

文章编号: 1006-6616 (2011) 03-0274-12

内蒙古赤峰北部晚侏罗世中酸性 火山岩地球化学特征

郝彬¹, 杨欣德², 张明洋¹, 谢乘飞¹

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 内蒙古赤峰北部晚侏罗世中酸性火山位于华北克拉通北缘内蒙古隆起上, 熔岩主要有流纹岩、安山岩、辉石安山岩。岩石地球化学研究表明, 中性火山岩 SiO₂ 含量 50.74% ~ 58.82%, Al₂O₃ 含量 15.32% ~ 17.17%, Mg[#] 值 0.45 ~ 0.52, 全碱 (K₂O + Na₂O) 含量 4.89 ~ 7.05, 属于钠质, 钙碱性系列; 流纹岩 SiO₂ 含量 74.68% ~ 74.86%, Al₂O₃ 含量 12.09% ~ 13.13%, Mg[#] 值 0.13 ~ 0.39, 全碱 (K₂O + Na₂O) 含量 7.83% ~ 7.99%, 属于钙碱性—钾玄岩系列。中性火山岩轻重稀土分馏明显, (La/Yb)_N 值为 9.6 ~ 16.09, Eu 异常不明显, Eu^{*}/Eu 值为 0.94 ~ 1.12, 富集 Pb 等 LILE, 亏损 Ni、Ta 等 HFSE; 流纹岩与中性火山岩具有相似的微量元素分布特征, (La/Yb)_N 值为 7.86 ~ 10.05, Eu 负异常明显。结合前人研究资料, 初步认为研究区中性火山岩形成于板内伸展减薄环境下; 安山质岩浆可能是在岩石圈伸展导致软流圈上涌和地温梯度增高背景下富集岩石圈地幔部分熔融的产物。

关键词: 中酸性火山岩; 晚侏罗世; 岩石圈地幔; 伸展减薄; 赤峰北部

中图分类号: P595

文献标识码: A

中国东北地区中生代火山岩构成规模巨大的火山岩带, 横跨西伯利亚与华北克拉通两大板块, 属于环太平洋火山岩带的一部分; 并且东北地区自晚古生代—早中生代经历了古亚洲洋的闭合及华北克拉通与西伯利亚地块的最终拼贴^[1,2], 以及之后从板块俯冲转变为裂陷作用为主导的陆内构造运动, 并伴随有强烈的火山作用, 形成了盆岭构造样式组合^[3], 导致该区构造岩石类型复杂, 所以一直备受国内外地质学者的关注。关于该区火山岩的成因有很多不同的认识, 主要包括以下几种观点: 邵济安等^[4]认为晚中生代火山岩是软流圈隆起与岩石圈伸展构造背景下岩浆活动的产物; 徐公愉^[5]、赵国龙等^[6]认为是太平洋斜向俯冲作用下岛弧性熔岩; 也有学者认为晚中生代巨大的火山岩带与富集型热地幔柱上涌有关^[7~9]; 还有的学者认为是地壳加厚以后以拆沉作用为主导的岩浆活动的产物^[10]; 蒋国源等^[11]则认

收稿日期: 2011-04-20

基金项目: 中国地质调查局“内蒙古 1: 50000 炒米房幅 (K50E006017)、土城子幅 (K50E006018)、新开地幅 (K50E007017)、大黑水幅 (K50E007018) 区调”项目。

作者简介: 郝彬 (1986-), 男, 中国地质大学地球科学与资源学院硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。
E-mail: 330341000@qq.com

为是裂谷背景下岩浆活动的产物。这些不同的观点都不同程度强调了太平洋板块对中国东部的俯冲作用,但是在空间上该区域与太平洋板块俯冲处存在巨大的距离^[12,13],因此没有一个模式能够完全解释东北地区如此巨大的火山岩带的成因,可能是因为研究的具体区域不同而形成了不同的成因模式。

本文的研究区属华北克拉通北缘内蒙古隆起,相比于大兴安岭造山带、兴蒙造山带以及辽西等地区,本区研究资料相对较少。区内大量火山岩呈北东向展布,与区域上晚中生代火山岩带展布一致,可能含有华北克拉通破坏的信息,加之华北克拉通破坏的时限存在着众多的分歧^[14],同时中酸性火山岩是造山带中分布最广泛的岩石类型,尤其安山岩因其成因复杂,一直是国际火山岩研究的热点。因此本文试图通过对区域内中酸性火山岩的地球化学特征进行研究,尤其是对安山岩地球化学特征进行探讨,解释其成因及形成的大地构造背景,为中国东北地区火山岩的研究及华北克拉通减薄的研究提供一些新的资料。

1 研究区地质概况与样品描述

研究区地理位置位于内蒙古赤峰市北部地区,大地坐标范围为:东经 118°00′~118°30′,北纬 42°50′~43°10′;大地构造位置属于华北克拉通北缘的内蒙古隆起,西拉木伦河断裂以南,赤峰开源断裂以北的华北克拉通与西伯利亚结合部位(见图1)。区内晚中生代火山作用强烈,出露大片晚侏罗世火山岩,为晚侏罗世火山喷发旋回的产物^[15],包括满克头鄂博亚旋回和白音高老亚旋回。满克头鄂博亚旋回由满克头鄂博组和玛尼吐组构成,白音高老亚旋回由白音高老组构成^[15]。火山旋回多以溢流相火山熔岩或爆发相火山碎屑岩开始,至沉积相火山碎屑沉积岩结束,火山活动具间歇性特点。填图过程中发现,测区内满克头鄂博组岩性主要以流纹岩、安山岩、辉石安山岩、流纹质凝灰岩、沉凝灰岩为主,只有少量的基性火山岩,不同于大兴安岭南段晚中生代双峰式火山岩特征^[16];玛尼吐组主要以安山岩、辉石安山岩、流纹质凝灰岩为主;白音高老组主要以流纹岩、玻屑晶屑凝灰岩为主。本文所采样品主要为晚侏罗世中酸性火山熔岩,岩性特征描述如下:

安山岩 新鲜岩石呈灰黑色、浅紫色,斑状结构,板状构造,局部见气孔-杏仁构造;斑晶 20%~45%,主要为斜长石和辉石,斜长石呈半自形板状,部分聚斑状产出,高岭土化、绢云母化明显,辉石为单斜辉石,呈半自形柱粒状;基质为微晶状结构,占 55%~80%,主要为斜长石、橄榄石和玻璃质。杏仁体被碳酸盐、次生石英充填。副矿物为磷灰石、锆石。

辉石安山岩 新鲜岩石呈灰绿色,斑状结构,块状构造;斑晶 15%~20%,主要为斜长石,呈自形—半自形板状,杂乱分布;基质为似交织状结构,占 80%~85%,主要为斜长石、辉石、石英。副矿物为绢云母、碳酸盐、皂石。

流纹岩 新鲜岩石呈灰绿色、淡紫色,斑状结构,块状构造;斑晶 10%左右,主要为钾长石,呈半自形板状,杂乱分布,有的可见钠质补片;基质为包含嵌晶结构,占 90%左右,主要为长石和石英,长石一般呈微粒状,石英呈它形粒状;存在着明显的钾化。

2 分析方法与地球化学特征

2.1 分析方法

所采集的样品首先经过薄片鉴定,选择新鲜样品用于地球化学分析。主量和微量元素分析

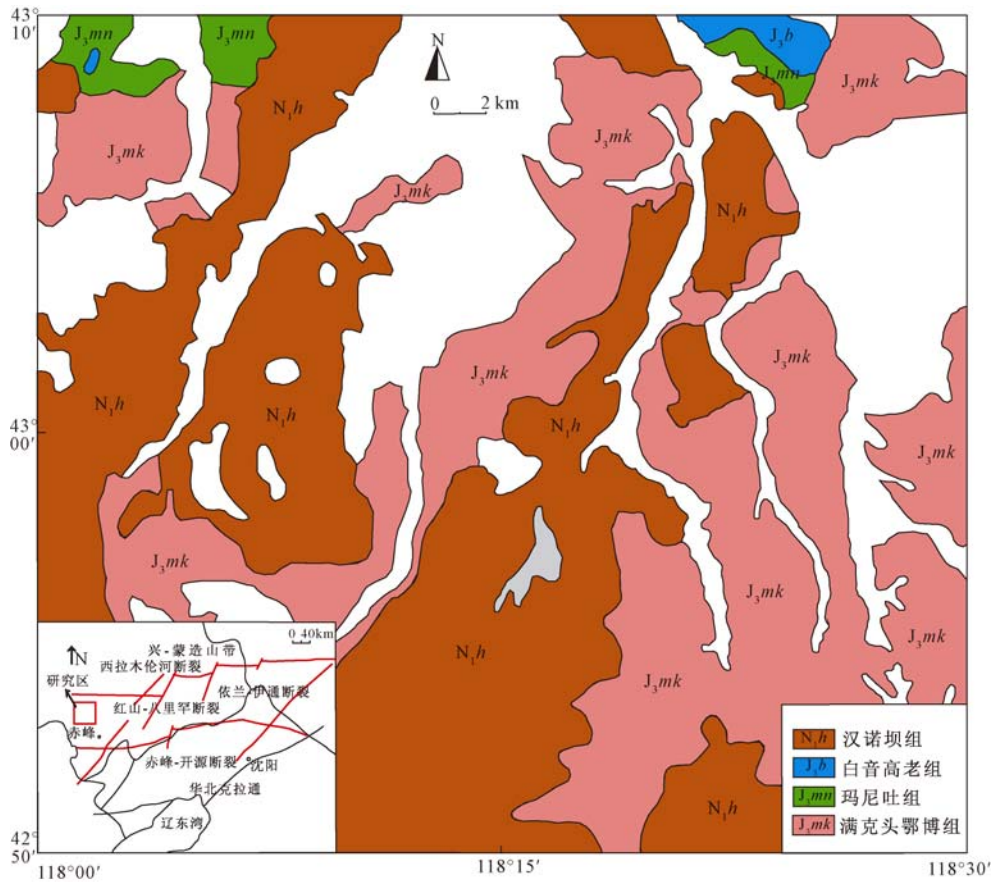


图1 研究区区域地质图 (据文献 [12] 和五分地幅地质图, 略修改)

Fig. 1 Regional geological map of the studied area

在河北省地质矿产调查研究所实验室进行, 用于主量和微量元素分析的样品粗碎和中碎在颞式破碎机中进行, 最后采用玛瑙质无污染设备细碎至粒径 $74 \mu\text{m}$ (200 目), 样品加工过程均在无污染设备中进行。主量元素分析采用重量法完成, 微量元素分析采用 X series 2 等离子质谱仪完成。主量元素、微量元素分析精度一般优于 5%。

