

# 西天山伊宁县北琼阿希河谷火山岩地球化学特征及构造背景探讨

孙吉明, 马中平, 徐学义, 李智佩, 唐卓, 白建科, 李婷

(西安地质调查中心, 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 对西天山伊宁县北琼阿希河谷出露的火山岩进行了地球化学特征研究, 结果表明, 该地区火山岩属于钙碱性火山岩系列, LREE 强烈富集 ( $(La/Yb)_N$  介于 2.76~7.03 之间), 具有弱的 Eu 负异常。样品的强不相容元素 (Cs, Rb, Ba, Th, U) LILE 均明显富集, 总体在原始地幔的 10 倍以上, 显示了岛弧火山岩的 Nb-Ta 负异常特征。但是, 其  $(Th/Nb)_N$ 、 $(La/Nb)_N$  的比值远远大于 1,  $Ba/Nb$ 、 $La/Nb$  的变化范围较大,  $Zr/Nb$ 、 $Zr/Hf$  接近 N-MORB 的比值,  $Ta/Nb$  却接近上地壳的比值, 暗示该地区的火山岩岩浆在上升过程中受到一定程度的地壳混染。所有样品均显示为中钾-高钾系列, 这种钾质类型的优势地位也反映了陆壳基质在岩浆活动中占有重要的地位。样品的 Zr 均大于 300、 $Zr/Y$  均大于 4, 显示了板内玄武岩的成分特征, 在  $Zr - Zr/Y$  判别图解中, 大多数样品投到板内玄武岩的构造环境区域内。结合区域上的地质特征, 认为该地区在泥盆世一直处于抬升阶段, 在石炭纪时碰撞结束并进入碰撞后伸展阶段, 局部地区产生一定的裂谷化特征。琼阿希河谷的火山岩的 Nb-Ta 负异常特征应为地壳混染引起, 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; 火山岩; 地球化学特征; 构造环境

中图分类号: P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)03-0335-13

## An investigation of geochemistry and tectonic setting of Qiongaxi Valley volcanic rocks in northern Yining County, western Tianshan

SUN Ji-ming, MA Zhong-ping, XU Xue-yi, LI Zhi-pei, TANG Zhuo, BAI Jian-ke and LI Ting  
(Xi'an Center of Geological Survey, CGS; Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Based on studying the volcanic rocks in Qiongaxi Valley of northern Yining County, the authors found that the volcanic rocks in this area belong to calc-alkaline volcanic rocks strongly enriched in LREE and weakly depleted in Eu. All the samples are enriched in large-ion-lithophile elements (LILE) such as Cs, Rb, Ba, Th and U, which are ten times higher than their values in the primitive mantle. In the primitive mantle-normalized trace elements diagram, the sample shows characteristics of the island-arc volcanic rock, such as distinct depletion of Nb-Ta. However, its  $(Th/Nb)_N \gg 1$  and  $(La/Nb)_N \gg 1$ , the ratios of  $Ba/Nb$  and  $La/Nb$  vary in a large range,  $Zr/Nb$  and  $Zr/Hf$  ratios are similar to ratios of N-MORB, and  $Ta/Nb$  ratios are similar to ratios of the upper crust, which suggests that the volcanic rocks were mixed by the lithosphere during the upward migration of the magma. All the samples point to the intermediate potassium-high potassium series, and the dominance of such a potassium type also implies that the continental crust matrix must have played an important role in the magmatic activity. The features of  $Zr > 300$  and  $Zr/Y > 4$  of all the samples show characteristics of intraplate volcanic rocks. In the diagram of  $Zr - Zr/Y$ , most samples fall into the intraplate basalt region. Combined

收稿日期: 2011-07-15; 修订日期: 2012-02-13

基金项目: 中国地质调查局资助项目“西北地区重要成矿带基础地质综合研究”(1212010811036); 天山-兴蒙成矿带火山岩浆作用对成矿制约的综合研究”资助项目(1212010050503); “天山成矿带基础地质综合研究”资助项目(1212011085055)

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

with the geological features of the study area, the authors hold that the area experienced uplifting in Devonian, and in Carboniferous the collision terminated and the evolution entered into the post-collision extension stage. Some local places produced certain rifting characteristics. Therefore, the distinct depletion of Nb and Ta might have been caused by the mixing of the lithosphere, and the environment of the Qiongaxi Valley volcanic rocks should belong to the post-collision extension phase.

**Key words:** western Tianshan; volcanic rocks; geochemical characteristics; structural environment

西天山广泛出露一套以流纹岩、粗面岩、粗面安山岩和中酸性凝灰岩为主体的火山-沉积岩(“大哈拉军山组”),厚度达 7 500 m 甚至 9 000 m。有关新疆天山地质与矿产的研究都不可避免地涉及到对“大哈拉军山组”火山-沉积岩形成环境的讨论,正确认识这套火山-沉积地层的形成过程以及其中火山岩的成因并准确厘定火山岩的形成时代,对研究西天山的地质演化和相关的矿产勘查工作具有非常重要的理论和实践意义。虽然许多学者(刘友梅等, 1994;赵振华等, 2004;朱永峰等, 2005, 2006a, 2006b)对该组火山岩进行了岩石学、地球化学、年代学等方面的研究,但是由于该组火山岩在西天山具有相对较大的分布范围,不同区域的沉积建造具有不同的特征(朱永峰等, 2006a, 2006b)以及具有相对较长的时间跨度(约 40 Ma),现阶段的研究资料对该组火山岩还存在许多争议,主要有以下两个方面: ① 岩石成因和构造背景,有的学者认为该组火山岩是与裂谷作用有关的“双峰式”火山岩系(王广瑞, 1996;夏林圻等, 2002),也有学者认为是和地幔柱有关的裂谷火山岩(夏林圻等, 2004, 2006),有的则认为该套火山岩属于岛弧环境的产物(朱永峰等, 2005;郭璇等, 2006)。② 岩石的形成时代,前人对大哈拉军山组火山岩年代学进行了 K-Ar、 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 、Rb-Sr 以及锆石 SHRIMP 研究,结果(早石炭世早期-晚泥盆世晚期)如下:特克斯林场大哈拉军山组辉长岩中辉石单矿物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 326 Ma(刘友梅等, 1994);Rb-Sr 等时线法测得阿希金矿赋矿围岩年龄为  $345.9 \pm 27.59$  Ma(李华芹等, 1998),阿吾勒勒火山岩全岩 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  和 K-Ar 等时线年龄为 290~306 Ma(赵振华等, 2004),阿吾勒拉山大哈拉军山组火山岩的全岩 Rb-Sr 年龄为 337 Ma(李注苍等, 2006),而最近得到的拉尔敦达坂安山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 312 Ma(朱永峰等, 2005),新源县南玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 354 Ma(朱永峰等, 2005),对应于早石炭世-晚石炭世;阿希金矿围岩(石英安山岩)中锆石的 SHRIMP 年龄在 353

Ma 左右(翟伟等, 2006),对应于晚泥盆世-早石炭世;乌孙山一带的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 353 Ma(流纹质玻屑凝灰岩), 344 Ma(斑状英安岩),对应于晚泥盆-早石炭世(张芳荣等, 2009)。

本文拟结合上述有关该地区大哈拉军山组年代学、岩石学地球化学研究的新进展,聚焦于阿希金矿外围琼阿希河谷火山岩组合(图 1),以期对其地球化学特征及形成的构造环境进行研究探讨。

## 1 地质概况

研究区位于西天山西北段伊宁县北、阿希金矿外围南部,构造位置属于伊犁-中天山板块。伊犁-中天山板块呈楔形向东尖灭,其北为博罗科努早古生代岛弧带,南部为那拉提早古生代叠加岛弧(图 1)。它叠加在前寒武纪变质结晶基底之上,北部的古元古界温泉岩群分布于别珍套山北部阿克萨依一带,呈西窄东宽的断块产出,为一套由高级片麻岩类与变质表壳岩类组成的中深变质岩系(刘伟等, 2009),南部的古元古代木札尔特岩群集中分布于那拉提-红柳河缝合带内,呈 NEE 向断续带状展布或零星出露,主体为一套达到角闪岩相变质的层状岩系(于海峰等, 2011)。早古生代地层在伊犁地块南部大部分缺失,仅存在志留系巴音布鲁克组火山岩;而北部连续沉积寒武系、奥陶系和志留系,其中志留系为一套浅海相陆棚碎屑岩与碳酸盐岩建造,与上覆下石炭统大哈拉军山组呈断层接触。伊犁地块内晚古生代地层均有出露,尤其是大哈拉军山组上覆地层阿克沙克组为一套正常浅海相碳酸盐岩与陆源碎屑岩建造,含有大量腕足、珊瑚等化石,与大哈拉军山组呈角度不整合接触。大哈拉军山组火山-沉积建造覆盖在元古宙或志留系变质岩上,但沉积物的性质差别很大:在西南天山地区,火山活动强烈,形成了巨厚的火山-沉积建造,向东逐渐减弱直到消亡,取而代之的是海陆交互的磨拉石建造(朱永峰等, 2005);在西南特克斯-昭苏县一带,大哈拉军山

