

萨吾尔山北坡早石炭世熔岩角砾岩石地球化学特征

翁凯, 徐学义, 马中平*, 孙吉明

国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 西安地质调查中心, 西安 710054

摘 要: 早石炭世是西准噶尔地区构造体质转换的重要时期, 为确定其构造环境, 选取萨吾尔山北坡早石炭世姜巴斯套组进行研究。采用沉积地层学和岩石地球化学方法, 发现该套地层具有粒序层理, 砾石多为棱角状, 分选较好, 形成于相对稳定的浅海相环境, 有大量间断性火山物质供给, 未经过长距离搬运, 可能经历了重力分异作用。地层中的安山玄武岩角砾 SiO_2 含量为 50.50%~52.81%, 具有高 Fe、Na, 低 Mg、K 特征, 稀土微量元素特征与火山岛弧的岩石地球化学特征相似。综合分析认为, 弧后盆地为该组的形成提供了一个相对稳定的沉积环境, 板块俯冲形成的火山岛弧为其提供了大量火山物质, 同时也暗示萨吾尔地区在早石炭世仍有板块俯冲作用的存在, 限定了古亚洲洋的闭合时限。

关 键 词: 早石炭世; 沉积环境; 沉积地层学; 岩石地球化学; 西准噶尔

中图分类号: P588.21+2.3 文章编号: 1007-2802(2015)05-1034-10 doi: 10.3969/j.issn.1007-2802.2015.05.020

Geochemical Characteristics of the Breccia Rock in the Early Carboniferous Lava in the North Slope of the Sawuer Mountain

WENG Kai, XU Xue-yi, MA Zhong-ping*, SUN Ji-ming

Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits MLR,
Xi'an Center of Geological Survey, Xi'an 710054, China

Abstract: The early carboniferous is an important period of structural constitution transformation in the West Junggar, in order to determine its tectonic environment, we selected the early carboniferous Jiangbasitao group for research using sedimentary stratigraphy and rock geochemical methods. The results show that the formation has the graded bedding characteristics, the gravels which formed in the relatively stable neritic facie environment, are angular and well sorted. The formation has a large supply of intermittent volcanic materials, which may have experienced gravity differentiation but no long distance transport. The SiO_2 content of the andesitic basalt breccia is between 50.5%–52.81%, trace rare earth elements characteristics of the rock are similar to those of the volcanic island arc. The back-arc basin provided a relatively stable sedimentary environment for the strata formation, and the volcanic island arc formed by subduction provided a large amount of intermittent volcanic material. Meanwhile it implies that the plate subduction which limited the closing time of the Palaeo-Asian still existed in the Sawuer area of early carboniferous epoch.

Key words: Early Carboniferous epoch; sedimentary environment; sedimentology and stratigraphy; petrogeochemistry; western Junggar

中亚造山带是世界上最大的增生型造山带, 是世界三大成矿域之一。新疆北部位于中亚造山带的核心位置, 引起了国内外学者的高度关注 (Şengör *et al.*, 1993; Li, 2004; 李锦轶, 2004; Zhu *et al.*, 2005; 王京彬和徐新, 2006)。晚古生代是新疆北部构造

体制转换的重要时期, 该区在这一时期经历了古亚洲洋闭合到陆内演化的整个过程 (王元龙和成守德, 2001; 李锦轶等, 2006; 毛启贵等, 2006; 肖文交等, 2006), 但是长期以来, 人们对古亚洲洋闭合时限存在较大争议, 其中石炭纪时期的构造环境成为

收稿日期: 2014-07-01 收到, 2014-11-01 改回

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41272089); 国家基础地质调查项目 (12120115066701, 1212011085055)

第一作者简介: 翁凯 (1985-), 男, 工程师, 博士, 研究方向: 矿物学、岩石学、矿床学。E-mail: kaikaino1@qq.com.

* 通讯作者简介: 马中平 (1970-), 男, 研究员, 博士, 研究方向: 岩浆作用与成矿。E-mail: xamzhongping@cgs.gov.cn.

争议的焦点。进入 21 世纪以来,国家基础地质研究步伐加快,地质学家对西准噶尔石炭纪构造环境开展了大量的研究,取得了一批新的认识。西准噶尔地区大面积出露的石炭纪花岗岩研究表明,晚石炭世西伯利亚板块与哈萨克斯坦板块完成碰撞拼贴,进入后碰撞环境,340~275 Ma 是西准噶尔地区重要的后碰撞岩浆活动期(韩宝福等,2006,2010;苏玉平等,2006;韩宝福,2007),早石炭世构造环境存在较大争议:后碰撞环境(范裕等,2007;Zhou *et al.*, 2008);板块俯冲环境(Shen *et al.*, 2008;陈家富等, 2010)。石炭纪火山岩-火山碎屑岩研究提出弧后盆地环境(金成伟和张秀棋,1993;沈远超和金成伟, 1993)、洋内俯冲洋岛环境(高山林等,2006;张连昌等,2006;唐功建等,2009)等不同观点。沉积学和岩相古地理学研究认为西准噶尔地区在晚石炭世-早二叠世仍为深海-半深海环境(王福同,2006;何登发等,2010),直到 290 Ma 以后,该区出现红色磨拉石建造(晋慧娟和李育慈,1998),进入造山阶段。由于从不同研究角度对西准噶尔石炭纪构造环境的认识有所不同,产生了对古亚洲洋闭合时限的激烈争论(Zhao *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2008; Geng *et al.*, 2009)。

早石炭世构造环境的准确认识对限定西准噶尔地区古亚洲洋的闭合时限至关重要。萨吾尔山北坡翁格尔阔腊地区分布大面积的早石炭世姜巴斯套组,该组可以分为上、下两段,下段为火山粗碎屑岩沉积,上段为火山碎屑凝灰岩沉积。前人在该组上段发现大量的早石炭世腕足、螺和植物化石,属于原地埋藏,认为其下段其物质来源于下伏地层黑山头组(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1986)。由于对该组的形成环境缺少相关研究,对其下段粗碎屑岩的物质来源判断缺少依据,因此,本文通过对早石炭世姜巴斯套组下段的地层沉积特征和火山熔岩角砾岩石地球化学特征进行研究,探讨其形成环境和大地构造背景,进而对古亚洲洋的闭合时限进行限定。

1 区域地质概况

西准噶尔地区位于中国新疆北部,主要由一系列古生代增生杂岩带和岩浆弧构成(Windley *et al.*, 2007; Han *et al.*, 2010)。构造单元由北向南依次可以划分为:额尔齐斯-斋桑缝合带、扎尔玛-萨吾尔火山弧、博什库尔-成吉斯火山弧和西准噶尔增生杂岩带(Vladimirov *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2010)(图 1a、1b)。研究区位于西准噶尔北部萨吾尔山一带,归

