

# 内蒙古西部额济纳旗及邻区上石炭统一下二叠统阿木山组火山岩的地球化学特征

姜 亭, 李玉宏, 陈高潮, 魏建设, 李金超

JIANG Ting, LI Yu-hong, CHEN Gao-chao, WEI Jian-she, LI Jin-chao

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

*Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China*

**摘要:** 分析了上石炭统小独山阶—下二叠统紫松阶阿木山组玄武岩地球化学特征, 对玄武岩类型、岩石特征、构造环境等进行了探讨, 结合前人的研究成果, 阐述了石炭纪—二叠纪盆地的基本性质。 $Zr/TiO_2-Nb/Y$ 、 $SiO_2-TFeO/MgO$  和  $Zr-Y-Nb$  图解显示, 玄武岩类型主要为亚碱性的拉斑玄武岩; 稀土元素球粒陨石配分模式为右倾曲线,  $(La/Yb)_N$  值较高, 轻重稀土元素分馏较强,  $(Gd/Lu)_N$  值相对较低, 重稀土元素分馏较弱,  $\delta Eu$  在 0.87~1.11 之间, 无明显 Eu 异常; N-MORB 标准化的微量元素蛛网图显示,  $K_2O$ 、Rb、Ba、Th 等不相容元素富集, Hf、Nb、Y 等亏损。 $Zr-Zr/Y$  和  $Ta/Hf-Th/Hf$  构造环境图解表明, 该玄武岩产于陆内裂谷, 指示晚石炭世—早二叠世额济纳旗及其邻区已进入了陆内演化阶段, 为拉张作用下的陆内裂谷(裂陷)盆地。

**关键词:** 额济纳旗及其邻区; 上石炭统小独山阶—下二叠统紫松阶; 火山岩地球化学特征; 裂谷盆地

中图分类号: P534.45; P534.46; P595

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)06-0932-11

**Jiang T, Li Y H, Chen G C, Wei J S, Li J C. Geochemical characteristics of Carboniferous-Permian Amushan Formation volcanic rocks in Ejina Banner and its vicinities, western Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(6): 932-942**

**Abstract:** Based on an analysis of basalt geochemical characteristics of Amushan Formation (western Ganquan Formation) of Upper Carboniferous Xiaodushan Stage-Lower Permian Zisong Stage and the basalt type, this paper deals with the rock characteristics and tectonic environment. Previous studies have already revealed the basic type of Carboniferous-Permian basin. The  $Zr/TiO_2-Nb/Y$ ,  $SiO_2-TFeO/MgO$  and  $Zr-Y-Nb$  diagrams show that the basalt in Ejina Banner and its vicinities is mainly of the sub-alkaline tholeiite series. Chondrite-normalized REE patterns are right-oblique curves; the relatively high  $(La/Yb)_N$  and low  $(Gd/Lu)_N$  indicate that light rare earth elements have experienced obvious fractionation, but heavy rare earth elements have been only subjected to weak fractionation, and  $\delta Eu=0.87\sim 1.11$ , without remarkable Eu depletion; N-MORB-normalized spider diagram shows relatively high abundances of  $K_2O$ , Rb, Ba, Th and low abundances of Hf, Nb, Y. Through an analysis of  $Zr-Zr/Y$  and  $Ta/Hf-Th/Hf$  diagrams, it is considered that the basalt in the study area should be of the sub-alkaline tholeiite series occurring in the rift valley, and Ejina Banner and its vicinities entered into an intracontinental evolution period, being a rift basin by tension.

**Key words:** Ejina Banner and its vicinities; Upper Carboniferous-Lower Permian; geochemical characteristics of volcanic rocks; rift basin

额济纳旗及其邻区, 包括内蒙古自治区中西部及甘肃省北山地区, 石炭纪—二叠纪沉积盆地的构造属性和构造演化特征是油气基础地质调查需要解

决的关键地质问题之一, 是盆地油气资源前景评价的基础, 也是长期以来存在争议的关键地质构造问题之一。夏林圻等<sup>[1]</sup>认为, 天山古生代洋盆在早石炭

收稿日期: 2011-01-24; 修订日期: 2011-04-18

资助项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目《西北地区中小盆地群油气资源远景调查》(编号: 1212010733506)

作者简介: 姜亭(1978-), 男, 助理研究员, 从事石油天然气勘探与开发研究。E-mail: jt2307@163.com

世前已经闭合,从早石炭世至早二叠世发生大规模的裂谷作用;徐学义等<sup>[2]</sup>认为,板内裂谷作用从晚泥盆世已经开始,一直持续到中二叠世,个别地区延至晚二叠世,研究区属于北天山—红石山裂谷裂陷盆地( $D_3P_2$ )及其东延部分;王廷印等<sup>[3]</sup>认为,早、中石炭世甘肃北山地区处于塔里木板块与华北板块间的恩格尔乌苏地带,保存了洋盆环境;何世平等<sup>[4]</sup>认为,北山在早石炭世初期红石山—百合山—蓬勃山发育有限洋盆,石炭纪末结束板块构造格局,进入陆内演化阶段。

笔者和所在的研究团队从 2007 年至今,以《西北地区中小盆地群油气资源远景调查》项目为依托,以石炭系—二叠系为主要目的层,开展了油气基础地质调查工作<sup>[5-8]</sup>。围绕争议的问题,笔者以火山岩为切入点,进行了大量的岩石地球化学分析和相关图解,目的在于阐明研究区石炭纪—二叠纪沉积盆地的构造属性,为研究盆地构造演化和含油气条件提供火山岩方面的信息。

## 1 地质概况

额济纳旗及其邻区位于古亚洲与特提斯构造的交汇部位,处于中朝克拉通(准地台)与塔里木克拉通(准地台)、天山—兴安造山系与秦岭—祁连山—昆仑造山系的交切、复合地带<sup>[9]</sup>。

晚泥盆世—二叠纪为统一的裂谷盆地,即北山—巴丹吉林裂谷盆地,由北向南超覆。进一步划分为 4 个二级构造单元,即黑鹰山—额济纳旗坳陷带、马鬃山—拐子湖中间隆起带(包括马鬃山凸起、绿园—拐子湖凹陷、哈尔苏海—切刀低幅度隆起)、柳园—巴丹吉林坳陷带和巴彦诺日公陆相断陷带,表现了两坳一隆的构造特征(图 1)。