2.2 主量元素地球化学特征

样品主要分析元素见表 1。从表 1 中可以看出, 6 件中性火山岩 (安山岩 + 辉石安山岩) SiO_2 含量变化不大, 在 50.74% ~ 58.82% 之间, 平均为 52.57%。6 件样品扣除烧失量和水后换算成 100% 进行火山岩 TAS 图投影, 分别投入玄武质安山岩、安山岩、粗安岩、粗面岩区 (见图 2a)。CF017-7、CF020-4 号样品的岩石薄片特征与其他安山岩相似, 只是由于后期蚀变导致 Na 升高, 因此投入粗安岩区, 但仍应属于安山岩类; CF022-30 号样品由于 SiO_2 含量较其他安山岩样品高, 加之后期蚀变导致 Na 含量较高, 所以投入粗面岩区, 但同样也属于安山岩类。6 件中性火山岩样品的 MgO 、 TiO_2 含量偏高, 平均值分别为 3.89%、1.33%。2 件流纹岩样品的 SiO_2 含量分别为 74.68%、74.86%; TiO_2 含量为 0.23% 和 0.16%; CaO 和 MgO 含量偏低 (CaO 含量为 0.2% 和 0.43%, MgO 含量为 0.22% 和 0.32%)。所有样品全碱 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 含量为 4.89% ~ 7.83%, 中性火山岩为钠质 ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 0.29 ~ 0.54), 流纹岩样品属于钾质 ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 1.16 ~ 3.34)。在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图上, 除

准化蛛网图 (见图4) 上, 总体富集 K、Ba 和 Pb 等 LILE (大离子亲石元素), 而明显亏损 Nb、Ta、Ti 等 HFSE (高场强元素)。这些特征表明岩浆在上升演化过程中可能有地壳物质的参与。

表2 内蒙古赤峰北部晚侏罗世中酸性火山岩微量元素分析结果

Table 2 Trace element abundance of the Upper Jurassic intermediate-granitic volcanic rocks from northern Chifeng, Inner Mongolia

微量元素	安山岩/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)				辉石安山岩/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		流纹岩/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	
	CF016-21	CF017-7	CF020-3	CF020-4	CF017-37	CF022-30	CF016-19	CF022-37
La	42.25	31.00	44.64	53.48	29.54	28.19	94.29	36.63
Ce	83.64	61.98	88.14	102.40	63.15	56.37	236.40	71.55
Pr	11.32	8.77	11.28	13.07	8.66	7.75	21.48	9.15
Nd	47.15	37.22	44.00	50.24	35.55	32.59	77.80	33.95
Sm	8.77	7.15	7.68	8.22	6.31	6.01	14.22	5.84
Eu	2.49	2.23	2.20	2.43	1.98	2.03	0.40	1.26
Gd	6.92	5.80	6.29	6.95	4.88	4.84	12.31	4.74
Tb	1.02	0.88	0.88	0.98	0.68	0.72	2.33	0.74
Dy	4.88	4.37	4.18	4.62	3.14	3.44	13.82	3.86
Ho	0.87	0.81	0.78	0.81	0.57	0.63	2.75	0.75
Er	2.39	2.17	2.10	2.24	1.50	1.64	8.00	2.17
Tm	0.34	0.32	0.30	0.33	0.22	0.23	1.30	0.35
Yb	2.39	2.17	2.10	2.24	1.50	1.64	8.08	2.35
Lu	0.51	0.44	0.51	0.52	0.33	0.37	1.79	0.53
Y	22.55	20.10	18.73	20.72	15.35	15.23	68.78	19.86
Sc	10.49	12.47	11.16	13.63	12.38	12.18	4.74	2.45
V	185.90	217.10	105.30	126.80	219.10	148.00	2.36	4.69
Cr	9.46	60.66	42.45	50.70	57.89	40.28	4.01	5.71
Mn	559.00	641.10	634.40	775.20	602.70	713.30	137.40	510.10
Co	16.68	21.73	18.78	25.37	22.85	25.75	0.22	0.47
Ni	8.77	40.78	21.21	26.49	41.72	27.34	0.92	1.81
Cu	22.28	20.11	49.81	61.18	23.42	33.51	9.31	15.27
Zn	77.05	76.95	90.50	105.20	86.93	93.40	78.55	67.02
Zr	602.60	434.00	586.80	828.40	559.80	614.90	1836.00	668.80
Nb	7.08	4.97	9.41	11.05	7.15	6.30	40.17	10.96
Mo	1.02	0.67	0.61	0.58	0.39	0.65	1.48	1.03
Ba	569.10	824.20	2204.00	1023.00	706.90	721.90	51.92	1065.00
Ta	0.47	0.42	0.84	0.77	0.41	0.47	2.38	0.80
Pb	6.74	7.68	12.07	13.68	9.09	7.31	19.98	43.10
Th	4.17	3.57	6.83	7.61	1.06	2.60	14.91	10.77
U	1.12	1.37	1.47	1.43	0.32	0.77	4.92	2.29
Sr	639.30	542.30	485.00	520.10	593.80	861.10	12.60	57.27
Rb*	32.50	37.10	32.00	34.10	31.10	31.60	103.90	86.02
Hf*	3.34	3.57	3.50	3.21	3.58	3.65	6.26	5.13
Σ REE	237.49	185.41	233.81	269.25	173.36	161.68	563.75	193.73
Eu*/Eu	0.95	1.03	0.94	0.96	1.05	1.12	0.09	0.71
(La/Yb) _N	11.92	9.63	14.33	16.10	13.28	11.59	7.87	10.51
(Gd/Yb) _N	2.33	2.16	2.38	2.42	2.63	2.50	1.23	1.63

注: Rb*、Hf* 为参考数据, 安山岩、辉石安山岩 Rb*、Hf* 数据源自文献 [12], 流纹岩 Rb*、Hf* 数据源自文献 [16]; 样品由河北省地质矿产调查研究所实验室分析, 分析仪器为等离子体质谱仪

