www.
geojournals.cn/georev

大兴安岭南段工农屯地区上侏罗统玛尼吐组火山岩 U-Pb 年龄、地球化学特征及其成因

王亚东[1,2)],姜山[1)],王之晟[1)],马国祥[1)],王晓奇[1)],
卢天军[1)],蔺鹏飞[1)],于兵[1)],王洪志[1)]
1)核工业二四三大队,内蒙古赤峰, 024000;2)中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京,100083

内容提要: 内蒙古扎鲁特旗工农屯地区玛尼吐组火山岩位于大兴安岭南段,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 149±1.1Ma,形成时代为晚侏罗世。地球化学特征显示 SiO_2(58.14%~63.69%),Al_2O_3(16.31%~18.66%),Fe_2O_3(3.17%~5.39%),K_2O+Na_2O(6.58%~7.86%),MgO(0.82%~2.04%),$Mg^{\#}$(25~41)。研究区玛尼吐组安山岩属于准铝质—弱过铝质高钾钙碱性岩石。稀土元素总量为 136.41×10^{-6}~163.64×10^{-6};轻稀土和重稀土元素之比为 7.22~10.02,均值为 8.42。$(La/Yb)_N$ 为 7.70~10.44,均值 8.95;$(La/Sm)_N$ 为 3.18~3.77;因此可知轻稀土元素要比重稀土元素富集程度高,轻重稀土内部存在明显的分馏。δEu 为 0.84~0.90,均值 0.87。显示较弱的负铕异常;稀土元素配分模式为右倾型。富集大离子亲石元素 Ba、Th、K;而高场强元素 Ti、P、Nb 较为亏损。Nb/Ta 为 13.63~18.04 之间。Rb/Sr 为 0.10~0.16。岩石成因可能是下地壳铁镁质岩石部分熔融,同时古太平洋板块向西俯冲过程有俯冲流体的加入。构造环境为活动大陆边缘环境,同古太平洋板块向西俯冲作用后的伸展作用相关。

关键词: 玛尼吐组;U-Pb 年龄;火山岩;岩石地球化学;大兴安岭

内蒙古扎鲁特旗工农屯地区地处大兴安岭南段,而大兴安岭南段地区中生代地区的构造演化复杂,构造活动频繁。古生代末期,随着兴蒙造山带与华北板块的碰撞运动,使得二者结合成一个整体(李锦轶等,1998;孙德有等,2004;Tang Zongyuan et al., 2018),而在古生代—中生代时期又遭受蒙古—鄂霍茨克洋和古太平洋板块向欧亚大陆俯冲的叠加改造作用,使得大兴安岭南段在中生代时期构造活动强烈,岩浆活动频繁,发育大量的中生代火山岩和构造行迹(许文良等,2013;杨海星等,2019;Lu Sheng et al., 2019)。由于构造活动及岩浆作用的因素,使得该地区在中生代时期也发育了众多的大—中型多金属矿床及能源矿藏,从而使得大兴安岭地区成为我国北方矿产资源的重要分布地区(邵济安等,2007;邵积东,2007)。也是众多专家学者重点研究的地区之一(唐克东等,1995;邵济安等,1995)。

近几年随着专家学者对大兴安岭地区的不断研究,在部分问题上也已经达成一定的共识,例如:①大兴安岭地区的火山岩带属于我国东部中生代巨型火山岩带的重要组成部分,且该火山岩带呈北北东向分布(邵济安等,1995)。②大兴安岭地区中生代火山岩的构造环境同伸展作用有关(武晓静等,2011;杨海星等,2019;邵永旭等,2020;崔玉斌等,2021)。但也存在着一些问题,首先,前人的一些研究数据主要集中在大兴安岭地区的北段和中段(程瑞玉等,2006;程银行等,2013;李世超等,2013;司秋亮等,2015;陶楠等,2016;张力强等,2017;杜乐丹等,2017;邵永旭等,2020;计向臣等,2020;崔玉斌等,2021),其次,关于伸展作用发生的构造背景仍有较大争议,目前主要有以下 3 种观点:①同蒙古—鄂霍茨克洋的闭合作用有关(张玉涛等,2007;苟

注:本文为中国地质调查局项目"内蒙古 1∶5 万工农屯(L51E021003)等六幅区域地质矿产调查"(编号:DD20160201-12)的成果。
收稿日期:2022-03-14;改回日期:2022-12-08;网络首发:2022-12-20;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.12.015
作者简介:王亚东,男,1991 年生,工程师,在读研究生,现主要从事地质矿产勘查工作;Email: 476181784@qq.com。通讯作者:姜山,男,1969 年生,研究员级高级工程师,主要从事地质矿产勘查工作;Email: jiangshan243@163.com。

军,2011;陶楠等,2016;程银行等,2016;计向臣等,2020;张祥信等,2016,崔玉斌等,2021);②同地幔柱活动有关(葛文春等,1999;邵济安等,2001;林强等,2003);③同古太平洋板块向欧亚板块俯冲作用有关(赵国龙等,1989;杜乐丹等,2017;杨海星等,2017;邵永旭等,2020)。加之大兴安岭地区的中生代火山岩面积分布广泛,从北至南均有分布,因此,加强对大兴安岭南段的中生代火山岩的年代学及地球化学研究对于大兴安岭南段岩浆和构造演化及该地区成矿条件分析是有必要的。

对大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组火山岩,前人有过初步的地层划分,但缺乏相应的年代学和地球化学数据。在此基础之上,笔者等在内蒙古扎鲁特旗工农屯地区开展 1∶5 万区域地质调查工作,对扎鲁特旗工农屯地区的玛尼吐组火山岩进行研究分析,并采集该地区的中生代玛尼吐组火山岩样品,通过对样品进行年代学及岩石地球化学的相关研究,来讨论扎鲁特旗工农屯地区在中生代时期的火山岩的形成时代、岩石成因和形成背景。从而为大兴安岭南段岩浆和构造演化提供证据和资料。

1 区域地质概况

研究区主要位于大兴安岭南段工农屯地区(图 1),大地构造位置在华北板块北部陆缘增生带,宝音图—锡林浩特火山型活动陆缘,索伦—西拉木伦缝合带和贺根山—黑河断裂带之间(吴福元等,2011)。古生代时期受古亚洲洋构造域演化的控制和影响,到三叠世时期,古亚洲洋闭合,此后研究区在开始受蒙古—鄂霍茨克构造域和环太平洋构造域的双重影响,晚古生代以来遭受古太平洋板块的俯冲作用,引起大规模的构造活动和火山岩喷发,因此在研究区大面积分布古生代和中生代的火山岩,其中中生代的火山岩主要分布在研究区西北部的工农屯地区,古生代火山岩主要分布在研究区的西南和南部。中生代火山岩主要出露中侏罗统新民组、上侏罗统满克头鄂博组、上侏罗统玛尼吐组、下白垩统白音高老组和下白垩统梅勒图组。满克头鄂博组发育一套陆相酸性火山岩—火山碎屑岩;玛尼吐组发育一套陆相中性火山岩、火山碎屑岩,整合接触于下伏地层满克头鄂博组,平行不整合于上覆白音高老组;下白垩统白音高老组发育一套杂色酸性火山碎屑岩、梅勒图组发育一套安山质角砾凝灰熔岩夹凝灰熔岩。

研究区内岩浆侵入活动规模小,主要分布于研究区的西北部和中部,呈小岩株状零星出露。侵入

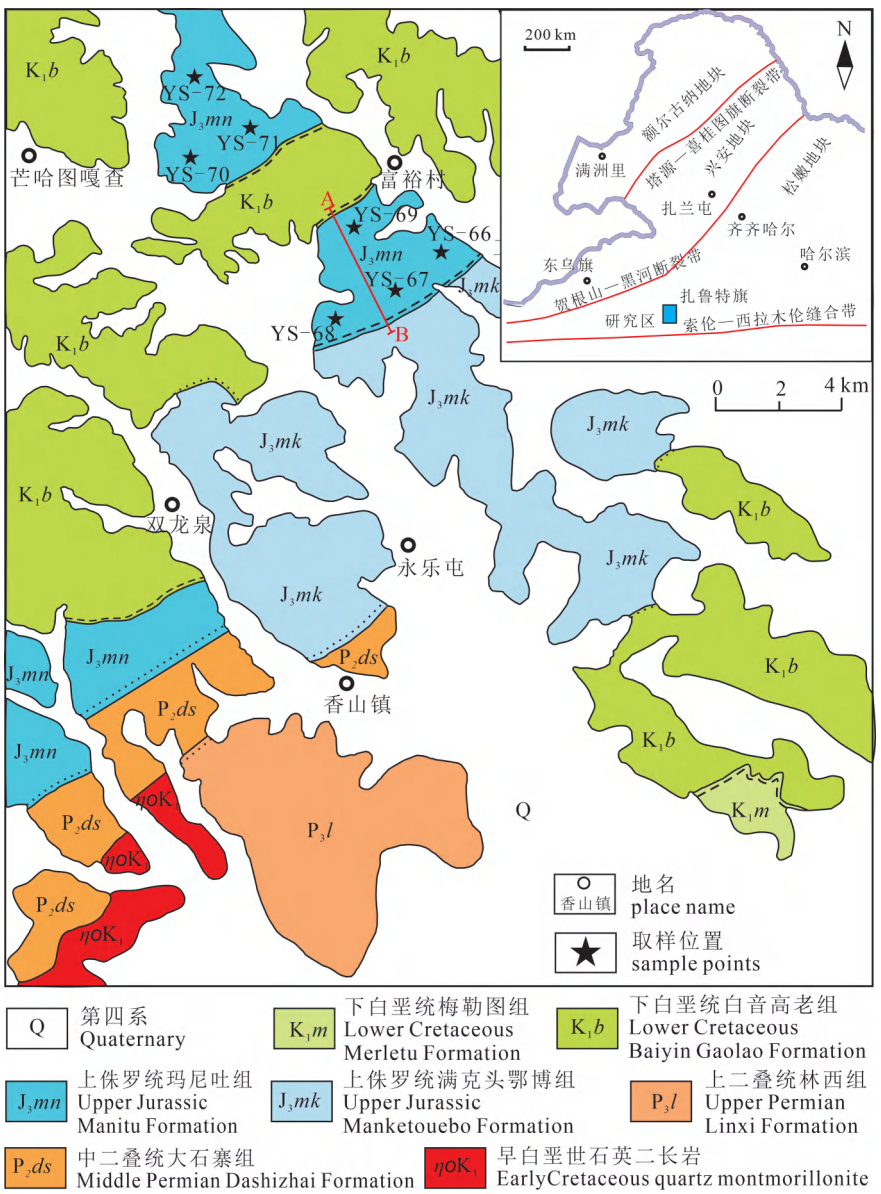

图 1 大兴安岭南段工农屯地区所在位置(a:据张乐彤等,2015)及地质简图(b)