区内不同程度地发育了早石炭世岩关统一晚二叠世乐平统(吴家坪阶)<sup>[10]</sup>,此次以阿木山组(西部干泉组)火山岩为研究目的层。

### 1.1 阿木山组岩性组合特征

研究区隶属准噶尔—兴安地层大区,内蒙古—吉

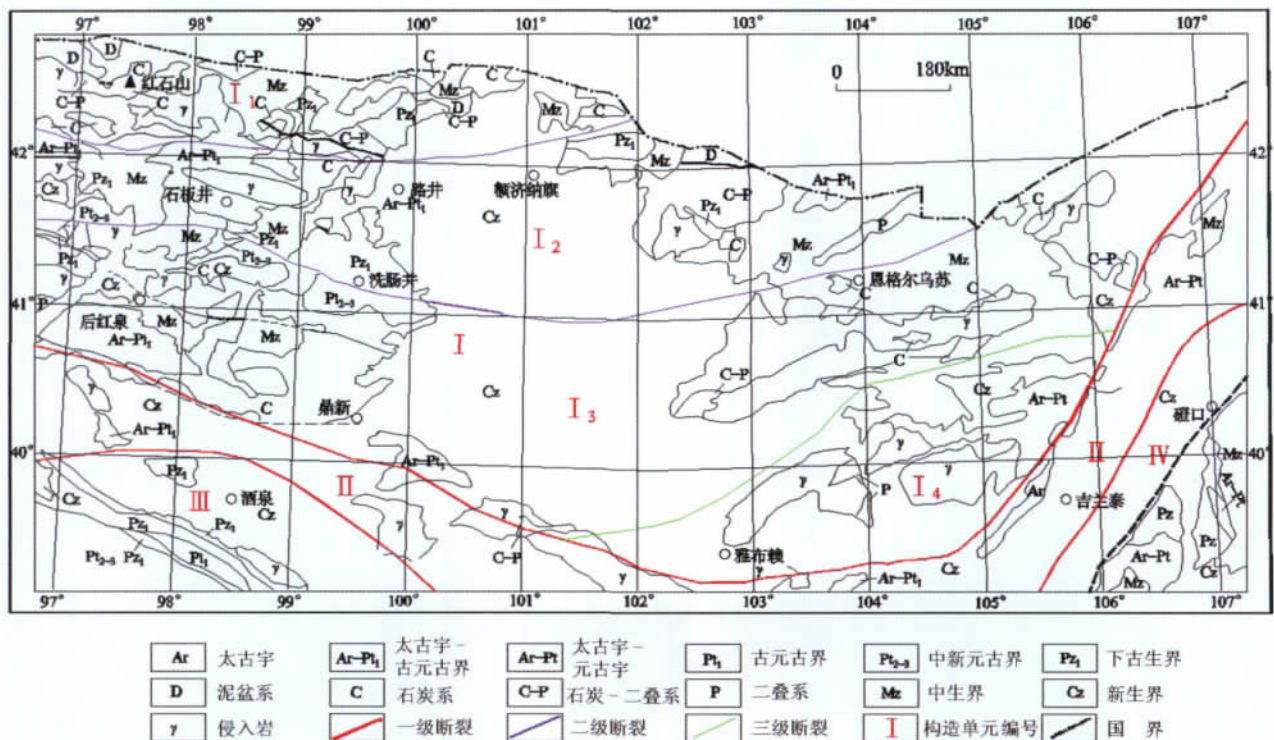


图 1 额济纳旗及其邻区石炭纪—二叠纪构造地质简图

Fig. 1 Division of tectonic units of Late Devonian–Permian strata in Ejina Banner and its vicinities

I—北山—巴丹吉林裂谷裂陷盆地; I<sub>1</sub>—黑鹰山—额济纳旗坳陷带; I<sub>2</sub>—马鬃山—拐子湖中间隆起带; I<sub>3</sub>—柳园—巴丹吉林坳陷带; I<sub>4</sub>—巴彦诺日公陆相断陷带; II—敦煌—阿拉善—狼山古陆; III—祁连裂谷盆地; IV—华北克拉通盆地

林地层分区,北山和内蒙古中部地层小区。上石炭统小独山阶—下二叠统紫松阶,以巴丹吉林沙漠为界,以东地区出露阿木山组,以西地区出露干泉组,二者同属晚石炭世小独山阶—早二叠世紫松阶<sup>[1]</sup>。

阿木山组以碎屑岩和碳酸盐岩为主,夹火山岩。其岩性从下到上可以分为3段,下段以火山岩为主,中段以碳酸盐岩为主,上段以碎屑岩为主。

阿木山组下段:以264南剖面最为典型,岩性主要为灰绿色变基性火山岩、安山岩、粗玄岩等,间夹浅灰色中厚层砂质灰岩透镜体。岩性组合和厚度横向变化比较大,在查古尔—尚丹地区,主要为灰绿色杂砂岩,夹英安质岩屑晶屑凝灰岩、火山角砾岩和灰岩透镜体;芒罕超克地区以泥岩、粉砂质泥岩为主,夹少量的灰岩和火山岩;乌兰敖包一带,由于靠近盆地边缘,主要为浅灰—灰色中厚层状砾岩、砂岩(图2)。

阿木山组中段:以查古尔剖面为典型,岩性为灰色中厚层状灰岩夹鲕粒灰岩、砾状灰岩、钙质粉砂岩、安山质晶屑岩屑凝灰岩等。在264剖面、乌兰敖

包和海尔罕地区,为碎屑岩夹碳酸盐岩组合。

阿木山组上段:该段分布广泛,以查古尔剖面为典型,岩性为灰绿色、紫红色中—细粒长石砂岩、砂质砾岩等夹粉砂质泥岩。该段底部为杂色砾岩,砾石分选好、磨圆好,与下伏灰岩段为整合接触,未见顶。

干泉组在六陀山地区全组发育火山岩,主要为英安岩和英安质凝灰熔岩;在小狐狸山剖面该组与筵筵台子组整合接触,底部为灰色厚层状砾岩、含砾砂岩、杂砂岩,代表该组最底部沉积;在珠斯楞、野马井和努尔盖地区该组下部也发育砾岩,中上部为中基性、中酸性火山岩,夹深灰、灰色粉砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩、灰色砂岩(图2)。

### 1.2 阿木山组火山岩展布特征

西部六陀山剖面干泉组岩性主要为英安岩和英安质凝灰熔岩,中下部为中酸性火山岩,以英安岩为主,少量英安质凝灰熔岩角砾岩,为较宁静环境下熔岩流喷溢的产物;上部为中酸性夹中性火山岩,以英安质凝灰熔岩角砾岩和安山质凝灰熔岩为主,为较强的火山喷发环境,自下而上喷发强度由弱到强。大

