

doi: 10.11720/wtyht.2016.5.07

鲁艳明, 所承逊, 专少鹏, 等. 内蒙古阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩地球化学特征及其成矿潜力[J]. 物探与化探, 2016, 40(5): 885-892. http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.5.07

Lu Y M, Suo C X, Zhuan S P, et al. Geochemistry and metallogenic potentiality of Early Cretaceous intrusive rocks in Ar Horqin area, Inner Mongolia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(5): 885-892. http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.5.07

# 内蒙古阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩地球化学特征及其成矿潜力

鲁艳明, 所承逊, 专少鹏, 殷敏

(河北省区域地质矿产调查研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩主要由中细粒花岗闪长岩、中细粒二长花岗岩、花岗斑岩组成, 岩体总体具有富硅、富钠而相对贫钾的特征, 属准铝质—弱过铝质的钙碱性系列。岩体中稀土元素总量较低, 轻重稀土发生分馏, 具有明显的 Eu 负异常, 亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti, 相对富 Th、U、Zr、La 和轻稀土元素, 相对贫 Sr, 属 I 型花岗岩。岩体主体来源于壳源组分的部分熔融, 形成于早白垩世的后碰撞伸展环境, 为有利成矿构造演化阶段。岩体中,  $w(K)/w(Rb)$  比值、 $w(Rb)/w(Sr)$  比值、 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$  比值、分异指数 DI 较大, 固结指数 SI 较小, 属演化程度低、分异程度较高的氧化型磁铁矿系列花岗岩, 其地球化学含矿性参数显示 Mo、Cu、Pb-Zn 金属成矿潜力依次降低, Au 成矿潜力差。

**关键词:** 阿鲁科尔沁; 早白垩世; I 型花岗岩; 地球化学特征; 后碰撞伸展; 成矿潜力

**中图分类号:** P632      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2016)05-0885-08

阿鲁科尔沁地区位于内蒙古赤峰市东北部, 在构造位置上属于兴蒙造山带(中亚造山带东段)的一部分, 经历了复杂的构造演化史。前中生代时期, 西伯利亚板块和中朝板块经历了长期、多阶段的俯冲碰撞, 并最终于二叠纪末—早三叠世沿索伦缝合带发生拼合, 形成巨型中亚造山带<sup>[1-2]</sup>(图1)。此后, 该区进入碰撞后地壳演化阶段, 并逐渐向滨太平洋构造域发展过渡。在晚侏罗世—早白垩世区域应力场由挤压转变为伸展环境<sup>[3-4]</sup>, 并伴随大规模的火山喷发和岩浆侵入活动。

笔者依托内蒙古阿鲁科尔沁旗等4幅1:5万矿产地质调查资料, 对阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩地球化学特征进行研究, 探讨其岩石成因、产出构造环境及成矿潜力, 以为区域花岗岩成因和资源勘查工作提供资料和依据。

## 1 地质背景

区内出露的地层主要为上古生界石炭系阿木山组( $C_2a$ )碳酸盐岩沉积、二叠系大石寨组( $P_{1-2}d$ )中

酸性火山岩夹变质碎屑岩, 中生界侏罗系新民组( $J_2x$ )、满克头鄂博组( $J_3m$ )、玛尼吐组( $J_3mn$ )、白音高老组( $J_3b$ ), 以及白垩系梅勒图组( $K_1m$ )、新生界等, 其中以中生界侏罗系火山岩地层占主体(图1)。

区内侵入岩分布广泛, 但规模不大, 包括晚二叠世少量辉绿岩, 晚侏罗世二长闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩, 早白垩世花岗闪长岩、二长花岗岩和花岗斑岩。其中早白垩世3种岩石类型特征为: ①中细粒花岗闪长岩( $K_1\gamma\delta$ ): 呈岩株状产出, 侵入大石寨组和满克头鄂博组, 岩石呈浅灰色, 中细粒花岗结构, 块状构造, 主要矿物成分为斜长石(65%)、碱性长石(10%)、石英(20%)、角闪石(5%)。②中细粒二长花岗岩( $K_1\eta\gamma$ ): 呈岩株状产出, 侵入中—下二叠统大石寨组、上侏罗统满克头鄂博组, 同时侵入中细粒花岗闪长岩, 岩石呈肉红色, 中细粒花岗结构, 块状构造, 主要矿物成分为钾长石(35%)、斜长石(35%)、石英(27%), 暗色矿物少量。③花岗斑岩( $K_1\gamma\pi$ ): 侵入中—下二叠统大石寨组和晚侏罗世花岗闪长岩, 岩石呈肉红色, 斑状—基质微粒结构, 块

