

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.03.003

引用格式: 李中会, 李阳, 李睿杰, 等. 大兴安岭火山岩带中北部中侏罗世中酸性火山岩的厘定及其地质意义[J]. 华东地质, 2021, 42(3): 269-278.

# 大兴安岭火山岩带中北部中侏罗世中酸性火山岩的厘定及其地质意义

李中会<sup>1</sup>, 李阳<sup>2</sup>, 李睿杰<sup>1</sup>, 苏航<sup>1</sup>, 李凯<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省地质调查研究总院, 黑龙江 哈尔滨 150036;  
2. 黑龙江省齐齐哈尔地质勘查总院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:** 通过对大兴安岭火山岩带中北部地区北岸林场一带中酸性火山岩进行地球化学、锆石 U-Pb 年代学特征研究, 探讨其形成的年代及构造背景。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年表明, 中酸性火山岩形成时代为  $(166 \pm 1)$  Ma, 属于中侏罗世, 岩性为粗面英安岩和粗安岩。在主量元素组成上,  $\text{SiO}_2$  含量为 59.58%~68.34%,  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  为 7.78%~8.84%,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  值为 0.73~0.82,  $\text{MgO}$  含量为 0.75%~2.67%,  $\text{Mg}^\#$  值为 25.5~44.4, 显示岩石相对富硅、富钠、低钾、碱含量偏高、镁含量偏低的特征。TAS 分类图及铝饱和指数  $A/\text{CNK}$  (0.91~0.97) 显示岩石具有准铝质偏碱性的特征。稀土元素总量中等, 轻、重稀土分馏明显  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 6.56 \sim 11.79$ , 具有弱的 Eu 负异常 ( $\delta\text{Eu} = 0.60 \sim 0.81$ ); 微量元素相对富集大离子亲石元素 Rb、Th、U, 贫高场强元素 Nb、Ta、Hf、Ti。地质、地球化学分析表明中酸性火山岩为地壳物质部分熔融的产物。岩浆活动可能起源于早侏罗世蒙古-鄂霍茨克洋闭合过程中造山晚期构造环境, 但在中侏罗世张性构造环境喷发成岩, 提供了俯冲造山环境形成的岩浆在地壳中可能跨时、跨构造环境活动的范例。

**关键词:** 中酸性火山岩; 大兴安岭火山岩带中北部; 锆石 U-Pb 定年; 构造环境

**中图分类号:** P588.12

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2021)03-269-10

大兴安岭火山岩带是我国东部中生代巨型火山岩带的重要组成部分, 大地构造属于兴蒙造山带<sup>[1]</sup>。古生代以来, 大兴安岭地区经历了古亚洲洋闭合、蒙古-鄂霍茨克洋闭合及古太平洋板块俯冲等演化阶段<sup>[2-5]</sup>, 形成了复杂多样的构造-岩浆岩活动<sup>[2, 6-15]</sup>。中生代火山活动既与重要的多金属成矿有关<sup>[16-32]</sup>, 也是东北地区构造-岩浆演化研究的主要对象<sup>[3, 11, 33-36]</sup>。露头有限、化石稀少以及同位素测试精度限制给大兴安岭火山岩地层正确划分带来较大影响, 导致岩石成因及其形成的构造背景争议较大<sup>[8-9, 11-13, 34]</sup>, 制约了对该火山岩带乃至东北地区中生代地层格架、岩浆活动及构造背景的认识。

大兴安岭中生代火山活动主要发生在晚侏罗世一早白垩世, 少量火山活动发生在中侏罗世, 中侏罗世火山活动产物主要有大兴安岭火山岩带南段新民组酸性火山岩和中北段塔木兰沟组中基性

火山岩。近些年来, 随着锆石 U-Pb 同位素年代学测试方法的应用, 在中北段陆续发现一些年龄为 161.6~167.0 Ma<sup>[37-40]</sup> 的中酸性、酸性火山岩。以流纹岩为主的酸性火山岩与塔木兰沟组中基性火山岩构成双峰式火山岩组合<sup>[37]</sup>, 而以粗安岩、粗面英安岩为主的中酸性火山岩成因目前还不清楚。本文通过满归林业局北岸林场一带出露的以粗安岩、粗面英安岩为主的中酸性火山岩开展岩石学、地球化学、锆石 U-Pb 年代学研究, 分析岩石成因及构造环境, 以期为大兴安岭乃至中国东北地区构造-岩浆活动的研究提供新的参考资料。

## 1 地质概况

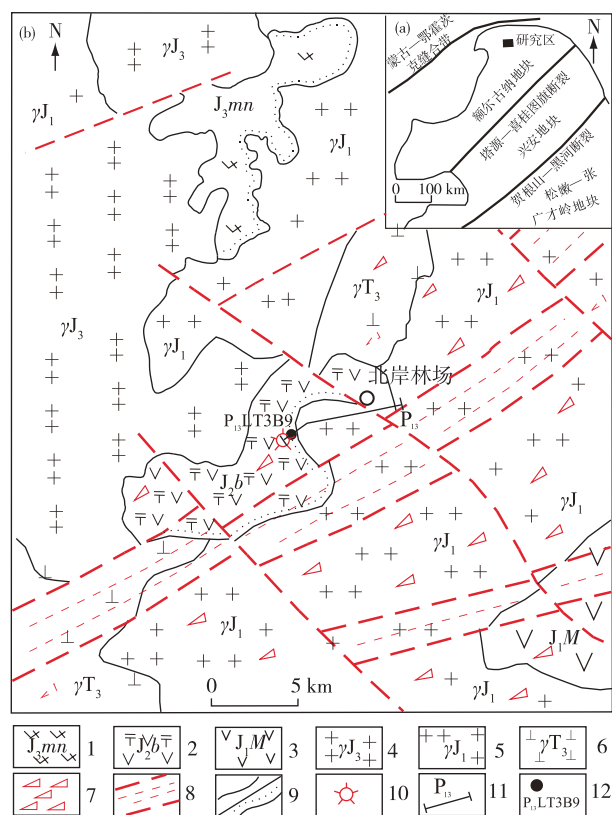
研究区地处大兴安岭火山岩带中北段, 大地构造位置位于额尔古纳地块北缘<sup>[3]</sup> (图 1(a)), 行政区