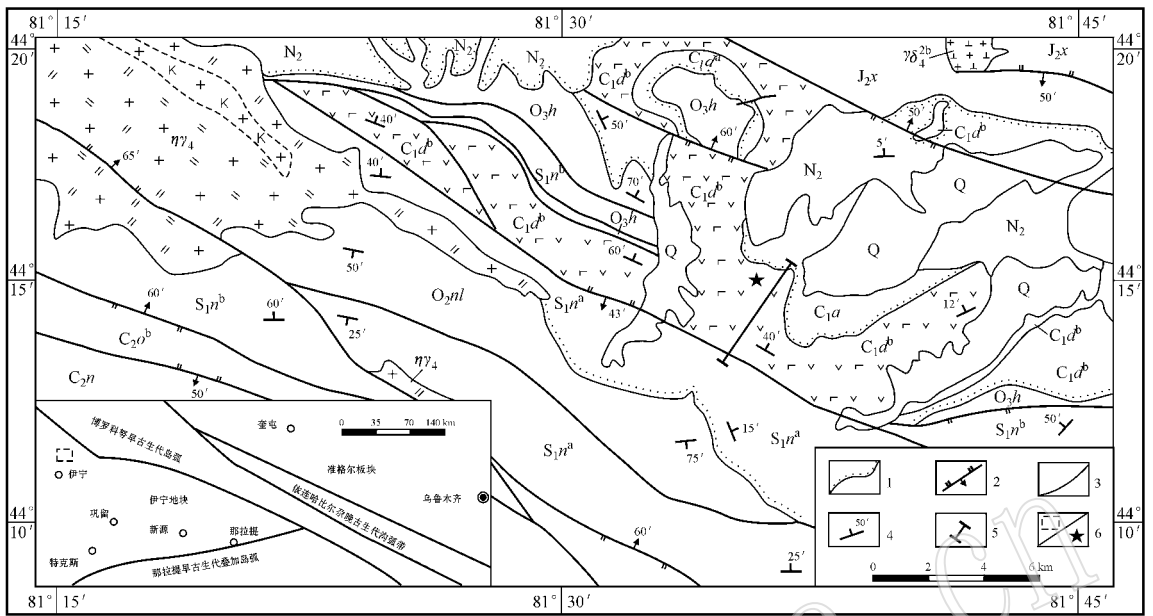


图 1 西天山伊犁地块北缘伊宁县北地区地质略图(据白建科等, 2011)

Fig. 1 Geological sketch map of northern Yining County area in the northern margin of Yili block (after Bai Jianke et al., 2011)

$O_{2nl}$ —奥陶系奈楞格勒达坂群;  $O_{3h}$ —奥陶系呼独克达坂组;  $S_{1n}^a$ —志留系尼勒克河组下亚段;  $S_{1n}^b$ —志留系尼勒克河组上亚段;  $C_{1d}^a$ —石炭系大哈拉军山组下亚段;  $C_{1d}^b$ —石炭系大哈拉军山组上亚段;  $C_{1a}$ —石炭系阿克苏沙组;  $C_{2n}$ —石炭系脑盖图组;  $C_{2o}^b$ —石炭系奥依曼布拉克组上亚段;  $J_{2x}$ —侏罗系西山窑组;  $N_2$ —上新统;  $Q$ —第四系沉积物;  $\eta\gamma_4$ —华力西期二长花岗岩;  $\gamma_{04}^{2b}$ —华力西期斜长花岗岩; 1—角度不整合面; 2—逆断层; 3—性质不明断层; 4—产状; 5—剖面线; 6—研究区/阿希金矿

$O_{2nl}$ —Ordovician Nailenggeledaban Group;  $O_{3h}$ —Ordovician Hudukedaban Formation;  $S_{1n}^a$ —lower submember of Silurian Nilekehe Formation;  $S_{1n}^b$ —upper submember of Silurian Nilekehe Formation;  $C_{1d}^a$ —lower submember of Carboniferous Dahalajunshan Formation;  $C_{1d}^b$ —upper submember of Carboniferous Dahalajunshan Formation;  $C_{1a}$ —Carboniferous Akeshake Formation;  $C_{2n}$ —Carboniferous Naogaitu Formation;  $C_{2o}^b$ —upper submember of Carboniferous Aoyimanbulake Formation;  $J_{2x}$ —Jurassic Xishanyan Formation;  $N_2$ —Pliocene;  $Q$ —Quaternary;  $\eta\gamma_4$ —Variscan monzonitic granite;  $\gamma_{04}^{2b}$ —Variscan plagiogranite; 1—angular unconformity; 2—reverse fault; 3—uncertain fault; 4—attitude; 5—profile; 6—study area/Axi gold deposit

组主要由流纹岩、粗面岩、粗面安山质凝灰岩、粗面安山岩、辉石安山岩夹凝灰角砾岩组成(车自成等, 1994),以角度不整合(或者呈断裂接触关系)覆盖在上志留统阿克牙子组之上,在西天山西段昭苏南部地区,该套火山岩不整合覆盖在含榴辉岩的蓝片岩带上<sup>①</sup>,在新源县南部的那拉提山北坡,大哈拉军山组火山-沉积建造不整合覆盖在震旦系特克斯群变质岩上(或者呈断层接触关系)。在西天山东段巴仑台-莫托萨拉地区,早石炭世的沉积为马鞍桥组的磨拉石建造(缺失火山岩),以角度不整合覆盖在元古宙巴仑台群变质岩上,该磨拉石建造被认为是天山古生代洋盆闭合后板块拼贴-碰撞挤压造山作用的产物(夏林圻等, 2004)。

本次工作选取位于伊宁县北 20 多公里,处于阿

希金矿外围的琼阿希河谷作为路线的测制地点(图 1),路线剖面见图 2。区内大哈拉军山组( $C_{1d}$ )火山岩出露较多,通过对琼阿希河谷内的路线调查发现,大哈拉军山组( $C_{1d}$ )火山岩与上覆地层石炭系阿克苏沙组( $C_{1a}$ )呈角度不整合接触,与下伏地层志留系尼勒克河组上亚段( $S_{1na}$ )呈断层接触。岩性从上到下有逐渐变为基性火山岩的变化规律:中性安山岩-中基性安山玄武岩-基性为主的玄武岩,但未见有酸性火山岩出露(图 2)。

## 2 岩石学特征

琼阿希河谷火山岩的显微特征见图 3。

玄武岩:手标本呈浅灰绿色-灰绿色,斑状结构,

① 剡鸿炳,等. 1978. 新疆地质局区调大队昭苏幅 K-44-10 1:20 万区域地质调查报告.

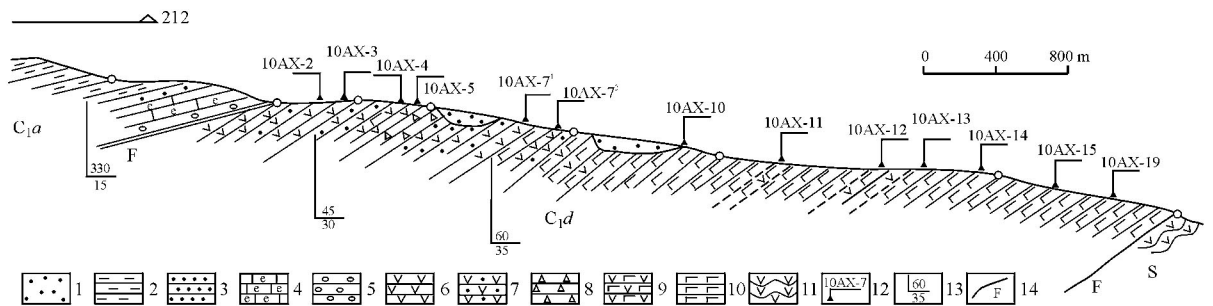


图 2 伊宁县北琼阿希河谷大哈拉军山组火山岩地质路线剖面

Fig. 2 Geological section of Qiongaxihegu volcanic rocks in northern Yining

1—第四系; 2—泥岩; 3—砂岩; 4—含生物碎屑灰岩; 5—砾岩; 6—安山岩; 7—安山质凝灰岩; 8—火山角砾岩; 9—安山玄武岩; 10—玄武岩; 11—片状安山岩; 12—采样位置; 13—产状; 14—断层;  $C_{1a}$ —石炭系阿克苏克组;  $C_{1d}$ —石炭系大哈拉军山组; S—志留系  
1—Quaternary; 2—mud rock; 3—sandstone; 4—biodetritus-bearing limestone; 5—conglomerate; 6—andesite; 7—tuff; 8—volcanic breccia; 9—andesite basalt; 10—basalt; 11—schistose andesite; 12—sampling location; 13—attitude; 14—fault;  $C_{1a}$ —Carboniferous Akeshake Formation;  $C_{1d}$ —Carboniferous Dahalajunshan Formation; S—Silurian

