

大兴安岭北段新林地区战备村组火山岩地球化学特征及构造环境

郑吉林, 刘智杰, 王文东, 魏小勇, 郭晓宇, 刘军帅, 孙靖尧

ZHENG Jilin, LIU Zhijie, WANG Wendong, WEI Xiaoyong, GUO Xiaoyu,
LIU Junshuai, SUN Jingyao

中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

Harbin Center for Integrated Natural Resources Survey of China Geological Survey, Harbin 150086, Heilongjiang, China

摘要:大兴安岭北段新林地区下侏罗统战备村组火山岩岩石组合主要为流纹岩、流纹质火山碎屑岩。岩石地球化学研究显示,流纹岩具有高硅、富碱、贫钙镁的特征,属于高钾钙碱性系列。火山岩稀土元素总量较低($\Sigma\text{REE}=81.84\times10^{-6}\sim110.32\times10^{-6}$),轻、重稀土元素分馏明显, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 21.57~40.21,中等负 Eu 异常, δEu 值为 0.42~0.62。岩石富集大离子亲石元素 Rb、K、Th、U,亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti,基性相容元素 Cr、Co、Ni 和 $\text{Mg}^\#$ 值均较低,具有壳源岩浆的特点。流纹岩 Sr、Yb 值较低,具有喜马拉雅型花岗岩的特征。结合区域早侏罗世火山岩的构造特征,认为战备村组火山岩形成于蒙古-鄂霍茨克洋 SE 向俯冲的构造环境。

关键词:下侏罗统;战备村组;构造环境;大兴安岭

中图分类号:P588.14;P595 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)04-0512-08

Zheng J L, Liu Z J, Wang W D, Wei X Y, Guo X Y, Liu J S, Sun J Y. Geochemistry of the Zhanbeicun Formation volcanic rocks in Xinlin area of northern Great Xing'an Range and its tectonic environment. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40 (4): 512-519

Abstract: The Lower Jurassic volcanic rocks of the Zhanbeicun Formation in Xinlin area of the northern Great Xing'an Range are petrographically composed of rhyolite and rhyolitic pyroclastic rocks. Chemically, these rhyolites belong to high-K calc-alkaline series characterized by high contents of silica, alkalis, low abundances of calcium and magnesium. The volcanic rocks have the characteristics of low ΣREE content ($\Sigma\text{REE}=81.84\times10^{-6}\sim110.32\times10^{-6}$), obvious differentiation between light rare earth and heavy rare earth elements [$(\text{La}/\text{Yb})_N=21.57\sim40.21$], with moderate negative Eu anomaly ($\delta\text{Eu}=0.42\sim0.62$). These rocks also have characteristics of crust-derived magma with enrichment of large ion lithophile elements (LILEs, such as Rb, K, Th and U), depletion of high field strength elements (HFSEs, such as Nb, Ta, Ti and P) and lower content of basic compatible elements (such as Cr, Co and Ni) and $\text{Mg}^\#$. The low Sr and Yb content of rhyolites indicates that it is similar to Himalayan type. Combined with tectonic characteristics of the regional Early Jurassic volcanic rocks, it is suggested that the Zhanbeicun Formation volcanic rocks were formed in the tectonic background of the southeastward subduction of the Mongolia-Okhotsk ocean.

Key words: Lower Jurassic; Zhanbeicun Formation; tectonic setting; Great Xing'an Range

大兴安岭巨型火山岩带呈 NNE 向横亘于西伯利亚板块和华北板块及其缝合带上。作为中国北

方最大的中生代火山岩带,大兴安岭中生代火山岩面积大、岩石类型多、地球化学特征及形成构造背

收稿日期:2019-03-15;修订日期:2021-01-26

资助项目:中国地质调查局项目《黑龙江 1:5 万战备村、二中队幅区域地质矿产调查》(编号:12120113072400)和《太行山区山西段生态修复支撑调查》(编号:DD20208069)

作者简介:郑吉林(1985-),男,硕士,工程师,从事区域地质调查工作。E-mail:123982315@qq.com

景复杂,一直备受国内外地质工作者关注^[1]。

近年的研究表明,大兴安岭北部的中生代火山岩时代主要集中在晚侏罗世—早白垩世,而早—中侏罗世火山岩主要分布在吉黑东部、小兴安岭—张广才岭和额尔古纳地区^[2]。随着区域地质调查工作的不断开展,在大兴安岭北部陆续发现早侏罗世火山岩。1:25万漠河县幅区域地质调查(修测)在内蒙古满归镇建立满归变中酸性火山岩地层,锆石U-Pb年龄为 199 ± 1.0 Ma,时代为早侏罗世^①。唐杰等^[3]对张广才岭地区帽儿山组双峰式火山岩进行了研究,获取锆石U-Pb年龄为179~184 Ma,时代为早侏罗世。郑吉林等^[4]在大兴安岭新林区开展1:5万区域地质矿产调查过程中发现一套早侏罗世火山岩,锆石U-Pb年龄为178~192 Ma,并新建战备村组。王泉等^[5]在黑龙江省孙吴地区开展1:5万区域地质调查中发现一套中性火山岩,锆石U-Pb年龄为 183.3 ± 0.3 Ma,形成时代为早侏罗世。李研等^[6]在大兴安岭北段八大关地区首次发现早侏罗世火山岩,岩石主要由流纹岩组成,锆石U-Pb年龄为185~190 Ma。赵胜金等^[7]在大兴安岭北段西部柴河地区进行区域地质调查时发现一套早侏罗世火山岩,为中(偏碱性)—中酸性火山岩、火山碎屑岩组合,锆石U-Pb年龄为 183.8 ± 3.9 Ma,时代为早侏罗世。由此可见,大兴安岭北段早侏罗世火山岩的发现为中国北方中生代火山岩的研究工作提供了有

