

阿尔山地区银江沟火山岩岩石学和地球化学特征

吴驰华¹, 伊海生¹, 沈坤², 朱迎堂^{1,3}, 解惠¹, 曹桐生¹, 田江飞¹

(1. 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059; 2. 河南省地矿局第一地质勘查院, 南阳 473000;
3. 成都理工大学地球探测与信息技术教育部重点实验室, 成都 610059)

[摘要] 通过银江沟上侏罗统火山岩典型剖面的研究, 认为该地区为一套中酸性、酸性火山岩及火山碎屑岩的岩相组合, 中酸性火山岩与酸性火山岩成分交替韵律变化非常清楚, 显示共有两次爆发—溢流相旋回。地球化学测试表明, SiO_2 含量为 68.14% ~ 75.40%, 富碱, 高铝, 高钾, 低镁, 为高钾钙碱性火山岩; 稀土总量 (ΣREE) 及 LREE 富集, LREE 和 HREE 分馏较强, 强烈负 Eu 异常以及弱负 Ce 异常, 富集 Ba、Rb、Sr 等大离子亲石元素 (LILE), 亏损 Pb、Ti 等高场强元素 (HFSE)。中酸性火山岩均反映了岛弧火山岩和大陆弧火山岩的一些特征。

[关键词] 大兴安岭 火山岩 岩石学 地球化学

[中图分类号] P581+ P595 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2010)03-0515-10

Wu Chi-hua, Yi Hai-sheng, Shen Kun, Zhu Ying-tang, Xie Hui, Cao Tong-sheng, Tian Jiang-fei. Characteristics of petrology and geochemistry of volcanic rocks in the Yinjianggou, Aershan area [J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(3): 0515-0524.

0 前言

内蒙古侏罗系底层可分为东、西两大部分: 东部大兴安岭一带, 由于太平洋板块向亚洲古陆俯冲, 形成了活动类型的侏罗系火山沉积建造; 西部地区可以伊克昭盟为代表, 无火山活动, 是一种环境稳定的内陆盆地沉积类型。大兴安岭地区因属环太平洋火山活动带, 侏罗纪火山活动强烈, 侏罗系由一套厚度大、岩性和岩相变化复杂的火山—沉积岩组成。大兴安岭地区侏罗系以上侏罗统分布最广, 层序最全, 厚度最大, 为一套陆相火山—沉积地层。总体呈 NE 向展布 (图 1)。火山作用方式既有岩浆爆破式和溢流式, 也有射气岩浆喷发 (白志达, 2005)。研究区内上侏罗统, 是一套酸性—中酸性火山岩系, 测区内广泛发育, 遍布全区 (图 1)。主要出露上侏罗统玛尼吐组 (J_3mn) 和白音高老组 (J_3b)。破火山口喷发以阿尔山和白狼破火山口为典型, 周围为环状断裂。

通过历时四个月的野外地质调查及采集样品的室内化学分析, 本文试图从火山岩岩石学、岩石化

学、微量元素、稀土元素地球化学特征进行研究, 从而探讨阿尔山地区银江沟中生代火山岩成因, 为该区进一步的矿产普查和开发提供基础资料。

1 地质概况

内蒙古银江沟地区在区域构造位置上处于蒙古弧形构造的东翼与新华夏系大兴安岭第三巨型隆起带斜接部位。根据板块构造理论, 该区位于西伯利亚板块东南部边缘蒙古—兴安造山带, 东南与华北板块相邻, 属于西太平洋俯冲板块弧后边缘区。华北地块、蒙古地块与西伯利亚地块在晚侏罗世碰撞, 形成了蒙古—鄂霍茨克缝合带, 这次碰撞作用不仅造成东亚地区地壳变形, 而且也影响到广大的中亚东部和中国西北地区, 造成古亚洲南部地区普遍发生变形和重新活动。研究区古生代地层强烈褶皱, 受到不同程度的区域变质作用。在中生代又受到了滨西太平洋陆缘活化带的叠加, 伴随有大量的岩浆侵入火山喷发, 构成了现今宏伟的大兴安岭地貌景观 (内蒙古自治区区域地质志, 1991)。因此, 火山

[收稿日期] 2010-02-04; [修订日期] 2010-04-08; [责任编辑] 郑杰。

[基金项目] “十一五”国家科技支撑计划项目, 项目 (编号: 2006BAB01A12-5); 内蒙古国土厅阿尔山等五幅 1:5 万区域矿产地质调查项目 (编号: NMKD2006-08) 资助。

[第一作者简介] 吴驰华 (1984 年—), 男, 硕士研究生, 主要从事沉积盆地分析, E-mail: 78509528@qq.com。

岩浆作用极为发育是重要特色之一,与岩浆作用有关的成矿作用是研究区的重点内容。

2 火山岩的分布及岩石学特征

研究区位于大兴安岭中偏西段,位于蒙古-鄂霍次克海缝合带以南,属于天山-兴蒙造山带的一部分。晚中生代火山活动强烈,包括上侏罗统玛尼吐组(J₃mn)和上侏罗统白音高老组(J₃b)。本文通过对银江沟地区一典型中生代火山岩剖面(J₃b)进行实地观察,初步研究发现白音高老组(J₃b)为一套中酸性、酸性火山岩及火山碎屑岩,岩石组合为灰绿、黑色玻基安山岩、灰白色似球粒流纹岩夹晶屑凝

灰岩、角砾凝灰岩、凝灰角砾岩,中性火山岩与酸性火山岩成分交替韵律变化非常清楚(图2),初期为爆发作用,然后爆发逐渐减弱,最终被熔岩喷溢所代替。厚>200.19m,未见顶底。野外观察火山岩呈不整合覆盖于上侏罗统玛尼吐组地层之上,玛尼吐组(J₃mn)为一套中酸性火山岩,由灰绿色蚀变英安岩、安山岩、灰白-浅紫灰色蚀变流纹岩和灰白-灰绿色晶屑岩屑凝灰岩、岩屑凝灰岩及晶屑凝灰岩组成。结合(内蒙古国土资源厅,阿尔山 1:50000 区域地质调查报告,2006)以及研究区内地层化石组合等特征,本区火山岩的形成年代为晚侏罗世。

