

·专题研究·

内蒙古海莫赛格酸性火山岩锆石 U-Pb 年龄、 地球化学特征及其意义

程银行 滕学建 李艳锋 杨俊泉 彭丽娜 李影 刘洋

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

摘要: 内蒙古海莫赛格地区发育有中-晚侏罗世酸性火山岩, 锆石 U-Pb 定年结果显示, 火山岩形成于 $164.0 \pm 1.0 \sim 155.5 \pm 0.9$ Ma, 属中-晚侏罗世。主量元素分析表明, 火山岩具高硅 ($\text{SiO}_2 = 62.09\% \sim 77.57\%$) 富碱 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.27\% \sim 10.13\%$) 富钾 ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.10 \sim 2.82$) 贫钙镁 ($\text{CaO} = 0.16\% \sim 2.46\%$, 平均为 0.73% ; $\text{MgO} = 0.10\% \sim 1.08\%$, 平均为 0.29% , $\text{Mg}^\#$ 多小于 45) 和高 $\text{FeO}^\text{T}/\text{MgO}$ ($2.37 \sim 7.22$, 平均为 4.49) 值的特征, 属准铝质-过铝质 ($\text{A}/\text{CNK} = 0.98 \sim 2.29$) 高钾钙碱性-钾玄岩系列岩石。微量元素数据显示, 稀土元素总量 ΣREE 为 $137.6 \times 10^{-6} \sim 315.3 \times 10^{-6}$, 轻、重稀土元素分馏比较明显 [$(\text{La}/\text{Yb})_N = 2.84 \sim 17.81$] 轻稀土元素 (LREE) 较为富集, 重稀土元素分布相对平坦, 球粒陨石标准化配分模式为右倾型, 中等-弱负铈异常 ($\delta\text{Eu} = 0.14 \sim 0.79$, 1 个样品为 1.54), 微量元素富集大离子亲石元素 (LILE) Rb, Ba, Th, K, 贫 Sr 并亏损高场强元素 (HFSE) Nb, Ta, P, Ti, 岩石具低 S ($46.2 \times 10^{-6} \sim 799.3 \times 10^{-6}$, 平均 208.0×10^{-6}) 高 Y ($2.02 \times 10^{-6} \sim 4.23 \times 10^{-6}$) 含量。综合最新区域资料及本文研究成果, 笔者认为研究区中-晚侏罗世火山岩岩浆来源于壳源物质不同程度的部分熔融, 为造山后伸展阶段的产物, 可能与古太平洋板块大角度北向斜向俯冲作用导致的走滑-拉伸作用有关。

关键词: 中-晚侏罗世, 满克头鄂博组, 锆石 U-Pb 年龄, 造山后伸展, 内蒙古

中图分类号: P588.12⁺.1; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)02-0211-15

Geochronology, geochemistry and geological significance of felsic volcanic rocks in Haimosaige area, Inner Mongolia

CHENG Yin-hang, TENG Xue-jian, LI Yan-feng, YANG Jun-quan, PENG Li-na, LI Ying and LIU Yang
(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China)

Abstract: Middle-Late Jurassic persilicic volcanic rocks in Haimosaige area of Inner Mongolia constitute one of the most important part of Mesozoic volcanic rocks in the Da Hinggan Mountains. In this paper, the authors studied the ages and geochemical characteristics of the rocks so as to probe into their tectonic settings. The test and analysis were completed at Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources. The zircon U-Pb dating by LA-MC-ICP-MS technique indicates that the crystallization ages of the volcanic rocks vary from 164.0 ± 1.0 Ma to 155.5 ± 0.9 Ma, suggesting middle-Late Jurassic. Geochemical researches indicate that the volcanic rocks from Haimosaige area are rich in silica ($\text{SiO}_2 = 62.09\% \sim 77.57\%$), alkali ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.27\% \sim 10.13\%$), K ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.10 \sim 2.82$) and poor in calcium ($\text{CaO} = 0.16\% \sim 2.46\%$, 0.73% on average), magnesium ($\text{MgO} = 0.10\% \sim 1.08\%$, 0.29% on average, $\text{Mg}^\# < 45$) and have high $\text{FeO}^\text{T}/\text{MgO}$ ratios ($\text{FeO}^\text{T}/\text{MgO} = 2.37 \sim 7.22$, 4.49 on average), implying a typical high-K calc-alkaline to shoshonitic series with metaluminous

收稿日期: 2013-08-05; 修订日期: 2014-02-14

基金项目: 国家地质调查项目(1212011120697; 1212011220446)

作者简介: 程银行(1982-), 男, 助理研究员, 地质学专业, 主要从事矿产地质调查与研究工作, E-mail: weicheng1858@163.com.

and peraluminous features ($A/CNK = 0.98 \sim 2.29$). The rocks are poor in rare earth elements with ΣREE being $137.6 \times 10^{-6} \sim 315.3 \times 10^{-6}$, enriched in LREE [$(La/Yb)_N = 2.84 \sim 17.81$], LILEs (Rb, Ba, Th, K) and depleted in HFSE, especially Nb, Ta, Sr, P and Ti. The δEu values vary from 0.14 to 1.54 (0.51 on average), with most rocks having moderate negative Eu anomalies. Similar REE distribution patterns imply that the volcanic rocks came from the same magma source. Most of the volcanic rocks with the characteristics of post-collision granites have lower Sr ($Sr = 46.2 \times 10^{-6} \sim 799.3 \times 10^{-6}$, 208.0×10^{-6} on average), high Yb ($Yb = 2.02 \times 10^{-6} \sim 4.23 \times 10^{-6}$) and obvious geochemical correlation. In combination with previous studies, the authors hold that the rhyolitic magma, which was in a post-orogenic extensional setting, was formed by varying degrees of the crust partial melting and the residua had a little plagioclase and hornblende. It was probably associated with the strike-slip and extension caused by the oblique subduction of the Palaeo-Pacific Ocean. These conclusions have most important significance for studying the volcanic activities and tectonic settings of Middle-Late Jurassic volcanic rocks. $164.0 \pm 1.0 \sim 155.5 \pm 0.9$ Ma might indicate the transform from orogenic to post-orogenic extensional setting between Middle-Late Jurassic and Early Cretaceous. The results obtained by the authors impose new constraints on tectonic-magmatic evolution of the Da Hinggan Mountains in Middle-Late Jurassic and also provide basic information for further research.

Key words: Middle-Late Jurassic; Manketouebo Formation; zircon U-Pb dating; post-orogenic extension; Inner Mongolia

内蒙古海莫赛格地区位于东乌旗北部约 30 km, 该区发育的酸性火山岩为我国东部大兴安岭中生代巨型火山岩带的重要组成部分(林强等, 1998; 林强, 1999; 吴福元等, 1999; 葛文春等, 2000), 记录了中生代构造岩浆演化和成矿背景的重要信息。近年来, 众多学者(陈志广等, 2006; Zhang Jiheng *et al.*, 2006; Wang Fei *et al.*, 2006; 张玉涛等, 2007; 张连昌等, 2007; 程银行等, 2013) 针对大兴安岭中生代火山岩进行研究, 获得大量锆石 U-Pb 同位素年龄, 介于 174 ~ 111 Ma 之间。这些成果资料多集中在北北东向大兴安岭主脊上, 对于远离大兴安岭主脊西侧约 200 km 海莫赛格一带零星出露火山岩构造属性的研究未见有报道, 也造成了研究区火山活动的构造背景、时代不清。目前关于中-晚侏罗世构造环境的主要观点有挤压构造背景(张宏等, 1999; 赵书跃等, 2004; 张永北等, 2006; 刘俊杰等, 2006) 造山后伸展背景(陈志广等, 2006; 程银行等, 2013) 或板内拉张环境(李长华等, 2009)。到早白垩世完全进入伸展构造环境(林强等, 2003; Wang Fei *et al.*, 2006), 但对于上述挤压造山向造山后伸展转换时限仍存在不确定性。鉴于此, 本文试图通过对海莫赛格一带出露的酸性火山岩进行锆石 U-Pb 年代学及其地球化学进行研究, 揭示其形成

时代、岩石成因及构造背景, 为大兴安岭中-晚侏罗世构造岩浆演化提供新的佐证。

1 区域地质背景及岩相学特征

研究区位于大兴安岭面型环状构造岩浆岩带南段西侧(图 1a)。晚古生代经历了古亚洲洋闭合及华北板块与西伯利亚板块的最终拼贴等过程(Zhao and Coe, 1996; 郭锋等, 2001), 晚侏罗世-早白垩世该区表现为岩石圈的伸展作用, 并伴随有强烈的火山喷发及盆岭构造样式组合(李思田等, 1987; 林强等, 2003; 李锦轶等, 2004), 形成了北东-北北东向大兴安岭中生代构造岩浆岩带。

研究区内地层(图 1b)自晚古生代至中生代均有出露。晚古生代地层主要为晚泥盆世安格尔音乌拉组, 岩性主要为变质细砂岩和泥质板岩。中生代地层主要为满克头鄂博组酸性火山岩, 在研究区可分为上下两段(图 2): 下段岩性以流纹质火山碎屑岩为主, 岩性为流纹质熔结凝灰岩、流纹质火山角砾岩、少量火山角砾岩和流纹岩; 上段以灰白色、灰黄色流纹岩、粗面岩为主, 流纹质熔结凝灰岩次之。两者所占比例约为 3:2, 其中下段火山岩角度不整合于安格尔音乌拉组(D_3a)上, 并被晚期正长花岗岩(161