收稿日期: 2016-02-01

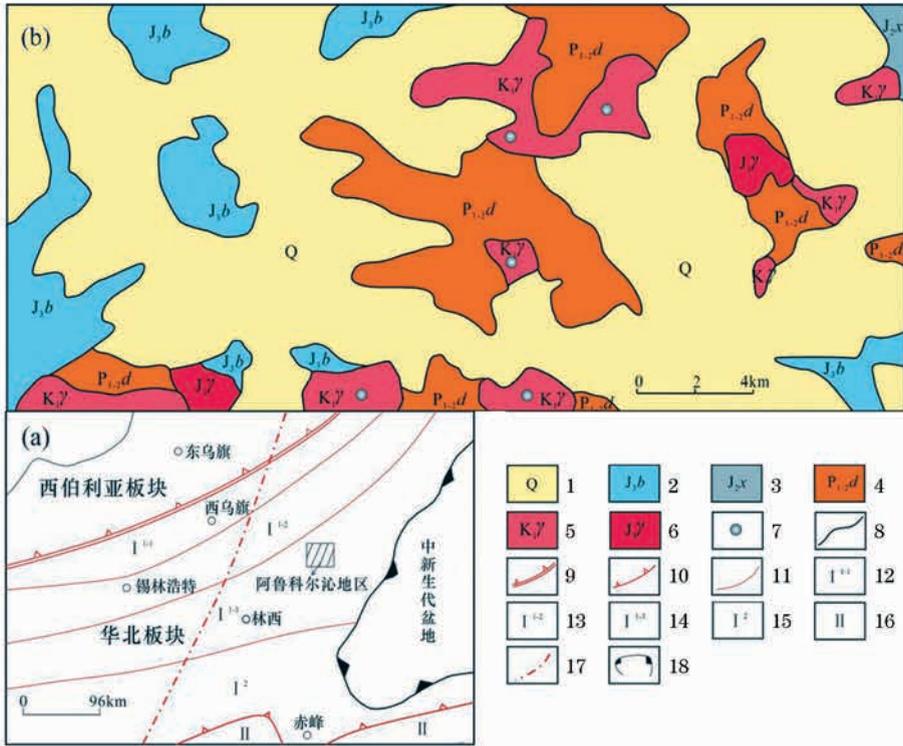
基金项目: 内蒙古自治区地质矿产勘查基金中心“内蒙古自治区阿鲁科尔沁旗等四幅1:5万区域矿产地质调查”项目(NMKD2009-47)

万方数据

状构造,斑晶由钾长石(25%)和石英(15%)组成,基质由长石、石英组成。

东西向为主,主要形成于古生代、中生代。目前为止发现有有色金属 Cu (Ag、Mo)、Ag、Zn、Pb、Au 等矿(化)点 21 处,铁矿化点 6 处。

区内断裂构造比较发育,以北东向、北西向、近



1—第四系;2—白音高老组;3—新民组;4—大石寨组;5—早白垩世侵入岩;6—晚侏罗世侵入岩;7—采样点;8—地质界线;9—板块缝合带;10—二级构造单元分界断裂;11—三级与四级构造单元分界断裂;12—索伦—西乌旗晚古生代增生陆缘;13—艾力格庙—锡林浩特地块;14—乌兰浩特—林西晚古生代裂谷带;15—镶黄旗—赤峰火山型被动陆缘;16—阴山隆起带;17—大兴安岭—太行山中生代岩浆岩带主脊;18—中生代盆地界线

图 1 内蒙古阿鲁科尔沁地区大地构造位置 (a) 及区域地质简图 (b)

## 2 早白垩世侵入岩地球化学特征

对研究区早白垩世侵入岩体的 3 种岩性于野外露头处分别采集了具有代表性的样品,使规模相对较大的岩株均有样品分布,且样品新鲜无蚀变。全

岩主量、微量元素分析在广州澳实矿物实验室进行,主量元素分析采用 ICP-AES 方法,分析精度优于 5%;微量元素和稀土元素分析方法为 LiBO<sub>2</sub> 熔融,在 1 000 °C 以上的熔炉中熔化,采用 ICP-MS 分析,分析精度优于 10%。样品分析结果见表 1。

表 1 阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩主量元素和稀土、微量元素分析结果

指标	花岗闪长岩		二长花岗岩		花岗斑岩
	P10YQ2	P11YQ1	P10YQ4	P10YQ3	P23YQ1
SiO <sub>2</sub>	74.14	76.18	76.96	77.38	77.4
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.21	0.14	0.18	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.88	11.6	11.88	12.22	12.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.04	1.55	1.4	0.99	1.06
FeO	0.98	1.29	0.29	0.26	0.31
MnO	0.02	0.08	0.02	0.02	0.07
MgO	0.38	0.49	0.15	0.17	0.1
CaO	1.1	0.39	1.38	0.99	0.79
Na <sub>2</sub> O	5.42	5.08	4.38	4.6	3.98
K <sub>2</sub> O	1.39	1.38	2.4	2.27	3.93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.03	0.01	0.02	0.01
烧失量	0.67	1.08	0.94	0.82	0.69
总方差数据	99.52	99.39	99.95	99.89	99.95

(续表)