属于扎尔玛-萨吾尔火山弧。区内火山活动强烈且频繁,从泥盆纪到二叠纪均有火山活动。泥盆系主要由砂岩、灰岩夹中酸性火山岩组成,石炭系为碎屑岩、火山碎屑岩和基性-酸性火山岩,二叠系主要由双峰式火山岩组成(朱永峰和徐新,2006;周涛发等,2006)。花岗岩侵入体呈东西向展布,时代多为石炭纪-中二叠世(袁峰等,2006;谭绿贵,2008)。

石炭纪地层在萨吾尔山北坡呈东西向展布,由滨浅海-海陆交互相陆源碎屑岩-火山碎屑岩组成,主要为早石炭世黑山头组和姜巴斯套组,被石炭纪-早二叠世花岗岩侵入。黑山头组以基性海相火山岩为主,夹中酸性火山碎屑岩,该组的典型特征是发育枕状玄武岩和放射虫硅质岩。姜巴斯套组为一套浅海相-海陆过渡相火山碎屑岩沉积,产大量的早石炭世生物化石。黑山头组不整合覆盖于中泥盆世萨吾尔山组之上,又被早泥盆世姜巴斯套组、早二叠世哈尔加乌组不整合覆盖(图 1c)。

萨吾尔山北坡翁格尔阔腊地区出露的早石炭世姜巴斯套组为一套浅海-海陆交互相碎屑岩沉积建造地层。按照岩性可以分为上下两部分:下部为集块岩、火山角砾岩、含角砾晶屑岩屑凝灰岩、晶屑岩屑凝灰岩互层,地层成层性较好,具有很好的韵律层序;上部晶屑岩屑凝灰岩、凝灰质砂岩、泥岩互层。地层整体组成南翼宽缓北翼窄陡的向斜构造,出露形态为不规则圆盘状,与下伏地层为不整合接触,顶部被花岗岩侵入未见。

2 样品及分析方法

本次对萨吾尔山北坡姜巴斯套组下段进行了路线剖面测制。姜巴斯套组下段剖面显示,该段岩性主要为火山集块岩、火山角砾岩、含角砾岩屑晶屑凝灰岩组成,地层成分性好,为向西倾的单斜构造,整体具有集块岩-角砾岩-含角砾凝灰岩的韵律变化。集块、角砾成分主要为安山玄武岩和安山岩,集块之间被小的熔岩角砾和火山碎屑物质胶结,角砾之间被火山碎屑物质胶结。局部可见后期构造运动错断角砾,含角砾凝灰岩中晶屑岩屑凝灰成分呈韵律层特征,多处见花岗岩脉顺层侵入(图 2,图 3a~3f)。本次研究的熔岩样品采自该组下段火山角砾岩中的偏基性熔岩角砾,同一件样品取自单个角砾,对其进行岩相学和岩石地球化学研究。

岩相学研究表明本次采集的偏基性角砾都为安山玄武岩,镜下特征相似但又略有变化。岩石都为斑状结构,具有长石不等粒斑状特征,普遍发育连斑和聚斑。基质主要为斜长石和玻璃质,组成玻

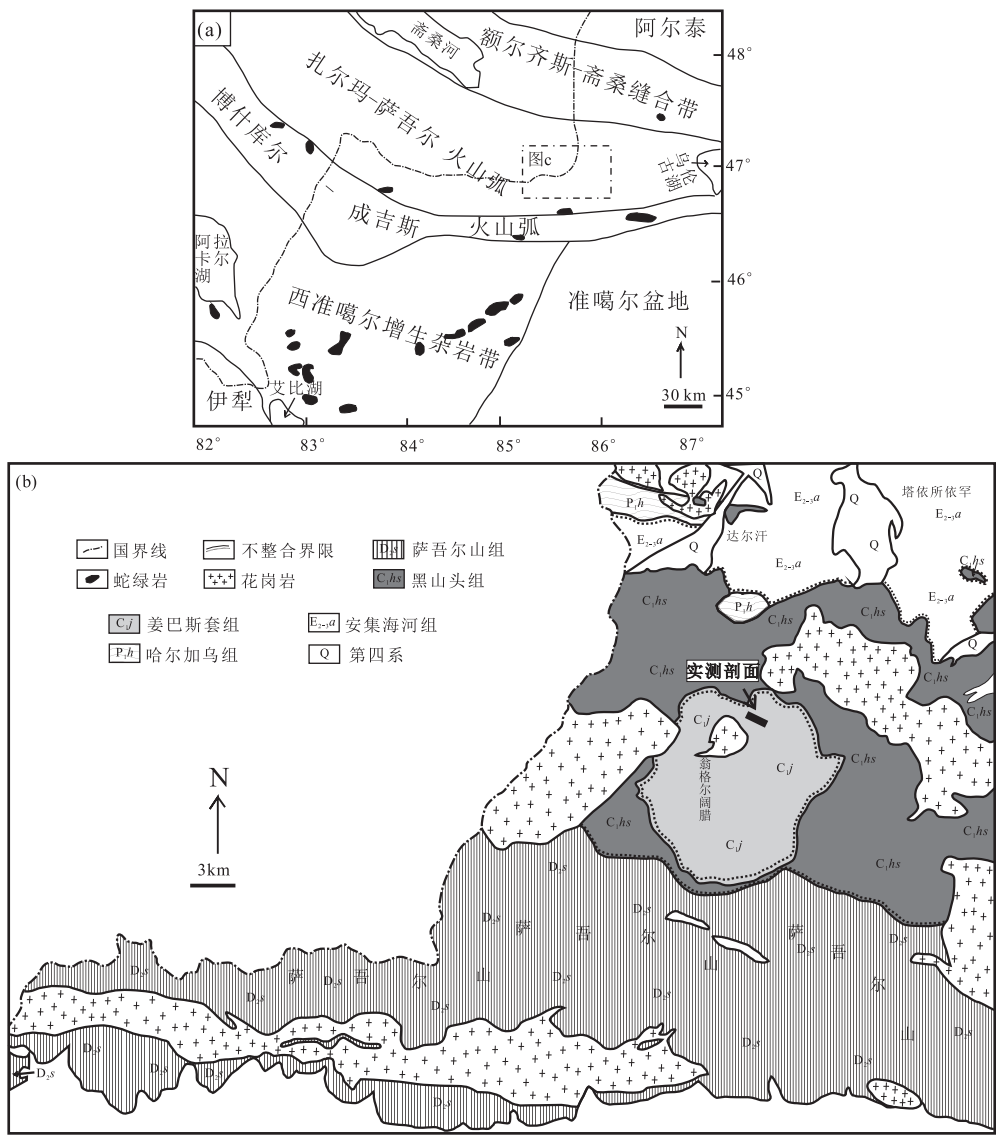


图 1 (a)西准噶尔地理位置图;(b)西准噶尔构造单元划分图(据 Chen *et al.*,2010) ;
(c)萨吾尔地区地质图(据新疆维吾尔自治区地质矿产局,1986)

Fig.1 (a)The geographical location map and(b)sketch map of geological tectonic units(after Chen *et al.*, 2010)
in the Western Junggar, (c) geological map of the sawu'er area(after Bureau of geology and mineral resources
in the xinjiang uygur autonomous region, 1986)

