

内蒙古科尔沁右翼前旗地区满克头鄂博组火山岩年代学、地球化学特征及其地质意义

贾彬¹, 魏立勇¹, 吴欢欢^{1,2}, 张振¹, 唐卫东¹, 刘天航¹, 柴晨晖³, 孟五一¹

(1. 中国地质调查局 西安矿产资源调查中心, 陕西 西安 710100; 2. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 中国地质调查局 廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000)

摘要: 对内蒙古科尔沁右翼前旗地区满克头鄂博组火山岩的形成时代与地球化学特征进行了研究。对2件典型流纹岩样品进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb测年, 结果分别为 145.9 ± 1.0 Ma和 146.0 ± 1.3 Ma, 为晚侏罗世。该区满克头鄂博组火山岩属于过铝质、高钾钙碱性系列, 具有高 SiO_2 (63.28%~77.40%, 平均为71.06%)、高全碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)含量(7.52%~10.14%, 平均为8.66%), 富集大离子亲石元素Rb、K, 亏损高场强元素Nb、Ta、Ti、P等特征, 显示出壳源岩浆的典型特征。满克头鄂博组流纹质和粗面岩在主微量元素上具有良好的演化趋势, 推测是壳源物质部分熔融之后, 经历了不同程度的分离结晶作用后喷发形成。同时, 该组火山岩具有造山后岩浆作用地球化学特征, 结合大兴安岭地区满克头鄂博组时空分布上存在自西南向东北年龄逐渐变新的特点, 认为该期火山作用与蒙古-鄂霍次克缝合带闭合后伸展作用密切相关。

关键词: 火山岩; 锆石U-Pb年龄; 满克头鄂博组; 晚侏罗世; 造山后伸展

中图分类号: P597; P588.14

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2021)05-0859-15

Chronology, geochemistry and geological significance of volcanic rocks of the Manketouebo Formation in Horqin Right-Front Banner area, Inner Mongolia

JIA Bin¹, WEI Li-yong¹, WU Huan-huan^{1,2}, ZHANG Zhen¹, TANG Wei-dong¹, LIU Tian-hang¹,
CHAI Chen-hui³ and MENG Wu-yi¹

(1. Xi'an Mineral Resources Survey Center, China Geological Survey, Xi'an 710100, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China; 3. Langfang Comprehensive Natural Resources Survey Center, China Geological Survey, Langfang 065000, China)

Abstract: This paper studies the formation age and geochemical characteristics of the volcanic rocks of the Manketouebo Formation in the Horqin Right-Front Banner area, Inner Mongolia. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of two typical rhyolite samples reveals that the eruption occurred in the Late Jurassic (145.9 ± 1.0 Ma and 146.0 ± 1.3 Ma, respectively). The volcanic rocks of the Manketouebo Formation in the study area belong to the peraluminous, high-potassium calcium-alkaline series, with high SiO_2 (63.28%~77.40%, with average of 71.06%) and total alkalis (7.52%~10.14%, with average of 8.66%). The trace element patterns are characterized by enrichment of large ion lithophile elements (e. g., Rb, K) and depletion of high field strength elements (e. g., Nb, Ta, Ti, P), showing the typical characteristics of crust-derived magma. The rhyolite and trachyte in Manketouebo Formation have a good evolution trend in the major and trace elements. It is speculated that the crust-derived material

收稿日期: 2020-09-04; 接受日期: 2021-07-28; 编辑: 尹淑苹

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20208009, DD2016007804)

作者简介: 贾彬(1992-), 男, 助理工程师, 地质学专业, E-mail: jiabin1913@163.com。

was partially melted and erupted after different degrees of fractional crystallization. Besides, the volcanic rocks have similar geochemical characteristics of post-orogenic magmatism. Combined with the temporal and spatial distribution that the ages of the Manketouebo Formation in the Da Hinggan Mountains increase from southwest to northeast, it is proposed that the volcanism of this period is closely related to the post-orogenic extension after closure of the Mongol-Okhotsk Ocean.

Key words: volcanic rocks; zircon U-Pb ages; Manketouebo Formation; Late Jurassic; post-orogenic extension

Fund support: Project of China Geological Survey(DD20208009, DD2016007804)

大兴安岭地区位于中亚造山带东段,先后受古生代古亚洲洋构造域和中生代古太平洋构造域影响而显示出多阶段演化特点,其中中生代强烈的岩浆作用形成了超十万平方公里的火山岩带(Li, 2006; Wang *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2013)。特殊的地理位置以及复杂的构造背景,使得该区域自19世纪80年代以来就成为国内外学者的研究热点。早期的研究大多依靠岩石组合特征、地层对比以及少量 Rb-Sr、K-Ar 等方法,近些年来锆石 U-Pb 测年方法的广泛运用获得了较多该地区中生代火山岩的精确年龄(Zhang *et al.*, 2010; 程银行等, 2014; 杜洋等, 2017; 臧延庆等, 2018; Gou *et al.*, 2019)。但由于区域上研究样品分布不够均匀、不够系统,准确限定中生代火山岩的时空分布规律仍存在问题。同时,对于中生代火山岩的成因机制和构造背景也具有较大争议。一些学者认为大兴安岭地区中生代火山岩是古太平洋板块俯冲作用及俯冲后伸展作用的结果(Wang *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2011),一些学者则认为与蒙古-鄂霍茨克洋闭合造山后的伸展有关(Fan *et al.*, 2003; Meng, 2003; 张连昌等, 2007; 王建国等, 2013),还有一些学者认为可能是地幔柱活动的结果(葛文春等, 2000)。要厘清这些问题需要对该地区中生代火山岩进行详细的岩石学、全岩地球化学及年代学研究,并结合区域上同期火山岩进行对比研究。满克头鄂博组是大兴安岭中南段大规模火山作用的初始地层,限定其形成年代及构造背景具有重要意义。该套火山岩在大兴安岭中段的内蒙古科尔沁右翼前旗地区广泛发育,但目前尚未有关于其锆石 U-Pb 年龄的报道,导致对于该区的岩浆作用,特别是火山岩的时代、成因及构造环境不太确定。由此,在区调工作的基础上,本文采集该地区满克头鄂博组典型样品进行了精细的锆石 U-Pb 定年工作,同时结合其岩石地球化学特征以及区域上该套火山岩的时空分布讨论其形成时代及构造背景。

1 区域地质概况

科尔沁右翼前旗地区位于大兴安岭中南部,大地构造位置属兴蒙造山带东段,古生代受古亚洲洋构造域控制,属天山-兴蒙造山系中的大兴安岭弧盆系,三级构造单元属于锡林浩特岩浆弧(图1a)。中-新生代以来,主要受滨太平洋构造域控制,主体构造线为北东-北北东向,显示出古亚洲洋构造域与滨太平洋构造域两大构造体制及区域成矿系统叠加特点。

研究区内主要发育中生代火山岩(占测区面积的62%),由老到新依次为满克头鄂博组(J_3m)、玛尼吐组(J_3mn)、白音高老组(K_1b)、五叉沟组(βN_1w)。其中满克头鄂博组主要为一套陆相中酸性火山熔岩及火山碎屑岩组合,厚度大于1 km,岩性组合为灰色-灰白色(球泡)流纹岩、流纹质(角砾)晶屑凝灰岩、流纹质(角砾)晶屑熔结凝灰岩、流纹质(集块、角砾)玻屑熔结凝灰岩、流纹质角砾熔岩、粗面岩,中细粒凝灰质(岩屑)长石砂岩夹砾岩、粉砂岩等。区域上总体来看,流纹质火山岩上覆于粗面质火山岩,且厚度明显大于后者。区内构造主要为正断层、平移断层,局部发育少量逆断层及宽缓褶皱,构造线以北东向为主,次为北西向构造,少量的南北向构造(图1b)。

2 样品特征及分析方法

本次研究采集区内满克头鄂博组共11件火山岩样品(包括6件流纹岩和5件粗面岩)进行全岩主微量元素分析,选取剖面PM06上2件典型流纹岩样品进行LA-ICP-MS锆石U-Pb测年(PM06剖面图及采样位置见图2)。

