

河北沽源—多伦地区中生代 含铀火山岩地球化学^①

张振强

(核工业二四〇研究所,辽宁沈阳 110032)

摘要:沽源和多伦地区是燕辽多金属成矿带的重要组成部分,中生界主要发育上侏罗统白旗组、张家口组,下白垩统大北沟组 and 花吉营组。张家口组火山岩分布广、厚度大,是铀(钼)矿床的主要含矿主岩。中生代火山岩属于钙碱性系列,化学成分富硅、偏碱, δ 值1.17~7.60。稀土元素特征反映火山岩有壳幔混合和壳源改造两种成因。火山岩形成于弱造山环境,其年龄与库拉—太平洋板块向亚洲板块俯冲的时间吻合。张家口组酸性火山岩具有我国相山产铀火山杂岩富硅、富钾,锕极亏损的地球化学特征。

关键词:中生代含铀火山岩;地球化学;沽源—多伦地区;河北

中图分类号:P588.12

文献标识码:A

沽源和多伦地区位于张家口市北部,是燕辽多金属成矿带的重要组成部分(图1),在该区中生代火山盆地中发现了铅、锌、银、金等多金属矿床,二十世纪八十年代又新发现了大型铀—钼矿床,所以对中生代火山岩的研究十分重要。

1 区域地质概况

研究区的大地构造处于华北地台北缘,内蒙地轴东段,是天山—阴山东西向复杂构造与大兴安岭新华夏隆起带的交切部位,东西向和北东向主构造交切复合成为本区构造基本格局。按板块学说观点,处于欧亚板块东缘。

1.1 基底

地层主要为太古界红旗营子群的中浅变质岩系^[1]。变质程度相当于绿片岩角闪岩相。岩性主要有黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、黑云母变粒岩和浅粒岩,其次为长石石英岩和大理岩,总厚为4 550~5 460 m。红旗营子群普遍遭受不同程度的混合岩化,以钾交代为主。混合岩化弱者,形成条带状、斑杂状混合岩化变质岩;强者形成钾质混合花岗岩。基底侵入岩是分布比较广泛的海西期石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩、斑状花岗岩和石英正长斑岩。

① 收稿日期:2007-05-10

作者简介:张振强(1966~),男,博士,研究员级高工,长期从事铀矿地质科研与生产工作。

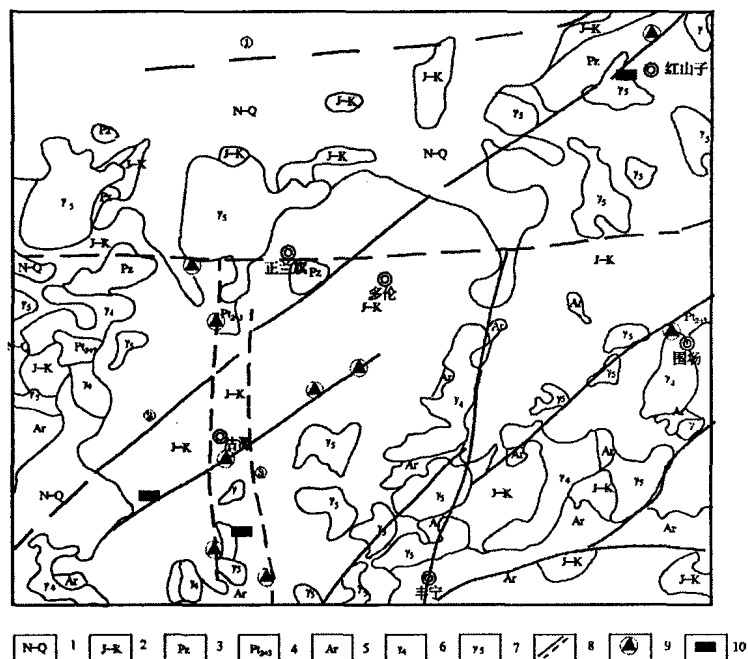


图1 沽源—多伦地区地质简图

Fig.1 Sketch geological map of Guyan-Duolun Area

1-第四系一新第三系;2-白垩系-侏罗系;3-古生界;4-中晚元古界;5-太古界;6-华力西晚期花岗岩;7-燕山晚期花岗岩;8-主要断裂带;9-多金属矿床;10-铀矿床;①-西拉木伦深断裂;②-张北—正兰旗大断裂;③-沽源—赤城大断裂

