

西天山特克斯县北乌孙山大哈拉军山组火山岩 地球化学特征及构造意义

孙吉明¹, 白建科¹, 马中平¹, 徐学义¹, 李智佩¹, 张涛^{1,2}, 翁凯^{1,2}

(1. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710064)

摘要:对西天山特克斯西北乌孙山中部地区出露的火山岩进行了地球化学研究, 结果表明玄武岩、安山岩均为拉斑质火山岩, LREE 较富集 ($(La/Yb)_N$ 介于 3.44~11.36 之间), 具有弱的 Eu 负异常 ($\delta Eu = 0.79 \sim 1.13$), 安山岩与流纹岩明显富集强不相容元素 (如 Cs, Rb, Ba, Th, U) 和 LREE。玄武岩与中酸性岩样品具有轻微的差异, 但所有样品具有较明显的 Nb, Ta, Ti 负异常, 并且除了活动性较强的元素 (Cs, Rb, Ba) 外, 其余微量元素均接近于下地壳的含量 ($(Th/Nb)_N$ 介于 2.02~8.12 之间, $(Nb/La)_N$ 介于 0.40~0.45 之间, 远远小于 1, La/Ba 值低 (0.01~0.07), Ba/Nb 值高 (90~410); Zr/Nb 值平均为 16.48, 最为接近原始地幔 (15.71) 的比值, 而 Ta/Nb, Hf/Ta, Th/Yb 值平均为 0.10, 3.77, 0.64, 较为接近上地壳 (0.10, 3.50, 0.48) 的比值, Zr 含量大于 90×10^{-6} , Zr/Y 值在 4 左右, 显示了板内玄武岩的特征。结合区域地质特征, 认为该地区在石炭纪时碰撞结束进入碰撞后伸展阶段, 局部具有裂谷化特征。样品的 Nb, Ta, Ti 负异常应为地壳混染引起, 火山岩的形成环境为碰撞后伸展的构造环境。

关键词: 西天山, 大哈拉军山组火山岩, 地球化学特征, 构造环境

中图分类号: P588.14; P59

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)05-0799-12

Geochemical characteristics and tectonic implications of Wusunshan volcanic rocks in northern Tekes County of West Tianshan Mountains

SUN Ji-ming¹, BAI Jian-ke¹, MA Zhong-ping¹, XU Xue-yi¹, LI Zhi-pei¹, ZHANG Tao^{1,2}
and WENG Kai^{1,2}

(1. MLR Key Laboratory of Genesis and Exploration of Magmatic Ore Deposits, Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China; 2. College of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Geochemical characteristics of the volcanic rocks in middle Wusunshan of West Tianshan Mountains were studied in this paper, and the results show that all the basalts and andesites are tholeiitic volcanic rocks, with enrichment of LREE [$(La/Yb)_N = 3.44 \sim 11.36$] and weak depletion of Eu ($\delta Eu = 0.79 \sim 1.13$); andesite and rhyolite are significantly enriched in highly incompatible elements (Cs, Rb, Ba, Th, U) and LREE; basalt and acid rock samples show slight difference, but all the samples obviously have negative anomalies of Nb, Ta and Ti. Nevertheless, the characteristics of basalts are similar to those of intraplate basalt: the $(Th/Nb)_N$ range from 2.02 to 8.12, $(Nb/La)_N$ range from 0.40 to 0.45, by far less than 1; La/Ba ratios are low (0.01 to 0.07) and Ba/Nb ratios are high (90 to 410); average Zr/Nb ratio is 16.48, close to the ratio of primitive mantle (15.71); Ta/Nb, Hf/Ta, Th/Yb ratios are averagely 0.10, 3.77, 0.64 respectively, close to their upper crust ratios (0.10, 3.50, 0.48); Zr content is larger than 90×10^{-6} , Zr/Y ratios are about 4; Except for

收稿日期: 2013-11-08; 修订日期: 2014-06-23

基金项目: 中国地质调查局项目(12120113042200, 1212011220649); 国家自然科学基金资助项目(41202077)

作者简介: 孙吉明(1981-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事岩石地球化学研究, E-mail: sjiming@163.com

some active elements (Cs, Rb, Ba), values of trace elements are close to their values in the lower crust. Combined with the geological characteristics of this area, the authors consider that this region might have been in the post-collision extension phase in the Carboniferous, with local rifting characteristics. The distinct depletion of Nb, Ta and Ti might have been caused by the hybridization of the lithosphere, and the environment of the Middle Wusunshan volcanic rocks should have belonged to the post-collision extension phase.

Key words: West Tianshan Mountains; Dahalajunshan Formation volcanic rocks; geochemical characteristics; structural environment

中国天山造山带是古生代俯冲造山作用与中生代陆内变形作用形成的复合型造山带,矿种繁多,成矿地质条件优越,是中国重要成矿带之一(Windley *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1992; 肖序常等, 1992; Gao *et al.*, 1998, 2009; Shu *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2003, 2004; 李锦轶等, 2006; 肖文交等, 2006; 李永军等, 2009)。由于天山造山带组成、结构的复杂性,长期以来,不同学者对古生代天山造山带造山作用性质、洋陆转化时限和过程以及相应的地球动力学背景仍有较大的争议,争论的焦点是天山古生代洋盆闭合的时限,主要有泥盆纪晚期或早石炭世初期(Allen *et al.*, 1992; 车自成等, 1996; Xia *et al.*, 2004; 徐学义等, 2010)、早石炭世末期(Coleman, 1989; Gao *et al.*, 1998, 2009; 朱永峰等, 2006; 李永军等, 2010)和晚石炭世—早二叠世(Xiao *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2007; 张立飞等, 2005; 李锦轶等, 2006)3种认识。上述认识分歧表明天山造山带古生代洋盆关闭或者洋陆转化时限有待进一步深入研究。

西天山伊犁地块位于准噶尔板块和塔里木板块的交汇部位,夹于中天山北缘断裂和南部尼古拉耶夫—那拉提山北坡断裂之间,呈楔形向东尖灭,其南北两侧均发育古生代造山带(朱永峰等, 2005; 李锦轶等, 2006; 龙灵利等, 2008; 高俊等, 2009; 朱志新等, 2011)。区域地质调查工作显示,伊犁地块早石炭世形成了巨厚的火山—沉积岩系,其中早石炭世早期火山—沉积岩组合被命名为大哈拉军山组(C_{1d}),早石炭世晚期陆源碎屑沉积岩和碳酸盐岩组合被命名为阿克沙克组(C_{1a}) (新疆地质矿产局区域地质调查大队一分队, 1978^①; 新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993)。该套岩石组合主要分布于伊犁地区博罗科努山南坡、那拉提山、阿吾拉勒山、昭苏县和特克斯县北的伊什基里克山南坡及特克斯县南

的大哈拉军山一带(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993)(图1)。

上述早石炭世火山岩研究对天山造山带的构造环境及古生代洋陆转换具有极其重要的意义,引起了许多学者的关注。尽管前人从岩石类型、火山岩组合、岩石地球化学、同位素年代学、同位素地球化学和成矿方面等进行了较为深入的研究(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993; 刘友梅等, 1994; 漆树基等, 1994; 沙德铭等, 2003; 夏林圻等, 2004; Zhu *et al.*, 2005; 李注苍等, 2006; 翟伟等, 2006; 王博等, 2006; Wang *et al.*, 2007, 2008; 冯金星等, 2010; 朱永峰等, 2010; 李大鹏等, 2013),但对该套岩系形成的构造环境仍存在裂谷(车自成等, 1996; 沙德铭等, 2003; 夏林圻等, 2004; 程春华等, 2010)、岛弧或陆缘弧(Zhu *et al.*, 2005; 王博等, 2006; 翟伟等, 2006; Wang *et al.*, 2007; 龙灵利等, 2008; 李永军等, 2010)、活动大陆边缘弧后拉张环境(钱青等, 2006)等几种认识,相应提出天山古生代洋盆闭合于晚泥盆世—早石炭世、晚石炭世或晚二叠世末等几个时段,这种认识分歧在一定程度上限制了对早石炭世火山—沉积岩系形成构造环境乃至中亚古生代洋盆闭合时限这一重大科学问题的认识。因此,开展西天山伊犁地块早石炭世火山岩综合研究分析,并结合前人对盆地基底的研究成果,可为西天山造山带主造山期精细结构研究、造山作用历史恢复提供重要的科学依据。

