( $\delta\text{Eu}=0.84 \sim 1.05$ ) (图 6-a), 反映岩浆源区未经历明显的斜长石分离结晶作用。

在原始地幔标准化微量元素蛛网图上, 样品富集 Rb、Ba、Th、U、K、La、Nd, 亏损 Nb、Ta、P 和 Ti (图 6-b), 指示源区可能经历了独居石或金红石的分离结晶。岩石中 Sr 含量为  $383 \times 10^{-6} \sim 636 \times 10^{-6}$ , Y 含量为  $17.8 \times 10^{-6} \sim 22.4 \times 10^{-6}$ , Sr/Y 值较低, 介于 19.4 ~ 29.7 之间, 指示岩石不具埃达克岩特征。

## 5 讨论

### 5.1 形成时代

梅勒图组安山质晶屑熔结凝灰岩及安山岩进行的锆石定年结果显示, 安山质晶屑凝灰岩形成年龄为  $125.6 \pm 1.6\text{Ma}$ , 安山岩形成年龄为  $120.2 \pm 2.2\text{Ma}$ 。由此说明, 科右前旗一带梅勒图组火山岩形成时代为 120 ~ 126 Ma, 形成于早白垩世中期。该

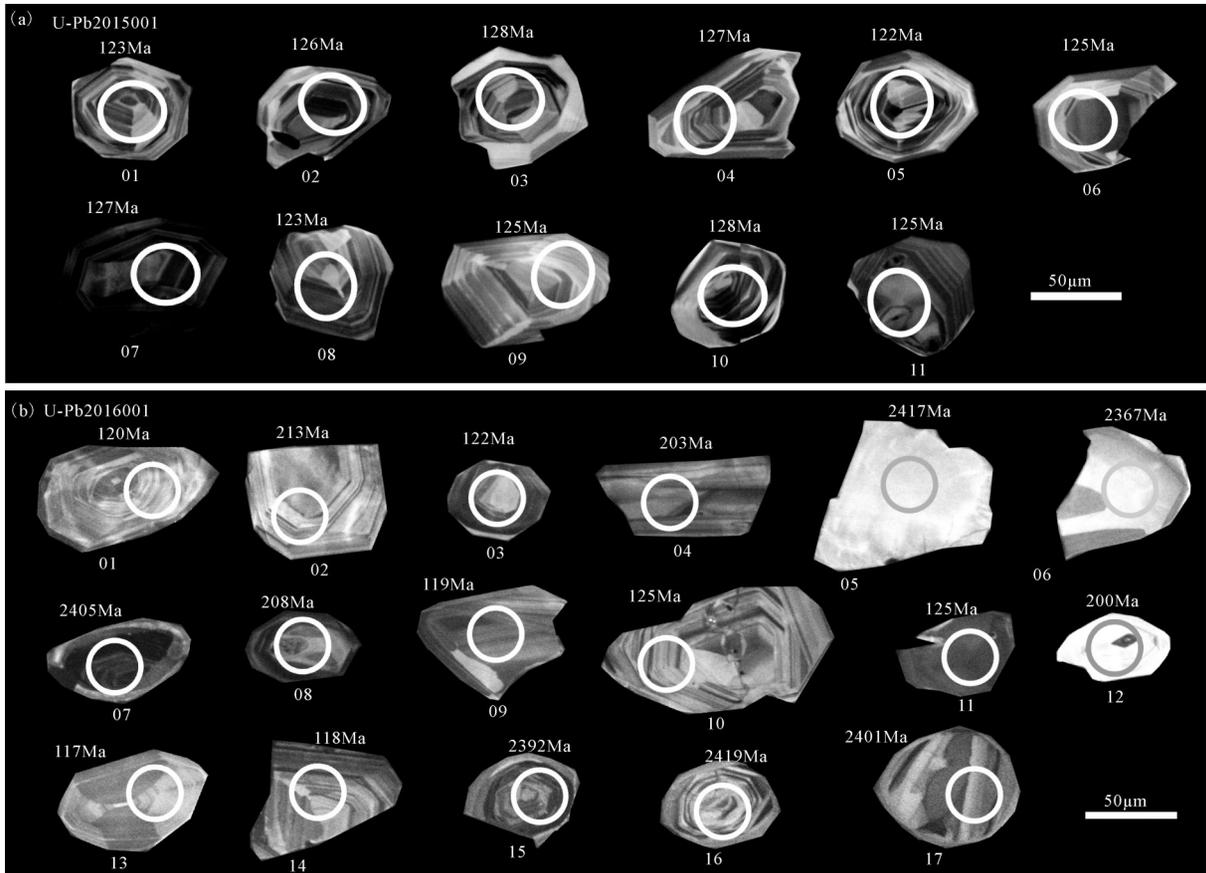


图3 梅勒图组火山岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 CL images of zircons from Meiletu Formation volcanics