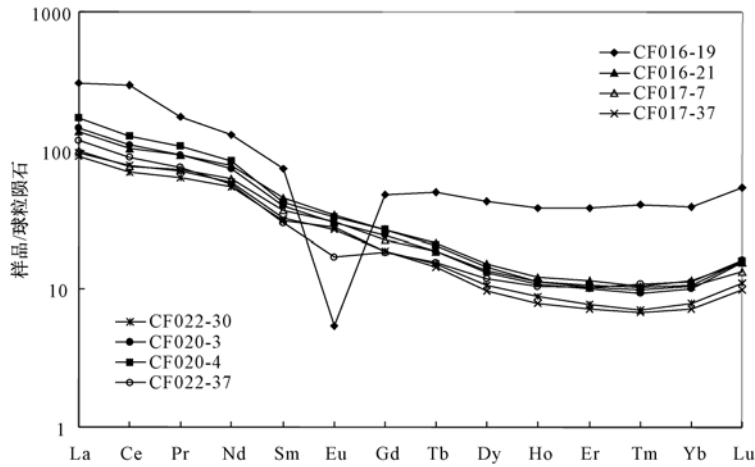


图3 内蒙古赤峰北部晚侏罗世中酸性火山岩的 REE 配分模式图
(球粒陨石值参见文献 [17])

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of Upper Jurassic intermediate-granitic volcanic rocks from Northern Chifeng, Inner Mongolia

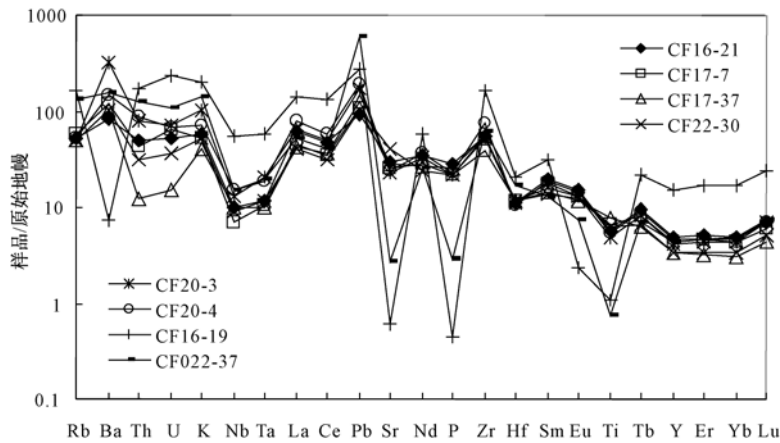


图4 内蒙古赤峰北部晚侏罗世中酸性火山岩微量元素蛛网图
(原始地幔采用文献 [18] 的元素丰度)

Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of Upper Jurassic intermediate-granitic volcanic rocks from Northern Chifeng, Inner Mongolia

流纹岩在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图上也表现为右倾，LREE（轻稀土元素）富集， $(La/Yb)_N$ 在 7.86 ~ 10.05 之间，HREE（重稀土元素）分馏不明显， $(Gd/Yb)_N$ 在 1.23 ~ 1.63 之间；Eu 负异常明显（ Eu^*/Eu 值分别为 0.09 和 0.71），表明流纹岩源残留相中存在斜长石或岩浆在演化过程中发生了斜长石的结晶分离。在微量元素原始地幔标准化蛛网图上，流纹岩类似于中性火山岩，同样是总体富集 LILE，亏损 Nb、Ta、Ti 等 HFSE，Sr、P 强烈亏损。

3 分析测试结果讨论

由于流纹岩样品存在钾化,且流纹岩样品较少,因此本文只讨论中性岩成因。

3.1 火山岩源区及成因

在火山岩研究中,安山岩的成因是一个长期争论的问题^[19],主要有3种观点:①部分熔融;②岩浆混合模式;③分离结晶模式。通常来说岩浆混合的标志是安山岩中出现不平衡的矿物共生组合和某些矿物成分呈现“双峰”分布^[19-21]及反环带构造,但是根据镜下鉴定,研究区内安山岩没有出现矿物的“双峰”分布以及反环带构造;并且在 (K_2O/P_2O_5) - SiO_2 、 (K_2O/TiO_2) - SiO_2 图解(见图5)上, K_2O/P_2O_5 和 K_2O/TiO_2 与 SiO_2 相关性不大,说明研究区安山质岩浆上升过程中地壳的混染相对较弱^[22]。因此初步认为研究区内安山岩不是岩浆混合的产物。在 La -(La/Sm)图解(见图6)上表现出部分熔融趋势,推断安山岩岩浆可能是经部分熔融形成。

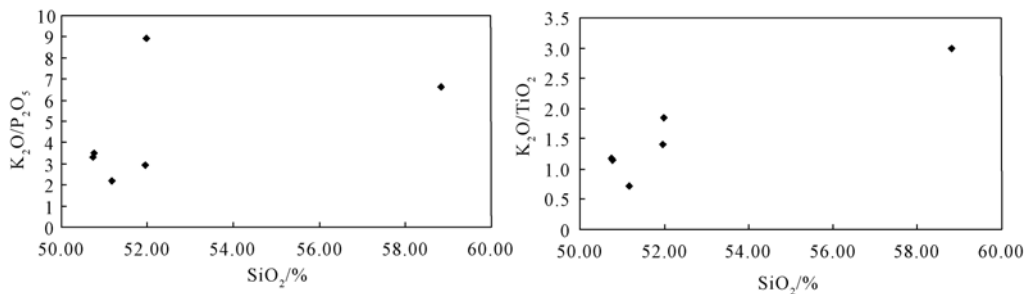


图5 内蒙古赤峰北部晚侏罗世中性火山岩 (K_2O/P_2O_5) - SiO_2 、 (K_2O/TiO_2) - SiO_2 图

Fig. 5 (K_2O/P_2O_5) - SiO_2 and (K_2O/TiO_2) - SiO_2 ratios variation diagrams of Upper Jurassic in intermediate volcanic rocks from northern Chifeng, Inner Mongolia