指标	花岗闪长岩		二长花岗岩		花岗斑岩
	P10YQ2	P11YQ1	P10YQ4	P10YQ3	P23YQ1
DI	89.67	91.78	91.18	92.62	96.09
SI	3.75	5.02	1.75	1.82	1.07
A/CNK	0.992	1.098	0.965	1.033	1.084
A/NK	1.14	1.14	1.18	1.19	1.09
A/MF	2.6	2.3	4.61	6.07	5.88
C/MF	0.4	0.14	0.97	0.89	0.15
$\sigma_{43}$	1.48	1.25	1.35	1.37	1.82
Mg <sup>#</sup>	12	15	9	13	7
$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/w(\text{FeO})$	2.08	1.20	4.83	3.81	3.42
$T_{\text{Zr}}$	776	896	906	845	882
Rb	8.9	16.1	40.9	42.6	80.2
Sr	122.2	23.5	23.3	26.8	27
Ba	89.9	378.7	480.4	420.9	270.3
Nb	4.5	4.6	4.3	4.3	11.01
Ta	0.29	0.31	0.36	0.51	1.18
Zr	83.7	281.4	335.8	175.9	261.2
Hf	1.2	2.3	4.1	2	7.38
Th	3.1	2.4	5.7	3.9	6.3
U	0.64	0.54	1.02	0.79	0.56
K	5312	4482	8466	6557	6235
Ti	2548	1286	831	1076	1139
P	313.29	145.47	33.59	89.53	61
Co	1.8	1.5	1.4	1.4	0.2
石英(q)	32.33	39.73	39.38	39.77	38.74
钙长石(An)	5.06	1.77	5.73	4.83	0.78
钠长石(Ab)	55.01	43.75	37.46	39.3	33.94
正长石(Or)	2.33	8.3	14.34	13.55	23.41
刚玉(C)	0.06	1.13	0	0.45	0.96
透辉石(Di)	0	0	0.96	0	0
紫苏辉石(Hy)	2.41	3.12	0.84	0.96	0.89
钛铁矿(Il)	0.81	0.41	0.27	0.35	0.36
磁铁矿(Mt)	1.82	1.72	1.01	0.76	0.89
磷灰石(Ap)	0.16	0.07	0.02	0.05	0.02
La	18.35	11.05	13.0375	11.71	27.04
Ce	43.92	48.32	37.6725	35.06	67.39
Pr	5.87	5.36	6.2275	4.09	9.59
Nd	25.59	24.5	20.3325	17.83	37.41
Sm	6.58	7.67	6.9675	5.07	8.55
Eu	1.25	1.34	1.0125	0.79	1.07
Gd	6.29	6.35	5.2175	4.87	7.36
Tb	1.35	1.55	1.3325	1.1	1.33
Dy	9.18	10.81	8.6675	7.61	7.07
Ho	1.93	2.25	1.8025	1.68	1.35
Er	5.78	6.56	5.375	5.19	3.97
Tm	1.03	1.14	0.9425	0.99	0.61
Yb	6.5	6.71	5.8475	6.6	3.58
Lu	0.8	0.89	0.83	0.85	0.78
Y	57.5	58.53	50.3475	49.77	35.59
$\Sigma[w(\text{REE})]$	134.42	134.50	115.27	103.44	177.10
$w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$	3.09	2.71	2.84	2.58	5.80
$[w(\text{La})/w(\text{Yb})]_{\text{N}}$	2.02	1.18	1.60	1.27	5.42
$\delta\text{Eu}$	0.59	0.57	0.49	0.48	0.40
$\delta\text{Ce}$	1.03	1.53	1.02	1.24	1.02
$[w(\text{La})/w(\text{Sm})]_{\text{N}}$	1.8003347	0.9300579	1.2079819	1.4910494	2.0416611
$[w((\text{Gd})/w(\text{Lu}))_{\text{N}}$	0.9718127	0.8818721	0.7769736	0.7081609	1.1662861
$w(\text{K})/w(\text{Rb})$	1297	712	487	442	407
$w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$	0.07	0.69	1.76	1.59	2.97

注:氧化物、标准矿物含量单位为%,稀土元素、微量元素含量单位为 $10^{-6}$ ;铝饱和度 $A/\text{CNK} = w(\text{Al}_2\text{O}_3)/[w(\text{CaO}) + w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]$ ,  
 $A/\text{NK} = w(\text{Al}_2\text{O}_3)/[w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]$ ,里特曼指数 $\sigma_{43} = [w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})]^2/[w(\text{SiO}_2) - 43]$ ,分异指数 $\text{DI} = \text{Qz} + \text{Or} + \text{Ab} + \text{Ne} + \text{Lc} + \text{Kp}$ (CIPW标准矿物含量),固结指数 $\text{SI} = 100 \times w(\text{MgO})/[w(\text{MgO}) + w(\text{FeO}) + w(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]$ , $A/\text{MF} = w(\text{Al}_2\text{O}_3)/[w(\text{FeO}) + w(\text{MgO})]$ , $C/\text{MF} = w(\text{CaO})/[w(\text{TFeO}) + w(\text{MgO})]$ , $\text{Mg}^{\#} = 100 \times w(\text{MgO})/[w(\text{MgO}) + w(\text{TFeO})]$ , $T_{\text{Zr}} = 12900/[2.95 + 0.85M + \ln(496000/Z_{\text{Al}})] - 273.15$ ,其中 $M = [w(\text{Na}) + w(\text{K}) + 2w(\text{Ca})]/[w(\text{Al}) \times w(\text{Si})]$

### 2.1 主量元素特征

中细粒花岗闪长岩中的  $\text{SiO}_2$  含量介于 74.14%~76.18% 之间,总体上具有富硅、富钠( $\text{Na}_2\text{O}$  含量为 5.08%~6.42%)、低钾( $\text{K}_2\text{O}$  含量为 1.38%~1.39%)的特征;里特曼指数  $\sigma_{43} = 1.25 \sim 1.48$ ,在  $w(\text{SiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O})$  图解(图 2b)中样品均落入钙碱性系列;在 A/CNK-A/NK 图解(图 2a)上,样品显示为准铝质—弱过铝质;分异指数  $\text{DI} = 89.67 \sim 91.78$ ,固结指数  $\text{SI} = 3.75 \sim 5.02$ ,反映岩浆分异程度较高。