利素材。

关于大兴安岭中生代火山岩产出的构造环境,不同学者持有不同观点。有的认为是古太平洋板块向中国大陆俯冲作用的结果,属活动大陆边缘构造环境^[8-12];有的认为是俯冲强挤压后的“减压”—“剪切”背景下的挤压环境^[13],或是软流圈上涌与岩石圈伸展构造^[14];有的认为是地幔柱成因^[15-16]等;还有的认为是中生代东部太平洋板块的俯冲及若干块体的拼贴作用^[17]、蒙古—鄂霍茨克洋俯冲成因^[18-24]等。

上述观点的提出说明,大兴安岭中生代火山岩形成构造背景具有多解性和复杂性,而大兴安岭地区新发现的早侏罗世火山岩的形成与哪种构造体系有关?解决这一问题对探讨大兴安岭中生代构造体制具有重要意义。本文在已有研究成果的基础上^[4],对大兴安岭新林地区战备村组火山岩进行了详细的岩相学和地球化学研究,并与东北地区早侏罗世火山岩进行对比,为大兴安岭北段早中生代火山岩的形成构造背景提供科学依据。

1 地质概况及岩石学特征

1.1 地质概况

研究区大地构造位置位于中亚造山带东部额尔古纳地块之上,北部为德尔布干断裂,南部为塔源—喜桂图断裂(图1-a)。研究区中生代地层为

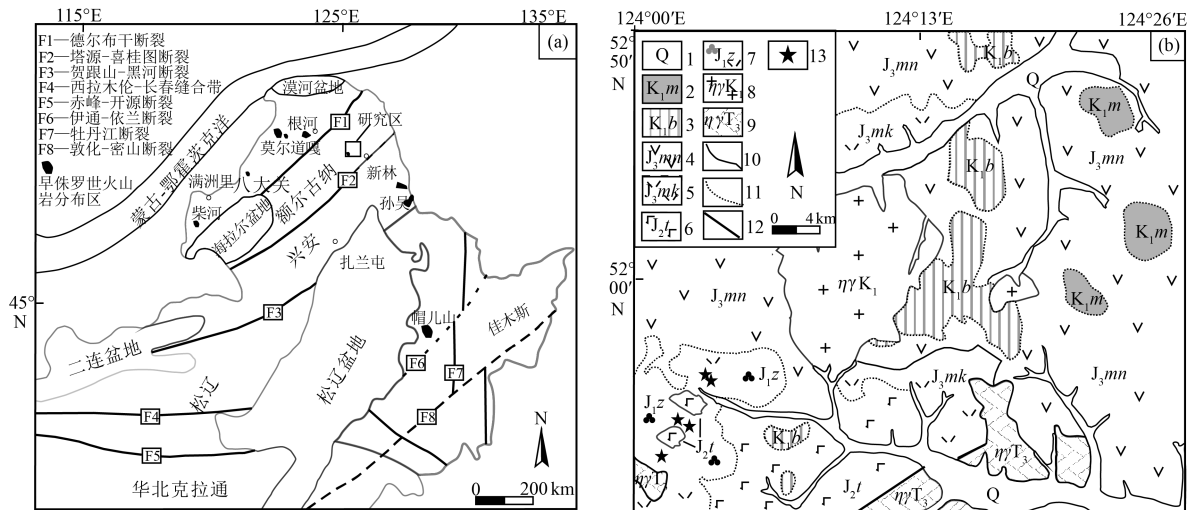


图1 大地构造单元图(a,据参考文献[2,25]修改)和新林区地质简图(b,据参考文献②修改)

Fig. 1 Tectonic units division(a) and simplified geological map of Xinlin area(b)

- 1—第四系;2—梅勒图组;3—白音高老组;4—玛尼吐组;5—满克头鄂博组;6—塔木兰沟组;7—战备村组;
8—早白垩世二长花岗岩;9—晚三叠世二长花岗岩;10—地质界线;11—不整合界线;12—断层;13—采样位置

陆相火山岩地层,自下而上依次为下侏罗统战备村组,中侏罗统塔木兰沟组,上侏罗统满克头鄂博组、玛尼吐组,下白垩统白音高老组及梅勒图组。侵入岩主要以岩株、岩枝状产出,划分为晚三叠世、晚侏罗世和早白垩世 3 期,主要岩性为二长花岗岩和石英二长岩(图 1-b)。

1.2 岩石学特征

战备村组火山岩岩石组合主要为一套浅灰色、灰白色流纹质火山碎屑岩及部分流纹质熔岩、碎屑熔岩夹少量沉凝灰岩,岩石以多见石英晶屑和石斑晶,多发育不同程度的绢云母化和碳酸盐化为典型特征^[4]。本次重点选取具有代表性的火山熔岩和成分单一的火山碎屑岩作为研究对象,包括流纹岩和流纹质晶屑凝灰岩。

流纹岩新鲜面呈浅灰白色,斑状结构,斑晶矿物主要为石英(5%~10%)和钾长石(15%~20%),石英熔蚀呈次圆状、港湾状或不规则状,无色透明,颗粒大小为 0.2~2 mm,钾长石为正长石,呈半自形-不规则板状、板粒状,部分被显微鳞片状绢云母集合

