

洞子沟地区大红峪组富钾火山岩岩石学、地球化学特征

丁建华¹, 肖成东², 秦正永³

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 天津华北地质勘查局, 天津 300181; 3. 天津地质矿产研究所, 天津 300170)

摘要:从矿物学、岩石学、地球化学等角度对大红峪组火山岩特征进行了详细研究, 认为大红峪组火山岩为一套特殊的超钾质火山岩, 形成于夭折的大陆裂谷环境, 成岩物质来源于上地幔, 同时混染了部分下地壳物质, 这也是岩石富钾的原因。

关键词:超钾质火山岩; 幔源; 混染; 大红峪组

中图分类号: P55. 14

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2005)02-0100-06

1 地质概况

工作区位于河北兴隆县境内, 区内地层为太古宙迁西群跑马场组和中元古界长城系。构造位置位于华北地台中元古代东西向燕山裂陷与北东向太行裂陷的交汇处, 处于“厂”字形三叉裂谷的发散中心(图 1)。

中元古代大红峪组火山岩主要分布于冀东、平谷、蓟县、遵化及滦县等地, 最初的研究称之为“大红峪安山岩”^[1], 以后经华北地质科学研究所^①陈晋镛等^[2]、任富根^[3]、周志勇^[4]、杨眉等^[5]、李天福等^[6]的研究, 认为该期火山岩为一套超碱性(基性)熔岩及其相应的火山碎屑岩。

2 矿物学及岩石学特征

区内大红峪组火山岩以熔岩为主, 夹杂部分碎屑岩。火山熔岩主要包括玄武岩类(钾质橄榄玄武岩、钾质玄武岩、伊丁石钾质玄武岩

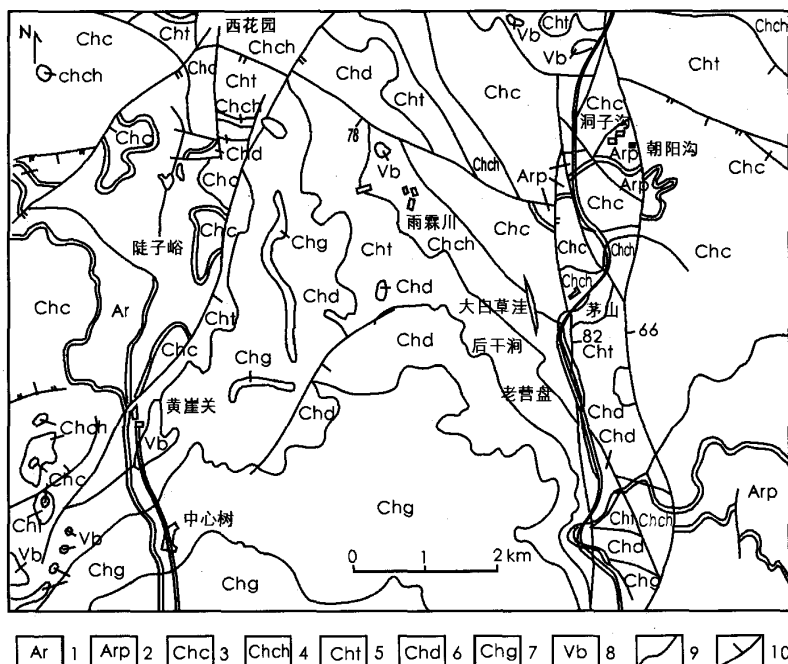


图 1 洞子沟地区区域地质图

Fig. 1 Geological map of Dongzigou area

1. 迁西群; 2. 迁西群跑马场组; 3. 常州沟组; 4. 串岭沟组; 5. 团山子组; 6. 大红峪组; 7. 高于庄组; 8. 正长岩脉; 9. 地质界线; 10. 实测、推测断层

等)、粗面岩及二者之间的过渡类型(粗面玄武岩、玄武粗面岩等)。火山碎屑岩主要有凝灰岩及火山角砾岩。

2.1 玄武岩

以含碱量高(尤其是钾高)的粗面玄武岩—

收稿日期: 2005-01-05

作者简介: 丁建华(1969-), 女, 在读博士, 研究方向: 矿产资源评价。

①地质部华北地质科学研究所。蓟县震旦系现场学术讨论会议论文汇编, 蓟县下营地区大虹(红)峪期火山活动(摘要), 1965。

钾质玄武岩为主,而正常的玄武岩则很少。岩石稀斑—聚斑结构,基质主要为间粒结构、间隙结构、交织结构,气孔发育,并多被方解石、白云石、绿泥石及石英等矿物充填,形成杏仁状构造。