1 研究区地质概况

研究区位于西天山西南段特克斯县西北乌孙山,构造位置属于伊犁—中天山板块(图1、图2)。研究区位于西天山乌孙山一带,在大地构造上位于伊犁地块南缘(图1),区内出露地层主要是石炭纪火山

① 新疆地质矿产局区域地质调查大队一分队, 1978. 昭苏幅 1:20 万区域地质调查报告。

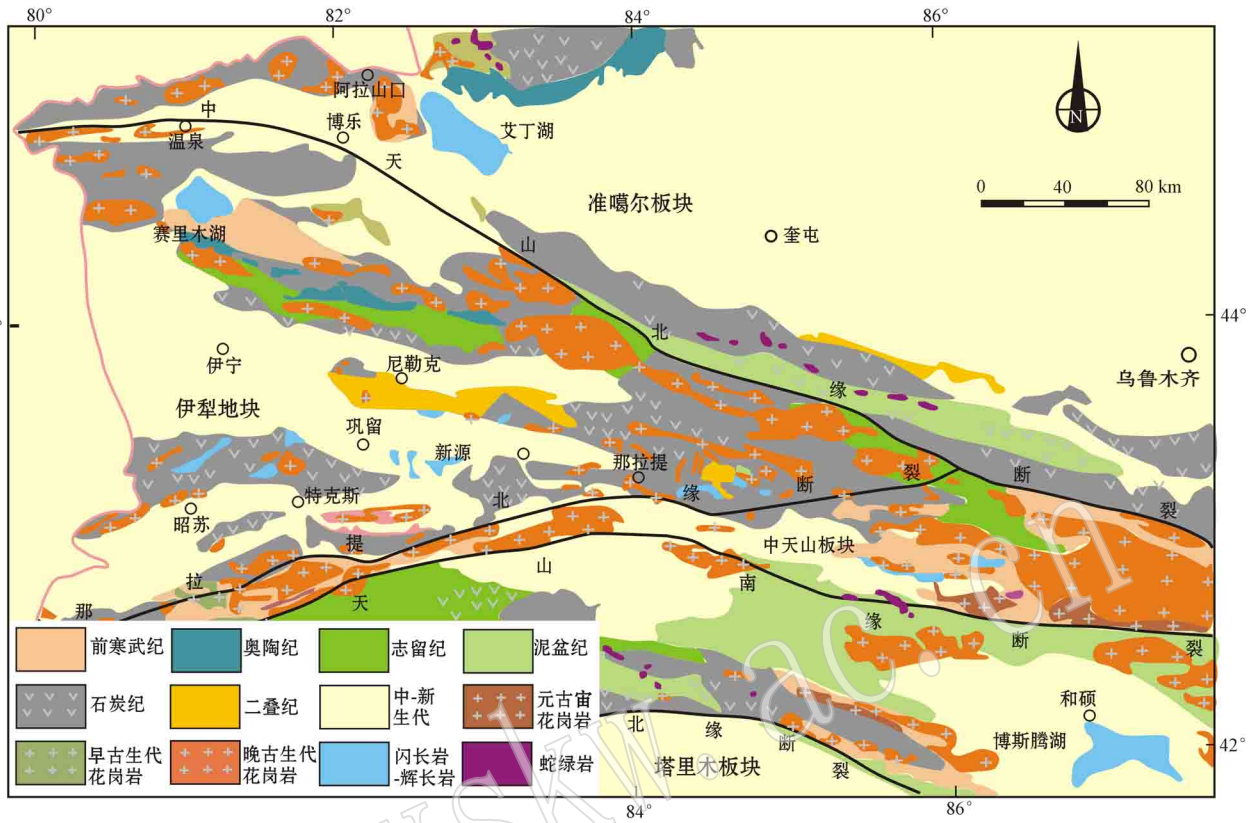


图 1 西天山伊犁地块地质简图(引自 Xu Xueyi *et al.*, 2012)
 Fig. 1 Geological map of the Yili Block(after Xu Xueyi *et al.*, 2012)

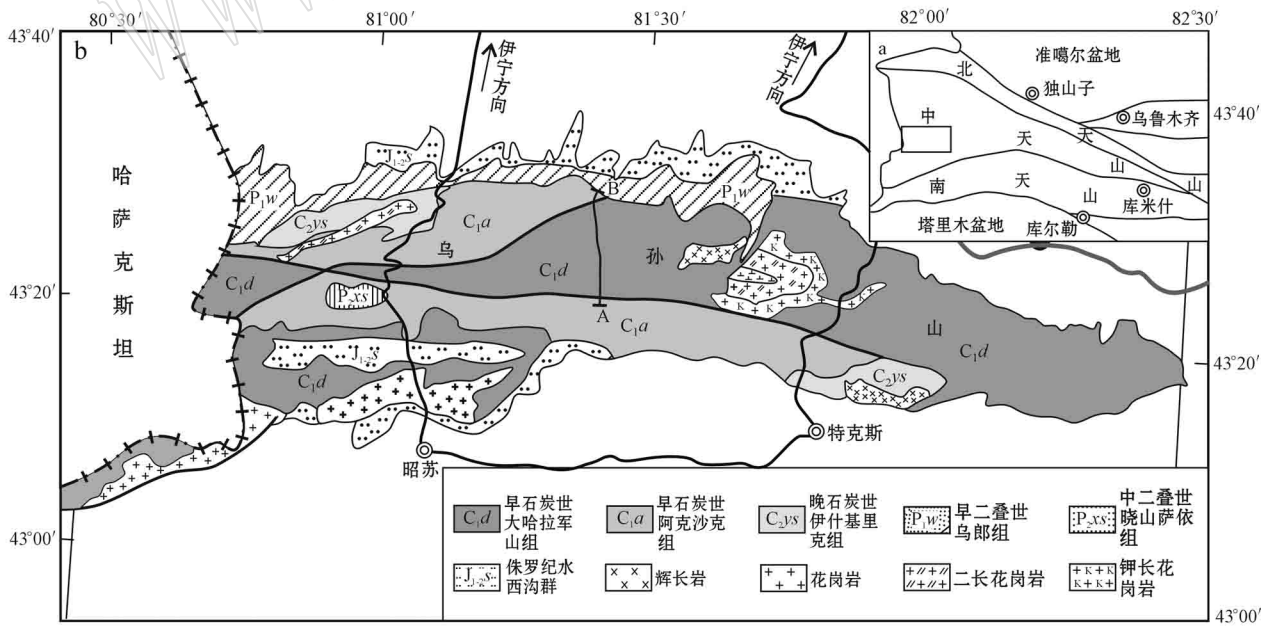


图 2 研究区周边地质简图
 Fig. 2 Geological map of the study area and its surroundings

沉积岩系,其次为晚二叠世乌郎组双峰式火山-沉积岩系,后有侏罗系等山间河湖相建造覆盖于其上。石炭系自下而上依次为早石炭世大哈拉军山组火山岩、沉积岩系,早石炭世阿克沙克组碎屑岩与碳酸盐岩,晚石炭世伊什基里克组双峰式板内裂谷火山岩,晚石炭世东图津河组残留海相碎屑岩,晚石炭世科古琴山组陆相粗碎屑岩,各组之间均以角度不整合接触(李永军等,2008,2010)。此外,早石炭世晚期库勒萨依斑岩侵入于大哈拉军山组中,早二叠世其那尔萨依花岗岩及晚二叠世辉长岩侵入于石炭系之中。

区内早石炭世大哈拉军山组火山岩出露最为广泛,受区域断裂的控制,大致呈近东西向带状展布,北倾方向产出,基本上没有变质、无变形或弱变形,局部发育宽缓小褶皱。阿克沙克组与大哈拉军山组