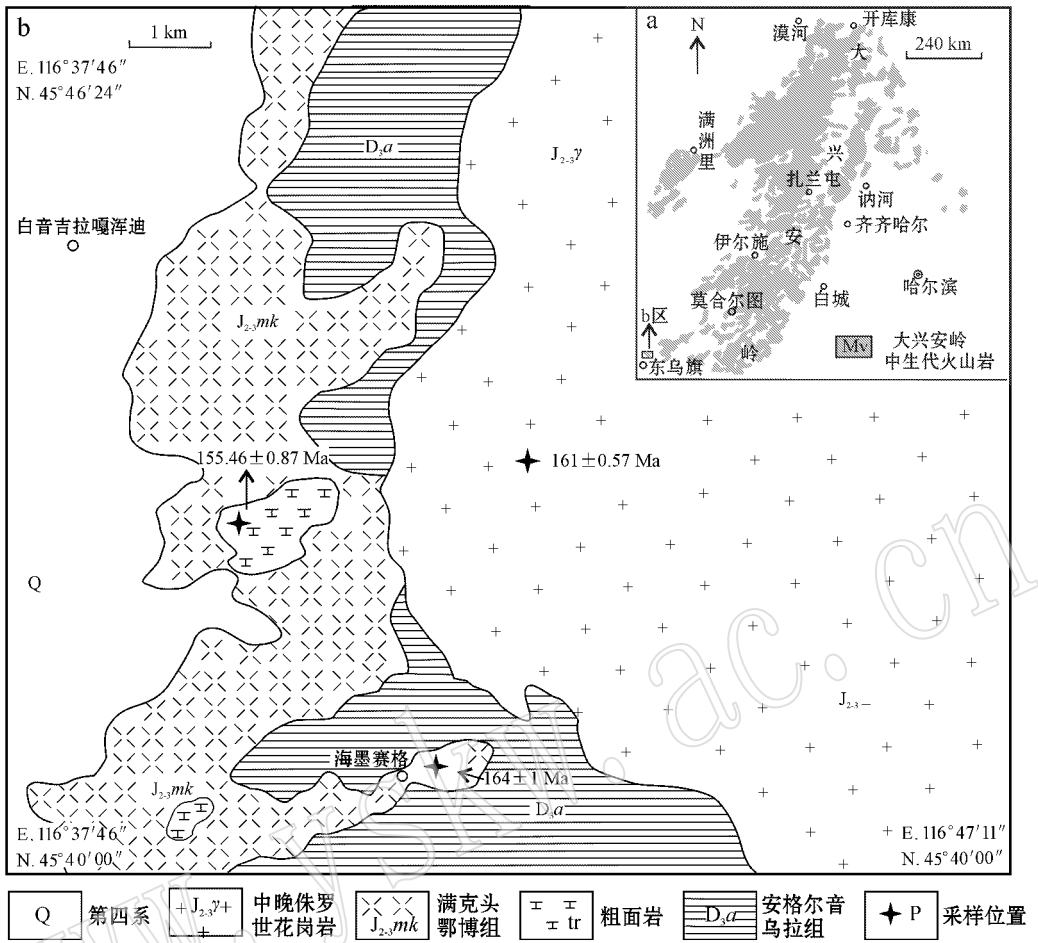


图 1 内蒙古海莫赛格地区地质简图 [据滕学建等 (2013)^① 改编]

Fig. 1 Geological sketch map of Haimosaige area in Inner Mongolia (modified after Teng Xuejian *et al.*, 2013^①)

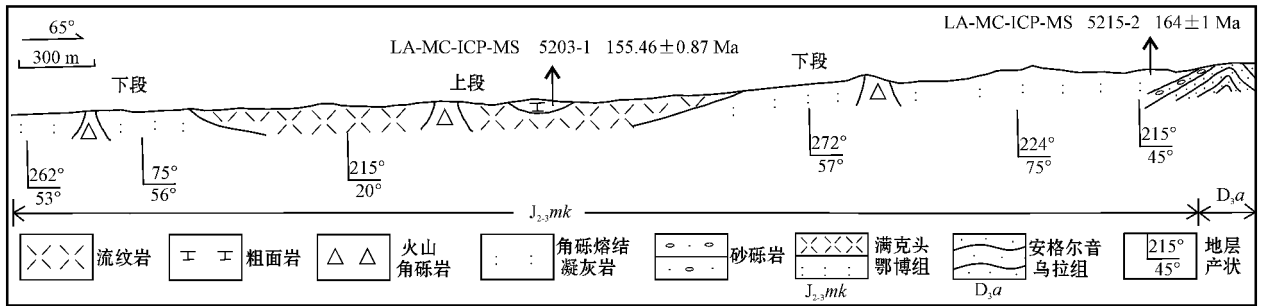


图 2 内蒙古海莫赛格地区火山岩剖面简图 [据滕学建等 (2013)^② 改编]

Fig. 2 Simplified geological section of volcanic rocks in Haimosaige area, Inner Mongolia (modified after Teng Xuejian *et al.*, 2013^②)

① 滕学建,程银行,杨俊泉,等. 2013. 内蒙古 1:5 万阿尔塔拉等六幅区域地质矿产图.

② 滕学建,程银行,杨俊泉,等. 2013. 内蒙古东乌旗海莫赛格地区满克头鄂博组实测剖面图 (PM003).

$\pm 0.57 \text{ Ma}^{\text{①}}$ 侵入。

满克头鄂博组典型火山岩特征如下。

斑状流纹岩(图 3a、3b): 灰白色、灰黄色, 斑状结构, 块状构造, 斑晶主要为钾长石, 大小 $0.5 \sim 4 \text{ mm}$, 含量 $5\% \sim 10\%$, 少数聚斑状、联斑状产出, 高岭土化。基质为长英质, 具隐晶质、霏细状结构, 均匀分布。副矿物有锆石、磷灰石、石榴子石。

粗面岩(图 3c、3d): 岩石呈浅褐红色, 斑状结构, 块状构造, 斑晶由斜长石(小于 5%)、钾长石($25\% \sim 30\%$)、黑云母假像(5%)、辉石假像(少)组成, 大小 $0.5 \sim 7 \text{ mm}$, 星散分布, 少数聚斑状、联斑状产出。钾长石半自形板状, 少数它形粒状, 高岭土化。黑云母鳞片状, 绿泥石化、绿帘石化, 呈假像, 星散分布。辉石半自形晶, 皂石化, 呈假像, 零星分布。基质手标本呈浅粉红色, 微晶状, 大小 $< 0.2 \text{ mm}$, 主要为长石, 具高岭土化蚀变。副矿物有锆石、磷灰石、极少量石榴子石。

2 样品分析方法

针对满克头鄂博组下段(紧靠火山盆地底部, 即不整合面)的流纹岩和上部粗面岩进行了年代学研究, 样品采自海莫赛格一带(图 1b), 样品岩性为火山熔岩, 样品新鲜, 蚀变较弱。选择 2 件样品用于年代学测试, 13 件样品用于主量、微量元素分析。

对 2 件样品做锆石 U-Pb 同位素测定, 锆石分选工作由河北省廊坊地质调查研究所完成。样品按照常规粉碎淘洗后, 经磁选和重液分离, 然后在双目镜下人工挑选纯度在 99% 以上的锆石。锆石的制靶和透射光、反射光、阴极发光照相在北京皓年领航科技有限公司完成。测年工作在天津地质矿产研究所完成, 采用 LA-MC-ICP-MS 进行锆石 U-Pb 同位素定年测试, ICP-MS 为 Agilent 7500a, 分析中采用的激光束斑直径为 $35 \mu\text{m}$, 以氦气作为剥蚀物质的载气,

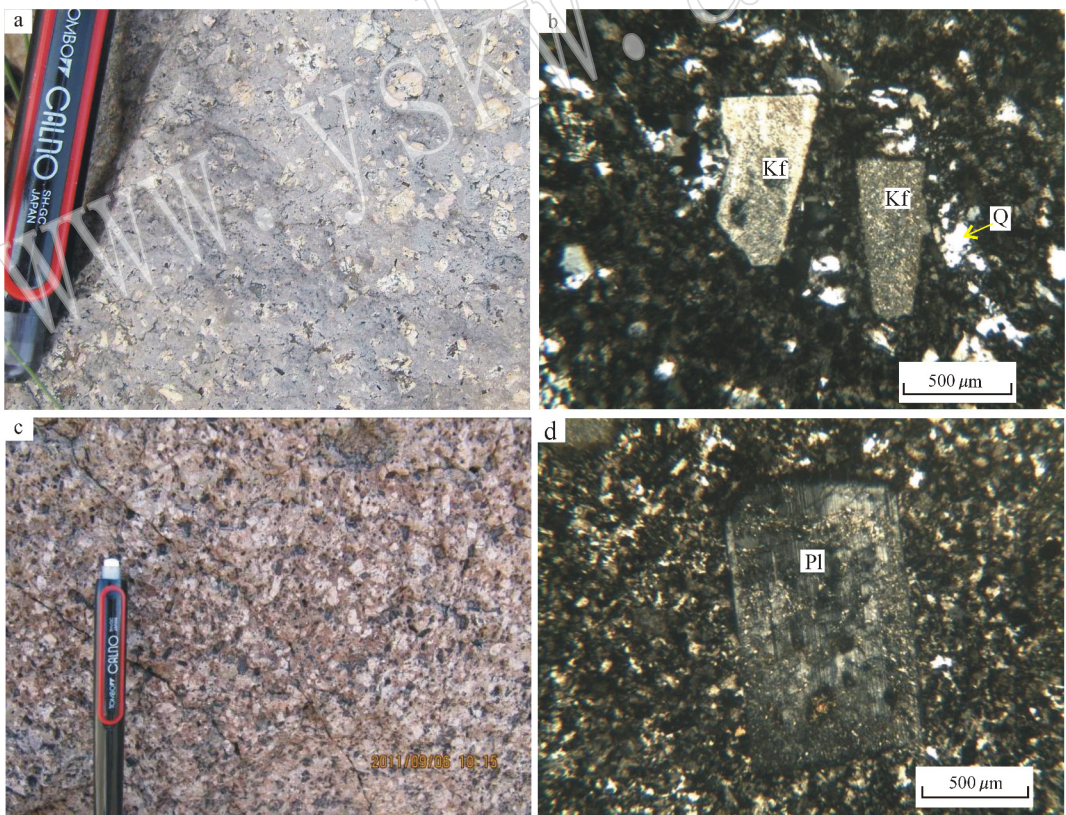


图 3 内蒙古海莫赛格地区火山岩手标本和正交偏光显微照片

Fig. 3 Hand specimens and photomicrographs for volcanic rocks from Haimosaige area in Inner Mongolia

Kf—斜长石; Pl—斜长石; Q—石英

Kf—K-feldspar; Pl—plagioclase; Q—quartz

① 滕学建, 程银行, 杨俊泉, 等. 2013. 内蒙古 1:5 万阿尔塔拉等六幅地质矿产调查报告.