块状构造。主要由长石(极少辉石?)斑晶和基质组成。长石斑晶呈长柱状、短柱状,长石以斜长石为主,含有少量的钠长石;粒度最大的约  $0.7\text{ mm} \times 3.4\text{ mm}$ ,大部分在  $0.14\text{ mm} \times 0.37\text{ mm}$  左右,含量约 30%。基质呈隐晶质或微细粒结构充填在长石斑晶之间,主要为长石和暗色矿物,含量在 65% 左右,还见有约 5% 的磁铁矿。由图 3a、3b 中可看出长石蚀变较强,主要表现为碳酸盐化及绿泥石化的蚀变特征,部分长石已经完全蚀变为碳酸盐、绢云母的集合体,但仍保留有长柱状晶形特征;其中见有矿物完全蚀变为碳酸盐,但矿物中间却见有两组近垂直的不完全解理,据此推断原始矿物应为辉石类矿物,因此,该玄武岩中可能含有辉石斑晶。基质中也见有碳酸盐化及绿泥石化的蚀变特征。

玄武安山岩:手标本呈浅灰绿色,斑状结构,块状构造。主要由长石斑晶和基质组成。斑晶以长石为主,含有少量的角闪石,长石斑晶最大可达  $1.4\text{ mm} \times 2.2\text{ mm}$ ,并且见有长石斑晶包裹角闪石晶体呈嵌晶结构(图 3b)。基质呈微晶结构,主要为长石和暗色矿物,局部长石微晶具有定向排列的特征;见有较少量的不透明矿物。部分薄片可见有后期的石英细脉贯入。

安山岩:呈灰白-浅灰绿色,略带紫红色,斑状结构,块状构造。主要由长石斑晶和基质组成,长石蚀变较强,以碳酸盐化、绢云母化和绿泥石化为主,含量在 15% 左右;薄片可见有呈他形分布的石英细晶(图 3c),但含量较少( $<5\%$ )。

通过显微照片可以看出,该地区的样品蚀变程度较强,总体表现为碳酸盐化、绢云母化和绿泥石化

的蚀变特征。

### 3 地球化学特征

#### 3.1 测试方法

主元素分析方法为 X 荧光光谱分析(XRF)。使用的仪器是荷兰帕纳科公司 Axios 4.0 kW 波长色散 X 射线荧光光谱仪,精密度  $RSD \leq 0.134$ ,稳定性  $RMS\text{ Rel}(\%) \leq 0.050$ 。稀土微量元素分析采用 Thermo Fisher 公司生产的 X-Series II 型电感耦合等离子体光谱仪(ICP-MS)测定,检测限优于  $5 \times 10^{-9}$ ,相对标准偏差优于 5%。测试单位为西安地质矿产研究所实验测试中心。

#### 3.2 分析结果

选取后期蚀变较弱的样品进行分析。琼阿希河谷样品的主量、微量及稀土元素测试结果见表 1,从表中可以看出大部分样品  $\text{SiO}_2$  的含量(除 10AX-2 的 60.16%,10AX-11 的 48.97%)集中于 52.45%~57.98% 之间,大部分低于 56%,在  $\text{SiO}_2 - \text{Nb/Y}$  图解中 10AX-11 属于玄武岩,10AX-2 为含少量石英的安山岩,向英安岩靠近,其余样品以玄武安山岩为主(图 4a),与薄片观察的基本一致。玄武安山岩的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量介于 15.28%~18.32%, $\text{TiO}_2$  含量在 0.77%~1.24% 之间,大部分大于 0.80%, $\text{FeO}_T$  介于 5.59%~7.82%, $\text{CaO}$  含量介于 4.79%~7.97%,大于 5%;安山岩  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (16.08%)、 $\text{TiO}_2$ (0.80%)、 $\text{FeO}_T$ (5.65%)、 $\text{CaO}$ (2.74%) 的含量均低于玄武安山岩,但  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量高于玄武安山岩的含量;而玄武



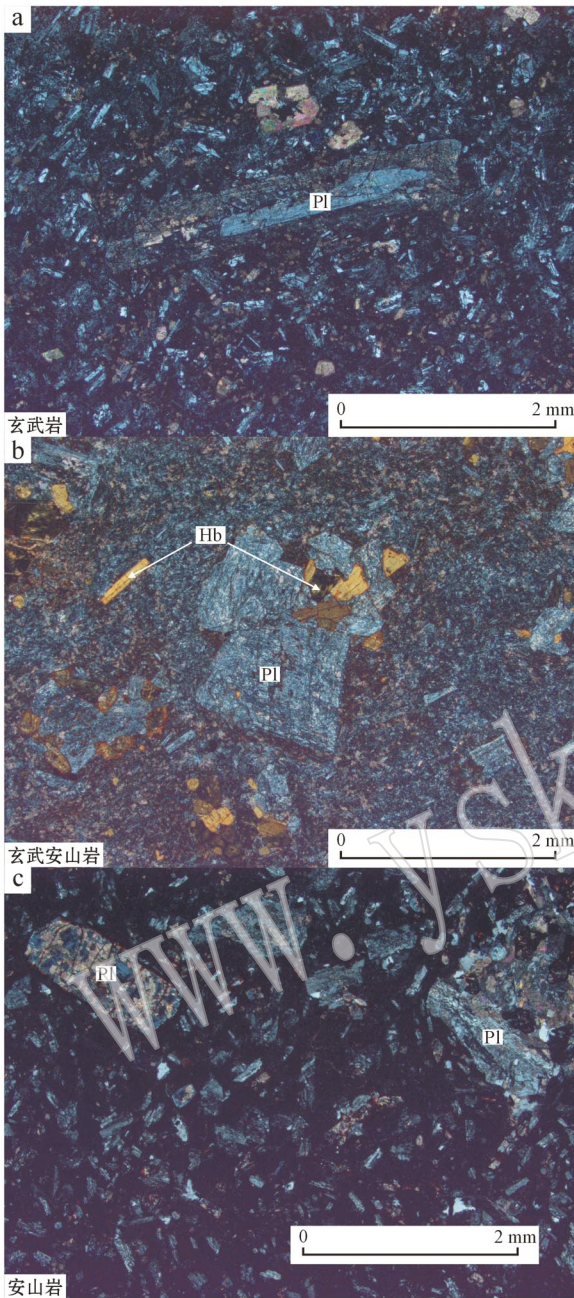


图3 琼阿希河谷地区火山岩显微照片(正交偏光)  
Fig. 3 Microphotograph of Qiongaxi Valley volcanic rocks (crossed nicols)  
Pl—斜长石; Hb—角闪石  
Pl—plagioclase; Hb—hornblende

岩的  $\text{SiO}_2$  (48.97%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11.11%)、 $\text{TiO}_2$  (0.80%),  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  的含量较安山岩和玄武安山岩低,  $\text{FeO}_T$  (9.33%)、 $\text{CaO}$  (9.28%)、 $\text{MgO}$  (12.67%) 却远高于安山岩和玄武安山岩的含量, 玄武安山岩和安山岩的  $\text{Mg}^\#$  较低, 在 38.96~63.21 之间, 反应

了它们是一种演化型熔岩; 玄武岩中的  $\text{MgO}$  的含量和  $\text{Mg}^\#$  (70.76) 很高, 可能来源于未经演化的部分熔融原生岩浆, 但是由于玄武岩的样品太少而缺乏有效的约束性和限制性。在  $\text{FeO}_T/\text{MgO}-\text{SiO}_2$  图解中出现少量的拉斑玄武岩系列, 但大部分属于钙碱性系列(图 4b), 所有样品的  $\text{Na}_2\text{O}$  的含量大于  $\text{K}_2\text{O}$  的含量, 在  $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$  图解中(图略)以中钾系列为主, 部分属高钾系列。