Fig. 1 The tectonic location and geological sketch map of Gongnongtunarea, southern Great Hinggan Mountains (Fig. a from Zhang Letong et al., 2015&)

时代以早白垩世为主,局部见少量早三叠世侵入岩,岩性主要为石英二长岩、花岗斑岩、二长岩,其次是花岗闪长岩、黑云母正长花岗岩、闪长玢岩(图 1)。

2　岩石学特征及分析测试方法

2.1　岩石学特征

大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组主要分布于主要出露在工农屯幅窟窿山、五道井子幅水泉沟、包郎格艾勒幅花根塔拉、查布嘎吐幅伊和嘎亥图地段,总体呈北东向带状分布,主要为一套陆相中性火山岩、火山碎屑岩。主要岩性为深灰色、灰色安山岩、英安岩、安山质凝灰岩、安山质晶屑凝灰岩等。平行不整合于满克头鄂博组之上,平行不整合于白音高老组之下。

安山岩:灰色,块状构造,斑状结构、交织结构,斑晶矿物成分为中长石、黑云母。暗色矿物暗化边发育。长石半自形板柱状,斑晶含量约占 5%,粒度细小一般小于 0.5 mm。基质具有交织结构,细小板条状斜长石微晶杂乱分布,格架间充填少量角闪石微晶及铁质质点。副矿物主要为磁铁矿、榍石、磷灰石等(图 2)。

安山质晶屑凝灰岩:为灰色、灰绿色,碎屑熔岩结构,块状构造。岩石由晶屑和少量岩屑经火山尘胶结而成,晶屑为中长石、黑云母,含 25%。岩屑成分主要为安山质,内部具有斑状结构,含 5%。基质具有显微晶质结构以及交织结构,前者由长石质构成,后者由细小板条状斜长石微晶定向半定向分布间夹铁质暗色矿物隐晶质等构成。火山尘脱玻化具有霏细结构,主要成分为长英质构成。

2.2　分析测试方法

本次 7 组岩石地球化学样品均在工农屯幅内,具体位置是工农屯西北 1.5 km 处和富裕村西北 2

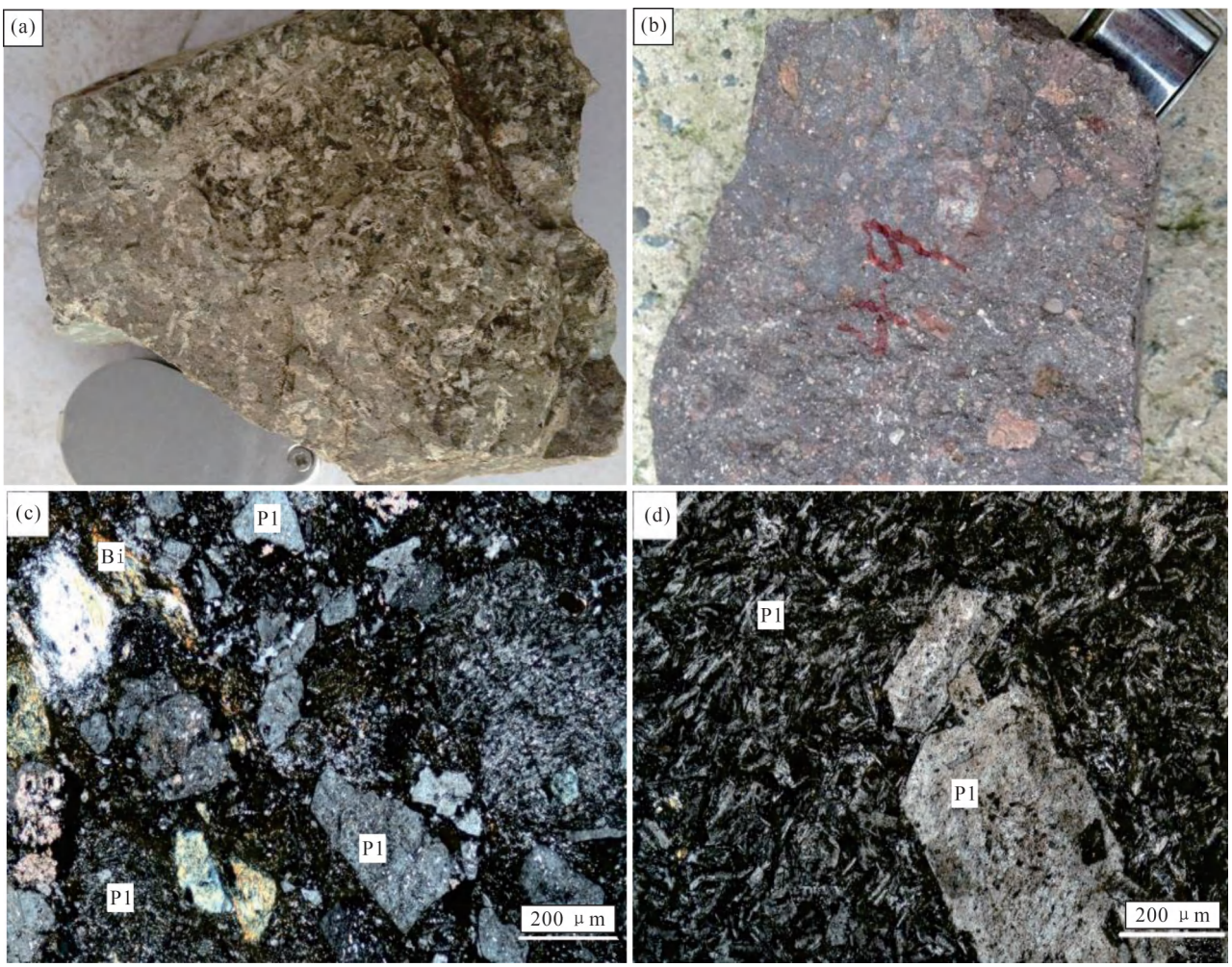

图 2 大兴安岭南段工农屯玛尼吐组火山岩手标本和显微照片

Fig. 2 Photographs and microscopic photos of volcanic rocks from Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains

km 处。分别是安山岩和安山质凝灰岩,样品新鲜,受风化剥蚀影响较小。样品送达以后首先经过岩矿鉴定,之后挑选最新鲜的样品进行岩石地球化学数据的分析。主量元素和微量元素的分析均在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,主量元素测试方法主要用玻璃熔片 x 射线荧光光谱(XRF)法分析,相对误差为 3%。微量和稀土元素的测定运用电感耦合等离子体质谱仪等离子体质谱(ICP-MS)法来完成测定,相对误差 10%(侯可军等,2009),测试结果真实可靠。

本次的锆石测年样品在工农屯西北 1 km 处采集,样品新鲜,测年样品分选、锆石阴极发光照相和 LA-MC-ICP-MS U-Pb 同位素测年等工作均在在中国冶金地质总局山东局分析测试实验室完成。锆石 U-Pb 测年主要使用激光电感耦合等离子体质谱仪 New Wave Reseach 213 激光剥蚀系统仪器,其束斑直径 31 μm,采用国际标准锆石 91500 作为外部标准物质,具体的实验流程和实验方法可见参考文献(侯可军等,2009;王亚东等,2021),数据处理运用 Isoplot 3.0 程序来完成。

3 测试结果

3.1 锆石 U-Pb 测年结果

大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组火山岩通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析,相关年龄数据见表 1。本次研究对 24 个锆石进行同位素测年分析。由图 3 可知,锆石呈淡黄色,多为短柱状、柱状,其次呈次浑圆—浑圆状,具振荡环带特征,属于岩浆结晶形成,晶体长度为 80~120 μm,宽度为 50~80 μm。晶体的长宽比为 2∶1~3∶1。经过打点测定,24 个锆石中有 1 个锆石年龄明显偏离谐和线,未参与投图,其余 23 个年龄均在谐和线上。$^{206}Pb/^{238}U$ 的年龄大部分集中在 152~147 Ma,数据通过加权平均后年龄为 149.0±1.1 Ma(MSWD=0.68)。锆石年龄测定结果表明研究区玛尼吐火山岩的形成时代为晚侏罗世。