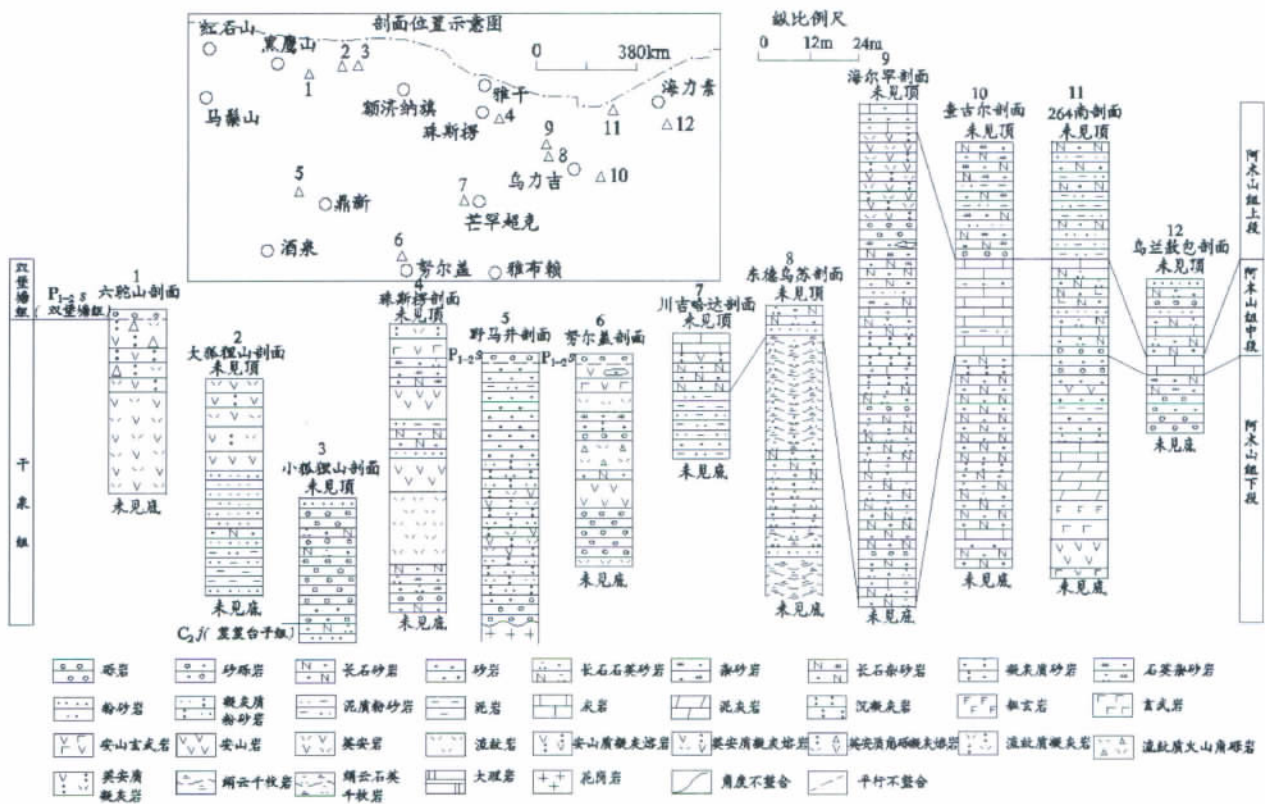


图2 额济纳旗及其邻区阿木山组对比

Fig. 2 Correlation of Amushan Formation in Ejin Banner and its vicinities



狐狸山、珠斯楞、野马井和努尔盖地区火山岩发育在中上部;中、东部川吉哈达、海尔罕地区火山岩发育在阿木山组第二段,东北部 264 界碑地区火山岩发育在阿木山组第一段(图 2)。

平面上东部银根地区和西北部蓬勃山地区火山岩的残留厚度较大,发育基性、中基性火山岩,反映火山活动强烈;中北部乌登汉地区和中南部努尔盖地区火山岩的残留厚度较小,以中酸性安山岩、流纹质火山角砾岩、流纹岩为主,反映火山活动相对较弱(图 3)。

上述特征表明,火山岩呈近东西向展布,西部六陀山、蓬勃山地区晚石炭世小独山期早期开始大范围的火山作用,此时中、东部大部分地区为正常的碎屑岩沉积建造,只在局部(264 界碑)发育火山岩。随着持续的拉张作用,火山活动不断增强,逐步向东部扩展,在川吉哈达和海尔罕地区,阿木山组第二段开始发育火山岩夹沉积岩建造。

## 2 样品特征和分析方法

### 2.1 样品特征

本次研究在阿木山组共采集了 21 块火山岩地球化学测试样品,样品主要岩性为玄武岩、安山玄武岩、安山岩(图 3)。在采集样品时,尽可能考虑区域上分布均匀,选择基本上未变质或变质变形程度较轻和较为新鲜的火山岩。本项目经过 4 年的研究,对火山岩进行了大量锆石测年,收集并采集了古生物化石证据,根据岩石组合特征对比并结合区域地质资料,已基本理清了区内各地层单元的时代归属,所采集的样品时代归属可靠。

### 2.2 测试仪器和分析方法

此次样品由西安地质矿产研究所实验测试中心进行地球化学分析,检测项目包括主量元素  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{MnO}$ 、灼失、 $\text{H}_2\text{O}^+$ 、 $\text{H}_2\text{O}^-$ ;微量元素  $\text{Cu}$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Li}$ 、 $\text{Rb}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Ba}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Sc}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{Be}$ 、 $\text{Ga}$ 、 $\text{Sn}$ 、 $\text{Th}$ 、 $\text{U}$  和稀土元素(REE)。样品先破成黄豆大小,再滚成砂状,然后用玛瑙罐细碎,最后过 200 目筛子。主量元素样品进行熔片后分析,采用荷兰 PANalytical AXIOS x 荧光光谱仪进行测定, $\text{FeO}$  采用滴定法测试;微量元素(包括稀土元素)样品进行酸溶后分析,采用电感耦合等离子质谱法测定,仪器采用美国热电(X Series II)ICP-MS。主量元素分

析精度优于 1%,微量和稀土元素分析精度控制在 10%以内。

## 3 火山岩地球化学特征

### 3.1 主量元素

图解法(diagrams)是通过各种元素地球化学变量(一般是元素浓度或浓度比值,或同位素比值)在各种图解中的相互关系,探讨岩石的分类、演化或成因问题的方法。图解多采用相对独立的变量(如  $\text{SiO}_2$  百分含量等)和相依变量(如岩浆岩中除 Si 以外的其它氧化物、微量元素等,1971)构成横、纵坐标图,一般包括比值-比值图解、三角图解、对数-对数图解等,以  $\text{Zr}/\text{TiO}_2\text{-Nb}/\text{Y}$ (Winchester 等,1977)、 $\text{SiO}_2\text{-TFeO}/\text{MgO}$ (Miyashiro,1975)和  $\text{Zr-Y-Nb}$ (Meschede,1986)为代表的图解法在判断火山岩的类型和产出环境方面被广泛应用<sup>[10-13]</sup>。

阿木山组(西部干泉组)火山岩主量元素分析结果见表 1, $\text{SiO}_2$  含量在 41.31%~53.97%之间, $\text{CaO}$  含量在 4.24%~12.84%之间, $\text{MgO}$  含量在 3.50%~8.78%之间, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  含量在 0.06%~7.81%之间,变化较大, $\text{TiO}_2$  含量较高,在 0.97%~3.50%之间。在  $\text{Zr}/\text{TiO}_2\text{-Nb}/\text{Y}$  图解(图 4)上,大多数样品点落入玄武岩/安山岩区,属于亚碱性系列,少数样品点落入碱性系列;在  $\text{SiO}_2\text{-TFeO}/\text{MgO}$  图解(图 5)上,样品点主要落入拉斑玄武岩系列区域。以上图解显示,研究区玄武岩的类型主要为亚碱性拉斑玄武岩和少量碱性玄武岩,玄武岩类型较为均一。

### 3.2 稀土和微量元素

球粒陨石标准化作图是稀土元素地球化学研究中最基本的图解形式<sup>[14]</sup>,这种图解是基于地球初始物质与球粒陨石相类似这一前提而提出的,某些元素如  $\text{Eu}$ 、 $\text{Ce}$  因特殊地球化学行为而偏离直线的程度和直线的斜率( $\text{La}/\text{Sm}$  等)是反映成岩过程特征的重要参数。以大洋中脊成分为标准的 N-MORB 微量元素蛛网图<sup>[14]</sup>与球粒陨石标准化图解类似,在玄武岩岩石研究中被广泛应用。

从样品微量元素测试结果(表 2)和 N-MORB 标准化的微量元素蛛网图(图 6)可以看出:有 4 个样品呈现出“大隆起”的特征,即高场强元素富集,是没有经过地壳混染的、典型的板内玄武岩的特征。其它样品大离子亲石元素相对富集、高场强元素相对亏损<sup>[12]</sup>, $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}$ 、 $\text{Ba}$ 、 $\text{Th}$  等不相容元素富集, $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$

