

文章编号: 1006-6616 (2017) 01-0150-11

中亚造山带西准噶尔晚古生代 洋陆转换与构造演化 ——来自晚石炭世流纹岩的证据

史建杰, 陈宣华, 丁伟翠, 李冰
(中国地质科学院地球深部探测中心, 北京 100037)

摘要: 本文在中亚造山带西部的西准噶尔地区新发现晚石炭世柱状节理流纹岩, 并根据其地球化学特征探讨了其形成的构造环境。岩石化学分析的结果表明, 柱状节理流纹岩的主量元素具有高钾低钠的特征, 属于高钾钙碱性和钙碱性岩浆系列; 球粒陨石标准化稀土元素分配模式表现为 V 字型, Eu 亏损, 说明发生了斜长石的结晶分异。大离子亲石元素 (LILE) Rb、K 相对富集, 高场强元素 (HFSE) Nb、Ta 出现负异常, 反映了俯冲带岩浆的特征。研究表明该流纹岩属于 A2 型, 形成于后造山的伸展构造环境; 与该地区晚石炭世大型花岗岩类岩基具有同源性, 同属于后造山伸展环境下的富碱岩浆作用。对比我国东部沿海中生代柱状节理流纹岩的大陆边缘构造环境, 本研究认为西准噶尔地区在晚石炭世存在由大洋俯冲向陆内环境转变的洋陆转换特征; 之前的大洋俯冲主要发育在克拉玛依-包古图一带, 具有准噶尔洋板块向西北方向在哈萨克斯坦微陆块之下俯冲的构造极性。正是由晚石炭世柱状节理流纹岩所代表的后造山伸展环境下的富碱岩浆作用, 终结了该地区洋陆过渡带环境。

关键词: 西准噶尔; 流纹岩; 地球化学; 洋陆转换; 构造演化

中图分类号: P588.141 P59

文献标识码: A

中亚造山带西部的西准噶尔地区, 是晚古生代发育洋陆转换的最显著地区之一。前人在该地区的研究多有分歧, 对大洋板块的俯冲极性和洋陆过渡及转换的性质存在诸多的争论^[1-5]。本文根据近期在西准噶尔地区新发现的晚石炭世柱状节理流纹岩的研究, 提出该地区晚古生代洋陆分布的新格局, 以及大洋板块俯冲与大陆地壳增生的新模式。同时, 指出了达拉布特左行走滑断裂在晚古生代洋陆转换过程中的作用及其对洋陆过渡带结构的改造。

1 大地构造背景与地质概况

中亚造山带 (CAOB) 因其巨量的金属和非金

属矿产资源而闻名于世, 构成中亚成矿域 (CAMD) 巨型成矿系统^[6-12]。中亚造山带西部的巴尔喀什-准噶尔成矿带 (BJMB) 经历了古生代多阶段俯冲、地壳垂向增生和侧向生长的造山历史^[13], 成矿作用极其复杂多样, 形成晚石炭世一早二叠世成矿作用大爆发^[14-15]。西准噶尔成矿带是中亚成矿域核心区巴尔喀什成矿带的东延部分, 发育多条泥盆纪蛇绿岩带和可能的泥盆纪地幔柱构造^[16]、石炭纪大洋板块俯冲 (包括可能的洋中脊俯冲) 和岛弧建造、晚石炭世后造山富碱火成岩带^[17] 和二叠纪伸展岩墙群, 并受到二叠纪以来左行走滑断裂 (达拉布特断裂) 和中生代以来右行走滑断裂 (成吉斯-准噶尔断裂) 的改造。期间, 发生了从石炭纪沟-弧-盆构造体系向二叠纪陆内构造演化的洋陆转换过程, 发育

收稿日期: 2016-10-12

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目暨国家 305 项目 (2007BAB25B02); 中国地质调查局地质调查项目 (DD20160083) 国家深部探测技术与实验研究专项 (SinoProbe-08); 祁连-天山盆山结合带深部地质调查 (DD20160083)