1.2 盖层

自下而上有上侏罗统白旗组中酸性火山岩,张家口组酸性、亚碱性火山岩;下白垩统大北沟组 and 花吉营组中基性火山岩^[2],局部有第三纪汉诺坝玄武岩盖在中生界之上^[3]。其中张家口组火山岩分布广、厚度大,成为盖层的主体,是铀(钼)矿床产出的含(铀)矿主岩。

1.2.1 白旗组

火山喷发早期产物。由于该期火山活动规模小,强度弱,所以喷发区主要限于深、大断裂带附近。分为两个岩性段。第一段,下部为流纹质熔结凝灰岩、凝灰质角砾岩和凝灰质粉砂岩;上部为流纹质晶屑凝灰岩,流纹质凝灰角砾岩和凝灰质砂砾岩。第二段为安山岩、气孔—杏仁状安山岩、安山质熔岩角砾岩,局部为粗安岩。

1.2.2 张家口组

平行不整合于白旗组或不整合于太古界变质岩及海西期侵入岩体之上,是本区分布最广的地层。以酸性、亚碱性火山熔岩及其火山碎屑岩为主,间有河流相粗、细碎屑沉积。岩层堆积厚度大,岩性岩相横向变化快,火山喷发韵律结构显著,多自成火山堆积区。该组划分为三个岩性段:

第一段,分布局限,下部以流纹质熔结角砾凝灰岩、流纹质晶屑玻屑凝灰岩为主,夹少量流纹质熔结集块岩、流纹岩,其底部为不稳定的含有白旗组粗安岩角砾的沉火山角砾岩;中部为流纹岩和流纹质凝灰岩、流纹质角砾凝灰岩互层;上部为流纹岩夹少量流纹质凝灰岩。

第二段,是本区最主要的岩性段,出露范围最广,东、西部岩性有异。西部主要为粗面岩、石英粗面岩,夹少量流纹岩,粗面质凝灰角砾岩、粗面质熔结凝灰岩。岩石组合和岩相较

其它两段相对稳定;东部岩性较复杂,厚度变化也大。下部为流纹岩,上部为斑流岩,中部为粗面岩或粗安岩。

第三段,出露也较广泛。该段以酸性熔岩及其碎屑岩为主。岩性有流纹岩,簿板状流纹岩,球粒流纹岩,钾长流纹岩,流纹质熔结凝灰岩,流纹质晶屑凝灰岩,流纹质凝灰角砾岩,沸石化流纹岩,夹少量的粗面岩,黑曜岩,珍珠岩等,局部见火山弹凝灰岩。

1.2.3 大北沟组

分布范围较小。其底部为底砾岩段;上部为中性熔岩段,岩性较为单一,由致密的辉石安山岩、安山岩、气孔—杏仁状安山岩组成。

1.2.4 花吉营组

分布较为广泛,覆于张家口组之上,与其为区域性不整合关系。其展布呈明显的北东—北北东方向。西部该组以碱钙性安山岩为主,间夹石英粗安岩、流纹质熔结凝灰岩和火山—沉积岩等。东部为辉石安山岩、安山岩、气孔—杏仁状安山岩及熔渣状安山岩、安山质凝灰岩、夹有砂岩、粉砂岩透镜体。

2 火山岩岩石化学特征

2.1 化学成分特征

流纹岩、粗面岩和安山岩三种岩石的化学成分与国内(黎彤, 1962)同类岩石化学成分比较,流纹岩 SiO_2 、 K_2O 高,而 Na_2O 、 Al_2O_3 、 MgO 则低。标准矿物以出现大量的 Or、Q 为特征(表 1);粗面岩类同样显示 SiO_2 、 K_2O 组分略高, Na_2O 明显偏低的特征。标准矿物以 Ab 和 Q 含量大,同时又不出现 Ol、Ne 与国内同类岩石相区别;安山岩的全碱、 K_2O 和 Na_2O 含量高,标准矿物 Or、Ab、Q 往往偏多,An、Hy 则偏低,个别样品出 Ol 和 Ne,表明碱性程度高。