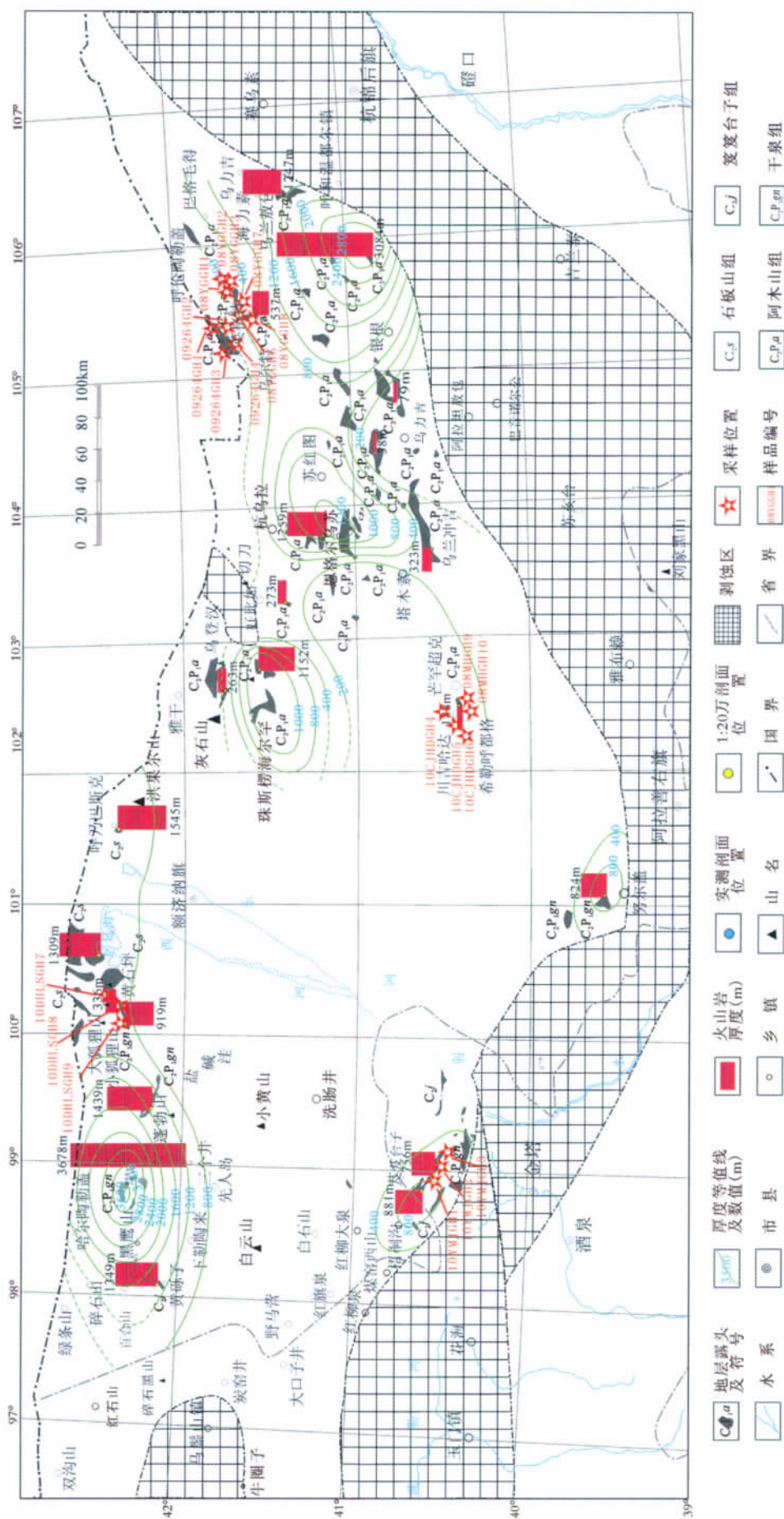


图 3 额济纳旗及其邻区晚石炭世—早二叠世火山岩残留厚度  
Fig. 3 Residual thickness map of Late Carboniferous-Early Permian volcanic rocks in Ejin Banner and its vicinities

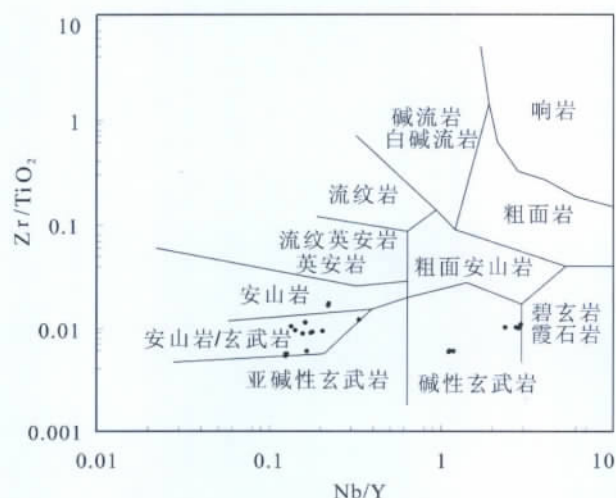


表 1 额济纳旗及其邻区阿木山组(西部干泉组)火山岩主量元素组成

Table 1 Major elements compositions of Amushan Formation  
(western Ganquan Formation) volcanic rocks in Ejin Banner and its vicinities

样品编号	岩性	地层	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
08YGGH1	苦橄玄武岩	阿木山组	44.47	12.98	4.14	8.97	12.93	8.18	1.35	2.52	3.08	1.15	0.22
08YGGH2	苦橄玄武岩	阿木山组	44.22	11.65	4.41	9.47	13.27	9.13	0.84	2.31	3.34	1.13	0.22
08YGGH3	苦橄玄武岩	阿木山组	43.10	12.72	4.63	8.99	13.40	7.17	1.02	3.46	3.55	1.75	0.21
08YGGH6	玄武安山岩	阿木山组	56.13	18.48	3.06	4.80	4.41	3.64	1.77	6.35	1.00	0.23	0.12
08YGGH7	玄武安山岩	阿木山组	52.06	11.07	4.40	5.51	13.27	5.27	0.36	4.03	2.67	1.16	0.19
08MHGH8	玄武岩	阿木山组	47.38	13.29	3.37	10.50	11.74	6.68	0.34	2.48	3.44	0.55	0.25
08MHGH9	玄武岩	阿木山组	46.72	13.84	2.83	11.32	10.70	6.58	0.32	3.13	3.67	0.62	0.27
08MHGH10	玄武岩	阿木山组	46.59	13.67	2.90	11.60	11.16	6.84	0.30	2.50	3.58	0.59	0.27
09264GH1	玄武安山岩	阿木山组	53.40	14.96	8.48	5.50	5.01	2.65	0.61	5.00	3.23	0.98	0.17
09264GH2	玄武安山岩	阿木山组	52.92	13.91	11.26	2.08	6.76	2.43	0.62	5.77	3.09	0.93	0.24
09264GH3	玄武安山岩	阿木山组	53.60	15.47	3.84	7.99	6.85	5.23	0.79	3.21	2.34	0.50	0.18
09264GH4	玄武安山岩	阿木山组	53.80	14.67	4.21	7.59	6.31	5.69	0.48	4.17	2.33	0.51	0.23
10YMJGH1	玄武岩	干泉组	50.28	16.59	2.85	9.66	7.15	5.09	0.55	5.05	2.35	0.21	0.22
10YMJGH2	玄武岩	干泉组	51.73	17.11	2.49	8.18	7.21	4.54	0.46	5.52	2.30	0.27	0.20
10YMJGH3	玄武岩	干泉组	50.12	17.01	2.46	9.86	6.90	5.61	0.63	4.62	2.40	0.20	0.21
10CJHDGH4	玄武安山岩	阿木山组	53.63	19.98	3.36	5.08	7.86	3.94	1.27	3.31	1.14	0.29	0.13
10CJHDGH5	玄武安山岩	阿木山组	54.73	21.40	2.78	4.37	5.94	3.10	1.26	4.89	1.16	0.24	0.12
10CJHDGH6	玄武安山岩	阿木山组	53.37	19.38	4.50	4.57	8.50	3.90	0.38	3.79	1.23	0.22	0.16
10DHLSGH7	安山岩	干泉组	58.33	16.85	2.55	4.74	7.61	4.05	0.77	3.66	0.98	0.28	0.16
10DHLSGH8	安山岩	干泉组	57.39	17.07	2.40	5.17	8.44	4.10	0.59	3.43	0.98	0.28	0.15
10DHLSGH9	安山岩	干泉组	58.34	16.84	2.70	4.63	6.96	3.82	1.08	4.24	0.98	0.27	0.14