作者简介: 史建杰 (1992-), 男, 硕士研究生, 构造地质学专业。E-mail: 1311618693@qq.com

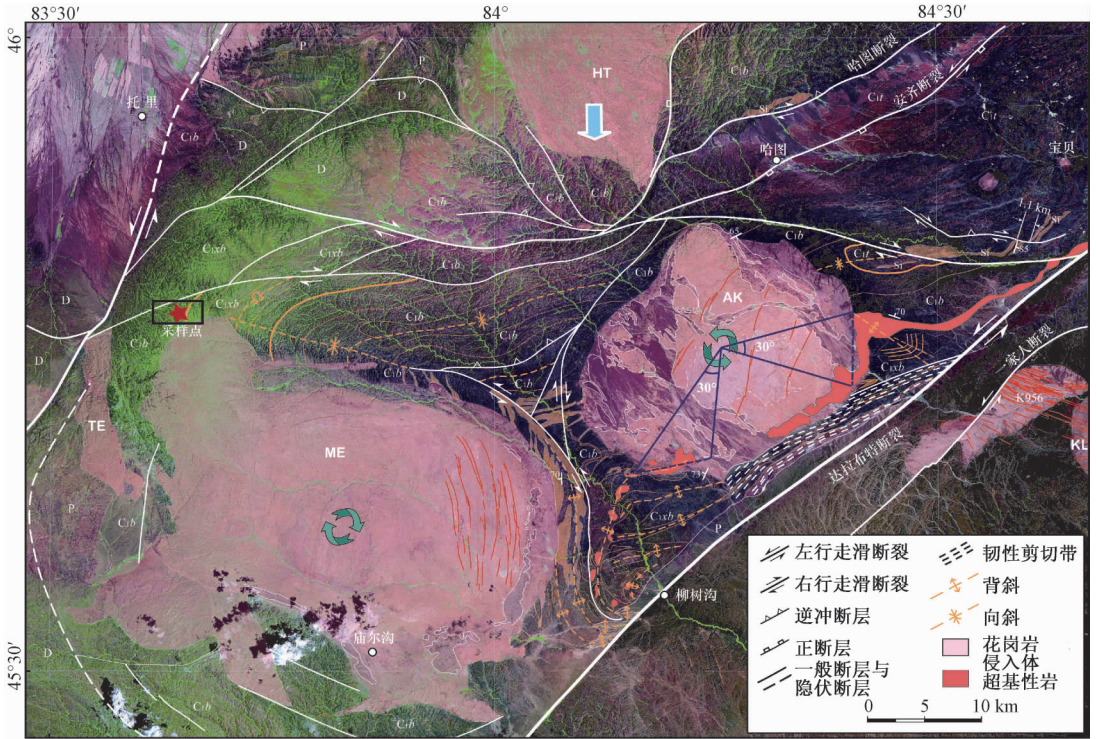
通讯作者: 陈宣华 (1967-), 男, 博士, 研究员, 从事构造地质学和矿床资源研究。E-mail: xhchen@cags.ac.cn

了石炭系海相陆源碎屑岩-火山岩沉积组合向二叠系陆相磨拉石的变化^[18]。

西准噶尔成矿带为(滨)巴尔喀什泥盆纪-石炭纪残余洋盆东延部分的北支, 分布有早古生代以来的沉积地层, 包括奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系、第四系等, 以泥盆系、石炭系为主。泥盆系以库鲁木迪组为主, 为一套沉积火山岩系, 由凝灰质砂岩、层凝灰岩组成; 石炭系分布最为广泛, 为下、上二个统, 是一套巨厚的半深海-大陆坡相火山-碎屑沉积建造。下石炭统

(C₁) 主要由凝灰岩、凝灰质粉砂岩、硅质岩、厚层块状凝灰质含砾杂砂岩等组成, 为一套巨厚的深海-半深海-大陆坡相火山-碎屑沉积建造, 自下而上分为希贝库拉斯组 (C_{1xb})、包古图组 (C_{1b}) 和太勒古拉组 (C_{1t})。