稀土、微量分析结果见表 1(引用数据略)。从表 1 中可以看出, 样品的  $\Sigma\text{REE}$  介于  $55.22 \times 10^{-6} \sim 140.85 \times 10^{-6}$ , 表现为一定的变化特征: 安山岩 ( $133.57 \times 10^{-6}$ )—玄武安山岩(平均  $102 \times 10^{-6}$  左右)—玄武岩( $55.22 \times 10^{-6}$ )逐渐变少, 虽然玄武岩的稀土总量明显偏低, 但在球粒陨石标准化分配图上所有样品的数据具有类似的分布模式(图 5a): 样品的稀土微量元素是球粒陨石的 10~100 倍; LREE 强烈富集的右倾模式 [ $(\text{La}/\text{Yb})_N$  介于 2.76~7.03 之间, 大部分大于 4]、中稀土(MREE)与重稀土(HREE)分馏不明显、具有中等的 Eu 负异常 ( $\delta\text{Eu}$  在 0.57~0.90 之间)。含有少量石英的安山岩(10AX-2)具有最低的  $\delta\text{Eu}$  值为 0.57, 显示出明显的 Eu 负异常, 表明在岩浆喷出前经历了较明显的斜长石结晶分异作用, 在 N-MORB 标准化曲线中(图略), 轻稀土含量为 N-MORB 的 1~10 倍, 重稀土与 N-MORB 含量接近, 分布于 1 倍左右; 与下地壳(Lower Crust)标准化(Taylor and McLennan, 1985)后含量均介于 0.9~3 之间, 总体接近下地壳的含量。在原始地幔标准化蛛网图上(图 5b), 所有样品的强不相容 LILE 元素(如 Cs、Rb、Ba、Th、U)及 LREE 均明显富集, 随着不相容性的降低, 其分布模式趋于平缓, 总体在原始地幔的 10 倍左右, 具有明显的 Nb、Ta、Ti 负异常特征, 与 OIB 相比 LILE 的含量较为接近, 而 HFSE(Ta、Nb、Zr、Hf、Ti)的含量低于 OIB 的含量接近下地壳的含量。原始地幔标准化的  $(\text{Th}/\text{Nb})_N$  在 3.02~9.13,  $(\text{La}/\text{Nb})_N$  介于 1.78~2.92, 远远大于 1, 暗示了该地区的火山岩可能遭受了地壳的混染。

## 4 讨论

### 4.1 岩浆结晶分异作用

从表 1 中可以看出除了玄武岩之外, 玄武安山岩、安山岩均具有较低的  $\text{MgO}$  ( $< 5.37\%$ )、 $\text{Mg}^\#$  (38.96~63.21)、低 Ni ( $4.96 \times 10^{-6} \sim 38.10 \times 10^{-6}$ )

表1 琼阿希河谷样品主量元素( $w_B/\%$ )、微量元素及稀土元素( $w_B/10^{-6}$ )分析结果Table 1 Analytical results of major elements ( $w_B/\%$ ), trace elements and REE ( $w_B/10^{-6}$ ) of Qiongaxi Valley samples

样号	10AX-2	10AX-3	10AX-4	10AX-5	10AX-71	10AX-10	10AX-11	10AX-12	10AX-13	10AX-14	10AX-15	10AX-72	10AX-19
SiO <sub>2</sub>	60.16	55.10	53.83	56.26	57.18	55.62	48.97	56.14	57.98	53.39	53.94	54.71	52.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.08	17.30	16.63	17.17	16.31	17.27	11.11	16.52	16.69	18.32	18.16	15.28	17.94
TiO <sub>2</sub>	0.80	0.86	0.83	0.81	0.83	0.83	0.80	1.18	1.24	0.92	0.90	0.77	1.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.12	2.68	6.83	3.16	4.30	2.67	1.99	3.54	2.30	3.08	2.95	3.61	2.47
FeO	2.84	3.18	0.87	3.63	2.40	3.84	7.54	3.70	4.03	4.69	4.66	2.94	5.60
FeO <sup>T</sup>	5.65	5.59	7.02	6.47	6.27	6.24	9.33	6.89	6.10	7.46	7.31	6.19	7.82
MnO	0.07	0.07	0.10	0.09	0.10	0.12	0.16	0.11	0.11	0.11	0.13	0.10	0.12
MgO	2.57	5.39	4.21	4.44	4.86	5.35	12.67	3.81	3.33	3.58	2.62	5.37	3.49
CaO	2.74	5.36	5.62	6.97	5.36	6.02	9.28	6.27	5.87	5.14	7.97	4.79	6.42
N <sub>2</sub> O	3.90	3.47	4.19	3.05	3.57	3.18	2.04	3.48	3.41	4.33	3.31	3.61	3.71
K <sub>2</sub> O	2.52	0.68	0.51	0.35	1.95	1.30	0.91	2.39	2.25	0.73	1.24	1.81	0.88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.18	0.22	0.27	0.31	0.23	0.22	0.18	0.18
LOI	4.82	5.63	6.14	3.73	2.75	3.38	4.17	2.35	2.35	5.33	3.72	6.69	5.50
Total	99.82	99.92	99.95	99.84	99.79	99.76	99.86	99.76	99.87	99.85	99.82	99.86	99.82
Mg <sup>#</sup>	44.78	63.21	51.68	55.00	58.01	60.43	70.76	49.65	49.31	46.09	38.96	60.73	44.29
Ba	306.00	152.00	132.00	206.00	576.00	271.00	254.00	380.00	360.00	137.00	334.00	486.00	268.00
Rb	93.50	21.00	21.10	10.90	62.90	38.60	21.00	83.60	91.00	22.90	33.20	66.80	30.90
Sr	185.00	284.00	384.00	549.00	462.00	374.00	350.00	440.00	357.00	318.00	440.00	405.00	320.00
Y	24.80	20.20	21.00	22.00	23.50	22.40	16.30	31.40	30.00	22.50	22.80	22.90	27.30
Zr	204.00	130.00	127.00	131.00	157.00	134.00	70.50	226.00	225.00	187.00	180.00	144.00	146.00
Nb	9.10	5.22	5.24	6.09	6.60	5.61	3.03	10.00	9.60	11.40	11.20	6.36	5.27
Th	9.91	3.26	3.44	4.07	5.32	3.89	1.84	8.30	8.83	4.30	4.03	4.69	3.56
Pb	7.42	9.42	14.70	8.70	10.30	7.30	3.65	14.10	14.60	8.20	8.03	7.95	7.01
Ga	19.40	18.80	17.70	17.90	18.00	19.60	14.00	19.50	20.90	20.80	19.80	17.50	17.70
Zn	82.40	79.80	66.40	72.00	69.50	75.00	83.80	79.20	70.50	83.10	88.40	67.20	79.10
Cu	52.40	102.00	53.90	39.80	86.40	49.90	77.20	85.40	72.70	36.40	34.50	44.70	28.70
Ni	22.60	22.40	20.50	17.70	29.20	22.00	254.00	38.10	23.30	11.90	8.27	31.80	4.96
V	120.00	212.00	152.00	205.00	191.00	194.00	238.00	206.00	196.00	190.00	173.00	167.00	168.00
Cr	35.20	71.60	66.10	65.30	80.40	71.00	891.00	53.60	21.10	20.10	11.00	83.00	14.90
Hf	5.28	3.20	3.19	3.64	3.91	3.28	1.90	5.58	5.82	4.31	4.16	3.53	4.04
Cs	7.36	12.20	15.70	2.71	4.70	3.32	2.18	1.92	2.41	9.26	2.23	7.10	3.86
Sc	15.20	25.70	23.40	24.80	23.00	26.30	38.20	21.40	19.50	21.30	20.70	23.20	20.50
Ta	1.04	0.58	0.52	0.55	0.78	0.68	0.46	1.06	1.10	1.07	1.00	0.71	0.45