中细粒二长花岗岩中的  $\text{SiO}_2$  含量为 76.96%~77.38%,总体上具有富硅、富钠( $\text{Na}_2\text{O}$  含量为 4.38%~4.6%)、低镁( $\text{MgO}$  含量为 0.15%~0.17%)、低钾( $\text{K}_2\text{O}$  含量为 2.27%~2.4%)的特征;里特曼指数  $\sigma_{43} = 1.35 \sim 1.37$ ,在  $w(\text{SiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O})$  图解(图 2b)中样品落于钙碱性系列区域;在 A/CNK-A/NK 图解(图 2a)

上,样品显示为准铝质—弱过铝质;标准矿物计算结果中,出现标准矿物刚玉分子,但含量较低,显示高硅铝饱和属性;分异指数  $\text{DI} = 91.18 \sim 92.62$ ,固结指数  $\text{SI} = 1.75 \sim 1.82$ ,反映岩浆分异程度较高。

花岗斑岩中的  $\text{SiO}_2$  含量为 77.4%,具有富硅、富碱( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量为 7.91%)的特征;里特曼指数  $\sigma_{43} = 1.82$ ,在  $w(\text{SiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O})$  图解(图 2b)中样品落于高钾钙碱性系列与钙碱性系列的过渡区域;在 A/CNK-A/NK 图解(图 2a)上,样品显示为弱过铝质;分异指数  $\text{DI} = 96.09$ ,固结指数  $\text{SI} = 1.07$ ,反映岩浆分异程度高。

总体上,阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩均表现出了明显富硅、富钠而相对贫钾的特征,由于相对较低的  $\text{K}_2\text{O}$  含量,岩石总体上属于钙碱性系列,同时显示出了准铝质—弱过铝质的特征。

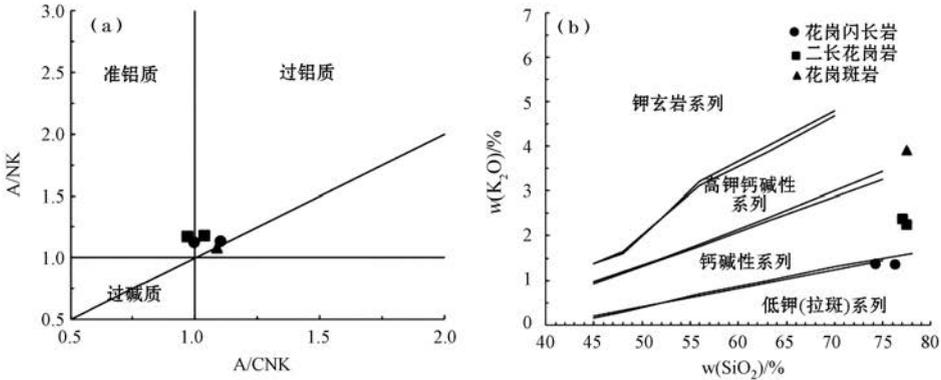


图 2 早白垩世侵入岩 A/NK-A/CNK 图解 (a) (底图据 Maniar, et al<sup>[5]</sup>)、 $w(\text{SiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O})$  图解 (b) (底图据 Rickwood<sup>[6]</sup>)

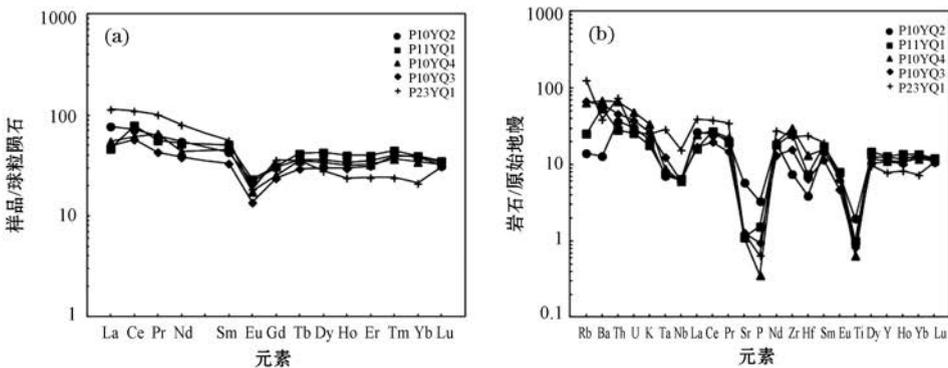


图 3 早白垩世侵入岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线 (a) 和微量元素原始地幔标准化蛛网图 (b) (标准化数值据 Sun and McDonough<sup>[11]</sup>)

### 2.2 稀土元素特征

阿鲁科尔沁地区早白垩世各侵入岩体样品的稀土元素总量 ( $\Sigma\text{REE}$ ) 变化不大,为  $103.44 \times 10^{-6} \sim 177.10 \times 10^{-6}$ ,平均值为  $132.95 \times 10^{-6}$ ,低于世界花岗岩的平均值 ( $254.3 \times 10^{-6}$ <sup>[7]</sup>),  $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$  值变化在 2.58~5.80 之间,  $[w((\text{La})/w(\text{Yb}))]_N$  值为 1.18~5.42。在球粒陨石标准化的稀土元素配分