此类岩石矿物成分较简单,共同的特点是普遍含有钾长石,据北京地质研究所电子探针分析并计算,玄武质岩石中钾长石为 Na-透长石。斑晶主要由中、拉长石及暗色矿物辉石、橄榄石等组成;基质主要由细长条状斜长石、板状钾长石(一般为正长石)、细粒短柱状的暗色矿物(橄榄石、辉石、黑云母等)及褐色玄武玻璃等组成。



图2 六方钾霞石假象 200×(—)

Fig. 2 Pseudomorph of kalinepheline

2.3 火山碎屑岩

大红峪组火山碎屑岩种类较多,可分为火山角砾岩、熔结角砾岩、凝灰岩、层凝灰岩及凝灰熔岩等。其中,凝灰岩和层凝灰岩常与熔岩互层,成为划分次级喷发旋回的标志,很少成独立的层位。

3 岩石化学特征

为了便于对比,将区内火山岩、不同学者统计的世界火山岩及戴里等的火山岩的岩石化学成分列于表1。从表1可以看出,区内火山岩的化学成分特征如下:

(1)无论是熔岩还是火山碎屑岩,其最大的特点是K高而Na低, K_2O 最高含量达14.6。其中玄武岩平均: $K_2O = 5.13$, $Na_2O = 2.12$;粗面岩平均: $K_2O = 12.21$, $Na_2O = 0.09$;凝灰岩也有同样的特征: K_2O 平均11.32, Na_2O 平

万方数据

2.2 粗面岩

区内粗面岩多见于各旋回的顶部,根据化学成分确定,应属钙碱性粗面岩。

岩石具斑状结构或细粒无斑结构。斑晶主要由钾长石(正长石,偶见透长石)组成,并可见少量已蚀变的暗色矿物(一般多有铁质析出),根据残余晶形推测为辉石。基质主要由长条状钾长石及细粒暗色矿物(辉石等)组成,并含有一定量的细粒金属矿物(磁铁矿等)。

本类岩石中似长石类矿物含量很少,仅基质中可能有少量它形钾霞石假象存在,另外,岩石中尚见部分矿物具白榴石和六方钾霞石假象,如图2、3。

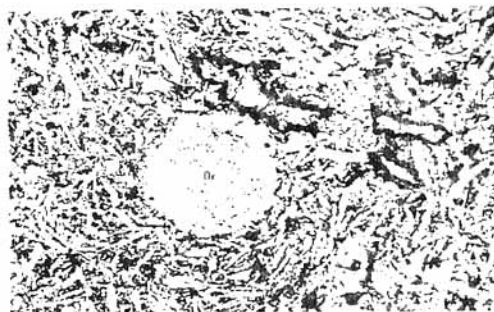


图3 近似圆形的正长石 180×(—)

Fig. 3 Circle-like orthoclase

均0.11。 K_2O / Na_2O 比值很高,玄武岩平均2.86,粗面岩平均147.84,凝灰岩平均99.4,均高出世界同类岩石平均值的许多。然而碱性虽高,确未发现似长石类矿物及碱性暗色矿物,所测8个样中,仅有2个样的CIPW标准矿物出现了霞石和白榴石,且含量很小,这一特征在国内外较罕见。

(2)多数火山岩 SiO_2 接近饱和或已饱和。标准矿物计算中,仅一个样品出现石英,且含量很少。

(3) Al_2O_3 含量较高,属铝过饱和类,标准矿物中出现刚玉。在 $Al_2O_3 - SiO_2$ 变异图中,区内火山岩主要落在铝质区,个别落在高铝区。 MgO 和 CaO 含量低,在F-M-C三角图中投影点的位置均落在低钙质区。

(4)全铁含量较高,火山熔岩的 $Fe^{3+} / (Fe^{3+} + Fe^{2+})$ 比值平均为0.40, Fe_2O_3 / FeO

表 1 大红峪组火山岩与世界碱性玄武岩化学成分对比(%)

Table 1 Comparison of the chemical composition of the volcanic rocks of Dahongyu Fm. and the alkali basalt of the world