\* 收稿日期: 2020-03-19 修订日期: 2020-08-11 责任编辑: 叶海敏

基金项目: 中国地质调查局“黑龙江 1: 25 万漠河、漠河县、兴安幅区调修测(编号: 1212011120653、1212010881209)”项目资助。

第一作者简介: 李中会, 1965 年生, 男, 高级工程师, 主要从事区域地质调查及矿产勘查工作。Email: lizhonghui135@163.com。

划属内蒙古自治区呼伦贝尔市满归林业局。研究区出露的地层主要为早侏罗世满归变中酸性火山岩( $J_1M$ ),岩性为溢流相变流纹岩、变英安岩、变安山岩及少量空落相变火山灰凝灰岩;中侏罗世中酸性火山岩( $J_2b$ ),岩性为溢流相粗安岩、粗面英安岩、空落相粗面英安质凝灰岩、火山碎屑流相流纹质熔结凝灰岩和火山通道相含集块角砾岩;晚侏罗世玛尼吐组( $J_3mn$ )中酸性火山岩,岩性为溢流相英安岩。侵入岩出露面积较大,以大量早侏罗世花岗岩( $\gamma J_1$ )、晚侏罗世花岗岩( $\gamma J_3$ )和少量晚三叠世花岗岩( $\gamma T_3$ )区别于前人划分的新元古代—古生代侵入岩<sup>[3,41]</sup>。研究区南部以NE-NEE向韧—脆性断裂为主,对中侏罗世及中侏罗世以前的填图单元有不同程度的改造作用(图1(b))。



1.晚侏罗世玛尼吐组; 2.中侏罗世中酸性火山岩; 3.早侏罗世满归变中酸性火山岩; 4.晚侏罗世花岗岩; 5.早侏罗世花岗岩; 6.晚三叠世花岗岩; 7.碎裂带; 8.糜棱岩化带; 9.地质界线/不整合界线; 10.火山口; 11.剖面及编号; 12.同位素样品采样位置及编号

图1 研究区大地构造位置(a)及地质简图(b)

Fig. 1 Geotectonic location (a) and geological sketch map (b) of the study area

## 2 岩石学特征

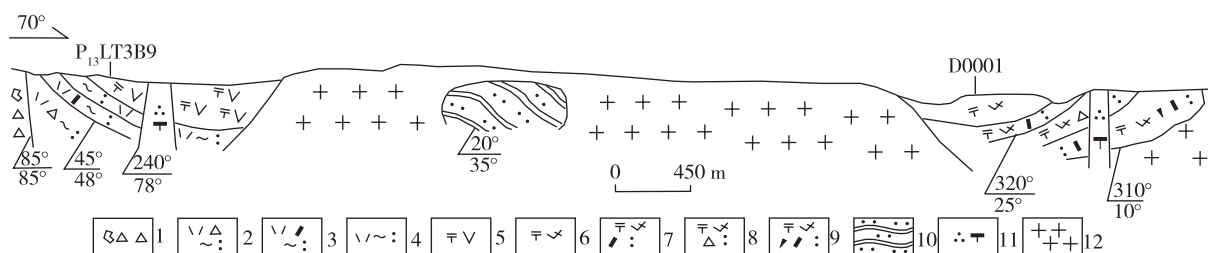
北岸林场一带中酸性火山岩,早期以碎屑流相流纹质熔结凝灰岩和空落相粗面英安质凝灰岩为主,晚期出现溢流相粗安岩、粗面英安岩(图2)。岩石受碎裂构造和糜棱岩化作用的影响普遍具有黏土化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化、硅化现象,区别于晚侏罗世玛尼吐组中酸性火山岩。

粗安岩新鲜面呈灰色,斑状结构,块状构造(图3(a))。主要矿物由斑晶斜长石(2%~8%)、角闪石(3%~4%)、黑云母(1%)、基质(87%~94%)组成(图3(b))。斑晶斜长石,半自形板状、宽板状,聚片双晶较细,为更长石,被黏土矿物、绿帘石及少量绿泥石交代,大小0.3~2.3 mm;角闪石,自形暗化,其中一粒呈六边形,被绿泥石集合体交代具角闪石假象,大小0.5~1.0 mm;黑云母,片状多暗化,中心绿泥石化,大小0.3~0.5 mm。基质斜长石微晶板状,颗粒0.05~0.15 mm,沿流动构造半定向分布,晶体常镶嵌在长英质集合体斑块中,有少量硅质颗粒为后期进入,杂乱交代,含量<5%。

粗面英安岩新鲜面呈浅灰色,斑状结构,块状构造、碎裂构造。斑晶斜长石,半自形板状,聚片双晶宽窄不一,弱环带,更中长石,晶面弱黏土化,部分晶面中心绢云母鳞片集合体密集交代、绿帘石集合体斑点状交代,大小0.15~4 mm,含量35%~40%;角闪石呈柱状,绿色,柱面一组解理,斜消光,部分晶面褪色或被碳酸盐、绿泥石、绿帘石不均匀交代,大小0.15~2 mm,含量1%~3%。基质钾长石与石英混晶集合体呈斑块状,其中嵌布柱状斜长石微晶,少量粒状石英呈零散状分布,并有铁质散布其中。

## 3 样品分析方法

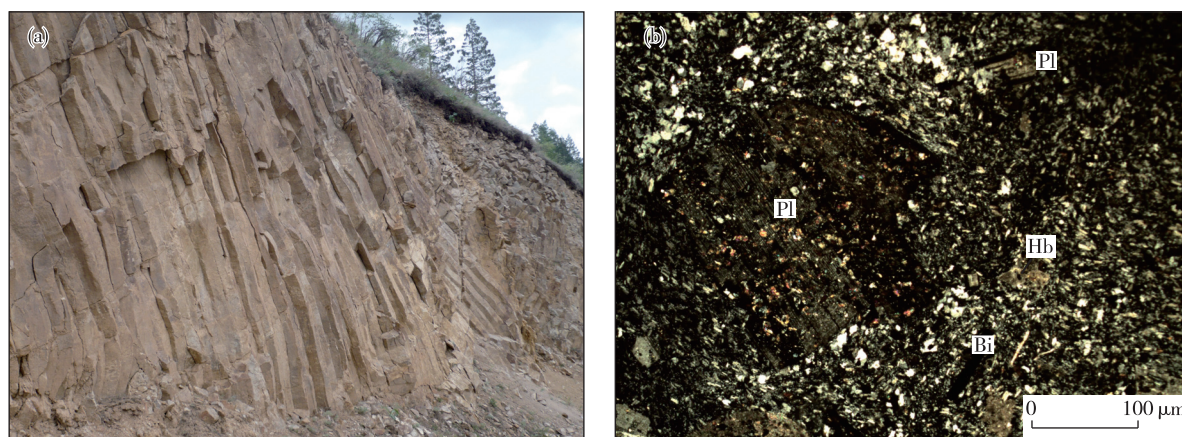
锆石分选工作在河北省廊坊区域地质调查研究院地质实验室完成,样品靶制备在北京锆年领航科技有限公司实验室完成,锆石阴极发光照相和LA-ICP-MS同位素测定在中国地质调查局天津地质调查中心实验室完成。样品采用常规方法进行粉碎、淘洗,保留重砂矿物,再用电磁选方法分选出锆石,双目镜下选出晶形较好的锆石,然后将锆石粘贴在环氧树脂表面,打磨抛光后露出锆石表面,