据对我国相山大型铀矿田产铀火山杂岩特征研究^[10],偏富碱质是工业铀矿床酸性火山岩的特征,此区张家口组酸性火山岩也富 SiO_2 、 K_2O ,也具有这种特征。

2.2 岩石系列

将火山岩岩石化学成分投影于 AFM 图上(图 2),可以看出,它们属于钙碱性火山岩系列。另据计算,本区火山岩的 $\text{Al}/(\text{Na} + \text{K} + 2\text{Ca})$ 比值(原子比)介于 0.76 ~ 1.22 之间,绝大多数为 0.96 ~ 1.08,接近于 1,这也是钙碱性火山岩的另一个重要化学特征。

2.3 碱度率

运用赖特提出的碱度率,并分析岩石碱度率与 SiO_2 含量的关系(图 3)可以看出,火山岩岩石化学成分的投影点大致平行于钙碱质和弱碱质区间界线^[4]。除个别喷出相火山碎屑岩落在钙碱性区外,大部分岩石都是弱碱性的。

从岩石的里特曼组合指数 δ 值和综合钙碱指数 CAI(表 1)可以看出,本区岩石的 δ 值在 1.17 ~ 7.60 范围内。

含矿主岩张家口组流纹岩及其碎屑岩的 δ 为 1.54 ~ 3.675,属钙碱性。岩石富硅、偏碱、 SiO_2 过饱和, Si/Al 值为 6.19 ~ 6.38, $\text{K} > \text{Na}$, K/Na 值 0.99 ~ 4.50,为高酸度岩浆产物。在 ACF 图解中,其投影点均落在改造型(S 型)酸性岩浆岩区。

安山玄武岩和安山岩的 δ 值为 4.38 ~ 7.60,集中于 2.19 ~ 4.58,属钙碱性与碱钙性过渡的岩石。流纹岩及其碎屑岩、粗面岩和安山岩的综合钙碱指 CAI 分别为 1.18 ~ 1.40、

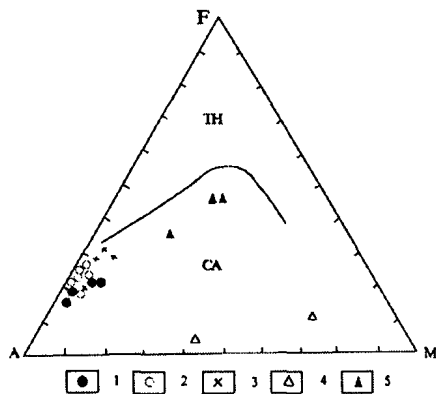


图 2 岩石 AFM 图解

Fig. 2 AFM diagram of rocks

1-TH:拉斑玄武岩 CA:钙碱性玄武岩;1-流纹岩;
2-凝灰岩;3-粗面岩;4-白旗组安山岩;5-大北沟组
和花吉营组安山岩、玄武岩

1.64 和 2.34 ~ 2.57, 反映出各类岩石均富碱。

2.4 稀土元素

本区火山岩稀土分析结果及参数见表 2, 分布模式如图 4。从中可以得出, 火山岩稀土元素分布模式有两种: 第一种为右倾轻稀土富集型, 如上侏罗统白旗组、上白垩统花吉营组安山岩和张家口组粗面岩, $(La/Sm)N > 1$, 其值为 2.68 ~ 4.70, L/H 为 3.28 ~ 6.9, 比值较大。 δEu 为 0.87 ~ 1.09, $(Ce/Yb)N$ 为 6.03 ~ 11.20。这些特征反映岩石是属于壳幔型成因; 第二种稀土分布模式是深谷状 Eu 亏损型。张家口组流纹岩及其碎屑岩均属此类(图 4)。 L/H 为 2.88 ~ 4.47, $(La/Sm)N$ 为 2.53 ~ 4.91 (> 1), $(Sm/Nd)N$ 为 0.19 ~ 0.23 (< 0.33), δEu 为 0.14 ~ 0.40 (< 0.5), 这些特征反映岩石的壳源型成因。据对我国相山大型铀矿田产铀火山杂岩特征研究^[5], 工业铀矿酸性火山岩系重要特征之一是富弱中等轻稀土分离, Eu 极亏损, 张家口组流纹岩及其碎屑岩稀土元素正具有产铀火山杂岩特征。