为断层接触,其中含有大量种类丰富的腕足、珊瑚等动物化石,其时代属早石炭世唯奥期(新疆地质矿产局第九地质大队,长安大学,2005)^①。研究区内前人对大哈拉军山组进行过详细的年代学研究,例如,特克斯西北部大哈拉军山组中熔结凝灰岩和英安岩测年结果分别为 353.3 ± 3.5 Ma 和 344 ± 6 Ma(张芳荣等,2009)。特克斯北部乌孙山地区安山岩和安山质晶屑凝灰熔岩年龄分别为 353.9 ± 6.5 Ma 和 356.3 ± 4.4 Ma(茹艳娇等,2012)。特克斯达坂大哈拉军山组安山岩测年结果为 361.3 ± 5.9 Ma(Zhu et al., 2009),分别属于早石炭世和晚泥盆世,形成时代具有较大的差别。本次工作选取位于乌孙山中部特克斯西北部地区(图 2)的早石炭世火山岩地层进行路线剖面测制,路线剖面见图 3。

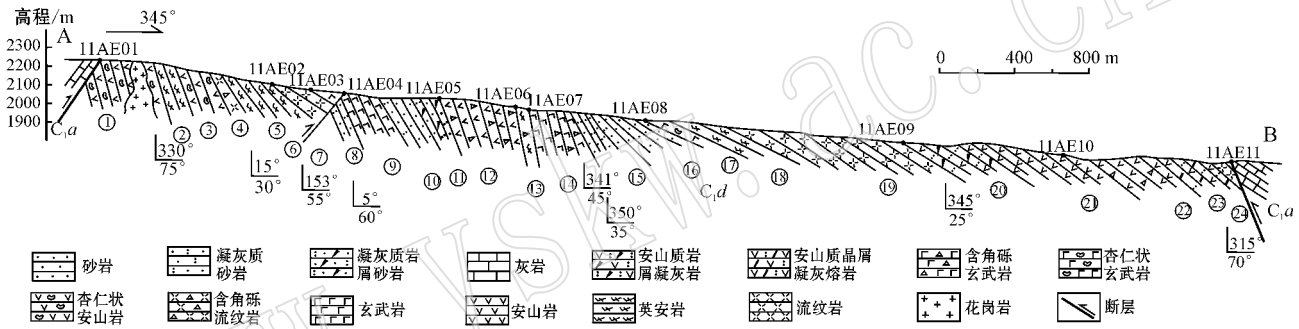


图 3 研究区路线地质剖面及采样位置

Fig. 3 Geological section of volcanic rocks of the study area showing sampling sites

2 测试方法

本次研究在仔细观察了薄片基础上,选择了 9 件后期蚀变较弱、较新鲜的岩石样品进行了化学分析。分析在中国地质调查局西安地质调查中心完成。氧化物用 X 荧光光谱仪 3080E 测试(其中 TFe_2O_3 与 FeO 为实测值, Fe_2O_3 为计算值,利用 XRF 测定出 TFe_2O_3 , 化学滴定法测定出 FeO 结果, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{TFe}_2\text{O}_3 - 1.1113 \text{FeO}$),使用的仪器是荷兰帕纳科公司 Axios 4.0kw 波长色散 X 射线荧光光谱仪,精密密度: $\text{RSD} \leq 0.134$,稳定性: $\text{RMS Rel}(\%) \leq 0.050$ 。执行标准分别为:主要氧化物按 GB/T14506.28-1993 标准; H_2O^+ 按 GB/T14506.2-1993 标准; CO_2 按 GB9835-1988 标准; LOI 按 LY/T1253-1999 标准。稀土元素和微量元素 Cu、Pb、Th、U、Hf、

Ta、Sc、Cs、V、Co、Ni 用等离子质谱测试,执行标准为 DZ/T0223-2001。微量元素 Sr、Ba、Zn、Rb、Nb、Zr、Ga 用 X 荧光光谱仪 2100 测试,执行标准为 JY/T016-1996。

3 岩相学特征

从剖面图(图 3)中可以看出,乌孙山地区的火山岩剖面中,火山岩岩石类型主体由玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩及相应的火山碎屑岩组成,以安山岩和流纹岩为主。根据火山岩的层序特征,可以划分为多个喷发旋回,表现为间歇式的喷发特征。岩相学特征如下。

玄武岩:灰黑色,斑状结构,块状构造。斑晶主要为基性斜长石(15%),也可见角闪石斑晶(少于 5%)。斜长石斑晶多为自形长板状、长柱状,多具冷

① 新疆地质矿产局第九地质大队,2005. 巩留-特克斯一带 1:5 万区域地质调查报告。

凝边(宽 0.01 mm), 大小为 0.2 mm × 0.4 mm ~ 0.5 mm × 1 mm, 部分斜长石发生碳酸盐化和帘石化。角闪石斑晶呈长柱状, 最大的长 1 mm 左右, 具有绿泥石化特征。基质(80% 左右)由主要由斜长石组成, 呈间粒结构和间粒-间隐结构(图 4a), 常见碳酸盐化。

安山岩: 灰黑色, 斑状结构, 块状构造。斑晶主要为斜长石(20% ~ 30%), 也可见少量的石英(3% 左右)(图 4b)。斜长石呈柱状、板条状, 粒径连续变化(0.1 ~ 1 mm), 碳酸盐化较强烈。基质多具隐晶质, 由斜长石微晶与隐晶质组成。部分安山岩样品发生较强烈的碳酸盐化和绿泥石化。

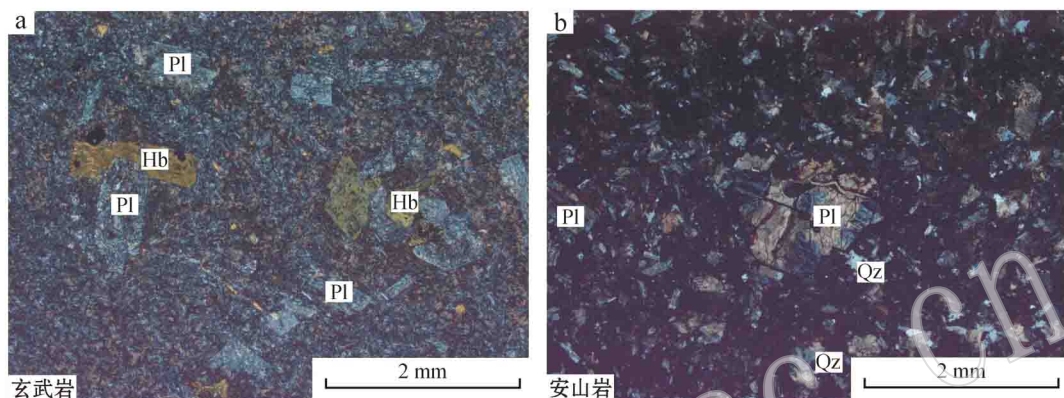


图 4 玄武岩、安山岩样品显微照片(正交偏光)

Fig. 4 Microphotograph of the sample of basalt and andesite (crossed nicols)

Pl—长石; Hb—角闪石

Pl—plagioclase; Hb—hornblende

4 地球化学特征

乌孙山中部样品的主量、微量及稀土元素测试结果见表 1。表中数据显示样品的 SiO_2 含量为 45.15% ~ 67.65%。由于 K 和 Na 是活泼元素, 它们的含量在次生蚀变中可能会发生改变, 因此采用 Winchester 和 Floyd(1977)建立的 SiO_2 -Nb/Y 图解(图 5)和 Miyashiro(1975)建立的 FeO^T/MgO - SiO_2 图解(图 5)来划分岩石类型和岩浆系列。在图 4 中样品分为玄武岩、安山岩及英安岩 3 类。由表 1 可以看出玄武岩 MgO 含量为 5.20% ~ 7.16%, $\text{Mg}^\#$ 值较低(48.24 ~ 56.75), 显示出演化型岩浆的特征。安山岩的主量元素含量如 TiO_2 、 FeO^T 、 CaO 、 MgO 均低于玄武岩相应元素的含量, $\text{Mg}^\#$ 值(37.63 ~ 53.23)较低。由基性岩到酸性岩, 3 种岩性的主量元素 TiO_2 、 FeO^T 、 CaO 、 MgO 、 P_2O_5 和 MnO 的含量逐渐变低。玄武岩以 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ 为主, 而中酸性岩总体表现为 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 。在图 5 中玄武岩均为拉斑玄武岩。