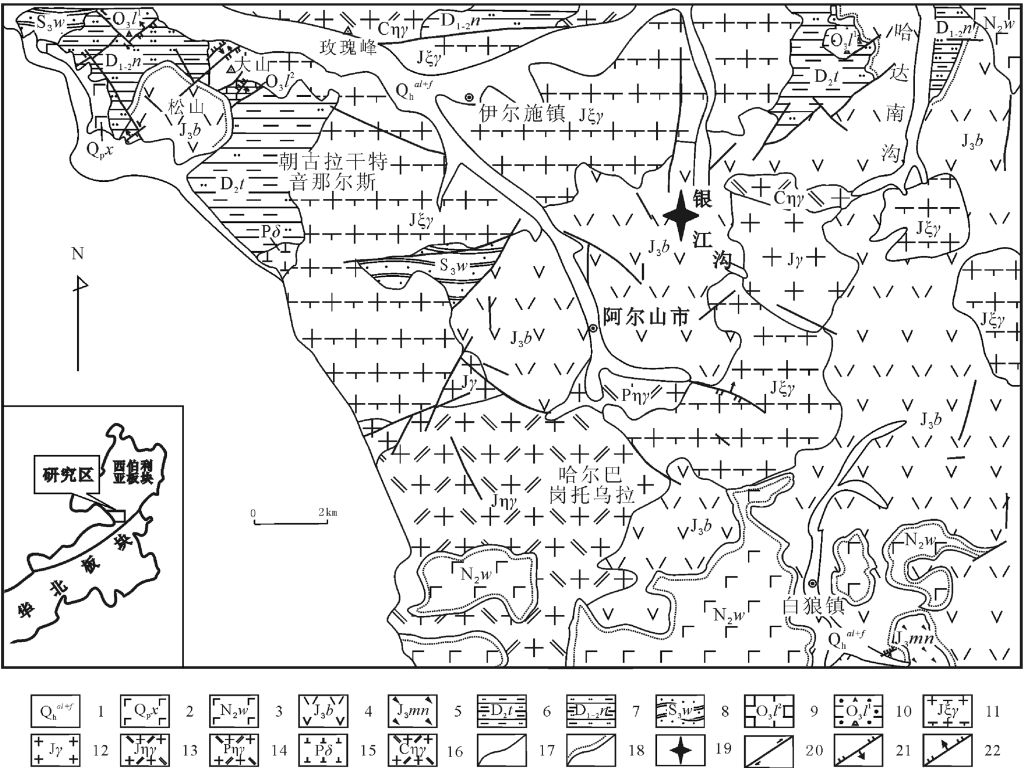


图1 内蒙古阿尔山地区区域地质图(据阿尔山等 1:50,000 区域地质调查报告,2006;陈广义,2009)

Fig. 1 Geological map of the Aershan area of Inner Mongolia (after Inner Mongolia department of land and resources, 1:50,000 regional geological mapping report, 2006; Chen *et al.*, 2009)

- 1-全新统冲积砂砾石、沼泽、淤泥;2-更新统西口组;3-新近系五岔沟组;4-上侏罗统白音高老组;5-上侏罗统玛尼吐组;6-泥盆统塔爾巴格特组;7-中下泥盆统泥鰍河组;8-上志留统卧都河组;9-上奥陶统裸河组二段;10-上奥陶统裸河组一段;11-侏罗纪正长花岗岩;12-侏罗纪花岗岩;13-侏罗纪二长花岗岩;14-二叠纪二长花岗岩;15-二叠纪闪长岩;16-石炭纪二长花岗岩;17-地质界线;18-角度不整合;19-采样位置;20-平移断层;21-逆断层;22-正断层

- 1-blanket sand gravel, swamp, sludge of Holocene;2-Xikou Formation of Pleistocene;3-Wuchagou Formation of Neogene;4-Baiyingaolao Formation of Upper Jurassic;5-Manitu Formation of Upper Jurassic;6-Taerbagete Formation of Middle Devonian;7-Niquihe Formation of Middle-Lower Devonian;8-Woduhe Formation of Upper Silurian;9-member 2 of Luohe Formation of Upper Ordovician;10-member 1 of Luohe Formation of Upper Ordovician;11-syenogranite of Jurassic;12-ganite of Jurassic;13-adamellite of Jurassic;14-adamellite of Permian;15-diorite of Permian;16-adamellite of Carboniferous;17-geologic boundary;18-angle disconformity;19-smpling position;20-displacement fault;21-abnormal fault;22-normal fault

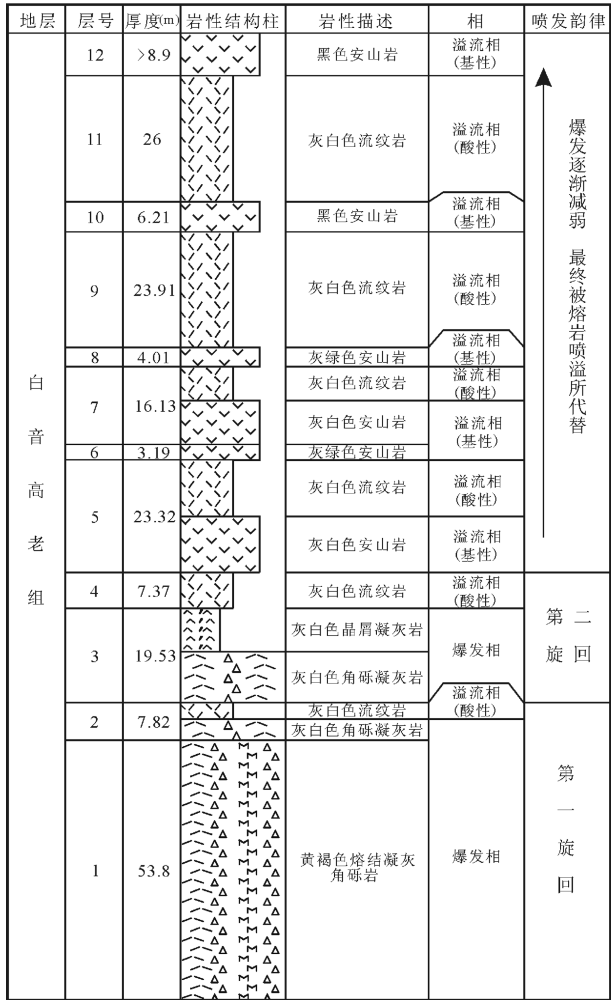


图2 银江沟上侏罗统白音高老组火山岩剖面(据陈广义,2009)

Fig. 2 Section showing volcanic rocks of Upper Jurassic Baiyinggaolao Formation in the Yingjianggou area(after Chen *et al* , 2009)

从剖面上看,火山岩具有多旋回特征,初步将火山岩分为两个爆发-溢流旋回。主要岩石类型包括:(1)玻基安山岩:玻基斑状结构,基质具玻璃质结构。岩石由中长石、黑云母组成斑晶,含量为10%~40%;基质由中性玻璃组成,占60%~90%。斑晶:中长石占8%~37%,呈自形板状颗粒;黑云母2%~3%,呈自形板状颗粒,无蚀变。(2)似球粒流纹岩:斑状结构,基质显微嵌晶似球粒结构。岩石由中长石、正长石、黑云母、石英组成斑晶,占17%~24%;基质由球粒组成,占76%~83%。斑晶中,中长石6%~9%,呈自形板状颗粒,蚀变不明显;正长石6%~8%,斑晶呈自形板状颗粒,无蚀变;黑云母1%~2%,呈自形板状颗粒,无蚀变;石英4%~5%,呈自形粒状和熔蚀状颗粒。(3)角砾凝灰岩:晶屑玻屑角砾凝灰结构,熔结胶结。岩石由中长石、黑云母、中性玻屑组成。中长石晶屑13%,