1. 含集块角砾岩; 2. 流纹质含角砾熔结凝灰岩; 3. 流纹质晶屑熔结凝灰岩; 4. 流纹质熔结凝灰岩; 5. 粗安岩; 6. 粗面英安岩; 7. 粗面英安质晶屑凝灰岩; 8. 粗面英安质角砾凝灰岩; 9. 粗面英安质岩屑晶屑凝灰岩; 10. 变砂岩; 11. 石英正长斑岩; 12. 花岗岩

图 2 研究区中酸性火山岩实测剖面(P<sub>13</sub>)图

Fig. 2 Measured section of intermediate-acidic volcanic rocks (P<sub>13</sub>) in the study area



Pl. 斜长石; Bi. 黑云母; Hb. 角闪石

图 3 北岸林场一带粗安岩(P<sub>13</sub> LT3B9)野外露头(a)和显微照片(b)

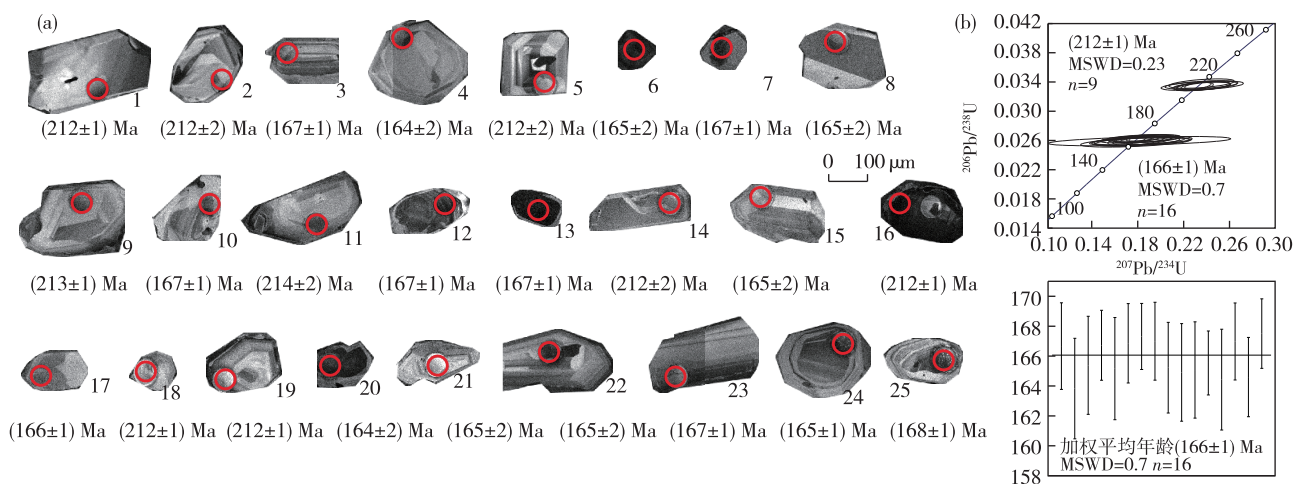
Fig. 3 Outcrop (a) and photomicrograph (b) of trachyandesite (P<sub>13</sub> LT3B9) in Beian-Linchang area

完成样品制靶,对锆石进行透射光、反射光和阴极发光(CL)照相,确定所测锆石位置。在中国地质调查局天津地质调查中心实验室利用 193 mm 激光器对锆石进行剥蚀,激光剥蚀束斑直径为 35  $\mu\text{m}$ 。采用标准锆石 TEMORA 作为外标校正 U-Pb 同位素分馏,利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 U、Th、Pb 含量,详细的实验原理和流程见参考文献[42]。采用 ICP-MS Data Cal 程序<sup>[43]</sup>和 Iso-plot(ver3.0)程序<sup>[44]</sup>进行数据处理。

主量元素、稀土元素及微量元素分析在中国地质调查局沈阳地质调查中心实验室完成,主量元素采用 X 射线荧光光谱仪(Axiosmax)分析,分析误差 $<5\%$ 。稀土元素及微量元素采用电感耦合等离子体质谱仪(X-serise II)分析,分析误差 $<10\%$ 。

#### 4 锆石 U-Pb 年龄

本次选送了 1 个具有代表性的粗安岩样品进行同位素年龄测定,样品采自北岸林场西南 5 km 激流河北岸路堑。测年样品中锆石颗粒在透射光和反射光下大部分为浅黄色-无色,少许色调偏暗,半透明-透明状。锆石粒径为 110~300  $\mu\text{m}$ ,晶形多具熔蚀现象,棱角圆化,以它形粒状为主,少数为半自形柱状,长宽比为 1:1~4:1。锆石阴极发光图像(图 4(a))显示锆石内部结构清晰,均发育典型的振荡环带结构,Th/U 值均 $>0.4$ ,表明锆石均为岩浆成因<sup>[45]</sup>。选择了 25 颗自形程度和透明度均较好的锆石进行 LA-ICP-MS U-Pb 分析,谐和年龄图见图 4(b),锆石 U-Pb 同位素测试结果见表 1。

图4 粗安岩(P<sub>13</sub>LT3B9)锆石 CL 图像(a)及谐和年龄图(b)Fig. 4 Zircon CL images (a) and concordia diagram (b) of trachy dacite(P<sub>13</sub>LT3B9)表1 粗安岩(P<sub>13</sub>LT3B9)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic compositions of trachyandesite(P<sub>13</sub>LT3B9)