流纹岩新鲜面为灰黄-浅紫红色,具斑状结构,流纹构造(图3a)。镜下观察斑晶主要为石英(10%~

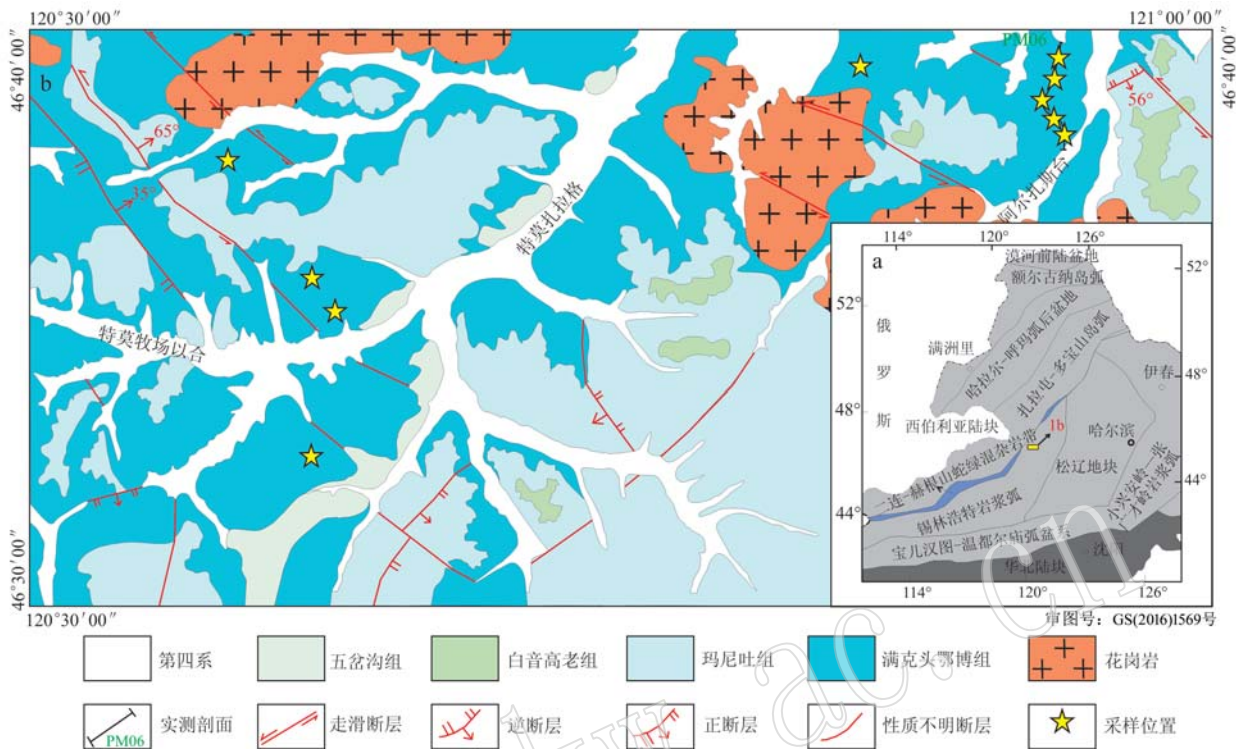


图1 兴蒙造山带东段大地构造图(a)和研究区地质简图(b, 据原武警黄金第四支队, 2019^①)
Fig. 1 Tectonic map of the eastern part of the Xing-Meng orogenic belt(a) and geological sketch map of the study area (b, after No. 4 Team of Gold Exploration Branch of Chinese Armed Police Force, 2019^①)

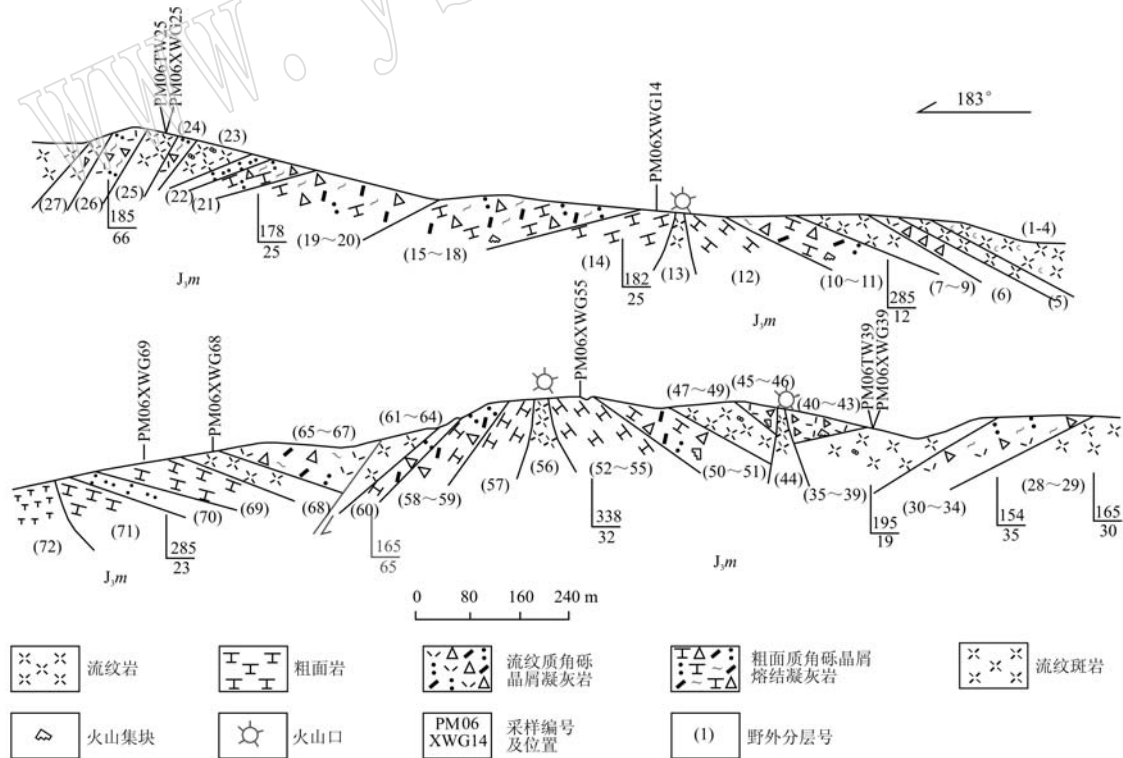


图2 内蒙古科尔沁右翼前旗地区满克头鄂博组 (PM06) 剖面图
Fig. 2 Profile map of Manketouebo Formation (PM06) in Horqin Right-Front Banner area, Inner Mongolia

① 原武警黄金第四支队. 2019. 1:5万特莫牧场幅等四幅区调地质调查报告.

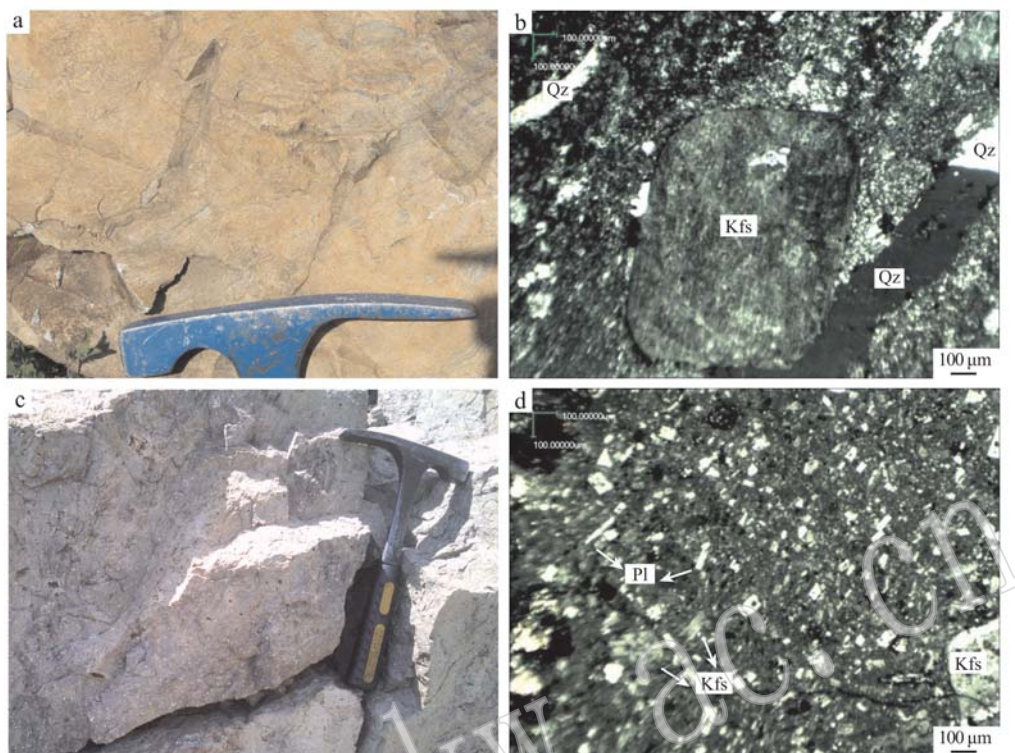


图3 内蒙古科尔沁右翼前旗地区满克头鄂博组流纹岩(a,b)与粗面岩(c,d)野外和正交偏光照片
Fig. 3 Field and orthogonal polarized photographs of rhyolite (a, b) and trachyte (c, d) of Manketouebo Formation in Horqin Right-Front Banner area, Inner Mongolia
Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Qz—石英
Pl—plagioclase; Kfs—K-feldspar; Qz—quartz

15%, 体积分数)、钾长石(3%~5%)(图3b)。钾长石为自形-半自形, 0.5~1.0 mm, 棱角多被熔蚀, 表面具有不同程度的高岭土化; 石英多为长条形, 少量被熔蚀为港湾状。基质(80%~85%)主要为隐晶质-微晶质, 颗粒定向呈现流动构造。