注:氧化物含量%

图 4 火山岩  $Zr/TiO_2$ -Nb/Y 图解  
(据 Winchester 等, 1977)Fig. 4  $Zr/TiO_2$ -Nb/Y diagram of the volcanic rocks

等相对亏损,  $Th/Ta$  主体分布在 2.74~5.80 之间, 平均 3.65,  $Ta/Yb$  主体分布在 0.26~1.03 之间, 表现出类似于岛弧环境的玄武岩的地球化学特征。这是由于源自软流圈地幔的大陆玄武岩浆在通过岩石圈(包括岩石圈地幔和地壳)到达地壳岩浆房和上升至地表的途中, 会受到不同程度的大陆地壳或岩石圈的混染。这种混染作用常常十分强烈, 使高场强元素亏损, 可以给出似消减带的信息, 配分曲线具有比较浅的 Nb-Ta 槽, 往往表现为似岛弧玄武岩的特征, 但是丰度总体上高于岛弧玄武岩。上述分析结果显示, 研究区玄武岩为板内喷发玄武岩。

样品稀土元素测试结果见表 3。 $\Sigma REE$  在  $(68.00\sim590.85)\times 10^{-6}$  之间, 平均  $186.71\times 10^{-6}$ ,  $\Sigma LREE$  在  $(50.07\sim555.16)\times 10^{-6}$  之间, 平均  $162.97\times 10^{-6}$ ,  $\Sigma HREE$  在  $(12.21\sim41.80)\times 10^{-6}$  之间, 平均  $23.75\times 10^{-6}$ ,

表 2 额济纳旗及其邻区阿木山组(西部干泉组)火山岩微量元素组成  
Table 2 Trace elements compositions of Amushan Formation(western Ganquan Formation)volcanic rocks in Ejina Banner and its vicinities

样品编号	岩性	地层	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Li	Rb	Mo	Sr	Ba	V	Sc	Nb	Ta	Zr	Hf	Be	Ce	Sn	Th	U	Y
08YGGH1	苦橄玄武岩	阿木山组	78.06	9.89	144.30	106.40	47.48	16.51	31.14	0.96	1376.00	2822.00	255.50	20.55	94.35	17.36	322.20	8.03	2.64	23.76	1.64	14.36	2.83	32.73
08YGGH2	苦橄玄武岩	阿木山组	68.87	8.30	140.50	122.70	51.51	13.80	13.47	1.55	985.00	1412.00	275.20	23.96	88.62	9.76	332.20	8.46	2.66	22.49	2.33	13.75	2.58	32.62
08YGGH3	苦橄玄武岩	阿木山组	88.10	9.57	139.50	74.38	46.29	10.47	11.59	6.39	1206.00	1805.00	308.60	18.67	92.63	6.61	346.60	8.59	2.67	23.83	1.51	15.66	3.05	39.31
08YGGH6	玄武安山岩	阿木山组	17.42	5.59	78.42	4.17	21.52	27.21	34.65	0.24	671.00	777.10	191.50	17.96	6.33	0.74	118.20	3.60	1.12	17.89	0.88	3.65	1.10	19.13
08YGGH7	玄武安山岩	阿木山组	47.32	6.74	92.59	71.61	32.27	13.77	6.50	1.15	554.20	1516.00	212.50	19.02	82.98	5.96	250.30	6.05	2.53	18.18	1.62	13.81	4.00	29.52
08MHGH8	玄武岩	阿木山组	57.51	19.57	134.20	39.57	41.58	20.61	7.92	1.08	476.30	78.17	377.20	36.08	34.63	2.53	194.60	5.25	1.52	19.87	0.79	3.03	0.82	31.59
08MHGH9	玄武岩	阿木山组	52.58	26.59	149.30	36.45	42.25	27.32	8.26	1.03	481.50	186.70	408.10	35.30	37.68	2.56	209.90	5.64	1.80	20.74	1.74	3.18	0.96	32.06
08MHGH10	玄武岩	阿木山组	57.17	39.25	151.70	41.41	49.59	26.09	10.63	0.87	539.00	141.40	397.50	38.78	35.76	2.55	208.30	5.57	1.59	21.28	2.07	2.95	0.88	32.24
09264GH1	玄武安山岩	阿木山组	19.60	8.27	126.00	32.60	24.60	68.10	13.10	1.06	90.00	426.00	207.00	24.70	8.56	0.52	317.00	6.51	2.18	23.20	2.65	3.85	1.63	64.80
09264GH2	玄武安山岩	阿木山组	18.20	7.21	127.00	27.10	22.70	30.30	10.50	1.37	172.00	437.00	208.00	24.00	8.83	0.61	277.00	6.26	1.77	21.70	2.44	3.54	1.62	62.80
09264GH3	玄武安山岩	阿木山组	24.40	6.11	112.00	34.80	33.80	28.50	15.20	0.74	329.00	298.00	264.00	29.50	6.97	0.44	203.00	4.71	1.46	20.40	1.86	2.24	0.69	39.70
09264GH4	玄武安山岩	阿木山组	24.20	4.95	118.00	25.90	25.60	47.40	10.20	0.74	225.00	213.00	262.00	27.70	7.24	0.46	206.00	4.79	1.45	21.50	1.80	2.25	0.74	44.10
10YMJGH1	玄武岩	干泉组	47.60	28.10	312.00	28.10	41.30	29.00	24.30	0.32	413.00	312.00	402.00	26.20	4.42	0.57	129.00	3.65	0.82	20.00	1.66	1.56	0.98	35.30
10YMJGH2	玄武岩	干泉组	55.90	20.40	175.00	23.80	43.60	35.70	19.00	0.91	426.00	232.00	395.00	28.00	4.35	0.51	126.00	3.52	0.81	18.70	1.34	1.52	2.48	35.20
10YMJGH3	玄武岩	干泉组	24.30	13.10	171.00	21.90	37.60	44.10	24.90	0.18	318.00	237.00	413.00	28.90	4.43	0.49	127.00	3.49	1.01	20.50	1.56	1.48	0.99	36.00
10CJHDGH4	玄武安山岩	阿木山组	40.10	6.68	75.70	13.50	23.10	31.20	30.10	0.43	645.00	212.00	198.00	22.60	4.29	0.59	104.00	2.96	0.95	18.30	0.99	3.82	0.92	21.20
10CJHDGH5	玄武安山岩	阿木山组	40.60	5.63	78.70	5.16	18.90	39.20	32.40	0.27	602.00	227.00	183.00	21.50	3.55	0.50	101.00	2.95	0.88	19.30	0.81	3.20	0.82	20.60
10CJHDGH6	玄武安山岩	阿木山组	37.00	4.52	72.00	27.50	27.40	36.70	10.00	0.34	604.00	77.00	222.00	25.80	2.83	0.41	70.60	2.08	0.68	16.10	0.61	1.60	0.60	17.30
10DHLSGH7	安山岩	干泉组	14.70	8.36	74.60	63.00	27.30	11.30	18.60	0.32	435.00	287.00	156.00	20.70	5.76	0.74	169.00	4.37	1.23	17.60	1.36	3.15	1.16	26.40
10DHLSGH8	安山岩	干泉组	15.50	5.86	77.60	59.60	26.00	7.74	12.30	0.55	394.00	209.00	149.00	19.60	5.55	0.71	164.00	4.33	1.09	17.30	1.20	2.93	1.14	25.50
10DHLSGH9	安山岩	干泉组	31.30	8.92	70.40	64.90	25.90	9.45	23.70	0.36	414.00	304.00	149.00	19.50	5.52	0.68	162.00	4.24	1.18	16.60	1.25	2.88	1.11	25.40