测点	含量/ 10 <sup>-6</sup>		Th/U	同位素比值								年龄/Ma							
	Th	U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ				
1	104	112	0.9	0.033 5	0.000 2	0.238 9	0.009 0	0.051 8	0.001 9	212	1	218	8	277	86				
2	39	65	0.6	0.033 5	0.000 3	0.235 8	0.014 8	0.051 1	0.003 2	212	2	215	14	243	145				
3	56	76	0.7	0.026 2	0.000 2	0.181 5	0.014 6	0.050 3	0.004 0	167	1	169	14	207	182				
4	38	43	0.9	0.025 7	0.000 3	0.176 7	0.019 7	0.049 8	0.005 6	164	2	165	18	186	262				
5	84	101	0.8	0.033 5	0.000 2	0.239 7	0.009 7	0.051 9	0.002 1	212	2	218	9	280	90				
6	126	126	1.0	0.026 0	0.000 3	0.182 5	0.010 5	0.050 9	0.002 9	165	2	170	10	238	133				
7	71	107	0.7	0.026 2	0.000 2	0.178 4	0.008 1	0.049 4	0.002 2	167	1	167	8	166	105				
8	82	81	1.0	0.026 0	0.000 3	0.177 2	0.010 0	0.049 5	0.002 7	165	2	166	9	172	127				
9	43	68	0.6	0.033 6	0.000 2	0.235 2	0.013 1	0.050 8	0.002 9	213	1	214	12	230	130				
10	66	104	0.6	0.026 2	0.000 2	0.184 6	0.010 9	0.051 0	0.003 1	167	1	172	10	243	138				
11	53	76	0.7	0.033 8	0.000 3	0.235 2	0.011 8	0.050 5	0.002 6	214	2	214	11	218	117				
12	243	210	1.2	0.026 3	0.000 2	0.181 4	0.005 2	0.050 0	0.001 4	167	1	169	5	197	65				
13	621	357	1.7	0.026 2	0.000 2	0.179 2	0.003 2	0.049 5	0.000 9	167	1	167	3	172	40				
14	68	87	0.8	0.033 4	0.000 3	0.235 7	0.010 1	0.051 1	0.002 2	212	2	215	9	247	97				
15	39	50	0.8	0.026 0	0.000 2	0.180 5	0.016 4	0.050 4	0.004 7	165	2	168	15	214	216				
16	98	145	0.7	0.033 4	0.000 2	0.229 3	0.005 7	0.049 8	0.001 2	212	1	210	5	187	56				
17	33	37	0.9	0.025 9	0.000 3	0.180 6	0.037 9	0.050 5	0.010 9	165	2	169	35	220	499				
18	47	99	0.5	0.033 4	0.000 2	0.234 9	0.010 1	0.050 9	0.002 2	212	1	214	9	238	98				
19	28	45	0.6	0.025 9	0.000 3	0.182 7	0.018 1	0.051 1	0.005 1	165	2	170	17	245	232				
20	142	164	0.9	0.026 0	0.000 2	0.177 2	0.005 7	0.049 4	0.001 5	166	1	166	5	167	73				
21	41	48	0.9	0.025 8	0.000 3	0.178 8	0.015 0	0.050 2	0.004 1	164	2	167	14	204	190				
22	192	205	0.9	0.033 5	0.000 2	0.231 9	0.004 4	0.050 2	0.001 0	212	1	212	4	205	44				
23	87	90	1.0	0.026 2	0.000 2	0.184 9	0.008 8	0.051 1	0.002 4	167	1	172	8	245	107				
24	96	97	1.0	0.025 9	0.000 2	0.181 4	0.018 4	0.050 9	0.005 1	165	1	169	17	235	231				
25	99	103	1.0	0.026 3	0.000 2	0.179 6	0.011 6	0.049 5	0.003 2	168	1	168	11	171	150				



25 个测点的 U-Pb 加权平均年龄分为 2 组:第一组有 9 个测点(测点位置在锆石核部及边缘)落于谐和曲线上,加权平均年龄为 $(212\pm 1)$  Ma;第二组有 16 个测点(测点位置在锆石核部及边缘)也落于谐和曲线上,加权平均年龄为 $(166\pm 1)$  Ma。两组锆石均为岩浆成因,形貌相似,难以区分。研究区存在晚三叠世花岗岩,时代与第一组锆石年龄相近,暗示第一组锆石可能是来源于晚三叠世花岗岩

的捕获锆石。研究区及附近未见与第二组锆石年龄相近的侵入岩,因此,第二组锆石年龄可能代表了粗安岩的成岩年龄。锆石 U-Pb 年龄分析表明,岩石形成于中侏罗世。

### 5 地球化学特征

北岸林场一带中酸性火山岩主量元素、微量元素含量及特征参数见表 2。

表 2 北岸林场一带中酸性火山岩主量元素、微量元素含量及特征参数

Table 2 Major element and trace element content and characteristic parameters of intermediate-acidic volcanic rocks in Beian-Linchang area																
样品编号	岩性	主量元素含量/%												特征参数		
		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	烧失量	A/CNK	$\sigma$	Mg <sup>#</sup>
P <sub>13</sub> LT3B9	粗安岩	68.34	0.40	14.50	2.16	1.27	0.09	0.75	2.05	4.92	3.81	0.11	0.94	0.91	3.01	29.4
P <sub>14</sub> B31-1	粗面英安岩	59.58	0.67	16.48	3.61	2.72	0.10	2.67	3.31	4.51	3.27	0.22	2.16	0.97	3.65	44.4
D0001B	粗面英安岩	65.20	0.63	15.19	2.52	2.21	0.09	0.86	2.01	4.87	3.97	0.21	1.70	0.95	3.52	25.5
样品编号	岩性	微量元素含量/ $10^{-6}$												稀土元素含量/ $10^{-6}$		
		Rb	Sr	Ba	Nb	Ta	Zr	Th	Hf	Ga	Ti	U	Cr	La	Ce	Pr
P <sub>13</sub> LT3B9	粗安岩	160	201	807	17.40	1.41	364	23.6	10.4	17.4	2 400	4.75	11.6	42.9	101.0	11.10
P <sub>14</sub> B31-1	粗面英安岩	114	292	961	8.69	0.86	232	14.7	6.5	29.4	4 020	2.68	20.2	33.2	63.5	7.25
D0001B	粗面英安岩	127	660	872	9.52	0.82	191	14.4	5.7	16.6	3 780	3.36	10.9	34.8	72.8	9.10
样品编号	岩性	稀土元素含量/ $10^{-6}$												特征参数		
		Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	$\Sigma$ REE	(La/Yb) <sub>N</sub>	$\delta$ Eu
P <sub>13</sub> LT3B9	粗安岩	42.1	8.50	1.61	8.01	1.33	7.55	1.46	4.20	0.75	4.69	0.71	38.4	274.3	6.56	0.60
P <sub>14</sub> B31-1	粗面英安岩	25.0	3.88	1.00	3.70	0.50	2.66	0.53	1.64	0.31	2.02	0.33	15.1	160.6	11.79	0.81
D0001B	粗面英安岩	33.1	5.75	1.35	5.21	0.75	3.75	0.70	1.95	0.33	2.18	0.33	19.6	191.7	11.46	0.76