分析流程见参考文献(李怀坤等, 2010)。测试数据的计算处理采用 ISOPLOT3.0 程序(李怀坤等, 2011)。

对 13 件样品进行主微量元素分析。首先对新鲜样品去除风化壳, 然后用破碎机粉碎。粉碎样品用球磨仪研磨至粉末状 (>200 目), 用于主元素和微量元素分析。测试分析在天津地质矿产研究所完成, 主元素用 X 射线荧光光谱法(XRF)测试, FeO 应用氢氟酸-硫酸溶样、重铬酸钾滴定的容量法, 分析精度优于 2%, 微量元素使用 ICP-MS 测试, 分析精度优于 5%。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年代学

研究区酸性火山岩的锆石 U-Th-Pb 数据列于表 1, CL 图像和 U-Pb 谐和图分别见图 4 和图 5。本文 2 件样品中的锆石多呈短柱状, 粉黄色, 透明度好。流纹岩样品(5215-2)具岩浆成因的韵律环带, 颗粒大多在 50~100 μm , 粗面岩样品(5203-1)不具韵律环带结构, 颗粒大多在 100~200 μm 。前人研究表明, 不同成因锆石有不同的 Th、U 含量与 Th/U 值(Rubatto and Gebauer, 2000)。一般情况下, 岩浆锆

石的 Th、U 含量较高, Th/U 值较大(一般大于 0.4), 而变质锆石的 Th、U 含量低, Th/U 值小(通常小于 0.07, Hoskin and Schaltegger, 2003)。本文 2 件样品(5203-1、5215-2)参与加权平均年龄计算锆石的 Th/U 比值分别为 0.32~2.18、0.31~1.26, 多大于 0.4(两个样品均有一个比值为 0.06), 具有岩浆锆石 Th/U 比值特征, 因此, 参与加权平均年龄计算的锆石应为岩浆锆石。

样品 5203-1(粗面岩: N45°42'24", E116°39'27") 有 26 粒锆石测点, 测点值比较稳定, 锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于 $152 \pm 3 \sim 158 \pm 2 \text{ Ma}$, 23 粒锆石位于谐和线上, 3 粒位于其附近, 对该 26 粒锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在置信度为 95% 时的加权平均年龄为 $155.5 \pm 0.9 \text{ Ma}$ (MSWD = 1.5)。据上述特征认为, $155.5 \pm 0.9 \text{ Ma}$ 的年龄值应代表了该样品的成岩年龄。

样品 5215-2(流纹岩: N45°40'50", E116°41'36") 有 35 粒锆石测点, 其中 5215-2.20 测点无数据, 2 粒锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 $296 \pm 3 \text{ Ma}$ 和 $191 \pm 1 \text{ Ma}$, 可能为捕获早期锆石, 约 296 Ma 研究区周围存在大规模的构造岩浆事件(程银行等, 2012), 对于 191 Ma 的锆石年龄目前未见有该期构造岩浆事件的报道。其余 32 粒锆石均位于 U-Pb 谐和线上或其

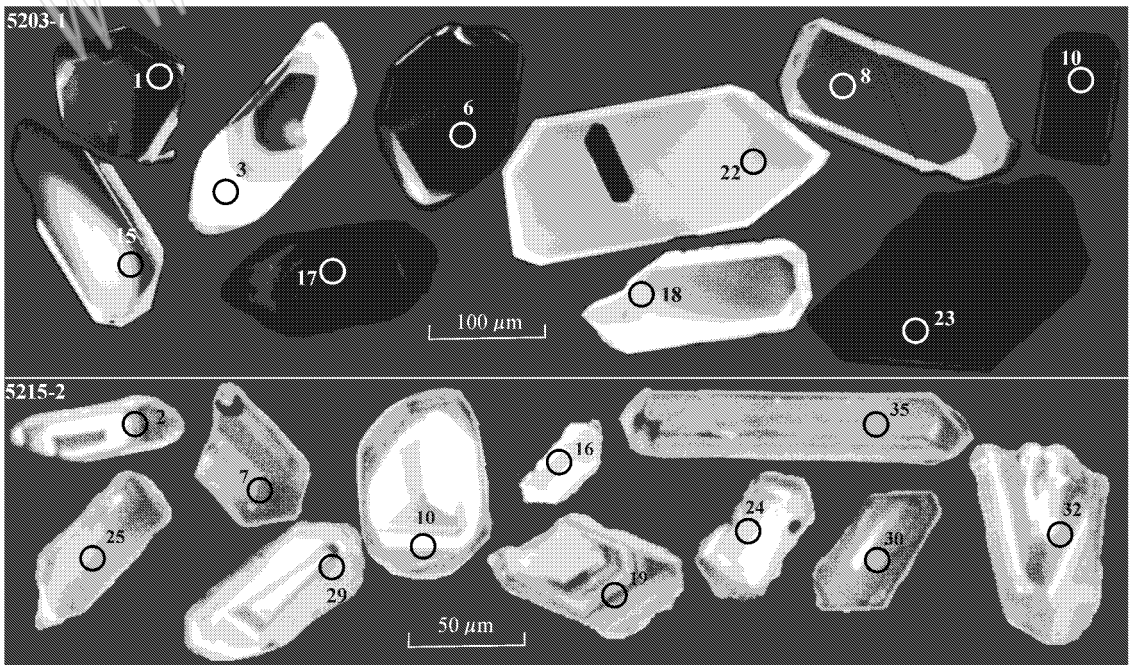


图 4 内蒙古海莫赛格地区火山岩部分锆石阴极发光图像

Fig. 4 CL images of selected zircons from volcanic rocks in Haimosaige area, Inner Mongolia

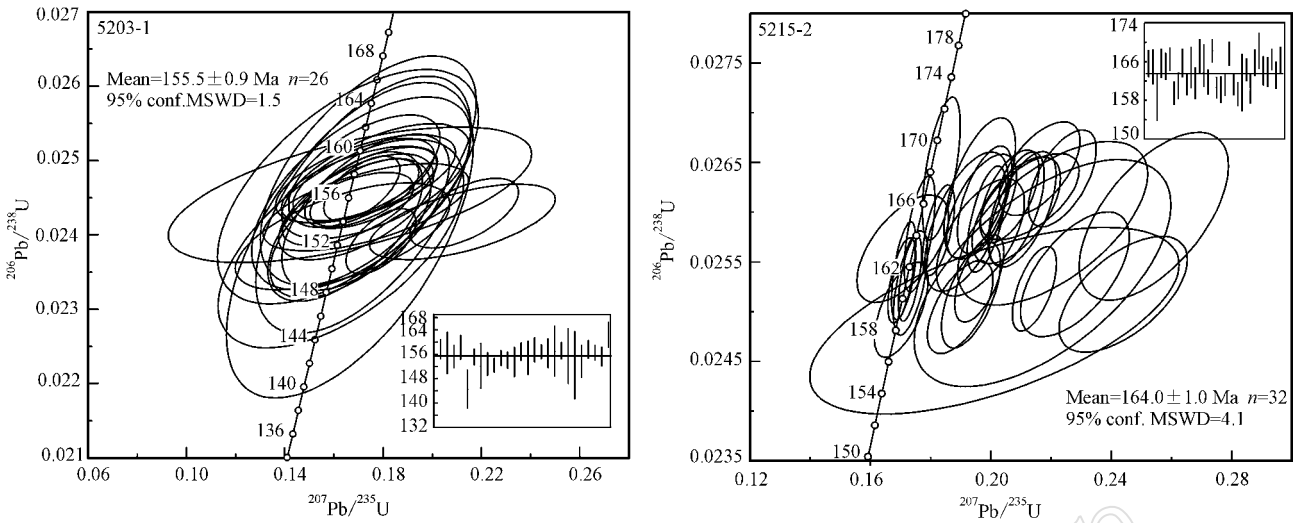


图 5 内蒙古海莫赛格地区火山岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagrams of volcanic rocks in Haimosaige area , Inner Mongolia

表 1 内蒙古海莫赛格地区火山岩锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 1 Zircon LA-MC-ICP-MS U-Pb dating results of volcanic rocks in Haimosaige area , Inner Mongolia

测点号	$\omega_{\text{Pb}}/10^{-6}$			同位素比值						年龄/Ma				
	Pb	U	Th	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
5203-1.1	4	144	145	1.004 7	0.024 8	0.000 2	0.172 9	0.014 9	0.050 7	0.004 4	158	2	162	14
5203-1.2	1	31	28	0.914 0	0.024 6	0.000 5	0.171 1	0.018 2	0.050 5	0.006 7	156	3	160	17
5203-1.3	2	71	50	0.706 6	0.024 4	0.000 3	0.169 1	0.012 9	0.050 3	0.004 6	155	2	159	12
5203-1.4	6	198	209	1.055 4	0.024 9	0.000 3	0.172 3	0.012 6	0.050 3	0.004 2	158	2	161	12
5203-1.5	2	53	47	0.877 3	0.022 7	0.000 5	0.288 0	0.025 2	0.092 1	0.008 9	155	3	257	23
5203-1.6	5	146	200	1.363 2	0.024 4	0.000 2	0.165 7	0.010 9	0.049 4	0.003 3	155	1	156	10
5203-1.7	1	29	26	0.875 6	0.023 9	0.000 6	0.162 9	0.020 4	0.049 5	0.005 5	152	4	153	19
5203-1.8	2	58	55	0.942 6	0.024 0	0.000 3	0.163 6	0.017 8	0.049 5	0.005 3	153	2	154	17
5203-1.9	8	267	393	1.469 9	0.023 9	0.000 2	0.179 1	0.005 8	0.054 3	0.001 8	152	1	167	5
5203-1.10	12	359	485	1.353 9	0.024 3	0.000 2	0.213 0	0.009 0	0.063 6	0.002 4	155	1	196	8
5203-1.11	3	110	127	1.162 9	0.024 2	0.000 2	0.212 2	0.015 4	0.063 7	0.004 6	154	1	195	14
5203-1.12	1	43	43	0.997 5	0.024 1	0.000 4	0.166 8	0.013 4	0.050 2	0.004 2	153	2	157	13
5203-1.13	4	136	121	0.893 4	0.024 6	0.000 2	0.175 0	0.011 0	0.051 5	0.003 2	157	1	164	10
5203-1.14	1	33	25	0.756 9	0.024 3	0.000 4	0.172 9	0.013 9	0.051 6	0.004 8	155	3	162	13
5203-1.15	2	60	63	1.064 1	0.024 7	0.000 3	0.177 0	0.015 6	0.051 9	0.005 7	157	2	165	15
5203-1.16	6	260	82	0.316 9	0.024 6	0.000 2	0.171 4	0.006 3	0.050 5	0.001 8	157	1	161	6
5203-1.17	2	64	60	0.925 4	0.024 5	0.000 4	0.166 5	0.030 2	0.049 2	0.005 1	156	2	156	28
5203-1.18	1	22	20	0.885 1	0.024 6	0.000 6	0.165 7	0.021 7	0.048 8	0.005 6	157	4	156	20
5203-1.19	4	167	10	0.062 8	0.024 7	0.000 2	0.170 4	0.013 0	0.050 1	0.003 8	157	1	160	12
5203-1.20	1	25	21	0.841 0	0.024 4	0.000 7	0.172 0	0.017 9	0.051 1	0.005 1	155	5	161	17
5203-1.21	1	18	12	0.665 9	0.023 9	0.000 9	0.166 5	0.020 5	0.050 5	0.006 4	152	6	156	19
5203-1.22	1	31	33	1.065 3	0.024 1	0.000 4	0.164 6	0.012 8	0.049 5	0.004 1	154	3	155	12
5203-1.23	4	161	153	0.950 2	0.024 7	0.000 2	0.172 1	0.011 7	0.050 4	0.003 3	158	1	161	11
5203-1.24	6	187	408	2.181 8	0.024 6	0.000 2	0.172 5	0.009 0	0.050 9	0.002 7	156	1	162	8
5203-1.25	3	96	71	0.734 3	0.024 4	0.000 2	0.173 0	0.017 1	0.051 5	0.005 3	155	2	162	16
5203-1.26	1	33	26	0.788 3	0.024 9	0.000 6	0.174 0	0.017 9	0.050 7	0.006 8	158	4	163	17