模式图上(图 3a),岩体中稀土元素总体表现为右倾型曲线,显示轻重稀土分馏明显,轻稀土元素富集的特征。 $[w(\text{La})/w(\text{Sm})]_N$  介于 0.93~2.04 之间,  $[w(\text{Gd})/w(\text{Lu})]_N$  介于 0.70~1.16 之间,轻稀土较重稀土内部分馏程度更强烈,这与传统的地壳重熔型或地幔型花岗岩的稀土元素构成均有所不同<sup>[8]</sup>。

各样品均表现出明显的 Eu 负异常,  $\delta\text{Eu}$  值在 0.40~0.59 之间, 低于地壳平均组分的  $\delta\text{Eu}$  值(0.96)<sup>[9-10]</sup>, 反映岩石在形成过程中源区有斜长石的残留或在后期发生了斜长石的分离结晶。

### 2.3 微量元素特征

在微量元素蛛网图(图 3b)中, 阿鲁科尔沁地区早白垩世各侵入岩体样品的微量元素总体显示较为一致的分布型式, 微量元素总量差别不大。Th、U、Zr 呈现明显的正异常, Nb、Ta、Ti 呈现负异常, 大离子亲石元素 Sr 呈现明显的负异常, P 呈现负异常, 为高分异 I 型花岗岩或壳源型花岗岩特征。其中强不相容元素 Rb 的相对富集暗示花岗岩浆可能发生了充分分异, P、Ti 的亏损表明磷灰石和钛铁矿可能已发生明显的分离结晶或源区存在寄主矿物的残留, 高场强元素 Sr 的亏损可能显示其岩浆源区深度较浅。

## 3 岩石成因与构造环境分析

阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩 A/NKC 值均小于 1.1, CIPW 标准矿物计算结果中未出现刚玉分子或含量较少, 矿物组合中未见白云母、堇青石和石榴石等富铝矿物出现, 岩体中  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量普遍较低, 一般低于 0.20%, 且具有随分异作用增强而降低的变异趋势, 这均与 S 型花岗岩特点不同, 因此可排除岩体属于 S 型花岗岩的可能。

阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩具有一系列明显不同于 A 型花岗岩的化学组成特征, 主要表现

在: ①Zr、Nb、Ce、Yb 等高场强元素含量较低, 东园主岩体二长花岗岩 Zr+Nb+Ce+Y 含量变化于  $189.62 \times 10^{-6} \sim 356.43 \times 10^{-6}$  之间, 多低于 A 型花岗岩下限值 ( $350 \times 10^{-6}$ <sup>[12]</sup>), 在  $[w(\text{Zr}) + w(\text{Nb}) + w(\text{Ce}) + w(\text{Y})] - [w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})] / w(\text{CaO})$  判别图解中, 主岩体二长花岗岩均落入未分异或高分异的 I 型花岗岩区(图 4a); ②  $w(\text{Na}_2\text{O}) / w(\text{K}_2\text{O})$  值在 1.01~3.90, 明显具有富 Na 的特征, 在花岗岩  $w(\text{K}_2\text{O}) - w(\text{Na}_2\text{O})$  图解(图 4b)中, 均落于 I 型花岗岩的区域; ③岩体的碱铝指数(AKI 值)变化于 0.83~0.91, 低于 A 型花岗岩的平均值(0.95<sup>[12]</sup>); ④在微量元素蛛网图中, 早白垩世侵入岩的微量元素分布较为一致, 都表现出富集 Th、U、La, 而亏损 Sr、P、Ti, 显示了 I 型花岗岩的岩石地球化学特征<sup>[13]</sup>。

大陆弧背景下造山花岗岩均具有 Sr、P、Ti 等的亏损, 而 Nb 的负异常更能反映花岗岩具有大陆壳的特征。早白垩世侵入岩体  $w(\text{Rb}) / w(\text{Nb})$  比值平均为 6.43, 高于全壳平均值(5.36), 表明它们主要为壳源组分熔融形成的。综上所述, 阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩为壳源组部分熔融形成。

在微量元素构造环境判别图上(图 5), 阿鲁科尔沁地区早白垩世侵入岩样品点多落入板内花岗岩和火山弧环境, 特别是与大兴安岭三叠纪的同造山花岗岩相比, 明显出现向后碰撞和板内区域偏移的趋势。结合区域后造山伸展背景, 认为该时期阿鲁科尔沁地区为后碰撞伸展环境。