注:元素含量  $10^{-6}$

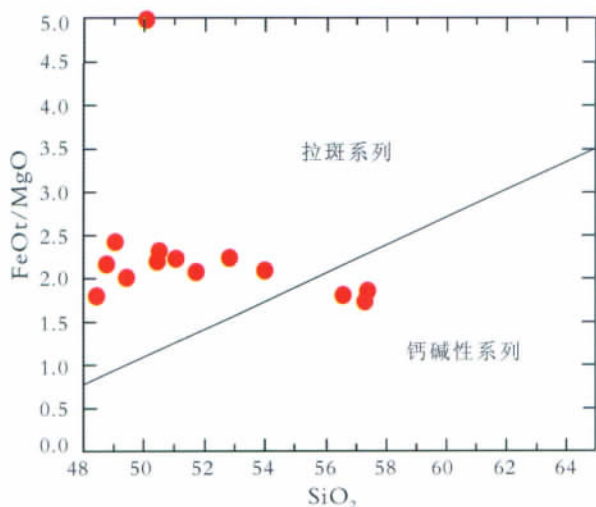


表 3 REE compositions of Amushan Formation (western Ganquan Formation) volcanic rocks in Ejina Banner and its vicinities

样品编号	岩性	地层	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\Sigma$ REE	$\Sigma$ LREE	$\Sigma$ HREE	(La/Yb) <sub>N</sub>	(Gd/Lu) <sub>N</sub>	$\Sigma$ LREE/ $\Sigma$ HREE	$\delta$ Eu
08YGGH1	苦橄玄武岩	阿木山组	98.65	189.60	22.06	93.09	15.58	4.44	12.13	1.68	7.59	1.26	3.47	0.40	2.36	0.30	452.60	423.42	29.18	29.98	5.07	14.51	0.99
08YGGH2	苦橄玄武岩	阿木山组	102.70	189.70	22.01	91.68	15.65	4.55	12.16	1.73	7.73	1.28	3.33	0.40	2.28	0.33	455.53	426.29	29.23	32.38	4.62	14.58	1.01
08YGGH3	苦橄玄武岩	阿木山组	134.50	247.40	28.62	119.30	19.78	5.56	15.06	2.06	9.37	1.54	4.12	0.45	2.72	0.37	590.85	555.16	35.69	35.47	5.10	15.56	0.98
08YGGH6	玄武安山岩	阿木山组	15.87	29.47	3.87	17.13	3.65	1.21	3.61	0.60	3.51	0.73	2.09	0.31	1.91	0.29	84.24	71.20	13.04	5.97	1.57	5.46	1.02
08YGGH7	玄武安山岩	阿木山组	99.42	177.80	20.40	82.71	13.50	3.98	10.62	1.49	6.84	1.15	3.15	0.36	2.29	0.31	424.01	397.81	26.21	31.14	4.21	15.18	1.02
08MHGH8	玄武岩	阿木山组	31.19	63.91	8.31	38.82	8.15	2.73	7.71	1.17	6.58	1.24	3.28	0.44	2.75	0.37	176.64	153.11	23.53	8.15	2.59	6.51	1.05
08MHGH9	玄武岩	阿木山组	34.70	69.53	8.95	41.60	8.55	2.87	7.99	1.26	6.46	1.21	3.26	0.43	2.48	0.34	189.64	166.20	23.44	10.02	2.92	7.09	1.06
08MHGH10	玄武岩	阿木山组	32.40	66.61	8.62	39.82	8.37	2.88	7.75	1.24	6.74	1.20	3.47	0.44	2.62	0.33	182.49	158.70	23.79	8.86	2.95	6.67	1.09
09264GH1	玄武安山岩	阿木山组	24.00	61.00	8.89	41.10	11.00	3.61	12.20	1.80	11.50	2.41	6.46	0.92	5.66	0.85	191.40	149.60	41.80	3.04	1.77	3.58	0.95
09264GH2	玄武安山岩	阿木山组	22.20	56.90	8.32	38.40	10.60	3.40	11.80	1.73	11.10	2.33	6.13	0.87	5.31	0.83	179.92	139.82	40.10	3.00	1.76	3.49	0.93
09264GH3	玄武安山岩	阿木山组	16.20	39.90	5.77	25.90	6.94	2.27	7.62	1.12	7.33	1.49	3.93	0.59	3.55	0.55	123.16	96.98	26.18	3.27	1.71	3.70	0.95
09264GH4	玄武安山岩	阿木山组	16.90	41.80	6.02	27.40	7.24	2.27	8.06	1.26	7.84	1.65	4.40	0.64	3.96	0.60	130.04	101.63	28.41	3.27	1.66	3.58	0.91
10YMGH1	玄武岩	干泉组	8.32	20.80	3.12	15.00	4.50	1.63	5.52	0.90	6.11	1.35	3.53	0.57	3.63	0.54	75.52	53.37	22.15	1.64	1.26	2.41	1.00
10YMGH2	玄武岩	干泉组	8.45	20.50	2.98	14.50	4.25	1.49	5.35	0.87	6.05	1.33	3.53	0.57	3.66	0.56	74.09	52.17	21.92	1.66	1.18	2.38	0.96
10YMGH3	玄武岩	干泉组	7.46	19.00	2.98	14.60	4.47	1.56	5.63	0.89	6.10	1.33	3.55	0.59	3.68	0.57	72.41	50.07	22.34	1.45	1.22	2.24	0.95
10CJHDGH4	玄武安山岩	阿木山组	14.50	33.00	4.60	19.60	4.78	1.48	4.48	0.65	3.94	0.79	2.14	0.34	2.09	0.31	92.70	77.96	14.74	4.98	1.79	5.29	0.98
10CJHDGH5	玄武安山岩	阿木山组	12.90	28.40	3.94	17.10	3.97	1.44	3.96	0.61	3.82	0.78	2.11	0.31	2.06	0.33	81.73	67.75	13.98	4.49	1.48	4.85	1.11
10CJHDGH6	玄武安山岩	阿木山组	9.54	22.70	3.35	15.10	3.80	1.30	3.66	0.55	3.27	0.67	1.81	0.27	1.72	0.26	68.00	55.79	12.21	3.98	1.74	4.57	1.07
10DHLSGH7	安山岩	干泉组	13.60	34.90	4.31	18.70	4.58	1.33	4.74	0.74	4.65	0.96	2.69	0.44	2.81	0.43	94.88	77.42	17.46	3.47	1.36	4.43	0.87
10DHLSGH8	安山岩	干泉组	12.90	34.00	4.14	18.10	4.32	1.29	4.59	0.74	4.43	0.96	2.51	0.42	2.56	0.43	91.39	74.75	16.64	3.61	1.32	4.49	0.89
10DHLSGH9	安山岩	干泉组	13.10	32.60	4.16	17.60	4.36	1.28	4.51	0.70	4.42	0.98	2.57	0.42	2.63	0.42	89.75	73.10	16.65	3.57	1.33	4.39	0.88