续表 1

Continued Table 1

测点号	$\omega_B/10^{-6}$			同位素比值						年龄/Ma				
	Pb	U	Th	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$
5215-2.1	8	283	210	0.742 4	0.026	0.000 2	0.208 4	0.006	0.058 1	0.001 5	166	1	192	6
5215-2.2	25	886	482	0.544	0.025 9	0.000 3	0.191 9	0.005 7	0.053 7	0.001 2	165	2	178	5
5215-2.3	3	98	100	1.019 9	0.024 9	0.000 4	0.201 2	0.025 1	0.058 6	0.007 4	159	2	186	23
5215-2.4	35	1 191	1 239	1.039 7	0.026	0.000 2	0.210 6	0.004 5	0.058 7	0.001 1	166	2	194	4
5215-2.5	32	1 108	869	0.784 1	0.025 9	0.000 2	0.198 6	0.002 6	0.055 5	0.000 8	165	1	184	2
5215-2.6	41	1 343	1 112	0.827 6	0.026 2	0.000 2	0.206 2	0.004	0.057 2	0.001	166	1	190	4
5215-2.7	39	1 574	532	0.338	0.025	0.000 2	0.189 8	0.004 5	0.055	0.001	159	1	176	4
5215-2.8	27	1 032	646	0.626 7	0.025 3	0.000 2	0.173 3	0.002 3	0.049 7	0.000 6	161	1	162	2
5215-2.9	11	346	357	1.030 4	0.026	0.000 2	0.208 4	0.003 8	0.058	0.000 9	166	1	192	4
5215-2.10	18	555	704	1.269	0.025 3	0.000 2	0.196 1	0.003 3	0.056 2	0.000 9	161	1	182	3
5215-2.11	29	935	644	0.689 1	0.025 9	0.000 3	0.220 5	0.012 9	0.061 8	0.002 9	165	2	202	12
5215-2.12	7	238	86	0.361 8	0.025 4	0.000 3	0.227 9	0.007 4	0.065 1	0.001 9	162	2	208	7
5215-2.13	15	553	183	0.330 6	0.026 2	0.000 3	0.196 3	0.004 9	0.054 2	0.001	167	2	182	4
5215-2.14	9	302	95	0.316 4	0.026	0.000 3	0.254 2	0.010 1	0.071	0.002 1	165	2	230	9
5215-2.15	41	1 462	1 283	0.877 6	0.025 4	0.000 2	0.171	0.001 6	0.048 8	0.000 4	162	1	160	2
5215-2.16	9	350	111	0.316 9	0.026 4	0.000 2	0.216 2	0.005 5	0.059 3	0.001 5	168	1	199	5
5215-2.17	40	1 486	1 014	0.682 6	0.025 2	0.000 2	0.214 5	0.003	0.061 7	0.000 8	161	1	197	3
5215-2.18	29	1 082	1 096	1.012 9	0.025 2	0.000 2	0.193 4	0.004	0.055 7	0.000 9	160	1	180	4
5215-2.19	31	1 355	85	0.062 8	0.025 3	0.000 2	0.170 4	0.001 9	0.048 8	0.000 5	161	1	160	2
5215-2.21	35	1266	902	0.712 7	0.026 3	0.000 2	0.223 8	0.004 6	0.061 6	0.001 1	168	1	205	4
5215-2.22	18	589	317	0.538 4	0.030 1	0.000 2	0.300 6	0.007 6	0.072 4	0.001 6	191	1	267	7
5215-2.23	33	1 291	758	0.587 3	0.025 3	0.000 2	0.173 1	0.001 6	0.049 6	0.000 4	161	1	162	1
5215-2.24	16	588	641	1.09	0.025	0.000 2	0.170 2	0.003 6	0.049 3	0.001	159	1	160	3
5215-2.25	24	816	343	0.42	0.025 4	0.000 5	0.217 1	0.017 4	0.062	0.003 9	162	3	200	16
5215-2.26	23	811	694	0.855 7	0.025 8	0.000 2	0.182 6	0.002 2	0.051 3	0.000 6	164	1	170	2
5215-2.27	9	291	245	0.841 7	0.025 2	0.000 2	0.244	0.008 7	0.070 3	0.002 3	160	2	222	8
5215-2.28	12	145	122	0.840 1	0.046 9	0.000 5	2.019 7	0.041 7	0.312 3	0.004 5	296	3	1 122	23
5215-2.29	18	608	567	0.933	0.026 1	0.000 2	0.196 9	0.004 7	0.054 8	0.001 5	166	1	182	4
5215-2.30	24	901	368	0.408 7	0.026 4	0.000 3	0.183 5	0.002 6	0.050 3	0.000 9	168	2	171	2
5215-2.31	28	1 037	769	0.740 9	0.025 8	0.000 2	0.176 4	0.002 1	0.049 6	0.000 5	164	2	165	2
5215-2.32	21	785	376	0.478 5	0.025 7	0.000 2	0.196 5	0.006	0.055 4	0.001 3	164	2	182	6
5215-2.33	27	867	799	0.921 9	0.026 2	0.000 2	0.212 9	0.006 7	0.059	0.001 9	166	1	196	6
5215-2.34	10	355	315	0.887 8	0.025 6	0.000 2	0.170 7	0.006 2	0.048 3	0.001 6	163	1	160	6
5215-2.35	27	996	308	0.309 5	0.026 1	0.000 2	0.198	0.0037	0.055	0.001	166	1	183	3

附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于 $159 \pm 1 \sim 168 \pm 2$ Ma 之间, 在置信度为 95% 时的加权平均年龄为 164.0 ± 1.0 Ma (MSWD=4.1), 应代表了该样品岩石的成岩年龄。

综上所述, $164.0 \pm 1.0 \sim 155.5 \pm 0.9$ Ma 为海莫赛格地区酸性火山岩的成岩年龄。

3.2 岩石地球化学特征

海莫赛格中-晚侏罗世酸性火山岩主量元素、稀土元素、微量元素数据及主要岩石化学参数列于表 2。结果显示, 火山岩 SiO_2 含量高, 介于 62.09% ~ 77.57% 之间, Al_2O_3 为 11.99% ~ 17.36%, 富碱

($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 介于 7.27% ~ 10.28%), 富钾 ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.10 \sim 2.82$)。相反, 贫镁 ($\text{MgO} = 0.10\% \sim 1.08\%$, 平均为 0.29, $\text{Mg}^\#$ 多小于 45), 贫钙 ($\text{CaO} = 0.16\% \sim 2.46\%$, 平均为 0.73), 高 FeOT/MgO 比值 (2.37 ~ 7.22, 平均为 4.49), 与 A 型花岗岩 (孙德有等, 2005) 和满洲里南部白音高老组碱性流纹岩 (苟军等, 2010) 的主量元素特征相似。本文流纹岩样品的 A/CNK 介于 0.98 ~ 1.22, 为准铝质-过铝质岩石, 过碱指数 (NK/A) 为 0.66 ~ 0.89。在 TAS 火山岩分类命名图解 (图 6) 中, 多数样品落入亚碱性系列

的流纹岩范围内,3 个样品落在碱性系列区域,在 K_2O-SiO_2 图解(图 7)中落入高钾钙碱性区和钾玄岩系列区域。

岩系列区域。

表 2 微量元素地球化学显示:稀土元素总量

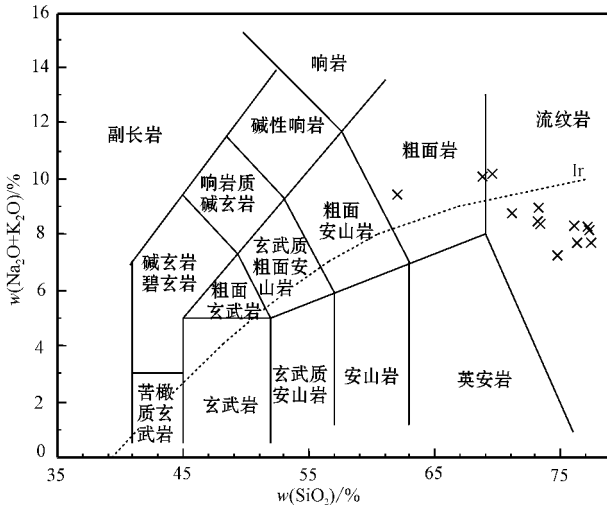


图 6 内蒙古海莫赛格地区火山岩样品 TAS 分类图(岩石分类据 Middlemost, 1994; 系列界线据 Irvine and Baragar, 1971) Fig. 6 TAS diagram of volcanic rocks from Haimosaige area, Inner Mongolia (classification after Middlemost, 1994; separating line between alkaline and sub-alkaline series after Irvine and Baragar, 1971)

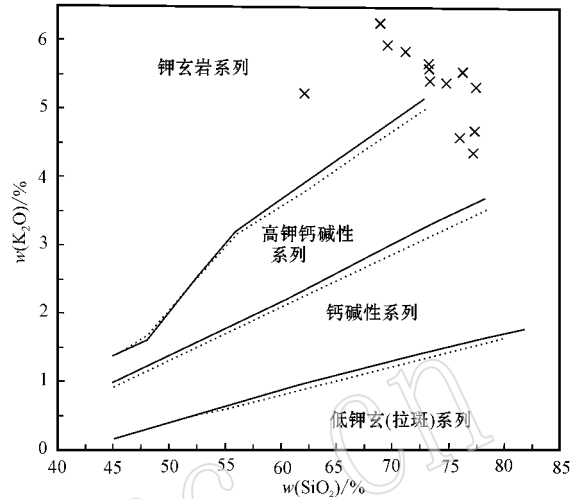


图 7 内蒙古海莫赛格地区火山岩的 K_2O-SiO_2 图解(实线据 Peccerillo and Taylor, 1976; 虚线据 Middlemost, 1985) Fig. 7 K_2O-SiO_2 diagram for volcanic rocks from Haimosaige area, Inner Mongolia (solid lines after Peccerillo and Taylor, 1976; dashed lines after Middlemost, 1985)

ΣREE 介于 $137.6 \times 10^{-6} \sim 315.3 \times 10^{-6}$, 轻稀土元素(LREE)富集,轻重稀土元素分馏较明显[$(La/Yb)_N = 2.84 \sim 17.81$], 中等-弱负铕异常($\delta Eu = 0.14 \sim 0.79$, 1 个样品为 1.54), 配分曲线为右倾模式,重稀土元素分布相对较为平坦(图 8)。微量元素具低 Sr($46.2 \times 10^{-6} \sim 799.3 \times 10^{-6}$, 平均 208.0×10^{-6} , 多小于 400×10^{-6}) 高 Y($2.02 \times 10^{-6} \sim 4.23 \times 10^{-6}$) 的特征,原始地幔标准化蛛网图(图 9)显示,岩石富集大离子亲石元素(LILE)Rb、Ba、Th、K、贫 Sr 和亏损高场强元素(HFSE)Nb、Ta、P、Ti,与岛弧或造山后花岗岩特征相似(单强等, 2011; 程银行等, 2012)。