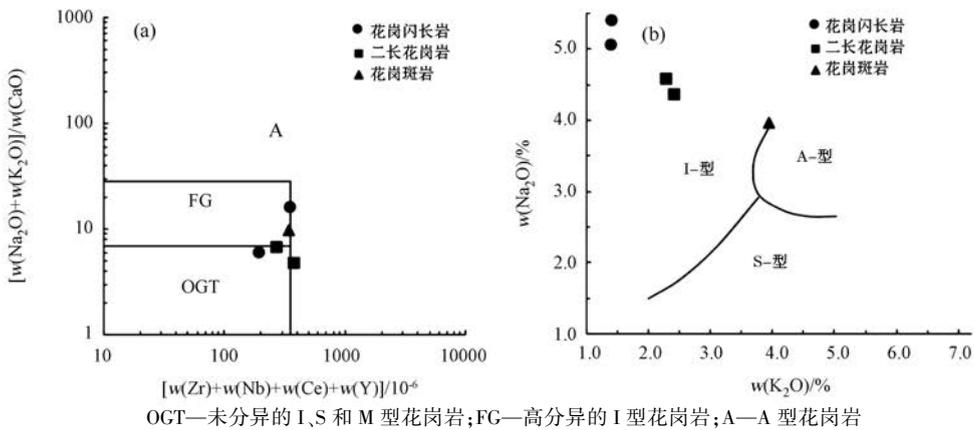
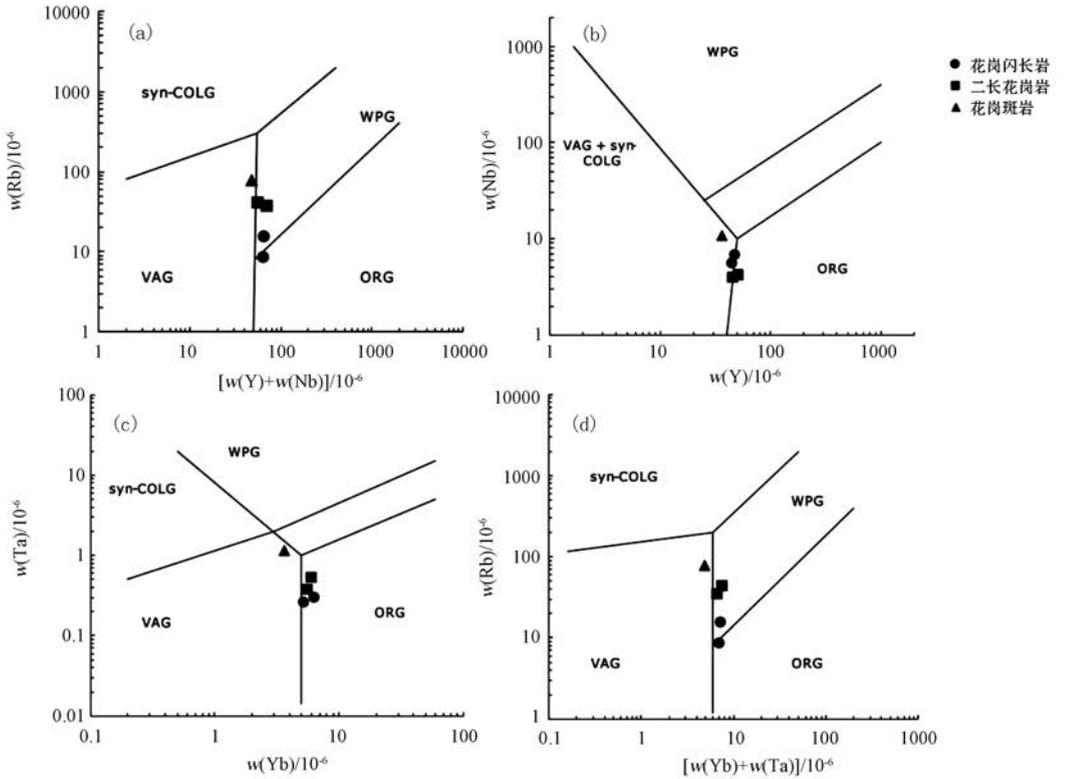


图 4 早白垩世侵入岩  $[w(\text{Zr}) + w(\text{Nb}) + w(\text{Ce}) + w(\text{Y})] - [w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})] / w(\text{CaO})$  判别图解 (a) (底图据 Whalen, et al<sup>[12]</sup>) 和  $w(\text{Na}_2\text{O}) - w(\text{K}_2\text{O})$  判别图解 (b) (底图据 Collins W.J., et al<sup>[14]</sup>)

## 4 成矿潜力分析

研究区主要金、铜、铅、锌、铁等矿化点多位于大石寨组及晚侏罗世火山侵入岩内, 其外围多有燕山

期侵入体分布, 显示燕山中晚期岩浆活动为成矿带来了重要的物质来源和能量来源。早白垩世侵入岩土壤地球化学特征显示, 侵入体中 Au、Ag、Pb、Zn、Mo 平均值高, 富集系数和变异系数均大, 能够作为



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

图 5 早白垩世侵入岩形成构造环境判别图解(底图据 Pearce<sup>[15]</sup>)

矿源体提供成矿物质<sup>[16]</sup>。

晚侏罗世到早白垩世属于天山—兴蒙造山带显生宙斑岩型 Mo 成矿期之一(190~135 Ma),处于中国东部中生代浅成低温热液 Au 成矿的 4 个年龄区间之一(144~135 Ma),同时也是中国东北地区最重要的 Cu 成矿期(200~110 Ma)。碰撞造山带常可产出斑岩型 Cu-Mo 和 Cu-Au 矿床,碰撞造山带中斑岩型矿床多发生于以岩石圈减薄和地壳伸展为特征的后碰撞地壳伸展期和晚碰撞构造转换期<sup>[17-18]</sup>。