本文研究的流纹岩样品, 采自西准噶尔地区庙尔沟岩体西北侧新发现的柱状节理流纹岩产地, 处在石炭系海相陆源碎屑岩-火山岩沉积组合之上, 在地层层序上应属于夹持在褶皱变形下的石炭统包古图组之中的上石炭统大陆边缘相火山岩地层(见图 1)。



图中: P 二叠世, C_{1t} 石炭系太勒古拉组, C_{1b} 石炭系包古图组, C_{1xb} 石炭系希贝库拉斯组, D 泥盆世; HT 哈图岩体, ME 庙尔沟岩体, TE 塔尔根岩体, AK 阿克巴斯陶岩体, K956 岩体, KL 克拉玛依岩体

图 1 西准噶尔地区构造体系遥感解译及流纹岩采样点位置

Fig. 1 Fault tectonic system in the West Junggar and the location of the rhyolites from the remote sensing interpretation map

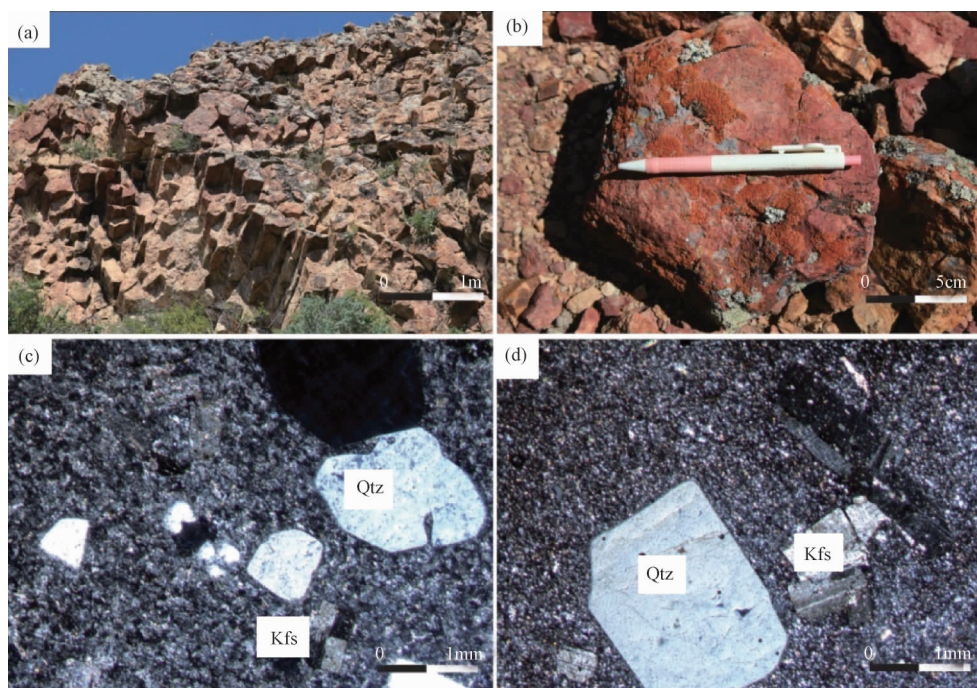
2 柱状节理流纹岩特征

庙尔沟岩体北部地区发育的晚石炭世流纹岩柱状节理属于原生构造节理, 流纹岩柱状节理顶面发育气孔构造, 并且呈四方柱、五方柱和六方柱节理产出, 以六边形柱体为主, 平均柱长大于 5 m (见图 2)。流纹岩柱横截面呈稍扁多边形。