样品 ΣREE 为 $85.73 \times 10^{-6} \sim 209.29 \times 10^{-6}$, 总体上, 由玄武岩到安山岩再到英安岩, ΣREE 逐渐增多, 在球粒陨石标准化分配图中所有样品具有相

似的分布模式(图 6): 稀土元素含量为球粒陨石的 10 ~ 200 倍; LREE 较富集的右倾模式[(La/Yb)_N 介于 3.44 ~ 11.36 之间], 中稀土元素与重稀土元素分馏不明显, 具有弱的 Eu 负异常($\delta\text{Eu} = 0.79 \sim 1.13$), 在 N-MORB 标准化图中(图略), 玄武岩轻稀土元素含量为 N-MORB 的 10 倍, 安山岩与流纹岩轻稀土元素含量较高, 为 N-MORB 的 10 ~ 20 倍, 重稀土元素均分布在 1 左右接近 N-MORB 的含量。与下地壳稀土元素相比, 玄武岩的稀土元素含量接近下地壳的含量, 而安山岩与流纹岩轻稀土元素含量较高, 重稀土元素含量也接近下地壳的值。微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 6)中, 安山岩与流纹岩明显富集强不相容(如 Cs、Rb、Ba、Th、U)元素与 LREE, 随着不相容性降低, 其分布模式趋于平缓; 玄武岩与中酸性岩样品具有轻微的差异, Th、U 的富集程度没有中酸性岩样品的明显, Sr 显示出正异常的特征, 但是所有样品具有较明显的 Nb、Ta、Ti 的负异常, 显示出岛弧玄武岩的特征。但是玄武岩样品与下地壳微量元素相比(图略), 除了活性较强的元素(Cs、Rb、Ba)其余的微量元素均接近下地壳的含量, 所有样品的 (Th/Nb)_N 和 (La/Nb)_N 分别介于 2.02 ~ 8.12 和 3.44 ~ 11.36 之间, 远远大于 1, Zr 含量大于 90×10^{-6} , Zr/Y 在 4 左右, 具有板内玄武岩

表1 乌孙山样品主量元素($w_B/\%$)微量元素及稀土元素($w_B/10^{-6}$)分析结果
Table 1 Major elements($w_B/\%$) trace elements and REE($w_B/10^{-6}$) analyses of Wusunshan samples

样号	11AE03-1h	11AE03-2h	11AE03-3h	11AE04-1h	11AE08-2h	11AE07-1h	11AE09-1h	11AE10-1h	11AE01-1h
岩性	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	英安岩	英安岩	安山岩	安山岩	安山岩
SiO ₂	47.93	45.15	48.67	47.95	67.65	66.72	54.35	58.46	59.96
TiO ₂	1.33	1.35	1.31	1.30	0.54	0.57	0.80	1.17	0.65
Al ₂ O ₃	14.60	16.30	15.74	15.55	15.31	15.11	14.33	15.83	16.42
Fe ₂ O ₃	4.91	5.36	6.88	4.66	2.12	2.18	0.69	2.19	1.92
FeO	5.88	5.12	3.87	5.53	0.61	1.70	5.72	4.35	3.42
FeO _T	10.30	9.94	10.06	9.72	2.52	3.66	6.34	6.32	5.15
MnO	0.21	0.24	0.18	0.24	0.07	0.09	0.13	0.14	0.12
MgO	6.74	5.20	6.49	7.16	0.52	1.43	4.05	2.14	2.79
CaO	9.74	9.67	7.04	6.16	1.96	1.77	6.24	4.59	4.38
Na ₂ O	2.28	2.46	2.06	1.60	3.06	5.28	3.01	4.13	4.09
K ₂ O	2.49	2.56	4.10	4.46	5.35	1.99	2.22	2.60	1.63
P ₂ O ₅	0.49	0.56	0.54	0.54	0.13	0.21	0.21	0.44	0.17
LOI	3.31	5.95	3.02	4.68	2.69	2.93	8.16	3.91	4.44
Total	99.91	99.92	99.90	99.83	100.01	99.98	99.91	99.95	99.99
Mg [#]	53.84	48.24	53.48	56.75	26.90	41.04	53.23	37.63	49.13
Cu	205.00	98.10	115.00	125.00	9.49	15.00	19.70	34.50	13.10
Pb	6.65	21.80	6.74	7.64	7.95	8.69	26.60	18.20	12.10
Zn	102.00	199.00	210.00	104.00	40.20	67.10	69.60	89.50	59.30
Cr	86.80	74.60	83.40	126.00	6.62	6.17	44.70	3.34	17.70
Ni	48.50	41.60	45.40	57.40	4.05	3.38	16.70	4.16	10.60
Co	36.60	32.40	33.70	32.60	3.52	6.37	19.20	14.50	9.07
Li	70.70	50.70	100.00	91.10	9.06	25.70	36.90	22.30	9.78
Rb	55.50	65.70	117.00	163.00	154.00	71.00	80.30	75.00	43.60
Cs	4.15	3.96	2.76	7.06	4.08	3.60	4.89	3.12	1.23
Sr	828.00	525.00	1020.00	693.00	147.00	244.00	394.00	556.00	395.00
Ba	503.00	563.00	643.00	2260.00	772.00	346.00	415.00	580.00	534.00
V	321.00	307.00	301.00	306.00	37.60	60.00	144.00	114.00	71.50
Sc	39.10	32.20	33.30	35.50	7.76	11.50	17.30	12.10	7.74
Nb	5.57	5.95	5.70	5.51	12.60	6.80	9.60	16.50	8.26
Ta	0.59	0.58	0.51	0.54	0.68	0.40	0.67	0.93	0.59
Zr	91.40	96.60	93.50	93.00	283.00	133.00	201.00	308.00	173.00
Hf	2.09	2.14	2.08	2.03	6.84	2.95	4.66	6.93	3.87
Ga	17.80	19.70	18.00	19.30	16.30	15.30	16.40	20.00	17.20
U	0.48	0.52	0.50	0.33	3.52	1.33	2.23	3.92	1.63
Th	1.36	1.47	1.42	1.33	12.20	4.60	6.71	10.90	7.35
Y	23.80	24.60	22.90	23.60	23.80	15.50	22.30	33.40	15.80
Ti	7 972.02	8 091.90	7 852.14	7 792.20	3 236.76	3 416.58	4 795.20	7 012.98	3 896.10
K	20 670.24	21 251.33	34 035.33	37 023.80	44 411.96	16 519.59	18 428.89	21 583.38	13 531.12
La	11.80	14.40	12.80	12.30	31.40	28.40	23.40	38.80	23.00
Ce	28.30	32.70	29.60	28.50	63.00	49.30	48.40	81.90	45.20
Pr	4.09	4.59	4.31	4.18	7.78	5.75	6.07	10.20	5.31
Nd	18.60	20.80	19.90	18.90	29.40	22.60	24.90	42.00	20.10
Sm	4.76	5.15	4.65	4.73	5.42	4.19	4.93	8.16	3.66
Eu	1.51	1.65	1.51	1.74	1.12	1.14	1.36	1.91	1.04
Gd	4.82	5.08	4.87	4.71	4.52	3.55	4.43	6.66	3.37
Tb	0.72	0.75	0.76	0.71	0.70	0.48	0.66	1.00	0.49
Dy	4.60	4.50	4.65	4.39	4.26	2.94	3.80	5.83	2.78
Ho	0.94	0.94	0.89	0.91	0.86	0.55	0.82	1.23	0.60
Er	2.61	2.51	2.43	2.43	2.54	1.74	2.43	3.43	1.68
Tm	0.33	0.33	0.36	0.34	0.38	0.24	0.32	0.48	0.22
Yb	2.32	2.17	2.12	2.06	2.55	1.69	2.22	3.20	1.45
Lu	0.33	0.37	0.34	0.34	0.40	0.26	0.37	0.49	0.27
∑REE	85.73	95.94	89.19	86.24	154.33	122.83	124.11	205.29	109.17
δEu	0.96	0.99	0.97	1.13	0.69	0.90	0.89	0.79	0.90
(La/Yb) _N	3.44	4.48	4.08	4.03	8.32	11.36	7.12	8.19	10.72
Nb/Ta	9.44	10.26	11.18	10.20	18.53	17.00	14.33	17.74	14.00
Ta/Nb	0.11	10.26	0.09	0.10	0.05	0.06	0.07	0.06	0.07
Hf/Ta	3.54	10.26	4.08	3.76	10.06	7.38	6.96	7.45	6.56
La/Ba	0.02	0.03	0.02	0.01	0.04	0.08	0.06	0.07	0.04
(Nb/La) _N	0.45	0.40	0.43	0.43	0.39	0.23	0.40	0.41	0.35
(Th/Nb) _N	2.05	2.07	2.09	2.02	8.12	5.67	5.86	5.54	7.46