4 讨论

4.1 锆石 U-Pb 同位素年龄

大兴安岭地区属森林覆盖区,地质体之间的接触关系多被覆盖,对岩性特征一致不同时期火山岩的研究带来了很大困难,因此,火山岩年代学一直制约着大兴安岭中生代火山岩的深入研究。近年来,随着锆石 U-Pb 定年方法的应用,一些学者(葛文春等, 2001; 陈志广等, 2006; Zhang Jiheng *et al.*, 2006;

Wang Fei *et al.*, 2006; 张玉涛等, 2007; 张连昌等, 2007; 吴华英等, 2008; 苟军等, 2010; 程银行等, 2013)对大兴安岭不同地区的火山岩进行同位素年代学研究,获得大量锆石 U-Pb 同位素年龄,集中在 $170 \sim 150$ Ma 和 $140 \sim 125$ Ma 之间。结果显示,大兴安岭中生代火山岩的形成主要有两个时期,即中-晚侏罗世和早白垩世。本文获得海莫赛格地区酸性火山岩的 2 组锆石 U-Pb 年龄 164.0 ± 1.0 Ma 和 155.5 ± 0.9 Ma, 属中-晚侏罗世,表明该地区存在这一时期的构造岩浆活动,从其采样位置(图 2)进行分析,该岩浆活动持续了约 9 Ma。本次研究样品均采自满克头鄂博组与古生代地层安格尔音乌拉组不整合面之上的流纹岩和粗面岩,测年成果区域横向上具有可对比性。与研究区东约 200 km 莫合尔图一带仅靠早中生代基底不整合面之上的年龄数据 $174.1 \pm 2.2 \sim 157.5 \pm 2.3$ Ma(程银行等, 2013)进行对比,发现这一时期构造岩浆活动具有同时性,与中生代火山岩活动具自西向东迁移的规律(赵国龙等, 1989; Wang Fei *et al.*, 2006)是否相悖有待进一步研究。该成果为探讨中-晚侏罗世火山活动迁移规律提供了精确的年代依据。

表 2 内蒙古海莫赛格地区火山岩主量元素($w_B/\%$) 微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果

Table 2 Major($w_B/\%$) elements and trace($w_B/10^{-6}$) elements compositions of volcanic rocks in Haimosaige area ,

Inner Mongolia

样品号	PM3-4	PM3-12	PM3-13	PM3-17	PM3-28	PM3-37	PM6-4	5140-1	5203-1	5207-1	5211-1	5213-1	5215-2
岩性	流纹岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩	粗面岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩	粗面岩	流纹岩
SiO ₂	73.27	77.57	73.37	74.93	73.40	77.40	62.09	71.18	69.56	76.14	77.34	68.88	76.40
TiO ₂	0.23	0.25	0.29	0.28	0.29	0.15	0.68	0.15	0.30	0.16	0.11	0.41	0.06
Al ₂ O ₃	13.89	12.26	14.18	13.55	14.01	11.99	17.36	13.56	15.52	12.61	12.64	16.32	12.44
Fe ₂ O ₃	0.94	0.53	0.85	0.53	1.16	0.79	1.98	0.92	1.66	0.65	0.13	0.47	0.21
FeO	0.41	0.12	0.14	0.14	0.24	0.12	1.41	0.56	0.31	0.65	0.13	0.22	0.50
MnO	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.09	0.02	0.03	0.06	0.04	0.01	0.12
MgO	0.36	0.17	0.19	0.28	0.24	0.13	1.08	0.28	0.39	0.33	0.10	0.13	0.14
CaO	1.08	0.16	0.20	0.41	0.31	0.23	2.46	1.40	0.44	0.24	0.46	1.28	0.88
Na ₂ O	2.93	2.43	3.41	1.90	3.12	3.55	4.23	3.03	4.34	3.82	3.97	3.89	2.24
K ₂ O	5.59	5.30	5.65	5.37	5.38	4.64	5.24	5.83	5.94	4.56	4.35	6.24	5.50
P ₂ O ₅	0.06	0.05	0.19	0.02	0.07	0.05	0.22	0.08	0.08	0.03	0.02	0.05	0.02
LOI	1.13	1.05	1.42	2.45	1.67	0.87	2.87	2.94	1.58	0.81	0.65	1.40	1.02
总量	99.89	99.90	99.89	99.87	99.89	99.95	99.71	99.95	100.16	100.07	99.95	99.30	99.53
K ₂ O/Na ₂ O	1.91	2.18	1.66	2.82	1.73	1.31	1.24	1.92	1.37	1.19	1.10	1.60	2.45
FeO/MgO	3.78	3.77	5.11	2.37	5.79	7.22	3.13	5.26	5.06	3.94	2.62	5.24	5.09
A/CNK	1.08	1.22	1.17	1.40	1.22	1.06	1.01	0.98	1.08	1.08	1.05	1.05	1.11
NK/A	0.78	0.79	0.83	0.66	0.78	0.91	0.73	0.83	0.87	0.89	0.89	0.81	0.78
Mg [#]	35.12	35.48	28.94	46.59	26.40	22.42	39.25	27.86	29.14	33.74	43.35	28.08	27.83
V	48.05	48.82	46.19	43.89	49.33	42.13	88.78	17.64	23.65	22.43	214.7	108.5	27.16
Cr	29.08	27.28	26.55	26.69	31.78	29.58	32.31	7.54	10.67	9.18	15.56	10.51	9.15
Co	1.84	0.64	1.14	0.71	0.94	0.41	4.13	1.52	1.24	1.61	26.59	12.22	1.41
Ni	10.94	9.71	9.62	10.29	10.96	11.36	10.79	1.96	2.94	2.43	22.25	3.32	4.32
Rb	320.2	197.1	167.0	200.2	202.1	224.6	116.1	363.3	293.1	246.4	82.8	88.9	164.8
Sr	125.3	108.0	122.5	79.1	77.8	46.2	443.2	100.9	91.3	114.2	799.3	532.5	64.2
Y	36.29	23.06	24.13	24.13	38.59	34.45	24.06	22.35	21.67	30.01	33.50	63.70	35.73
Zr	185	176	206	203	258	150	409	444	481	363	1305	576	281
Nb	18.99	14.01	16.11	17.50	20.93	25.67	10.84	16.28	20.75	19.21	16.63	11.69	17.59
Cs	11.82	7.40	7.34	10.39	17.40	5.59	3.46	7.33	13.04	8.80	5.22	4.00	7.65
Ba	503	541	602	626	390	38	1759	446	352	340	976	640	313
La	58.87	43.98	52.39	47.67	60.80	22.99	53.29	36.71	38.36	22.13	23.04	29.58	17.81
Ce	110.3	82.03	99.36	90.24	111.5	48.80	92.25	74.33	69.58	44.84	41.47	53.65	34.10
Pr	14.19	9.33	10.87	10.05	14.34	6.97	11.83	8.70	9.08	6.89	7.77	9.44	5.20
Nd	50.09	32.06	37.60	34.89	52.04	24.78	44.74	31.06	33.57	26.19	25.65	43.35	20.18
Sm	9.35	5.48	6.41	6.22	9.62	5.62	7.64	5.75	5.55	6.10	5.51	9.31	4.65
Eu	1.13	1.21	1.41	1.40	1.27	0.33	3.70	0.60	0.71	0.26	0.22	2.29	0.23
Gd	8.31	4.91	5.75	5.49	8.32	4.77	6.75	4.64	4.29	4.58	3.90	7.94	3.90
Tb	1.39	0.77	0.90	0.87	1.39	0.98	0.99	0.72	0.66	0.86	0.75	1.42	0.76
Dy	6.81	3.90	4.27	4.23	6.92	5.69	4.45	3.80	3.54	4.67	4.52	7.71	4.86
Ho	1.58	0.96	1.03	1.05	1.65	1.46	1.03	0.71	0.73	0.95	0.99	1.71	1.11
Er	3.46	2.34	2.44	2.49	3.87	3.55	2.36	2.06	2.18	2.73	3.06	4.76	3.48
Tm	0.70	0.51	0.53	0.56	0.82	0.82	0.46	0.35	0.37	0.45	0.58	0.76	0.65
Yb	2.89	2.26	2.33	2.57	3.55	3.68	2.02	2.22	2.45	2.92	3.77	4.39	4.23
Lu	0.48	0.40	0.41	0.44	0.60	0.63	0.34	0.35	0.56	0.58	0.75	0.65	0.70
Hf	6.57	5.94	7.10	7.15	7.38	5.58	10.15	3.95	3.23	2.67	4.88	3.82	2.14
Ta	1.96	1.43	1.63	1.78	1.87	2.51	0.88	1.50	2.13	1.86	0.99	1.23	1.83
Pb	30.28	16.39	19.14	12.22	20.22	57.69	21.96	30.66	28.40	24.20	10.72	13.89	283.9
Th	30.36	17.65	19.44	19.05	20.77	21.67	15.33	29.42	17.60	15.62	3.44	4.71	13.80
U	6.14	4.88	6.50	6.95	12.26	19.84	2.97	5.90	4.94	2.06	0.89	1.30	3.95
ΣREE	305.8	213.2	249.8	232.3	315.3	165.5	255.9	194.3	193.3	154.2	155.5	240.7	137.6
LR/HR	3.94	4.45	4.98	4.55	3.80	1.95	5.03	4.22	4.30	2.23	2.00	1.59	1.48
δEu	0.39	0.70	0.70	0.71	0.42	0.19	1.54	0.35	0.43	0.14	0.14	0.79	0.16
(La/Yb) _N	13.73	13.13	15.15	12.52	11.55	4.21	17.81	11.15	10.56	5.12	4.12	4.54	2.84
(La/Sm) _N	3.96	5.05	5.14	4.82	3.98	2.57	4.39	4.02	4.35	2.28	2.63	2.00	2.41
(Gd/Yb) _N	2.32	1.75	1.99	1.73	1.89	1.04	2.70	1.69	1.41	1.27	0.84	1.46	0.74

注：N 为球粒陨石标准化据 Sun and McDonough(1989) δEu=(Eu/0.0735)/(Sm/0.195+(Gd/0.239)/2]

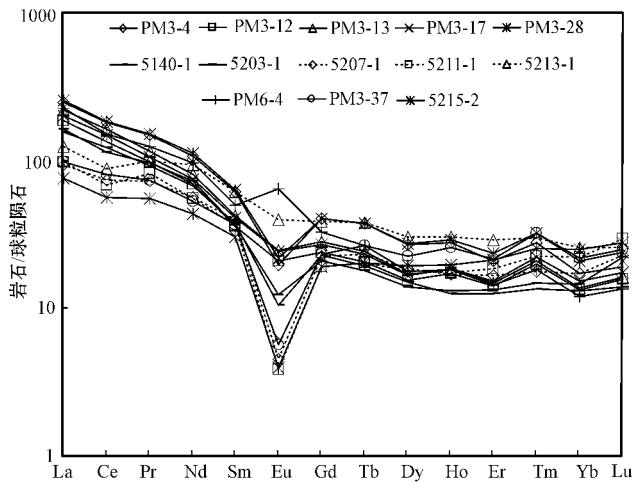


图 8 内蒙古海莫赛格地区火山岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(球粒陨石标准化数据引自 Sun and McDonough, 1989)
Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns for volcanic rocks in Haimosaige area, Inner Mongolia (chondrite value after Sun and McDonough, 1989)