偏酸性岩浆岩中硅质含量高,更有利于 Mo 从岩浆进入流体,偏中性花岗质岩石则更利于 Cu 成矿<sup>[19]</sup>。早白垩世花岗岩类 SiO<sub>2</sub> 含量为 74.14%~77.40%,硅质含量相对较高,相对于 Cu,更利于 Mo 成矿。碱质含量高利于矿物结晶分离,Mo 在含水熔体中的混溶性升高<sup>[20]</sup>,故高碱(钾)含量中酸性岩浆与 Cu、Mo 成矿关系密切。该岩体碱质含量在 6.46%~7.91%,属中钾钙碱性系列,不太利于结晶分异作用的进行,相对于 Mo 可能更利于 Cu 成矿<sup>[20]</sup>。铝饱和度 A/CNK 介于 0.96~1.10, A/NK 介于 1.11~1.24,属准铝质—弱过铝质岩石,可能与 Cu-Au-Mo-W-Sn 和 Li-Be-B-P 成矿有关,且与 Au 相比更利于 Cu 成矿。 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$  比值介于 1.20~4.83,属氧化型磁铁矿系列花岗岩,于  $w$

( $Fe_2O_3$ )/ $w(FeO)$ - $w(Rb)/w(Sr)$  图(图 6a)中位于 Cu-Mo 成矿花岗岩附近,于  $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$ - $w(SiO_2)$  图(图 6b)中处于 Mo 成矿花岗岩范围内,且其中花岗斑岩和二长花岗岩更可能与 Cu-Mo、Mo 及 Pb-Zn 成矿关系密切,花岗闪长岩更可能与 Cu(Au) 有关。I 型花岗岩主要与斑岩型 Cu、Mo(Au、Ag)、Pb、Zn、W 成矿有关,且氧化型 I 型花岗岩或磁铁矿系列花岗岩与斑岩型 Cu、Au 成矿关系密切<sup>[21]</sup>。早白垩世侵入岩属强氧化、低演化程度、较高分异程度花岗岩类,更可能与 Cu-Mo 成矿有关,且于靠近岩体的近端也利于 Pb、Zn 成矿, Au 成矿潜力相对较差,而不太可能与 Mo、Sn 及黑钨矿等成矿有关,岩体 Mg<sup>#</sup> 值(介于 7~15)非常低,指示岩浆未与地幔发生 AFC 过程,也间接暗示其不利于相关的 Au 成矿作用。

综上所述,研究区早白垩世侵入岩岩石地球化学含矿性评价参数显示岩体成矿潜力按 Mo、Cu、Pb、Zn 的顺序降低,具有良好的 Cu 和 Mo 成矿潜力, Au 成矿潜力差,与研究区已发现的与该期侵入岩相关的矿(化)点特征一致,特别是其中氧化性较高和分异程度相对最高的花岗斑岩具有很好的 Mo(Cu)成矿前景。

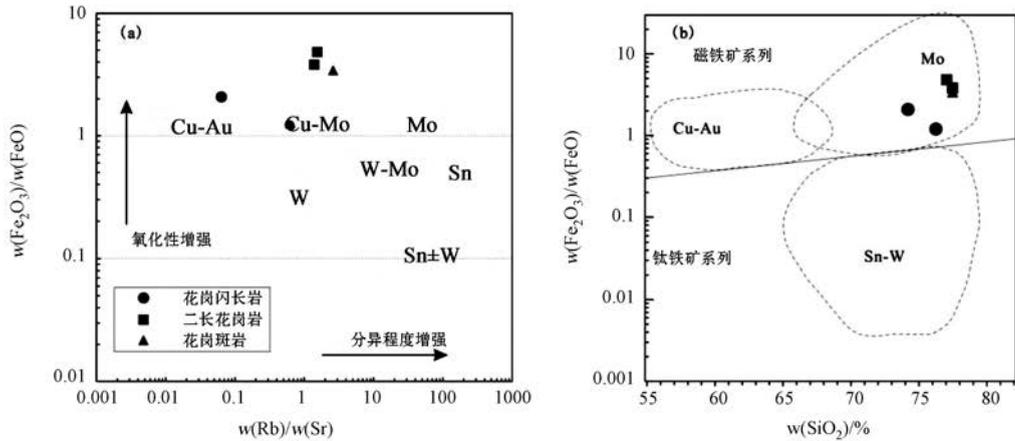


图 6 早白垩世侵入岩成矿专属性氧化度—分异度关系图解 (a) (底图据 Blevin<sup>[19]</sup>) 及氧化度—酸度关系图解 (b) (底图据 Lehmann<sup>[22]</sup>)

## 5 结论

1) 岩石地球化学特征显示,区内早白垩世侵入岩总体具有富硅、富钠而相对贫钾的特征,属准铝质—弱过铝质的钙碱性系列;稀土元素总含量较低,稀土配分模式总体呈右倾型,轻重稀土发生分馏,具有明显的 Eu 负异常;Th、U、Zr、La 富集,而 Nb、Ta、P、Ti 亏损,大离子亲石元素 Sr 亏损。

2) 区内早白垩世侵入岩与 S 型、A 型花岗岩具有明显的不同,属 I 型花岗岩,为壳源部分熔融形成。结合区域大地构造演化历史,该期侵入岩形成于早白垩世后碰撞伸展环境。

3) 早白垩世属区域 Mo、Au、Cu 等金属成矿高峰期,岩体产出的后碰撞伸展构造环境亦为有利成矿构造演化阶段; $w(K)/w(Rb)$  比值和 DI 值较大,SI 值较小,  $w(Rb)/w(Sr)$  比值较大,  $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$  比值较大,属演化程度低分异程度较高的氧化型/磁铁矿系列花岗岩,其地球化学含矿性参数显示 Mo、Cu、Pb-Zn 金属成矿潜力依次降低,Au 成矿潜力差。

## 参考文献:

[1] Chen B, Jahn B M, Simon W, et al. Two Contrasting Paleozoic Magmatic Belts in Northern Inner Mongolia China: petrogenesis and Tectonic Implications [J]. *Tectonophysics*, 2000, 328: 82 - 157.