粗面岩新鲜面为灰绿色或紫红色, 块状构造, 具斑状结构(图3c)。镜下观察斑晶主要为钾长石, 钾长石粒径为0.5~1.5 mm, 呈自形-半自形板状, 可见卡式双晶, 部分长石有熔蚀边, 具港湾状熔蚀, 含量约10%~15%。基质主要为钾长石微晶、少量斜长石微晶, 微晶矿物多呈针状、板状, 可见弱定向排列, 形成粗面结构(图3d)。

锆石挑选由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。样品常规粉碎淘洗后, 经磁选和重液分离, 并在双目镜下进行人工挑选。锆石制靶和阴极发光(CL)图像采集由北京锆石领航科技有限公司完成。锆石U-Pb同位素测年由北京科荟测试技术有限公司完成, 测试过程中, 激光斑束直径为30 μm, 频率为8 Hz, 采用了He作为载体, Ar作为补偿气, 采用ICPMSDataCal软件对数据进行后期处理, 年龄的计

算和谐和图的绘制采用Isoplot3.0软件完成。

11件主微量样品测试在核工业北京地质研究所完成。样品在去除风化壳后经破碎机粉碎, 然后用球磨仪研磨至粉末状(>200目)进行测试。主量元素用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测试, 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

2件流纹岩测年样品(PM06TW25、PM06TW39)采自吉拉斯台嘎查地区实测地层剖面(PM06), 采样坐标分别为46°37'50"N、120°56'25"E和46°39'49"N、120°56'30"E。所测样品中锆石多为无色透明-浅褐色, 自形-半自形短柱状, 长110~150 μm, 长宽比介于1.5:1~2:1之间, 发育岩浆锆石典型的振荡环带(图4)。LA-ICP-MS分析结果列于表1和表2, U-Pb谐和图及加权平均年龄图见图5。

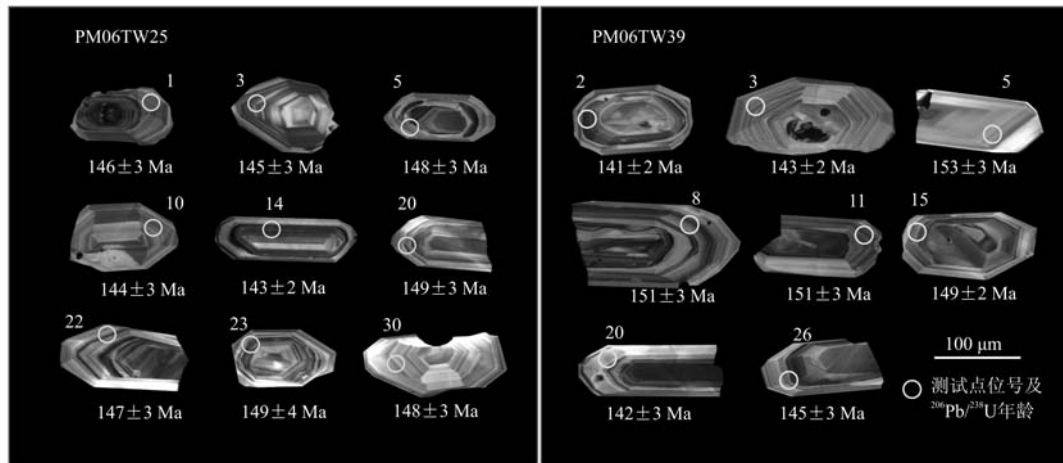


图 4 满克头鄂博组酸性火山岩部分锆石阴极发光图像

Fig. 4 CL images of selected zircons from the felsic volcanic rocks of Manketouebo Formation

表 1 满克头鄂博组流纹岩 (PM06TW25) LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb analytical result of rhyolite (PM06TW25) in Manketouebo Formation

点 号	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
1	10	198	342	0.58	0.048 15	0.001 46	0.151 45	0.004 69	0.022 91	0.000 42	106	70	143	4	146	3
2	5	105	148	0.71	0.048 70	0.003 13	0.150 56	0.008 77	0.022 77	0.000 53	200	80	142	8	145	3
3	8	218	225	0.97	0.047 05	0.001 55	0.147 44	0.005 71	0.022 70	0.000 45	54	74	140	5	145	3
4	12	223	372	0.60	0.049 49	0.001 47	0.159 04	0.005 24	0.023 38	0.000 47	172	69	150	5	149	3
5	7	112	235	0.48	0.052 79	0.002 44	0.168 25	0.008 36	0.023 22	0.000 45	320	104	158	7	148	3
6	5	84	152	0.56	0.051 16	0.002 16	0.170 38	0.008 98	0.024 03	0.000 60	256	98	160	8	153	4
7	6	111	190	0.58	0.052 59	0.001 74	0.170 54	0.006 87	0.023 46	0.000 48	309	74	160	6	149	3
8	4	71	147	0.48	0.047 12	0.001 81	0.146 69	0.006 62	0.022 49	0.000 41	54	89	139	6	143	3
9	8	190	258	0.74	0.046 47	0.002 08	0.145 54	0.006 94	0.022 70	0.000 46	20	104	138	6	145	3
10	8	138	264	0.52	0.049 94	0.001 44	0.154 98	0.005 06	0.022 58	0.000 48	191	67	146	4	144	3
11	6	117	205	0.57	0.046 11	0.002 10	0.142 13	0.006 70	0.022 44	0.000 44	400	43	135	6	143	3
12	9	181	283	0.64	0.054 80	0.002 85	0.177 94	0.010 65	0.023 50	0.000 61	467	117	166	9	150	4
13	12	293	387	0.76	0.046 92	0.001 82	0.148 28	0.006 21	0.022 94	0.000 41	56	144	140	5	146	3
14	7	193	209	0.92	0.049 09	0.001 60	0.151 15	0.005 22	0.022 35	0.000 34	154	81	143	5	142	2
15	21	391	674	0.58	0.048 69	0.000 92	0.150 93	0.003 21	0.022 53	0.000 36	132	44	143	3	144	2
16	10	153	344	0.45	0.050 13	0.001 32	0.155 54	0.004 62	0.022 53	0.000 37	211	61	147	4	144	2
17	5	91	161	0.57	0.051 84	0.002 49	0.162 99	0.007 86	0.022 94	0.000 44	280	109	153	7	146	3
18	12	251	390	0.64	0.049 61	0.001 34	0.157 46	0.005 74	0.023 03	0.000 55	176	58	148	5	147	3
19	5	67	154	0.43	0.045 75	0.003 69	0.145 49	0.013 17	0.023 02	0.000 82	-	-	138	12	147	5
20	8	156	277	0.56	0.049 39	0.001 80	0.157 96	0.006 40	0.023 31	0.000 51	165	85	149	6	149	3
21	6	118	209	0.56	0.046 64	0.001 75	0.150 56	0.006 69	0.023 38	0.000 47	32	89	142	6	149	3
22	12	225	415	0.54	0.049 10	0.001 15	0.156 20	0.005 24	0.023 00	0.000 48	154	54	147	5	147	3
23	5	101	168	0.60	0.048 26	0.001 88	0.155 08	0.007 07	0.023 39	0.000 56	122	97	146	6	149	3
24	10	160	325	0.49	0.049 07	0.001 50	0.153 56	0.005 32	0.022 74	0.000 47	150	70	145	5	145	3
25	3	57	115	0.49	0.046 83	0.003 78	0.145 63	0.012 56	0.022 45	0.000 52	39	194	138	11	143	3
26	3	58	109	0.53	0.052 66	0.004 10	0.169 95	0.012 39	0.023 70	0.000 54	322	178	159	11	151	3
27	11	225	361	0.62	0.046 69	0.001 19	0.147 24	0.004 75	0.022 86	0.000 49	32	69	139	4	146	3
28	5	89	171	0.52	0.050 28	0.002 52	0.158 26	0.007 33	0.022 96	0.000 37	209	117	149	6	146	2
29	8	125	249	0.50	0.049 60	0.001 92	0.155 34	0.006 12	0.022 84	0.000 44	176	91	147	5	146	3
30	5	93	166	0.56	0.053 87	0.002 38	0.172 93	0.008 90	0.023 21	0.000 54	365	100	162	8	148	3
31	25	598	735	0.81	0.048 50	0.001 19	0.152 32	0.004 55	0.022 79	0.000 44	124	62	144	4	145	3

2 件样品的锆石测试数据在 U-Pb 谐和图中均位于谐和线上及其附近 (图 5)。其中 PM06TW25 中的 31 个锆石测试点位 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $151\pm 3\sim$

141 ± 2 Ma 之间, 获得加权平均年龄为 145.9 ± 1.0 Ma (MSWD=0.71) (图 5a)。样品 PM06TW39 中的 31 个锆石测试点位 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $153\pm 4\sim 143\pm$

表 2 满克头鄂博组流纹岩 (PM06TW39) LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 分析结果

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb analytical result of rhyolite (PM06TW39) in Manketouebo Formation