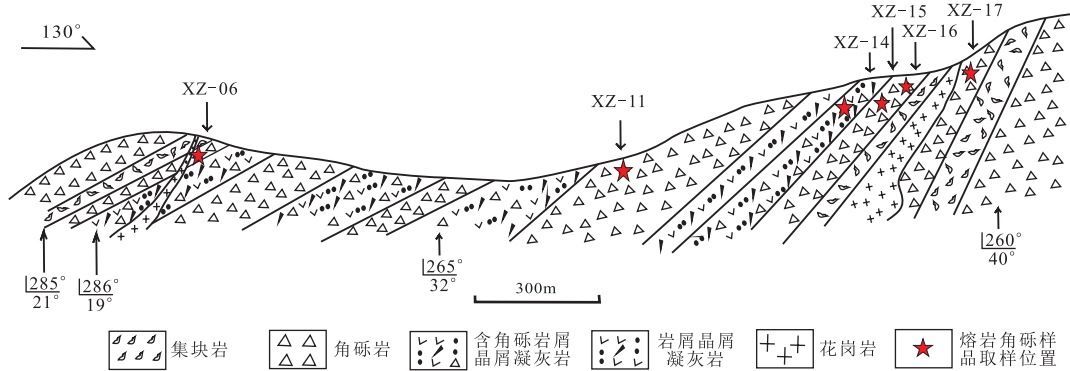
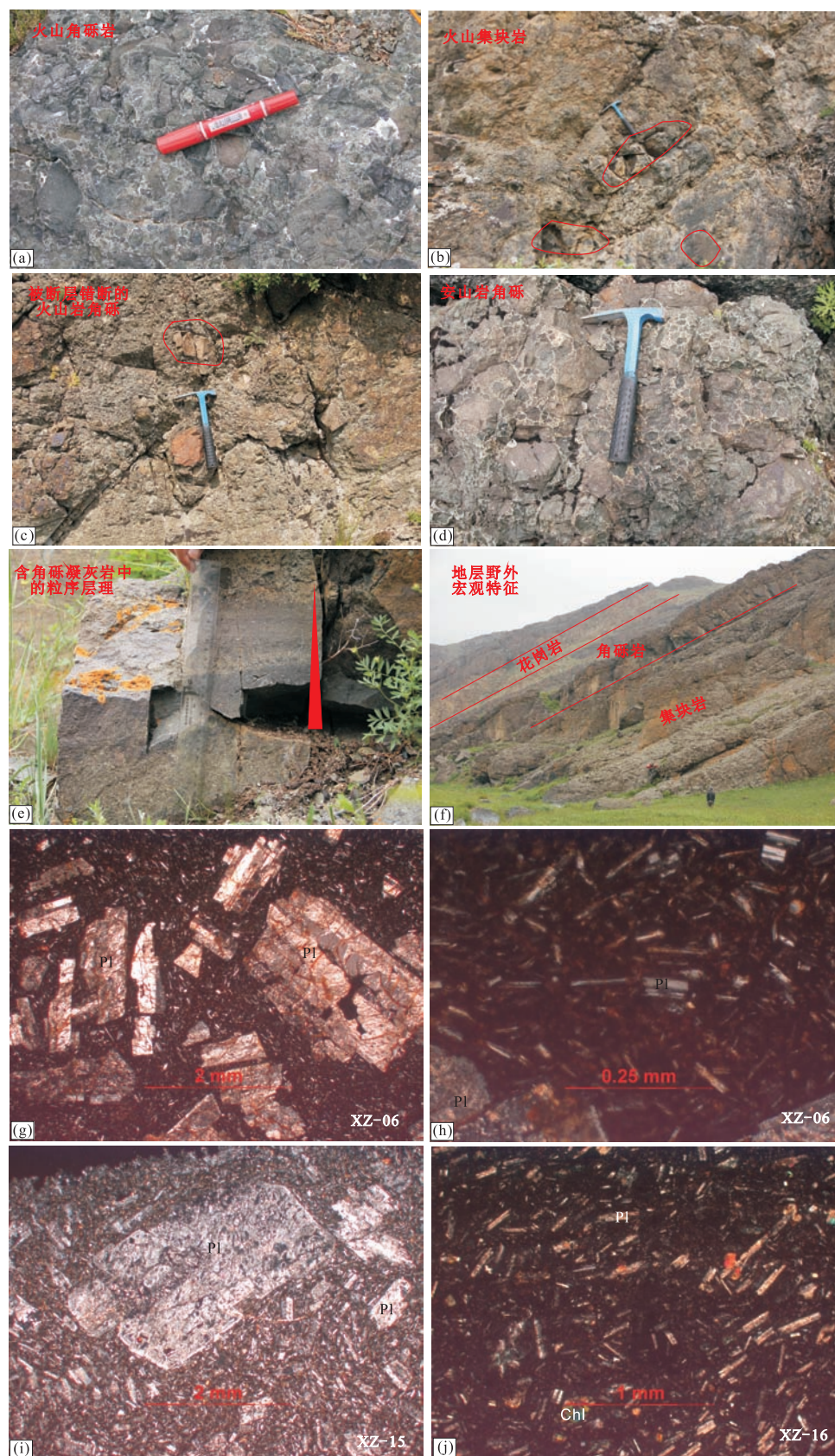


图 2 姜巴斯套组火山角砾岩剖面
Fig.2 The Jiangbasitao group volcanic breccia section



(a) 火山角砾岩; (b) 火山集块岩; (c) 被断层错断的火山岩角砾; (d) 安山岩角砾; (e) 含角砾凝灰岩中的粒序层理;
 (f) 地层的野外成层特征; (g) XZ-06 样品斑状特征 (正交偏光); (h) XZ-06 样品基质玻基交织结构 (正交偏光);
 (i) XZ-15 样品 (正交偏光) 斜长石巨斑; (j) XZ-16 样品绿泥石充填小气孔 (正交偏光)

图3 姜巴斯套组火山岩野外及显微镜下特征

Fig.3 The field and microscopic characteristics of the Jiangbasitao group volcanic rocks

晶交织结构。不同岩石的结晶程度和斑晶特征略有不同,样品(XZ-06、XZ-11、XZ-17)斜长石斑晶含量为50%,基质结晶程度较低,基质长石呈细小的长条状,大小为0.1 mm左右。而样品(XZ-14和XZ-15)基质长石明显变大,呈板条状,样品(XZ-16)斑晶含量明显变少,出现绿泥石充填的小气孔(图3g~3j)。