a—安山质晶屑熔结凝灰岩;b—安山岩

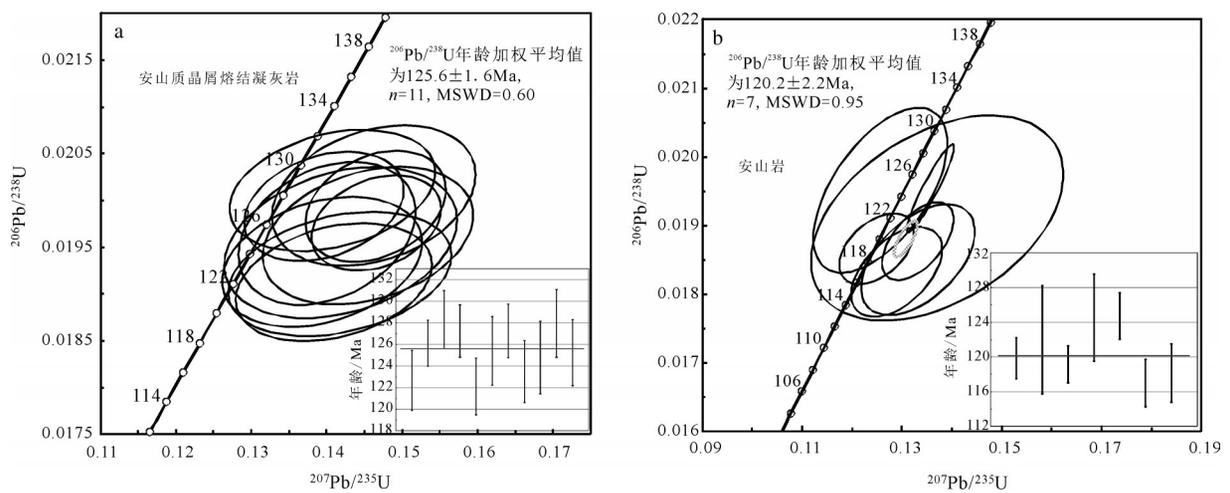


图4 研究区梅勒图组火山岩锆石U-Pb谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagrams of zircons from Meiletu Formation volcanic rocks in the study area

表 1 梅勒图组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb data for the volcanic rocks of the Meletu Formation