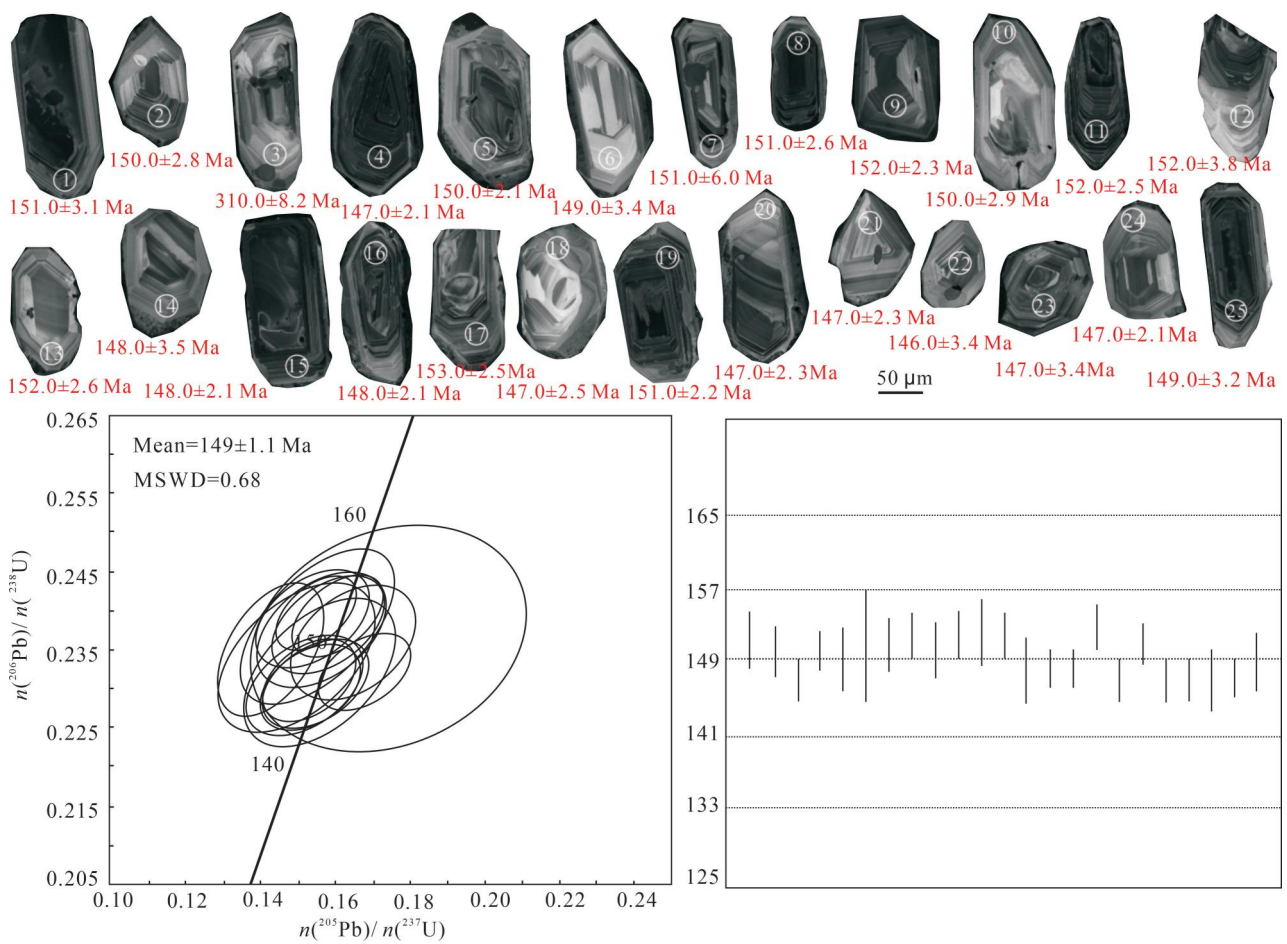

图 3 大兴安岭南段工农地区屯玛尼吐组火山岩阴极发光图像和 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 CL images and U-Pb concordian diagram of volcanic rocks from Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains

表 1 大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组安山岩锆石 U-Pb 年龄数据

Table 1 Zircon U-Pb isotopic age and data from Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains

测点号	元素含量($\times10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度(%)
	Pb	Th	U		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
A-30-01	7.2	98	254	0.38	0.0479	0.0028	0.1539	0.0082	0.0238	0.0005	95	133.3	145	7.2	151	3.1	98
A-30-02	10.5	218	352	0.62	0.0505	0.0025	0.1612	0.0075	0.0236	0.0004	217	114.8	152	6.5	150	2.8	96
A-30-03	3.9	38	64	0.59	0.0511	0.0053	0.3362	0.0317	0.0492	0.0013	256	222.2	294	24.1	310	8.2	98
A-30-04	22.4	322	820	0.39	0.0478	0.0016	0.1514	0.0051	0.0230	0.0003	87	125.2	143	4.5	147	2.1	99
A-30-05	19.6	247	716	0.34	0.0493	0.0017	0.1614	0.0056	0.0236	0.0003	165	79.6	152	4.9	150	2.1	97
A-30-06	5.9	123	201	0.61	0.0465	0.0036	0.1423	0.0094	0.0235	0.0005	33	177.8	135	8.3	149	3.4	98
A-30-07	1.2	13	42	0.32	0.0671	0.0117	0.1737	0.0244	0.0236	0.0010	840	369.0	163	21.1	151	6.0	99
A-30-08	14.9	192	536	0.36	0.0498	0.0021	0.1615	0.0063	0.0237	0.0004	187	96.3	152	5.5	151	2.6	97
A-30-09	16.8	265	604	0.44	0.0479	0.0021	0.1587	0.0073	0.0239	0.0004	100	94.4	150	6.4	152	2.3	96
A-30-10	10.7	185	378	0.49	0.0518	0.0029	0.1671	0.0093	0.0236	0.0005	276	125.9	157	8.1	150	2.9	98
A-30-11	23.5	340	840	0.41	0.0495	0.0020	0.1616	0.0060	0.0239	0.0004	169	92.6	152	5.3	152	2.5	99
A-30-12	5.7	80	221	0.36	0.0511	0.0036	0.1609	0.0104	0.0239	0.0006	256	161.1	151	9.1	152	3.8	99
A-30-13	32.1	441	1158	0.38	0.0469	0.0016	0.1553	0.0053	0.0238	0.0004	43	77.8	147	4.7	152	2.6	98
A-30-14	5.7	88	199	0.44	0.0463	0.0037	0.1431	0.0096	0.0232	0.0006	13	181.5	136	8.5	148	3.5	99
A-30-15	26.9	417	964	0.43	0.0461	0.0018	0.1484	0.0058	0.0232	0.0003	400	304.3	140	5.1	148	2.1	98
A-30-16	21.2	282	756	0.37	0.0531	0.0026	0.1691	0.0074	0.0232	0.0003	345	109.2	159	6.5	148	2.1	98
A-30-17	15.5	268	513	0.52	0.0462	0.0021	0.1545	0.0072	0.0240	0.0004	9	113.0	146	6.4	153	2.5	98
A-30-18	20.8	228	754	0.30	0.0494	0.0022	0.1576	0.0074	0.0231	0.0004	165	137.9	149	6.5	147	2.5	99
A-30-19	25.3	381	881	0.43	0.0500	0.0018	0.1649	0.0061	0.0237	0.0004	195	83.3	155	5.3	151	2.2	97
A-30-20	15.5	242	541	0.45	0.0491	0.0020	0.1562	0.0061	0.0230	0.0004	150	94.4	147	5.4	147	2.3	98
A-30-21	17.8	209	652	0.32	0.0479	0.0018	0.1545	0.0061	0.0231	0.0004	95	119.2	146	5.4	147	2.3	99
A-30-23	8.1	157	281	0.56	0.0479	0.0035	0.1519	0.0107	0.0231	0.0005	95	166.6	144	9.4	147	3.4	98
A-30-24	10.4	162	357	0.45	0.0477	0.0017	0.1518	0.0051	0.0231	0.0003	87	103.5	144	4.5	147	2.1	99
A-30-25	9.8	174	351	0.50	0.0480	0.0025	0.1519	0.0074	0.0234	0.0005	98	118.5	144	6.6	149	3.2	98

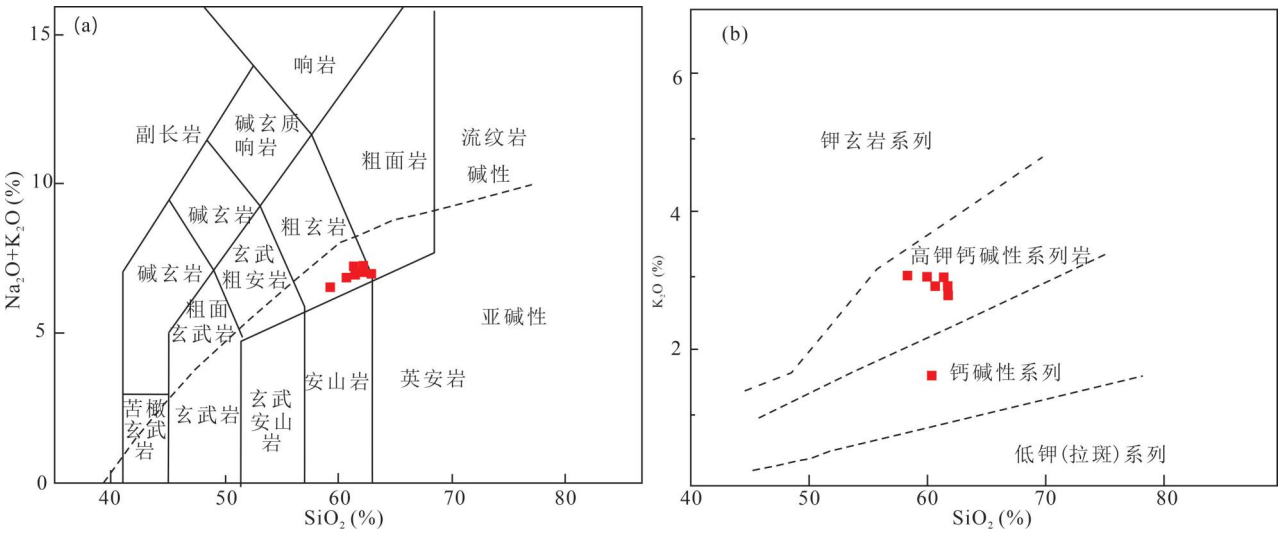

图 4 大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组火山岩 TAS 图解(a)(LeMaitre et al., 1989)和 K_2O—SiO_2 碱性程度图(b)(Rickwood,1989)

Fig. 4 TAS classification diagram (a) (After LeMaitre et al., 1989) and K_2O—SiO_2 diagram (b) (After Rickwood,1989) of volcanic rocks from Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains

3.2 主量元素特征

大兴安岭南段扎鲁特旗工农屯玛尼吐组火山岩主量元素结果可见表 2：SiO_2 含量为 58.14%～63.69%，Al_2O_3 含量介于 16.31%～18.66%之间，Fe_2O_3 含量介于 3.17%～5.39%之间，FeO 含量介于 0.50%～2.38%之间，MgO 含量介于 0.82%～2.04%之间，$Mg^{\#}$ 介于 25～41 之间。K_2O+Na_2O 含量介于 6.58%～7.86%之间，大兴安岭南段工农屯地区岩石总体具富铝、富铁镁、碱性程度高的特点，钙碱性火山岩特征较为明显。里特曼指数(σ)为 2.14～3.25，碱度率(AR)为 1.72～3.72。