对所采集样品进行室内挑选和镜下观察,选取6件新鲜的安山玄武岩角砾样品进行岩石地球化学分析研究。在进行主量和稀土、微量元素分析之前,先对所选样品进行去风化面处理,选取新鲜的样品粗碎至1~2 mm,粗碎在刚玉鄂式破碎机中进行,粗碎样品经过超声波清洗后,用日本CMT公司生产的TI-100型碳化钨细碎机碎至200目以下。样品的溶解在Teflon高压溶样弹中利用1.5 mL HNO₃+1.5 mL HF+0.02 mL HClO₄混合酸进行,主量元素采用XRF(Rigaku RIX2100)玻璃熔饼法和湿化学法完成,精度优于5%,稀土、微量元素采用ICP-MS(Perkin-Elmer公司具动态反应池的Elan600DRC)完成,精度优于10%。以上测试分析均在国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室完成。

3 地球化学特征

3.1 主量元素特征

本次研究对所采的6件安山玄武岩角砾样品进行了全岩主量元素地球化学分析,结果见表1。对测试结果扣除烧失量做归一化处理,由处理结果可知,样品的SiO₂含量为50.50%~52.81%,在(Zr/TiO₂)×0.0001-Nb/Y图解(图4a)中,样品都落在安山岩/玄武岩范围内,在SiO₂-K₂O图解(图4b)上,样品为低钾拉斑系列和钙碱性系列。样品整体具有高Fe、Na,低Mg、K的特征,Fe₂O₃含量为4.03%~6.78%,FeO为5.87%~6.81%,Na₂O为2.70%~4.06%,MgO含量在3.72%~4.58%,K₂O为0.36%~1.35%。此外,样品中TiO₂变化为0.94%~1.50%,Al₂O₃含量为16.58%~19.79%。

3.2 稀土微量元素特征

对安山玄武岩角砾进行稀土、微量元素分析(表1),结果表明,样品的稀土总量(∑REE)为67.54×10⁻⁶~105.01×10⁻⁶,为球粒陨石(∑REE=3.29×10⁻⁶)的20~32倍,LREE/HREE为2.34~2.95。在球粒陨石标准化稀土配分模式图(图5a)上,具有轻稀土略微富集的右倾特征,发育弱的δEu

表1 姜巴斯套组中安山玄武岩角砾主量、稀土、微量元素含量
Table 1 Contents of main elements, rare and trace elements of the andesitic basalt breccia in the Jiangbasitao

样号	XZ-06	XZ-11	XZ-14	XZ-15	XZ-16	XZ-17
SiO ₂	51.28	48.56	49.43	50.46	49.32	47.93
TiO ₂	0.91	0.99	1.21	1.23	1.45	1.05
Al ₂ O ₃	19.17	18.9	18.15	18.06	16.07	18.71
Fe ₂ O ₃	3.91	4.27	4.04	4.63	6.57	4.75
FeO	5.7	5.93	6.62	6.31	6.49	5.75
MnO	0.15	0.19	0.19	0.23	0.2	0.2
MgO	3.61	4.37	4.29	3.96	4.09	4.15
CaO	8.91	7.62	9.18	7.58	8.54	7.45
Na ₂ O	2.62	3.37	3.59	3.95	3.65	3.48
K ₂ O	0.72	1.13	0.35	0.84	0.38	1.28
P ₂ O ₅	0.12	0.16	0.15	0.16	0.19	0.16
H ₂ O ⁺	2	2.14	1.8	1.58	1.52	2.76
LOI	2.81	4.28	2.7	2.46	2.93	4.99
总计	101.91	101.91	101.7	101.45	101.4	102.66
La	5.11	6.4	5.88	5.96	6.9	6.55
Ce	13.3	16.6	16.6	16.7	19.4	17.2
Pr	1.95	2.36	2.5	2.48	2.95	2.47
Nd	9.95	11.5	12.4	12.6	15.3	11.9
Sm	2.73	3.11	3.55	3.56	4.41	3.16
Eu	0.94	1.07	1.19	1.26	1.42	1.16
Gd	3.32	3.58	4.43	4.5	5.44	3.85
Tb	0.55	0.6	0.74	0.74	0.9	0.62
Dy	3.5	3.71	4.65	4.7	5.76	3.92
Ho	0.79	0.8	1.04	1.05	1.28	0.87
Er	2.25	2.32	3	3	3.57	2.52
Tm	0.34	0.34	0.44	0.45	0.54	0.38
Yb	2.18	2.22	2.85	3	3.52	2.48
Lu	0.33	0.35	0.44	0.44	0.52	0.36
Sr	431	349	396	390	406	363
Rb	13.5	19.2	5.93	11.6	5.04	27.5
Ba	89.3	220	77.7	145	119	216
Th	0.7	0.97	0.69	0.71	1	0.93
Ta	0.71	0.66	0.55	0.44	0.5	0.37
Nb	2.3	2.75	2.54	2.44	2.83	2.55
Zr	63.8	70.4	85.4	85.9	103	73.2
Y	20.3	21.1	26.5	27.1	33.1	22.6
Hf	2.02	2.24	2.65	2.66	3.3	2.3
Ga	17.9	18	18.2	18	16.8	17.6
V	283	310	325	327	414	314
Pb	7.15	13	4.55	6.21	9.93	5.62
U	0.23	0.3	0.24	0.24	0.3	0.3
Cr	27.5	51.9	29.8	32.4	26.5	50.1
∑REE	67.54	76.06	86.21	87.54	105.01	80.04
LR/HR	2.56	2.95	2.39	2.38	2.34	2.83
δEu	0.95	0.98	0.92	0.96	0.89	1.02
(La/Yb) _N	1.58	1.94	1.39	1.34	1.32	1.78

注:主量元素为%,稀土元素和微量元素为×10⁻⁶。

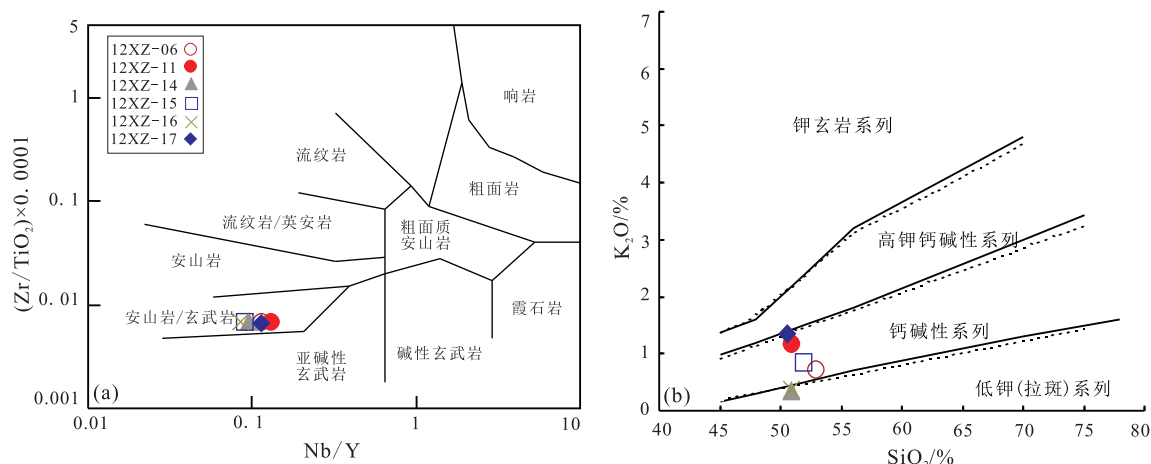


图 4 (a) 安山玄武岩角砾的 $Zr/TiO_2 \times 0.0001$ - Nb/Y 和 (b) SiO_2 - K_2O 图解

Fig.4 (a) $Zr/TiO_2 \times 0.0001$ - Nb/Y diagram and (b) SiO_2 - K_2O diagram of andesite basalt breccia