测点号	含量/ $10^{-6}$			Th/U	同位素比值			年龄 /Ma		
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm 1\sigma$
01	9.44	171	349	0.49	0.0544±0.0035	0.1418±0.0098	0.01921±0.00044	387±146	135±9	123±3
02	15.8	360	526	0.69	0.0542±0.0021	0.1466±0.0057	0.01976±0.00034	389±81	139±5	126±2
03	11.79	191	357	0.54	0.0525±0.0042	0.1484±0.0130	0.02030±0.00062	306±177	141±12	130±4
04	10.59	177	392	0.45	0.0506±0.0025	0.1397±0.0070	0.01993±0.00039	220±113	133±6	127±2
05	7.04	106	293	0.36	0.0549±0.0036	0.1410±0.0086	0.01912±0.00042	409±148	134±8	122±3
06	9.13	209	290	0.72	0.0548±0.0035	0.1401±0.0077	0.01964±0.00050	406±144	133±7	125±3
07	22.7	517	741	0.70	0.0531±0.0021	0.1466±0.0061	0.01994±0.00039	332±91	139±5	127±2
08	7.65	124	288	0.43	0.0522±0.0033	0.1394±0.0087	0.01934±0.00046	300±146	133±8	123±3
09	5.29	69.3	211	0.33	0.0543±0.0040	0.1419±0.0102	0.01955±0.00053	383±167	135±9	125±3
10	14.21	295	481	0.61	0.0557±0.0039	0.1463±0.0089	0.02005±0.00050	443±156	139±8	128±3
11	6.66	117	267	0.44	0.0559±0.0036	0.1455±0.0192	0.01962±0.00048	456±146	138±8	125±3
01	8.06	119	333	0.36	0.0520±0.0020	0.1332±0.0047	0.01877±0.00038	283±89	127±4	120±2
02	20.6	191	463	0.41	0.0533±0.0016	0.2475±0.0083	0.03366±0.00077	346±67	225±7	213±5
03	6.14	161	240	0.67	0.0492±0.0027	0.1371±0.0167	0.01910±0.00099	167±123	130±15	122±6
04	29.9	77.8	765	0.10	0.0525±0.0009	0.2316±0.0050	0.03203±0.00062	309±6	212±4	203±4
05	15.2	22.3	22.5	0.99	0.1587±0.0038	9.964±0.632	0.45496±0.02845	2442±41	2431±59	2417±126
06	43.2	64.2	60.6	1.06	0.1643±0.0019	10.07±0.205	0.44372±0.00799	2502±19	2441±19	2367±36
07	557	780	797	0.98	0.1598±0.0020	9.970±0.244	0.45229±0.01110	2454±22	2432±23	2405±49
08	16.4	111	394	0.28	0.0544±0.0013	0.2460±0.0069	0.03279±0.00055	387±56	223±6	208±3
09	8.07	236	302	0.78	0.0485±0.0017	0.1250±0.0049	0.01866±0.00034	124±83	120±4	119±2
10	4.91	119	177	0.67	0.1124±0.0650	0.1257±0.0089	0.01951±0.00079	1839±1276	120±8	125±5
11	13.6	207	545	0.38	0.0508±0.0013	0.1358±0.0031	0.01954±0.00042	232±57	129±3	125±3
12	2.39	37.5	53.0	0.71	0.0549±0.0052	0.2413±0.0242	0.03157±0.00066	409±210	220±20	200±4
13	4.85	95.6	203	0.47	0.0511±0.0020	0.1290±0.0060	0.01832±0.00043	256±95	123±5	117±3
14	4.92	126	196	0.64	0.0520±0.0025	0.1333±0.0075	0.01850±0.00053	287±111	127±7	118±3
15	201	176	306	0.58	0.1595±0.0072	9.881±0.292	0.44929±0.00803	2450±76	2424±27	2392±36
16	182	205	268.6	0.76	0.1611±0.0018	10.12±0.275	0.45537±0.01127	2478±18	2446±25	2419±50
17	102.6	132.5	151.6	0.87	0.1577±0.0019	9.793±0.211	0.45130±0.00986	2431±20	2416±20	2401±44

年龄与科右中旗一带梅勒图组火山岩年龄(123~125Ma)近一致<sup>[25]</sup>。由于安山质晶屑熔结凝灰岩属于火山碎屑岩,而安山岩属于熔岩,测试结果显示安山质晶屑熔结凝灰岩老于安山岩形成年龄,说明梅勒图组火山喷发可能经历了喷发-溢流的正旋回。本次在安山岩中发现 2431~2501Ma( $n=6$ )的捕获锆石,其具有高的 Th/U 值(0.58~1.06),岩浆成因明显,说明测区存在古元古代结晶基底。

## 5.2 岩石成因

前人研究认为,梅勒图组主要为一套中基性火山岩,局部地区为中酸性、酸性火山岩<sup>[26]</sup>。本次测试结果显示,科右前旗一带梅勒图组火山岩  $\text{SiO}_2$  含量为 60.4%~65.3%,金玲等<sup>[25]</sup>对科右中旗一带梅勒图组火山岩研究显示,其  $\text{SiO}_2$  含量为 52.0%~60.5%,说明兴安盟一带的梅勒图组火山岩主要为中酸性,与大兴安岭北段相比缺乏基性端元<sup>[27-28]</sup>,指示大兴安岭南段和北段可能存在不同的岩浆源区<sup>[29]</sup>。

科右前旗一带梅勒图组火山岩明显富集大离子亲石元素(LILE),如 Rb、Ba、Th、U、K 和 LREE(轻稀土元素),亏损高场强元素(HFSE),如 Nb、Ta、P 和 Ti。大离子亲石元素及轻稀土元素的富集和高场强元素亏损,暗示岩浆可能来自地壳或富集型地幔源区。岩石的 Rb/Sr 值介于 0.06~0.36(平均 0.23),明显高于原始地幔(0.03)、E-MORB(0.033)和 OIB(0.047)的 Rb/Sr 值<sup>[30]</sup>,而又低于地壳岩浆的范围( $>0.5$ )<sup>[31]</sup>,说明岩浆来源于富集型地幔而非地壳。前人研究表明,钾质-高钾岩石主要起源于富集地幔(有来自消减带的水和 LILE 的加入)<sup>[21,32-33]</sup>,以上事实说明岩浆源区主要为富集地幔。但是鉴于岩石具有相对高的  $\text{SiO}_2$  含量、亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti 等,以及相对低的  $\text{Mg}^\#$  值(27~37),说明岩浆源区存在流体交代作用或岩浆上升途中受到地壳物质混染。吴华英等<sup>[34]</sup>研究认为,受地壳混染的岩浆,其  $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  值与  $\text{SiO}_2$  具有明显的线性关