TAS 火山岩分类命名图解中(图 4a)，样品投点大部分落在粗安岩、粗面岩区域。在 TAS 图解中除 1 个样品落在钙碱性系列，其它样品投点均落在高钾钙亚碱性系列，在 K_2O—SiO_2 图解中(图 4b)大部分样品投点落在高钾钙碱性系列。A/CNK 值为 0.91～1.13，属准铝质—弱过铝质。安山岩固结指数(SI)为 11.34～22.13，分异指数(DI)多数为 71.18～90.95。显示岩浆结晶分异程度一般。通过主量元素分析可得，本地区玛尼吐组火山岩为一套准铝质—弱过铝质高钾钙碱性火山岩。

3.3 稀土和微量元素特征

从表 2 可以看出，大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组火山岩稀土元素总量为 136.41×10^{-6}～163.64×10^{-6}；其中，轻稀土元素总量(LREE)为 123.19×10^{-6}～143.73×10^{-6}。重稀土元素总量(HREE)为 12.80～19.91×10^{-6}。轻稀土和重稀土元素之比为 7.22～10.02，均值为 8.42。$(La/Yb)_N$ 为 7.70～10.44，均值 8.95；$(La/Sm)_N$ 为 3.18～3.77；因此可知轻稀土元素比重稀土元素富集程度高，轻重稀土内部存在明显的分馏。δEu 位 0.84～0.90，均值 0.87。显示出较弱的负铕异常。从球粒陨石标准化曲线图可以看出稀土元素分配模式为右倾型。

从原始地幔标准化后的微量元素蜘蛛图(图 5)可以看出，大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组样品大离子亲石元素 K、Ba、Th 呈现明显的富集特征，Ti、Nb、P 元素则显示出较为明显的亏损现象。通过将本区安山岩与安第斯山、大陆岛弧、大洋岛弧及大洋岛弧的安山岩微量元素曲线进行比对，显示大陆岛弧安山岩和本区安山岩微量元素特征最为相符(Liu Changfeng et al., 2018)。

4 岩石成因及构造背景

4.1 玛尼吐组时代讨论

众多学者在大兴安岭北段至南段众多地区对玛尼吐组火山岩做了相关的测年工作，从柴河地区到乌兰浩特地区；从鄂伦春旗齐力滨地区到霍林河地区均有相关的测年数据，具体可见下表 3。

通过梳理发现大兴安岭地区玛尼吐组火山岩所

表 2 大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组火山岩主量元素(%)和稀土、微量元素分析结果($\times10^{-6}$)

Table 2 Analysis results of major elements(%), rare elements and trace elements($\times10^{-6}$) of volcanic rocks from Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains

样品号	YS-66	YS-67	YS-68	YS-69	YS-70	YS-71	YS-72
SiO_2	61.34	58.14	63.69	63.36	62.36	62.51	60.19
TiO_2	0.74	0.84	0.71	0.7	0.72	0.72	0.79
Al_2O_3	17.28	18.66	16.31	17.61	17.81	17.78	16.97
Fe_2O_3	4.97	5.39	4.95	3.59	3.54	3.66	3.17
FeO	0.68	0.67	0.5	1.19	1.44	1.22	2.38
MnO	0.12	0.11	0.07	0.09	0.08	0.09	0.1
MgO	1.65	1.78	1.44	0.82	0.98	0.88	2.04
CaO	3.6	3.72	3.27	2.71	3.8	3.66	5.04
Na_2O	3.86	4.18	3.48	4.62	4.08	4.16	4.63
K_2O	2.72	3.03	2.6	3.24	3.15	3.21	1.55
P_2O_5	0.23	0.27	0.22	0.22	0.23	0.23	0.27
烧失	2.6	2.96	2.55	1.63	1.61	1.7	2.71
总和	99.79	99.75	99.79	99.78	99.79	99.79	99.84
A/CNK	1.09	1.1	1.13	1.1	1.05	1.05	0.92
K_2O+Na_2O	6.58	7.21	6.08	7.86	7.23	7.37	6.18
$Mg^{\#}$	0.37	0.37	0.34	0.25	0.28	0.26	0.41
La	28.39	30.50	29.76	32.09	29.54	30.51	28.01
Ce	59.33	51.32	60.77	62.15	56.67	59.27	55.87
Pr	6.58	6.93	6.78	8.41	7.56	7.84	7.23
Nd	27.08	27.95	27.79	32.93	30.02	30.82	27.96
Sm	5.00	5.10	4.97	6.34	5.83	6.04	5.33
Eu	1.27	1.38	1.28	1.82	1.66	1.70	1.41
Gd	4.11	4.15	4.16	5.80	5.21	5.30	4.79
Tb	0.64	0.65	0.63	0.97	0.88	0.90	0.78
Dy	3.32	3.42	3.38	5.44	5.00	5.10	4.36
Ho	0.61	0.65	0.62	1.03	0.94	0.96	0.81
Er	1.70	1.78	1.76	2.93	2.65	2.74	2.30
Tm	0.27	0.28	0.27	0.47	0.42	0.44	0.37

样品号	YS-66	YS-67	YS-68	YS-69	YS-70	YS-71	YS-72
Yb	1.84	1.97	1.97	2.81	2.57	2.66	2.23
Lu	0.31	0.32	0.31	0.46	0.42	0.44	0.36
Y	17.90	18.16	17.49	26.56	24.73	24.10	25.33
ΣREE	140.45	136.41	144.44	163.64	149.39	154.72	141.82
LREE	127.65	123.19	131.34	143.73	131.29	136.17	125.8
HREE	12.8	13.22	13.1	19.91	18.1	18.54	16.02
LR/HR	9.97	9.32	10.02	7.22	7.25	7.34	7.85
$(La/Yb)_N$	10.40	10.44	10.18	7.70	7.75	7.73	8.47
$(La/Sm)_N$	3.57	3.76	3.77	3.18	3.19	3.18	3.31
δEu	0.83	0.89	0.84	0.9	0.9	0.9	0.84
Rb	96.17	95.36	96.69	85.34	80.48	81.54	59.43
Sr	652.28	657.89	597.86	600.73	567.35	570.63	616.49
Ba	789.08	866.87	784.15	1040.16	993.34	985.44	548.72
Th	9.23	9.64	10.19	8.00	7.28	7.67	7.21
U	2.35	2.59	2.53	1.96	1.77	1.92	1.76
Nb	8.36	8.72	8.83	12.27	11.66	11.72	10.31
Ta	0.59	0.64	0.65	0.68	0.62	0.65	0.61
Zr	147.83	143.50	145.19	235.56	219.95	223.76	198.71
Hf	4.50	4.38	4.43	6.73	6.18	6.47	5.55
Co	13.96	7.80	8.53	4.54	5.64	4.32	9.20
Ni	6.58	8.12	6.42	3.07	1.77	1.95	4.10
Cr	15.18	21.97	17.82	7.13	5.87	6.35	21.25
V	118.31	117.18	114.92	57.17	55.92	54.02	107.05
Sc	9.47	12.14	12.84	11.00	12.83	14.45	12.63
Li	28.38	28.10	26.44	16.46	13.33	12.60	28.98
Cs	2.19	2.06	2.25	2.46	2.36	2.78	2.11
Be	2.21	2.17	2.02	2.29	2.14	2.25	1.95
Ga	19.41	18.73	18.90	25.54	23.67	23.75	22.23

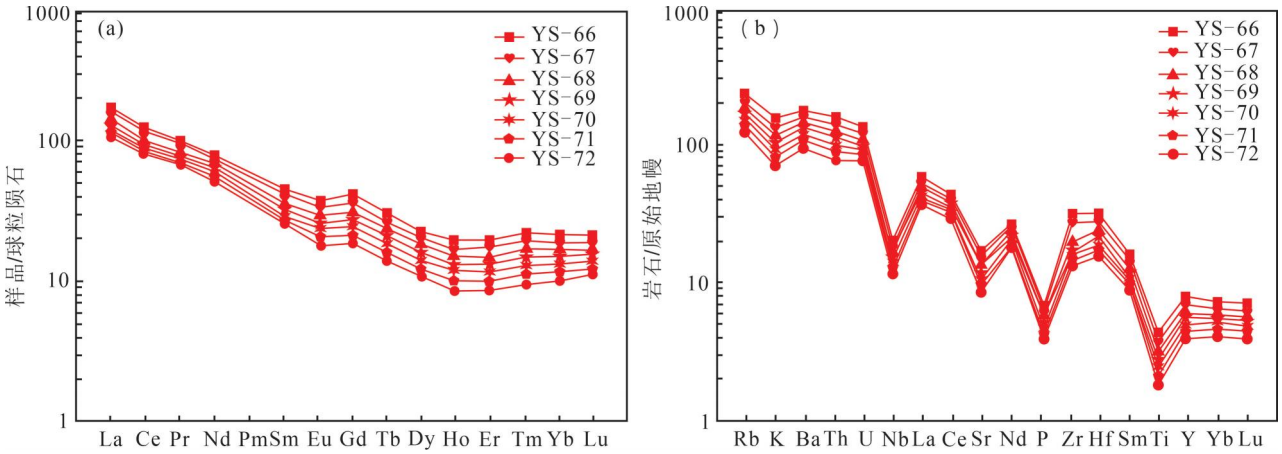

图 5 大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组火山岩球粒陨石标准化稀土元素分配图(a)和原始地幔标准化微量元素蜘蛛图(b)(球粒陨石标准化值据 Boynton,1984;原始地幔标准化值据 Sun et al., 1989)

Fig. 5 Chondrite—normalized REE patterns(a) and trace element spidergrams (b) for volcanic rocks from Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains (chondrite values after Boynton,1984;primitive mantle values after Sun et al., 1989)