呈尖棱角状、熔结状等外形。黑云母2%,呈碎片晶屑,粒度为0.03~0.0875mm;中性玻屑85%,呈尖棱角状,粒度0.116~2mm。(4)凝灰角砾岩:晶屑玻屑凝灰角砾结构,熔结胶结。岩石由中长石、黑云母、中性玻屑组成。晶屑占15%,其中,中长石13%,呈尖棱角状、熔结状等外形。黑云母2%,呈碎片晶屑,粒度为0.061~1.25mm;中性玻屑85%,呈尖棱角状,粒度2~15mm。

3 岩石元素地球化学特征

3.1 主量元素地球化学

阿尔山地区银江沟白音高老组剖面火山岩主量元素分析结果及相关参数列(见表1)。从(表1)可见,研究区火山岩具有相似的主量元素特征:SiO₂含量为68.14%~75.40%,以酸性岩类为主;火山岩显示出富碱特征,全碱(Na₂O+K₂O)含量为4.95%~8.85%,高铝Al₂O₃含量为12.30%~13.90%,高钾K₂O含量为3.30~7.39%,低镁MgO含量为0.15%~0.47%,低钛TiO₂含量为0.23%~0.33%,Mg^值为6~24。在SiO₂-K₂O图(Peccerillo and Taylor,1976)(图4b)上,数据点落在高钾钙碱和钾玄质系列区,主要为高钾钙碱系列岩石,表明该批样品高度富钾。通过AFM图解(图4b),显示出一个与钙碱系列的亲缘性,不存在拉斑玄武系列;且没有明显的富铁趋势,反映了较弱的岩浆分异和原始岩浆主元素的共性和相似性。在TAS图解(Rickwood,1989)(图3)上,数据点平均地落在英安岩和流纹岩区。

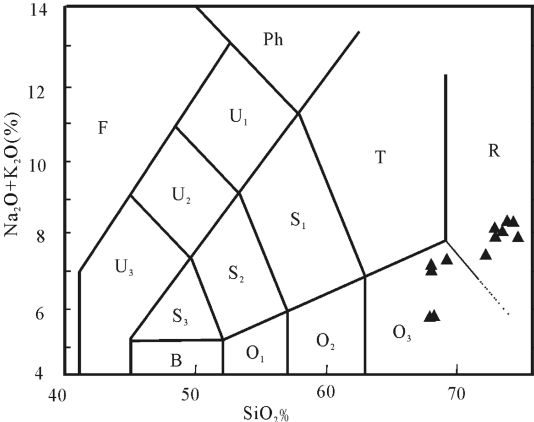


图3 内蒙古银江沟地区火山岩 TAS 图解(据 Rickwood, 1989)

Fig.3 Total alkali-silica (TAS) diagram of volcanic rocks from the Yingjianggou area in Inner Mongolia(after Rickwood, 1989)

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;S₁-粗面玄武岩;S₂-玄武粗安岩;S₃-粗安岩;T-粗面岩+粗面英安岩;B-玄武岩;O₁-玄武安山岩;O₂-安山岩;O₃-英安岩;R-流纹岩
F-feldspathoidite;U₁-tephrite+basanite;U₂-phonolitic tephrite;U₃-pollenite;Ph-phonolite;S₁-trachybasalt;S₂-basaltite;S₃-trachyandesite;T- trachyte + trachydacite;B-basalt;O₁-basaltic andesite;O₂-andesite;O₃-quartz andesite; R-rhyolite

表1 内蒙古银江沟地区火山岩主量元素组成测试结果(%)

Table 1 Major elements compositions of volcanic rocks from the Yingjianggou area in Inner Mongolia(%)

样品	P5H3-1	P5H5-1	P5H7-1	P5H7-2	P5H7-3	P5H9-1	P5H10-1	P5H11-1	P5H12-1	P5H12-2	P5H13-1	P5H17-1
SiO ₂	69.14	73.92	74.50	68.62	68.64	68.14	74.90	68.14	75.26	68.18	75.02	75.40
Fe ₂ O ₃	1.19	0.75	0.68	1.02	0.86	1.07	0.83	1.03	0.82	0.36	0.73	0.78
FeO	0.38	0.30	0.38	0.45	0.45	0.30	0.23	0.23	0.23	0.45	0.23	0.30
Al ₂ O ₃	13.60	13.35	13.30	13.60	13.85	13.20	13.10	12.95	12.95	13.50	12.85	12.30
CaO	2.51	1.29	1.15	2.95	2.84	3.72	1.16	3.63	1.33	2.93	0.85	0.69
MgO	0.37	0.15	0.08	0.23	0.30	0.47	0.23	0.43	0.30	0.25	0.22	0.18
K ₂ O	4.96	5.12	4.85	4.81	4.65	3.30	4.42	3.48	4.24	4.07	5.16	7.39
Na ₂ O	2.45	3.28	3.66	1.58	1.82	1.75	3.63	1.47	3.46	1.85	2.66	1.46
MnO	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.01
P ₂ O ₅	0.06	0.03	0.01	0.06	0.04	0.05	0.02	0.03	0.02	0.05	0.02	0.01
TiO ₂	0.33	0.26	0.24	0.34	0.30	0.31	0.24	0.28	0.23	0.27	0.23	0.26
LOI	4.72	1.11	0.74	5.94	5.81	8.34	0.88	8.35	0.72	7.61	1.61	0.76
总量	99.77	99.60	99.63	99.63	99.60	100.67	99.68	100.06	99.60	99.55	99.61	99.54
Mg [#]	18	12	6	13	17	24	17	24	21	22	18	13

注:测试工作在四川省冶金地质岩矿测试中心测试完成(2009);Mg[#]=100 * Mg/(Mg+0.9TiFe)。

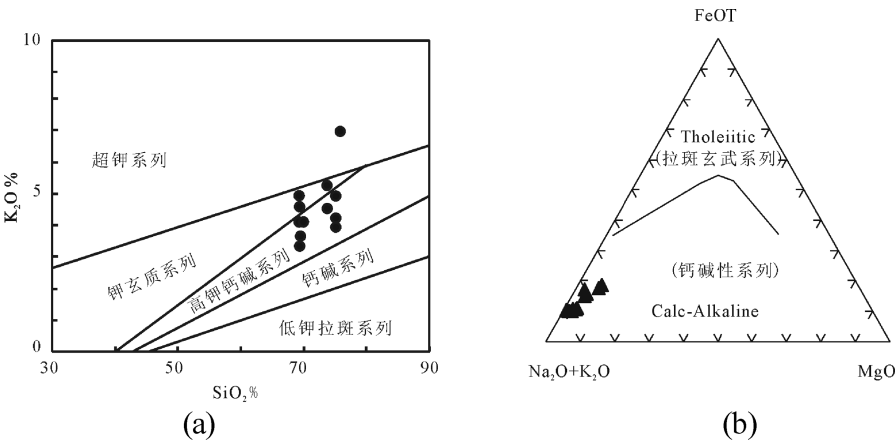


图4 内蒙古银江沟地区火山岩 SiO₂-K₂O(a) (据 Peccerillo,1979) 和 AFM(b) (据 Ringwood,1975) 图解

Fig. 4 SiO₂-K₂O(a) (after Peccerillo,1979) and AFM(b) (after Ringwood,1975) diagram of volcanic rocks from the Yingjianggou area in Inner Mongolia