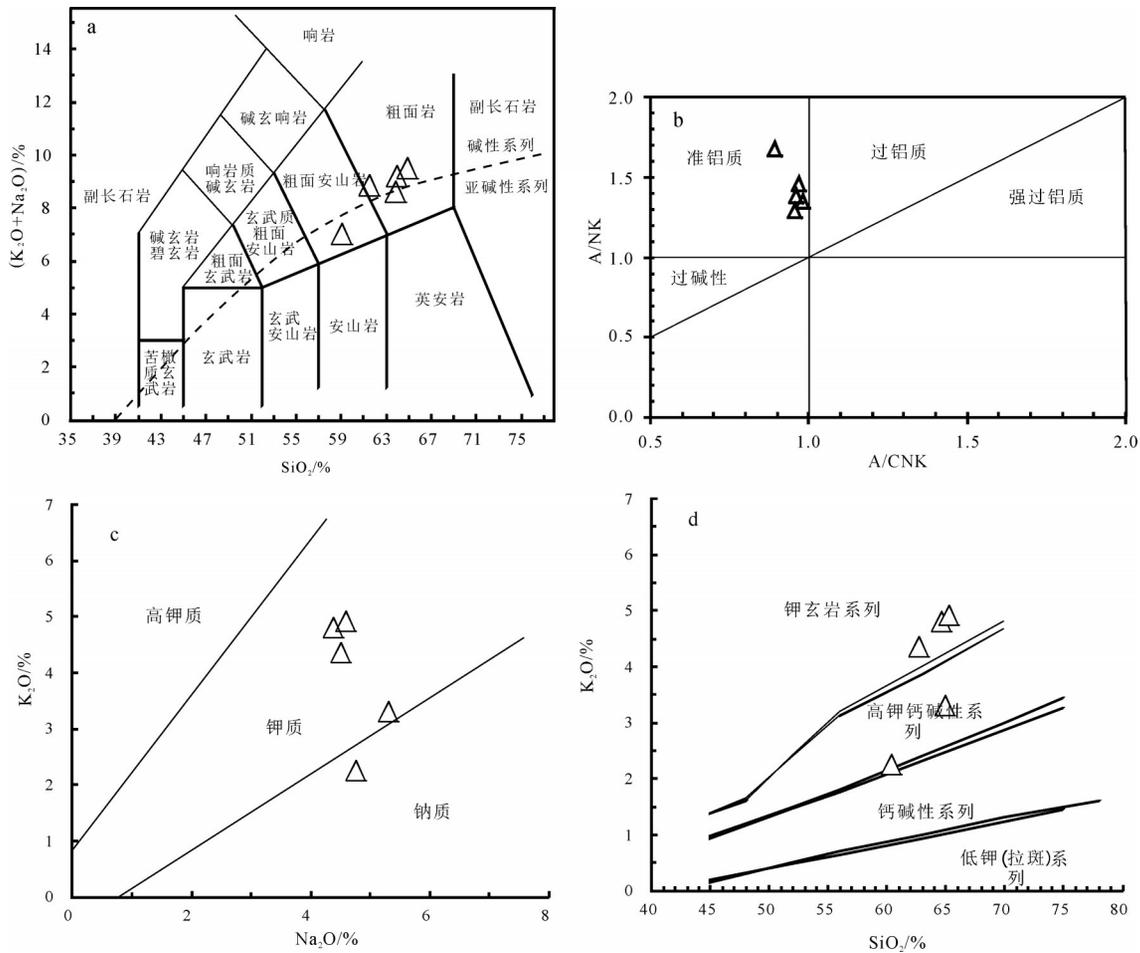


图5 梅勒图组火山岩 TAS图解(a)<sup>[19]</sup>、A/CNK-A/NK图解(b)<sup>[20]</sup>、Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O图解(c)<sup>[21]</sup>和SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解(d)<sup>[22]</sup>

Fig. 5 TAS (a), A/CNK-A/NK (b), Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O (c) and SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O (d) diagrams for Meiletu Formation volcanic rocks