序号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O +
1	钾质橄榄玄武岩	48.74	2.07	17.66	4.05	6.85	0.11	9.69	3.61	1.97	4.73	0.57	
2	钾质玄武岩	49.65	1.96	17.40	3.57	6.75	0.19	6.07	6.72	2.00	5.26	1.43	
3	粗面玄武岩	49.43	2.14	15.53	7.00	9.38	0.11	4.32	3.96	2.51	5.13	0.48	
4	钾质玄武岩	50.43	2.00	16.75	4.57	6.79	0.13	7.01	5.37	2.85	3.62	0.49	
5	粗面玄武岩	55.22	2.39	17.95	1.07	6.83	0.07	6.40	2.27	2.31	4.95	0.52	
6	伊丁石钾质玄武岩	52.82	1.13	16.52	4.89	3.65	0.14	7.03	5.61	1.06	7.08	0.08	
7	玄武粗面岩	50.05	2.52	17.89	2.08	4.77	0.08	5.99	5.46	0.11	10.36	0.61	
8	粗面岩	57.00	0.78	16.06	5.26	3.16	0.06	1.04	2.07	0.07	14.20	0.17	
9	粗面岩(11个平均)	45.38	1.29	14.49	4.33	4.08	0.08	4.55	6.18	0.15	9.87	0.25	2.66
10	凝灰岩(3个平均)	62.23	0.60	15.85	2.77	1.18	0.04	1.78	0.95	0.11	10.93	0.11	1.94
11	碱玄岩	49.14	1.00	16.57	3.65	6.68	0.30	3.98	9.88	2.57	3.39	0.84	2.00
12	碧玄岩	44.64	1.95	15.35	4.51	6.33	0.46	7.92	9.88	3.54	2.67	0.57	2.18
13	霞石玄武岩	44.82	2.65	15.42	4.28	6.01	0.16	7.27	10.32	5.30	1.26	0.35	1.56
14	粗面玄武岩	47.55	2.71	16.38	2.77	7.84	0.20	6.40	8.41	4.46	2.11	0.72	0.79
15	钙碱性粗面岩	58.31	0.66	18.05	2.54	2.02	0.14	2.07	4.25	3.65	7.38	0.20	0.53
16	碱性粗面岩	61.95	0.73	18.03	2.33	1.51	0.13	0.63	1.89	6.55	5.53	0.18	0.54
17	响岩	56.90	0.59	20.17	2.26	1.85	0.19	0.58	1.88	8.72	5.42	0.17	0.96

注:序号 1 ~ 7 为本工作组在华北地勘局中心试验室测定,8 为在湖北省地质实验研究所测定,数据已经过标准化(扣除 H₂O 及烧失量)和铁的校正;9 ~ 10 据地质部华北地质科学研究所(1965);11 ~ 13 为世界平均,据戴里(1933);14 为世界平均,据施密特(1969);15 ~ 17 为世界平均,据诺笠斯(1954)

为 1.29,表现为倾向于陆相产物的海陆过渡相。此结论任富根^[3]曾有专门论述。

将大红峪火山岩有关化学成分投入 AR - SiO₂ 变异图、Ab - An - Or 三角图解和 TiO₂ - P₂O₅ 图解中,样品点落在碱性系列、钾质亚系、洋脊玄武岩和碱性玄武岩区。

在邱家骧的 SiO₂ - 碱、组合指数与种属名称图中,区内火山岩落在白榴岩—响岩区内,在国际地科联推荐的 TAS 图^[7]中,区内火山岩落在副长岩—响岩—碧玄岩区,霍玉山等^[8]与此结论一致(图 4)。但从化学成分与矿物成分上看,本区火山岩又与这些岩石类型差别较大。工作区内大红峪组火山岩尽管碱含量很高,但 SiO₂ 近饱和或饱和,且无副长石出现,所以不属于副长岩等碱性玄武岩;而另一些特征,如硅饱和、标准矿物出现 Hy、Q、Ol 及 FeO / MgO 高等,又显示出拉斑玄武岩的特点;同时,其富钾贫钠, SiO₂ / K₂O 比值太小等特征又与拉斑系列迥然不同,故应属于一种极端成分的超钾质系列火山岩。

万方数据

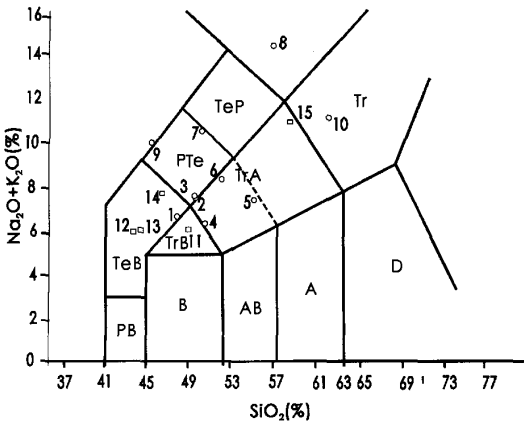


图 4 大红峪组火山岩(Na₂O + K₂O) - SiO₂ 化学分类图解(据 Le Maitre, 1984)

Fig. 4 Diagram showing the chemical classification for (Na₂O + K₂O) - SiO₂ of the volcanic rocks in Dahongyu Fm.