点号	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
1	20	382	663	0.58	0.048 53	0.000 87	0.151 48	0.003 46	0.022 64	0.000 45	124	41	143	3	144	3
2	7	134	247	0.54	0.047 52	0.001 47	0.146 28	0.005 45	0.022 17	0.000 40	76	56	139	5	141	2
3	4	78	134	0.58	0.050 52	0.001 92	0.156 69	0.006 68	0.022 45	0.000 37	220	89	148	6	143	2
4	16	357	539	0.66	0.048 96	0.000 88	0.156 50	0.004 81	0.023 10	0.000 55	146	43	148	4	147	3
5	3	107	81	1.32	0.049 66	0.002 90	0.156 58	0.010 52	0.022 88	0.000 58	189	137	148	9	146	4
6	9	173	307	0.56	0.048 40	0.001 13	0.155 61	0.004 70	0.023 32	0.000 50	120	56	147	4	149	3
7	7	101	246	0.41	0.049 90	0.001 86	0.165 51	0.006 92	0.024 07	0.000 52	191	87	156	6	153	3
8	9	158	272	0.58	0.050 79	0.001 52	0.167 18	0.005 27	0.023 93	0.000 41	232	69	157	5	152	3
9	9	220	277	0.79	0.052 00	0.001 34	0.167 16	0.004 97	0.023 35	0.000 51	287	55	157	4	149	3
10	5	73	148	0.49	0.047 44	0.001 84	0.155 36	0.006 50	0.023 73	0.000 46	78	83	147	6	151	3
11	9	155	293	0.53	0.052 45	0.001 85	0.168 99	0.007 13	0.023 29	0.000 48	306	75	159	6	148	3
12	4	61	120	0.51	0.053 35	0.002 55	0.174 07	0.008 46	0.023 82	0.000 66	343	109	163	7	152	4
13	5	101	148	0.68	0.050 36	0.002 19	0.165 97	0.008 62	0.023 70	0.000 49	213	100	156	8	151	3
14	7	115	219	0.53	0.047 01	0.001 74	0.153 23	0.006 15	0.023 66	0.000 47	50	150	145	5	151	3
15	11	225	331	0.68	0.054 77	0.002 11	0.176 18	0.007 53	0.023 36	0.000 49	467	82	165	6	149	3
16	4	65	129	0.50	0.048 16	0.002 20	0.153 70	0.007 75	0.023 18	0.000 51	106	107	145	7	148	3
17	5	94	158	0.59	0.050 91	0.002 10	0.163 38	0.006 93	0.023 32	0.000 38	235	94	154	6	149	2
18	8	155	265	0.58	0.050 22	0.001 96	0.155 19	0.007 03	0.022 44	0.000 52	206	89	146	6	143	3
19	10	207	311	0.67	0.050 89	0.002 32	0.161 36	0.008 56	0.022 85	0.000 39	235	106	152	7	146	2
20	11	182	371	0.49	0.050 29	0.001 52	0.154 47	0.005 55	0.022 32	0.000 48	209	38	146	5	142	3
21	17	273	562	0.49	0.052 88	0.001 47	0.170 78	0.007 23	0.023 23	0.000 60	324	63	160	6	148	4
22	11	215	361	0.60	0.049 54	0.001 77	0.152 78	0.006 31	0.022 33	0.000 46	172	83	144	6	142	3
23	11	262	354	0.74	0.052 65	0.001 89	0.165 22	0.007 29	0.022 67	0.000 47	322	81	155	6	145	3
24	12	278	364	0.76	0.048 51	0.001 21	0.149 03	0.003 97	0.022 37	0.000 44	124	62	141	4	143	3
25	8	152	248	0.61	0.049 20	0.002 26	0.156 84	0.007 60	0.023 15	0.000 53	167	103	148	7	148	3
26	12	234	392	0.60	0.047 77	0.001 40	0.149 41	0.004 73	0.022 77	0.000 51	87	75	141	4	145	3
27	17	353	526	0.67	0.050 80	0.001 59	0.157 95	0.005 65	0.022 50	0.000 41	232	68	149	5	143	3
28	10	145	358	0.41	0.046 06	0.002 09	0.141 65	0.007 09	0.022 20	0.000 33	400	53	135	6	142	2
29	11	201	360	0.56	0.049 60	0.001 38	0.153 61	0.005 84	0.022 32	0.000 45	176	65	145	5	142	3
30	6	86	213	0.40	0.050 13	0.002 13	0.157 36	0.007 63	0.022 68	0.000 43	211	100	148	7	145	3
31	5	105	165	0.64	0.053 03	0.003 90	0.166 53	0.014 10	0.022 54	0.000 55	332	167	156	12	144	3

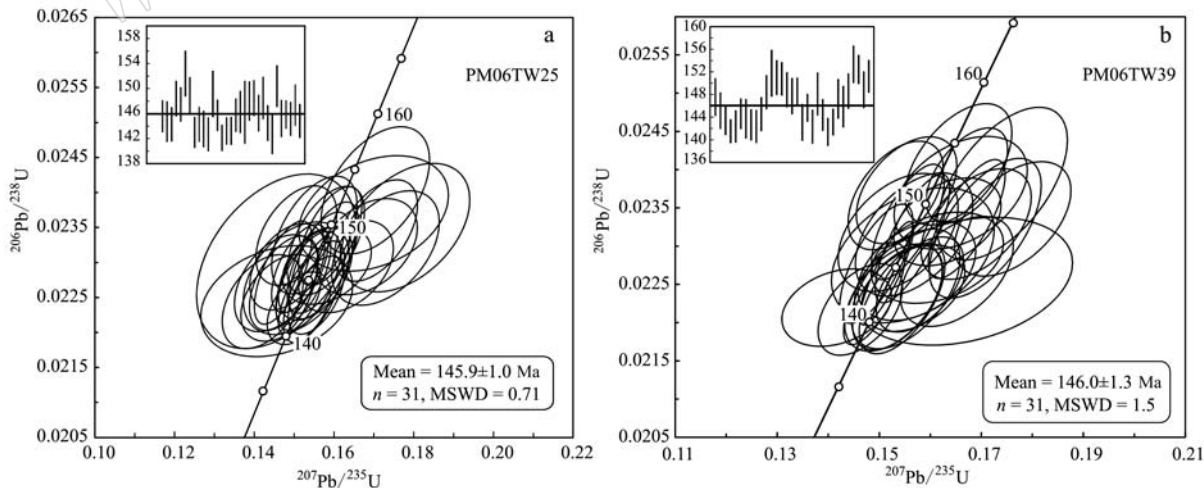


图 5 锆石 U-Pb 年龄谐和图和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄图

Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagrams and weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age plots

2 Ma 之间,加权平均年龄为 146.0 ± 1.3 Ma (MSWD = 1.5) (图 5b)。可见,本区满克头鄂博组火山岩成岩年龄为 $146.0 \pm 1.3 \sim 145.9 \pm 1.0$ Ma,为晚侏罗世。

3.2 岩石地球化学特征

11 件满克头鄂博组火山岩主微量元素测试结果列于表 3。

表3 满克头鄂博组流纹岩主量($w_B/\%$)、微量($w_B/10^{-6}$)元素分析结果Table 3 Major ($w_B/\%$) and trace ($w_B/10^{-6}$) compositions of rhyolites in Manketouebo Formation