体替代,颗粒大小为 0.2~2.5 mm。基质具显微晶质-霏细结构,矿物成分由霏细状长英质、部分显微粒状长石和石英、少量隐晶质和金属矿物磁铁矿等组成,颗粒大小均小于 0.1 mm,以混晶集合体的形式分布,含量为 70%~80%。

流纹质晶屑凝灰岩新鲜面为浅灰色,晶屑凝灰结构,致密块状构造。组成成分为晶屑(10%~20%)和岩屑(3%~5%),含钾长石、斜长石、石英及少量黑云母等。其中,钾长石为正长石,少量条纹长石,棱角状-次棱角状,颗粒晶面弱绢云母化,可见部分晶形,颗粒大小为 0.3~2.0 mm;斜长石为更-中长石,棱角状-次棱角状,少数呈阶梯状,可见细密的聚片双晶,颗粒大小为 0.2~1.5 mm;石英呈次棱角状-次圆状,无色透明,颗粒大小为 0.1~0.6 mm;黑云母均被白云母、绿泥石交代,并析出铁质,呈交代假象结构,颗粒大小为 0.2~0.5 mm。火山灰为粒径小于 0.05 mm 的火山碎屑物,具隐晶质结构,以集合体的形式较均匀分布在岩屑、晶屑之间,含量为 75%~85%。

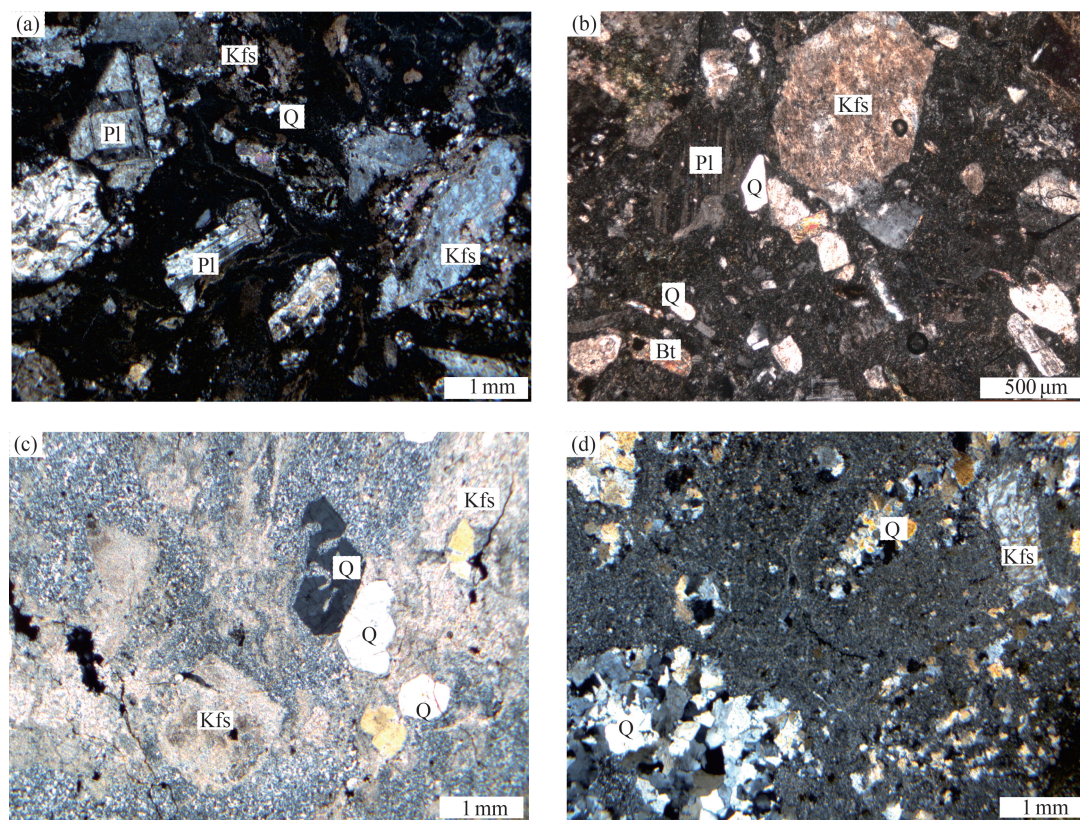


图 2 战备村组火山岩显微照片

Fig. 2 Photomicrographs of volcanic rocks of the Zhanbeicun Formation

a、b—流纹质晶屑凝灰岩;c、d—流纹岩。Pl—斜长石;Kfs—钾长石;Q—石英;Bt—黑云母

2 分析测试方法

样品主量、微量元素分析测试在河北省区域地质矿产调查研究所完成。样品首先经过薄片显微镜鉴定,然后选择新鲜的样品用于地球化学分析。样品的粉碎和加工均在无污染设备中进行。主量元素采用熔片法 X-射线荧光光谱法(XRF)测定,分析误差优于 2%~3%;稀土和微量元素首先用 Teflon 熔样罐进行熔样,然后采用 FinniganMAT 公司生产的双聚焦高分辨等离子体质谱仪 ICP-MS 进行测定,分析误差优于 10%。详细的样品消解处理过程、分析精密度和准确度见 Liu 等^[26]。