注:元素含量  $10^{-6}$ ; N 表示括号内各元素的数据均为经过球粒陨石标准化的值;  $\delta$ Eu =  $\text{Eu}_N / \sqrt{(\text{Sm}_N \cdot \text{Gd}_N)}$



图5 火山岩  $\text{SiO}_2$ - $\text{TFEO}/\text{MgO}$  图解

(据 Miyashiro, 1975)

Fig. 5  $\text{SiO}_2$ - $\text{TFEO}/\text{MgO}$  diagram of the volcanic rocks

$\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$  在 2.24~15.56 之间, 轻稀土元素相对富集; 样品  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$  在 1.45~35.47 之间, 平均 9.69, 绝大多数样品分布在 3~10 之间, 有 4 个样品大于 30, 轻重稀土元素分异较明显,  $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{N}}$  在 1.18~5.10 之间, 平均 2.31, 重稀土元素分馏程度较低,  $\delta\text{Eu}$  在 0.87~1.11 之间, 平均为 0.98, 基本无 Eu 异常。稀土元素球粒陨石配分模式图(图 7)也显示, 大多数样品点的曲线形态一致或平行, 为右倾的富集型, 个别样品曲线斜率较大, 显示轻重稀土元素分馏较强, 重稀土元素曲线形态相对平坦, 分馏较弱<sup>[15-16]</sup>。

## 4 讨论

### 4.1 构造环境探讨

额济纳旗及其邻区阿木山组火山岩稀土元素配分模式图和微量元素蛛网图各样品曲线形态基本上平行一致或具有类似的分布模式, 表明岩浆物质源区基本均一, 基本不显示 Eu 负异常, 该类火山岩被认为是同源岩浆经历相似过程的产物<sup>[17-18]</sup>; 前述火山岩微量元素配分曲线中有典型的未经地壳混染的大陆裂谷玄武岩曲线的特征。大陆地壳的混染作用可使高场强元素(Nb、Ta 等)亏损, 可以给出似消减带的信息, 配分曲线具有比较浅的 Nb-Ta 槽, 往往表现为似岛弧玄武岩的特征, 从而常常会导致一些研究者将受到混染的大陆玄武岩误判成岛弧玄武

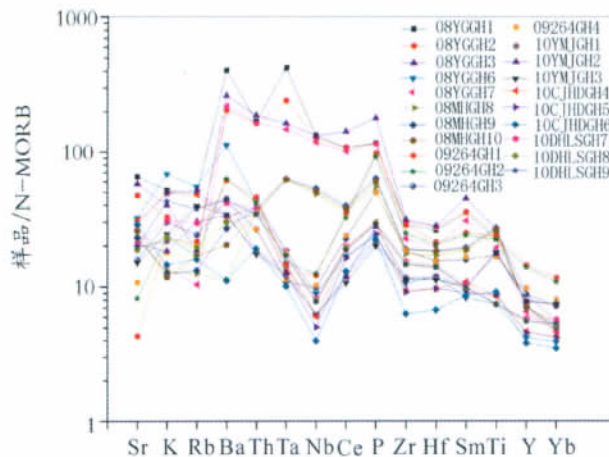


图6 火山岩微量元素 N-MORB 蛛网图

(N-MORB 据参考文献[14])

Fig. 6 N-MORB-normalized spidergram of the volcanic rocks

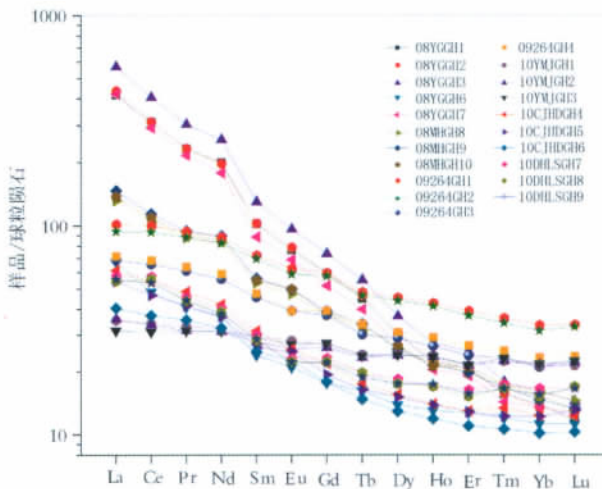


图7 火山岩稀土元素配分模式图

(球粒陨石据参考文献[14])

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of the volcanic rocks

岩。因此, 需选择相对稳定的元素 Zr 和 Y, 利用  $\text{Zr}-\text{Zr}/\text{Y}$  判别图(图 8)和  $\text{Ta}/\text{Hf}-\text{Th}/\text{Hf}$  判别图(图 9)综合判别其构造环境, 样品点主要落入大陆板内的陆内裂谷或陆缘裂谷拉斑玄武岩区和陆内裂谷碱性玄武岩区。

夏林圻等<sup>[20]</sup>认为, 整个天山造山带早石炭早期古生代洋盆已经闭合, 已进入新的造山后裂谷拉伸阶段。晚石炭世小独山阶—早二叠世紫松阶阿木山组(西部干泉组)发育基性、中基性玄武岩、安山岩和酸性英安岩、流纹岩(表 4), 火山岩厚度大, 分布广,

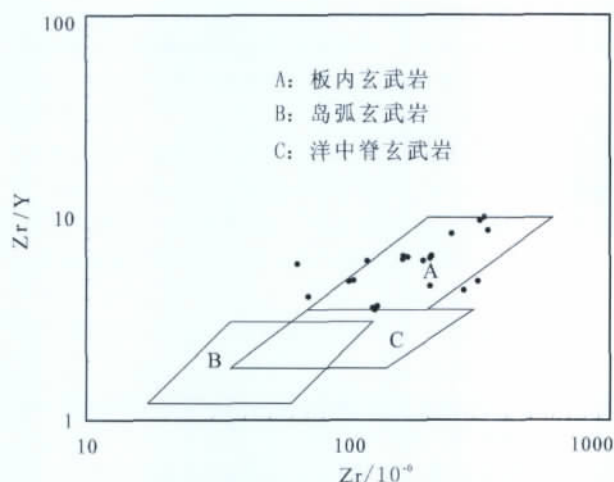


图 8 玄武岩 Zr-Yr/Y 判别图(据 Pearce 等,1979)

Fig. 8 Discrimination diagram of Zr/Y-Zr of basaltic rocks

其中以基性玄武岩类和酸性英安岩、流纹岩为主(表 4)。这种双峰式火山岩组合代表强烈的大陆裂谷拉张作用的产物。

综上所述,额济纳旗及其邻区晚石炭世—早二叠世早期为拉张作用下统一的板内裂谷(裂隙)盆地。岩石组合类型和沉积建造特征显示出北部红石山—黑鹰山次级裂谷拗陷、南部红柳大泉次级裂谷拗陷和中部马鬃山—拐子湖低幅度隆起这一构造格局。红石山—黑鹰山裂谷是夏林圪等<sup>[18]</sup>划分的觉罗塔格裂谷的东延部分,红柳大泉裂谷是北山裂谷的东延部分。西部干泉组从下而上火山岩普遍发育,东部阿木山组为碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩建造,表明裂