TeB. 碱玄岩;PTe. 响碱玄岩;TeP. 碱玄响岩;TrB. 粗玄岩;TrA. 粗面岩;Tr. 粗面岩;PB. 苦橄玄武岩;B. 玄武岩;BA. 玄武安山岩;A. 安山岩;D. 英安岩;R. 流纹岩;投点 1 ~ 9 与表 1 中样品序号一致,投点 10 ~ 15 引自霍玉山^[8]

4 火山岩微量元素地球化学特征

区内大红峪火山岩微量元素含量见表 2。
大红峪火山岩的特殊性在微量元素特征中也有表现,依据 Howard 等(1976)的分类原则, Ba 的含量均大于 860×10^{-6} , 本区最高者达

$3\,000 \times 10^{-6}$, 应属钾玄岩系列, 而其 Sr 的含量从 $(50 \sim 480) \times 10^{-6}$, 则偏向于钙碱性玄武岩。

5 火山岩稀土元素地球化学特征

区内火山岩稀土元素丰度及特征指数见表 3。

表 2 大红峪组火山岩微量元素含量($\times 10^{-6}$)
Table 2 The content of trace elements of volcanic rocks in Dahongyu Fm.

样品号	Ba	Be	Ga	Ge	Cr	Ni	V	Cu	Co	Au	Ag	Sr
1	88	<10	10	1.0	80	80	80	550	20	1.0	0.15	38
2	130	<10	10	1.0	150	80	100	20	15	0.6	0.05	45
3	100	<10	10	1.0	150	70	100	20	15	0.5	0.05	48
4	140	<10	15	1.0	200	80	100	10	30	0.3	0.05	47
5	120	<10	20	1.0	60	60	150	50	20	0.5	0.05	35
6	86	<10	15	1.0	250	100	150	15	20	0.10	0.05	28
7	100	10	10	1.9	100	30	120	10	5	0.4	0.05	18
8	30					137	150	12	11		0.17	44
9	100	10	10		300	30	100	500	50			5.0
10	300	10	10		300	300	300	500	50			5.0
基性岩平均	30	0.4	18	1.5	200	100	200	100	45	4	0.10	44
地壳丰度	42	2.8	15	1.5	100	75	135	55	25	4	0.07	38

注:序号 1~8 为本工作组数据,岩性同表 1;9~10 据原地质部华北地质科学研究所(1965);基性岩平均值据维诺格拉多夫(1962);地壳丰度据 Taylor(1964)

表 3 稀土元素丰度($\times 10^{-6}$)及特征指数
Table 3 Concentration and special index of REE

序号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
1	钾质橄榄玄武岩	29.08	54.12	6.95	27.04	5.03	1.76	6.07	0.70	4.04	0.74	2.0	0.26	1.51	0.16	18.1
2	粗面玄武岩	39.26	74.02	9.25	35.47	6.74	2.31	7.97	0.89	5.20	1.01	2.7	0.36	2.13	0.32	24.76
3	粗面岩	15.23	33.79	3.39	16.04	3.71	1.22	3.89	0.54	2.87	0.56	1.42	0.23	1.28	0.19	16.24
序号	岩石名称	ΣREE	LREE/HREE	(LaYb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N	Eu/Sm	Sm/Nd	La/ Sm	δEu	δCe					
1	钾质橄榄玄武岩	157.57	8.01	11.97	3.61	2.46	0.35	0.19	5.78	1.114	0.815					
2	粗面玄武岩	212.39	8.12	10.94	3.64	2.29	0.34	0.19	5.82	1.075	0.810					
3	粗面岩	100.60	6.69	7.06	2.53	1.86	0.23	0.23	4.10	1.095	0.981					