样品号	PM06X WG14	PM06X WG55	PM06X WG69	PM07X WG31	PM08X WG32	PM06X WG25	PM06X WG39	PM06X WG68	PM15X WG11	PM15X WG12	PM15X WG13
岩性	粗面岩	粗面岩	粗面岩	粗面岩	粗面岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩	流纹岩
SiO ₂	63.28	66.62	68.77	64.22	67.00	73.26	72.17	76.33	77.40	76.03	76.54
TiO ₂	0.73	0.78	0.59	0.80	0.56	0.22	0.31	0.13	0.18	0.17	0.18
Al ₂ O ₃	16.08	16.03	15.17	15.47	16.18	13.92	14.27	12.50	12.19	13.59	12.88
Fe ₂ O ₃	5.48	3.69	2.99	5.88	3.01	1.92	2.31	1.27	0.86	0.94	0.93
FeO	2.49	2.03	1.14	1.85	1.32	1.48	1.48	0.87	0.49	0.52	0.71
MnO	0.09	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	1.46	0.75	0.60	1.52	0.48	0.22	0.40	0.10	0.20	0.12	0.10
CaO	3.43	1.64	0.99	2.33	1.05	0.40	0.87	0.14	0.32	0.26	0.20
Na ₂ O	5.03	4.67	4.66	3.90	5.23	5.22	4.61	3.40	3.45	5.86	4.55
K ₂ O	3.31	4.14	4.44	3.62	4.91	4.04	4.21	5.04	4.60	2.14	4.20
P ₂ O ₅	0.38	0.17	0.20	0.20	0.13	0.03	0.07	0.02	0.03	0.02	0.02
烧失量*	0.73	1.42	1.00	1.96	0.87	0.66	0.69	0.50	0.67	0.77	0.37
总量	101.76	100.60	99.63	99.87	99.94	100.79	100.79	99.82	99.74	99.66	100.32
Na ₂ O+K ₂ O	8.34	8.81	9.10	7.52	10.14	9.26	8.82	8.44	8.05	8.00	8.75
A/CNK	0.89	1.06	1.06	1.06	1.02	1.02	1.04	1.10	1.08	1.09	1.04
AR	2.49	2.99	3.58	2.46	3.86	4.66	3.79	3.33	3.46	3.73	5.05
V	63.00	45.50	27.80	109.00	34.10	5.00	17.20	2.82	4.26	3.42	3.88
Cr	4.61	4.99	5.18	41.00	7.40	12.20	9.85	3.72	0.97	3.41	1.07
Co	7.67	5.35	2.29	13.90	2.72	1.02	2.51	0.39	0.32	0.39	0.27
Ni	1.76	3.41	2.17	19.20	2.87	2.56	2.98	1.62	1.14	2.87	1.10
Ga	20.20	19.60	19.50	19.90	21.40	16.40	17.80	17.90	14.80	15.30	15.80
Rb	93.70	94.10	120.00	96.90	108.00	76.70	116.00	161.00	123.00	65.40	114.00
Sr	402.00	313.00	225.00	560.00	305.00	87.00	160.00	30.80	89.40	49.60	45.80
Cs	8.04	3.92	4.93	4.70	5.62	1.54	5.81	3.98	4.54	2.72	2.50
Ba	765.00	917.00	860.00	639.00	1727.00	715.00	763.00	96.00	640.00	331.00	518.00
W	12.10	1.56	1.24	11.00	2.86	1.26	1.29	1.85	0.85	0.44	0.62
Pb	19.10	23.30	43.30	50.10	25.50	7.75	24.80	26.30	42.40	22.30	21.10
Th	10.20	12.90	10.90	16.00	12.70	17.00	14.10	22.80	14.80	13.70	14.40
U	2.29	3.32	3.28	6.09	3.89	4.94	4.78	4.90	3.99	2.73	2.61
Nb	21.10	11.80	11.50	11.50	9.61	11.40	11.60	12.90	11.40	10.70	10.70
Ta	1.37	0.83	0.87	1.05	0.81	1.07	1.04	1.29	0.99	0.94	0.93
Zr	129.00	425.00	249.00	161.00	225.00	153.00	176.00	158.00	133.00	142.00	142.00
Hf	3.73	10.50	8.55	5.13	5.98	5.30	5.76	6.20	4.97	5.24	5.30
La	31.50	36.60	38.10	29.10	52.00	34.20	34.00	11.50	37.40	7.52	23.00
Ce	67.20	74.00	64.90	59.60	87.30	61.80	62.20	39.50	63.70	27.80	43.40
Pr	8.71	9.52	9.93	7.39	10.30	7.11	7.40	3.26	7.81	1.74	4.71
Nd	36.00	39.00	43.00	29.40	45.80	25.50	27.20	10.90	27.50	6.28	16.70
Sm	7.52	7.91	8.38	5.77	7.84	4.28	4.79	2.85	4.60	1.25	2.81
Eu	1.54	1.72	1.75	1.23	1.58	0.73	0.91	0.20	0.64	0.19	0.41
Gd	6.41	6.84	6.81	4.78	6.12	3.65	4.16	2.43	3.59	1.14	2.51
Tb	1.25	1.27	1.22	0.87	0.90	0.65	0.72	0.59	0.59	0.25	0.44
Dy	6.98	6.91	6.93	4.75	4.34	3.54	3.97	3.31	3.18	1.68	2.59
Ho	1.33	1.40	1.31	0.90	0.82	0.73	0.80	0.75	0.61	0.38	0.51
Er	3.47	4.02	3.95	2.42	2.39	2.18	2.40	1.98	1.91	1.23	1.60
Tm	0.58	0.67	0.71	0.43	0.39	0.40	0.44	0.41	0.34	0.29	0.33
Yb	3.35	4.20	4.69	2.66	2.16	2.77	2.93	2.66	2.47	1.89	2.23
Lu	0.45	0.60	0.60	0.37	0.31	0.41	0.42	0.36	0.34	0.30	0.32
Sc	8.79	12.50	8.58	11.10	4.84	5.15	8.95	1.85	2.47	2.23	2.44
Y	35.90	33.20	40.80	25.80	23.50	18.70	21.40	21.80	19.70	11.50	15.90
ΣREE	176.29	194.66	192.29	149.67	222.25	147.94	152.33	80.70	154.69	51.94	101.55
LREE/HREE	6.40	6.51	6.33	7.71	11.75	9.33	8.62	5.46	10.87	6.26	8.65
(La/Yb) _N	6.74	6.25	5.83	7.85	17.27	8.86	8.32	3.10	10.86	2.85	7.40
δEu	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.18	0.20	0.07	0.16	0.16	0.15

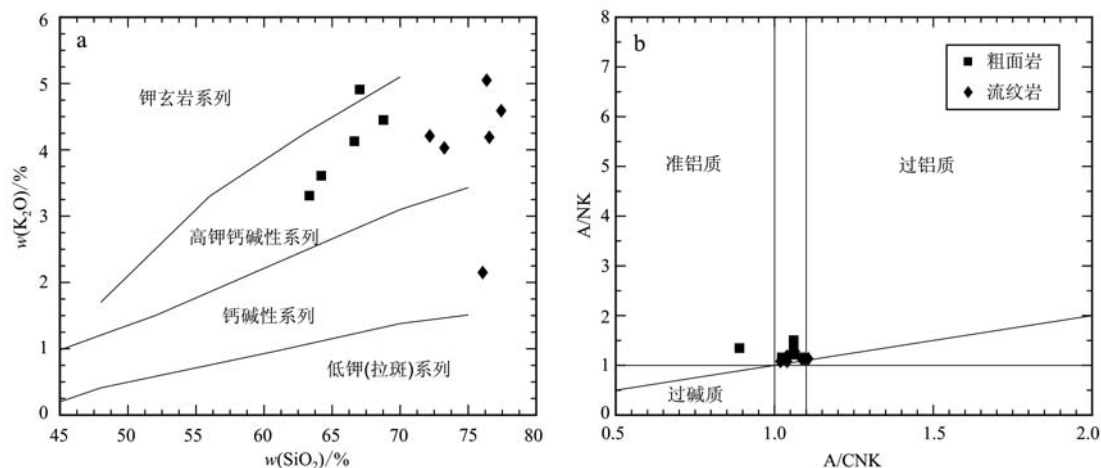


图7 内蒙古科尔沁右翼前旗地区火山岩样品的 K_2O-SiO_2 图解(a, 底图据 Peccerillo and Taylor, 1976)和 $A/NK-A/CNK$ 图解(b)

Fig. 7 K_2O-SiO_2 diagram (a, after Peccerillo and Taylor, 1976) and $A/NK-A/CNK$ diagram(b) for volcanic rocks from Horqin Right-Front Banner area, Inner Mongolia

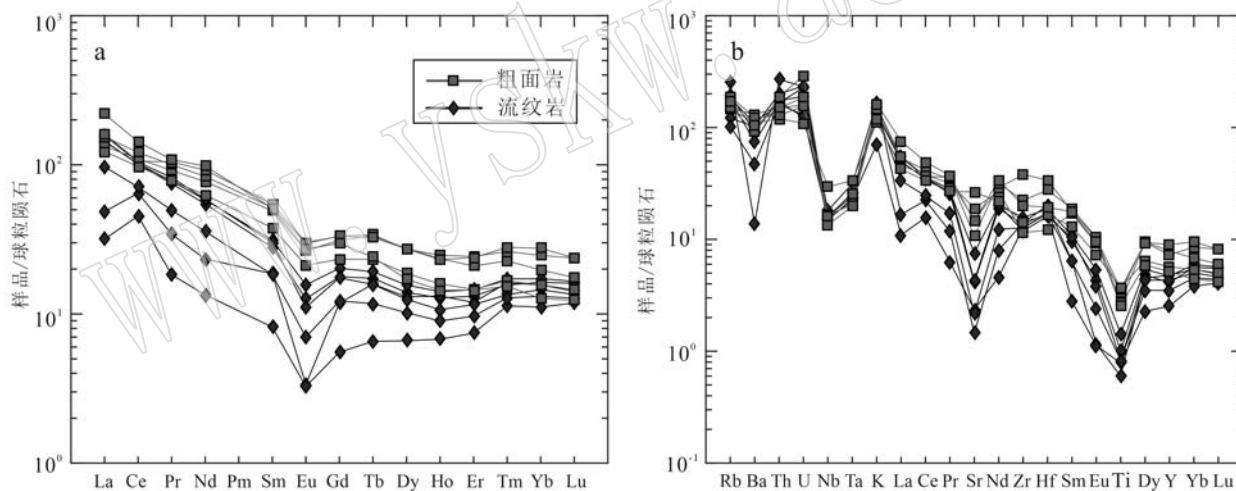


图8 满克头鄂博组火山岩球粒陨石稀土元素配分图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)
(标准化数据据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagram(b) for the Manketouebo Formation volcanic rocks (normalized values are from Sun and McDonough, 1989)

研究区满克头鄂博组火山岩主要为流纹质火山碎屑岩、火山熔岩及少量粗面质火山岩。本文样品具有高硅(SiO_2 平均值为 71.06%), 富碱(K_2O+Na_2O 平均值为 8.66%)的特征。稀土元素(REE)含量较高, 轻、重稀土元素分馏明显 [$(La/Yb)_N$ 平均为 7.76], 同时富集大离子亲石元素(LILE) Rb、K, 亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti、P, 显示出壳源岩浆特征。与此同时, 中等-明显的 Eu、Sr 负异常指示其岩浆源区发生了斜长石残留或岩浆经历了显著的分