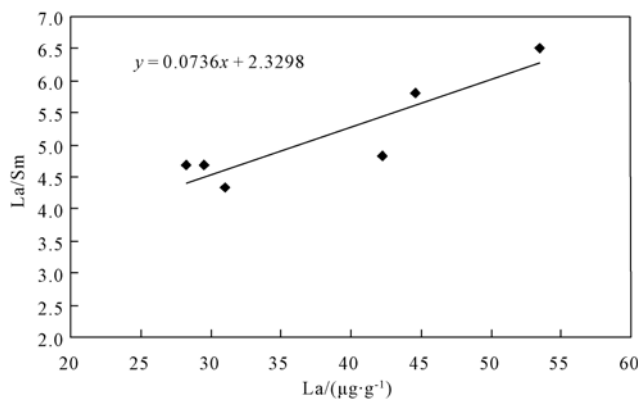


图6 内蒙古赤峰北部晚侏罗世中性火山岩 La -(La/Sm)图

Fig. 6 La -(La/Sm) ratios variation diagram of Upper Jurassic intermediate volcanic rocks from Northern Chifeng, Inner Mongolia

6个安山岩样品的 SiO_2 含量在50.74%~58.82%之间(见表1),为中基性(部分样品偏基性可能是由于岩石中辉石含量较高以及烧失量较大造成的,除去烧失量和经过薄片鉴定都

为中性火山岩), $Mg^{\#}$ 值为 45 ~ 52, Ni、Cr 等相容元素含量较高 (Ni 平均含量为 27.71 $\mu\text{g/g}$, Cr 平均含量为 43.57 $\mu\text{g/g}$), 表明了安山岩可能来源于地幔, 而不是榴辉岩等下地壳岩石部分熔融的产物^[23]。前人研究成果^[24]表明, 在距今 120 ~ 100 Ma 之间, 由于华北克拉通岩石圈地幔减薄导致了地幔由古老富集型地幔向亏损型软流圈地幔的演化, 而且在晚侏罗世玄武岩较少, 因此晚侏罗世时期安山岩可能来源于富集的岩石圈地幔, 而非软流圈地幔。当岩石圈减薄到一定程度, 地幔进入热衰减阶段, 引起地温梯度的降低, 导致岩石圈地幔增生^[25]。在岩石圈地幔增生过程中, 岩浆的起源深度由浅变深, 此时岩浆主要来源于软流圈地幔^[14]。华北岩石圈减薄在早白垩世才达到高峰, 进一步证明研究区内晚侏罗世安山质岩浆主要来源于富集岩石圈地幔。研究区安山岩总体富集 K、Ba 和 Pb 等 LILE, 而明显亏损 Nb、Ta、Ti 等 HFSE, 类似于岛弧火山岩的特征, 这可能是由于早期古亚洲板块俯冲, 板片脱水, 以及后来西伯利亚板块及华北克拉通碰撞造成岩石圈加厚, 交代流体使得地幔富集大离子亲石元素、亏损高场强元素^[8,16]且带入了地壳的物质。

3.2 形成构造背景

安山岩和玄武岩一样, 也可以出现在不同的构造环境, 除俯冲带外, 还可产生于大洋中脊和大陆内部裂谷等非造山环境^[26]。由于研究区在空间上与太平洋板块俯冲处相距超过 1000 km^[12,13]以及太平洋板块向亚洲板块的西向俯冲最早时间是在晚白垩世以后^[27], 因此太平洋板块俯冲对东北地区晚侏罗世以前的火山地层影响微弱。在晚古生代—早中生代, 随古亚洲洋板块向华北克拉通的俯冲闭合, 西伯利亚板块和华北克拉通的最终碰撞拼接^[1,2], 东北地区自此进入了造山后阶段的板内伸展环境^[1~3,16,28~29]。图 7 为安山岩 (Sc/Ni)-(La/Yb) 图, 中性火山岩均落入安山弧范围, 只能说明早期为安第斯山环境, 岩浆源区保留了早期板块间碰撞的印记。前人研究认为存在着以地幔柱活动导致的岩石圈伸展^[8,9,30]和以软流圈上涌导致的岩石圈伸展^[4]两种机制。研究区属于华北克拉通北缘内蒙古隆起, 早在三叠世晚期发生了明显的岩石圈拆沉和岩石圈伸展减薄及软流圈上涌^[31]。因此晚侏罗世研究区的火山活动为软流圈上涌背景导致的岩石圈伸展减薄环境下的火山活动。

所以根据岩浆来源及构造背景, 推断岩浆成因为古亚洲洋板块俯冲板片的脱水作用交代上地幔形成“湿”橄榄岩, 导致岩石圈地幔形成富集地幔^[32], 在岩石圈伸展、软流圈上涌导致地温梯度增高情况下, 以富集岩石圈地幔部分熔融为主的成因方式^[22]。

华北克拉通破坏的主要标志为岩石圈的减薄。研究区属于华北地台北缘内蒙古隆起, 离西拉木伦河缝合带很近, 且中晚三叠世可能发生了明显的岩石圈拆沉及减薄^[31], 表明华北克拉通的破坏起始时间为晚三叠世或早于晚三叠世, 即早于华北克拉通内部破坏的起始时间。

研究区内中酸性火山岩呈北东向或北北东向展布, 与大区域上的晚侏罗世火山岩展布一致, 且是岩石圈伸展减薄、软流圈上涌环境下的火山活动产物。因此在晚侏罗世时, 研究区内岩石圈减薄是整个华北克拉通减薄开始进入高峰期的一小区域。赤峰地区新生代玄武岩属于大陆溢流玄武岩系列, 源区是软流圈上地幔^[33], 且赤峰地区新生代火山岩从南东至北西碱性增强, 源区变深^[34]; 地球物理探测结果^[35]也表明, 在红山—八里罕断裂以西地区 (研究区位于断裂以西) 地壳大致厚度为 43 ~ 47 km, 软流圈顶点埋深 90 ~ 100 km, 证明了新生代为岩石圈地幔增生期, 也意味着华北克拉通破坏的结束。研究区从中晚三叠世开始岩石圈减薄至新生代结束, 证明了徐义刚等^[36]认为的华北克拉通破坏过程超过 100 Ma 的观点, 而与吴福元等^[25]认为的华北克拉通在相对短的时间内完成破坏过程以及路凤香等^[37]认为的华