3 岩石地球化学特征

3.1 主量元素

根据主量元素分析结果(表 1)可知, SiO_2 含量介于 77.49%~77.73% 之间,属酸性岩。 Al_2O_3 含量介于 12.08%~12.77% 之间, A/CNK 值为 1.14~1.46, K_2O 含量介于 4.52%~6.06% 之间, Na_2O 含量介于 1.92%~2.54% 之间, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 1.78~2.84,里特曼指数(σ)为 1.33~2.05,为钙碱性系列。火山岩的 CaO 、 MgO 含量较低,分别为 0.07%~0.17% 和 0.10%~0.42%, TiO_2 较低(0.1%~0.25%)。在 TAS 图解(图 3-a)中,样品点主要落于亚碱性系列的流纹岩区。在 SiO_2 - K_2O 图解(图 3-b)中表现为钾玄质系列和高钾钙碱性系列;在 A/CNK - A/NK

图解(图 3-c)中,样品点落入过铝质岩石区。

3.2 稀土元素

根据稀土元素分析结果(表 1)可知,稀土元素总量较低($\Sigma\text{REE} = 81.84 \times 10^{-6} \sim 110.32 \times 10^{-6}$),轻、重稀土元素分馏明显, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 21.57~40.21,轻稀土元素分馏系数 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 值为 8.75~11.77,重稀土元素分馏系数 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 值为 1.63~2.45,中等负 Eu 异常, δEu 值为 0.42~0.62,反映岩浆源区有斜长石残留或岩浆经历了斜长石的分离结晶作用。稀土元素球粒陨石标准化配分图(图 4-a)显示,所有样品具有相同的变化趋势,并具有轻稀土元素富集的右倾特征。轻、重稀土元素分异程度较高,重稀土元素分布相对平坦。

3.3 微量元素

根据微量元素分析结果(表 1)可知,火山岩以富集大离子亲石元素(LILE) Rb、K、Th、U,亏损高场强元素(HFSE) Nb、Ta、P 和 Ti 为特征(图 4-b),是壳源岩浆或岩浆被地壳物质混染的典型特征。

4 讨论

4.1 岩浆源区

战备村组火山岩具有较高的 SiO_2 含量(77.49%~77.73%),属酸性岩浆结晶的产物。火山岩强不相容亲石元素 Rb、Th、U、K 显著富集,高场强元素 Nb、Ta、Ti 明显亏损,具该特点的岩浆源区可能为俯冲流体交代的岩石圈地幔或是陆壳物质^[10]。 $\text{Mg}^\#$

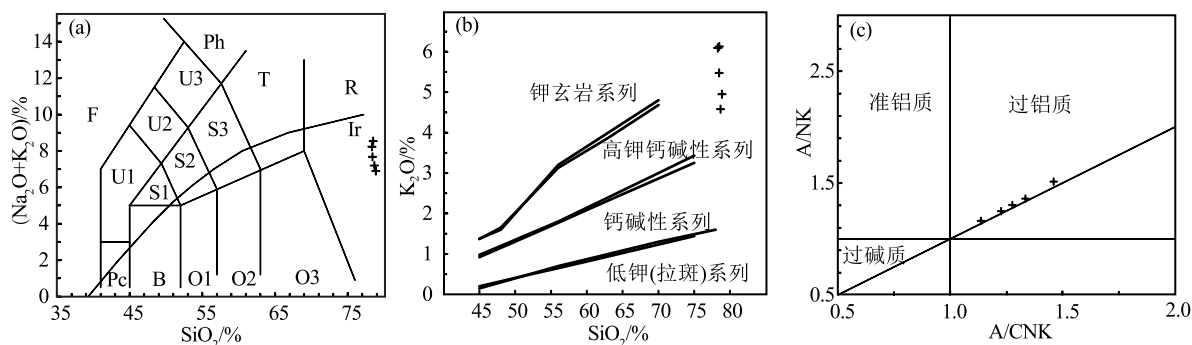


图 3 战备村组火山岩 TAS 图解^[27] (a)、 SiO_2 - K_2O 岩石分类图解^[28] (b) 与 A/CNK - A/NK 图解 (c)

Fig. 3 TAS (a), SiO_2 - K_2O (b) and A/CNK - A/NK (c) diagrams of volcanic rocks of the Zhanbeicun Formation

Pc—苦橄玄武岩;B—玄武岩;O1—玄武安山岩;O2—安山岩;O3—英安岩;R—流纹岩;S1—粗面玄武岩;S2—玄武质粗面安山岩;

S3—粗面安山岩;T—粗面岩,粗面英安岩;F—副长石岩;U1—碱玄岩、碧玄岩;U2—响岩质碱玄岩;U3—碱玄质响岩;