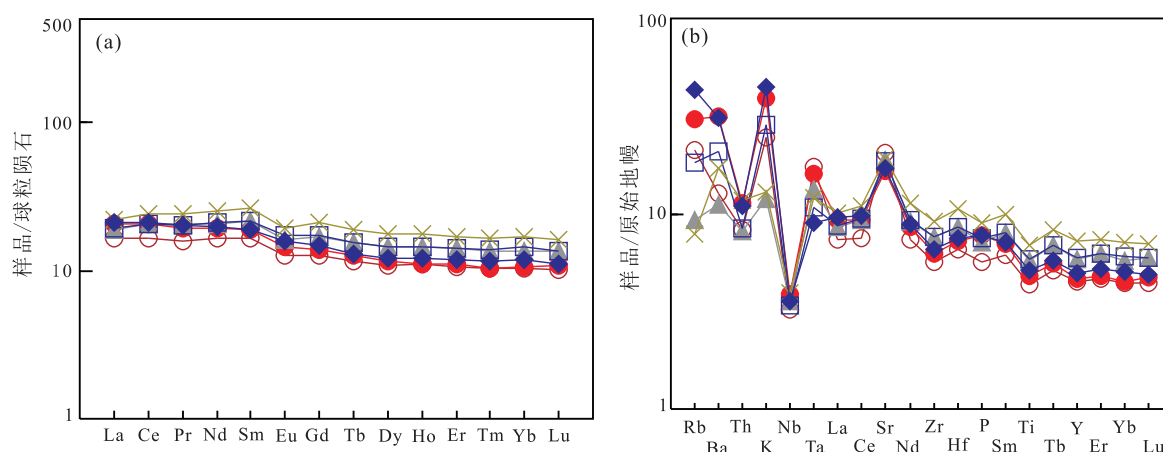


图 5 (a) 安山玄武岩角砾的稀土微量元素配分曲线和 (b) 微量元素蛛网图 (图例同图 4, 标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig.5 (a) REE pattern and (b) trace elements spider diagram of the andesite basalt breccia

(legend see Fig. 4, values are from Sun and McDonough, 1989)

(平均值 0.95) 负异常, 轻重稀土分异不明显, $(La/Yb)_N = 1.32 \sim 1.94$, 与玄武质岩浆经分离结晶作用形成的安山岩的稀土配分曲线特征相似。在原始地幔标准化蛛网图 (图 5b) 上, 样品富集大离子亲石元素 Ba、K、Sr, 亏损 Th、Nb、Zr, 类似于消减作用下的低钾拉斑玄武岩特征, 部分样品还亏损 Rb、Ti, 具有弧后盆地的地化特征 (Thompson, 1982)。

4 讨论

4.1 形成环境的讨论

岩石的微量元素含量、比值及稳定微量元素投图法可以解释熔岩的形成环境。本次所采安山玄武岩角砾样品的微量元素 Ta ($0.37 \times 10^{-6} \sim 0.71 \times 10^{-6}$)、 Nb ($2.3 \times 10^{-6} \sim 2.83 \times 10^{-6}$) 含量、 Nb/La ($0.39 \sim 0.45$)、 Th/Yb ($0.24 \sim 0.44$)、 Hf/Th ($2.31 \sim 3.84$)、 Th/Nb ($0.27 \sim 0.36$) 值均与典型岛弧玄武岩特征一

致 ($Nb < 12 \times 10^{-6}$, $Ta < 0.7 \times 10^{-6}$, $Nb/La \leq 0.8$, $Th/Yb > 0.1$, $Hf/Th < 8$, $Th/Nb > 0.07$, Condie, 1989)。在 $Nb \times 2 - Zr/4 - Y$ 三角图解 (图 6a) 上, 样品都落入 N-MORB 和火山弧玄武岩范围内。在 $Hf/3 - Th - Nb/16$ 图解 (图 6b) 中, 样品都落入与岛弧相关的区域, 用 $TiO_2 - MnO \times 10 - P_2O_5 \times 10$ 判别图解 (图 6c) 进一步确定为岛弧拉斑玄武岩。V-Ti/1000 相关图解 (图 6d) 显示出典型的亚碱性变异趋势, 从与俯冲带相关的岛弧拉斑玄武岩中识别出 MORB 的信息。研究表明这些样品都落入岛弧玄武岩范围, 结合研究区的区域地质特征, 认为姜巴斯套组中的火山角砾岩形成于弧后盆地环境。