处的成岩时代约 158~130 Ma(图 6)。主要集中在晚侏罗—早白垩世。说明大兴安岭地区玛尼吐组火山岩的形成时段的跨度较大。本次工作对大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组安山岩样品进行锆石同位素测年研究,测得玛尼吐组安山岩年龄为获得年龄为 149±1.1Ma。该组整合覆盖于晚侏罗世满克头鄂博组之上,被下白垩统白音高老组平行不整合覆盖。所以说大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组安山岩为晚侏罗世时期。

4.2 岩石成因探讨

大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组安山岩 $Mg^{\#}$ 的均值为 32,同下地壳铁镁质岩石部分熔融的岩浆大致相符($Mg^{\#}<40$)(Rapp et al., 1995),远低于地幔熔融的岩浆($Mg^{\#}>50$)(Rapp et al., 1999)。安山岩中 Cr 介于 5.87×10^{-6}~21.97×10^{-6} 之间,均值为 13.65×10^{-6},远远低于原始地幔中 Cr 的值。Nb/Ta 为 13.63~18.04,平均值 16.17,低于地幔中 Nb/Ta(17.1)(木合塔尔·扎日等,2015),高于地壳中 Nb/Ta(7.9),Rb/Sr 为 0.10~0.16,高于地幔中 Rb/Sr(0.031),高于地壳中 Rb/Sr(0.36)。通过以上特征可以推断大兴安岭南段工农屯地区上侏罗统玛尼吐组安山岩可能是由下地壳铁镁质岩石部分熔融而成。

同时大兴安岭南段工农屯地区所处的玛尼吐组安山岩富集大离子亲石元素 K、Ba、Th、U,而明显亏损 Nb、P、Ti、Sr 等元素。说明其表现出一定俯冲流体交代的特征。古太平洋板块发生俯冲作用的过程中,由于俯冲板块的断离,一些俯冲的流体和沉积物会加入下地壳。而通常洋壳俯冲流体具备富集 Th,

表 3 大兴安岭地区侏罗纪—白垩纪火山岩同位素年龄

Table 3 Isotopic age of Jurassic—Cretaceous volcanic rocks in the greater Hinggan Mountains

序号	位置	年龄(Ma)	测试方法	文献来源
1	满洲里	158.0~146.0	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	孙德有等,2011
2	柴河	135.0	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	李世超等,2013
3	突泉	138.0	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	李永飞等,2013
4	乌兰浩特	142.2±1.0	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	陶传忠等,2015
5	柴河	148.0~139.0	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	司秋亮等,2015
6	索伦	132.0~130.0	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	杜乐丹等,2017
7	温库吐	141.3±1.7	SHRIMP 锆石 U-Pb	商宇航等,2017
8	科尔沁右翼前旗	137.3±1.5	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	张力强等,2017
9	霍林郭勒	151.4~144.0	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	杨海星等,2019
10	新巴尔虎右旗	155.6~153.4	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	邵永旭等,2020
11	鄂伦春旗	142.2~141.0	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	崔玉斌等,2021
12	阿尔山	131±1.0	SHRIMP 锆石 U-Pb	张乐彤等,2015
13	呼伦湖	144.3±0.6	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	黄明达等,2016
14	阿尔山-柴河	135.6~124.8	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	聂立军等,2015
15	扎鲁特旗	127±1.2	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	王亚东等,2019
16	工农屯	149±1.1	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	本文

而流失 Ce 的特点,因为 Ce 的化学性质更为活泼,从而使俯冲沉流体会呈现出高 Th/Ce 的特征(关庆彬等,2016)。而大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组火山岩样品中 Th/Ce 值较高,显示出可能加入了俯冲流体。

综上所述,大兴安岭南段工农屯地区的玛尼吐组安山岩的成因是下地壳铁镁质岩石的部分熔融,同时有加入了俯冲流体和沉积物。

4.3　构造环境讨论

大兴安岭地区安山岩所处的构造环境主要有 3 种认识:①同蒙古—鄂霍茨克洋的闭合作用有关(张玉涛等,2007;苟军,2011;陶楠等,2016;程银行等,2016;计向臣等,2020; 张祥信等,2016,崔玉斌等,2021);②同地幔柱活动有关(葛文春等,1999;邵济安等,2001; 林强等,2003);③同古太平洋板块向欧亚板块俯冲作用有关(赵国龙等,1989; 杜乐丹等,2017;杨海星等,2017;邵永旭等,2020)。

首先,根据前人年代学等资料显示,蒙古—鄂霍茨克洋闭合的时限最晚是在中侏罗时期(孙德有等,2013),且根据地球物理特征表明,其向北部西伯利亚板块俯冲的可能性要大于向南俯冲的可能性(朱日祥等,2019),从构造活动方向来看,大兴安岭地区中生代的火山岩沿着北北东向分布,同蒙古—鄂霍茨克洋的构造展布也是不相一致的。因此本地区中生代火山岩的形成不太可能与蒙古—鄂霍茨克洋闭合后伸展作用相关。

其次,我国东北地区的中生代火山岩的出露面积很大(邵永旭等,2020;杨文采,2022;许文良等,2022;任永健等,2022),在时空分布上不具备较短时间内形成环状火山的地幔柱岩浆作用特征。因此,安山岩的形成同地幔柱的构造活动并不相符合。大兴安岭南段工农屯地区的火山岩主要呈北东向分布,同我国东部古太平洋板块活动大陆边缘运动方向相同。这些现象运用地幔柱活动和蒙古—鄂霍茨克洋闭合作用均无法进行合理的解释。

最后,研究表明,古太平洋板块在早侏罗世时期就已经开始向欧亚大陆板块俯冲,且一直持续到早白垩世。在我国东北地区那丹哈达发育板块俯冲增生杂岩带(程瑞玉等,2006;周建波等,2014;李三忠等,2017;苏美霞等,2020;吕洪波等,2018;李皓东等,2022),该俯冲增生杂岩带中发现的放射虫硅质岩、枕状熔岩及基性铁镁质岩石的最年轻的锆石测年数据显示为 140 ~ 137 Ma(周建波等,2014)。该数据表明至少古太平洋板块从早侏罗世时期甚至更早开始俯冲作用,一直持续到早白垩世时期。因此,大兴安岭南段工农屯地区在晚侏罗—早白垩世时期正处于古太平洋板块向西俯冲欧亚板块的背景之下。因此该地区玛尼吐组火山岩的形成可能同古古太平洋板块的俯冲作用密切相关。

大兴安岭南段工农屯地区的玛尼吐组安山岩主要岩性是一套陆相中性火山岩、火山碎屑岩。通过前文分析具备高钾钙碱性火山岩特征,富集大离子亲石元素 K、Ba、Th,而明显亏损 Nb、P、Ti 等元素。在 Th/Yb—Ta/Yb 判别

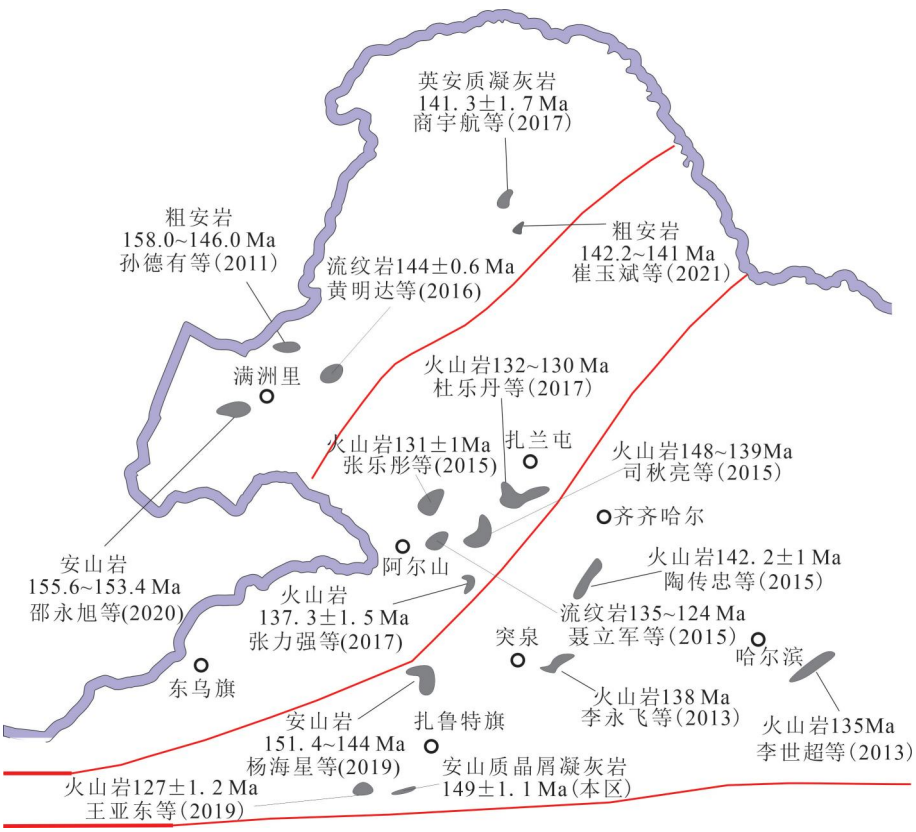

图 6 大兴安岭地区侏罗纪—白垩纪火山岩锆石年龄区域分布图

Fig. 6 Regional distribution of zircon ages of Jurassic—Cretaceous volcanic rocks in the Greater Hinggan Mountains