Ph—响岩;Ir—Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性

表 1 战备村组火山岩岩石化学测试分析数据

Table 1 Major, trace element and REE of Zhanbeicun Formation volcanic rocks

样品 编号	P4T60	P4T74	P4T84	P4T96	P4T32	样品 编号	P4T60	P4T74	P4T84	P4T96	P4T32
名称	流纹岩	流纹岩	流纹质晶 屑凝灰岩	流纹岩	流纹质晶 屑凝灰岩	名称	流纹岩	流纹岩	流纹质晶 屑凝灰岩	流纹岩	流纹质晶 屑凝灰岩
SiO ₂	77.49	77.72	77.65	77.73	77.62	Er	0.42	0.49	0.69	0.54	0.48
Al ₂ O ₃	12.47	12.08	12.32	12.77	12.43	Tm	0.06	0.09	0.11	0.09	0.08
TiO ₂	0.10	0.10	0.25	0.13	0.19	Yb	0.47	0.59	0.77	0.58	0.69
Fe ₂ O ₃	0.47	0.25	0.75	0.46	0.45	Lu	0.20	0.27	0.28	0.27	0.27
FeO	0.05	0.12	0.08	0.07	0.08	Li	8.57	18.50	14.42	8.44	16.40
CaO	0.07	0.09	0.08	0.17	0.09	Be	1.17	2.66	2.05	2.88	2.13
MgO	0.10	0.21	0.42	0.38	0.34	Nb	5.00	11.44	8.70	10.27	9.46
K ₂ O	6.03	6.06	4.52	4.88	5.39	Sc	2.64	2.71	3.94	3.04	3.21
Na ₂ O	2.12	2.37	2.54	1.92	2.27	Ga	14.52	17.43	18.25	17.65	16.45
MnO	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	Zr	72.3	77.7	99.8	104.0	78.5
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	Th	9.14	12.51	10.84	14.13	13.40
灼失量	0.95	0.91	1.25	1.35	0.98	U	3.24	2.88	2.45	3.10	2.63
总计	99.89	99.95	99.91	99.89	99.89	Sr	32.2	33.3	38.9	95.5	35.4
Mg [#]	30.90	56.03	53.58	62.55	59.95	V	22.3	5.7	36.2	6.4	15.6
TFeO	0.48	0.34	0.76	0.48	0.48	Cr	6.13	5.86	6.96	6.07	6.9
σ	1.93	2.05	1.44	1.33	1.69	Ba	666.2	192.0	507.6	580.4	346.0
A/CNK	1.23	1.14	1.34	1.46	1.28	Rb	155.8	154.5	150.9	137.4	144.5
A/NK	1.25	1.16	1.36	1.51	1.30	Pb	6.66	37.23	15.99	32.49	26.63
Y	4.01	4.66	6.38	5.33	4.52	Co	0.21	0.13	0.41	0.08	0.25
La	23.93	26.68	23.20	32.54	25.58	Ni	0.85	0.72	1.24	0.63	0.8
Ce	37.60	42.66	40.36	51.41	41.56	Hf	3.01	3.69	3.66	4.09	3.46
Pr	3.76	4.00	4.03	5.05	3.90	Ta	0.39	0.78	0.61	0.71	0.57
Nd	11.30	11.21	12.36	14.70	12.01	ΣREE	81.84	90.07	86.92	110.32	99.89
Sm	1.56	1.47	1.71	1.79	1.52	(La/Yb) _N	36.88	32.56	21.57	40.21	32.55
Eu	0.27	0.19	0.33	0.31	0.28	(La/Sm) _N	8.28	9.92	11.72	8.74	10.46
Gd	1.32	1.38	1.55	1.72	1.35	(Gd/Yb) _N	2.34	1.94	1.66	2.45	2.11
Tb	0.15	0.15	0.22	0.19	0.17	δEu	0.59	0.42	0.62	0.55	0.59
Dy	0.69	0.74	1.09	0.96	0.73	Zr/Hf	24.04	21.04	27.25	25.45	27.06
Ho	0.12	0.14	0.22	0.17	0.16	Nb/Ta	12.67	14.71	14.19	14.55	15.31

注:σ=(Na₂O+K₂O)²/(SiO₂-43),TFeO=FeO+0.8998Fe₂O₃;Mg[#]=100×n(Mg²⁺)/[n(Mg²⁺)+n(Fe²⁺)];主量元素含量单位为%,微量和稀土元素含量单位为10⁻⁶

值为(30.9~62.55,平均52.6),显示出壳源岩浆的特征。微量元素Sr含量低(32.3×10⁻⁶~95.5×10⁻⁶),Y和Yb含量也较低,分别为4.01×10⁻⁶~6.38×10⁻⁶和0.47×10⁻⁶~0.69×10⁻⁶,具有喜马拉雅型花岗岩的特征。

研究表明,SiO₂含量较高的酸性岩浆不能由地幔橄榄岩直接熔融产生,地幔橄榄岩在俯冲板块H₂O的作用下部分熔融只能形成安山质岩浆,只有少数流纹岩可由玄武质岩浆分异形成,多数的酸性

岩浆主要由下地壳深熔作用形成^[31]。由表1可知,火山岩的Rb/Sr值位于1.44~4.84之间(平均为3.78),明显高于原始地幔(0.03)、E-MORB(0.033)和OIB(0.047)的Rb/Sr值^[30],位于壳源岩浆的范围(>0.5)^[32];Th/U值为2.82~5.1(平均为4.25),与下地壳的Th/U值(≈6)相近^[33];Nb/Ta值为12.67~14.71(平均为14.6),低于地幔和源于地幔的岩浆熔体的比值(17.5±2.0)^[34];Nd/Th值为0.9~1.24(平均为1.04),近于壳源岩浆(≈3)而区