注:1~3 为本组数据;球粒陨石值据 Herrman,1971

区内大红峪组火山岩 Σ REE 值为 $100.6 \sim 290.71 \times 10^{-6}$, 平均 190.32×10^{-6} , 高于世界玄武岩的平均值 99×10^{-6} , 这显然与大红峪组火山岩高度富钾有关。
从 LREE / HREE 比值来看,为轻稀土富集型;但轻重稀土分馏程度不高,反映在曲线坡度较缓, $(La / Yb)_N$ 和 La / Sm 比值不高亦说明了这一点; $(Gd / Yb)_N$ 比值更低,反映重稀土

分馏度更小。这些特征也明显地反映在标准化分配图解中(图 5):曲线走势斜率不大,重稀土区更缓,这种走势与碱性玄武岩相似。
区内火山岩 δEu 值平均为 1.095,为弱的正铈异常, δCe 平均为 0.813,属弱的负铈异常,说明火山岩的成岩环境为与海水有关的弱氧化环境,这与火山岩部分露出地表为陆相有密切关系。

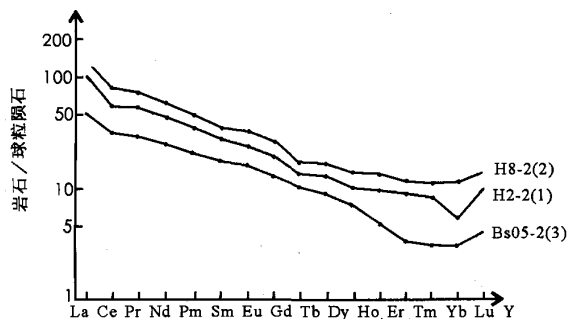


图5 大红峪组火山岩稀土元素配分模式图

Fig. 5 REE patterns of volcanic rocks in Dahongyu Fm.

6 成因探讨

6.1 岩石形成于大陆裂谷环境

富钾的火山岩一般形成于裂谷向稳定大陆边缘过渡的环境^[9]。本区大红峪组火山岩的 Σ REE特征以及高的 Al_2O_3 值等,显示了岩石形成于大陆背景。本区火山岩微量元素分析结果 $\text{Ti}/\text{Y} = 904 \sim 1\,093$, $\text{Ti}/\text{V} = 73 \sim 247$,体现了板内玄武岩的特征。同时,本期火山岩富含 K_2O 、 $\Sigma\text{FeO}/\text{MgO}$ 高、及低的 $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 值,亦反映了岩石形成于裂谷环境,即本期火山岩的成岩环境为大陆裂谷环境。

纵观区域地质,工作区地处华北地台中元古“厂”字裂陷交汇处,火山喷发作用明显受近东西向燕山裂陷的控制,燕山裂陷在发育过程中只经历了孕育阶段和以接缝作用为主的初成阶段,为一夭折的裂谷,受其影响,与裂谷相伴的火山作用也在中期夭折,仅发育有钾含量很高的玄武岩及粗面岩,而未来得及形成特征的陆内裂谷火山岩组合。

6.2 本期火山岩成岩物质主要来源于上地幔,同时受到了地壳重熔物质的混染。

将区内岩石的地球化学数据投入到 Miyashiro. A 的岩浆演化趋势图中,演化趋势被界定为跨越式,同时说明岩浆演化时压力较大($> 1\text{ GPa}$),为深源岩浆。一般而言,幔源岩浆(I型)的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值一般在30左右,而沉积部分熔融所成火成岩(S型)此比值可达100以上,区内岩石的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值在7.26~20.59之间,说明原始岩浆可具幔源特点。

区内岩石中大离子半径亲石元素Ba的元

素丰度值高于地壳,而Sr接近地壳丰度值,相容元素Co、Ni含量接近地壳,而Cr、V高于地壳,均说明火山岩在形成过程中有壳源物质混染。区内火山岩亏损相容元素Cr、Co、Ni、V等,而不相容元素Ba、Sr等则较富集,另外Ti的异常值 Ti^* ($\text{Ti}^* = \sqrt{\text{Ti}_N/\text{Sm}_N \cdot \text{Tb}_N}$)平均为0.76,小于1,也说明原岩经历了同化混染作用,这表明部分成岩物质来源于地壳。熔岩的正锆异常也是大红峪组火山岩受到上地壳富 CaO 、 Al_2O_3 的岩石的同化混染和证据之一, Sm/Nd 值 $= 0.19 \sim 0.23$,小于0.3,是成岩物质中有壳源物质混入的另一证据。