#### 5.1 主量元素

北岸林场一带中酸性火山岩 SiO<sub>2</sub> 含量为 59.58%~68.34%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 14.50%~16.48%, Na<sub>2</sub>O 含量为 4.51%~4.92%, K<sub>2</sub>O 含量为 3.27%~3.97%, (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) 为 7.78%~8.84%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 为 0.73~0.82, MgO 含量为 0.75%~2.67%, Mg<sup>#</sup> 值为 25.5~44.4, 显示岩石相对富钠、低钾、碱含量偏高、镁含量偏低的特征。在 TAS 分类图(图 5)中,样品点主要落入碱性靠近亚碱性区,有 2 个样品落入粗面英安岩区,1 个落入粗安岩区,与实际命名相吻合,A/CNK 为 0.91~0.97(<1),里特曼指数  $\sigma$  为 3.01~3.65,反映岩石具有中酸性准铝质偏碱性的特征。

#### 5.2 稀土及微量元素

北岸林场一带中酸性火山岩稀土元素总量

( $\Sigma$ REE)为 $(160.6\sim 274.3)\times 10^{-6}$ ,轻、重稀土元素分馏较为明显,(La/Yb)<sub>N</sub> 为 6.56~11.79,轻稀土

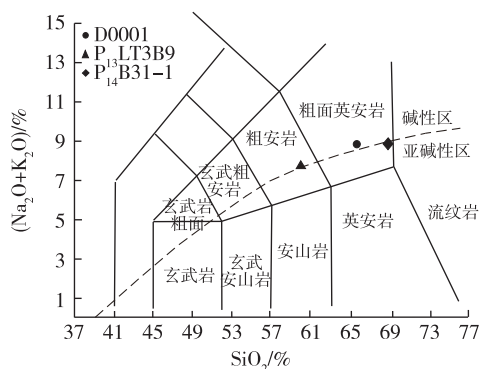


图 5 北岸林场一带中酸性火山岩 TAS 分类图  
Fig. 5 TAS classification diagram of intermediate-acidic volcanic rocks in Beian-Linchang area

元素相对富集,重稀土元素相对亏损。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图 6(a))上,曲线表现为右倾“海鸥式”,具弱的负 Eu 异常( $\delta\text{Eu}=0.60\sim$

0.81)。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 6(b))中,大离子亲石元素相对富集 Rb、Th、U, 贫 Sr, 高场强元素贫 Nb、Ta、Ti。

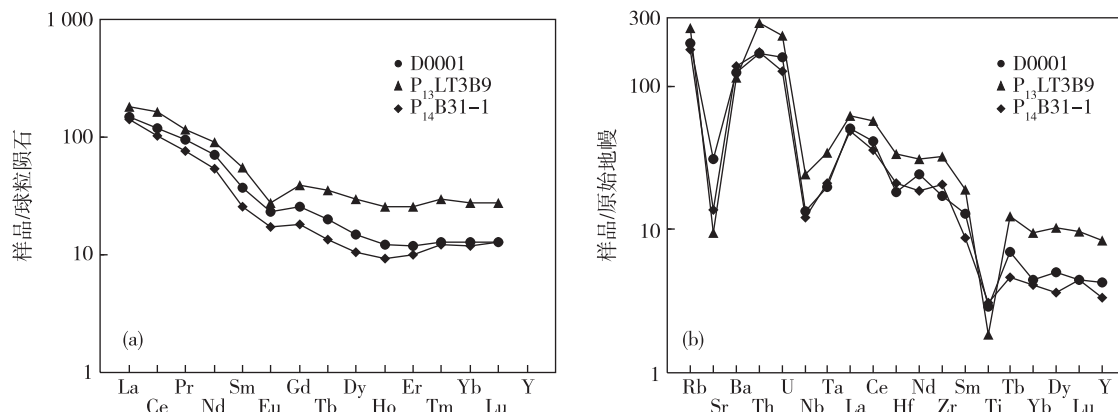


图 6 北岸林场一带中酸性火山岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(a)及原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution diagram (a) and primitive mantle normalized trace elements spidergram (b) of intermediate-acidic volcanic rocks in Beian-linchang area

## 6 讨论

### 6.1 构造环境

岩石  $A/\text{CNK}$  为  $0.91\sim 0.97 (<1)$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$  为  $6.56\sim 11.79$ , 具弱的负 Eu 异常, 所有样品具有相似的轻稀土元素相对富集而重稀土元素相对亏损的右倾型稀土元素配分模式, 大离子亲石元素相对富集 Rb、Th、U, 贫 Sr, 高场强元素贫 Nb、Ta、Hf、Ti, 具有俯冲带岩浆弧作用的特点<sup>[36,46]</sup>或造山

带 I 型花岗岩特点<sup>[47-48]</sup>。岩石  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为  $14.50\%\sim 16.48\%$ ,  $DI$  为  $68.73\sim 85.83$ , 与 PETRO W J<sup>[49]</sup> 定义的压性与张性环境(压性  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为  $13.95\%\sim 14.90\%$ ,  $DI$  为  $83.10\sim 83.34$ ; 张性  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为  $12.23\%\sim 13.34\%$ ,  $DI$  为  $88.87\sim 91.97$ ) 岩浆岩对比, 岩石形成于压性环境。 $\lg[\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]-\text{SiO}_2$  构造环境判别图(图 7(a))中样品点落入挤压型区; 在  $R_1-R_2$  构造环境判别图(图 7(b))中, 样品点同样落入造山晚期。