在 Harker 图解(图 6)上,剖面火山岩样品的 SiO₂ 与大多数常量元素具有较好的相关性,总体上 SiO₂ 与 K₂O 和 Na₂O 呈现较好的正相关,与 TiO₂、Al₂O₃、FeOT、CaO、MgO 和 MnO 呈现较好的负相关,反映同源岩浆的演化特征和岩浆分离结晶演化的趋势。样品中 CaO 和 FeOT 与 MgO 显示较好的正相关性(图 5),表明橄榄石、辉石和角闪石等可能是控制这些岩浆主量元素变化的分离矿物相(伊海生等,2004)。

3.2 微量元素地球化学

阿尔山银江沟地区火山岩微量元素组成测试结果及相关参数见(表 2)。在内蒙古银江沟地区火山岩不相容元素蛛网图(图 7)上可以看到,剖面所有

样品都具有相似的微量元素特征,富集 Ba、Rb、Sr 等大离子亲石元素(LILE),亏损 Pb、Ti 等高场强元素(HFSE),且 Ti 强烈亏损,和形成于与俯冲带相关的高 K/Ti-低 Ti 钾质岩石非常类似,而明显不同于板内低 K/Ti-高 Ti 钾质岩(Roger,1992)。比较特殊的是高场强元素 U 异常强烈富集,这可能与壳源型火山岩浆演化有关,铀随岩浆体系演化而趋于富集,越晚期火山岩越富铀,推断铀主要富集于火山期后热液之中(周家志,2000)。其不相容元素比值(表 3):Zr/Nb=8.489~16.212,La/Nb=2.912~4.675,Ba/Nb=20.135~81.987 等。

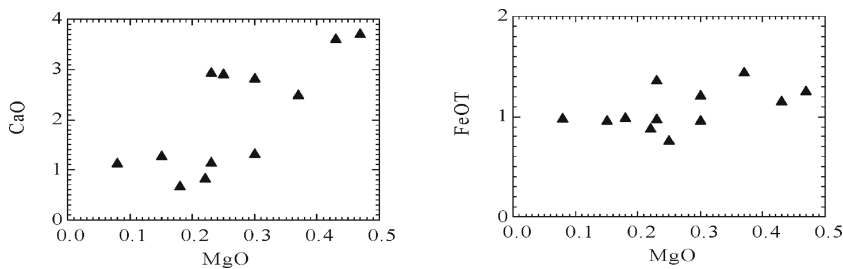


图 5 内蒙古银江沟地区火山岩 MgO-主要氧化物含量变异

Fig. 5 Variations of major element-MgO of volcanic rocks from the Yingjianggou area in Inner Mongolia

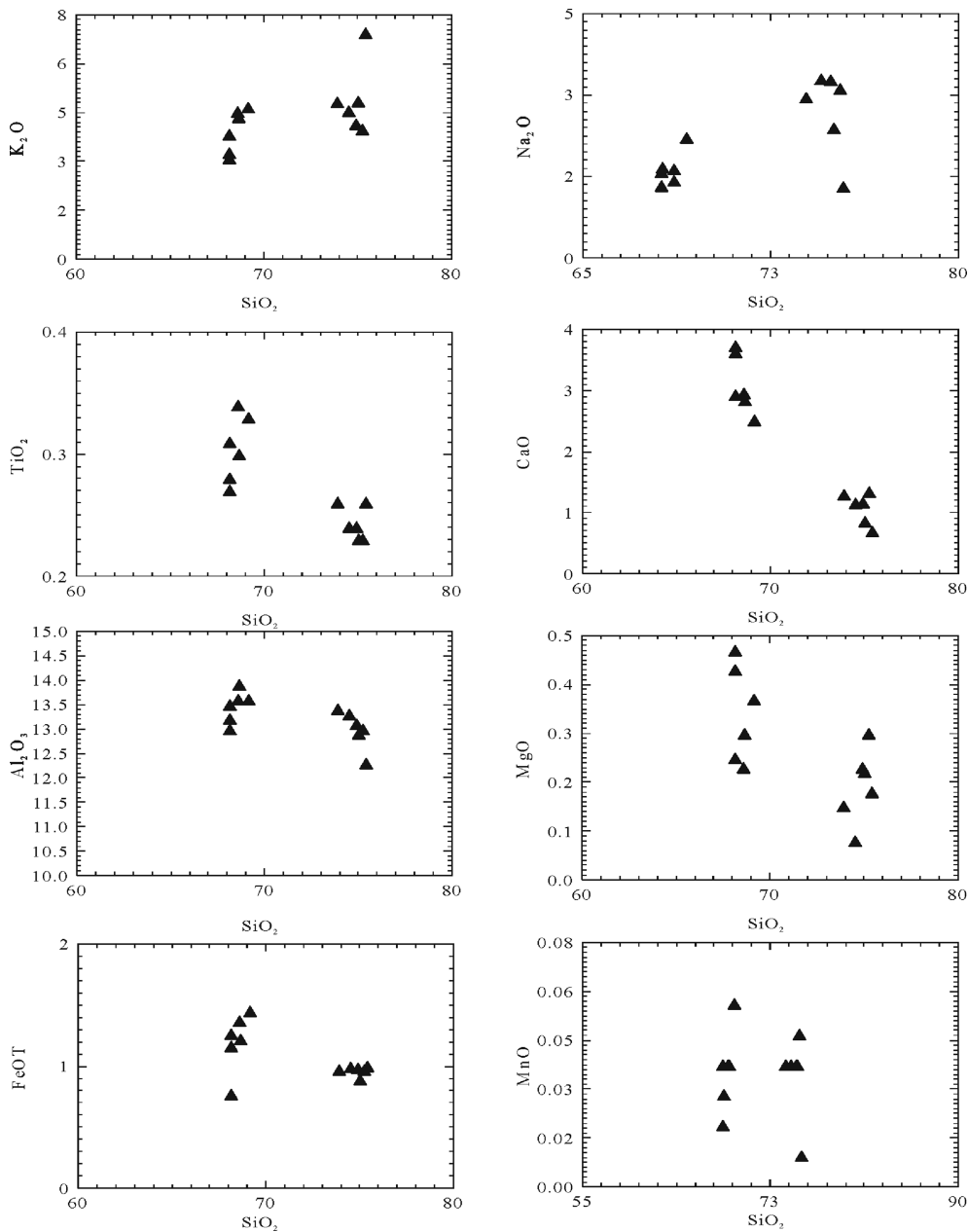


图 6 内蒙古银江沟地区火山岩 Harker 图解

Fig. 6 Harker diagram of volcanic rocks from the Yingjianggou area in Inner Mongolia

表 2 内蒙古银江沟地区火山岩微量元素组成测试结果(μg/g)