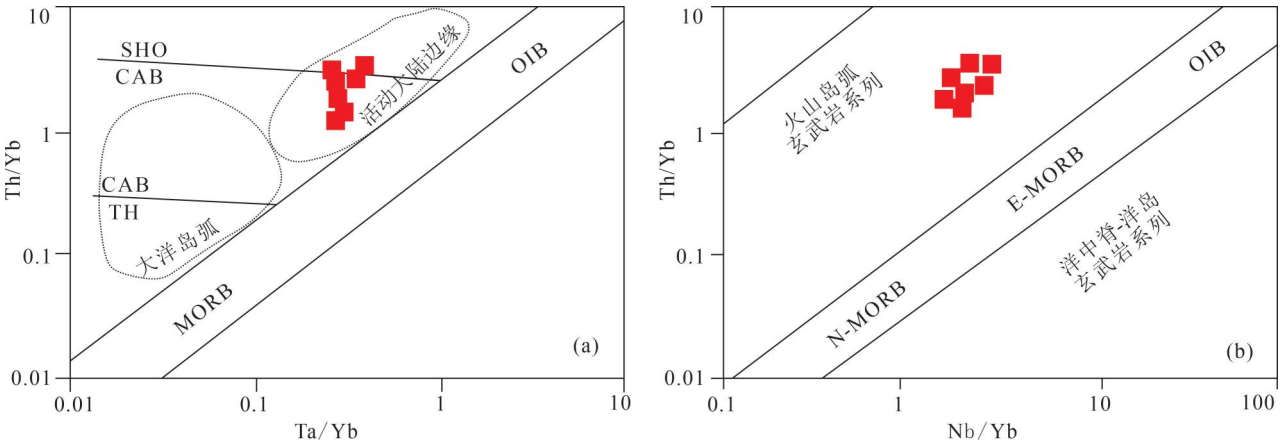

图 7 大兴安岭南段工农屯玛尼吐组火山岩构造环境判别图解[(a)据 Sun et al., 1989;(b)据 Pearce,2008]

Fig. 7 The discrimination diagrams for tectonic settings of volcanic rock from Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains [(a) after Sun et al., 1989; (b) after Pearce,2008]

SHO—钾玄岩;TH—拉斑玄武岩;CAB—钙碱性玄武岩;N-MORB—正常型洋中脊玄武岩;E-MORB—富集型洋中脊玄武岩;OIB—洋岛玄武岩

图解中(图 7a),投入活动大陆边缘区域。在 Th/Yb—Nb/ Yb 判别图解中(图 7b),投入陆缘岛弧区域中。邻区罕山林场玛尼吐组安山岩同样投在岛弧火山岩区域,属于钙碱性火山岩。说明大兴安岭南段工农屯地区中生代玛尼吐组安山岩产生于活动大陆边缘环境。同古太平洋板块俯冲作用后的伸展作用相关。本区的玛尼吐组火山岩和邻区罕山林场玛尼吐组安山岩的性质有一定相似性。

5 结论

文通过对大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组火山岩进行岩石地球化学和年代学的研究可以得到下列几点结论:

(1)大兴安岭南段工农屯地区玛尼吐组火山岩主要岩性为深灰色、灰色安山岩、英安岩、安山质凝灰岩等,为一套陆相中性火山岩、火山碎屑岩。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年的年龄为 149±1.1Ma,形成时代为晚侏罗世。

(2)工农屯地区玛尼吐组火山岩属于准铝质—弱过铝质高钾钙碱性岩石。富集大离子亲石元素 K、Ba、Th、,而明显亏损 Nb、P、Ti 等元素。岩浆来源可为下地壳的部分熔融,同时在加入了洋壳沉积物和俯冲流体。

(3)工农屯地区玛尼吐组火山岩产自于活动大陆的环境,构造背景为古太平洋板块俯冲作用后的伸展作用。

致谢:感谢张拴宏研究员和另一位审稿专家审阅文稿,并提出了宝贵的修改意见。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

程瑞玉, 吴福元, 葛文春, 孙德有, 柳小明, 杨进辉. 2006. 黑龙江省东部饶河杂岩的就位时代与东北东部中生代构造演化. 岩石学报, 22(2): 353~376.

程银行, 刘永顺, 滕学建, 杨俊泉, 李艳锋, 彭丽娜, 李影, 刘洋. 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. 地质学报, 87(7): 943~956.

崔玉斌, 王凯, 何付兵, 尹刚伟, 王召林, 王广磊, 折士焜. 2021. 大兴安岭北段奇力滨地区玛尼吐组火山岩年代学、地球化学特征及构造意义. 地质学报, 95(11): 3301~3316.

杜岳丹, 和钟铧, 隋振民, 谭皓元, 任子慧. 2017. 大兴安岭中段索伦地区玛尼吐组火山岩年代学、地球化学及其构造背景. 世界地质, 36(2): 347~360.

葛文春, 林强, 孙德有, 吴福元, 李献华. 2000. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究. 地球科学, 25(2): 172~178.

苟军, 孙德有, 赵忠华, 任云生, 张学元, 付长亮, 王晰, 魏红艳. 2011. 满洲里南部玛尼吐组火山岩锆石 U- Pb 年龄与地球化学研究. 岩石学报, 27(10) : 3083~3094.

关庆彬, 刘正宏, 白新会, 李鹏川, 万乐, 李世超. 2016. 内蒙古巴林右旗新开坝地区大石寨组火山岩形成时代及构造背景. 岩石学报, 32(7) : 2029~2040.

侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. 矿床地质, 28(4) : 481~492.

计向臣, 陆胜. 2020. 根河地区玛尼吐组火山岩的年代学与地球化学特征. 黑龙江科技大学学报, 30(4): 374~378.

李皓东, 周建波, 李功宇, 王斌, 陈卓, 王红燕. 2022. 南天山—北山—索伦—长春缝合带的性质与演化. 地质论评, 68(3): 797

~816.
李锦轶. 1998. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识. 地质论评, 44(4): 339~347.
李三忠, 张勇, 郭玲莉, 索艳慧, 曹花花, 李玺瑶, 周在征, 王鹏程, 郭润华. 2017. 那丹哈达地体及周缘中生代变形与增生造山过程. 地学前缘, 24(4): 200~212.
李世超, 徐仲元, 刘正宏, 李永飞, 王兴安, 张超, 范志伟. 2013. 大兴安岭中段玛尼吐组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征. 地质通报, 32(21): 399~407.
林强, 葛文春, 曹林, 孙德有, 林经国. 2003. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征. 地球化学, 32(3): 208~222.
吕洪波, 冯雪东, 王俊, 朱晓青, 董晓朋, 张海春, 章雨旭. 2018. 狼山发现蛇绿混杂岩——华北克拉通与中亚造山带碰撞边界的关键证据. 地质论评, 64(4): 777~805.
木合塔尔·扎日, 尼加提·阿布都逊, 吴兆宁. 2015. 觉罗塔格南缘石炭系火山岩地球化学特征及其对古亚洲洋南缘构造演化的指示意义. 地学前缘, 22(1): 238~250.
任永健, 张成信, 张明明, 程烁, 高立湧, 于汪, 赵寒, 王畅, 张伟胜. 2022. 大兴安岭北段诺敏大山地区早白垩世侵入岩地球化学特征及其构造意义. 地质论评, 68(6): 2103~2114.
商宇航, 陆胜. 2017. 大兴安岭玛尼吐组年代学、地球化学特征及岩石成因. 黑龙江科技大学学报, 27(4): 412~416.
邵济安, 唐克东. 1995. 中国东北地体与东北亚大陆边缘演化. 北京: 地震出版社: 1~185.
邵济安, 张履桥, 牟宝磊, 韩庆军. 2007. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景. 北京: 地质出版社: 1~250.
邵积东, 王守光, 赵文涛, 贾和义, 王新亮, 张梅, 任亦萍. 2007. 大兴安岭地区成矿地质特征及找矿前景分析. 地质与资源, 16(4): 252~262.
邵永旭, 李钢柱, 姜海蛟, 许展, 寇帅, 连琛芹, 黄磊. 2020. 大兴安岭西缘罕布庙地区玛尼吐组火山岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义. 地质学报, 94(12): 3590~3606.
司秋亮, 崔天日, 唐振, 李伟, 吴新伟, 江斌, 李林川. 2015. 大兴安岭中段柴河地区玛尼吐组火山岩年代学、地球化学及岩石成因. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(2): 389~403.
苏美霞, 杨波, 吴艳君, 颜萍, 孟晓玲. 2020. 大兴安岭中南段构造岩浆岩带深部地质成矿作用[J]. 地质论评, 66(5): 1321~1333.
孙德有, 吴福元, 张艳斌, 高山. 2004. 西拉木伦河—长春—延吉板块缝合带的最后闭合时间—来自吉林大玉山花岗岩体的证据. 吉林大学学报(地球科学版), 34(2): 174~181.
孙德有, 苟军, 任云生, 付长亮, 王晰, 柳小明. 2011. 满洲里南部玛尼吐组火山岩锆石 U-Pb 年龄与地球化学研究. 岩石学报, 27(10): 3083~3094.
唐克东, 王莹, 何国琦, 邵济安. 1995. 中国东北及邻区大陆边缘构造. 地质学报, 69(1): 16~30.
陶传忠, 李伫民, 王大千, 沈鑫, 张渝金, 李斌. 2015. 乌兰浩特地区玛尼吐组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地球化学特征. 地质与资源, 24(2): 102~109.
陶楠, 宋维民, 杨佳林, 杜继宇, 庞雪娇. 2016. 大兴安岭中段突泉盆地玛尼吐组火山岩地球化学特征及成因. 地质与资源, 25(6): 520~524.
王亚东, 王之晟, 王晓奇, 王洪志, 卢天军, 于兵. 2021. 内蒙古扎鲁特旗香山镇地区大石寨组火山岩年代学、地球化学特征及其地质意义. 矿物岩石, 41(2): 13~23.
武晓静. 2011. 大兴安岭中南段晚侏罗世火山岩特征及地壳演化研究. 河北: 石家庄经济学院: 1~51.
吴福元, 曹林. 1999. 东北亚地区的若干重要基础地质问题. 世界地质, 18(2): 4~16.
许文良, 王枫, 裴福萍, 孟恩, 唐杰, 徐美君, 王伟. 2013. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景: 来自中生代火山岩组合时空变化的制约. 岩石学报, 29(2): 339~353.
许文良, 王旖旎, 王枫, 唐杰, 龙欣雨, 董玉, 李宇, 张兴洲. 2022. 西太平洋俯冲带的演变: 来自东北亚陆缘增生杂岩的制约. 地质论评, 68(1): 1~17.
杨海星, 高利东, 高玉石, 隋海涛, 柳志辉, 赵志飞, 赵胜金, 于海洋, 张维宇, 吕晶, 郎欣欣. 2019. 大兴安岭中南段罕山林场地区玛尼吐组安山岩年代学、地球化学特征及其地质意义. 地质与勘探, 55(5): 1223~1240.
杨文采. 2022. 中—新生代东北和华北的洋陆转换作用. 地质论评, 68(3): 769~780.
张乐彤, 李世超, 赵庆英. 2015. 大兴安岭中段白音高老组火山岩的形成时代及地球化学. 世界地质, 34(1): 44~54.
张力强, 陈彪, 曹元宝, 王江辉, 黄忠军, 陈广宇, 孙浩, 张钧贵. 2017. 内蒙古科尔沁右翼前旗玛尼吐组火山岩年代学及岩石地球化学特征. 现代矿业, 3(3): 16~20.
张祥信, 高永丰, 雷世和. 2016. 内蒙古中部红格尔地区玛尼吐组钾玄质火山岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学及其地质意义. 地球化学, 45(4): 356~373.
张玉涛, 张连昌, 英基丰, 周新华, 王非, 侯泉林, 刘庆. 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. 岩石学报, 23(11): 2811~2822.
赵国龙, 杨桂林, 王忠. 1989. 大兴安岭中南部中生代火山岩. 北京: 北京科学技术出版社.
郑永飞, 徐峥, 赵子福, 戴立群. 2018. 华北中生代镁铁质岩浆作用与克拉通减薄和破坏. 中国科学: 地球科学, 48: 379~414.
周建波, 蒲先刚, 侯贺晟, 韩伟, 曹嘉麟, 李功宇. 2018. 东北中生代增生杂岩及对古太平洋向欧亚大陆俯冲历史的制约. 岩石学报. 34(10): 2845~2856.
朱日祥, 陈凌, 吴福元, 刘俊来. 2011. 华北克拉通破坏的时间、范围与机制. 中国科学: 地球科学, 41(5): 583~592.
Boynton W V. 1984. Cosochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies. In: Henderson P. eds. Rare Earth Element Geochemistry: Development in Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 63~114.
Cheng Ruiyu, Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou, Liu Xiaoming, Yang Jinhui. 2006&. Emplacement age of Raohe complex in eastern Heilongjiang Province and Mesozoic tectonic evolution in Eastern Northeast China. Acta Petrologica Sinica, 22 (2): 353 ~ 376.
Cheng Yinhang, Liu Yongshun, Teng Xuejian, Yang Junquan, Li Yanfeng, Peng Lina, Li Ying, Liu Yang. 2013&. Geochronology and geochemistry of Middle—Late Jurassic volcanic rocks in Mohertu, Inner Mongolia and its significance. Acta Geologica Sinica, 87 (7): 943 ~ 956.
Cui Yubin, Wang Kai, He Fubing, Yin Gangwei, Wang Zhaolin, Wang Guanglei, Zhe Shikun. 2021&. Geochronology, geochemical characteristics and tectonic significance of volcanic rocks of Manitu Formation in Qilibin area, northern Daxinganling. Acta Geologica Sinica, 95 (11): 3301 ~ 3316.
Du Yuedan, He Zhonghua, Sui Zhenmin, Tan Haoyuan, Ren Zihui. 2017&. Chronology, geochemistry and tectonic setting of volcanic rocks of Manitu Formation in Sorun area, middle Daxinganling. World Geology, 36 (2): 347 ~ 360.
Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Li Xianhua. 2000&. Geochemical study on the genesis of two types of Mesozoic rhyolites in Daxinganling. Geoscience, 25 (2): 172 ~ 178.