续表 1  
Continued Table 1

样号	10AX-2	10AX-3	10AX-4	10AX-5	10AX-71	10AX-10	10AX-11	10AX-12	10AX-13	10AX-14	10AX-15	10AX-72	10AX-19
Co	14.20	20.60	20.20	18.60	21.40	20.90	52.70	21.40	17.70	22.60	23.10	21.60	24.40
Li	36.40	33.60	33.90	24.20	27.70	28.50	31.30	20.20	30.90	25.80	16.70	30.10	40.10
U	2.32	1.02	0.97	1.05	1.50	1.11	0.49	2.23	2.27	1.23	1.20	1.33	0.74
Ti	4795.2	5154.8	4975.0	4855.1	4975.0	4975.0	4795.2	7072.9	7432.6	5514.5	5394.6	4615.4	6353.6
K	20919.3	5644.9	4233.7	2905.5	16187.5	10791.7	7554.2	19840.1	18677.9	6059.9	10293.6	15025.4	7305.1
La	25.40	13.80	14.70	15.80	18.60	14.80	8.08	25.00	24.50	19.50	19.70	16.00	13.70
Ce	53.70	30.20	32.20	33.70	40.00	33.10	19.00	53.90	53.70	40.50	40.70	35.50	30.80
Pr	6.44	3.86	3.91	4.15	4.83	4.12	2.58	6.69	6.63	4.83	5.10	4.44	3.90
Nd	24.20	15.20	16.30	18.00	19.50	16.40	11.00	27.00	26.90	19.60	19.80	17.70	17.80
Sm	5.80	3.68	3.98	3.85	4.28	3.92	2.87	3.79	6.93	4.29	4.45	3.91	3.94
Eu	1.00	0.98	0.91	1.08	1.04	1.09	0.84	1.35	1.36	1.25	1.21	0.95	1.16
Gd	4.92	3.88	3.85	4.25	4.24	4.14	2.97	5.68	5.91	4.18	4.26	3.85	4.22
Tb	0.72	0.58	0.59	0.66	0.65	0.62	0.47	0.92	0.88	0.64	0.64	0.61	0.77
Dy	4.59	3.83	3.77	3.68	4.06	4.01	2.99	5.37	5.66	4.02	4.09	3.91	4.37
Ho	0.92	0.78	0.81	0.93	0.90	0.81	0.64	1.24	1.15	0.84	0.87	0.81	1.04
Er	2.68	2.24	2.25	2.08	2.47	2.11	1.66	3.23	3.17	2.42	2.28	2.22	2.63
Tm	0.40	0.36	0.34	0.39	0.38	0.37	0.26	0.52	0.52	0.36	0.39	0.33	0.44
Yb	2.44	2.10	2.11	2.42	2.54	2.22	1.59	3.22	3.10	2.50	2.40	2.23	3.35
Lu	0.36	0.31	0.30	0.30	0.35	0.33	0.27	0.41	0.44	0.33	0.32	0.31	0.36
ΣREE	133.57	81.80	86.02	91.29	103.84	88.04	55.22	140.32	140.85	105.26	106.21	92.77	88.48
La/Sm	2.76	2.36	2.32	2.58	2.74	2.38	1.77	2.72	2.23	2.86	2.79	2.58	2.19
La/Yb	7.03	4.44	4.71	4.41	4.95	4.50	3.43	5.25	5.34	5.27	5.55	4.85	2.76
Gd/Yb	1.63	1.50	1.48	1.42	1.35	1.51	1.51	1.43	1.55	1.36	1.44	1.40	1.02
δEu	0.57	0.79	0.71	0.82	0.75	0.83	0.88	0.72	0.65	0.90	0.85	0.75	0.87
(Nb/La) <sub>N</sub>	0.36	0.38	0.36	0.39	0.35	0.38	0.38	0.40	0.39	0.58	0.57	0.40	0.38
(Tb/Nb) <sub>N</sub>	9.13	5.24	5.51	5.61	6.76	5.82	5.09	6.96	7.72	3.16	3.02	6.19	5.67
Zr/Y	8.23	6.44	6.05	5.95	6.68	5.98	4.33	7.2	7.5	8.31	7.89	6.29	5.35

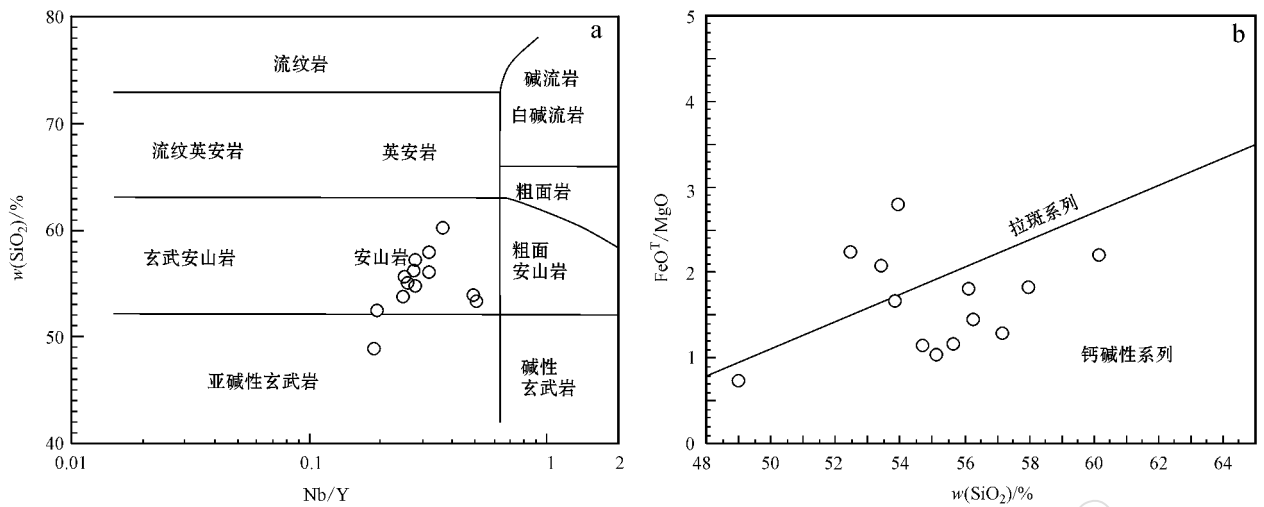


图 4 琼阿希河谷样品  $\text{SiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$  图解 (a, 据 Winchester & Floyd, 1977) 及  $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO} - \text{SiO}_2$  图解 (b, 据 Miyashiro, 1975)

Fig. 4  $\text{SiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$  (a, after Winchester & Floyd, 1977) and  $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO} - \text{SiO}_2$  (b, after Miyashiro, 1975) diagram of Qiongaxi Valley volcanic rocks

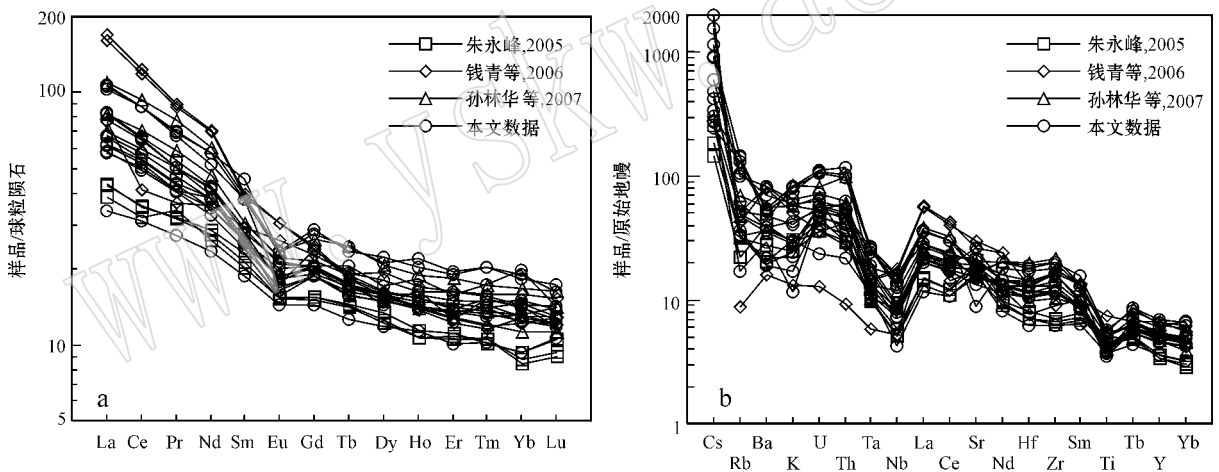


图 5 琼阿希河谷火山岩 REE 球粒陨石标准化配分型式 (a) 和微量元素原始地幔标准化配分 (b) 图 (球粒陨石和原始地幔标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE diagram (a) and primitive mantle-normalized trace elements diagram (b) of Qiongaxi Valley volcanic rocks (chondrite-normalized and primitive mantle-normalized values after Sun and McDonough, 1989)