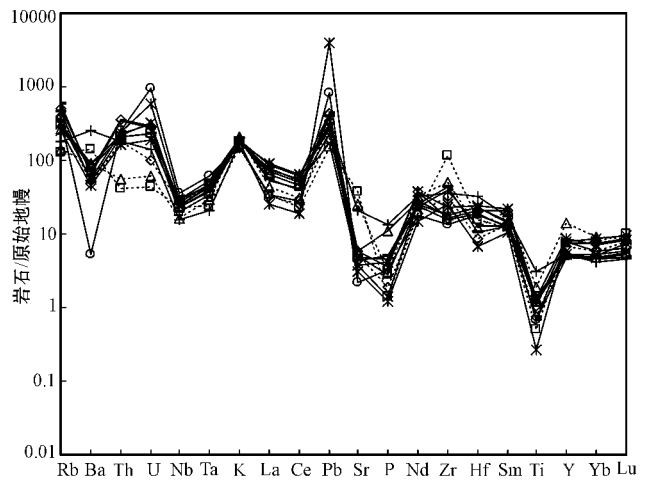


图 9 海莫赛格地区火山岩原始地幔标准化微量元素蛛网图(标准化数据引自 McDonough and Sun, 1995, 图例同图 8)
Fig. 9 Primitive mantle-normalized patterns of trace elements for volcanic rocks in Haimosaige area, Inner Mongolia (after McDonough and Sun, 1995, legends as for Fig. 8)

4.2 岩浆源区及岩石成因

研究区火山活动具有以流纹质火山碎屑岩、火山熔岩为主($\text{SiO}_2 > 62.09\%$),少量粗面质火山岩,未见有同期中基性火山岩发育,以及准铝质-过铝质岩石($A/CNK = 0.98 \sim 1.22$)的地球化学特征,说明壳源对岩浆的形成起绝对作用。样品的 $(La/Yb)_N$ 、 $(La/Sm)_N$ 和 $(Gd/Yb)_N$ 比值非常相近,岩石稀土元素总量随着 SiO_2 含量的增加呈明显递减变化趋势,稀土元素含量差别不大(表 2),在球粒陨石标准化配分模式图(图 8)上表现为轻稀土元素富集,重稀土元素亏损, Eu 为弱-中等负异常。这些特征表明其具有同源区,野外调查发现其在时间上和空间上紧密共生,也表明它们应该是同源岩浆演化的产物。其中 1 个样品(PM6-4) δEu 值(1.54) 略显正异常的特征,野外该套火山岩整合于其他流纹岩、流纹质火山碎屑岩之上,其间发育 40~50 m 厚火山碎屑沉积岩夹层,与其他火山岩为同期构造事件不同期次岩浆活动的产物,镜下薄片显示样品中斜长石斑晶含量在 15%~20%,远高于其他样品,可能为该样品 δEu 值(1.54) 略呈正异常的原因。岩石的 $\text{Rb}/\text{Sr} = 0.10 \sim 4.86$, 平均为 2.16(多数大于 0.5), $\text{Ti}/\text{Y} = 1.29 \sim 82.76$, 平均为 50.57, 其中 1 个样品(PM6-4) 为 169.21(多数 < 100), $\text{Ti}/\text{Zr} = 0.15 \sim 9.95$, 平均为 4.98 (< 20), 多位于壳源岩浆范围内(Pearce *et al.*,

1983; Tischendorf and Paelchen, 1985; Wilson, 1989), 说明可能为陆壳岩石部分熔融的产物,而 Pb 的富集也说明它们的母岩浆可能来源于上部大陆地壳的部分熔融(单强等 2011)。

前人对大兴安岭地区晚中生代酸性火山岩的成因主要有 4 种观点: ① 由钙碱性系列玄武岩岩浆分离结晶作用形成(葛文春等, 2000; Fan Weiming *et al.*, 2003; 张连昌等, 2007); ② 与玄武岩构成双峰式火山岩组合(葛文春等, 2000; 林强等, 2003); ③ 造山带大陆地壳岩石部分熔融的产物(高晓峰等 2005); ④ 在霍林河一带英安岩-流纹岩起源于地壳物质的部分熔融, 经历强烈的矿物结晶分异(Guo Feng *et al.*, 2009)。研究区火山岩的时代在 $164.0 \pm 1.0 \sim 155.5 \pm 0.9$ Ma 之间, 未见中基性岩浆岩的发育, 因此不可能构成双峰式火山岩组合, 加之中基性岩浆经分离结晶作用形成大规模的酸性火山岩并不现实, 所以直接由玄武岩岩浆直接经分离结晶作用形成的可能性不大。主微量元素(表 2) 连续变化均暗示其间存在演化关系或者同一源区不同部分熔融形成。岩石具弱-中等的 Eu 负异常(图 8) 和 Ba、Sr 的相对弱亏损(图 9) 表明源区斜长石不稳定, 有残留相。由于石榴子石强烈富集 HREE, 角闪石相对富集 MREE(Green, 1994), 样品的 HREE 分布平缓, 部分样品 MREE 相对 HREE 略微亏损, 表

明部分熔融后的残留相可能含有少量的角闪石,不含石榴子石。对比两个测年样品(样品编号 5203-1 和 5215-2)的微量元素特征,样品 5203-1 锆石 U-Pb 年龄为 155.5 ± 0.9 Ma, 具弱的 Eu 负异常,相对弱的 Ba、Sr、P、Ti 亏损,样品 5215-2 锆石 U-Pb 年龄为 164.0 ± 1.0 Ma, 却具有中等负 Eu 异常和相对强烈的 Ba、Sr、P、Ti 亏损,如果用斜长石、磷灰石、钛铁矿的分离结晶来解释上述现象显然在时间上不合乎逻辑。因此,同一源区不同部分熔融形成的认识能更好的解释上述问题。

综上所述,中-晚侏罗世酸性火山岩岩浆由壳源物质经不同程度部分熔融形成,残留相中有少量斜长石和角闪石。

4.3 构造环境

前人对大兴安岭地区中-晚侏罗世构造环境有不同的认识。一些学者认为是挤压构造环境:张宏等(1999)认为 $180 \sim 150$ Ma 我国东北地区乃至整个欧亚大陆东缘均受到了强大的北西西向挤压,伴随有北西西向的大规模逆冲推覆构造;赵书跃等(2004)在大兴安岭北段塔源一带发现存在晚侏罗世高 Sr、低 Y 型火山岩;张永北等(2006)在大兴安岭南段东麓巴林右旗发现了晚侏罗世 O 型埃达克质火山岩;刘俊杰等(2006)通过对大兴安岭北段根河地区晚侏罗世火山岩的研究认为其为挤压背景下的弧火山岩。然而也有一些学者提出在这一时期存在伸展背景下的岩石记录:陈志广等(2006)在对满洲里一带的晚侏罗世火山岩进行研究后认为其为造山后伸展背景下部分熔融形成的高钾钙碱性火山岩;李长华等(2009)对满洲里地区晚侏罗世中基性火山岩进行研究,认为其形成于板内拉张的构造环境,二者似乎相矛盾,且伸展背景下的火山岩主要分布于大兴安岭北段满洲里一带,其他地区未见有报道。

本文所研究火山岩的岩石组合为灰白色、灰黄色、褐紫色流纹岩和流纹质熔结凝灰岩为主,伴生少量的粗面岩,因缺少同期中基性火山岩而有别于典型岛弧火山岩。岩石属高钾钙碱性系列和钾玄岩系列,具有富集大离子亲石元素(LILE)K、Rb、Th,而明显亏损 Nb、Ta、Sr 和 Ti,且富集 Pb(表 2,图 9)的特征,显示本区火山岩可能是壳源物质部分熔融岩浆的产物(葛文春等 2000),但其也具有俯冲板片脱水产生的流体交代地幔楔发生部分熔融形成岩石的微量元素特征(De Silva *et al.*, 1989; Davidson *et al.*, 1991; 单强等, 2011),与岛弧型、陆缘弧型火山

岩相比,又明显富 K_2O 、 $K_2O + Na_2O$ 、 TiO_2 , 结合其源区和酸性火山岩组合特征认为与壳源物质的部分熔融有关。在 Whaler(1987)的分类图解上(图 10),多落入 A 型花岗岩区域,并且 A 型花岗岩形成于张性构造环境也已形成共识(Eby, 1990)。在构造环境判别图解 $Rb/Nb - Y/Nb$ 和 $Nb - Y - Ca$ (图 11)上落入 A2 造山后环境区域。Liegeois 等(1998)指出高钾钙碱性岩浆的出现,并向安粗质岩浆过渡是造山过程演化到最后阶段的标志,研究区整合于大面积流纹质火山碎屑岩、流纹岩(164.0 ± 1.0 Ma)之上的少量粗面岩(155.5 ± 0.9 Ma)的发育也证明了造山过程到了后期阶段。样品分析中,有 3 个样品(PM6-4、5211-1 和 5213-1)的 Sr 的含量大于 400×10^{-6} , Yb 大于 2×10^{-6} , 岩石成因比较复杂(张旗等, 2008),其余样品均具有低 Sr(小于 400×10^{-6}),高 Yb(大于 2×10^{-6})的特征,与张旗等(2008)研究的浙闽型造山后花岗岩相似。以上地球化学资料表明研究区火山形成于造山后伸展环境,那么究竟是和哪次造山事件有关呢?已有资料显示,蒙古-鄂霍次克海闭合无法解释其 NE 的缝合带(莫申国等, 2005)与大兴安岭中生代火山岩 NNE 向展布(林强, 1999)的差异,且地球物理资料表明蒙古-鄂霍次克海闭合是洋壳向北俯冲(Van der Voo *et al.*, 1999),也无法解释大规模的大兴安岭构造岩浆岩带的形成;大兴安岭岩浆岩带远离太平洋俯冲带(>1500 km)且缺少典型的弧火山岩(孟凡超等, 2010),暗示其大规模的岩浆活动与古太平洋板块俯冲形成岛弧岩浆活动的关系不大,但在东部松辽盆地一带表现出很强的弧火山岩的极性(赵海玲等, 1998),表明东部地区受到俯冲作用的影响;时间上,太平洋板块出现在 190 Ma,在中生代早期它以 $6.5 \sim 8.0$ cm/a 的速率向北北西方向运动,与欧亚大陆边缘呈小角度($28^\circ \sim 42^\circ$)相交(Natalin, 1993),产生剪切-走滑构造,随着夹角增大产生斜向俯冲作用,使研究区处于走滑-拉伸状态(孙德有等, 1994),造成了大陆内部构造岩浆剧烈活动(刘军等, 2013),形成了研究区满克头鄂博组具造山后特征的火山岩,在空间上大兴安岭中生代火山岩展布与太平洋板块俯冲带走向相一致(林强, 1999)也支持这一认识。