Gou Jun, Sun Deyou, Zhao Zhonghua, Ren Yunsheng, Zhang Xueyuan, Fu Changliang, Wang Xi, Wei Hongyan. 2011&. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and petrogenesis of rhyolites in Baiyingaolao Formation from the southern Manzhouli, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 27(10) : 3083~3094.

Guan Qingbin, Liu Zhenghong, Bai Xinhui, Li Pengchuan, Wan Le, Li Shichao. 2016&. Formation age and tectonic background of volcanic rocks of Manitu Formation in Xinkaiba area, Balinyou Banner, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 32 (7): 2029~2040.

Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. 2009&. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation—multi ion counting—ICP-MS. Mineral Deposits, 28(4) : 481~492.

Ji Xiangchen, Lu Sheng. 2020&. Geochronological and geochemical characteristics of volcanic rocks of Manitu Formation in Genhe area. Journal of Heilongjiang University of Science and Technology, 30 (4): 374 ~ 378.

Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A. 1989. A Classification of Igneous Rock and Glossary of Terms. Oxford: Blackwell: 193.

Li Haodong, Zhou Jianbo, Li Gongyu, Wang Bin, Chen Zhuo, Wang Hongyan. 2022. Nature and evolution of the South Tianshan Mountains—Beishan Mountains—Solonker—Changchun Suture. Geological Review, 68(3): 797~816.

Li Jinyi. 1998#. Preliminary studies on the paleo suture between Siberian Plate and Sino—Korean Plate in eastern Inner Mongolia. Chinese Science Bulletin, 44(4) : 339~347.

Li Sanzhong, Zhang Yong, Guo Lingli, Suo Yanhui, Cao Huahua, Li Xiyao, Zhou Zaizheng, Wang Pengcheng, Guo Runhua. 2017&. Mesozoic deformation and accretionary orogeny of Nadanhada terrane and its periphery. Geoscience Front. , 24 (4): 200 ~ 212.

Li Shichao, Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong, Li Yongfei, Wang Xing´an, Zhang Chao, Fan Zhiwei. 2013&. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemical characteristics of volcanic rocks of manitu Formation in the middle of Daxing´anling. Geological Bulletin, 32 (21): 399 ~ 407.

Lin Qiang, Ge Wenchun, Cao Lin, sun Deyou, Lin Jingguo. 2003&. Geochemical characteristics of Mesozoic bimodal volcanic rocks in Daxinganling. Geochimica, 32 (3): 208 ~ 222.

Liu Changfeng, Zhou Zhiguang, Wang Guosheng, Wu Chen, Li Hongying, Zhu Yan, Jiang Tian, Liu Wencan, Ye Baoying. 2018&. Geochronology and geochemistry of the Late Jurassic bimodal volcanic rocks from Hailisen area, central—southern Great Xing´an Range, Northeast China. Geological Journal, 53(5): 2099 ~2117.

Lü Hongbo, Feng Xuedong, Wang Jun, Zhu Xiaoqing, Dong Xiaopeng, Zhang Haichun, Zhang Yuxu. 2018&. Ophiolitic mélanges found in Mount Langshan as the crucial evidence of collisional margin between North China Craton and Central Asian Orogenic Belt. Geological Review, 64(4): 777 ~805.

Lu Sheng, Wang Keyong, Zhao huanli, Deng Changzhou. 2019&. Geochronology and geochemistry of late Mesozoic volcanic rocks in the Wenkutu area, Great Xing´an Range, China. Geological Journal, 54(3): 1343 ~1360.

MUHETAER Zari, NIJIATI Abuduxun, Wu Zhaoning. 2015&, Geochemical characteristics of the volcanics from the southern Jueluotage area and their constraints on the tectonic evolution of Paleo-Asian Ocean. Earth Science Frontiers, 22(1): 238 ~250.

Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorps R S. ed. Andesites. New York: John Wiley and Sons: 525 ~548.

Pearce J A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. Episodes, 19 (4): 120 ~125.

Pearce J A. 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crus. Lithos, 100(1~4) : 14 ~48.

Rapp R P and Watson E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8 ~32kbar: Implications for continental growth and crust—mantle recycling. Journal of Petrology, 36(4) : 891~931.

Rapp R P, Shimizu N, Norman MD et al. 1999. Reaction between slabderived melts and peridotite in the mantle wedge: Experimental constraints at 3. 8 GPa. Chemical Geology, 160(4) : 335~356.

Ren Yongjian, Zhang Chengxin, Zhang Mingming, Cheng Shuo, Gao Liyong, Yu Wang, Zhao Han, Wang Chang, Zhang Weisheng. 2022&. Geochemical characteristics and tectonic significance of Early Cretaceous intrusions in the Mount Nuomin area, northern Great Hinggan Mountains. Geological Review, 68 (6): 2103 ~ 2114.

Shang Yuhang, Lu Sheng. 2017&. Geochronology, geochemical characteristics and petrogenesis of manitu Formation in Daxing´anling. Journal of Heilongjiang University of Science and Technology, 27 (4): 412 ~ 416.

Shao Yongxu, Li Gangzhu, Jiang Haijiao, Xu Zhan, Kou Shuai, Lian chenqin, Huang Lei. 2020&. Zircon U-Pb age, geochemical characteristics and tectonic significance of Manitu Formation volcanic rocks in Hanbumiao area, western margin of Daxing´an Mountains. Acta Geologica Sinica, 94 (12): 3590 ~ 3606.

Shao Ji´an, Tang Kedong. 1995#. Terranes in Northeast China and Evolution of Northeast Asia Continental Margin. Beijing: Seismological Press: 1~185.

Shao Ji´an, Zhang Lüqiao, Mu Baolei, Han Qingjun. 2007#. Upwelling of Da Hinggan Mountains and Its Geodynamic Background. Beijing: Geological Publishing House: 1~250.

Shao Jidong, Wang Shouguang, Zhao Wentao, Jia Heyi, Wang Xinliang, Zhang Mei, Ren Yiping. 2007&. Geological characteristics and prospecting potential in Daxinganling region. Geology and Resources, 16(4) : 252~ 256.

Si Qiuliang, Cui Tianri, Tang Zhen, Li Wei, Wu Xinwei, Jiang Bin, Li Linchuan. 2015&. Chronology, geochemistry and petrogenesis of volcanic rocks of manitu Formation in Chaihe area in the middle of Daxinganling. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 45 (2): 389 ~ 403.

Su Meixia, Yang Bo, Wu Yanjun, Yan Ping, Meng Xiaoling. 2020&. Deep mineralization processes in the central—south Great Hinggan magmatic belt. Geological Review, 66(5): 1321 ~1333.

Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, Gao Shan. 2004&. The final closingtime of the west Lamulun River—Changchun—Yanji plate suture zone: Evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 34 (2) : 174~181.

Sun Deyou, Gou Jun, Ren Yunsheng, Fu Changliang, Wang Xi, Liu Xiaoming. 2011&. Zircon U-Pb age and geochemistry of volcanic rocks of manitu Formation in southern Manzhouli. Acta Petrologica Sinica, 27 (10): 3083 ~ 3094.

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. eds. Magmatism in the Ocean

Basins. Geological Society London Special Publications, 42: 313~345.

Tang Kedong, Wang Ying, He Guoqi, Shao Ji´an. 1995#. Continental margin structure of northeast China and its adjacent areas. Acta Geologica Sinica, 69(1): 16~30.

Tang Zongyuan, Sun Deyou, Gou Jun, Yang Dongguang. 2018&. Geochronology, petrogenesis, and tectonic setting of Late Triassic volcanic rocks of the Hadataolegai Formation, central Great Xing´an Range, Northeast China. Island arc, 27(5): 1112 ~1232.

Tao Chuanzhong, Li Jumin, Wang Daqian, Shen Xin, Zhang Yujin, Li Bin. 2015&. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of volcanic rocks of manitu Formation in Ulanhot area. Geology and Resources, 24 (2): 102 ~ 109.

Tao Nan, Song Weimin, Yang Jialin, Du Jiyu, Pang Xuejiao. 2016&. Geochemical characteristics and genesis of volcanic rocks of Manitu Formation in Tuquan Basin, middle Daxinganling. Geology and Resources, 25 (6): 520 ~ 524.

Wang Yadong, Wang Zhisheng, Wang Xiaoqi, Wang Hongzhi, Lu Tianjun, Yu Bing. 2021&. Chronological and geochemical characteristics and geological significance of volcanic rocks of Manitu Formation in Gongnongtun Town, Zalut Banner, Inner Mongolia. Mineralogy and Petrology, 41 (2): 13 ~ 23.

Wood D A. 1980. The application of a Th—Hf—Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth and Planetary Science Letters, 50(1): 11~30.

Wu Xiaojing. 2011&. Study on Late Jurassic characteristics of volcanic rock and crustal evolution in the south central segment of Daxinganling. Shijiazhuang: Shijiazhuang University of Economics: 1~51.

Wu Fuyuan, Cao Lin. 1999&. Some important basic geological problems in Northeast Asia. World Geology, 18 (2): 4 ~ 16.

Wu Fuyuan, Sun Deyou, Ge Wenchun, Zhang Yanbing, Grant M L, Wilde S A, Jahn B M. 2011&. Geochronology of the Phanerozoic Granitoids in northerstern China. Journal of Asian Earth Sceiences, 41(1): 1~30.

Xu Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, Meng En, Tang Jie, Xu Meijun, Wang Wei. 2013&. Mesozoic tectonic system and regional metallogenic background in Northeast China: Constraints from temporal and spatial changes of Mesozoic volcanic rock assemblages. Acta Petrologica Sinica, 29 (2): 339 ~ 353.

Xu Wenliang, Wang Yini, Wang Feng, Tang Jie, Long Xinyu, Dong Yu, Li Yu, Zhang Xingzhou. 2022&. Evolution of western Pacific subduction zones: Constraints from accretionary complexes in NE Asian continental margin. Geological Review, 68(1): 1 ~17.

Yang Wencai. 2022&. Ocean—continent transition process reveled by worldwide comparison of crust and upper mantle structures. Geological Review, 68(3): 769~780.

Yang Yang, Gao Fuhong, Chen Jingsheng, Zhou Yi, Zhang Jian, Jin Xin, Zhang Yanlong. 2012&. Zircon U-Pb chronological evidence of Mesozoic volcanic rocks in Chifeng area. Journal of Jilin University (Geoscience Edition), 42 (S2): 257 ~ 268.

Yang Haixing, Gao Lidong, Gao Yushi, Sui Haitao, Liu Zhihui, Zhao Zhifei, Zhao Shengjin, Yu Haiyang, Zhang Weiyu, LÜ Jing, Lang Xinxin. 2019&. Petrochronology, geochemical characteristics and geological significance of the andesite of Manitu Formation in Hanshan Forest Farm area, south central section of Daxinganling. Geology and Exploration, 55 (5): 1223 ~ 1240.

Zhang Letong, Li Shichao, Zhao Qingying. 2015&. Formation age and geochemistry of volcanic rocks of baiyingolao Formation in the middle of Daxing´anling. World Geology, 34 (1): 44 ~54.

Zhang Liqiang, Chen Biao, Cao Yuanbao, Wang Jianghui, Huang Zhongjun, Chen Guangyu, Sun Hao, Zhang Jungui. 2017&. Chronological and petrochemical characteristics of volcanic rocks of manitu Formation in Youyiqianqi, Horqin, Inner Mongolia. Modern Mining, 3(3): 16 ~ 20.

Zhang Xiangxin, Gao Yongfeng, Lei Shihe. 2016&. Zircon U-Pb age, geochemistry and geological significance of K-basaltic volcanic rocks of Manitu Formation in Hongger area, central Inner Mongolia. Geochimica, 2016. 45 (4): 356 ~ 373.

Zhang Yutao, Zhang Lianchang, Ying Jifeng, Zhou Xinhua, Wang Fei, Hou Quanlin, Liu Qing. 2007&. Geochemistry and source area characteristics of Early Cretaceous volcanic rocks in Tahe area, north section of Daxing´anling. Acta petrologica Sinica, 23 (11): 2811 ~ 2822.

Zhao Guolong, Yang Guilin, Wang Zhong. 1989. Mesozoic volcanic rocks in central and southern Daxinganling. Beijing: Beijing Science and Technology Press.

Zhao Yuanyi, Li Xiaosai, Wu Dexin, Xu Hong, Sha Junsheng. 2014&. Discovery and significance of Jinning granitic ultramylonite in Jinshan gold mine, Dexing, Jiangxi. Geology and Exploration, 50 (5): 805 ~ 822.

Zheng Yongfei, Xu Zheng, Zhao Zifu, Dai Liqun. 2018&. Mesozoic mafic magmatism and craton thinning and destruction in North China. Science China Earth Sciences, 48: 379 ~ 414.

Zhou Jianbo, Pu Xiangang, Hou Hesheng, Han Wei, Cao Jialin, Li Gongyu. 2018&. Mesozoic accretionary complex in Northeast China and its constraints on the subduction history of the ancient Pacific to Eurasia. Acta Petrologica Sinica. 34 (10): 2845 ~ 2856.

Zhu Rixiang, Chen Ling, Wu Fuyuan, Liu Junlai. 2011&. Time, scope and mechanism of North China Craton destruction. Science China Earth Sciences , 41 (5): 583 ~ 592.

U-Pb age, geochemical characteristics and genesis of volcanic rocks from the Upper Jurassic Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains

WANG Yadong[1, 2], JIANG Shan[1], WANG Zhisheng[1], MA Guoxiang[1], WANG Xiaoqi[1], LU Tianjun[1], LIN Pengfei[1], YU Bing[1], WANG Hongzhi[1]

1) *The No. 243 Team of Nuclear Industry, Chifeng, Inner Mongolia*, 024000;

2) *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing*, 100083

Objectives: This paper provided zircon U-Pb age, petrographic and geochemical characteristics of the volcanic rocks of Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains. meanwhile, Discussing the formation age, genesis and odsgeological significance of the rocks.

Methods: Based on the field work, through the microscope observation, the whole rock chemical analysis and zircon U-Pb dating of the volcanic rocks of Manitu Formation in Gongnongtun area, southern Great Hinggan Mountains.

Results: Zircon U-Pb dating results show that the age of volcanic rocks is 149.0 ± 1.1Ma. The Formation age is late Jurassic. The geochemical characteristics show that SiO_2 (58. 14% ~ 63. 69%), Al_2O_3 (16.31% ~ 18.66%), Fe_2O_3 (3.17% ~ 5.39%), $K_2O + Na_2O$ (6.58% ~ 7.86%), MgO (0.82% ~ 2.04%), $Mg^{\#}$ (25 ~ 41). The andesite of manitu Formation in the study area belongs to quasi aluminous weak peraluminous high potassium calc alkaline rock. The total amount of rare earth elements is $136.41 \times 10^{-6} \sim 163.64 \times 10^{-6}$; The ratio of light rare earth to heavy rare earth elements is 7.22 ~ 10.02, with an average of 8.42. $(La/Yb)_N$ is 7.70 ~ 10.44, with an average of 8.95; $(La/Sm)_N$ is 3.18 ~ 3.77; therefore, it can be seen that the enrichment degree of light rare earth elements is higher than that of rare earth elements, and there is obvious fractionation in light and light rare earth elements. δ Eu is 0.84 ~ 0.90, with an average of 0.87. It shows a weak negative europium anomaly; The distribution pattern of rare earth elements is right inclined. Enrichment of large ion lithophile elements Ba, Th and K; The high field strength elements Ti, P and Nb are relatively deficient. Nb / Ta is 13.63 ~ 18.04. Rb / Sr is 0.10 ~ 0.16.

Conclusion: The petrogenesis may be the partial melting of ferromagnetic rocks in the lower crust and the addition of subduction fluid during the westward subduction of the Pacific plate. The tectonic environment is an active continental margin environment, which is related to the extension after the subduction of the ancient Pacific plate to the West.

Keywords: Manitu Formation; zircon U-Pb age; rock geochemistry; volcanic rock; Jarud Banner; Eastern Inner Mongolia

Acknowledgements: We Thank Prof. ZHANG Shuanhong, another reviewers and editior for their critical comments, which made my paper improve the quality. This research is financially supported by the project (No. DD20160201-12) of china Geoloical Survey.

First author: WANG Yadong, male, born in 1991, postgraduate student. Senior engineer of Geology and mineral exploration; Email: 476181784@qq.com

Manuscript received on: 2022-03-14; Accepted on: 2022-12-08; Published online on: 2022-12-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2022.12.015 **Edited by**: ZHANG Yuxu