和低  $\text{Cr}$  ( $11.00 \times 10^{-6} \sim 80.40 \times 10^{-6}$ ) 特征, 说明琼阿希河谷的火山岩的母岩浆在岩浆房内或上升的过程中已经受了结晶分离作用。  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、  $\text{FeO}_{\text{T}}$ 、  $\text{CaO}$  和  $\text{TiO}_2$  的含量变化与  $\text{Mg}^{\#}$  的含量变化大致呈负相关关系, 表明随着岩浆的演化, 斜长石、角闪石和含钛铁矿物的分异结晶作用越来越明显, 与薄片中含有他形的充填在矿物之间的不透明矿物的现象较吻合。

图 6 显示  $\text{Cr}$ 、  $\text{Ni}$ 、  $\text{V}$  与  $\text{Mg}^{\#}$  之间呈较明显的正相关关系, 显示含镁铁矿物在岩浆演化期间是主要

的分异结晶相,  $\text{Sr}$  与  $\text{MgO}$  的关系投点比较分散, 可能受后期蚀变的影响。 总体上看, 岩浆演化早期含镁矿物的分离结晶作用显得比较重要, 随着岩浆的演化斜长石、角闪石和含钛铁矿物的分异结晶作用越来越明显, 说明岩浆演化后期可能存在一个明显的富铁富钛的趋势。

#### 4.2 形成环境

大多数样品属于钙碱性系列火山岩, 高的稀土总量、LREE 强烈富集的右倾分布模式(图 5) 高的不相容元素含量(原始地幔的 10 倍以上), 具有类似



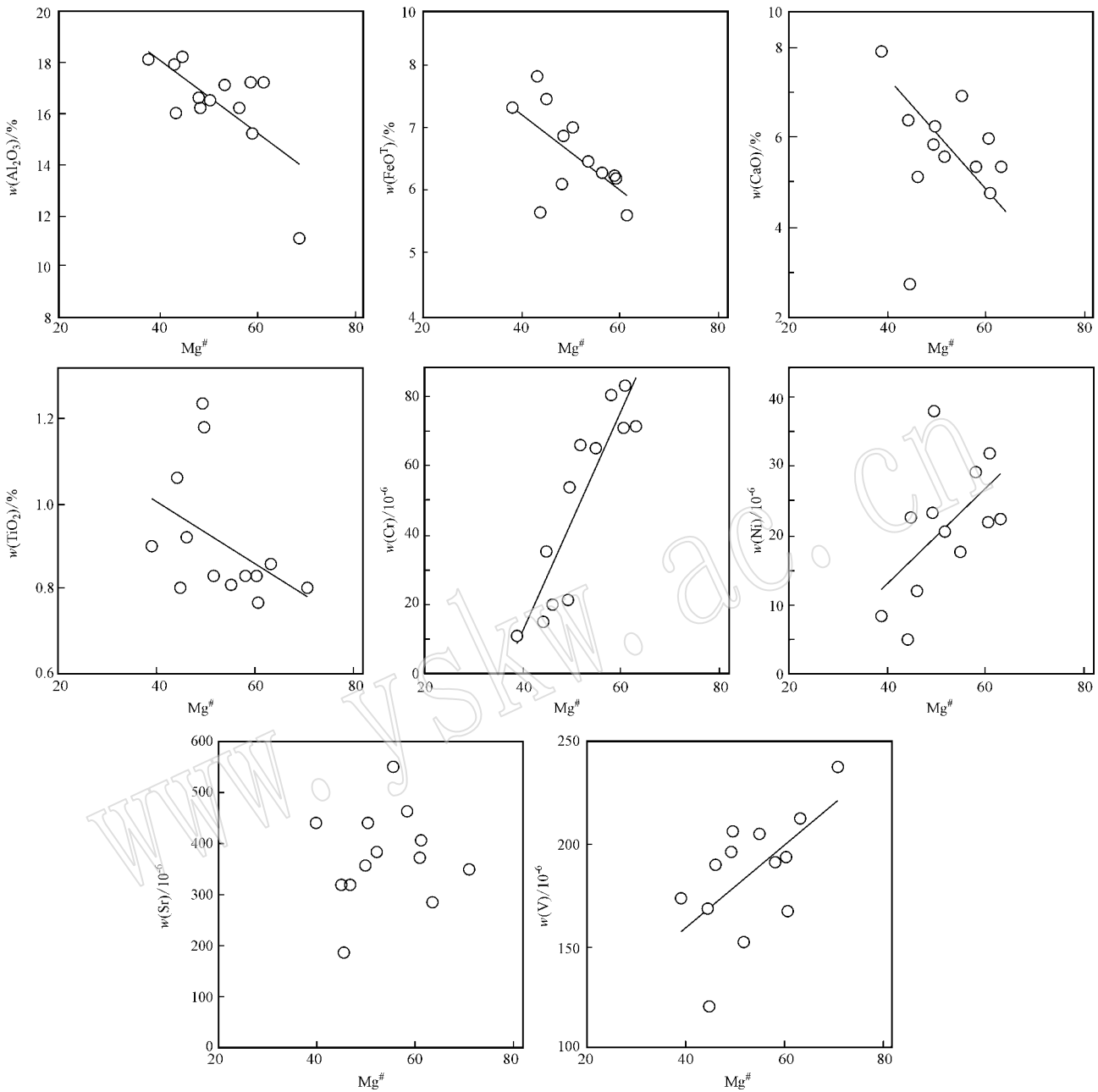


图 6 琼阿希河谷火山岩 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO<sup>T</sup>、CaO、TiO<sub>2</sub>、Cr、Ni、Sr、V - Mg<sup>#</sup> 图解

Fig. 6 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO<sup>T</sup>、CaO、TiO<sub>2</sub>、Cr、Ni、Sr、V - Mg<sup>#</sup> diagram of Qiongaxi Valley volcanic rocks

于岛弧型火成岩类的明显的 Nb、Ta 负异常 (图 5) 等特征。在 Th - Ta - Hf/3 环境判别图解中所有样品均落入了岛弧的构造环境中,但是在 Zr/Y - Zr 判别图解中 (图 7a), 样品大多数 (除 10AX-11) 却投入到板内玄武岩的构造环境区域内, 同时样品的 Zr 平均值为  $158 \times 10^{-6}$ , 远大于岛弧火山岩的 Zr 丰度, Zr/Y 均大于 4, Hf/Th 介于 0.53 ~ 1.13, 平均为 0.86, 均显示了板内玄武岩的成分特征 (Hf/Th < 8,

Condie, 1989)。因此, 利用判别图解判别火山岩的构造环境具有一定的局限性。

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, 在受到较为强烈的地壳混染作用后, 也能表现出高场强元素 Nb、Ta 负异常等岛弧火山岩的特征 (Wilson, 1989; 夏林圻等, 2007a, 2007b), 因此, 在探讨其形成的环境时, 我们较为相信受混染作用影响较小的元素 Zr 和 Y 的图解判别。

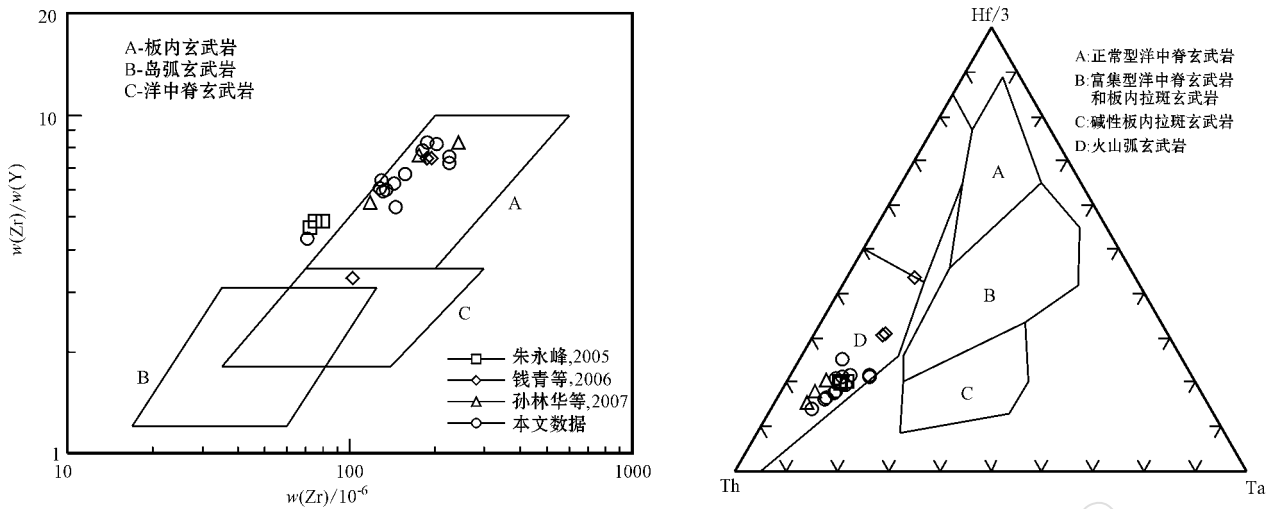


图 7 琼阿希河谷样品  $Zr/Y - Zr$  环境判别图解 (a, 据 Pearce 和 Cann, 1973) 和  $Th - Ta - Hf/3$  图解 (b, 据 Wood, 1980)  
Fig. 7  $Zr/Y - Zr$  diagram of Qiongaxi Valley samples (a, after Pearce and Cann, 1973) and  $Th - Ta - Hf/3$  diagram (b, after Wood, 1980)