4.2 安山玄武岩角砾源区的讨论

研究区安山玄武岩角砾样品富集大离子亲石元素 Ba、K、Sr, 并具有强烈的 Th、Nb、Zr 负异常及不同程度的 Ta 和 Ti 亏损, 显示出典型的消减带岩浆

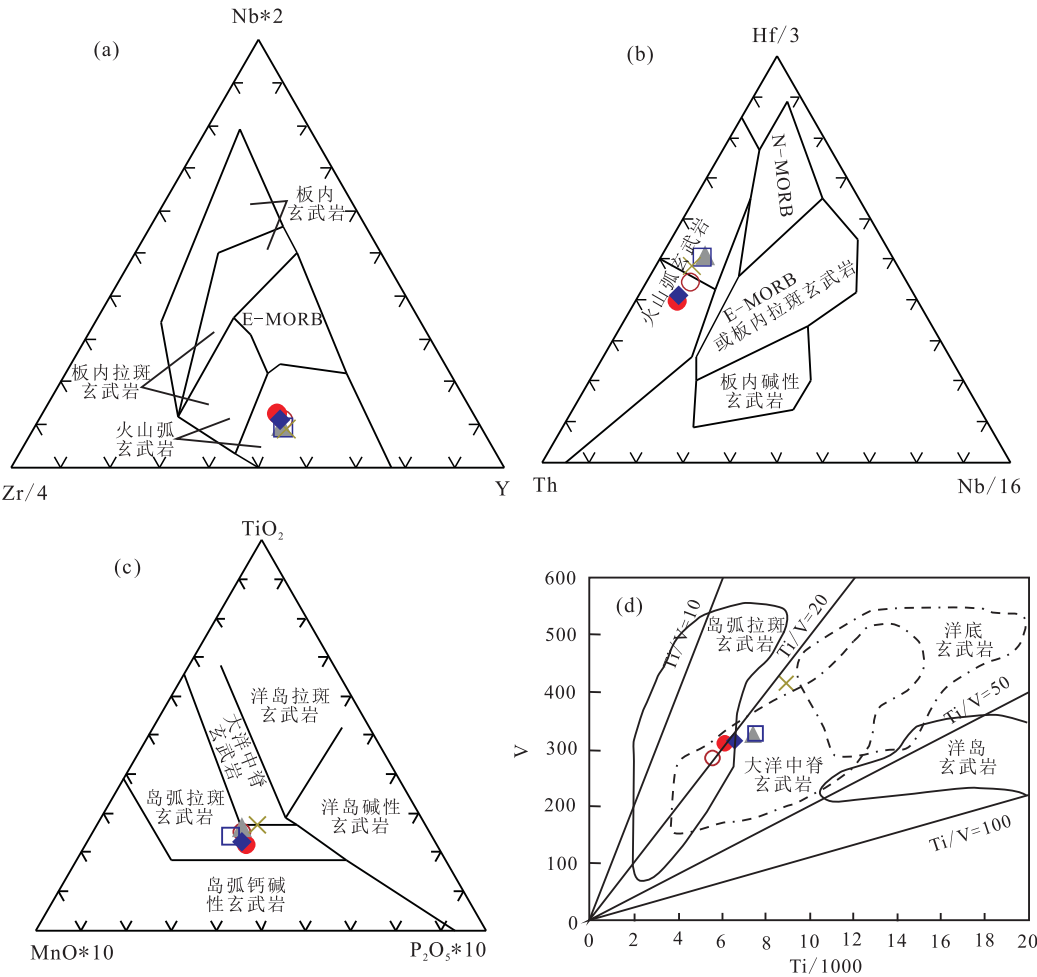


图6 安山玄武岩角砾的大地构造环境判别图解(图例同图4,底图据 Wood,1980; Shervais,1982; Mullen,1983; Meschede,1986)

Fig.6 The discrimination diagram for setting of the andesite basalt breccia
(legend see fig. 4, base map after Wood,1980; Shervais,1982; Mullen,1983; Mescheden,1986)

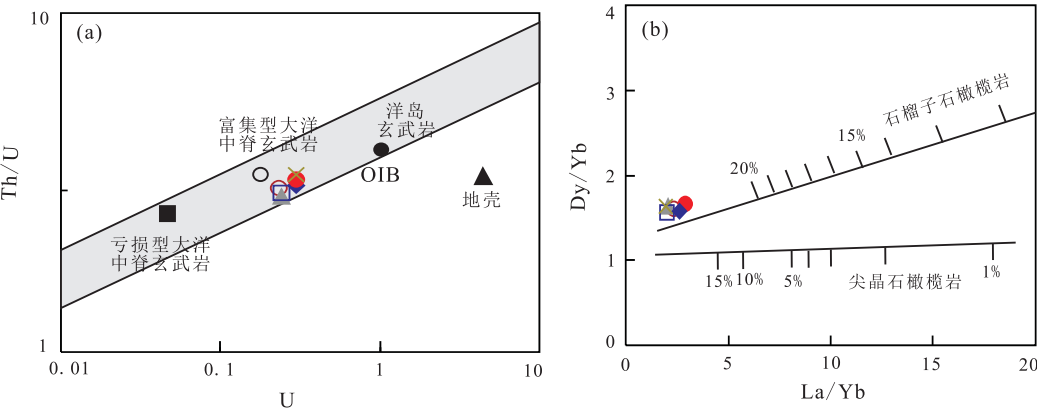


图7 (a)安山玄武岩角砾的Th/U-U 协变图解和(b) Dy/Yb-La/Yb 图解(图例同图4)

Fig.7 (a) Th/U-U covariance diagram and (b) Dy/Yb-La/Yb diagram of the andesite basalt breccia (legend see Fig. 4)

岩特征。通常认为,消减带岩浆岩的形成主要是俯冲板片下插到地幔一定深度发生脱水作用产生的流体或熔体交代上覆地幔楔的结果 (Eiler *et al.*, 2000; Elliott *et al.*, 1997)。在Th/U-U 协变图解(图7a)上,样品都落入富集地幔范围内。在火山岩地幔部分熔融模拟 Dy/Yb-La/Yb 图解(图7b)中,样品都分布于石榴子石橄榄岩区域,部分熔融程度大约为25%。样品具有低 Nb($2.3\times10^{-6}\sim2.83\times10^{-6}$)

的特征,表明岩浆不可能是由消减板片发生部分熔融产生埃达克质熔体交代上覆地幔楔而形成(Wyman *et al.*, 2000; Hollings, 2002)。研究表明, Nb 和 U 两个元素在地幔部分熔融过程中不发生明显分异, Nb/U 值可以很好的反映源区特征。样品中 Nb/U 值为 8.5 ~ 10.58, 远低于 N-MORB(50)、E-MORB(46)和原始地幔(32), 这可能是因为 U 在流体中活动性强(Peace and Perkinson, 1993), 板片脱水过程中, 大量的 U 随流体进入地幔, 导致被交代的地幔楔中 Nb/U 值下降。样品还具有低的 Ce/Pb 值(1.28 ~ 3.65, 均值 2.41)和高的 Ba/La 值(13.21 ~ 34.38, 均值 23.27), 也反映出俯冲带流体对地幔楔有很强烈的交代作用(Edwards *et al.*, 1993; Ayers, 1998)。

4.3 安山玄武岩角砾岩的物质来源

该区地层成层性好, 整体以发育集块岩、角砾岩、含角砾凝灰岩为特征, 由多个不同粒级的正粒序火山碎屑沉积物组成, 具有向斜构造, 出露形态为不规则圆盘状, 与下伏地层黑山头组为不整合接触, 顶部被花岗岩侵入未见。砾岩角砾主要为火山熔岩, 角砾大小多为 64 ~ 256 mm, 个别可达 500 mm 以上, 多为棱角状, 被细小的火山碎屑胶结, 具有典型的火山角砾岩特征, 整体为典型的火山口喷发相。沉积物整体为正粒序特征, 砾石多为棱角状, 分选较好, 形成于相对稳定的浅海相环境, 有大量间断性火山物质供给, 未经过长距离搬运, 可能是经历重力分异作用改造形成。通过对熔岩角砾的研究, 发现样品富集大离子亲石元素 Ba、K、Sr, 具有 Th、Nb、Zr 负异常及不同程度的 Ta 和 Ti 亏损, 表明其形成于火山岛弧环境。结合沉积地层特征和区域地质特征, 认为该组地层形成于弧后盆地环境。弧后盆地为该地层的形成提供了一个相对稳定的沉积环境, 板块俯冲形成的火山岛弧为其提供了大量间断性火山物质。火山爆发相喷发使得火山物质间断性喷向高空, 沉积于弧后盆地中, 在重力分异作用下呈现出层状粒序递变特征。