Table 2 Compositions of trace elements result of volcanic rocks from the Yingjianggou area in Inner Mongolia(μg/g)													
样品	P5H3-1	P5H5-1	P5H7-1	P5H7-2	P5H7-3	P5H9-1	P5H10-1	P5H11-1	P5H12-1	P5H12-2	P5H13-1	P5H17-1	均值
Sc	2.98	3.08	3.12	2.97	2.80	1.68	2.91	2.52	2.60	2.64	3.12	2.26	2.72
Ni	1.87	1.16	2.74	2.79	1.99	0.71	16.90	4.60	0.83	2.02	0.67	1.49	3.15
Rb	217.30	222.20	211.70	189.30	230.50	114.80	208.80	164.70	207.90	211.00	232.40	175.20	198.82
Sr	221.80	68.44	64.13	260.20	246.70	166.00	61.21	256.00	68.17	189.00	52.63	51.07	142.11
Y	19.39	22.01	22.07	18.89	18.99	11.81	21.79	19.41	23.38	19.53	16.19	15.72	19.10
Zr	182.90	179.60	195.20	179.30	191.30	110.00	180.60	174.80	170.80	164.30	200.00	93.29	168.51
Nb	11.70	16.59	15.98	11.63	11.80	7.13	15.73	11.66	15.71	11.69	16.24	10.99	13.07
Ba	938.50	403.10	398.50	905.20	876.90	584.40	341.90	729.00	327.10	728.20	327.00	727.20	607.25
La	54.70	50.28	47.55	50.46	52.70	31.08	49.73	50.74	58.84	49.52	47.29	43.21	48.84
Ce	98.68	95.95	88.27	94.09	99.91	58.17	92.30	92.79	116.10	91.37	92.45	77.91	91.50
Pr	11.34	11.16	10.58	10.71	11.39	6.72	10.69	10.68	12.56	10.32	10.14	9.10	10.45
Nd	38.77	37.57	35.46	36.61	37.80	22.57	36.38	36.07	43.23	34.86	34.74	30.18	35.35
Sm	6.24	6.37	6.02	5.99	6.20	3.63	6.12	5.77	7.00	5.54	5.79	4.87	5.80
Eu	1.13	0.78	0.78	1.10	1.10	0.67	0.77	0.92	0.81	0.93	0.69	0.87	0.88
Gd	5.07	5.09	4.88	4.77	5.00	2.89	4.85	4.70	5.59	4.48	4.54	3.88	4.65
Tb	0.73	0.78	0.75	0.69	0.69	0.41	0.75	0.67	0.79	0.63	0.63	0.55	0.67
Dy	3.85	4.28	4.06	3.75	4.00	2.27	4.18	3.68	4.20	3.43	3.26	2.84	3.65
Ho	0.74	0.84	0.81	0.71	0.75	0.44	0.81	0.71	0.80	0.66	0.61	0.54	0.70
Er	2.07	2.39	2.34	1.96	2.14	1.21	2.28	1.99	2.22	1.86	1.70	1.53	1.97
Tm	0.31	0.37	2.34	0.28	0.30	0.18	0.37	0.29	0.34	0.29	0.26	0.21	0.46
Yb	2.04	2.45	2.36	1.92	2.06	1.20	2.36	1.96	2.23	1.87	1.84	1.44	1.98
Lu	0.33	0.38	2.36	0.30	0.32	0.18	0.36	0.29	0.35	0.29	0.30	0.22	0.47
Hf	5.95	6.36	6.41	5.46	6.16	3.51	6.09	5.29	5.65	4.95	6.15	3.22	5.43
Ta	1.17	1.55	1.45	1.08	1.16	0.68	1.44	1.08	1.35	1.02	1.34	0.91	1.19
Pb	21.96	21.43	20.05	21.36	23.37	12.51	22.22	18.22	18.84	20.35	18.08	18.23	19.72
Th	23.60	31.44	30.20	23.01	24.41	14.25	29.56	22.06	27.34	21.72	28.64	18.62	24.57
U	4.83	7.82	7.41	4.65	5.01	2.76	6.83	4.58	5.57	4.30	4.82	4.27	5.24
ΣREE	225.67	218.30	206.18	213.04	224.05	131.44	211.58	210.98	254.70	205.76	203.93	177.13	206.93
ΣLREE	210.86	202.11	188.61	198.97	209.10	122.84	195.91	196.98	238.54	192.54	191.10	166.14	192.81
ΣLREE/ ΣREE	0.93	0.93	0.91	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.92
Zr/Nb	15.63	10.83	12.22	15.42	16.21	15.43	11.48	14.99	10.87	14.05	12.32	8.49	13.16
La/Nb	4.68	3.03	2.98	4.34	4.47	4.36	3.16	4.35	3.75	4.24	2.91	3.93	3.85
Ba/Nb	80.21	24.30	24.94	77.83	74.31	81.99	21.74	62.52	20.82	62.29	20.14	66.17	51.44
Ba/Th	39.77	12.82	13.20	39.34	35.92	41.01	11.57	33.05	11.96	33.53	11.42	39.05	26.89
Rb/Nb	18.57	13.39	13.25	16.28	19.53	16.11	13.27	14.13	13.23	18.05	14.31	15.94	15.51
Th/Nb	2.02	1.90	1.89	1.98	2.07	2.00	1.88	1.89	1.74	1.86	1.76	1.69	1.89
Th/La	0.43	0.63	0.64	0.46	0.46	0.46	0.59	0.43	0.46	0.44	0.61	0.43	0.50
Ba/La	17.16	8.02	8.38	17.94	16.64	18.80	6.88	14.37	5.56	14.71	6.91	16.83	12.68
δEu	0.59	0.40	0.43	0.61	0.58	0.61	0.42	0.53	0.38	0.55	0.40	0.59	0.51
δCe	0.91	0.94	0.91	0.93	0.94	0.93	0.92	0.91	0.98	0.93	0.97	0.90	0.93
(La/Sm) _N	5.51	4.96	4.97	5.30	5.35	5.38	5.11	5.53	5.29	5.62	5.14	5.58	5.31
(Gd/Yb) _N	2.01	1.68	1.67	2.01	1.96	1.94	1.66	1.94	2.02	1.93	1.99	2.18	1.91
(La/Yb) _N	18.08	13.84	13.56	17.73	17.24	17.43	14.24	17.45	17.81	17.82	17.35	20.26	16.90

注:测试工作在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室测试完成(2009);N为球粒陨石标准化 Sun and Mc-Dough(1989)。

表 3 火山岩几种微量元素比值
Table 3 Some trace element ratios of volcanic rocks

元素	Zr/Nb	La/Nb	Ba/Nb	Ba/Th	Rb/Nb	Th/Nb	Th/La	Ba/La
高钾酸性火山岩	13.161	3.849	51.438	26.886	15.505	1.890	0.503	12.682
原始地幔	14.800	0.940	9.000	77.000	0.910	0.117	0.125	9.600
大陆地壳	16.200	2.200	54.000	124.000	4.700	0.440	0.204	25.000
N-MORB	30.000	1.070	1.7~8.0	60.000	0.360	0.025~0.071	0.067	4.000
E-MORB			4.9~8.5			0.06~0.08		
HIMU OIB	3.2~5.0	0.66~0.77	4.9~6.9	49~77	0.35~0.38	0.078~0.101	0.107~0.133	6.8~8.7
EM I OIB	4.2~11.5	0.86~1.19	11.4~17.8	103~154	0.88~1.17	0.105~0.122	0.107~0.128	13.2~16.9
EM II OIB	4.5~7.3	0.89~1.09	7.3~13.3	67~84	0.59~0.85	0.111~0.157	0.122~0.163	8.3~11.3