系,研究区火山岩的K<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>值与SiO<sub>2</sub>含量具有这种线性关系(图7),说明岩浆上升过程中受到地壳物质的影响,这与岩石中含有大量捕获锆石一致。因此,科右前旗一带梅勒图组火山岩源区主要来自富集地幔,岩浆上升过程中受到地壳物质的混染。

### 5.3 地球动力学背景

在火山岩 TAS 判别图中,样品点均落入碱性与亚碱性分界线附近(图 5-a);在 Zr-Zr/Y 相关图解(图 8-a)中,样品除 1 个点落入火山弧外,其余均落入板内玄武岩区;在 Y-Sr/Y 判别图解(图 8-b)中,样品点主要落入正常的岛弧火山岩区。以上事实表明,岩石形成的构造背景既有板内特征又具火山弧的印记。大量研究表明,西伯利亚板块与华北板块在华力西末期一印支期已完全拼合为一个整体<sup>[37-40]</sup>,因此研究区在燕山期已完全处于板内环境,岩石具火山弧的特征可能为早期基底岛弧物质的反映。前人对大兴

安岭中生代火山岩形成的动力学背景进行了大量的研究,总体认为其形成于伸展的构造环境,但是关于该伸展环境的成因目前争议较大,有地幔柱成因<sup>[2,29,41]</sup>、软流圈上涌<sup>[42]</sup>等机制。通过本次综合研究,认为梅勒图组火山岩的形成除与上述因素有关外,可能还与太平洋板块的俯冲有关。

研究区岩石均为钾质-高钾系列,其岩石源区为富集地幔(有来自消减带的水和 LILE 的加入),说明研究区深部可能存在俯冲消减带。孟恩等<sup>[43]</sup>通过东北地区早白垩世火山岩研究发现,在岩石化学特征上,靠近陆缘一侧(虎林-东宁-临江一线),早白垩世火山岩显示钙碱性组合,而靠近陆内一侧(如松辽盆地及以西地区)早白垩世火山岩显示双峰式火山岩组合的特征。基于这种空间分布特征,该区早白垩世梅勒图组火山岩的形成应与古太平洋板块的俯冲作用有关<sup>[44]</sup>。同时,最新的地质及地球物

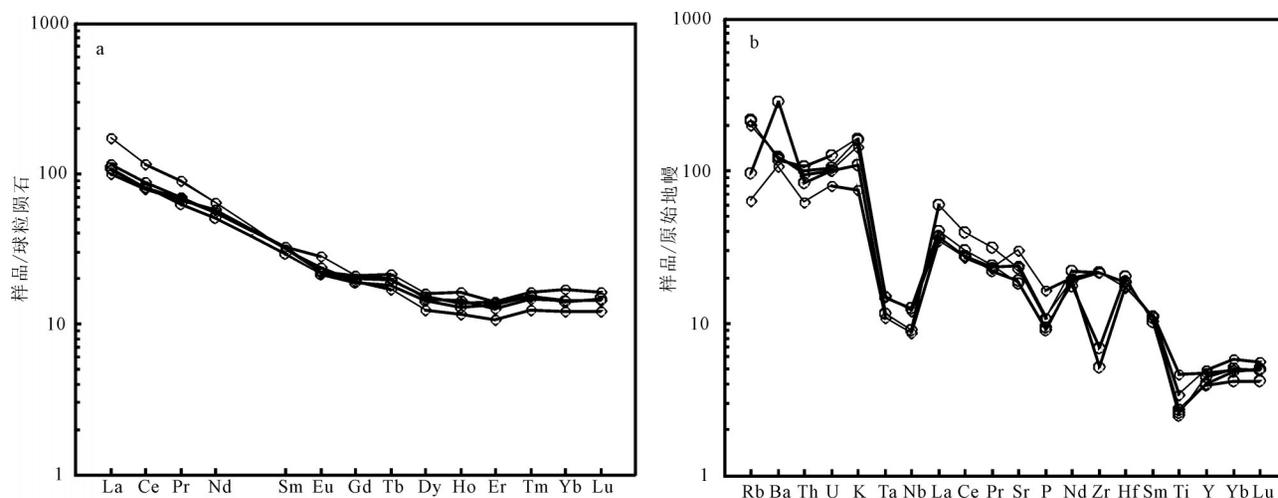


图 6 梅勒图组火山岩稀土元素配分曲线(a)和微量元素蛛网图(b)

(标准化数值据参考文献[23-24])

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spidergrams (b) for Meiletu Formation volcanic rocks

表 2 梅勒图组火山岩主量、微量及稀土元素分析结果

Table 2 Analyses of major, trace elements and REE for Meiletu Formation volcanic rocks