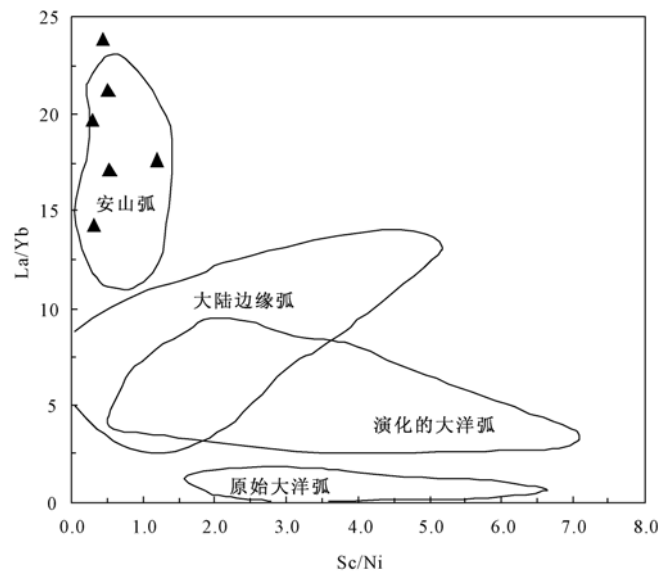


图7 内蒙古赤峰北部晚侏罗世中性火山岩 Sc/Ni-La/Yb 构造判别图解

Fig. 7 The diagram of distinguishing tectonic setting of Upper Jurassic intermediate volcanic rocks from northern Chifeng, Inner Mongolia

北克拉通破坏高峰期应在距今 65 Ma 之后的新生代等观点不同。因此在晚侏罗世时, 研究区岩石圈减薄及软流圈上涌是华北克拉通破坏漫长过程中一个极为短暂的过程。

4 结论

(1) 内蒙古赤峰北部晚侏罗世酸性火山岩主要以安山岩, 辉石安山岩, 流纹岩为主。

(2) 内蒙古赤峰北部晚侏罗世酸性火山岩为钙碱性系列, 富集 REE, 轻重稀土分馏明显, 富集 K、Ba 和 Pb 等 LILE, 亏损 Nb、Ta、Ti 等 HFSE。

(3) 内蒙古赤峰北部晚侏罗世中性火山岩形成于板内伸展减薄环境下。安山质岩浆可能是在岩石区伸展软流圈上涌和地温梯度增高情况下, 由俯冲洋壳板片改造的富集岩石圈地幔部分熔融的产物。

参 考 文 献

- [1] Kuzmin M L, Abramovich G Y A, Dril S L, et al. The Mongolian-Okhotsk suture as the evidence of late Paleozoic-Mesozoic collisional processes in Central Asia [C] //Abstract of 30th IGC. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 261.
- [2] Zhao X, Coe R S, Gilder S A, et al. Paleomagnetic constraints on the paleogeography of China: Implications for Gondwanaland [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 43: 643 ~ 672.
- [3] 李思田, 杨世恭. 中国东北部晚中生代裂陷作用和东北亚断陷盆地系 [J]. 中国科学: B 辑, 1987, 21 (2): 185 ~ 195.
LI Si-tian, YANG Shi-gong. The late Mesozoic rifting in the northeastern China and the fault-rifting basins in East Asia [J]. Science in China: Series B, 1987, 21 (2): 185 ~ 195.
- [4] 邵济安, 藏绍先, 牟保磊. 造山带的伸展构造与软流圈隆起: 以兴蒙造山带为例 [J]. 科学通报, 1994, 39 (6): 533 ~ 537.