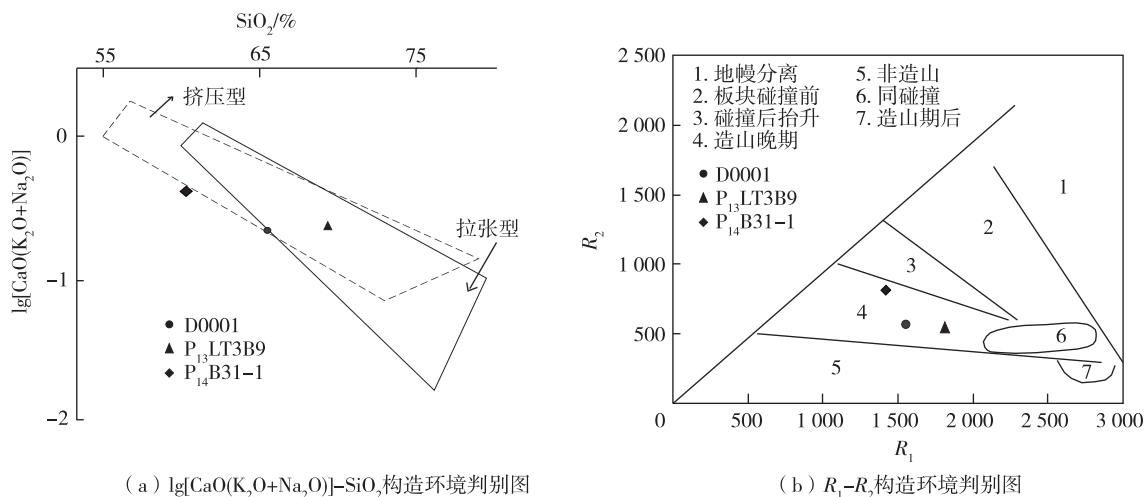


图 7 北岸林场一带中酸性火山岩构造环境判别图

Fig. 7 Tectonic setting discrimination of intermediate-acidic volcanic rocks in Beian-Linchang area

综上所述,笔者认为北岸林场一带中酸性火山岩形成的构造环境为与俯冲背景有关的造山晚期挤压构造环境。

## 6.2 岩浆源区

火山岩源区主要观点有<sup>[50]</sup>:幔源玄武岩浆的结晶分异作用;深部岩石的部分熔融;壳幔岩浆混合。北岸林场一带中酸性火山岩具有较强的 Nb 亏损,显示了大陆地壳的特征<sup>[51]</sup>。Th、U 相对富集,与大陆地壳物质和海洋沉积物强烈富集 Th、U 特征一致,反映其源区可能为大陆地壳<sup>[52]</sup>。在岩浆体系演化过程中,Nb/Ta 值比较稳定,在大陆地壳中,Nb/Ta 值约为 11,而地幔和源于地幔的岩浆熔体 Nb/Ta 值约为 17.5<sup>[53]</sup>,北岸林场一带中酸性火山岩 Nb/Ta 值为 10.11~12.34,与大陆地壳接近。Cr 含量为 $(10.9\sim20.2)\times10^{-6}$ ,与乌兰浩特地区壳源中性火山岩 Cr 含量 $(13.9\sim37.0)\times10^{-6}$ <sup>[54]</sup>相近。岩石相对偏高硅、富碱、贫镁,富集大离子亲石元素 Rb、Th、U,亏损 Sr、Nb、Ti,表明这些岩石应为地壳物质部分熔融的产物<sup>[55]</sup>。粗安岩样品  $Mg^\#$  值为 29.4,粗面英安岩样品  $Mg^\#$  值为 25.5~44.4,其中 1 个样品  $Mg^\#$  值偏低( $<40$ )<sup>[56]</sup>,反映与上述一系列岩化指数等判别岩浆来源于地壳物质相吻合。 $P_{14}B31-1$  样品  $Mg^\#$  值为 44.4,位于中酸性火山岩南缘,岩石经历了构造破碎或糜棱岩化作用,较强的绿泥石化和绢云母化等可能造成了岩石  $Mg^\#$  值偏高,考虑其他 2 个样品  $Mg^\#$  值均较低,判断岩浆来源与幔源成分关系不大。综上所述,北岸林场一带以粗安岩、粗面英安岩为主的中酸性火山岩岩浆来源于地壳物质的部分熔融。

前文在讨论粗安岩样品锆石 CL 阴极发光图像和测年结果时得到岩浆有晚三叠世侵入岩的参与。但晚三叠世侵入岩是作为母岩经历部分熔融作用为中酸性火山岩提供了岩浆,还是作为围岩捕虏体参与了中酸性火山岩浆活动,需要结合一些指标进一步判定。Nb/Ta 值在岩浆体系演化过程中比较稳定,研究区晚三叠世花岗岩年龄为 205~219 Ma<sup>[41]</sup>,花岗岩 Nb/Ta 值为 16.50,显然与北岸林场一带中酸性火山岩的 Nb/Ta 值(10.11~12.34)相差较大,可知晚三叠世花岗岩并不是中酸性火山岩的母岩。

## 6.3 地质意义

北岸林场一带中酸性火山岩形成的构造背景

为与俯冲背景有关的造山晚期挤压构造环境。区域资料<sup>[57]</sup>反映大兴安岭南段存在中侏罗世陆相含煤盆地,中北段存在双峰式火山岩组合<sup>[37]</sup>,中南段林西县一带存在中侏罗世(170 Ma)辉绿岩岩墙群<sup>[9]</sup>,北段新开岭一带存在中侏罗世变质核杂岩<sup>[58]</sup>,一系列岩浆作用与构造活动表明大兴安岭在中侏罗世主要处于伸展构造背景。同一时代构造上不太可能存在既张性又挤压的“等时异相”现象。

早中生代以来,大兴安岭主要受北部蒙古—鄂霍茨克洋中段的闭合及东部古太平洋板块俯冲作用影响,蒙古—鄂霍茨克洋中段闭合动力学过程研究<sup>[3,10,36,59]</sup>表明,额尔古纳地块北缘存在蒙古—鄂霍茨克洋壳南向的俯冲作用,形成了大量陆缘弧背景 I 型-A 型岩浆岩,闭合于早侏罗世<sup>[3,59]</sup>。古太平洋板块俯冲作用对大兴安岭构造-岩浆活动的影响已有许多认识<sup>[9,11,60-62]</sup>,相对于古太平洋板块俯冲带来来说,大兴安岭处于欧亚板块内部,距离古太平洋板块俯冲带较远,古太平洋板块俯冲作用可能对大兴安岭地壳加厚减薄有影响,但不足以直接产生大量岩浆,甚至有学者<sup>[63]</sup>认为古太平洋板块俯冲与大兴安岭岩浆活动无关。

北岸林场一带粗安岩锆石 CL 图像反映,锆石多呈不规则粒状,锆石棱角圆化,晶面多有熔蚀,与由岩浆运移结晶形成的较规则的锥柱状锆石区别较大,暗示岩浆在形成后可能经历了较长时间运移,地球化学环境发生了改变。