样品号	GXW	GXW	GXW	GXW	GXW	样品号	GXW	GXW	GXW	GXW	GXW
	2016019	2016022	2016037	2016053	2016054		2016019	2016022	2016037	2016053	2016054
SiO <sub>2</sub>	64.02	64.88	61.58	59.1	63.81	Ho	0.73	0.79	0.92	0.81	0.66
TiO <sub>2</sub>	0.573	0.536	0.719	0.982	0.548	Er	2.24	2.31	2.35	2.10	1.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.54	16.52	17.36	16.82	16.74	Tm	0.39	0.39	0.42	0.38	0.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.66	1.83	2.57	3.25	1.73	Yb	2.39	2.45	2.88	2.43	2.06
FeO	2.98	2.31	2.02	3.15	2.41	Lu	0.37	0.36	0.41	0.36	0.31
MnO	0.11	0.098	0.073	0.125	0.102	∑REE	124.5	134.3	128.5	126.3	168.8
MgO	1.07	0.834	1.34	1.98	1.02	Eu/Eu <sup>+</sup>	0.88	0.85	0.84	1.05	0.95
CaO	2.51	2.48	3.33	4.81	2.93	(La/Yb) <sub>N</sub>	7.19	7.57	5.83	6.60	13.42
Na <sub>2</sub> O	4.34	4.56	4.43	4.67	5.23	Sr	401.0	388.0	506.0	636.0	483.0
K <sub>2</sub> O	4.76	4.89	4.27	2.2	3.25	Rb	134.0	139.0	126.0	40.70	60.60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2	0.194	0.23	0.352	0.225	Ba	865.0	837.0	868.0	753.0	2005
烧失量	0.88	0.61	1.82	2.16	1.7	Th	8.52	9.05	8.02	5.27	7.07
总计	99.63	99.74	99.74	99.60	99.69	Nb	8.91	8.94	8.50	6.19	6.44
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1.10	1.07	0.96	0.47	0.62	Zr	77.00	56.90	239.0	243.0	240.0
A/CNK	1.35	1.29	1.46	1.67	1.38	Cs	5.11	4.94	2.47	0.83	3.15
Mg <sup>#</sup>	30	27	36	37	31	Ga	17.50	17.10	22.90	22.80	21.70
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.98	4.40	4.82	6.76	4.41	Hf	6.26	5.40	5.73	5.33	5.79
La	25.50	27.50	24.90	23.80	41.00	Sc	8.68	7.50	11.10	12.70	6.53
Ce	49.40	53.30	48.90	48.00	70.20	Cr	10.70	6.11	17.90	3.99	7.21
Pr	6.01	6.62	6.44	6.30	8.57	V	30.40	20.50	54.20	101.0	29.40
Nd	23.50	25.80	25.80	26.70	30.00	Ni	3.48	2.54	5.11	2.76	2.99
Sm	4.49	4.81	4.96	5.01	4.77	U	2.20	2.65	2.10	1.67	2.09
Eu	1.23	1.27	1.30	1.64	1.39	Y	18.20	20.00	22.40	21.40	17.80
Gd	3.92	4.16	4.35	4.31	3.98	Ta	0.61	0.61	0.62	0.45	0.48
Tb	0.68	0.74	0.80	0.75	0.64	Sr/Y	22.03	19.40	22.59	29.72	27.13
Dy	3.66	3.85	4.09	3.73	3.13						