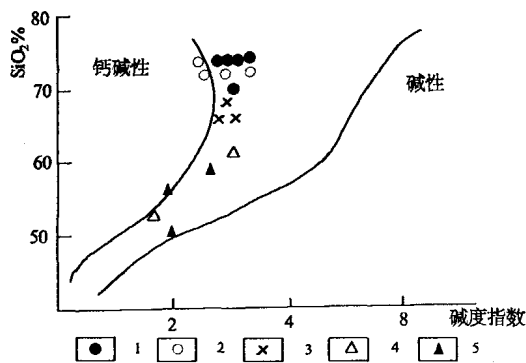
2.5 同位素年龄

对张家口组二段粗面岩、三段流纹岩、花吉营组安山岩进行铀—铅法、铷—锶法及钾—氩法进行年龄测定^[6-8]。粗面岩中浅黄色锆石 $U-Pb$ 法单样表观年龄(按 Pb/U 比值计算)为 133 Ma, 张家口组三段流纹岩按其磁性和颗粒大小分选, 其 $U-Pb$ 等时线年龄为 135 ± 9 Ma。经 $U-Pb$ 等时线统一处理, 获得 136 ± 11 Ma, 其相关系数为 0.995。另外, 李耀松等于东辛营标准剖面获得张家口组三段流纹岩 $Rb-Sr$ 等时线年龄为 138 ± 6 Ma, 张家口组粗面岩为 133 Ma, 其上花吉营组安山岩 $Rb-Sr$ 等时线年龄为 133 ± 21 Ma^[2]。

3 火山岩形成的构造环境

将岩石里特曼指数 δ , 戈蒂尼指数 τ 投影到里特曼—戈蒂尼图解(图 4)。可以看出: 它们主要位于 B 区, 少数落于 A 区和 C 区, 但这几个点仍非常接近 B 区, 属弱造山环境产物。

时间上, 火山岩的成岩年龄与库拉—太平洋板块向亚洲板块俯冲的时间吻合。本区中生代火山岩生成在 160 ~ 125 Ma 的时限内, 这个时间正是库拉—太平洋板块向亚洲板块作

图 3 SiO_2 与岩石碱度指数变异图Fig. 3 Variation diagram of SiO_2 vs. alkalinity index

1-流纹岩;2-凝灰岩;3-粗面岩;4-白旗组安山岩;
5-大北沟组的花吉营组安山岩、玄武岩

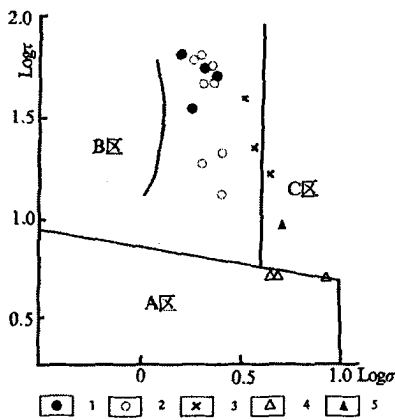


图4 里特曼—戈蒂尼图解

Fig.4 Rittmann-Getini diagram

A 区-非造山带地区火山岩;B 区-造山带地区火山岩;C 区-A、B 区派生的碱性、偏碱性火山岩;1-流纹岩;2-凝灰岩;3-粗面岩;4-白旗组安山岩;5-大北沟组 and 花吉营组安山岩、玄武岩

表 1 沽源—多伦地区火山岩化学成分及参数表

Table 1 Chemical compositions and parameters of volcanic rocks in Guyuan-Duolun Area