研究区东侧早侏罗世早期满归变中酸性火山岩,其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $(199\pm1)$ Ma,被认为形成于蒙古—鄂霍茨克洋俯冲闭合过程<sup>[59]</sup>。北岸林场一带中酸性火山岩与满归变中酸性火山岩相比,二者岩石成因、形成构造环境相同<sup>[41]</sup>,满归变中酸性火山岩同样存在捕获岩浆锆石,年龄为 $(226.5\pm1.7)$ Ma<sup>[59]</sup>,这些特征均暗示二者可能经历了相同或相近的地球动力学过程。

以北岸林场一带粗安岩、粗面英安岩为代表的中酸性火山岩可能与早侏罗世蒙古—鄂霍茨克洋闭合有关。北岸林场一带中酸性火山岩岩浆起源于早侏罗世蒙古—鄂霍茨克洋闭合过程中造山晚期构造环境,与早侏罗蒙古—鄂霍茨克洋最终闭合时间(约 184 Ma)<sup>[41]</sup>相比,岩浆至少经历了 18 Ma 跨时代运移至地壳浅部,在中侏罗世张性构造环境喷发成岩。

## 7 结论

(1) 锆石 U-Pb 同位素定年结果表明, 北岸林场一带中酸性火山岩形成于  $(166 \pm 1)$  Ma, 属中侏罗世火山岩。

(2) 岩石地球化学分析结果表明, 北岸林场一带中酸性火山岩为地壳物质经部分熔融作用而成。

(3) 北岸林场一带中酸性火山作用可能起源于早侏罗世蒙古—鄂霍茨克洋闭合过程中造山晚期构造环境, 在中侏罗世张性构造环境喷发成岩。

## 参考文献

- [1] 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化 1: 400 万中国地质构造图简要说明[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 1-124.
- [2] 李锦轶, 莫中国, 和政军, 等. 大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造化重建的制约[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 157-168.
- [3] WU F Y, 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.
- [4] 陈衍景, 张成, 李诺, 等. 中国东北钼矿床地质[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(5): 1223-1268.
- [5] 付俊彧, 刘英才, 赵春荆, 等. 东北地区大地构造相图 (1: 150 万附说明书)[M]. 北京: 地质出版社, 2018: 1-106.
- [6] 李双林, 欧阳自远. 兴蒙造山带及邻区的构造格局与构造演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(3): 45-54.
- [7] 吴福元, 孙德有, 林强. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报, 1999, 15(2): 181-189.
- [8] 林强. 东北亚中生代火山岩研究若干问题的思考[J]. 世界地质, 1999, 18(2): 14-22.
- [9] 邵济安, 张履桥, 牛宝磊. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 339-346.
- [10] KRAVCHINSKY V A, COGNE J P, HARBERT W P, et al. Evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberia [J]. Geophysical Journal International, 2002, 148(1): 34-57.
- [11] 赵书跃, 韩彦东, 朱春燕, 等. 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, 2004, 10(3): 276-287.
- [12] 邵济安, 张履桥, 牟保磊, 等. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [13] 张允平. 东北亚地区晚侏罗—白垩纪构造格架主体特点[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(5): 1267-1284.
- [14] 余宏全, 李进文, 向安平, 等. 大兴安岭中北段原岩锆石 U-Pb 测年及其与区域构造演化关系[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 571-594.
- [15] 邵济安, 唐克东. 东北亚中生代洋陆过渡带的研究及启示[J]. 岩石学报, 2015, 31(10): 3147-3154.
- [16] 赵一鸣, 张德全. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[M]. 北京: 地震出版社, 1997.
- [17] 阎鸿铨, 叶茂, 孙维志, 等. 大兴安岭满洲里和乌奴尔地区银、铅、锌和铜矿床预测研究[R]. 长春: 吉林大学, 2001.
- [18] 邵军, 王世称, 马晓龙, 等. 大兴安岭北段金、多金属矿床区域成矿特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2003, 33(1): 32-36.
- [19] 刘建明, 张锐, 张庆洲. 大兴安岭地区的区域成矿特征[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 269-277.
- [20] 腾宪锋, 王建民, 王翠平, 等. 黑龙江省黑河市三道湾子岩金矿床地质特征[J]. 地质与资源, 2005, 14(4): 261-264.
- [21] 武广. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用[D]. 长春: 吉林大学, 2006: 20-65.
- [22] CHEN Y J, CHEN H Y, ZAW K, et al. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits on China: An overview[J]. Ore Geology Reviews, 2007, 31: 139-169.
- [23] 王璞君, 冯志强, 等. 盆地火山岩: 岩性、岩相、储层、气藏、勘探[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [24] 余宏全, 李红红, 李进文, 等. 内蒙古大兴安岭中北段铜铅锌金银多金属矿床成矿规律与找矿方向[J]. 地质学报, 2009, 83(10): 1456-1472.
- [25] 杨祖龙, 张德全, 李进文, 等. 得尔布干成矿带西南段矿床类型、成矿分带及找矿方向[J]. 矿床地质, 2009, 28(1): 53-62.
- [26] 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锆石 U-Pb 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.
- [27] 张梅, 翟裕生, 沈存利, 等. 大兴安岭中南段铜多金属矿床成矿系统[J]. 现代地质, 2011, 25(5): 819-831.
- [28] 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.
- [29] 刘翼飞, 聂凤军, 孙振江, 等. 岔路口特大型钼多金属矿