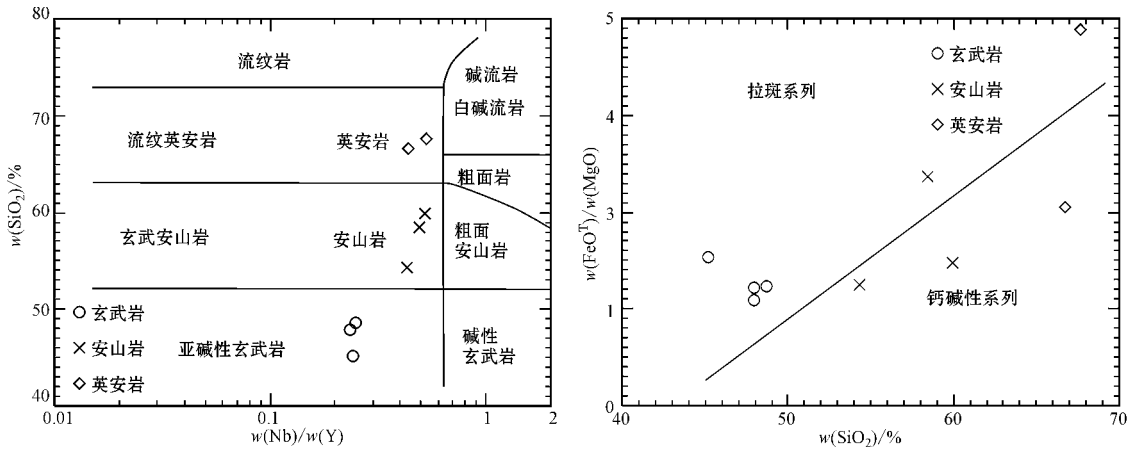


图 5 样品的 $\text{SiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$ 图解(据 Winchester & Floyd, 1977)和 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO} - \text{SiO}_2$ 图解(据 Miyashiro, 1975)
 Fig. 5 $\text{SiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$ diagram (after Winchester & Floyd, 1977) and $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO} - \text{SiO}_2$ diagram (after Miyashiro, 1975) of Wusunshan volcanic rocks

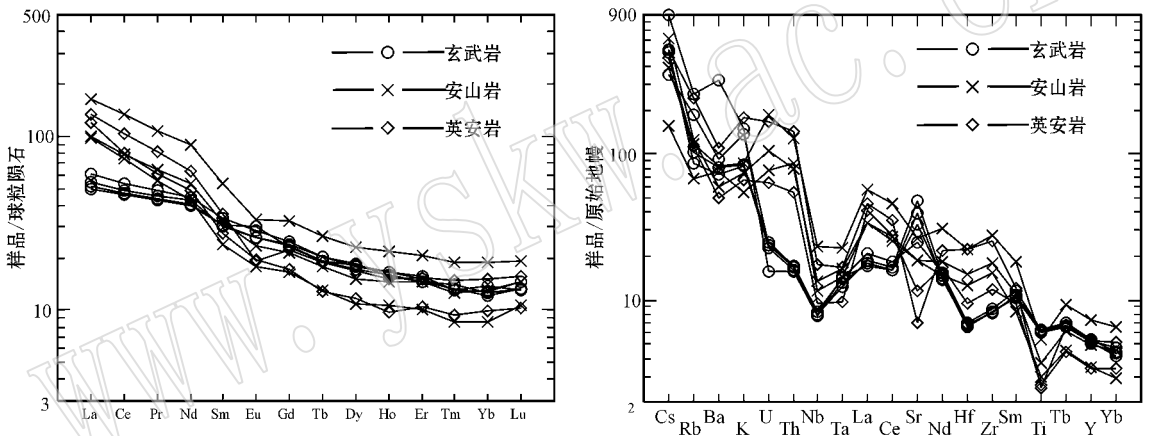


图 6 稀土元素球粒陨石标准化及微量元素原始地幔标准化配分图(球粒陨石和原始地幔标准化值据 Sun and McDonough, 1989)
 Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace elements diagram of Wusunshan volcanic rocks (chondrite-normalized and primitive mantle-normalized values after Sun and McDonough, 1989)

的特征 ($\text{Hf}/\text{Th} < 8$, Condie, 1989)。

5 讨论

大多数样品属于拉斑系列火山岩, 稀土元素总量高, LREE 强烈富集, 具右倾分布模式(图 6), 不相容元素含量高(原始地幔的 10 倍以上), 具有类似于岛弧型火成岩类的明显的 Nb、Ta、Ti 负异常(图 6)等特征。同时玄武岩、安山岩 Zr 平均含量为 151×10^{-6} , 远大于岛弧火山岩的 Zr 丰度, Zr/Y 值均大于 4, Hf/Th 值介于 0.53~1.54 之间, 平均为 1.12, 均类似于板内玄武岩显示了板内玄武岩的成分特征 ($\text{Hf}/\text{Th} < 8$, Condie, 1989)。在 Th-Ta-Hf/3 和 2

Nb-4 Zr-Y 环境判别图解中所有玄武岩、安山岩样品均落入了岛弧和板内(偏向岛弧)的构造环境中, 但是在 Zr-Zr/Y 判别图解中(图 7) 样品却投入到板内玄武岩的构造环境区域内。造成图解中同样的样品却落入不同的构造环境中的重要因素是, 幔源岩浆到达地壳岩浆房和上升至地表途中, 会受到不同程度大陆地壳或岩石圈的强烈混染, 对于原始大陆玄武岩浆的微量元素和同位素地球化学性质给予强有力的改造和调整, 从而给利用大陆玄武岩的地球化学性质判断其形成环境带来许多不便(夏林圻等, 2007a, 2007b)。因此, 在讨论该地区火山岩(玄武岩与安山岩)形成的构造环境之前对样品是否遭受地壳混染进行讨论是非常重要的。

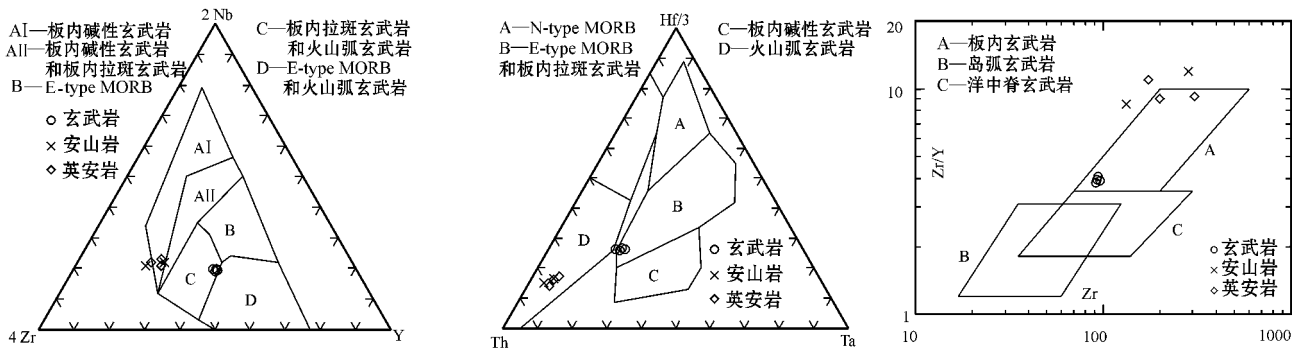


图 7 样品 4 Zr - Y - 2 Nb (据 Meschede , 1986) , Th - Ta - Hf/3 (据 Wood , 1980) 及 Zr/Y - Zr (据 Pearce , 1982)
Fig. 7 4 Zr - Y - 2 Nb (after Meschede , 1986) , Th - Ta - Hf/3 after Wood , 1980) and Zr/Y - Zr (after Pearce , 1982)
diagrams of Wusunshan samples