综上所述,海莫赛格中-晚侏罗世火山岩可能形成于造山后伸展构造环境,可能与古太平洋板块大角度北向斜向俯冲作用导致的走滑-拉伸作用有关。

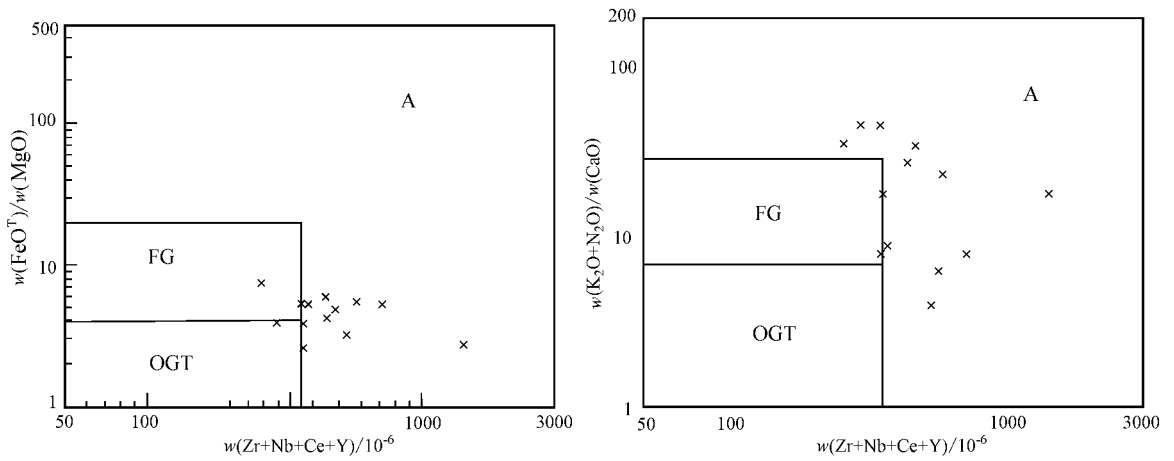


图 10 Zr + Nb + Ce + Y 对 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 和 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}$ 图解(底图据 Whalen *et al.*, 1987)

Fig. 10 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ and $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}$ versus Zr + Nb + Ce + Y diagrams (after Whalen *et al.*, 1987)

FG—高分异长英质花岗岩; OGT—未分异的 M、I 和 S 型花岗岩

FG—highly fractionated granites; OGT—aschistic granites of M, I and S types

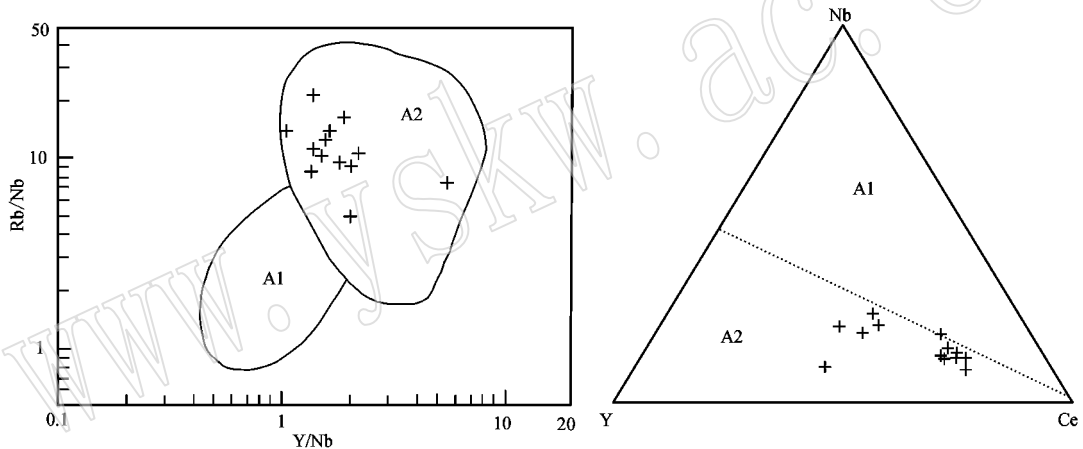


图 11 内蒙古海莫赛格地区火山岩构造判别图解(底图据 Eby, 1992)

Fig. 11 Tectonic setting of volcanic rocks in Haimosaige area, Inner Mongolia (after Eby, 1992)

A1—非造山环境; A2—造山后环境

A1—anorogenic environment; A2—post-orogenic tectonic setting

5 结论

海莫赛格地区火山活动时间为 $164.0 \pm 1.0 \sim 155.5 \pm 0.9 \text{ Ma}$, 属中-晚侏罗世, 岩石组合主要为流纹岩-流纹质熔结凝灰岩, 具高硅、高钾、富碱、贫镁钙的特征, 富集大离子亲石元素(LILE) K、Rb、Th 和轻稀土元素, 亏损 Nb、Ta、Sr、Ti、P, 多具低 Sr、高 Yb 特征, 岩浆来源于壳源物质不同程度部分熔融, 为造山后伸展阶段的产物, 可能与古太平洋板块大角度北向斜向俯冲作用导致的走滑-拉伸作用有关。

致谢 谷永昌教授、辛后田研究员对本文提出

许多宝贵的建设性修改意见, 使本文得以完善; 刘永顺教授在野外给予了指导工作; 在成文过程中耿建珍同志在同位素测年方面给予帮助, 匿名审稿老师提出了宝贵修改意见和建议, 在此一并表示感谢。

References

- Chen Zhiguang, Zhang Lianchang, Zhou Xinhua, *et al.* 2006. Geochronology and geochemical characteristics of Mesozoic volcanic rocks section in Manzhouli Xinyouqi, Inner-Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2972-2986 (in Chinese).
- Cheng Yinhang, Liu Yongshun, Teng Xuejian, *et al.* 2013. Geochronology, geochemistry and geological significance of Medial-

- Late Jurassic volcanic rocks in Mohe 'ertu area, Inner Mongolia [J]. *Acta Geologica Sinica*, 87(7): 943~956 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Yinhang, Teng Xuejian, Xin Houtian, *et al.* 2012. SHRIMP zircon U-Pb dating and geological implications of the granites in Mahonondor area, East Ujimqin Qi, Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(3): 323~334 (in Chinese with English abstract).
- Davidson J P and Stern C R. 1991. Comment and Reply on " Role of subduction erosion in the generation of Andean magmas [J]. *Geology*, 19(10): 1054~1056.
- De Silva S L and Francis P W. 1989. Correlation of large ignimbrites-two case studies from the central Andes of northern Chile [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 37: 133~149.
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. *Lithos*, 26: 115~134.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications [J]. *Geology*, 20: 641~644.
- Fan Weiming, Guo Feng and Wang Yuejun. 2003. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northern China [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121(1~2): 115~135.
- Gao Xiaofeng, Guo Feng, Fan Weiming, *et al.* 2005. Origin of Late Mesozoic intermediate-felsic volcanic rocks from the northern Da Hinggan Mountains, NE China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 737~748 (in Chinese with English abstract).
- Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, *et al.* 2000. Geochemistry research into origins of two types of Mesozoic rhyolites in Da Hinggan Mountain [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 25(2): 172~178 (in Chinese).
- Ge Wenchun, Li Xianhua, Lin Qiang, *et al.* 2001. Geochemistry of Early Cretaceous alkaline rhyolites from Hulun lake, Daxinganling and its tectonic implications [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 36(2): 176~183 (in Chinese).
- Gou Jun, Sun Deyou, Zhao Zhonghua, *et al.* 2010. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and petrogenesis of rhyolite in Baiyingaolao Formation from the southern Manzhouli, Inner-Mongolia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1): 333~344 (in Chinese).
- Green T H. 1994. Experimental studies of trace-element partitioning applicable to igneous petrogenesis-Sedona 16 years later [J]. *Chemical Geology*, 117: 1~36.
- Guo Feng, Fan Weiming, Li Chaowen, *et al.* 2009. Early Cretaceous highly positive epsilon(Nd) felsic volcanic rocks from the Hinggan Mountains, NE China: Origin and implications for Phanerozoic crustal growth [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 98: 1395~1411.
- Guo Feng, Fan Weiming, Wang Yuejun, *et al.* 2001. Petrogenesis of the Late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mt [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 25(2): 172~178 (in Chinese).
- Hoskin P W O and Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis [J]. *Hanchar J M and Hoskin P W O. Zircon Rev [C]. Mineral Geochem.*, 53: 27~62.
- Irvine T N and Baragar W R. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523~548.
- Li Changhua, Wei Sanyuan, Chen Guihai, *et al.* 2010. Genesis and tectonic geological setting of Mesozoic intermediate-basic volcanics in Manzhouli region, Inner Mongolia [J]. *World Nuclear Geoscience*, 27(1): 19~24 (in Chinese).
- Li Huaikun, Su Wenbo, Zhou Hongying, *et al.* 2011. The base age of the Changchengian System at the northern North China Craton should be younger than 1 670 Ma: Constraints from zircon U-Pb LA-MC-ICPMS dating of a granite-porphyrty dike in Miyun County, Beijing [J]. *Earth Science Frontiers*, 18(3): 108~120 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Zhu Shixing, Xiang Zhenqun, *et al.* 2010. Zircon U-Pb dating on tuff bed from Gaoyuzhuang Formation in Yanqing, Beijing: Further constraints on the new subdivision of the Mesoproterozoic stratigraphy in the northern North China Craton [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7): 2131~2140 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Mo Shenguo, He Zhengjun, *et al.* 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).
- Li Sitian and Yang Shigong. 1987. The late Mesozoic rifting in the northeastern China and the fault-rifting basins in East Asia [J]. *Science in China (Series B)*, 21(2): 185~195 (in Chinese).
- Liegeois J P, Navez J, Hertogen J, *et al.* 1998. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids [J]. *Lithos*, 45: 1~28.
- Lin Qiang. 1999. Some Thoughts on Mesozoic Volcanic Rocks in Northeast Asia [J]. *World Geology*, 18(2): 14~22 (in Chinese).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Cao Lin, *et al.* 2003. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan Ling: The bimodal volcanic rocks [J]. *Geochimica*, 32(3): 208~222 (in Chinese).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, *et al.* 1998. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in northeastern China [J]. *Sci. Geol. Sinica*, 33(2): 129~139 (in Chinese).
- Liu Jun, Mao Jingwen, Wu Guang, *et al.* 2013. Zircon U-Pb dating for the magmatic rocks in the Chalukou porphyry Mo deposit in the Northern Great Xing 'An Range (China), and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 87(2): 208~226 (in Chinese).