4.4 构造意义

熔岩角砾的岩石地球化学特征表明其形成于岛弧环境, 结合沉积和区域地质特征, 认为该套地层形成于弧后盆地环境中。研究区北部为额尔齐斯—斋桑缝合带, 其内部察尔斯克蛇绿岩(哈萨克斯坦境内)中发现大量的晚泥盆世—早石炭世生物化石(Iwata *et al.*, 1997), 说明额尔齐斯—斋桑洋盆在早石炭世依然存在。在早石炭世, 额尔齐斯—斋桑洋片向南侧的哈萨克斯坦板块俯冲, 洋片脱水产

生流体交代上部地幔楔, 地幔楔熔融上涌形成火山岛弧, 岛弧火山喷发的物质在弧后盆地沉积形成具有重力分异作用的粒序层。本次研究证明了萨吾尔地区在早石炭世仍有板块俯冲作用的存在, 同时限定了古亚洲洋的闭合时限应该晚于早石炭世。

5 结论

(1) 姜巴斯套组安山玄武岩角砾 SiO_2 含量为 50.50% ~ 52.81%, 为低钾拉斑系列和钙碱性系列, 具有高 Fe、Na, 低 Mg、K 特征。稀土总量(ΣREE)为 67.54×10^{-6} ~ 105.01×10^{-6} , LREE/HREE 为 2.34 ~ 2.95。稀土配分模式图上, 样品具有轻稀土略微富集的右倾, 发育弱的 δEu (平均值 0.95) 负异常, 轻重稀土分异不明显。原始地幔标准化蛛网图上, 样品富集大离子亲石元素 Ba、K、Sr, 亏损 Th、Nb、Zr, 类似于消减作用下的低钾拉斑玄武岩特征。

(2) 安山玄武岩角砾的微量元素 Ta (0.37×10^{-6} ~ 0.71×10^{-6})、Nb (2.3×10^{-6} ~ 2.83×10^{-6}) 含量、Nb/La (0.39 ~ 0.45)、Th/Yb (0.24 ~ 0.44)、Hf/Th (2.31 ~ 3.84)、Th/Nb (0.27 ~ 0.36) 值均与岛弧玄武岩特征相似。在稳定微量元素环境判别图上, 都落入岛弧玄武岩范围。通过对特征元素及比值分析, 认为安山玄武岩角砾形成于俯冲带流体交代的地幔楔。

(3) 通过对地层和沉积特征的研究, 发现砾石多为棱角状, 分选较好, 形成于相对稳定的浅海相环境, 有大量间断性火山物质供给, 未经过长距离搬运, 推测可能是经历了重力分异作用的改造, 形成具有粒序特征的沉积地层。弧后盆地为其提供了一个相对稳定的沉积环境, 板块俯冲形成的火山岛弧提供了大量间断性火山物质。同时也证明萨吾尔地区在早石炭世仍有板块俯冲作用的存在, 限定了古亚洲洋的闭合时限。

参考文献 (References):

- Ayers J. 1998. Trace element modeling of aqueous fluid-peridotite interaction in the mantle wedge of subduction zones. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 132(4): 390-404
- Chen J F, Han B F, Ji J Q, Zhang L, Xu Z, He G Q, Wang T. 2010. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of Paleozoic plutons in northern West Junggar, North Xinjiang, China. *Lithos*, 115(1-4): 137-152
- Condie K C. 1989. Geochemical changes in basalts and andesites across the archean-proterozoic boundary: Identification and significance. *Lithos*, 23(1-2): 1-18
- Edwards C M H, Morris J D, Thirlwall M F. 1993. Separating mantle from slab signatures in arc lavas using B/Be and radiogenic isotope

- systematics. *Nature*, 362(6420): 530–533
- Eiler J M, Crawford A, Elliott T, Farley K A, Valley J V, Stöckhert P. 2000. Oxygen isotope geochemistry of oceanic arc lavas. *Journal of Petrology*, 41(2): 229–256
- Elliott T, Plank T, Zindler A, White W, Bourdon B. 1997. Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc. *Journal of Geophysical Research*, 102(B7): 14991–15019
- Geng H Y, Sun M, Yuan C, Xiao W J, Xian W S, Zhao G C, Zhang L F, Wong K, Wu F Y. 2009. Geochemical Sr-Nd and zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar Xinjiang Implications for ridge subduction? *Chemical Geology*, 266(3–4): 364–389
- Han B F, Guo Z J, Zhang Z C, Zhang L, Chen J F, Song B. 2010. Age, geochemistry and tectonic implications of a late Paleozoic stitiching pluton in the North Tian Shan suture zone, Western China. *Geological Society of America Bulletin*, 122(3–4): 627–640
- Hollings P. 2002. Archean Nb-enriched basalts in the northern Superior province. *Lithos*, 64(1–2): 1–14
- Iwata K, Obut O T, Buslov M M. 1997. Devonian and Lower Carboniferous radiolarians from the Chara ophiolite belt, East Kazakhstan. *News of Osaka Micropaleontologist*, (10): 27–32
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56(3–4): 207–218
- Mullen E D. 1983. MnO/TiO₂/P₂O₅: A minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 62(1): 53–62
- Peace J A, Perkinson I J. 1993. Trace element models for mantle melting: Application to volcanic arc petrogenesis. *Geological Society, London, Special Publication*, 76(1): 373–403
- Şengör A M C, Natalin B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364(6435): 299–307
- Shen P, Shen Y C, Liu T B, Li G M, Zeng Q D. 2008. Geology and geochemistry of the Early Carboniferous eastern Sawur caldera complex and associated gold epithermal mineralization Sawur Mountains, Xinjiang, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2–4): 259–279
- Shervais J W. 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 59(1): 101–118
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Geological society, London, Special Publications*, 42(1): 313–345
- Thompson R N. 1982. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, 18(1): 49–107
- Vladimirov A G, Kruk N N, Khromykh S V, Polyansky O P, Chervov V V, Vladimirov V G, Travin A V, Babin G A, Kuibida M L, Khomyakov V D. 2008. Permian magmatism and lithospheric deformation in the Altai caused by crustal and mantle thermal processes. *Russian Geology and Geophysics*, 49(7): 468–479(in Russian)
- Windley B F, Alexeev D, Xiao W J, Kroner A, Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society*, 164(1): 31–47
- 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. *Earth and Planetary Science Letters*, 50(1): 11–30
- Wyman D A, Ayer J A, Devaney J R. 2000. Niobium-enriched basalts from the Wabigoon subprovince, Canada: Evidence for adakitic metasomatism above an Archean subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 179(1): 21–30
- Xiao W J, Han C M, Yuan C, Sun M, Lin S F, Chen H L, Li Z L, Li J L, Sun S. 2008. Middle cambrian to permian subduction related accretionary orogenesis of North Xinjiang NW China: Implications for the tectonic evolution of Central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2–4): 102–117
- Zhao J M, Lin G D, Lu Z X, Zhang X K, Zhao G Z. 2003. Lithospheric structure and dynamic processes of the Tianshan orogenic belt and the Junggar basin. *Tectonophysics*, 376(3–4): 199–239
- Zhou T F, Yuan F, Fan Y, Zhang D Y, Cooke D, Zhao G C. 2008. Granites in the Sawuer region of the west Junggar, Xinjiang Province, China: Geochronological and geochemical characteristics and their geodynamic significance. *Lithos*, 106(3–4): 191–206
- Zhu Y F, Zhang L F, Gu L B, Guo X, Zhou J. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 50(19): 2201–2212.
- 陈家富, 韩宝福, 张磊. 2010. 西准噶尔北部晚古生代两期侵入岩的地球化学、Sr-Nd 同位素特征及其地质意义. *岩石学报*, 26(8): 2317–2335
- 范裕, 周涛发, 袁峰, 谭绿贵, Cooke D, Meffer S, 杨文平, 何立新. 2007. 新疆西准噶尔地区塔斯泰岩体锆石 LA-ICPMS 年龄及其意义. *岩石学报*, 23(8): 1901–1908
- 高山林, 何治亮, 周祖翼. 2006. 西准噶尔克拉玛依花岗岩体地球化学特征及其意义. *新疆地质*, 24(2): 125–130
- 韩宝福, 郭召杰, 何国琦. 2010. “钉合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限. *岩石学报*, 6(8): 2233–2246
- 韩宝福, 李建清, 宋彪, 陈立辉, 张磊. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限. *岩石学报*, 22(5): 1077–1086
- 韩宝福. 2007. 后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性. *地学前缘*, 14(3): 64–72
- 何登发, 陈新发, 况军, 袁航, 吴晓智, 杜鹏, 唐勇. 2010. 西准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特征及勘探前景. *石油学报*, 31(1): 1–11
- 金成伟, 张秀棋. 1993. 新疆西准噶尔花岗岩类的时代及其成因. *地质科学*, 28(1): 28–36
- 晋慧娟, 李育慈. 1998. 准噶尔盆地西北缘石炭纪生物成因的沉积构造研究. *科学通报*, 43(17): 1888–1891
- 李锦铁. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. *地质论评*, 50(3): 304–322
- 李锦铁, 王克卓, 孙桂华, 莫申国, 李文铅, 杨天南, 高立明. 2006. 东天山吐哈盆地南缘古生代活动陆缘残片: 中亚地区古亚洲洋板块俯冲的地质记录. *岩石学报*, 22(5): 1087–1102
- 毛启贵, 肖文交, 韩春明, 孙敏, 袁超, 闫臻, 李继亮, 雍拥, 张继恩.