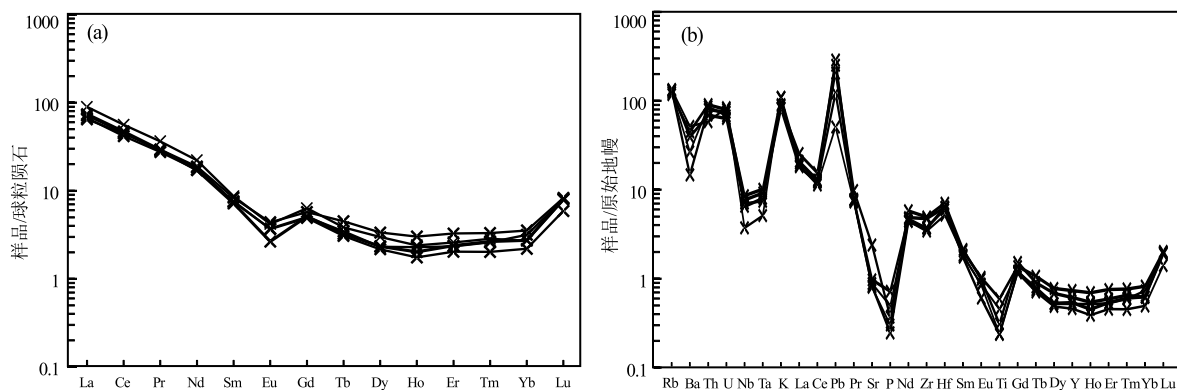


图 4 战备村组火山岩稀土元素球粒陨石标准化分配图(a)和微量元素蛛网图(b)

(球粒陨石标准值据参考文献[29];原始地幔标准值据参考文献[30])

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns(a) and primitive mantle-normalized spider grams(b) of volcanic rocks in the Zhanbeicun Formation

别于幔源岩浆(>15); Ti/Y 值为 $148.23 \sim 249.05$ (平均为 180), 近于陆壳岩石值(<200)^[35]; Ti/Zr 值为 $7.13 \sim 14.74$ (平均为 10.5), 符合陆壳岩石值(<30)^[35]。

研究表明,部分熔融的地幔不可能产生类似于陆壳较低的 Ti/Zr 、 Ti/Y 值^[36], 因此,这些元素比值表明,战备村组火山岩的形成可能与地幔部分熔融及岩浆结晶分离无关。各类岩石地球化学特征与壳源岩石的地球化学特征相似,表明它们应来自地壳物质局部熔融形成的壳源岩浆系列。另外,战备村组火山岩的基性相容元素 Cr 、 Co 、 Ni 和 Mg 值均较低,也不具有地幔成因的特征。因此,战备村组火山岩浆应来源于下地壳。

4.2 构造背景

关于大兴安岭地区中生代火山岩形成的构造环境一直是国内外专家学者研究的热点,并且这些火山岩普遍集中在中侏罗世、晚侏罗世—早白垩世,而早中生代火山岩构造背景的研究较少。近年来,随着地质调查的不断深入,越来越多的学者开始注重对早中生代火山岩的研究。Xu 等^[37] 在额尔古纳根河地区发现了一套早侏罗世玄武岩—玄武安山岩—钙碱性火山岩组合,认为是蒙古—鄂霍茨克洋向南俯冲作用的产物。王召林等^[38] 获得莫尔道嘎太平川含矿斑岩体年龄 $183 \sim 193$ Ma, 认为是蒙古—鄂霍茨克洋闭合阶段的岩浆侵入事件,乌奴格吐山大型斑岩铜钼矿床、八大关中型斑岩铜钼矿床的形成均被认为与蒙古—鄂霍茨克洋向南俯冲作用有关^[39-40]。李研等^[6] 认为,大兴安岭北段八大关地区早侏罗世流纹岩形成于蒙古—鄂霍茨克洋板块俯冲

的活动大陆边缘环境。赵胜金等^[7] 通过对大兴安岭北段柴河组火山岩研究,认为火山岩成因是早侏罗世蒙古—鄂霍茨克洋向南东方向俯冲的产物。以上学者研究的早侏罗世火山岩普遍出露于额尔古纳西缘及额尔古纳—兴安板块结合部。区域上,李宇等^[41] 等通过对兴安—松嫩地块结合部位孙吴地区中侏罗世白云母花岗岩的研究,认为花岗岩的形成与蒙古—鄂霍茨克缝合带闭合过程中的陆—陆碰撞环境有关,并限定蒙古—鄂霍茨克洋在额尔古纳地块西北部的闭合时间为中侏罗世。徐美君等^[42] 对小兴安岭中部早侏罗世花岗岩进行研究,认为花岗岩的形成应与古太平洋板块向欧亚大陆下俯冲和蒙古—鄂霍茨克洋向额尔古纳地块俯冲作用有关。战备村组火山岩具有低 Sr 、低 Yb 的特征,形成压力中等,类似于喜马拉雅型花岗岩源区^[43-45]。杨华本^[46] 对研究区中—晚侏罗世火山岩研究,认为火山岩形成于蒙古—鄂霍茨克洋闭合后岩石圈伸展背景,也证明了研究区存在加厚地壳事件。研究区地处额尔古纳东缘,位于李宇等^[41] 研究的孙吴地区西北部。已有研究成果表明,蒙古—鄂霍茨克洋从晚三叠世自西向东开始剪刀式闭合,东部闭合的时间可能持续到晚侏罗世—早白垩世^[47-48], 这一演化过程与区域上额尔古纳地块早侏罗世火山岩的形成时间基本一致,进一步表明战备村组火山岩与蒙古—鄂霍茨克洋的演化密切相关。战备村组火山岩在 $(Y+Nb)-Rb$ 图解(图 10-a)中落入火山弧区,在 $Y-Nb$ 判别图解(图 10-b)中落入同碰撞—火山弧区,表明早侏罗世大兴安岭新林地区进入活动陆