所以,该地区火山岩之所以表现出岛弧火山岩的特征有较大的可能是岩浆在上升过程中遭受了地壳的强烈混染。

#### 4.3 地壳混染讨论

源自对流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途中,会受到不同程度大陆地壳或岩石圈的混染,并且这种混染作用往往十分强烈,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了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)。地壳的强烈混染能使火山岩的地球化学特征表现出岛弧火山岩的特征。因此,在讨论该地区火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必要的。

非常高的原始地幔标准化  $Th/Nb$  比值( $\gg 1$ ) (Saunders *et al.*, 1992) 和低  $Nb/La$  比值( $< 1$ ) (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  $Nb/La$ 、 $La/Ba$  值。如前所述, 所有分析样品的结果(表 1) 显示原始地幔标准化的  $(Th/Nb)_N$  在 3.02~9.13 之间 ( $Nb/La)_N$  介于 0.36~0.58, 平均 0.41, 远远小于 1, 低的  $La/Ba$

(0.03~0.14, 平均 0.07), 并且  $Ba/Nb$ 、 $La/Nb$  的变化范围较大;  $Zr/Nb$ 、 $Zr/Hf$  比值平均为 22.53、39.69, 最为接近 N-MORB (31.76、36.10) 的比值, 而  $Ta/Nb$  比值平均为 0.12 却接近上地壳 (0.10) 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, 所有样品均显示为中钾-高钾系列, 这种钾质类型的优势地位也反映了陆壳基质在岩浆活动中占有重要的地位。

#### 4.4 构造背景

样品属于钙碱性系列火山岩, 高的稀土总量、LREE 强烈富集的右倾分布模式(图 5), 高的不相容元素含量(原始地幔的 10 倍以上) 具有类似于岛弧型火成岩类和受到大陆地壳混染火山岩的明显的  $Nb$ 、 $Ta$  负异常(图 5) 等特征。样品的  $Zr$  平均值为  $158 \times 10^{-6}$ , 远大于岛弧火山岩的  $Zr$  丰度,  $Zr/Y$  均大于 4,  $Hf/Th$  介于 0.53~1.13, 平均为 0.86, 显示了板内玄武岩的成分特征 ( $Hf/Th < 8$ , Condie, 1989), 原始地幔标准化的  $(Th/Nb)_N$  在 3.02~9.13 之间 ( $Nb/La)_N$  介于 0.36~0.58, 平均 0.41, 远远小于 1, 低的  $La/Ba$  值 (0.03~0.14, 平均 0.07), 并且  $Ba/Nb$ 、 $La/Nb$  的变化范围较大,  $Zr/Nb$ 、 $Zr/Hf$  比值平均为 22.53、39.69, 最为接近 N-MORB 的比值, 而  $Ta/Nb$  比值平均为 0.12 却接近上地壳的比值, 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。

通过对河谷中的剖面调查研究和该地区区域上路线研究发现该地区普遍缺失泥盆系沉积地层, 并

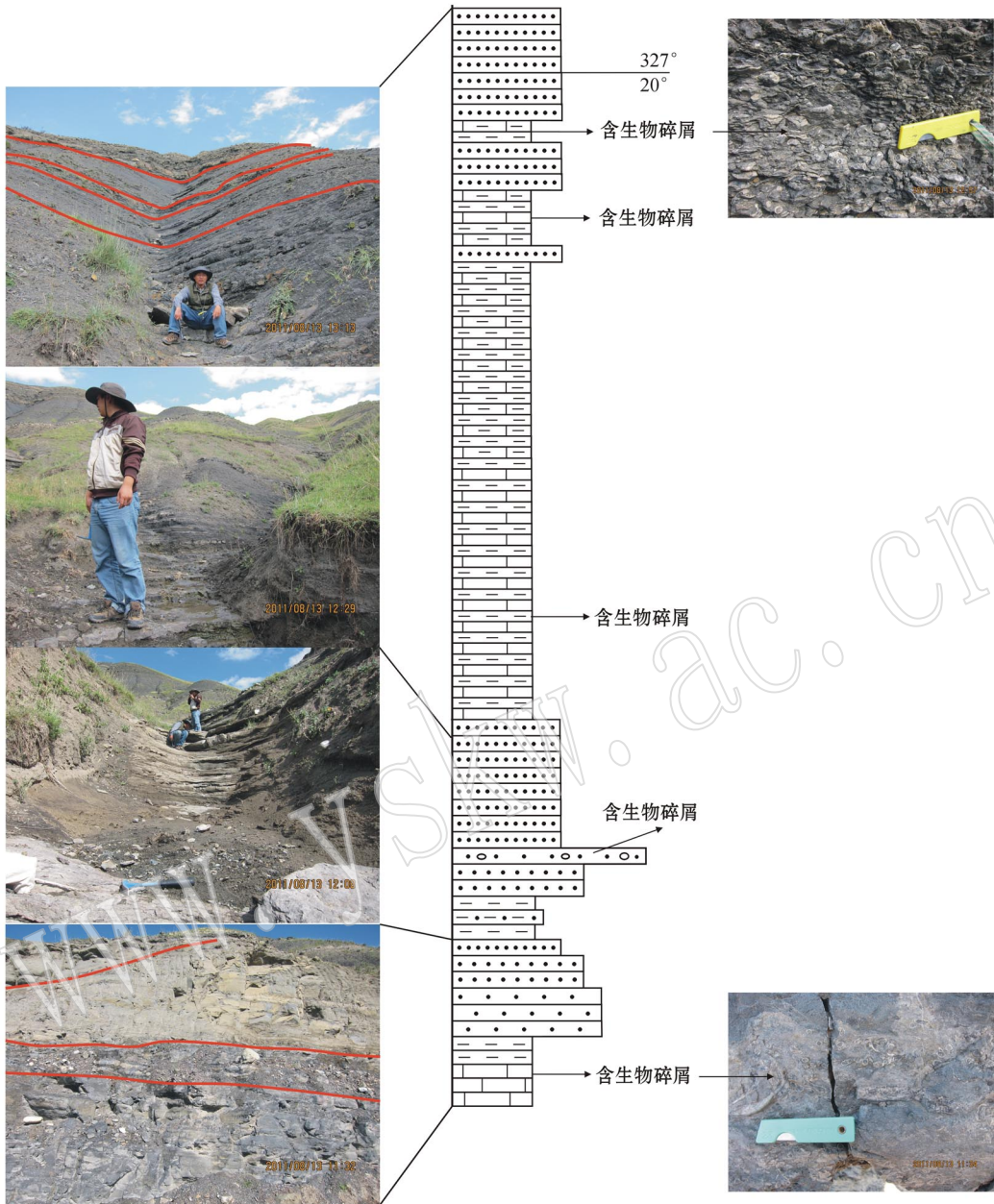


图 8 阿克沙克组柱状简图  
 Fig. 8 Columnar section of akeshake Formation

且呈区域性不整合覆盖在志留系地层上；说明在泥盆世该地区普遍处于一种抬升的状态。该地区大哈拉军山组(C<sub>1d</sub>)与上覆阿克沙克组(C<sub>1a</sub>)为明显的不整合关系。从阿克沙克组示意性柱状图中(图 8)可以看出,阿克沙克组(C<sub>1a</sub>)地层由上到下为含大量生物碎屑(珊瑚、腕足)化石的黑色泥灰岩、土黄色砂岩、细砂岩,显示出石炭世该地区水体有逐渐加深的趋势。根据以上特征,笔者推测,该区域很长的一段时间内(整个泥盆系)都处在抬升阶段,之后进入伸

展拉张环境并且出现较浅的水体(裂谷? 大陆弧后拉张?)。结合琼阿希河谷火山岩地球化学特征,认为该地区火山岩的形成环境不应该是岛弧环境,而应属于碰撞后伸展的构造环境。