结晶作用。全岩 Nb/Ta 值为 10.0~15.4 (平均为 11.9), 与地壳平均值 12~13 较为接近 (Barth *et al.*, 2000), 而明显低于原始地幔的平均值 (17.8; McDonough and Sun, 1995), 进一步指示其壳源属性。

本文研究的 5 件粗面岩样品 La/Sm 值范围为 4.19~6.63 (平均为 5.01), 6 件流纹岩样品 La/Sm 值范围为 4.04~7.99 (平均为 6.91), 两者并没有太大的差别, 暗示两者应该不是经不同程度部分熔融而来。在哈克图解中(图10), TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 MgO 、

表 4 大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩锆石 U-Pb 同位素年龄统计

Table 4 Reported zircon U-Pb ages of volcanic rocks of Manketouebo Formation in the Da Hinggan Mountains

位置	地区	纬度	经度	岩性	年龄/Ma	来源
大兴安岭北段	克一河地区	50°38'49"	122°53'28"	流纹岩	139±2	杜洋等, 2017
大兴安岭北段	克一河地区	50°35'00"	122°25'00"	流纹岩	132.2±0.5	王春宇等, 2017
大兴安岭北段	克一河地区	50°36'13"	122°54'13"	英安质凝灰岩	137±5	王阳, 2018
大兴安岭北段	克一河地区	50°36'24"	122°48'49"	流纹质岩屑晶屑凝灰岩	143±0.7	王阳, 2018
大兴安岭中段	吉拉斯台嘎查地区	46°37'50"	120°56'25"	流纹岩	145.9±1.0	本文
大兴安岭中段	吉拉斯台嘎查地区	46°39'49"	120°56'30"	流纹岩	146.0±1.3	本文
大兴安岭中段	海莫赛格	45°42'24"	116°39'27"	流纹岩	155.5±0.9	程银行等, 2014
大兴安岭中段	海莫赛格	45°40'50"	116°41'36"	流纹岩	164.0±1.0	程银行等, 2014
大兴安岭中段	索伦地区	46°48'28"	121°19'28"	流纹岩	138.0±1.5	高龙飞等, 2018
大兴安岭中段	索伦地区	46°47'34"	121°24'47"	流纹岩	139.9±2.5	高龙飞等, 2018
大兴安岭中段	扎赉特旗地区	46°59'37"	122°31'28"	流纹质隐爆角砾岩	157.2±1.2	臧延庆等, 2018
大兴安岭中段	扎赉特旗地区	46°59'26"	122°50'43"	流纹岩	154.8±1.1	臧延庆等, 2018
大兴安岭中段	塔尔气地区	47°52'30"	121°20'00"	流纹岩	139±2	张超等, 2014
大兴安岭中段	塔尔气地区	47°52'00"	121°25'00"	流纹岩	143.0±1.0	张超等, 2014
大兴安岭南段	霍林郭勒地区	45°14'08"	119°53'53"	流纹岩	156±1	Zhang et al., 2010
大兴安岭南段	扎鲁特旗地区	45°13'56"	119°54'45"	流纹岩	153±8	Zhang et al., 2010
大兴安岭南段	阿鲁科尔沁旗	44°16'31"	119°45'38"	流纹质晶屑凝灰岩	157.7±1.2	郭建刚等, 2018
大兴安岭南段	白音瑞地区	45°07'50"	118°23'15"	流纹岩	158.0±0.7	王金芳等, 2019
大兴安岭南段	赤峰地区	43°08'10"	118°01'51"	粗安质熔结凝灰岩	156±2	杨扬等, 2012
大兴安岭南段	赤峰地区	43°00'13"	118°29'34"	流纹岩	157±3	杨扬等, 2012
大兴安岭南段	东乌旗东部	45°34'21"	117°04'54"	流纹岩	150.9±4.2	尹志刚等, 2019
大兴安岭南段	坤都地区	44°11'09"	119°59'31"	流纹岩	151.2±1.2	张超等, 2018

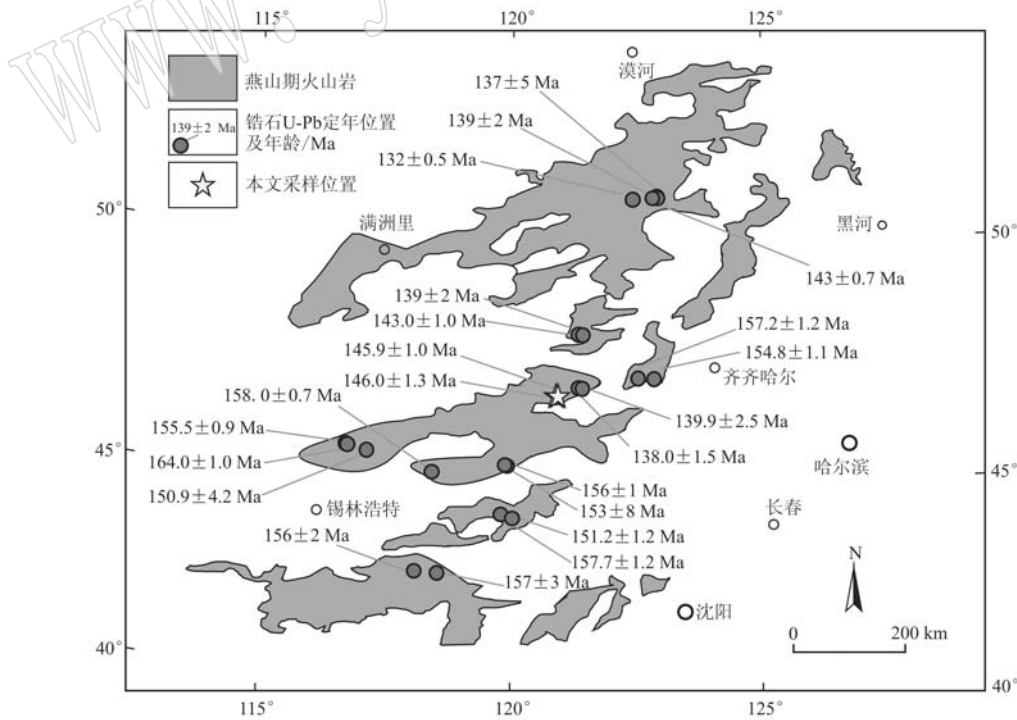


图 9 大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩时空分布简略图(图中数据见表 4)

Fig. 9 Simplified diagram of the temporal and spatial distribution of volcanic rocks in the Manketouebo Formation in the Da Hinggan Mountains(the data are shown in Table 4)