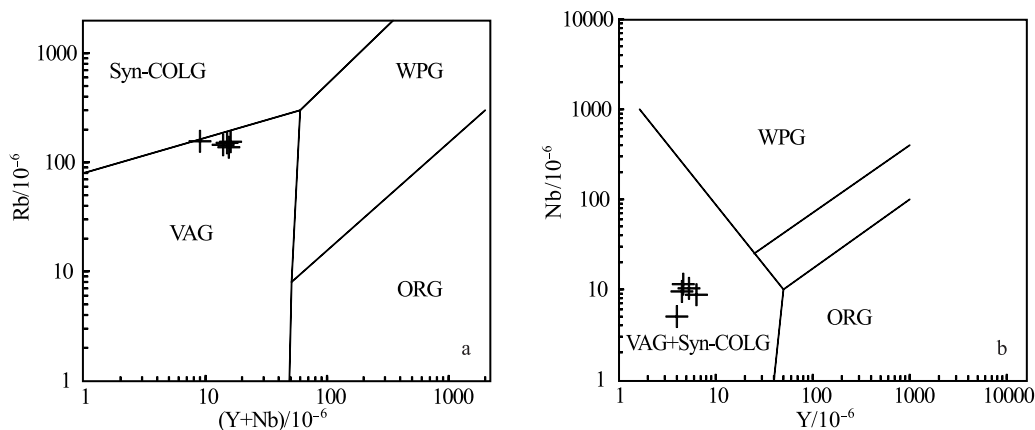
图5 战备村组火山岩构造环境判别图^[49]

Fig. 5 Discrimination diagrams of Zhanbeicun Formation volcanic rocks for tectonic setting

Syn-COLG—同碰撞花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; WPG—板内花岗岩; ORG—洋脊花岗岩; VAG+Syn-COLG—火山弧花岗岩+同碰撞花岗岩

缘,这种背景应是蒙古-鄂霍茨克洋向额尔古纳地块之下俯冲作用的结果。结合区域构造演化背景,笔者认为,研究区早侏罗世火山岩的形成应与鄂霍茨克洋向 SE 俯冲作用有关。

5 结 论

(1)战备村组火山岩岩石组合主要为流纹岩、流纹质火山碎屑岩,化学特征表现为过铝质的高硅、高钾钙碱性流纹岩。

(2)战备村组火山岩富集大离子亲石元素(LILE)Rb、K、Th、U,亏损高场强元素(HFSE)Nb、Ta、P 和 Ti,岩浆来源于亏损的下地壳。

(3)战备村组火山岩的形成与蒙古-鄂霍茨克洋 SE 向俯冲作用有关。

致谢:在野外调查和写作过程中得到黑龙江省区域地质调查所韩松山高级工程师、中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心战备村项目组成员的指导和帮助,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] 孙德有, 荀军, 任云生, 等. 满洲里南部玛尼吐组火山岩锆石 U-Pb 年龄与地球化学研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(10): 3083-3094.
- [2] 许文良, 王枫, 裴福萍, 等. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景: 来自中生代火山岩组合时空变化的制约[J]. 岩石学报, 2013, 29(2): 339-353.
- [3] 唐杰, 许文良, 王枫, 等. 张广才岭帽儿山组双峰式火岩成因: 年代学与地球化学证据[J]. 世界地质, 2011, 30(4): 508-513.

- [4] 郑吉林, 王文东, 杨华本, 等. 大兴安岭北部下侏罗统战备村组的建立及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(7): 1106-1114.
- [5] 王泉, 表尚虎, 李喜明, 等. 黑龙江省孙吴地区早侏罗世火山岩的识别及其地质意义[J]. 矿产与地质, 2017, 31(2): 378-388.
- [6] 李研, 王建, 韩志滨, 等. 大兴安岭北段八大关地区早侏罗世流纹岩锆石 U-Pb 定年与岩石成因[J]. 中国地质, 2017, 44(2): 346-357.
- [7] 赵胜金, 于海洋, 申亮, 等. 大兴安岭北段下侏罗统柴河组的厘定及地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(7): 1302-1313.
- [8] 赵国龙, 杨桂林, 王忠, 等. 大兴安岭中南部中生代火山岩[M]. 北京: 科学技术出版社, 1989: 1-260.
- [9] 马家骏, 方大赫. 黑龙江省中生代火山岩初步研究[J]. 黑龙江地质, 1991, 2(2): 1-6.
- [10] 孙德有, 许文良, 周燕, 等. 大兴安岭中生代火山岩的形成机制[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 1994, 3: 162-164.
- [11] Zhang J H, Ge W C, Wu F Y, et al. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range, Northeastern China[J]. Lithos, 2008, 102: 138-157.
- [12] Zhang J H, Gao S, Ge W C, et al. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: Implications for subduction-induced delamination[J]. Chemical Geology, 2010, 27(6): 144-165.
- [13] 张宏, 马俊孝, 权恒, 等. 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, 1999, 8(1): 56-64.
- [14] 邵济安, 张履桥, 牟堡垒, 等. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用[J]. 地学前缘, 1996, (4): 339-346.
- [15] 林强, 葛文春, 孙德有, 等. 东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J]. 地质科学, 1998, 3(32): 129-139.
- [16] 葛文春, 林强, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代玄武岩的地球化学特征: 壳幔相互作用的证据[J]. 岩石学报, 1999, 15(3): 396-407.
- [17] 吴福元, 曹林. 东北地区的若干重要基础地质问题[J]. 世界地质, 1999, 18(2): 1-13.