### 5 结论

(1) 琼阿希河谷火山岩微量元素(Th/Nb)<sub>N</sub> 在 3.02~9.13 之间,(La/Nb)<sub>N</sub> 介于 1.78~2.92,平均

2.45 远远大于 1, 低的 La/Ba 值(0.03~0.14, 平均 0.07) 并且 Ba/Nb、La/Nb 的变化范围较大, 表明火山岩岩浆在上升过程中受地壳的混染较强。

(2) 火山岩类似于岛弧火山岩, 明显的 Nb、Ta 负异常应归因于与地壳的混染作用, 样品的 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, 认为该地区在泥盆世一直处于抬升阶段, 在石炭纪时碰撞结束并进入碰撞后伸展阶段, 局部地区产生一定的裂谷化的特征。

(3) 该地区火山岩岩浆演化过程中早期含镁矿物的分离结晶作用显得比较重要, 随着岩浆的演化斜长石、角闪石和含钛铁矿物的分异结晶作用越来越明显, 说明岩浆演化后期可能存在一个明显的富铁富钛的趋势。

## References

- Bai Jianke, Li Zhipai, Xu Xueyi, *et al.* 2011. The discovery of silicified wood in the Early Carboniferous strata on the northern margin of Yili block, West Tianshan, and its significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 30(10): 1557~1562 (in Chinese with English abstract).
- Che Zicheng, Liu Hongfu, Liu Liang, *et al.* 1994. Formation and Evolution of The Middle Tianshan Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~135 (in Chinese).
- Condie K S. 1989. Geochemical changes in basalts and andesites the Archaean-Proterozoic boundary: Identification and significance [J]. *Lithos*, 23: 1~18.
- Guo Xuan and Zhu Yongfeng. 2006. Petrological and geochemical characteristics of the carboniferous volcanic rocks, South of the Xinyuan County, Xinjiang [J]. *Geological Journal of China Universities*, 12(1): 62~73 (in Chinese with English abstract).
- Kieffer B, Arndt N L, Apierre H, *et al.* 2004. Flood and shield basalts from Ethiopia: Magmas from the African supertwelve [J]. *Petrol.*, 45(4): 793~834.
- 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).
- Li Huaqin, Xie Caifu and Chang Hailiang. 1998. Study On Metallogenic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in North Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 107~127 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhucang, Li Yongjun, Li Jinghong, *et al.* 2006. Geochemical Characteristics of the Dahalajunshan 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 Wei, Xu Yongbo, Heng Xing, *et al.* 2009. Geotectonic features of metaamorphic complexes from the northern side of the sayram in Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 27(3): 201~206 (in Chinese with English abstract).
- Miyashiro A. 1975. Classification characteristics and origin of ophiolites [J]. *Journal of Geology*, 83: 249~281.
- Pearce J A and Cann J R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19: 290~300.
- Qian Qing, Gao Jun, Xiong Xianming, *et al.* 2006. Petrogenesis and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from North Zhaosu western Tianshan Mountains: constraints from petrology and geochemistry [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1307~1323 (in Chinese with English abstract).
- Sun Linhua, Peng Touping and Wang Yuejun. 2007. Geochemical characteristics of basaltic andesites from Dahalajunshan formation, southeastern Tekes (Xinjiang): Petrogenesis and its tectonic significance [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(3): 372~379 (in Chinese with English abstract).
- 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 Basin* [C]. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, London, 42: 313~345.
- 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.
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* [M]. Blackwell, Oxford.
- Wang Guangrui. 1996. Classification of tectonic units and geologic evolution in the northern Xinjiang and neighboring area [J]. *Xinjiang Geology*, 14(1): 12~27 (in Chinese with English abstract).
- Weaver B L and Tarney J. 1984. Major and trace element composition of the continental lithosphere [A]. Pollack H N and Murthy V R. *Structure and Evolution of the Continental Lithosphere, Physics and Chemistry of the Earth* [C]. 15: 39~68.
- Wedepohl K H. 1995. The composition of the continental crust [J]. *Gochim. Cosmochim. Acta*, 59: 1217~1232.
- 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.
- 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 the British tertiary volcanic province [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 50: 11~30.
- Xia Linqi, Li Xiangmin, Xia Zuchun, *et al.* 2006. Carboniferous-Permian rift-related volcanism and mantle plume in the Tianshan, Northwestern China [J]. *Northwestern Geology*, 39(1): 1~49 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, *et al.* 2004. Carboniferous Tianshan igneous megaprovince and Mantle Plume [J]. *Geological Bulletin of*

- China, 23(9~10):903~910(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 method[J]. *Acta Petrologica et mineralogical*, 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(in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Zhang Guowei, Xia Zuchun, *et al.* 2002. Constraints on the timing of opening and closing of the Tianshan Paleozoic oceanic basin: Evidence from Sinian and Carboniferous volcanic rocks[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(2):55~62(in Chinese with English abstract).
- Yu Haifeng, Wang Fujun and Pan Mingchen, *et al.* 2011. Geological characteristics and ages assurance of the Muzhaerte group complex of Palaeoproterozoic in western tianshan mountains[J]. *Xinjiang Geology*, 29(1):20~25(in Chinese with English abstract).
- Zhai Wei, Sun Xiaoming, Gao Jun, *et al.* 2006. SHRIMP dating of zircons from volcanic host rocks of Dahalajunshan Formation in Axi gold deposit, Xinjiang, China, and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5):1399~1404(in Chinese with English abstract).
- Zhang Fangrong, Cheng Chunhua, Yu Quan, *et al.* 2009. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Volcanic Rocks from Dahalajunshan Formation, Wusun Mountains in West Tianshan[J]. *Xinjiang Geology*, 27(3):231~235(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Bai Zhenghua, Xiong Xiaolin, *et al.* 2004.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  chronological study of Late Paleozoic volcanic-hypabyssal igneous rocks in western Tianshan, Xinjiang[J]. *Geochimica*, 32(4):317~327(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Zhang Lifei, Gu Libing, *et al.* 2005. The study of SHRIMP dating and Geochemical of Trace elements about Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 50(18):2004~2014(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Zhou Jing and Guo Xuan. 2006a. Petrology and Sr-Nd isotopic geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5):1341~1350(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Zhou Jing, Song Biao, *et al.* 2006b. Age of the "Dahalajunshan" Formation in Xinjiang and its disintegration[J]. *Geology in China*, 33(3):487~497(in Chinese with English abstract).
- 郭璇, 朱永峰. 2006. 新疆新源县城南石炭纪火山岩岩石学和元素地球化学研究[J]. *高校地质学报*, 12(1):62~73.
- 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.
- 李华芹, 谢财富, 常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社, 107~127.
- 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.
- 刘伟, 徐永波, 衡星, 等. 2009. 赛里木地块北缘古元古界变质杂岩地质特征及构造意义[J]. *新疆地质*, 27(3):201~206.
- 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.
- 孙林华, 彭头平, 王岳军. 2007. 新疆特克斯东南大哈拉军山组玄武安山岩地球化学特征:岩石成因和构造背景探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 31(3):372~379.
- 王广瑞. 1996. 新疆北部及邻区地质构造单元与地质发展史[J]. *新疆地质*, 14(1):12~27.
- 夏林圻, 李向民, 夏祖春, 等. 2006. 天山石炭-二叠纪大火成岩省裂谷火山作用与地幔柱[J]. *西北地质*, 39(1):1~49.
- 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.
- 夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 等. 2002. 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*, 21(2):55~62.
- 于海峰, 王福君, 潘明臣, 等. 2011. 西天山古元古代木札尔特岩群地质特征及时代厘定[J]. *新疆地质*, 29(1):20~25.
- 翟伟, 孙晓明, 高俊, 等. 2006. 新疆阿希金矿床赋矿围岩-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.
- 赵振华, 白正华, 熊小林, 等. 2004. 西天山北部晚古生代火山-浅侵位岩浆岩  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素定年[J]. *地球化学*, 32(4):317~327.
- 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. 2006a. 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.
- 朱永峰, 周晶, 宋彪, 等. 2006b. 新疆"大哈拉军山组"火山岩的形成时代问题及其解体方案[J]. *中国地质*, 33(3):487~497.

## 附中文参考文献

- 白建科, 李智佩, 徐学义, 等. 2011. 西天山伊犁地块北缘早石炭世硅化木的发现及其意义[J]. *地质通报*, 30(10):1557~1562.
- 车自成, 刘洪福, 刘良, 等. 1994. 中天山造山带的形成与演化[M]. 北京:地质出版社, 1~135.