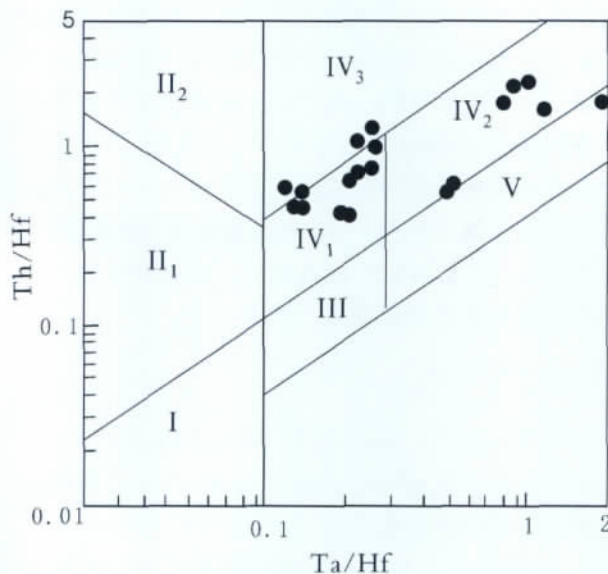
图 9 玄武岩 Ta/Hf-Th/Hf 判别图<sup>[19]</sup>

Fig. 9 Discrimination diagram of Ta/Hf-Th/Hf of basaltic rocks

I—离散板块边界; II—汇聚板块边界; II<sub>1</sub>—大洋岛弧区; II<sub>2</sub>—陆缘岛弧及陆缘火山弧区; III—大洋板内洋岛、海山、T-MORB 及 E-MORB 区; IV—大陆板内; IV<sub>1</sub>—陆内裂谷及陆缘裂谷拉斑玄武岩区; IV<sub>2</sub>—陆内裂谷碱性玄武岩区; IV<sub>3</sub>—大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区; V—地幔柱玄武岩区

谷从西部逐渐向东部伸展。

#### 4.2 与油气地质的关系及意义

阿木山期额济纳旗及其邻区为强烈拉伸作用下的统一的陆内裂谷(裂隙)盆地,表现为由西北向东

表 4 阿木山组火山岩分类

Table 4 Classification of Amushan Formation volcanic rocks

序号	剖面名称	1:20 万图幅	玄武岩类 厚度/m	安山岩类 厚度/m	英安岩—流纹 岩类厚度/m
1	哈珠北	黑鹰山幅	1151.4	32.6	1209.3
1	六陀山	六陀山幅	/	/	794.9
2	大狐狸山	嘎顺淖尔幅	/	136.7	154.6
3	乌登汗南西	雅干幅 拐子湖幅	147.0	/	9.0
4	努尔盖	努尔盖公社幅	131.5	220.1	3.4
5	芒罕超克	因格井幅	18.5	/	/
6	恩格尔乌苏北	沙拉套尔汗幅	/	/	49.9
7	英格特西南	乌尔特幅	337.3	246.2	/
合 计			1785.7	635.6	2221.1



南的上超沉积。在这一构造背景控制下,发育大面积的浅海相和碳酸盐台地相沉积建造。其中浅海陆棚发育的暗色泥岩的油气地球化学特征指示为良好的烃源岩。大量发育的火山岩一方面提供了有利的盖层条件,另一方面火山岩中发育原生孔隙、火山岩埋藏成岩及风化过程中形成的次生孔隙与裂缝,又提供了有利的储集条件。三塘湖盆地油气的发现,揭示了该套火山岩储盖组合的有效性,也为额济纳旗及其邻区油气资源勘探提供了依据。

## 5 结论与认识

(1)  $Zr/TiO_2-Nb/Y$ 、 $SiO_2-TFeO/MgO$  和  $Zr-Y-Nb$  图解法显示阿木山组(干泉组)玄武岩的类型主要为亚碱性拉斑玄武岩,岩石类型较为均一。

(2) 稀土元素特征显示研究区玄武岩轻重稀土元素分馏较强,轻稀土元素相对富集,重稀土元素分馏较弱,稀土元素配分模式图显示各样品曲线形态基本一致或平行,表明其应为同源岩浆经历相似过程的产物。

(3) 微量元素蛛网图、 $Zr-Zr/Y$  和  $Ta/Hf-Th/Hf$  图解表明阿木山组(西部干泉组)玄武岩为产于大陆板内的陆内裂谷拉斑玄武岩,额济纳旗及其邻区石炭纪—二叠纪盆地统一的裂谷(裂陷)盆地,裂谷总体反映了从西到东的一个伸展过程。

致谢:本文成稿过程中得到卢进才教授级高级工程师、校培喜研究员、计文化研究员和李建星博士的指导,韩伟、史冀忠、李渭、张慧元、许海红等同志给予大力协助,在此一并表示诚挚的谢意。

## 参考文献

- [1] 夏林圻,夏祖春,徐学义,等.天山岩浆作用[M].中国大地出版社,2007:108-128.
- [2] 徐学义,何世平,王洪亮,等.中国西北部地质概论——秦岭、祁连、天山地区[M].北京:科学出版社,2008:196-201.
- [3] 王廷印,王士政,王金荣.阿拉善地区古生代岩石圈形成与演化[M].兰州:兰州大学出版社,1994.
- [4] 何世平,周会武,任秉琛,等.甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J].西北地质,2005,38(3):6-15.
- [5] 卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系油气地质条件初探[J].地质通报,2010,29(2/3):330-340.
- [6] 卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗雅干地区二叠系埋汗哈达组烃源岩的特征[J].地质通报,2010,29(2/3):341-345.
- [7] 陈践发,卢进才,石正勇,等.内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系烃源岩的发育特征和生烃潜力评价[J].地质通报,2010,29(2/3):346-350.
- [8] 卢进才,魏仙样,李玉宏,等.额济纳旗土壤油气地球化学特征及其意义[J].新疆石油地质,2009,30(1):6-8.
- [9] 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等.从全球看中国大地构造[M].北京:地质出版社,1999:11-17.
- [10] 卢进才,陈高潮,魏仙样,等.内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系沉积建造与生烃条件——石炭系—二叠系油气地质条件研究之一[J].地质通报,2011,30(6):811-826.
- [11] 金玉轩,范影年,王向东,等.中国地层典——石炭系[M].北京:地质出版社,2000:14-21.
- [12] 侯广顺,唐红峰,刘丛强.东天山觉罗塔格构造带晚古生代火山岩地球化学特征[J].岩石学报,2006,22(5):1167-1177.
- [13] 韩吟文,马振东.地球化学[M].地质出版社,2003:181-212.
- [14] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes[C]// Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ., 1989, 42: 528-548.
- [15] 袁明生,张映红,韩宝福,等.三塘湖盆地火山岩地球化学特征及晚古生代大地构造环境[J].石油勘探与开发,2002,29(6):32-34.
- [16] 聂宝锋,于炳松,李正科,等.新疆三塘湖盆地牛东区块晚石炭世—二叠纪火山岩特征与构造环境分析[J].新疆地质,2009,27(3):217-221.
- [17] 林克湘,李艺斌,龚文平,等.新疆三塘湖盆地晚古生代火山岩地球化学特征及构造环境[J].高校地质学报,1997,3(2):202-211.
- [18] 刘肇昌.板块构造学[M].成都:四川科学技术出版社,1985:141-158.
- [19] Wood D A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crust contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province[J]. Earth. Planet. Sci. Lett., 1980, 50: 11-30.
- [20] 夏林圻,张国伟,夏祖春,等.天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束——来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据[J].地质通报,2002,22(2):55-62.