从岩石的稀土元素特征分析成岩物质来源,本区火山岩在 $\delta\text{Eu}-\Sigma\text{REE}$ 图解中,投影点均落于地幔与地壳相对Eu含量线的上下,说明本期火山岩岩浆最初来源于上地幔,在上涌过程中可能受到了下地壳物质混染。

地球化学分析表明,华北地壳具有富钾倾向,如燕山地区迁西群、八道河群岩石平均 K_2O 含量为3.45%;五台地区阜平群 K_2O 平均含量为2.95%;冀北张家口地区出现富钾的凝灰岩层, K_2O 含量最高达16.48%,且分布广泛,层位稳定;另外中条山地区、内蒙白云鄂博也有富钾的层位。以上这些富钾岩石的形成时代都是中元古代,因此,笔者认为本期富钾火山岩形成于大陆裂谷环境,同时受到来源于地壳重熔物质的混染,继承了中元古代华北地壳富钾的特点,导致了大红峪火山岩富钾的特殊性。

值得指出的是,大红峪组富钾火山岩是燕山地区金银多金属矿的重要成矿物质来源,杨昌正^[10]、肖成东等^[11]、毛德宝等^[12]均对此问题进行了讨论。他们指出,中元古代大红峪期处在裂陷槽形成早期,形成了与碱性火山作用有关的浅成低温热液矿床—洞子沟银多金属矿床,而且与变质核杂岩边部发育有伸展折离断层有明显的关系。本文从岩石、矿物学的角度论述了岩石形成的深源成因,这为金银多金属矿床的形成提供了良好的依据,关于这方面问题,笔者将另文论述。

参考文献:

- [1] Kao C S, Hsang Y H and Kao P. Preliminary notes on

- Sinian stratigraphy of North China [J]. Bull. Geol. Soc. China, 1934, 13: 243 - 276.
- [2] 陈晋镛, 等. 蓟县震旦亚界的研究[M]. 中国震旦亚界[C]. 天津科技出版社, 1980: 56 - 111.
- [3] 任富根. 蓟县长城纪火山—侵入岩浆活动问题[J]. 中国地质科学院天津地质研究所刊, 1986(16): 109 - 121.
- [4] 周先勇. 燕山蓟县大红峪组火山岩的基本特征[J]. 第二届火山岩会议论文集, 北京: 地质出版社, 1993: 122 - 127.
- [5] 杨眉, 邱家骧. 北京地区元古代大红峪组火山岩岩石学特征[J]. 矿物学岩石学论丛, 1995(10): 73 - 83.
- [6] 李天福, 马鸿文. 钾质火山岩的成因研究[J]. 地学前缘, 1998, 5(3): 133 - 143.
- [7] 邱家骧. 国际地科联火成岩分类分委会推荐的火山岩分类简介[J]. 地学前缘, 1991, 5(4): 457 - 467.
- [8] 霍玉山, 张铁城, 秦正永. 天津蓟县中新元古代串岭沟组次火山岩系及其赋存金矿[J]. 地质论评, 1999, 45(增 91): 552 - 559.
- [9] S. Y. Wass 等. 地幔交代作用—大陆碱性火山活动的先导[J]. 国外火山地质, 1985, 1: 16 - 26.
- [10] 杨昌正. 洞子沟银(金、铜)矿床地质特征和成因机制探讨[J]. 矿产与勘查, 1996, 5(2): 75 - 80.
- [11] 肖成东, 艾永富. 华北地台北缘中段银多金属矿化与火山岩[J]. 地质论丛, 1999, 45: 488 - 494.
- [12] 毛德宝, 钟长汀, 陈志宏, 等. 华北地块北缘中段铅锌银矿床成矿作用讨论[J]. 前寒武纪研究进展, 2002, 25(2): 105 - 112.

Petrological and Geochemical Research on Dahongyu Ultra-potassic Volcanic rocks in Dongzigou Area, Hebei Province

DING Jian-hua¹, XIAO Cheng-dong², QIN Zheng-yong³

(1. Chinese University of Geosciences, Beijing 100083;

2. North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300181;

3. Tianjin Institution of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170)

Abstract: Based on the study of the mineralogy, petrology and geochemistry, the author suggested that Dahongyu volcanic rock is a special ultra-potassic association. It formed in the continental rift setting that aborted shortly after the beginning. The rock-forming materials came from upper-mantle and contaminated the under crust material, which is also the reason of its high potassium.

Key words: ultra-potassic volcanic-rock; mantle origin; mantle-crust mixture; Dahongyu Fm.