- [18] Meng Q R. What drove Late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract[J]. *Tectonophysics*, 2003, 36(9): 155-174.
- [19] Wang P J, Chen F K, Shen S M, et al. Geochemical and Nd-Sr-Pb isotopic composition of Mesozoic volcanic rocks in the Songliao basin, NE China[J]. *Geochemical Journal*, 2006, 40: 149-159.
- [20] 陈志广, 张连昌, 周新华, 等. 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*, 2006, 22(12): 1-14.
- [21] 张玉涛, 张连昌, 英基丰, 等. 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* 2007, 23(11): 2811-2822.
- [22] Ying J F, Zhou X H, Zhang L C, et al. Geochronological framework of Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, NE China, and their geodynamic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, 39(6): 786-793.
- [23] 徐美君, 许文良, 孟恩, 等. 内蒙古东北部额尔古纳地区上护林-向阳盆地中生代火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J]. *地质通报*, 2011, 30(9): 1321-1338.
- [24] Yu J J, Wang F, Xu W L, et al. Early Jurassic mafic magmatism in the Lesser Xing'an - Zhangguangcai Range, NE China and its tectonic implications: Constrains from zircon U-Pb chronology and geochemistry[J]. *Lithos*, 2012, 142/143: 256-266.
- [25] Wu F F, Sun D Y, Ge W C, et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41(1): 1-30.
- [26] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(s1/2): 34-43.
- [27] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1976, 28(3): 459-469.
- [28] Le Maitre R W, Baktaman P, Dudek A, et al. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms Oxford: Blackwell [M]. Scientific Publications, 1989: 1-193.
- [29] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[C]//Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, 1984: 63-114.
- [30] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D, Norry M J. Magmatism in Oceanic Basins. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- [31] Hirose K. Melting experiments on lherzolite KLB-1 under hydrous conditions and generation of high-magnesian andesitic melts [J]. *Geology*, 1997, 25(1): 42-44.
- [32] Tischendorf G, Paelchen W. Zur Klassifikation von Granitoiden. Classification of granitoids[J]. *Zeitschrift fuer Geologische Wissenschaften*, 1985, 13(5): 615-627.
- [33] Rudnick R L, Gao S. Composition of the continental crust [C]//Rudnick R L. Treatise Geochemistry. Elsevier, 2003, 3: 1-64.
- [34] Hofmann A W. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental, and oceanic crust[J]. *Earth and Planetary Scientific Letters*, 1988, 90(3): 297-314.
- [35] Wedepohl K H. The composition of the continental crust [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(7): 1217-1232.
- [36] 张遵忠, 顾连兴, 吴昌志, 等. 东天山印支早期尾亚石英正长岩: 成岩作用及成岩意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1135-1149.
- [37] Xu M J, Xu W L, Wang F, et al. Geochronology and geochemistry of the Early Jurassic granitoids in the northwestern Lesser Xing'an Range, NE China and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(2): 34-368.
- [38] 王召林, 金浚, 李占龙, 等. 大兴安岭中北段莫尔道嘎地区含矿斑岩的 U-Pb 锆石年龄 Hf 同位素特征及成矿意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2010, 29(6): 796-810.
- [39] Chen Z G, Zhang L C, Wan B, et al. Geochronology and geochemistry of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit in NE China, and their geological significance [J]. *Ore Geology Reviews*, 2011, 43(1): 92-105.
- [40] Li N, Chen Y J, Ulrich T, et al. Fluid inclusion study of the Wunugtu Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, China [J]. *Mineralium Deposita*, 2012, 47(5): 467-482.
- [41] 李宇, 丁磊磊, 许文良, 等. 孙吴地区中侏罗世白云母花岗岩的年代学与地球化学: 对蒙古-鄂霍茨克洋闭合时间的限定[J]. *岩石学报*, 2015, 31(1): 56-66.
- [42] 徐美君, 许文良, 王枫, 等. 小兴安岭中部早侏罗世花岗岩质岩石的年代学与地球化学及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2013, 29(2): 354-368.
- [43] 张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22: 2249-2269.
- [44] 张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩按照压力的分类[J]. *地质通报*, 2006, 25: 1274-1278.
- [45] 张旗, 王焰, 熊小林, 等. 埃达克岩和花岗岩: 挑战与机遇 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2008: 1-344.
- [46] 杨华本, 王文东, 闫永生, 等. 大兴安岭北段新林区塔木兰沟组火山岩成因及地幔富集作用[J]. *地质评论*, 2016, 62(6): 1471-1486.
- [47] Kravchinsky V A, Cogne J P, Harbrt W P, et al. Evolution of the Mongol-Ocean as constrained by new paleomagnetic data from the Mongol - Okhotsk suture zone, Siberia [J]. *Geophysical Journal International*, 2002, 148(1): 34-57.
- [48] Sorokin A A, Sorokin A P, Ponomarchuk V A, et al. The age and geochemistry of volcanic rocks on the eastern flank of the Umlakan-Ogodzha volcanoplutonic belt (Amur region) [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2010, 51(4): 369-379.
- [49] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. Geological Society [M]. London, Special Publications, 1984: 77-94.
- ① 黑龙江省地质调查院. 黑龙江 1: 25 万漠河县、漠河、兴安幅区调(修测)报告. 2016.
- ② 中国人民武装警察部队黄金第三支队. 1: 5 万战备村、二中队幅区域地质矿产调查报告. 2014.