5.1 地壳混染

非常高的原始地幔标准化 Th/Nb 值 ($\gg 1$) (Saunders *et al.* , 1992) 和低 Nb/La 值 (< 1) (Kieffer *et al.* , 2004) 是地壳混染作用的两个可靠指标。地壳物质通常具有高 La/Nb、高 Ba/Nb 和低 La/Ba 值 (Weaver and Tarney , 1984 ; Wedepohl , 1995) , 如果幔源玄武质岩浆遭受到大陆地壳物质的混染 , 岩浆中的不相容元素如 La 或 Ba 就会相对于 Nb 明显增高 , 从而具有低的 Nb/La、低 La/Ba 值。如前所述 , 所有分析样品 (玄武岩) 的结果显示 (表 1) 原始地幔标准化的 (Th/Nb)_N 在 2.02 ~ 5.86 之间 (Nb/La)_N 介于 0.40 ~ 0.45 , 远远小于 1 , 低的 La/Ba (0.01 ~ 0.07) (图 8) 和高的 Ba/Nb (90 ~ 410) ; Zr/Nb 值平

均为 16.48 , 最为接近原始地幔 (15.71) 的比值 ; 而 Ta/Nb、Hf/Ta、Th/Yb 值平均为 0.10、3.77、0.64 较为接近上地壳 (0.10、3.50、0.48) 的比值 , 上述特征说明该地区的火山岩岩浆在上升过程中受到一定的地壳混染。由于地壳岩石和地壳岩石的部分熔融体通常具有很低的 TiO₂ 含量 (Wilson , 1989) 和较低的 Nb、Ta 含量 (Thompson *et al.* , 1984) , 从而地壳混染作用会使得软流圈源大陆板内玄武岩的原始 Ti、Nb、Ta 含量下降 , 因此 , 大陆伸展环境下源自于陆下富集地幔部分熔融作用形成的火成岩 , 在受到了较为强烈的地壳混染作用后 , 也能表现出具高场强元素 Nb、Ta、Ti 负异常等岛弧火山岩的特征 (Wilson , 1989 ; 夏林圻等 , 2007a , 2007b) , 这种混染混染作用导致 Ti、Nb、Ta 等元素的浓度降低 , 其成分点的投影位置就会向着这些图解中 Ti、Nb、Ta 含量降低的方向 (岛弧玄武岩) 发生迁移 (图 7)。

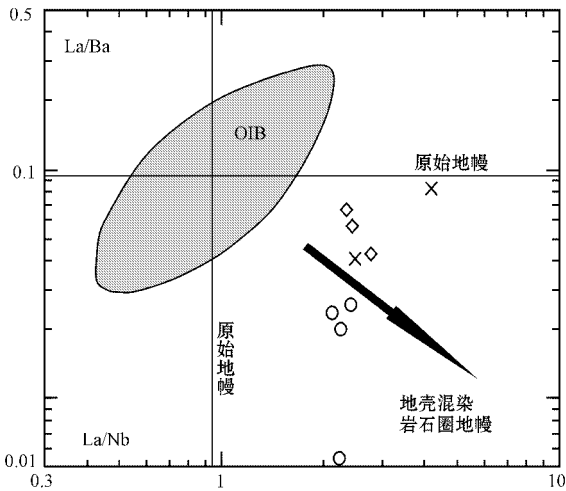


图 8 样品 La/Ba - La/Nb 图解 (洋岛玄武岩的范围据 Fitton 等 (1991) 和 Fitton (1995)]

该地区火山岩所以表现出岛弧火山岩的特征 , 有较大的可能归结于岩浆在上升的过程中遭受了地壳的强烈混染。

5.2 构造背景

本文依托项目“天山成矿带地质矿产调查评价成果集成”和已结题项目“天山-兴蒙成矿带火山岩浆作用对成矿制约的综合研究”的研究资料 , 认为特克斯县城南大哈拉军山组火山岩地层底部由下至上的沉积环境为扇三角洲前缘-扇三角洲平原-开阔台地相 (图 9) , 并显示出从陆相到滨浅海相的转变过程。李永军等 (2010) 在阿吾拉勒山南坡-特克斯大坂北坡一带 , 发现深海-半深海碳酸盐岩夹硅质条带为主的深水沉积特征的沉积组合 , 表明伊犁地块南缘至伊犁地块内部水体具有逐渐加深的特征 , 显示

Fig. 8 La/Ba - La/Nb diagram (OIB basalt extent after Fitton *et al.* , 1991 and Fitton , 1995)

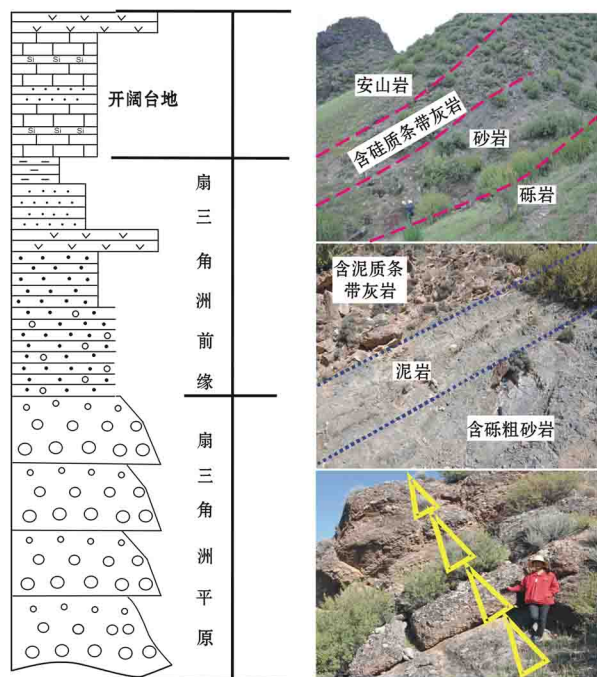


图9 特克斯县城南部火山岩地层沉积特征

Fig. 9 Sedimentary characteristics of volcanic strata in southern Tekesi

了一种拉伸的趋势。

综上所述,玄武岩、安山岩 Zr 平均含量为 151×10^{-6} , 远大于岛弧火山岩的 Zr 丰度, Zr/Y 值均大于 4, Hf/Th 值介于 0.53~1.54, 平均为 1.12, 微量元素总量大于岛弧火山岩微量元素总量, 类似于板内玄武岩, 显示了板内玄武岩的成分特征, 结合伊犁地块地区的年代学格架和火山岩地层沉积特征, 我们认为该地区火山岩应属于碰撞后伸展的环境。

6 结论

(1) 乌孙山中部火山岩微量元素 $(Th/Nb)_N$ 在 2.02~5.86 之间, $(Nb/La)_N$ 介于 0.40~0.45, 远远小于 1, 低的 La/Ba (0.01~0.07) 和高的 Ba/Nb (90~410); Zr/Nb 值平均为 16.48, 最为接近原始地幔 (15.71) 的比值; 而 Ta/Nb 、 Hf/Ta 、 Th/Yb 值平均为 0.10、3.77、0.64, 较为接近上地壳 (0.10、3.50、0.48) 的比值, 上述特征说明该地区的火山岩岩浆在上升过程中受到一定的地壳混染。