2006. 新疆东天山白石泉铜镍矿床基性-超基性岩体锆石 U-Pb 同位素年龄、地球化学特征及其对古亚洲洋闭合时限的制约. 岩石学报, 22(1): 153-162
- 沈远超, 金成伟. 1993. 西准噶尔地区岩浆活动与金矿化作用. 北京: 科学出版社: 113-171
- 苏玉平, 唐红峰, 侯广顺, 刘从强. 2006. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质 A 型花岗岩的地球化学研究. 地球化学, 35(1): 5-67.
- 谭绿贵. 2008. 新疆西准噶尔恰其海后碰撞花岗岩. 吉林大学学报(地球科学版), 38(6): 980-987
- 唐功建, 王强, 赵振华, Wyman D A, 陈海红, 贾小辉, 姜子琦. 2009. 西准噶尔包古图成矿斑岩年代学与地球化学: 岩石成因与构造、铜金成矿意义. 地球科学: 中国地质大学学报, 34(1): 56-74
- 王福同. 2006. 新疆维吾尔自治区古地理及地质生态图集. 北京: 中国地图出版社
- 王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿. 地质学报, 80(1): 23-31
- 王元龙, 成守德. 2001. 新疆地壳演化与成矿. 地质科学, 36(2): 129-143
- 肖文交, 韩春明, 袁超, 陈汉林, 孙敏, 林寿发, 厉子龙, 毛启贵, 张继恩, 孙枢, 李继亮. 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. 岩石学报, 22(5): 1062-1076
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1986. 塔克台 L-45-7 和布克赛尔幅 L-45-8 1:50 万区域地质调查报告
- 袁峰, 周涛发, 谭绿贵, 范裕, 杨文平, 何立新, 岳书仓. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区 I 型花岗岩同位素精确定年及其意义. 岩石学报, 22(5): 1238-1248
- 张连昌, 万博, 焦学军, 张锐. 2006. 西准包古图含铜斑岩的埃达克岩特征及其地质意义. 中国地质, 33(3): 626-631
- 周涛发, 袁峰, 杨文平, 何立新, 谭绿贵, 范裕, 岳书仓. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区二叠纪火山活动规律. 中国地质, 33(3): 553-558
- 朱永峰, 徐新. 2006. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩. 岩石学报, 22(12): 2833-2842

(本文责任编辑: 龚超颖)

• 招聘信息 •

教学科研岗位招聘信息:

1. 中山大学地球科学与地质工程学院招聘专职科研系列特聘研究员、特聘副研究员人员。
专业要求: 地质学、地球探测与信息技术(含地球物理)、地质工程(含岩土工程)。
<http://gs.sysu.edu.cn/Item/2357.aspx>
2. 中山大学地理科学与规划学院招聘专职科研系列特聘研究员、特聘副研究员人员。
专业要求: 自然地理学、水资源与环境、地理信息系统类等。
<http://gp.sysu.edu.cn/News.aspx?TypeID=35f5a76d-ba93-496e-a06e-12a126b1939e>
3. 东华理工大学招聘高层次领军人才。
专业要求: 矿产普查与勘探、矿物学岩石学矿床学、构造地质学、固体地球物理、地球探测与信息技术等。<http://rsc.ecit.edu.cn/show.asp?id=409>
4. 成都理工大学招聘高层次人才。
<http://www.gecrew.com/zhaopin/cdlgdx/4084.html>
5. 昆明理工大学招聘专任教师。
专业要求: 地球探测与信息技术、环境科学、岩土工程等。

<http://ryzp.kmust.edu.cn/enroll/planbaoming.aspx>

6. 河南理工大学招聘教师、科研人员。
专业要求: 矿业工程、地图学与地理信息系统、矿物加工工程、岩土工程等。
<http://www.hpu.edu.cn/www/channels/5683.html>
7. 桂林理工大学招聘专任教师。
专业要求: 地质学、地球化学、地球探测与信息技术、水文地质、岩土工程等。
<http://departs.glut.edu.cn/rsc/detail.aspx?articleid=216>

博士后招聘信息:

1. 中国科学院地理科学与资源研究所招聘博士后。
http://www.igsnr.ac.cn/bshldz/bsh_zp/
2. 中山大学招聘地质、环境、海洋类等博士后。
<http://rsc.sysu.edu.cn/PostDoctor/Article/ShowArticle.asp?ArticleID=1662>

其他:

1. 同济大学海洋地质国家重点实验室招聘实验室主任。
<http://news.tongji.edu.cn/classid-20-newsid-48173-t-show.html>

(杨志军 辑)