注:N-MORB:N型大洋中脊玄武岩;E-MORB:E型大洋中脊玄武岩;HIMU OIB:洋岛玄武岩;EM I OIB:富集 I 型洋岛玄武岩;EM II OIB:富集 II 型洋岛玄武岩(数据来之于 Rollison,1993)。

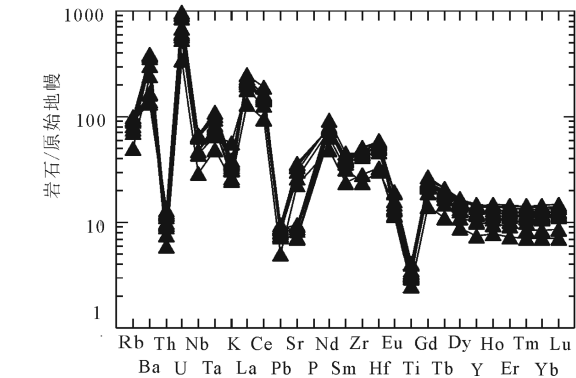


图 7 内蒙古银江沟地区火山岩微量元素蛛网图(其中原始地幔标准化值来之于 Sun and Mcdonough,1989)

Fig. 7 Primitive mantle normalized trace element spider diagram of volcanic rocks from the Yingjianggou area in Inner Mongolia(Primitive mantle values from Sun and Mcdonough,1989)

3.3 稀土元素地球化学

阿尔山银江沟地区火山岩稀土元素组成测试结果及相关参数见(表 2)。从稀土元素分析数据看,研究区剖面火山岩样品稀土元素总量($\Sigma \text{REE} = 131.44 \sim 225.67 \mu\text{g/g}$)偏高,平均值为 $206.93 \mu\text{g/g}$;从球粒陨石标准化的稀土元素配分曲线图(图 8)上看,配分曲线属向右陡倾型[$(\text{La/Lu})_N = 14.39 \sim 20.401$],分异明显,区内所有样品表现出相同的变化趋势:轻稀土元素强烈富集($\Sigma \text{LREE} = 122.84 \sim 238.535 \mu\text{g/g}$)且轻重稀土元素之间存在着较强的分馏作用[$(\text{La/Yb})_N = 13.561 \sim 20.259$],强烈的负 Eu 异常($\delta \text{Eu} = 0.398 \sim 0.611$)以及弱的负 Ce 异常($\delta \text{Ce} = 0.901 \sim 0.982$),轻稀土元素内部之间发生

了一定的分馏作用[$(\text{La/Sm})_N = 4.963 \sim 5.625$],而重稀土元素分馏不明显[$(\text{Gd/Yb})_N = 1.663 \sim 2.178$]。

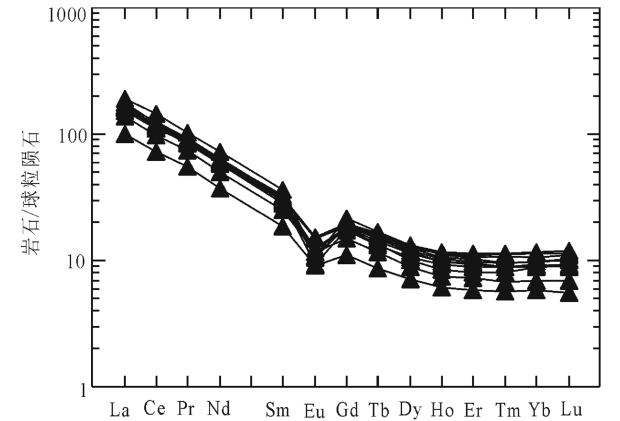


图 8 内蒙古银江沟地区火山岩稀土元素配分曲线(其中球粒陨石标准化值来之于 Boynton,1984)

Fig. 8 Chondrite-normalized rare earth elements of volcanic rocks from the Yingjianggou area in Inner Mongolia(Chondrite REE values from Boynton,1984)

4 火山岩成因讨论

大兴安岭地区晚中生代火山岩的成因一直倍受国内外地质学者的关注却存在很多异议,并提出了很多成因模式。如热向斜模式(林强等,1998)、地幔柱成因(葛文春,1999)、太平洋板块俯冲成因(赵国龙,1989;马家骏,1991)、边缘陆块型火山岩和软流圈上涌与岩石圈伸展构造等模式(邵济安,2001)。

研究区剖面火山岩的具有相似的主量、微量等地球化学特征,反映其具有相同的源区。微量元素

组成、不相容元素比值(表 3)显示银江沟剖面火山岩源区含有一定比例的大陆地壳物质成分。但由于他们具有相对一致的元素地球化学性质和变化较小的 La/Sm 比值(7.890~8.942),表明地壳混染作用在岩浆演化过程中的影响微弱,因此,剖面样品元素化学特征应该能忠实地反映其源区的地球化学性质。

大离子亲石元素(LILE)富集,尤其 Ba、Rb、Sr、K 等亲石元素强烈正异常,亏损 Pb、Ti 等高场强元素(HFSE),且 Ti 强烈亏损,暗示剖面火山岩不可能由洋岛玄武岩或 MORB 成分的岩浆经历陆壳混染的结果,而早期俯冲洋壳物质在深部发生脱水并交代了仰冲的地幔楔,导致该地幔源区相对富集 LILE 而亏损 HFSE,在这种地幔源区产生的火山岩同样继承了这种特征(Wilson, 1989; Elliott, 1997)。因此,剖面火山岩为形成于俯冲带的低钛钾质岩石可能性较大,也有可能形成于以亏损 Nb、Ta、Ti 为典型特征的岛弧岩浆。利用 Rb-(Y+Nb)判别图解(图 9a),同样说明阿尔山银江沟地区火山岩具有弧火山岩的一些特征。

火山岩稀土元素总量($\sum REE = 131.618 \sim 255.047 \mu g/g$)偏高,平均值为 $210.651 \mu g/g$,轻稀土元素强烈富集($\sum LREE = 122.84 \sim 238.535 \mu g/g$), $\sum LREE/\sum REE$ 比值为 0.915~0.938,球粒陨石标准化的稀土元素配分曲线图(图 8)上看,属于强烈右倾负斜率轻稀土富集型,而研究表明,HREE 亏损、轻重稀土分异的特征可能与源区石榴石残留有关;同时,火山岩样品显示强烈的负 Eu 异常($\delta Eu =$

0.398~0.611)和弱的负 Ce 异常($\delta Ce = 0.901 \sim 0.982$)以及 P、Ti 的强烈亏损,证明火山岩很有可能经过强烈的斜长石、磷灰石、钛铁矿结晶分异作用。此外,剖面火山岩随着 La 含量的增加,La/Sm 比值总体增加趋势不明显(图 9b),说明其是源区岩石部分熔融和结晶分异共同作用下的产物,以熔融作用为主。