注:主量元素含量单位为%,微量和稀土元素含量单位为10<sup>-6</sup>

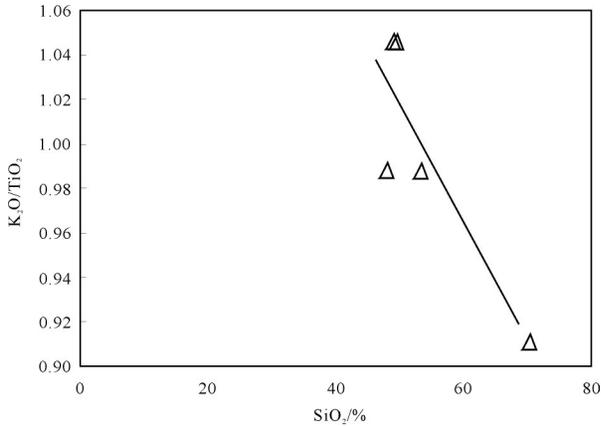


图7 梅勒图组火山岩  $K_2O/TiO_2$  与  $SiO_2$  相关性判别图<sup>[34]</sup>

Fig. 7  $SiO_2$ - $K_2O/TiO_2$  diagram for Meiletu Formation volcanic rocks

理资料显示,太平洋板块向欧亚板块俯冲始于晚侏罗世<sup>[45-46]</sup>,说明在时间演化上也与梅勒图组火山岩喷发吻合。

### 6 结论

- (1) 研究区梅勒图组火山岩形成时代为 120 ~ 126Ma, 形成于早白垩世中期。
- (2) 研究区梅勒图组火山岩具相对高的  $SiO_2$  和全碱含量, 其岩石源区为富集地幔, 岩浆上升过程中受到地壳物质的混染。
- (3) 研究区梅勒图组火山岩形成于板内伸展环境, 其形成的地球动力学背景可能与古太平洋板块

的俯冲有关。

**致谢:** 野外工作得到武警黄金第四支队一中队全体官兵的帮助, 测试过程中得到核工业北京地质研究院分析测试研究中心和北京科荟测试有限公司相关人员的帮助, 审稿专家提出了建设性的修改意见, 在此一并致以诚挚的感谢。

### 参考文献

- [1] 陶传忠. 乌兰浩特南部玛尼吐组火山岩的形成时代及岩石成因[D]. 吉林大学硕士学位论文, 2015:1-48.
- [2] 葛文春, 林强, 李献华, 等. 大兴安岭北部伊列克组玄武岩的地球化学特征[J]. 矿物岩石, 2000, 20(3): 14-18.
- [3] 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.
- [4] 赵国龙, 杨桂林, 傅嘉有. 大兴安岭中南部中生代火山岩[M]. 北京: 科学技术出版社, 1989:1-252.
- [5] 孙德有, 许文良, 周燕. 大兴安岭中生代火山岩的形成机制[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 1994, 3: 162-164.
- [6] 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 and Planetary Science Letters, 2006, 251: 179-198.
- [7] Zhang J H, Ge W C, Wu F Y, et al. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range[J]. Northeastern China. Lithos, 2008, 102: 138-157.
- [8] 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: 144-165.
- [9] Fan W M, Guo F, Wang Y J, et al. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China[J]. Journal of Volcanology and

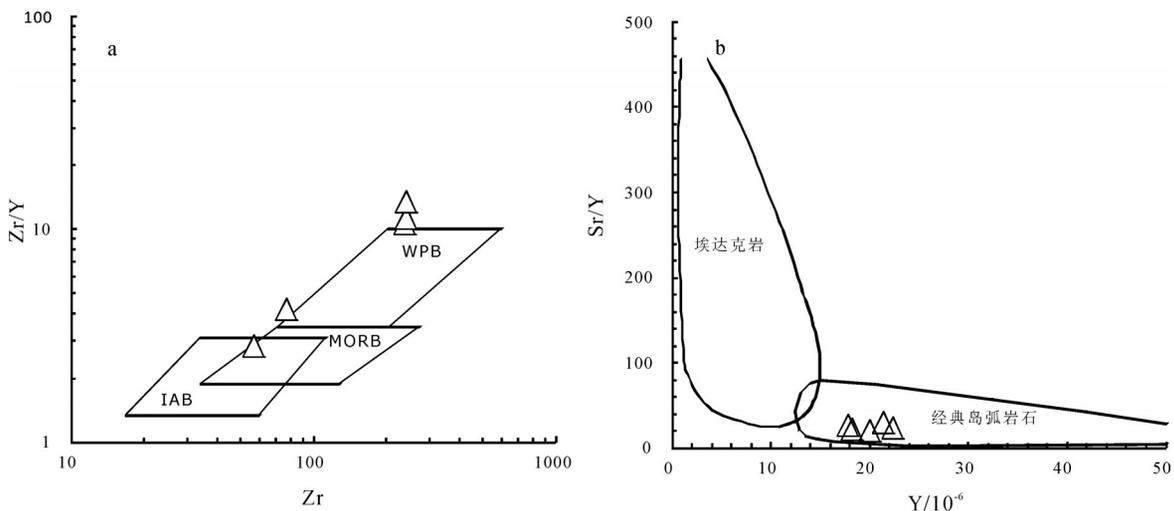


图8 梅勒图组火山岩  $Zr-Zr/Y$ (a)<sup>[35]</sup>和  $Y-Sr/Y$ (b)<sup>[36]</sup>判别图

Fig. 8  $Zr-Zr/Y$  (a) and  $Y-Sr/Y$  (b) diagrams for Meiletu Formation volcanic rocks  
WPB—板内玄武岩; MORB—大洋中脊玄武岩; IAB—火山弧玄武岩