- SHAO Ji-an, ZANG Shao-xian, MOU Bao-lei. Extensional tectonics and asthenospheric upwelling in the orogenic belt: A case study from Hinggan-Mongolia Orogenic belt [J]. Chinese Science Bulletin, 1994, 39 (6): 533 ~ 537.
- [5] 徐公愉. 大兴安岭的大陆火山岩及其矿化作用 [J]. 中国区域地质, 1983, 5: 39 ~ 50.
- XU Gong-yu. Continental volcanic rocks in the Greater Khingan Mountains and their mineralization [J]. Geological Bulletin of China. 1983, 5: 39 ~ 50.
- [6] 赵国龙, 扬桂林, 傅嘉有. 大兴安岭中南部中生代火山岩 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1 ~ 252.
- ZHAO Guo-long, YANG Gui-lin, FU Jia-you. Mesozoic volcanic rocks in central and southern Greater Khingan Mountains [M]. Beijing: Science Press, 1989: 1 ~ 252.
- [7] 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 大兴安岭中南段中生代的构造热演化 [J]. 中国科学: D 辑, 1998, 28 (3): 193 ~ 200.
- SHAO Ji-an, ZHANG Lü-qiao, MOU Bao-lei. Tectono-thermal evolution of the middle-south section of Da Hinggan Mountains [J]. Science in China: Series D, 1998, 28 (3): 193 ~ 200.
- [8] 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, 33 (2): 129 ~ 139.
- LIN Qiang, GE Wen-chun, SUN De-you, et al. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in Northeastern China [J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33 (2): 129 ~ 139.
- [9] 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.
- GE Wen-chun, LIN Qiang, SUN De-you, et al. Geochemical characteristics of the Mesozoic basalts in Da Hinggan Ling: Evidence of the mantle crust interaction [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15 (3): 396 ~ 407.
- [10] 黄华, 高山, 胡兆初, 等. 辽西彰武地区中生代高镁安山岩地球化学及其对新生下地壳拆沉作用的指示 [J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37 (10): 1287 ~ 1300.
- HUANG Hua, GAO shan, HU Zhao-chu, et al. Geochemical of Mesozoic high-magnesium andesite and its indication for delamination of newly formed lower crust in Zhangwu area, Western Liaoning [J]. Science in China: Series D, 2007, 37 (10): 1287 ~ 1300.
- [11] 蒋国源, 权恒. 大兴安岭、海拉尔盆地中生代火山岩 [J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1988, 3: 23 ~ 100.
- JIANG Guo-yuan, QUAN Heng. Mesozoic volcanic rocks of Genhe and Hailar basins in Da Hinggan Ling Range [J]. Journal of Shenyang Institute of Geologic and Mineral Resources, Chinese Academy of Geologic Science, 1988, 3: 23 ~ 100.
- [12] 周新华, 张国辉, 杨进辉, 等. 华北克拉通北缘晚中生代火山岩 Sr-Nd-Pb 同位素填图及其构造意义 [J]. 地球化学, 2001, 30 (1): 10 ~ 23.
- ZHOU Xin-hua, ZHANG Guo-hui, YANG Jin-hui, et al. Sr-Nd-Pb isotope mapping of Late Mesozoic volcanic rocks across northern margin of North China Craton and implications to geodynamic processes [J]. Geochimica, 2001, 30 (1): 10 ~ 23.
- [13] 吴利仁. 华东及邻区中、新生代火山岩 [M]. 北京: 科学出版社, 1984: 1 ~ 286.
- WU Li-ren. The Mesozoic-Cenozoic Volcanic Rocks in Eastern China and Its Vicinity [M]. Beijing: Science Press, 1984: 1 ~ 286.
- [14] 徐义刚, 李洪颜, 庞崇进, 等. 论华北克拉通破坏的时限 [J]. 科学通报, 2009, 59 (14): 1974 ~ 1989.
- XU Yi-gang, LI Hong-yan, PANG Chong-jin, et al. On the timing and duration of the destruction of the North China Craton. Chinese Science Bulletin, 2009, 59 (14): 1974 ~ 1989.
- [15] 王忠, 朱洪森. 大兴安岭中南段中生代火山岩特征及演化 [J]. 中国区域地质, 1999, 18 (4): 1 ~ 8.
- WANG Zhong, ZHU Hong-sen. Temporal and spatial evolution of the Mesozoic volcanism in mid southern Daxinganling Mountain [J]. Regional Geology of China, 1999, 18 (4): 1 ~ 8.
- [16] 郭锋, 范蔚茗, 王岳军, 等. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用 [J]. 岩石学报, 2001, 17 (1): 161 ~ 168.
- GUO Feng, FAN Wei-ming, WANG Yue-Jun, et al. Petrogenesis of the late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mts, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17 (1): 161 ~ 168.
- [17] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements; meteorite studies [C] //Henderson P. Rare earth element geochemistry. Netherlands: Elsevier, 1984: 63 ~ 114.
- [18] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implication for mantle composition and

- processes [C] //Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the ocean basins. London: Geological Society, 1989: 313 ~345.
- [19] 侯增谦, 罗再文. 三江地区义敦岛弧安山岩成因 [J]. 岩石矿物学杂志, 1992, 11 (1): 1 ~14.
HOU Zeng-qian, LUO Zai-wen. Origin of the andesite in Yidun island arc, Sanjiang region [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 1992, 11 (1): 1 ~14.
- [20] Grove TL, Bryan W B. Fractionation of pyroxene-phyric MORB at low pressure: An experimental study [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1983, 84 (4): 293 ~309.
- [21] Grove TL, Baker M B. Phase equilibrium control on the tholeiitic versus calcalkaline differentiation trends [J]. Journal of Geophysical Research, 1984, 89: 3253 ~3274.
- [22] 吴英华, 张连昌, 周新华, 等. 大兴安岭中段晚中生代安山岩年代学和地球化学特征及成因分析 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (6): 1339 ~1352.
WU Ying-hua, ZHANG Lian-chang, ZHOU Xin-hua, et al. Geochronology and Geochemical characteristics of Late Mesozoic andesites in the Central Da-Hinggan Mountains, and its genesis [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24 (6): 1339 ~1352.
- [23] Rapp R P, Shimizu N, Norman M D, et al. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge: Experimental constraints at 3.8 GPa [J]. Chemical Geology, 1999, 160 (4): 335 ~356.
- [24] Xu Y G. Thermo-tectonic destruction of the Archaean lithospheric keel beneath the Sino-Korean Craton in china: evidence, timing and mechanism [J]. Physics and Chemistry of the Earth (A), 2001, 26 (9-10): 747 ~757.
- [25] 吴福元, 徐义刚, 高山, 等. 华北岩石圈减薄与克拉通破坏研究的主要学术争论 [J]. 岩石学报, 2008, 24: 1145 ~1174.
WU Fu-yuan, XU Yi-gang, GAO Shan, et al. Lithospheric thinning and destruction of the North China Craton [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24: 1145 ~1174.
- [26] 路凤香, 桑隆康. 岩石学 [M]. 北京: 地质出版社, 2002: 90 ~101.
LU Feng-xiang, SANG Long-kang. Petrology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 90 ~101.
- [27] Engebretson D C, Cox A, Gordon R G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basins [J]. Geological Society of America Special Paper, 1985, 206: 1 ~59.
- [28] 张昱, 赵焕力, 韩彦东. 大兴安岭北段塔木兰沟组玄武岩地球化学及构造背景 [J]. 地质与资源, 2005, 14 (2): 87 ~96.
ZHANG Yu, ZHAO Huan-li, HAN Yan-dong. Geochemical characteristics and tectonic background of basalt from Tamulangou Formation in northern Daxinling [J]. Journal of Precious Metallic Geology, 2005, 14 (2): 87 ~96.
- [29] 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.
CHEN Zhi-Guang, ZHANG Lian-chang, ZHOU Xin-hua, et al. Geochronology and geochemical characteristics of volcanic rocks section in Manzhouli Xinyouqi, Inner Mongolia [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 22 (12): 1 ~14.
- [30] 葛文春, 林强, 李献华, 等. 大兴安岭北部伊列克组玄武岩的地球化学特征 [J]. 矿物岩石, 2000, 20 (3): 14 ~18.
GE Wen-chun, LIN Qiang, LI Xian-hua, et al. Geochemical characteristics of basalts of the early Cretaceous Yiliekedo formation, North Daxing'anling [J]. Journal of Mineralogy and Petrology. 2000, 20 (3): 14 ~18.
- [31] 张拴宏, 赵越, 刘建民, 等. 华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆活动期次、特征及构造背景 [J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29 (6): 824 ~842.
ZHANG Shuan-hong, ZHAO Yue, LIU Jian-Min, et al. Geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Late Paleozoic-Early Mesozoic magmatism in the northern margin of the North China Block: A preliminary review [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2010, 29 (6): 824 ~842.
- [32] 张宏福, 周新华, 范蔚茗, 等. 华北东南部中生代岩石圈地幔性质、组成、富集过程及其形成机理 [J]. 岩石学报, 2005, 21 (4): 1271 ~1280.
ZHANG Hong-fu, ZHOU Xin-hua, FAN Wei-ming, et al. Nature, composition, enrichment processes and its mechanism of the Mesozoic lithospheric mantle beneath the southeastern North China Craton [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21 (4): 1271 ~1280.
- [33] 韩宝福, 王式. 赤峰地区新生代玄武岩的基本特征及成因 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 1998, 34 (1): 88 ~96.