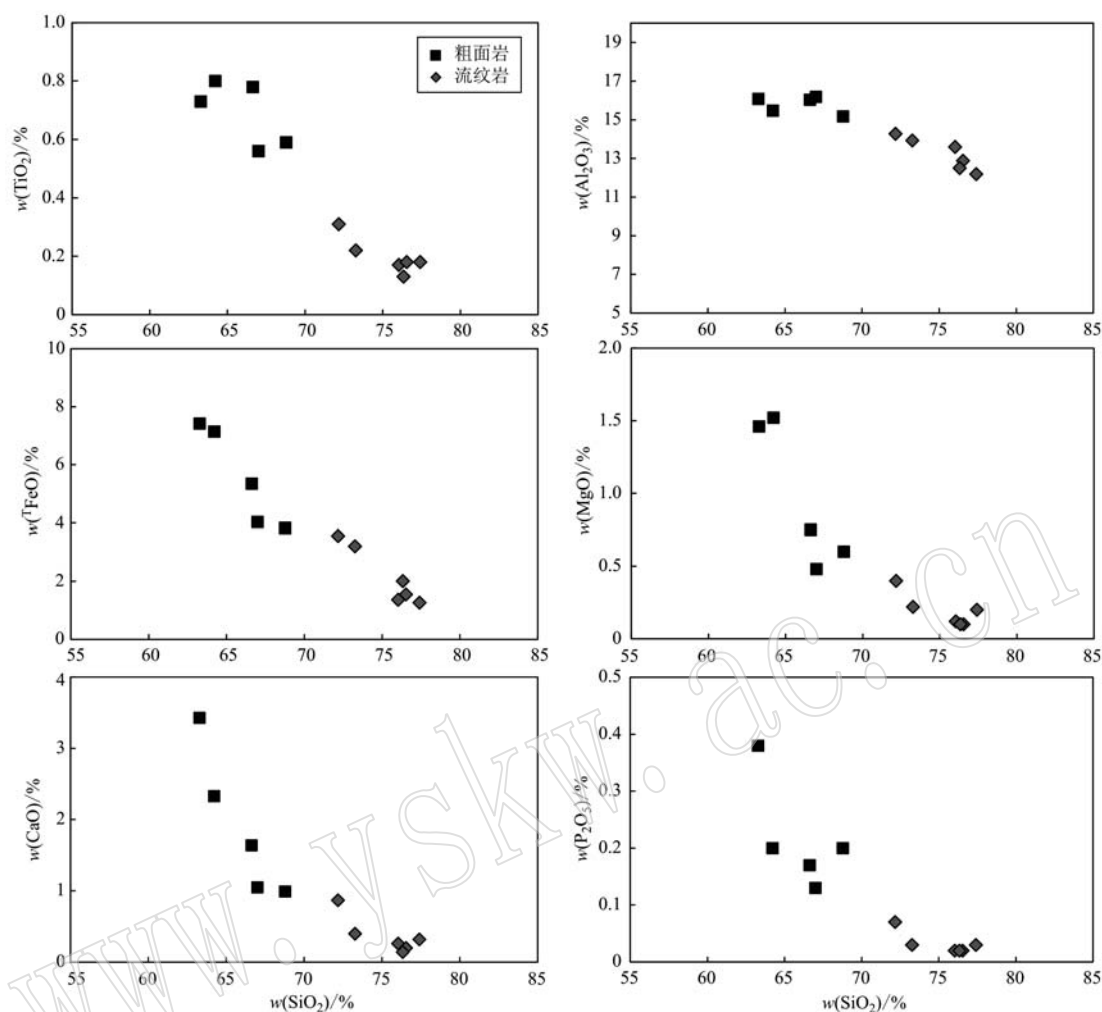


图 10 满克头鄂博组火山岩哈克图解

Fig. 10 Hark diagrams of the volcanic rocks of the Manketouebo Formation

CaO 和 P_2O_5 均与 SiO_2 具有良好的线性演化关系,指示两者更倾向于由同一岩浆经分离结晶作用形成。同时,5 件粗面岩样品 δEu 范围为 0.22~0.23(平均 0.23),明显高于流纹岩样品的 0.07~0.20(平均 0.15),更高的 Eu 异常进一步指示流纹岩经历了更高层次的斜长石分离结晶。

因此,认为大兴安岭中南段内蒙古科尔沁右翼前旗地区满克头鄂博组火山岩是由于壳源物质部分熔融之后,经历了不同程度的分离结晶作用后喷发至地表分别形成粗面岩和流纹岩。

4.3 构造环境

大兴安岭中生代火山岩产出的构造背景一直是广受争议的问题,前已述及主要有地幔柱热动力相关的地幔熔融、蒙古-鄂霍次克缝合带闭合后伸展和太平洋板块俯冲 3 种观点。根据相关的年代学统计,大兴安岭中生代火山岩的形成时代变化范围较

大,且不存在所谓的环状火山岩带,因此很难用地幔柱作用模式来解释(Fan *et al.*, 2003; 张连昌等, 2007)。Liégeois 等(1998)提出高钾钙碱性岩浆的出现,并向粗安质岩浆过渡可以作为造山过程演化到最后阶段的标志,研究区粗安质岩浆的出现也证明造山过程到了后期阶段。本文研究样品总体具有低 Sr(平均 206×10^{-6} , $< 400 \times 10^{-6}$)、高 Yb(平均 2.91×10^{-6} , $> 2 \times 10^{-6}$)的特征,与浙闽型造山后花岗岩较为相似(张旗等, 2008),显示了造山后伸展环境特点。在 Whalen 等(1987)提出的花岗岩分类图解上(图 11a),大部分样品落在 I 型和 S 型花岗岩分类靠近 A 型花岗岩区域,2 个样品落入 A 型花岗岩区域,与大兴安岭其他地区晚侏罗-早白垩世火山岩基本特征一致(Gou *et al.*, 2019)。在微量元素构造判别图解上全部样品落入造山后期区域(图 11b),进一步指示该期火山活动形成于造山后伸展构造环境。

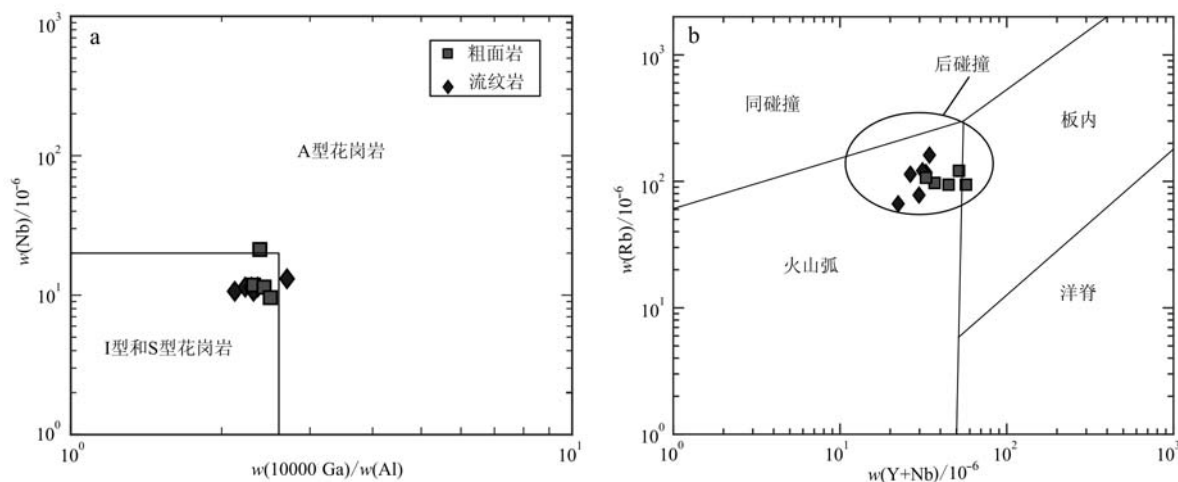


图 11 满克头鄂博组火山岩花岗岩判别图解(a, 底图据 Whalen *et al.*, 1987) 和 Rb-(Y+Nb) 构造图解 (b, 底图据 Pearce *et al.*, 1984)

Fig. 11 Granite discriminant diagram (a, after Whalen *et al.*, 1987) and Rb-(Y+Nb) diagram (b, after Pearce *et al.*, 1984) of the Manketouebo Formation volcanic rocks

近几年的一些研究表明大兴安岭远离太平洋板块俯冲带,并且大兴安岭北段和南段的中生代火山岩形成时间不同,因此中生代大兴安岭地区大规模火山作用受太平洋板块的俯冲影响较弱(许文良等, 2013; 尹志刚等, 2019)。同时,对蒙古-鄂霍茨克构造带的研究表明蒙古-鄂霍茨克洋于晚古生代末局部发生俯冲,晚三叠世开始发生自西向东的剪刀式闭合(许文良等, 2013; 黄始琪等, 2014)。许文良等(2013)等认为早侏罗世蒙古-鄂霍茨克大洋板块向额尔古纳地块下俯冲,中侏罗世蒙古-鄂霍茨克洋开始闭合,东部闭合时间可持续到晚侏罗世-早白垩世。本文统计的大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩时空分布显示,大兴安岭区域该组火山岩自西南向东北总体上有变新的趋势(图 9),与蒙古-鄂霍茨克洋闭合特征相符合。结合前文岩石地球化学特征讨论,笔者认为科尔沁右翼前旗地区满克头鄂博组火山岩主要受蒙古-鄂霍茨克缝合带闭合造山后伸展作用的影响。

5 结论

(1) 科尔沁右翼前旗地区满克头鄂博组流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 145.9 ± 1.0 Ma 和 146.0 ± 1.3 Ma,表明其形成时代为晚侏罗世。

(2) 满克头鄂博组火山岩属于过铝质、高钾钙碱性系列,具有高硅、富碱,富集大离子亲石元素

Rb、K,亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti、P 等特征,显示出壳源岩浆的典型特征。结合主微量元素演化趋势,推测该区满克头鄂博组火山岩是由于壳源物质部分熔融之后,经历了不同程度的分离结晶作用后喷发形成。

(3) 研究区满克头鄂博组火山岩具有造山后岩浆作用地球化学特征,结合大兴安岭地区满克头鄂博组时空分布上存在自西南向东北年龄逐渐变新的特点,推测该期火山作用与蒙古-鄂霍茨克缝合带闭合后伸展作用密切相关。

References

- Barth M G, McDonough W F and Rudnick R L. 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust[J]. *Chemical Geology*, 165 (3~4): 197~213.
- Cheng Yinhang, Teng Xuejian, Li Yanfeng, *et al.* 2014. Geochronology, geochemistry and geological significance of felsic volcanic rocks in Haimosaige area, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(2): 211~225 (in Chinese with English abstract).
- Du Yang, Liu Zhenghong, Cui Weilong, *et al.* 2017. Formation age and geochemical characteristics of volcanic rocks from Manketouebo Formation in Keyihe area, Da Hingan Mountains and its tectonic implications [J]. *Global Geology*, 36(1): 54~65 (in Chinese with English abstract).