编号	Gm-1	Gm-2	Gm-3	Gm-4	Gm-5	Gm-6	Gm-7	Gm-8	黎 彤	
岩 性	安山岩	熔结凝灰岩	粗面岩	流纹岩	凝灰岩	安山岩	玄武岩	安山岩	安山岩	粗面岩
化 学 成 分	SiO ₂	51.70	74.96	66.65	74.91	74.95	58.01	49.11	54.22	56.75
	Al ₂ O ₃	14.96	12.11	14.76	11.77	12.11	15.82	15.65	14.80	18.60
	Fe ₂ O ₃	9.31	1.45	3.95	1.58	1.44	4.33	4.15	4.30	3.58
	FeO	4.77	1.54	0.60	1.16	1.55	2.54	6.26	4.75	3.26
	MgO	3.01	0.12	0.24	0.22	0.12	2.0	4.13	2.68	3.42
	CaO	5.39	0.55	1.10	0.85	0.57	4.53	6.27	5.59	6.97
	Na ₂ O	3.97	4.22	3.57	1.26	4.20	4.55	4.13	3.60	3.07
	K ₂ O	2.24	4.17	5.76	5.73	4.16	3.76	2.85	3.15	2.01
	TiO ₂	2.19	0.12	0.51	0.17	0.12	1.14	2.10	1.98	0.76
	P ₂ O ₅	0.16	0.34	0.06	0.04	0.35	0.11	0.22	0.13	0.40
参 数	MnO	0.72	0.05	0.10	0.04	0.06	0.54	0.95	0.67	0.15
	δ	4.38	2.19	3.67	1.54	2.20	4.57	7.60	4.06	1.87
	DI	52.10	95.15	87.41	89.80	93.10	69.08	52.60	58.90	48.4
	CAI	2.57	1.40	1.64	1.18	1.40	2.34	2.90	2.52	2.41
	Si/Al	3.46	6.19	4.52	6.38	6.19	3.67	3.14	3.68	3.06
	K/Na	0.54	0.99	1.60	4.50	1.00	0.83	0.69	0.88	0.65
	Or	13.4	24.5	35.0	34.6	24.8	22.9	17.2	19.5	12.0
	Ab	34.2	35.3	30.9	11.3	35.9	39.4	35.6	31.6	26.3
	An	16.8	1.9	5.7	4.4	1.8	12.0	16.3	15.6	31.4
	Di	5.0	0.52	-	-	0.52	6.1	8.0	7.5	0.9
标准 (C. I. P. W)	Hy	11.5	2.1	1.43	1.5	2.1	4.3	0.3	6.3	12.1
	Q	4.5	32.7	21.8	44.0	32.9	6.8	-	7.7	10.8
	O 类型	正常	正常	铝过饱和和铝过饱和	正常	正常	正常	正常	正常	正常
	样数	4	4	6	14	4	6	8	5	
	时代	J ₃ b		J ₃ z			K ₁ h		K ₁ d	

分析测试单位:核工业二四〇研究所,“-”指不出现该矿物

俯冲运动的时期。

表 2 沽源—多伦地区火山岩稀土元素含量及参数表

Table 2 REE contents and parameters of volcanic rocks in Guyuan-Duolun Area

编 号	Gd-1	Gd-2	Gd-3	Gd-4	Gd-5	Gd-6	Gd-7	Gd-8	Gd-9
岩 性	安山岩	熔结凝灰岩	流纹岩	流纹斑岩	凝灰岩	粗面岩	安山岩	安山岩	熔结凝灰岩
稀 土 元 素	La	27.11	35.30	52.72	37.26	54.80	80.19	88.05	48.79
	Ce	64.22	94.73	110.21	79.44	122.79	131.01	124.81	88.07
	Pr	8.02	9.61	12.18	10.37	16.43	17.37	18.78	12.24
	Nd	22.10	27.41	34.52	38.8	56.21	64.68	57.98	37.34
	Sm	6.31	6.62	6.71	9.21	13.02	10.83	13.60	8.31
	Eu	0.82	0.52	0.72	0.38	0.51	2.51	4.02	2.35
	Gd	4.81	5.63	4.58	8.55	9.21	7.68	10.38	5.79
	Tb	1.40	1.42	2.20	1.31	1.34	1.24	2.09	1.88
	Dy	4.02	6.01	4.71	7.38	9.60	5.01	8.03	4.61
	Ho	1.15	1.11	1.12	1.48	1.87	1.07	1.89	1.29
	Er	3.5	3.50	2.40	3.36	6.1	3.02	3.78	3.03
	Tm	0.65	0.55	0.59	0.56	1.13	0.40	0.82	0.67
	Yb	2.14	2.21	2.39	2.97	5.39	2.4	2.59	1.90
	Lu	0.40	0.53	0.37	0.48	0.91	0.34	0.52	0.43
	Y	21.0	24.2	30.5	34.4	44.2	22.89	42.8	24.39
	ΣREE	146.58	219.35	265.92	235.95	343.51	350.64	380.14	241.09
	L/H	3.28	3.85	4.47	2.88	3.30	6.97	4.13	4.47
参 数	δEu	0.88	0.28	0.40	0.14	0.16	0.87	1.09	1.07
	Ce/Yb	6.03	8.70	9.27	5.41	4.57	11.20	9.71	9.38
	La/Yb	12.57	16.3	21.93	12.55	10.18	34.12	33.88	25.47
	La/Sm	2.68	3.32	4.91	2.53	2.61	4.70	4.41	3.71
	Sm/Nd	0.28	0.24	0.19	0.24	0.23	0.16	0.24	0.23
样品数	3	3	5	18	2	3	3	2	2
时代	J ₃			J ₃ z			K ₁ d		K ₁ h