- Geothermal Research, 2003, 121: 115-135.
- [10] Meng Q R. What drove Late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract[J]. *Tectonophysics*, 2003, 369: 155-174.
- [11] 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.
- [12] 蒋国源, 权恒. 大兴安岭根河-海拉尔盆地中生代火山岩[J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1988, 17: 23-100.
- [13] 夏军, 王成善, 李秀华, 等. 海拉尔及其邻区中生代火山岩的特征及其边缘陆块型火山岩的提出[J]. 成都地质学院学报, 1993, 20(4): 67-79.
- [14] Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, et al. Zircon M257- a homogeneous natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2008, 32: 247-265.
- [15] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling- induced melt- peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 2009, 51: 537-571.
- [16] Ludwig K R. User' s Manual for Isoplot /Ex (version 2.49): A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2001, 1:55.
- [17] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-492.
- [18] Williams I S, Buick I S, Cartwright I. An extended episode of Early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynolds Range, central Australia[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 1996, 14(1): 29-47.
- [19] Bas M J L, Maitre R W L, Streckeis A, et al. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali- Silica Diagram[J]. *Journal of Petrology*, 1986, 27(3): 745-750.
- [20] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, 101: 635-643.
- [21] Turner S, Arnaud N, Liu J, et al. Post- collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the Lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. *Petrol.*, 1993, 37(1): 45-71.
- [22] Peccerillo R, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc- alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1976, 50: 63-81.
- [23] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[J]. *Geochem.*, 1984, 2: 63-114.
- [24] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985:54-374.
- [25] 金玲, 杨伟红, 杨德明, 等. 内蒙古科右中旗地区梅勒图组安山岩年代学特征及其地质意义[J]. 世界地质, 2014, 33(1): 48-58.
- [26] 内蒙古地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [27] 徐美君, 许文良, 孟恩, 等. 内蒙古东北部额尔古纳地区上护林-向阳盆地中生代火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J]. 地质通报, 2011, 30(9): 1321-1338.
- [28] 解开瑞, 巫建华, 李长华, 等. 满洲里达石莫盆地流纹岩、花岗斑岩 SHRIP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 铀矿地质, 2015, 31(6): 569-577.
- [29] 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): 396-407.
- [30] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and process[C]// Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, 1989, 42: 313-345.
- [31] Tischendorf G, Paelchen W. Zur Klassifikation von Granitoiden. Classification of granitoids[J]. *Zeitschrift fuer Geologische Wissenschaften*, 1985, 13(5): 615-627.
- [32] Rogers N W, Hawkesworth C J, Matthey D P, et al. Sediment subduction and the source of potassium in orogenic leucites[J]. *Geology*, 1987, 15: 451-453.
- [33] 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 粤西阳春中生代钾质侵入岩及其构造意义: II. 微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学[J]. 地球化学, 2001, 30(1): 57-65.
- [34] 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.
- [35] Pearce J A, Norry M J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1979, (69): 33-47.
- [36] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. *Nature*, 1990, 347(18): 662-665.
- [37] 代军治, 毛景文, 杨富全, 等. 华北地台北缘燕辽钼(铜)成矿带矿床地质特征及动力学背景[J]. 矿床地质, 2006, 25(5): 598-612.
- [38] 李锦轶, 张进, 杨天南, 等. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2009, 39(4): 584-605.
- [39] 聂凤军, 张可, 刘翼飞, 等. 华北克拉通北缘及邻区印支期岩浆活动与钼和金成矿作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(6): 1651-1666.
- [40] 曾庆栋, 刘建明, 肖文交, 等. 华北克拉通南北缘三叠纪钼矿化类型、特征及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 357-371.
- [41] 林强, 葛文春, 孙德有, 等. 东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J]. 地质科学, 1998, 33(2): 129-139.
- [42] 邵济安, 刘福田, 陈辉, 等. 大兴安岭-燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用关系[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 56-61.
- [43] 孟恩, 许文良, 杨德彬, 等. 满洲里地区灵泉盆地中生代火山岩的锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 1209-1226.
- [44] 许文良, 葛文春, 裴福萍, 等. 东北地区中生代火山作用的年代学格架及其构造意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(3): 286-287.
- [45] Van der Voo R, Spakman W, Bijwaard H. Mesozoic subducted slabs under Siberia[J]. *Nature*, 1999, 397: 246-249.
- [46] Richards M S. Prospecting for Jurassic slabs[J]. *Nature*, 1999, 397: 203-204.