- Fan W, Guo F, Wang Y, *et al.* 2003. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121(1~2): 115~135.
- Gao Longfei, He Zonghua, Sui Zhenmin, *et al.* 2018. Chronology and geochemistry of volcanic rocks from Manketouebo Formation in the Suolun area, central Da Hinggan Mountains and their tectonic implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 37(5): 881~894 (in Chinese with English abstract).
- Gao Xiaofeng, Guo Feng, Fan Weiming, *et al.* 2005. Origin of late Mesozoic intermediate-felsic volcanic rocks from the northern Da Hinggan Mountain, NE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 737~748 (in Chinese with English abstract).
- Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, *et al.* 2000. Geochemical study on the genesis of two types of rhyolites in Mesozoic in Daxinganling[J]. *Earth Science*, 25(2): 172~178 (in Chinese).
- Gou J, Sun D and Qin Z. 2019. Late Jurassic-Early Cretaceous tectonic evolution of the Great Xing'an Range: Geochronological and geochemical evidence from granitoids and volcanic rocks in the Erguna Block, NE China[J]. *International Geology Review*, 61(15): 1842~1863.
- Guo F, Fan W, Li C, *et al.* 2009. Early Cretaceous highly positive ϵ Nd felsic volcanic rocks from the Hinggan Mountains, NE China: Origin and implications for Phanerozoic crustal growth [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 98(6): 1395~1411.
- Guo Jiangang, Zhang Yujin, Zhang Chao, *et al.* 2018. Formation age and geochemical characteristics of volcanic rocks in Manketou'ebo Formation in Kundu area of Ar Horqin Banner, Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 37(9): 1652~1661 (in Chinese with English abstract).
- Huang Shiqi, Dong Shuwen, Zhang Fuqin, *et al.* 2014. Tectonic deformation and dynamic characteristics of the middle part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Mongolia[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 35(4): 415~424 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3~4): 207~224.
- Liégeois J, Navez J, Hertogen J, *et al.* 1998. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids, The use of sliding normalization[J]. *Lithos*, 45(1~4): 1~28.
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Cao Lin, *et al.* 2003. Geochemical characteristics of Mesozoic bimodal volcanic rocks in Daxinganling [J]. *Geochimica*, 32(3): 208~222 (in Chinese).
- McDonough W F and Sun S S. 1995. The composition of the Earth [J]. *Chemical Geology*, 120(3~4): 223~253.
- Meng Q. 2003. What drove late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract? [J]. *Tectonophysics*, 369(3~4): 155~174.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 37(3~4): 215~224.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Jour Petrol.*, (4): 956~983.
- Peccerillo A and Taylor S R. 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. *Contributions to Mineralogy & Petrology*, 58(1): 63~81.
- Rubatto D and Hermann J. 2003. Zircon formation during fluid circulation in eclogites (Monviso, Western Alps): Implications for Zr and Hf budget in subduction zones [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(12): 2173~2187.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and source processes [J]. *Geological Society of London Special Publication*, 42(1): 313~345.
- Wang F, Zhou X, Zhang L, *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(1~2): 179~198.
- Wang Yang. 2018. Formation Age and Geochemical Characteristics of Volcanic Rocks from Manketouebo Formation in Keyihe Area, the northern of Da Hinggan Mountains and Its Tectonic Implications [D]. Jilin University.
- Wang Chunyu, Wang Dongbin and Qu Jiayi. 2017. Chronology and geochemistry of rhyolites in Manketou'ebo Formation from Keyihe area, north-central Greater Xing'an Range [J]. *Journal of Heilongjiang University of Science & Technology*, 27(1): 46~50 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jianguo, He Zonghua and Xu Wenliang. 2013. Petrogenesis of riebeckite rhyolites in the southern Da Hinggan Mts.: Geochronological and geochemical evidence [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 853~863 (in Chinese with English abstract).

- Wang Jinfang, Li Yingjie, Li Hongyang, *et al.* 2019. Post-orogeny of the Hegenshan suture zone: Zircon U-Pb age and geochemical constraints from volcanic rocks of the Manketouebo Formation [J]. Geological Bulletin of China, 38(9): 1 443~1 454 (in Chinese with English abstract).
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. Contributions to Mineralogy & Petrology.
- Wu F, Sun D, Ge W, *et al.* 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 41(1): 1~30.
- Xu W, Pei F, Wang F, *et al.* 2013. 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, 74: 167~193.
- Xu Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, *et al.* 2013. Mesozoic tectonic regimes and regional ore-forming background in NE China: Constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations [J]. Acta Petrologica Sinica, 29(2): 339~353 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yang, Gao Fuhong, Chen Jingsheng, *et al.* 2012. Zircon U-Pb Ages of Mesozoic Volcanic Rocks in Chifeng Area [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 42(S2): 257~268 (in Chinese with English abstract).
- Yin Zhigang, Hao Ke, Liu Chenglong, *et al.* 2019. Geochronological and geochemical characteristics of rhyolite in the Manketouebo Formation of Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia, and its geological implications [J]. Geological Bulletin of China, 38(11): 1 825~1 835 (in Chinese with English abstract).
- Zang Yanqing, Qin Tao, Sun Wei, *et al.* 2018. Zircon U-Pb age and geochemistry of volcanic rocks in Manketouebo Formation from Jalaid Banner, central Da Hinggan Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 37(9): 1 644~1 651 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J, Gao S, Ge W, *et al.* 2010. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: Implications for subduction-induced delamination [J]. Chemical Geology, 276(3~4): 144~165.
- Zhang Chao, Yang Weihong, He Zonghua, *et al.* 2014. Geochronology and geochemistry of rhyolite in Manketouebo Formation from Ta'erqi area, southern-central Greater Xing'an Range [J]. Global Geology, 33(2): 255~265 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chao, Zhang Yujin, Quan Jingyu, *et al.* 2018. Zircon U-Pb geochronology and petrogenesis of rhyolites in Manketouebo Formation from the Kundu area in Jarud Basin, Inner Mongolia [J]. Geological Bulletin of China, 37(9): 1 633~1 643 (in Chinese with English abstract).
- 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, Daxing'anling: Constraints of Sr-Nd-Pb-Hf isotopic geochemical [J]. Acta Petrologica Sinica, 23(11): 2 823~2 832 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yuanlong, 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 with English abstract).
- Zhang Z C, Hou T, Santosh M, *et al.* 2014. Spatio-temporal distribution and tectonic settings of the major iron deposits in China, An overview [J]. Ore Geology Reviews, 57: 247~263.

附中文参考文献

- 程银行, 滕学建, 李艳锋, 等. 2014. 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 [J]. 岩石矿物学杂志, 33(2): 211~225.
- 杜洋, 刘正宏, 崔维龙, 等. 2017. 大兴安岭克一河地区满克头鄂博组火山岩形成时代、地球化学特征及地质意义 [J]. 世界地质, 36(1): 54~65.
- 高龙飞, 和钟铨, 隋振民, 等. 2018. 大兴安岭中段索伦地区满克头鄂博组火山岩年龄、地球化学特征及其构造环境 [J]. 地质通报, 37(5): 881~894.
- 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, 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, 25(2): 172~178.
- 郭建刚, 张渝金, 张超, 等. 2018. 内蒙古阿鲁科尔沁旗坤都地区满克头鄂博组火山岩形成时代与地球化学特征 [J]. 地质通报, 37(9): 1 652~1 661.
- 黄始琪, 董树文, 张福勤, 等. 2014. 蒙古-鄂霍茨克构造带中段构造变形及动力学特征 [J]. 地球学报, 35(4): 415~424.
- 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, 32(3): 208~222.
- 王春宇, 王东彬, 屈嘉骥. 2017. 大兴安岭北段克一河地区满克头鄂博组流纹岩的年代及地球化学特征 [J]. 黑龙江科技大学学报,

- 27(1): 46~50.
- 王建国, 和钟铎, 许文良. 2013. 大兴安岭南部钠闪石流纹岩的岩石成因: 年代学和地球化学证据[J]. 岩石学报, 29(3): 853~863.
- 王金芳, 李英杰, 李红阳, 等. 2019. 内蒙古贺根山缝合带后造山作用——满克头鄂博组火山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学制约[J]. 地质通报, 38(9): 1 443~1 454.
- 王阳. 2018. 大兴安岭北段克一河地区满克头鄂博组火山岩的形成时代、地球化学特征及其大地构造意义[D]. 吉林大学.
- 许文良, 王枫, 裴福萍, 等. 2013. 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, 29(2): 339~353.
- 杨扬, 高福红, 陈井胜, 等. 2012. 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), 42(S2): 257~268.
- 尹志刚, 郝科, 刘成龙, 等. 2019. 内蒙古东乌旗地区满克头鄂博组流纹岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质通报, 38(11): 1 825~1 835.
- 臧延庆, 秦涛, 孙巍, 等. 2018. 大兴安岭中段扎赉特旗地区满克头鄂博组火山岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 地质通报, 37(9): 1 644~1 651.
- 张超, 杨伟红, 和钟铎, 等. 2014. 大兴安岭中南段塔尔气地区满克头鄂博组流纹岩年代学和地球化学研究[J]. 世界地质, 33(2): 255~265.
- 张超, 张渝金, 权京玉, 等. 2018. 内蒙古扎鲁特盆地坤都地区满克头鄂博组流纹岩锆石 U-Pb 年龄及岩石成因[J]. 地质通报, 37(9): 1 633~1 643.
- 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): 2 823~2 832.
- 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.