- Liu Junjie, Ju Wenxin, Zhao Jiufeng, *et al.* 2006. Discussion on the characteristic and structural environmental of the late Jurassic volcanic rock in Genhe terrain, Daxinganling [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1): 38~46 (in Chinese).
- McDonough W F and Sun S S. 1995. The composition of the Earth [J]. *Chem. Geol.*, 120 : 223~253.
- Meng Fanchao, Liu Jiaqi, Li Ming, *et al.* 2010. Geochemistry and tectonic implications of rhyolites from Yingcheng Formation in Xujiaweizi, Songliao Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1): 227~241 (in Chinese with English abstract).
- Middlemost E A K. 1985. *Magma and Magmatic Rocks: An Introduction to Igneous Petrology* [J]. London: Longman Group, 1~266.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Earth Science Reviews*, 37 : 215~224.
- Mo Shenguo, Han Meilian and Li Jinyi. 2005. Compositions and orogenic processes of Mongolia-Okhotsk Orogen [J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 24 (3): 50~64 (in Chinese).
- Natalin B. 1993. History and modest of mesozoic aceretion in south eastern Russia [J]. *The Island Arc*, 2 : 15~34.
- Pearce J A. 1983. Trole of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margin [A]. Hawkesworth C J and Norry M J. *Continental Basalts and Mantle Xenoliths* [C]. Nantwich Shiva: Academic Press, 230~249.
- Peccerillo A and Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey [J]. *Contrib Mineral and Petrol*, 58 : 63~81.
- Rubatto D and Gebauer D. 2000. Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by IOM Microprobe: Some examples from the western Alps. Pagel M, Barbin V, Blanc P, Ohnenstetter D. *Cathodoluminescence in Geoscience* [J]. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, German, 373~400.
- Shan Qiang, Zeng Qiaosong, Luo Yong, *et al.* 2011. SHRIMP U-Pb ages and petrology studies on the potassic and podic rhyolites in Altai, North Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(12): 3 653~3 665 (in Chinese).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2005. Confirmation of two episodes of A-type granite emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the central Jilin Province, and their constraints on the structural pattern of Eastern Jilin-Heilongjiang Area, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 263~275 (in Chinese).
- Sun Deyou, Xu Wenliang and Zhou Yan. 1994. Mechanism of the Mesozoic volcanics in the Da-Hinggan Mountain [J]. *Mineral and Petrogeochemistry Biletin*, 3 : 162~164 (in Chinese).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D and Norry M J. *Magmatism in Oceanic Basins* [C]. Geological Society Special Publication, 42 : 313~345.
- Tischendorf G and Paelchen W. 1985. Zur Klassifikation von Granitoiden/Classification of granitoid [J]. *Zeitschrift fuer Geologische Wissenschaften*, 13(5): 615~627.
- Van der Voo R, Spakman W and Bijwaard H. 1999. Mesozoic subducted slabs under Siberia [J]. *Nature*, 397 : 246~249.
- Wang Fei, Zhou Xinhua, Zhang Lianchang, *et al.* 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 : 179~198.
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95 : 407~419.
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis* [J]. London: Unwin Hyman Press, 295~323.
- Wu Fuyuan and Cao Lin. 1999. Some fundamental geological problems in northeastern Asia [J]. *Global Geology*, 18(2): 1~13 (in Chinese).
- Wu Huaying, Zhang Lianchang, Zhou Xinhua, *et al.* 2008. Geochronology and Geochemical characteristics of the Late Mesozoic andesites in the Central Da-Hinggan Mountains, and its genesis [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(6): 1 339~1 352 (in Chinese).
- Zhang Hong, Ma Junxiao, Quan Heng, *et al.* 1999. The dynamic environments of The Mesozoic volcanic rocks in North Da Hinggan Mountain [J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 8(1): 56~64 (in Chinese).
- Zhang Jiheng, Ge Wenchun, Wu Fuyuan, *et al.* 2006. Northern 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*, 8(1): 58~69.
- Zhang Lianchang, Chen Zhiguang, Zhou Xinhua, *et al.* 2007. 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 Petrologica Sinica*, 23(11): 2 823~2 835 (in Chinese).
- Zhang Qi, Wang Yanlong, Jin Weijun, *et al.* 2008. Criteria for the recognition of pre-, syn- and post-orogenic granitic rocks [J]. *Geological Bulletin of China*, 27(1): 1~18 (in Chinese).
- Zhang Yongbei, Sun Shihua and Mao Qian. 2006. Mesozoic O-type adakitic volcanic rocks and its petrogenesis, paleo-tectonic dynamic and mineralization significance of the eastern side of southern Da Hinggan, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2 289~2 304 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yutao, Zhang Lianchang, Ying Jifeng, *et al.* 2007. Geochemistry and source characteristics of early Cretaceous volcanic rocks in Tahe, north Da-Hinggan Mountain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Guolong, Yang Guilin, Fu Jiayou, *et al.* 1989. Mesozoic Volcanic

- Rocks in Middle-south Daxing 'anling [M]. Beijing : Science and Technology Press , 1~26(in Chinese).
- Zhao Hailing , Deng Jinfu , Chen Fajing , *et al.* 1998. Petrology of the Mesozoic volcanic rocks and the basin formation in the northeast China [J]. *Geoscienc* , 12(1): 56~62(in Chinese).
- Zhao Shuyue , Han Yandong , Zhu Chunyan , *et al.* 2004. Geochemical 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).
- Zhao Xixi and Coe R S. 1996. Paleomagnetic constraints on the paleogeography of China : Implications for Gondwanaland [J]. *Abstract of 30th IGC* , 1 : 200~231.
- ### 附中文参考文献
- 陈志广, 张连昌, 周新华, 等. 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): 2 971~2 986.
- 程银行, 刘永顺, 滕学建, 等. 2013. 内蒙古莫合尔图中-晚侏罗世火山岩年代学、地球化学研究及其意义 [J]. *地质学报* , 87(7): 943~956.
- 程银行, 滕学建, 辛后田, 等. 2012. 内蒙古东乌旗狼麦温都尔花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *岩石矿物学杂志* , 31(3): 323~334.
- 高晓峰, 郭 锋, 范蔚茗, 等. 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, 李献华, 林 强, 等. 2001. 呼伦湖早白垩世碱性流纹岩的地球化学特征及其意义 [J]. *地质科学* , 36(2): 176~183.
- 葛文春, 林 强, 孙德有, 等. 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(中国地质大学学报)* , 25(2): 172~178.
- 苟 军, 孙德有, 赵忠华, 等. 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): 333~344.
- 郭 锋, 范蔚茗, 王岳军, 等. 2001. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用 [J]. *岩石学报* , 17(1): 161~168.
- 李长华, 卫三元, 陈贵海, 等. 2009. 内蒙古满洲里地区中生代中性火山岩成因及构造地质背景 [J]. *世界核地质科学* , 27(1): 19~24.
- 李怀坤, 苏文博, 周红英, 等. 2011. 华北克拉通北部长城系底界年龄小于 1 670 Ma : 来自北京密云花岗岩斑岩岩脉锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 年龄的约束 [J]. *地学前缘* , 18(3): 108~120.
- 李怀坤, 朱士兴, 相振群, 等. 2010. 北京延庆高于庄组凝灰岩的锆石 U-Pb 定年研究及其对华北北部中元古界划分新方案的进一步约束 [J]. *岩石学报* , 26(7): 2 131~2 140.
- 李锦轶, 莫申国, 和政军, 等. 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.
- 李思田, 杨世恭. 1987. 中国东北部晚中生代裂陷作用和东北亚断陷盆地系 [J]. *中国科学(B 辑)* , 21(2): 185~195.
- 林 强. 1999. 东北亚中生代火山岩研究若干问题的思考 [J]. *世界地质* , 18(2): 14~22.
- 林 强, 葛文春, 曹 林, 等. 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* , 33(3): 208~222.
- 林 强, 葛文春, 孙德有, 等. 1998. 中国东北地区中生代火山岩大地构造意义 [J]. *地质科学* , 33(2): 129~139.
- 刘 军, 毛景文, 武 广, 等. 2013. 大兴安岭北部岔路口斑岩钼矿床岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *地质学报* , 87(2): 208~226.
- 刘俊杰, 鞠文信, 赵九峰, 等. 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 : 38~46.
- 孟凡超, 刘嘉麒, 李 明, 等. 2010. 松辽盆地徐家围子营城组流纹岩地球化学特征及构造指示意义 [J]. *岩石学报* , 26(1): 227~241.
- 莫申国, 韩美莲, 李锦轶. 2005. 蒙古-鄂霍茨克造山带的组成及造山过程 [J]. *山东科技大学学报* , 24(3): 50~52.
- 单 强, 曾乔松, 罗 勇, 等. 2011. 新疆阿尔泰康布铁堡组钾质和钠质流纹岩的成因及同位素年代学研究 [J]. *岩石学报* , 27(12): 3 653~3 665.
- 孙德有, 吴福元, 高 山, 等. 2005. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世二期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约 [J]. *地学前缘* , 12(2): 263~275.
- 孙德有, 许文良, 周 燕. 1994. 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报* , 3 : 162~164.
- 吴福元, 曹 林. 1999. 东北地区的若干重要基础地质问题 [J]. *世界地质* , 18(2): 1~13.
- 吴华英, 张连昌, 周新华, 等. 2008. 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* , 24(6): 1 339~1 352.
- 张 宏, 马俊孝, 权 恒, 等. 1999. 大兴安岭北段中生代火山岩形成的动力学环境 [J]. *贵金属地质* , 8(1): 56~64.
- 张连昌, 陈志广, 周新华, 等. 2007. 大兴安岭根河地区早白垩世火山岩深部源区与构造岩浆演化 : Sr-Nd-Pb-Hf 同位素地球化学制约 [J]. *岩石学报* , 23(11): 2 823~2 835.
- 张 旗, 王元龙, 金惟俊, 等. 2008. 造山前、造山和造山后花岗岩的识别 [J]. *地质通报* , 27(1): 1~18.
- 张永北, 孙世华, 毛 霁. 2006. 大兴安岭南段中生代 O 型埃达克质火山岩及其成因、古构造环境和找矿意义 [J]. *岩石学报* , 22(9): 2 289~2 304.
- 张玉涛, 张连昌, 英基丰, 等. 2007. 大兴安岭北段塔河地区早白垩世火山岩地球化学及源区特征 [J]. *岩石学报* , 23(7): 1~12.
- 赵国龙, 杨桂林, 傅嘉友, 等. 1989. 大兴安岭中南部中生代火山岩 [J]. 北京 : 北京科学技术出版社, 1~260.
- 赵海玲, 邓晋福, 陈发景, 等. 1998. 中国东北地区中生代火山岩岩石学特征与盆地形成 [J]. *现代地质* , 12(1): 56~59.
- 赵书跃, 韩彦东, 朱春燕, 等. 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.