- 床的发现及其意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(4): 759-764.
- [30] 李长华, 吴燕清, 王世成, 等. 大兴安岭中南段火山岩型铀矿成矿条件及远景预测[J]. 铀矿地质, 2018, 34(6): 329-336.
- [31] 刘清清, 张君, 郭厚福, 等. 内蒙古鄂伦春旗库伦迪铅锌矿床矿石特征研究[J]. 华东地质, 2016, 37(2): 120-130.
- [32] 何鹏, 苏航, 马一行, 等. 内蒙古昌图锡力地区采用多学科找矿方法发现多层锰银锌矿体[J]. 中国地质, 2018, 45(5): 1084-1085.
- [33] 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.
- [34] 葛文春, 林强, 孙德有, 等. 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, 2000, 25(2): 172-178.
- [35] 林强, 葛文春, 吴福元, 等. 大兴安岭中生代花岗岩类的地球化学[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 403-412.
- [36] 余宏全, 梁玉伟, 李进文, 等. 内蒙古莫尔道嘎地区早中生代岩浆作用及其地球动力学意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(6): 1831-1864.
- [37] 周其林, 王献忠, 吉峰, 等. 大兴安岭中生代火山岩地层对比[J]. 地质论评, 2013, 59(6): 1077-1084.
- [38] 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 内蒙古1: 5万布日都大队、马尼特、迪彦苏木、昌图希勒斯特台幅区域地质矿产调查报告[R]. 齐齐哈尔: 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院, 2016.
- [39] 丁秋红, 王杰, 李晓海, 等. 大兴安岭东南部中侏罗统新民组研究新进展[J]. 地质与资源, 2017, 26(5): 425-438.
- [40] 周国武, 能超群, 林敏, 等. 内蒙古科右中旗扎木钦地区新民组地层的厘定及其地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1579-1587.
- [41] 黑龙江省地质调查研究总院. 黑龙江1: 25万漠河、漠河县幅区域地质调查报告[R]. 齐齐哈尔: 黑龙江省地质调查研究总院, 2014.
- [42] 耿建珍, 李怀坤, 张健, 等. 锆石 Hf 同位素组成的 LA-MC-ICP-MS 测定[J]. 地质通报, 2011, 30(10): 1508-1513.
- [43] LIU Y S, HU Z C, ZONG K Q, et al. Reappraisal and Refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [44] LUDWIG K R. Users Manual for Isoplot/EX (ver. 3.0): A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 2003: 1-55.
- [45] PARRISH R R. Zircon U-Th-Pb Geochronology by isotope dilution-Thermal Ionization Mass Spectrometry[J]. Mineralogy and Geochemistry, 2003, 53(1): 183-213.
- [46] 刘翼飞, 聂风军, 江思宏, 等. 内蒙古查干花钼矿区成矿花岗岩地球化学、年代学及成岩作用[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 409-420.
- [47] 周建厚, 丰成友, 沈灯亮, 等. 新疆祁漫塔格维宝矿区西北部花岗闪长岩年代学、地球化学及其构造意义[J]. 地质学报, 2015, 89(3): 473-486.
- [48] 李永军, 杨高学, 李鸿, 等. 新疆伊宁地块晚泥盆世火山岩的确认及其地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1225-1237.
- [49] PETRO W L. 挤压性和拉张性板块边缘深成岩套主要元素地球化学[J]. 国外地质科技, 1981(7): 47-57.
- [50] 李杰, 吕新彪, 陈超, 等. 大兴安岭中段塔尔气地区流纹岩年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(6): 906-918.
- [51] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992: 97-109.
- [52] 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.
- [53] GREEN T H. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system[J]. Chemical Geology, 1995, 120(3/4): 347-359.
- [54] 肖林, 程招勋, 都士卓, 等. 乌兰浩特地区中性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因探讨[J]. 华东地质, 2019, 40(4): 253-263.
- [55] 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1217-1238.
- [56] RAPP R P, WATSON E B. Dehydration melting of metabasalt at 8~32 kbar: Implications for continental growth and crust mantle recycling[J]. Journal of Petrology, 1995, 36(4): 891-931.
- [57] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.
- [58] 赵海滨, 莫宣学, 徐受民, 等. 黑龙江新开岭变质核杂岩的组成及其演化[J]. 地质科学, 2007, 42(1): 176-188.
- [59] 李中会, 李睿杰, 李阳, 等. 大兴安岭满归地区变中酸性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质调查, 2020, 7(1): 47-52.
- [60] 邵济安, 张履桥, 肖庆辉, 等. 中生代大兴安岭的隆起——一种可能的陆内造山机制[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 789-794.
- [61] 万天丰, 朱鸿. 中国大陆及邻区中生代-新生代大地构造

- 造与环境变迁[J].现代地质,2002,16(2):107-120.
- [62] 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.
- [63] 邵济安,刘福田,陈辉,等.大兴安岭—燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用的关系[J].地质学报,2001,75,(1):56-63.

## Determination and geological significance of Middle Jurassic intermediate-acidic volcanic rocks in central-north region of the Great Khingan Mountains volcanic belt

LI Zhonghui<sup>1</sup>, LI Yang<sup>2</sup>, LI Ruijie<sup>1</sup>, SU Hang<sup>1</sup>, LI Kai<sup>1</sup>

(1. Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, Heilongjiang, China;

2. Heilongjiang Institute of Geological Exploration, Qiqihar 161006, Heilongjiang, China)

**Abstract:** By studying the geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the intermediate-acid volcanic rocks in the Beian-Linchang area, central-north region of Great Khingan Mountains volcanic belt, the age and tectonic setting of the volcanic rocks were discussed. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating yielded a weighted mean age of  $(166 \pm 1)$  Ma, suggesting that the volcanic rocks were formed in Middle Jurassic, mainly composed of rhyolites, trachydacites and trachytes, with  $\text{SiO}_2$  content of  $59.58\% \sim 68.34\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  of  $7.78\% \sim 8.84\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  of  $0.73 \sim 0.82\%$ ,  $\text{MgO}$  content of  $0.75\% \sim 2.67\%$  and  $\text{Mg}^\#$  of  $25.5 \sim 44.4$ , showing that the rock is relatively rich in silicon, sodium, low in potassium, high in alkali and low in magnesium. The TAS diagram and  $A/\text{CNK}$  ( $0.91 \sim 0.97$ ) showed the characteristics of quasi-aluminium alkalinity of rocks, with medium amount of rare earth elements, distinct fractionation of light and heavy rare earth elements ( $(\text{La}/\text{Yb})_N = 6.56 \sim 11.79$ ), and weak Eu negative anomaly ( $\delta\text{Eu} = 0.60 \sim 0.81$ ). The trace elements are relatively rich in large ionophile elements Rb, Th, U, and low in high-field strong elements Nb, Ta, Hf, Ti. Geological and geochemical analyses show that the intermediate-acid volcanic rocks are the products of partial melting of crustal materials, the magma might be originated from the late orogenic tectonic environment during the closure of Mongolia-Okhotsk Ocean in Early Jurassic, and the erupting diagenesis occurred in the Middle Jurassic extensional tectonic setting, providing an example of the transtemporal and transtectonic activities of the magma formed in the subduction orogenic environment in the crust.

**Key words:** intermediate-acidic volcanic rocks; central-northern region of Great Khingan Mountains volcanic belt; zircon U-Pb dating; tectonic setting