[2] 范宏瑞,胡芳芳,杨奎锋,等.内蒙古白云鄂博地区晚古生代闪长质—花岗质岩石年代学框架及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2009, 25(11): 2933 - 2938.

[3] 罗飞,罗照华,李达靖,等.内蒙古中部白垩纪碱性花岗岩的发现及意义[J]. *现代地质*, 1995, 9(2): 203 - 211.

[4] 刘红涛,翟明国,刘建明,等.华北克拉通北缘中生代花岗岩:从碰撞后到非造山[J]. *岩石学报*, 2002, 18(4): 433 - 448.

[5] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geological society of America bulletin*, 1989, 101(5): 635 - 643.

[6] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements [J]. *Lithos*, 1989, 22(4): 247 - 263.

[7] Vinogradov A P. Average content of chemical elements in the chief types of igneous rocks of the crust of the Earth [J]. *Geokhimiya*, 1962, 21(2): 555 - 571.

[8] 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.

[9] Rudnick R L. Making continental-crust [J]. *Nature*, 1995, 378 (6557): 571 - 578.

[10] 罗红玲,吴泰然,赵磊. 乌拉特中旗二叠纪 I 型花岗岩类地球化学特征及构造意义 [J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2010, 46 (5): 805 - 820.

[11] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society*, 1989, 42(1): 313 - 345.

[12] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites — geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, 95(4): 407 - 419.

[13] Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types [J]. *Pacific Geology*, 1974, 8(2): 173 - 174.

[14] Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1982, 80(2): 189 - 200.

[15] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of petrology*, 1984, 25(4): 956 - 983.

[16] 胡宝群,白丽红,李满根,等. 内蒙古赤峰地区金矿床中砷、锑、锰和锌的特征 [J]. *物探与化探*, 2009, 21(4): 389 - 394.

[17] 欧阳海松,刘珊,胡祥昭. 姚五沟岩株地球化学特征及构造环境 [J]. *物探与化探*, 2009, 15(6): 642 - 645.

[18] 弓秋丽,朱立新,马生明,等. 斑岩型铜矿床地球化学勘查中岩石化学指标 [J]. *物探与化探*, 2009, 12(1): 31 - 34.

[19] Blevin P L. Redox and compositional parameters for interpreting the

- granitoid metallogeny of eastern Australia; implications for gold-rich ore systems[J]. *Resource Geology*, 2004, 54(3): 241-252.
- [20] Isuk E E, Carman J H. The System  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ - $\text{K}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ - $\text{MoS}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  with Implications for Molybdenum Transport in Silicate Melts[J]. *Economic Geology*, 1981, 76(8): 2222-2235.
- [21] Sillitoe R H. Porphyry Copper Systems [J]. *Economic Geology*, 2010, 105(1): 3-41.
- [22] Lehmann B. Metallogeny of tin. Lecture notes in earth sciences [M]. Berlin: Springer Verlag, 1990.

## Geochemistry and metallogenic potentiality of Early Cretaceous intrusive rocks in Ar Horqin area, Inner Mongolia

LU Yan-Ming, SUO Cheng-Xun, ZHUAN Shao-Peng, YIN Min

(*Hebei Institute of Regional Geology and Mineral Resources Survey, Langfang 065000, China*)

**Abstract:** Located in the eastern Central Asian orogenic belt, Ar Horqin area has widely distributed Mesozoic magmatic rocks. In this paper, petrologic and element geochemical studies were carried out for the early Cretaceous intrusive rocks in Ar Horqin area. The study of petrology indicates that the granitoids are mainly composed of granodiorite, adamellite and granite-porphyry. Major element geochemistry shows that the rocks are quasi-aluminous cal-alkaline granites, which are characterized by relatively rich silicon and sodium and poor potassium. Trace elements have a similar variation trend characterized by low REE, fractionation of REE, significant negative anomaly of Eu, depletion of Nb, Ta, P, Ti, and enrichment of LREE, Rb, Th, U, Zr, La. Main body of the granites belongs to calc-alkaline I genetic type. The magmas were formed by partial melting of the crust in an extensional setting after the collision, which was a favorable metallogenic tectonic evolution stage. DI values, K/Rb and Rb/Sr ratios are larger, SI values are smaller, and  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  ratios are also larger, suggesting that the granites belong to low evolution, highly fractionated oxidation type or magnetite series. Their geochemical ore parameters indicate that Mo, Cu, Pb-Zn mineralization potentiality decreases systematically, and Au mineralization potentiality is poorer.

**Key words:** Ar Horqin; Early Cretaceous; I-type granites; geochemical characteristics; extensional setting; mineralization potential

**作者简介:** 鲁艳明(1970-),男,河北吴桥县人,高级工程师,主要从事区域地质矿产调查、区域地球化学、区域地球物理勘查及管理工作。E-mail: luym2000@163.com