分析测试单位:核工业二四〇研究所

4 结论

中生代火山岩属于钙碱性系列,化学成分富硅、偏碱,δ 值 1.17~7.60,具有壳幔混合和壳源改造两种成因,火山岩形成于弱造山环境,其年龄与库拉—太平洋板块向亚洲板块俯冲的时间吻合。张家口组酸性火山岩具有我国相山产铀火山杂岩富硅、富钾,铀极亏损的地球化学特征,该区寻找火山岩型铀矿有较好的前景。

参考文献

[1] 河北省地质矿产局. 河北省北京市天津市区域地质志[J]. 北京:地质出版社,1983.

[2] 李耀松. 冀北沽源盆地中生代火山岩的同位素年龄及成因[J]. 中国地质科学院南京矿产研究所所刊,1988(4).

[3] 河北省地质局. 康保幅、太仆寺旗幅 1:20 万区域地质调查报告[R]. 1980.

[4] 李耀松. 沽源火山岩盆地的 U-Pb 同位素体系演化与铀成矿作用[J]. 地球化学,1998(4).

[5] 夏毓亮,戎嘉树,林锦荣,等. 冀北早前寒武纪基底和古老花岗岩类演化特征及其铀成矿条件探讨[A]. 中国原子能科学技术报告[C]. 北京:原子能出版社,1992.

[6] 邱家骧,林景任. 岩石化学[M]. 北京:地质出版社,1993:95-117.

[7] 赵宇,张传林,郭坤一,等. 西昆仑东段石炭纪火山岩岩石地球化学特征及其形成的构造背景[J]. 火山地质与矿产, 2001,22(3):186-191

- [8] 吴利仁. 华北及邻区中生代火山岩[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [9] 桑吉盛, 于年福, 王振斌. 534 铀矿床地质特征及成矿条件探讨[J]. 铀矿地质, 1992, 8(5): 271-275.
- [10] 夏林圻, 等. 相山中生代含铀火山杂岩岩石地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1992

Geochemistry of Mesozoic uranium-bearing volcanic rocks in Guyuan-Duolun area, Hebei Province

ZHANG Zhen-qiang

(The 240 Institute of Nuclear Industry, Shenyang 110032, China)

Abstract

Guyuan-Duolun Area is an important part of Yanliao polymetallic metallogenic belt. Mesozoic volcanic strata are mainly composed of Baiqi Formation and Zhangjiakou Formation of upper Jurassic series, Dabeigou and Huajiyang Formation of lower Cretaceous series. The volcanic rocks of Zhangjiakou Formation are developed widely in this area and are the main uranium-bearing host rocks. Mesozoic volcanic rocks in this area belong to the calc-alkaline series rich in silicon and alkaline, δ values range from 1.17 to 7.60. The REE features indicate that the volcanic rocks can be divided into two genetic types, i. e. crust - mantle mixture type and crust reformation type. The volcanic rocks formed in a weak orogenic environment, and their age corresponds to the time when Kula-Pacific plate subducted to Asia plate. The acid volcanic rocks of Zhangjiakou Formation show the geochemical characteristics of Xiangshan uranium-occurring igneous complex which is rich in silicon and alkaline, and depleted in Eu.

Key words: Guyuan-Duolun Area; Mesozoic uranium-bearing volcanic rocks; geochemistry; Hebei province