5 结论

通过对阿尔山地区银江沟剖面火山岩的岩石学和地球化学的研究,可以得到以下初步结论:

(1) 本区为一套中性、酸性火山岩及火山碎屑岩的岩相组合,岩石类型有玻基安山岩、似球粒流纹岩夹晶屑凝灰岩、角砾凝灰岩、凝灰角砾岩;中性火山岩与酸性火山岩成分交替韵律变化非常清楚,显示共有两次爆发-溢流相旋回。

(2) 剖面火山岩具有极为相似的地球化学特征,显示了火山岩的同源性,中酸性火山岩均反映了岛弧和大陆弧火山岩的一些特征,这种特性显示该区火山岩浆可能源于受早期俯冲洋壳流体交代的地幔楔或亏损地幔。火山岩浆演化由熔融作用和分离结晶作用共同控制,以熔融作用为主,上升过程中接受了一定程度的地壳混染。

致谢 夏国清博士,杨伟、陈三运、惠博、武向峰、杨辰雨等在野外工作、本文写作及实验过程中提供了许多帮助!此外,评审专家和编辑老师在文章修改上提出了建设性意见,在此一并表示衷心的感谢!

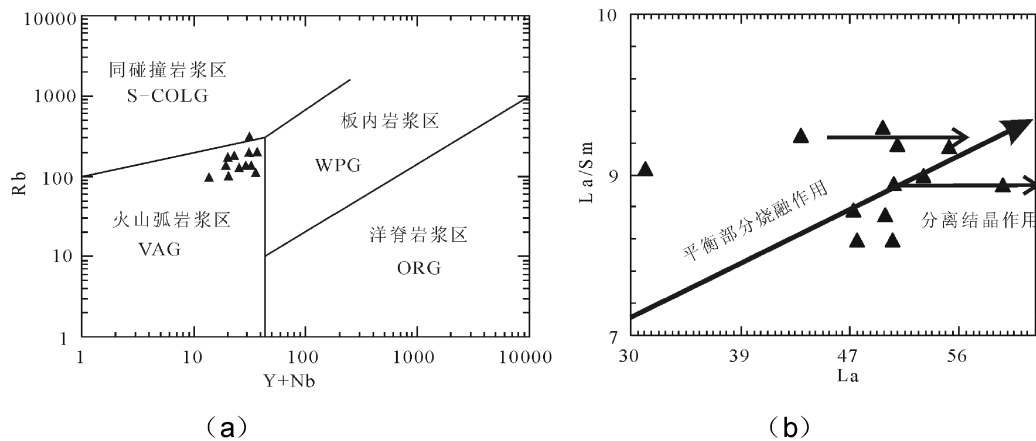


图 9 内蒙古银江沟地区火山岩 Rb-(Y+Nb)图解(据 Pearce *et al.*, 1984)和 La/Sm-La 图解
Fig. 9 Rb-(Y+Nb) (a) (after Pearce *et al.*, 1984) and La/Sm-La (b) diagram of volcanic rocks from the Yingjianggou area in Inner Mongolia (after Pearce *et al.*, 1984)

[References]

Bai Zhi-da, Tian Ming-zhong, Wu Fa-dong, Xu De-bing, Li Tuan-jie. 2005. Yanshan、Gaoshan – two active volcanos of the volcanic cluster in arshan, inner Mongolia[J]. Earthquake Research In China, 21(1): 113–117

Bureau of geology and mineral resources of inner Mongolia autonomous region. 1991. Regional geology of inner Mongolia autonomous region [M]. Beijing : Geological Publishing House; 56–77

Boynton WV. 1984. Geochemistry of the rara earth elements; meteorite studies. In: Henderson (ed). [J]. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, 63–114

Chen Zhi-guang, Zhang Lian-chang, Zhou Xin-hua, Wan Bo, Ying Ji-feng, Wang Fei. 2006. Geochronology and geochemical characteristics of volcanic rocks section in Manzhouli Xinyouqi, Inner-Mongolia [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(12): 1–14

Chen Yi-xian, Chen Wen-ji, Zhou Xin-hua, Li Qi, Zhang Guo-hui, Wang Fei. 1997. The Mesozoic volcanic rocks in the western Liaoning Provence and its adjacent areas; Geochronology geochemistry and tectonic backgrounds[J]. Beijing: Seismological Press: 1–279

Chen Guang-yi, Zhu Ying-tang, Wang Hong-li, Shen Kun, Tian Jiang-fei. 2009. Geological Characteristics of Jurassic Volcano-sedimentary Basins and Geochemical Anomaly of Aershan Area, Inner Mongolia [J]. Geology and Exploration, 45(5): 563–569

Elliott T, Plank T, Zindler A, White W, Bourdon B. 1997. Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc[J]. Journal of Geophysical Research, 102(B7): 14991–15002

Ge Wen-chun, Lin Qiang, Sun De-you, Wu Fu-yuan, Yuan Zhong-kuan, Li Wen-yuan, Chen Ming-zhi, Yin Cheng-xiao. 1999. Geochemical characteristics of Mesozoic basaltic volcanic rocks in Da-Hinggan Mountains, Evidence for mantle-crust interaction[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(3): 396–407

Ge Wen-chun, Lin Qiang, Li Xian-Hua, Wu Fu-yuan, Sun De-you, Yin Cheng-xiao. 2000. The geochemical characteristics of the basalts of YiLieKeDe Formation in north Da - Hinggan Mountains [J]. Mineral. Petrol, 20(3): 14–18

Guo Feng, Fan Wei-Ming, Wang Yue-jun, Lin Ge. 2001. Petrogenesis of the late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mts[J]. Acta Petrologica Sinica, 17(1): 161–168

Inner Mongolia Autonomous Region Department of Land And Resources. 2006. 1:50000 Regional Geological Survey Report of Aershan area [M]. Inner Mongolia Autonomous Region Department of Land And Resoures; 42–44

Lin Qiang, Ge Wen-chun, Sun De-you, Wu Fu-yuan, Yuan Zhong-kuan, Min Gen-de, Chen Ming-zhi, Li Wen-yuan, Quan Zhi-chun, Yin Cheng-xiao. 1998. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in northeastern China[J]. Sei. Geol. Sinica, 33(2): 129–139

Lin Qiang, Ge Wen-chun, Cao Lin, Sun De-you, Lin Jing-guo. 2003. The geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in DaXing'anling Mountains[J]. Geochimica, 32(3): 208–222

Li Si-tian, Yang Shi-gong. 1987. The late Mesozoic rifting in the north-eastern China and the fault-rifting basins in East Asia[J]. Science in China (series B), 21: 185–195

Lu Zhi-cheng, Duan Guo-zheng, Hao Li-bo, Li Dian-chao, Pan Jun, Wu Feng-chang. 2004. Petrological and geochemical studies on the intermediate-basic volcanic rocks from the middle-south part of the Da-Hinggan Mountains [J]. Geological Journal of China Universities, 10(2): 186–198