(2) 火山岩类似于岛弧火山岩明显的 Nb、Ta、Ti 负异常应归因于地壳的混染作用, 样品(玄武岩、安山岩)的 Zr 和 Zr/Y 的特征及图解均显示了伸展

作用下裂谷火山岩的特征; 结合区域上的地质特征, 我们认为该地区在石炭纪时碰撞结束并进入碰撞后伸展阶段。

References

- Allen M B, Windley B F and Zhang C. 1992. Paleozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tianshan, central Asia[J]. *Tectonophysics*, 220: 89~115.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Che Zicheng, Liu Liang, Liu Hongfu, *et al.* 1996. Review on the ancient Yili rift, Xinjiang, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 12(3): 478~490(in Chinese with English Abstract).
- Cheng Chunhua, Zhang Fangrong, Yu Quan, *et al.* 2010. The tectonic setting of volcanic rocks for Dahalajunshan Formation in Wusun Mountain Region, West Tianshan Mountain[J]. *Journal of East China Institute of Technology*, 33(1): 22~28(in Chinese with English abstract).
- Coleman R G. 1989. Continental growth of northwest China[J]. *Tectonics*, 8: 621~635.
- Condie K S. 1989. Geochemical changes in basalts and andesites the Archaean-Proterozoic boundary: Identification and significance [J]. *Lithos*, 23: 1~18.
- Feng Jinxing, Shi Fupin, Wang Bangyao, *et al.* 2010. *The Volcanic Type Iron ore in Awulale area, Western Tianshan Mountain*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Fitton J G. 1995. Coupled molybdenum and niobium depletion in continental basalts[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 136: 715~721.
- Fitton J G, James D and Leeman W P. 1991. Basic magmatism associated with the late Cenozoic extension in the western United States: compositional variations in space and time[J]. *Journal of Geophysical Research*, 96: 13 693~13 711.
- Gao J, Li M S, Xiao X C, *et al.* 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan orogen, northwestern China[J]. *Tectonophysics*, 287: 213~231.
- Gao Jun, Qian Qing, Long Lingli, *et al.* 2009. Accretionary orogenic process of West Tianshan, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(12): 1 804~1 816(in Chinese with English abstract).
- Gao J, Long L L, Klemd R, *et al.* 2009. Tectonic evolution of the South Tianshan orogen, NW China: geochemical and age constraints of granitoid rocks[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 98: 1 221~1 238.

- Kieffer B, Arndt N I, Apierre H, *et al.* 2004. Flood and shield basalts from Ethiopia: Magmas from the African supetswell[J]. *Petrol.* 45(4): 793~834
- Li Yongjun, Zhang Tianji, Luan Xindong, *et al.* 2008. Clarification of Late Paleozoic unconformities in the Tekes Daban area of West Tianshan and its geological significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(2): 145~153(in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Li Zhucang, Zhou Jibing, *et al.* 2009. Division of the Carboniferous lithostratigraphic units in Awulale area, western Tianshan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 699~710(in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Li Zhucang, Tong Lili, *et al.* 2010. Revisit the Constraints on the Closure of the Tianshan ancient oceanic basin: New evidence from Yining block of the Carboniferous[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 2 905~2 912(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Wang Kezhao, Li Yaping, *et al.* 2006. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountain[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(8): 895~915(in Chinese with English abstract).
- Li Zhucang, Li Yongjun, Li Jinghong, *et al.* 2006. Geochemical Characteristics of the Dahalejunshan Formation Volcanic Rocks and Their Implications on the Tectonic Setting in Awulale area[J]. *Xinjiang Geology* 24(2): 120~124(in Chinese with English abstract).
- Liu Youmei, Yang Weihua and Gao Jiyuan. 1994. Study on isotopic age of Dahalajunshan formation in Tekesi forestry of Xinjiang[J]. *Geochimica*, 23(1): 99~104(in Chinese with English abstract).
- Long Lingli, Gao Jun, Qian Qing, *et al.* 2008. Magma mixing in the Xilekuduke Cu-Mo ore district in Xinjiang: Evidence from zircon U-Pb chronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 699~710(in Chinese with English abstract).
- Li Dapeng, Du Yangsong, Pang Zhenshan, *et al.* 2013. Zircon U-Pb Chronology and Geochemistry of Carboniferous Volcanic Rocks in Awulale Area, Western Tianshan Mountains[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(2): 176~192(in Chinese with English abstract).
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of Mid-Ocean Ridge basalts and continental tholeiites with a Nb-Zr-Y diagram[J]. *Chem. Geol.*, 56: 207~218.
- Miyashiro A. 1975. Classification characteristics and origin of ophiolites[J]. *Journal of Geology*, 83: 249~281.
- Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[A]. Thorps R S. *Andesites*[C]. New York: John Wiley and Sons, 525~548.
- Qi Shuji and Li Changhe. 1994. Gold geochemistry and mineralization of the volcanics of Dahalajunshan Formation, AX[J]. *Xinjiang Geology*, 12(2): 139~145(in Chinese with English abstract).
- Qian Qing, Gao Jun, Xiong Xianming, *et al.* 2006. Petrogenesis and tectonic setting of Carboniferous volcanic rocks from north Zhaosu, western Tianshan Mountains: constraints from petrology and geochemistry[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1 307~1 323(in Chinese with English abstract).
- Ru Yanjiao, Xu Xueyi, Li Zhipei, *et al.* 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and tectonic background of the Dahalajunshan Formation volcanic rocks in Wusunshan area, West Tianshan Mountains[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(1): 50~62(in Chinese with English abstract).
- Saunders A D, Storey M, Kent R W, *et al.* 1992. Consequences of plume-lithosphere interactions[A]. Storey B C, Alabaster T and Pankhurst R J. *Magmatism and the Causes of Continental Breakup* [C]. London: Geological Society of London Special Publication, 68: 41~60.
- Sha Deming, Dong Lianhui, Wu Ruishen, *et al.* 2003. A preliminary analysis on the epithermal gold deposits in West Tianshan Mountains, Xinjiang: Geochemical characteristics of host rocks and ore-forming environment[J]. *Geology and Resources*, 12(4): 206~214(in Chinese with English abstract).
- Shu L S, Wang B, Yang F, *et al.* 2003. Polyphase tectonic events and Mesozoic-Cenozoic basin-range coupling in the Chinese Tianshan belt[J]. *Acta Geol. Sinica*, 77(4): 457~467.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D and Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins* [C]. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, London, 42: 313~345.
- Thompson R N, Morrison M A, Hendry G L, *et al.* 1984. An assessment of the relative roles of a crust and mantle in magma genesis: an elemental approach[J]. *Phil Trans R. Soc. Lond*, A310: 549~590.
- Wang B, Faure M, Shu L S, *et al.* 2008. Paleozoic tectonic evolution of the Yili Block, Western Chinese Tianshan[J]. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 179(5): 483~490.
- Wang B, Shu L S, Cluzel D, *et al.* 2007. Geochemical constraints on carboniferous volcanic rocks of Yili block(Xinjiang, NW China): implication on tectonic evolution of western Tianshan[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29(1): 148~159.
- Weaver B L and Tarney J. 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust[J]. *Nature*, 310: 575~577.
- Wedepohl K H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochim[J]. Cosmochim. Acta*, 59: 1 217~1 232.
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis*[M]. London: Unwin Hyman.
- Winchester J A and Floyd P A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements[J]. *Chemical Geology*, 20: 325~343.