- HAN Bao-fu, WANG Shi. General features and origin of Cenozoic basalts from Chifeng region, North China [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 1998, 34 (1): 88 ~ 96.
- [34] 贾文, 朱慧忠, 邵济安. 内蒙古赤峰地区新生代玄武岩的时空分布 [J]. *地质论评*, 2002, 48 (3): 267 ~ 272.
JIA Wen, ZHU Hui-zhong, SHAO Ji-an. Temporal-Spatial distribution of Cenozoic basalts in Chifeng area, Inner Mongolia [J]. *Geological Review*, 2002, 48 (3): 267 ~ 272.
- [35] 国家地震局《深物探成果鉴定》编写组. 中国地壳上地幔地球物理探测成果 [M]. 北京: 地震出版社, 1986: 1 ~ 407.
Edition Group of Deep Geophysical Results Drafting, State Seismology Bureau. The geophysical exploration results of crust and upper mantle in China [M]. Beijing: Seismological Publishing House. 1986: 1 ~ 407.
- [36] 徐义刚. 用玄武岩组成反演化中—新生代华北岩石圈的演化 [J]. *地学前缘*, 2006, 13: 93 ~ 104.
XU Yi-gang. Using basalt geochemistry to constrain Mesozoic-Cenozoic evolution of the lithosphere beneath North China Craton [J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13: 93 ~ 104.
- [37] 路凤香, 郑建平, 邵济安, 等. 华北东部中生代晚期-新生代软流圈上涌与岩石圈减薄 [J]. *地学前缘*, 2006, 13: 86 ~ 92.
LU Feng-xiang, ZHENG Jian-ping, SHAO Ji-an, et al. Asthenospheric upwelling and lithospheric thinning in late Cretaceous-Cenozoic in eastern North China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13: 86 ~ 92.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF UPPER JURASSIC INTERMEDIATE-GRANITIC VOLCANIC ROCKS FROM NORTHERN CHIFENG, INNER MONGOLIA

HAO Bin¹, YANG Xin-de², ZHANG Ming-yang¹, XIE Cheng-fei¹

(1. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)*

Abstract: Upper Jurassic intermediate-granitic volcanic rocks from northern Chifeng lie in Mongolia Paleo-uplift, the northern margin of the North China Craton. The lava mainly consists of rhyolite, andesite and augite andesite. The geochemical study for intermediate-granitic volcanic rocks suggests that the SiO₂ is in 50.74% ~ 58.82%, Al₂O₃ and K₂O + Na₂O range from 15.32% ~ 17.17% and 4.89% ~ 7.05%, Mg[#] changes from 0.13 to 0.39, which belong to Sodium and Calc-alkaline series. Geochemical results for rhyolite indicate that the SiO₂ are in 74.68% ~ 74.86%, Al₂O₃ and K₂O + Na₂O range from 12.09% ~ 13.13%, Mg[#] changes from 0.13 to 0.39 and they belong to Calc-alkaline series or Shoshonitic series. The trace elements analysis for intermediate volcanic rocks demonstrate the insignificantly Eu anomalies (Eu^{*}/Eu = 0.94 ~ 1.12) and intense fractionation between LREE and HREE, [(La/Yb)_N = 9.6 ~ 16.09]. The primitive mantle-normalized spider diagrams are characterized by LILE enrichment and HFSE depletion, especially an obviously negative Nb-Ta anomalies, and obviously positive Pb anomalies. Rhyolite has the similar characteristics and is characterized by a significantly negative Eu anomalies, [(La/Yb)_N = 7.86 ~ 10.05]. Based on the previous studies, we infer that intermediate volcanic rocks formed under the stretching and thinning environment. With geothermal gradient increasing and atmosphere upwelling, andesitic magma resulted from partial melting of enriched lithospheric mantle.

Key words: intermediate-granitic volcanic rock; Upper Jurassic; lithospheric mantle; stretching and thinning; northern Chifeng