Ma Jia-Jun, Fang Da-he. 1991. A preliminary study of the Mesozoic volcanic rocks in Heilongjiang Province[J]. China, Heilongjiang Geology, 2(2): 1–16

Peccerillo R and Taylor SR. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area , northern Turkey [J]. Contrib. Mineral. Petrol, 50: 63–81

Rickwood PC. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 22: 247–263

Roger NW. 1992. Potassic magmatism as a key to trace-element enrichment processes in the uppermantle[J]. Volcan Geother Res, 50: 85–99

Shao Ji-an, Zhang Lv-qiao, Mou Bo-lei. 1999. Two kinds of vertical accretion of the continental crust ; An example of the Da-Hinggan Mts [J]. Acta Petrologica Sinica, 19(4): 600–606

Shao Ji-an, Liu Fu-tian, Chen Hui , Han Qin-jun. 2001. Relationship between Mesozoic magmatism and subduction in Da-Hinggan Mts. – Yanshan area[J]. Acta Geologica Sinica, 75(1): 56–63

Wilson M. 1989. Igneous petrogenesis [J]. London: Unwin Hyman: 1–466

Yi Hai-sheng, Lin Jin-hui. 2004. The Cenozoic high-K calc-alkaline volcanic rock series in the Northern Tibetan Plateau; implications for crust-mantle interaction. [M]. Beijing: Geological Publishing House; 1–95

Zhao Guo-long, Yang Gui-lin, Wang Zhong, Fu Jia-fa , Yang Yun-zhuo. 1989. Mesozoic volcanic rocks in middle-south Da-Hinggan Mountains[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press: 1–260

Zhang Lian-chang, Chen Zhi-guang, Zhou Xin-hua, Ying Ji-feng, Wang Fei, Zhang Yu-tao. 2007. Characteristics of deep sources and tectonic-magmatic evolution of the early Cretaceous volcanics in Genhe area, Da-Hinggan Mountains; Constraints of Sr-Nd-Pb-Hf isotopic geochemistries[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(11): 2823–2835

Zhou Jia-zhi. 2000. Characteristica of Mesozoic magmatic rocks in western ZheJiang and their relationship with uranium mineralization [J]. Uranium Geology, 16(3): 143–149

[附中文参考文献]

白志达, 田明中, 武法东, 徐德兵, 李团结. 2005. 焰山、高山-内蒙古阿尔山火山群中的两座活火山[J]. 中国地震, 21(1): 113–117

陈志广, 张连昌, 周新华, 万博, 英基丰, 王非. 2006. 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, 22(12): 1–14

陈义贤, 陈文寄, 周新华, 李齐, 张国辉, 王非. 1997. 辽西及邻区中生代火山岩年代学、地球化学和构造背景[M]北京: 地震出版社: 1–279

陈广义, 朱迎堂, 王洪黎, 沈坤, 田江飞. 2009. 内蒙古阿尔山侏罗纪火山沉积盆地地质特征及地球化学异常[J]. 地质与勘探, 45(5): 563–569

葛文春,林 强,孙德有,吴福元,元钟宽,李文远,陈明植,尹成孝. 1999. 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,15(3):396-407

葛文春,林 强,李献华,吴福元,孙德有,尹成孝. 2000. 大兴安岭北部伊列克得组玄武岩的地球化学特征[J]. 矿物岩石,20(3):14-18

郭 锋,范蔚茗,王岳军,林 舸. 2001. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用[J]. 岩石学报,17(1):161-168

林 强,葛文春,孙德有,吴福元,元钟宽,闵庚德,陈明植,李文远,权致纯,尹成孝. 1998. 东北地区中生代火山岩的大地构造意义. 地质科学,33(2):129-139

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[J]. 地球化学,32(3):208-222

吕志成,段国正,郝立波,李殿超,潘 军,吴丰昌. 2004. 大兴安岭中南段中生代中基性火山岩岩石学地球化学研究[J]. 高校地质学报,10(2):186-198

李思田,杨世恭. 1987. 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),21(2):185-195

马家骏,方大赫. 1991. 黑龙江省中生代火山岩初步研究[J]. 黑龙江地质,2(2):1-16

内蒙古自治区地矿局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社:56-77

内蒙古国土资源厅. 2006. 阿尔山 1:50000 区域地质调查报告[M]. 内蒙古国土资源厅:42-44

邵济安,张履桥,牟堡垒. 1999. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用[J]. 地学前缘,6(4):339-346

邵济安,刘福田,陈 辉,韩庆军. 2001. 大兴安岭-燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用关系[J]. 地质学报,75(1):56-61

伊海生,林金辉. 2004. 藏北高原新生代高钾钙碱性系列火山岩与壳-幔相互作用[M]. 北京:地质出版社:1-95

张连昌,陈志广,周新华,英基丰,王 非,张玉涛. 2007. 大兴安岭根河地区早白垩世火山岩深部源区特征与构造-岩浆演化:Sr-Nd-Pb-Hf 同位素地球化学制约[J]. 岩石学报,23(11):2823-2835

赵国龙,杨桂林,王 忠,付嘉发,杨玉琢. 1989. 中南部中生代火山岩[M]. 北京:北京科学技术出版社:1-260

周家志. 2000. 浙西中生代岩浆岩特征及其与铀矿的关系[J]. 铀矿地质,16(3):143-149

Characteristics of Petrology and Geochemistry of Volcanic Rocks in the Yinjianggou, Aershan Area

WU Chi-hua¹, Yi Hai-sheng¹, SHEN Kun², ZHU Ying-tang^{1,3}, XIE Hui¹, CAO Tong-sheng¹, TIAN Jiang-fei¹

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059; 2. The No. 1 Geological Exploration Institute of Henan Province, Nanyang 474200; 3. Key Laboratory of Earth Exploration and Information Techniques of MOE, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract: The study of a typical profile of the Upper Jurassic volcanic rock in the Yinjianggou area suggests that this region has a lithological combination of a suit of medium-acid and acid volcanic rocks and volcanic clastic rocks. The rock types include sakalavite, rhyolite, crystal tuff, and tuff breccia. The alternating rhythmic changes between medium-acid and acid volcanic rocks in composition is very clear, indicating two outbreak-overflow phase cycles. Geochemical analysis of the samples shows that the content of SiO_2 is 68.14 ~ 75.40%, rich in alkali, as high-alumina, high-potassium, and low-magnesium, implying a high-potassium calcalkalic volcanic rock. It demonstrates total REE and LREE enrichment with sharp negative Eu anomalies ($\delta\text{Eu}=0.398 \sim 0.611$), weak negative Ce anomalies ($\delta\text{Ce}=0.901 \sim 0.982$) and intense fractionation between LREE and HREE. The primitive mantle-normalized spidergrams are characterized by LILE enrichment and HFSE depletion, for a significantly negative Th-Pb-Ti anomaly and an intense enrichment Ba-Rb-Sr anomaly. These medium-acid and acid volcanic rocks reflect some features of island-arc and continental arc settings.

Key words: Da-Hinggan mountains, volcanic rock, petrology, geochemistry