- Windley B F, Allen M B, Zhang C, *et al.* 1990. Paleozoic accretion and Cenozoic reformation of the Chinese Tien Shan Range, central Asia [J]. *Geology*, 18 : 128 ~ 131.
- Wood D A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of British Tertiary volcanic province [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 50 : 11 ~ 30.
- Xia L Q, Xu X Y, Xia Z C, *et al.* 2004. Petrogenesis of Carboniferous rift-related volcanic rocks in the Tianshan, Northwestern China [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 116 : 419 ~ 433.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, *et al.* 2004. Carboniferous Tianshan igneous megaprovince and mantle plume [J]. *Regional Geology of China*, 21(2) : 55 ~ 62 in Chinese with English abstract.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, *et al.* 2007a. The discrimination between continental basalt and island arc basalt based on geochemical methods [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(1) : 77 ~ 89 in Chinese with English abstract.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, *et al.* 2007b. Tianshan Magmatism [M]. Beijing : China Land Press, 108 ~ 217.
- Xiao Wenjiao, Han Chunming, Yuan Chao, *et al.* 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of northern Xinjiang (NW China) : Constrains for the tectonics of the southern Paleozoic Domain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5) : 1062 ~ 1076 in Chinese with English abstract.
- Xiao W J, Windley B F, Badarch G, *et al.* 2004. Paleozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altai : Implications for the growth of Central Asia [J]. *Journal of the Geological Society*, 161 : 339 ~ 342.
- Xiao W J, Windley B F, Hao J, *et al.* 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China : Termination of the central Asian orogenic belt [J]. *Tectonics*, 22(6) : 1069. doi : 10.1029/2002TC001484.
- Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Li Jinyi, *et al.* 1992. Tectonic evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions [M]. Beijing : Geological Publishing House, 1 ~ 171 in Chinese.
- Xu Xueyi, Wang Hongliang, Li Ping, *et al.* 2012. Geochemistry and geochronology of Paleozoic intrusions in the Nalati (Narati) area in western Tianshan, Xinjiang, China : Implications for Paleozoic tectonic evolution [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1 ~ 30.
- Xu Xueyi, Wang Hongliang, Ma Guolin, *et al.* 2010. Geochronology and Hf isotope characteristics of the Paleozoic granite in Nalati area, West Tianshan Mountains [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6) : 691 ~ 706 in Chinese with English abstract.
- Zhai Wei, Sun Xiaoming, Gao Jun, *et al.* 2006. The Wallrocks of the Axi gold deposit-Dahalajunshan Group : Its zircon SHRIMP dating [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5) : 1399 ~ 1406 in Chinese with English abstract.
- Zhang Fangrong, Chen Chunhua, Yu Quan, *et al.* 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of volcanic rock from Dahalajunshan Formation, Wusun Mountains in West Tianshan [J]. *Xinjiang Geology*, 27(3) : 231 ~ 235 in Chinese.
- Zhang Lifei, Ai Yongliang, Li Qiang, *et al.* 2005. The formation and tectonic evolution of UHP metamorphic belt in Southwest Tianshan, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4) : 1029 ~ 1038 in Chinese with English abstract.
- Zhang L F, Ai Y L, Li X P, *et al.* 2007. Triassic collision of western Tianshan orogenic belt, China : evidence from SHRIMP U-Pb dating of zircon from HP/UH eclogitic rocks [J]. *Lithos*, 96 : 266 ~ 280.
- Zhu Yongfeng, An Fang, Xue Yunxing, *et al.* 2010. Zircon U-Pb age for Kesong Rongong volcanic rocks, Southwest Tianshan Mts, Tekes, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8) : 2255 ~ 2263 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Guo Xuan, Song Biao, *et al.* 2009. Petrology, Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry and zircon chronology of the Late Paleozoic volcanic rocks in the southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang, NW China [J]. *Journal of the Geological Society, London*, 166 : 1085 ~ 1099.
- Zhu Y F, Zhang L F, Gu L B, *et al.* 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountain [J]. *Chinese Science Bulletin*, 50(19) : 2201 ~ 2212.
- Zhu Yongfeng, Zhou Jing and Guo Xuan. 2006. Petrology and Sr-Nd isotopic geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in the western Tianshan Mountains, NW China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5) : 1341 ~ 1350 in Chinese with English abstract.
- Zhu Zhixin, Li Jinyi, Dong Lianhui, *et al.* 2011. Geological characteristics and tectonic significance of Paleozoic intrusive rocks in West Tianshan of Xinjiang Province [J]. *Earth Science Frontiers*, 18(2) : 170 ~ 179 in Chinese with English abstract.

附中文参考文献

- 车自成, 刘良, 刘洪福, 等. 1996. 论伊犁古裂谷 [J]. *岩石学报*, 12(3) : 478 ~ 490.
- 程春华, 张芳荣, 余泉, 等. 2010. 西天山乌孙山地区大哈拉军山组火山岩形成的构造背景 [J]. *华东理工大学学报(自然科学版)*, 33(1) : 22 ~ 28.
- 冯金星, 石福品, 王帮耀, 等. 2010. 西天山阿吾拉勒成矿带火山岩型铁矿 [M]. 北京 : 地质出版社.

- 高俊,钱青,龙灵利,等. 2009. 西天山的增生造山过程[J]. 地质通报, 28(12): 1804~1806.
- 李大鹏,杜杨松,庞振山,等. 2013. 西天山阿吾拉勒石炭纪火山岩年代学和地球化学研究[J]. 地球学报, 34(2): 176~192.
- 李锦轶,王克卓,李亚萍,等. 2006. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报, 25(8): 895~915.
- 李永军,李注苍,佟丽莉,等. 2010. 论天山古洋盆关闭的地质时限—来自伊宁地块石炭系的新证据[J]. 岩石学报, 25(6): 2905~2912.
- 李永军,李注苍,周继兵,等. 2009. 西天山阿吾拉勒一带石炭系岩石地层单位厘定[J]. 岩石学报, 24(4): 699~710.
- 李永军,张天继,栾新东,等. 2008. 西天山特克斯达坂晚古生代岩干不整合的厘定及地质意义[J]. 地球学报, 29(2): 145~153.
- 李注苍,李永军,李景宏,等. 2006. 西天山阿吾拉勒一带大哈拉军山组火山岩地球化学特征及构造环境分析[J]. 新疆地质, 24(2): 120~124.
- 刘友梅,杨蔚华,高计元. 1994. 新疆特克斯县林场大哈拉军山组火山岩年代学研究[J]. 地球化学, 23(1): 99~104.
- 龙灵利,高俊,钱青,等. 2008. 西天山伊犁地区石炭纪火山岩地球化学特征及构造环境[J]. 岩石学报, 24(4): 699~710.
- 漆树基,李长河. 1994. 新疆阿希地区大哈拉军山组火山岩金元素地球化学特征及其成矿关系[J]. 新疆地质, 12(2): 139~145.
- 钱青,高俊,熊贤明,等. 2006. 西天山昭苏北部石炭纪火山岩的岩石地球化学特征、成因及形成环境[J]. 岩石学报, 22(5): 1307~1323.
- 茹艳娇,徐学义,李智佩,等. 2012. 西天山乌孙山地区大哈拉军山组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造环境[J]. 地质通报, 31(1): 50~62.
- 沙德铭,董连慧,毋瑞身,等. 2003. 西天山浅成低温金矿容矿火山岩地球化学及成矿环境初探[J]. 地质与资源, 12(4): 206~214.
- 王博,舒良树,Cluzel D,等. 2006. 新疆伊犁北部石炭纪火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. 中国地质, 33(3): 498~508.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 2004. 天山石炭纪大火成岩省与地幔柱[J]. 地质通报, 23(9~10): 903~910.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 2007a. 利用地球化学方法判别大陆玄武岩和岛弧玄武岩[J]. 岩石矿物学杂志, 26(1): 77~89.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 2007b. 天山岩浆作用[M]. 北京: 中国大地出版社, 108~217.
- 肖文交,韩春明,袁超,等. 2006. 新疆北部石炭纪—二叠纪独特的构造—成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约[J]. 岩石学报, 22(5): 1062~1076.
- 肖序常,汤耀庆,李锦轶,等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1~171.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 徐学义,王洪亮,马国林,等. 2010. 西天山那拉提地区古生代花岗岩的年代学和锆石 Hf 同位素研究[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 691~706.
- 翟伟,孙晓明,高俊,等. 2006. 新疆阿希金矿床赋矿岩—大哈拉军山组火山岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(5): 1399~1404.
- 张芳荣,程春华,余泉,等. 2009. 西天山乌孙山一带大哈拉军山组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J]. 新疆地质, 27(3): 231~235.
- 张立飞,艾永亮,李强,等. 2005. 新疆西南天山超高压变质带的形成与演化[J]. 岩石学报, 21(4): 1029~1038.
- 朱永峰,安芳,薛云兴,等. 2010. 西南天山特克斯科桑溶洞火山岩的锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 岩石学报, 26(8): 2255~2263.
- 朱永峰,张立飞,古丽冰,等. 2005. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究[J]. 科学通报, 50(18): 2004~2014.
- 朱永峰,周晶,郭璇. 2006. 西天山石炭纪火山岩岩石学及 Sr-Nd 同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 22(5): 1341~1350.
- 朱志新,李锦轶,董连慧,等. 2011. 新疆西天山古生代侵入岩的地质特征及构造意义[J]. 地学前缘, 18(2): 170~179.