统计结果表明, 柱状节理流纹岩中, 四方柱横截面的长轴和短轴分别为 26 cm 和 23 cm, 五方

柱横截面的长轴和短轴分别为 28 ~ 34 cm 和 25 ~ 26 cm, 六方柱横截面的长轴和短轴分别为 37 ~ 47 cm 和 27 ~ 38 cm。流纹岩岩层的层面产状为倾向 121°—141°, 倾角 52°—65°; 流纹岩柱的产状为倾伏向 257°—275°, 倾伏角 21°—32°。流纹岩柱基本上垂直于流纹岩岩层的层面而产生。

采集的流纹岩样品显微特征为斑状结构, 基质具霏细-细晶结构, 流纹构造不发育, 斑晶主要为石英、钾长石(见图 2)。斑晶体积分数为 20%, 其中石英呈半自形粒状, 粒径 0.5 ~ 2.5 mm,



(a) 柱状流纹岩整体产出照片；(b) 柱状流纹岩横切面手标本；(c)、(d) 镜下照片；Qtz—石英，Kfs—钾长石

图2 柱状节理流纹岩特征

Fig. 2 Photography and microstructure of the rhyolites samples with columnar joints

占斑晶的体积分数为 50%；碱性长石呈自形长柱状或短柱状，可见卡式双晶，柱长 0.5 ~ 1.0 mm，占斑晶的体积分数为 45%；黑云母体积分数为 5%。

柱状节理流纹岩给出的岩层现有产状（倾向 121°—141°，倾角 52°—65°）反映了哈图岩体向南挤压、庙尔沟岩体与阿克巴斯陶岩体相向旋转过程中的褶皱作用，这些褶皱构造可能与二叠纪以来的达拉布特断裂左行走滑作用（滑移量在 60 km 以上）密切相关，反映了晚古生代达拉布特断裂作用（包括其早期的韧性剪切作用）过程中构造变形的一致性（见图 1、图 3）。

3 岩石化学特征

3.1 样品制备与实验条件

流纹岩的岩石地球化学分析由中国地质科学院国家地质实验测试中心完成。对于进行主量、微量元素分析的样品，清除表面杂质后破碎成岩屑，经过磨样机磨至 200 目以下的粉末供化学分析。其中，主量元素 FeO 的检测采用标准是 GB/T14506. 14-1993；Na₂O、MgO、Al₂O₃、SiO₂、P₂O₅、K₂O、CaO、TiO₂、MnO、Fe₂O₃ 检测采用标准

是 GB/T 14506. 28-1993；H₂O⁺ 检测采用标准是 GB/T 14506. 2-1993；CO₂ 检测采用标准是 GB9835-1988；灼失量 LOI 检测采用标准是 LY/T1253-1999。除 FeO 采用容量滴定法外，其余主量元素采用 X-荧光光谱法（XRF），测试仪器是 X-荧光光谱仪。微量元素 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Pb、Ba、Rb、Sr、Th、U、Ta、Nb、Zr、Hf、Y 含量的检测标准为 DZ/T0223-2001，采用酸熔法，检测仪器为 Excell 型等离子质谱（ICP-MS）。

3.2 分析结果

西准噶尔地区流纹岩样品主量元素和微量元素分析结果见表 1、表 2。本研究采集样品经研究表明全部属于流纹岩（见图 4a）。岩石化学分析结果表明，柱状节理流纹岩主元素组成特征为：SiO₂ 含量高（75.78% ~ 79.20%）；Al₂O₃ 含量中等（12.21% ~ 13.19%）；全碱（K₂O + Na₂O）含量为 6.14% ~ 8.05%，其中 K₂O 为 2.09% ~ 4.72%，K₂O/Na₂O 为 0.38 ~ 3.05，但未出现 Ne、Lc、Ac 等过碱性矿物；TiO₂（0.09% ~ 0.24%）、CaO（0.15% ~ 0.99%）、MgO（0.06% ~ 0.18%）含量低。岩石化学计算结果表明，岩石的里特曼指数 σ ($\sigma = (K_2O + Na_2O)^2 / (SiO_2 - 43)$) 小于 2，

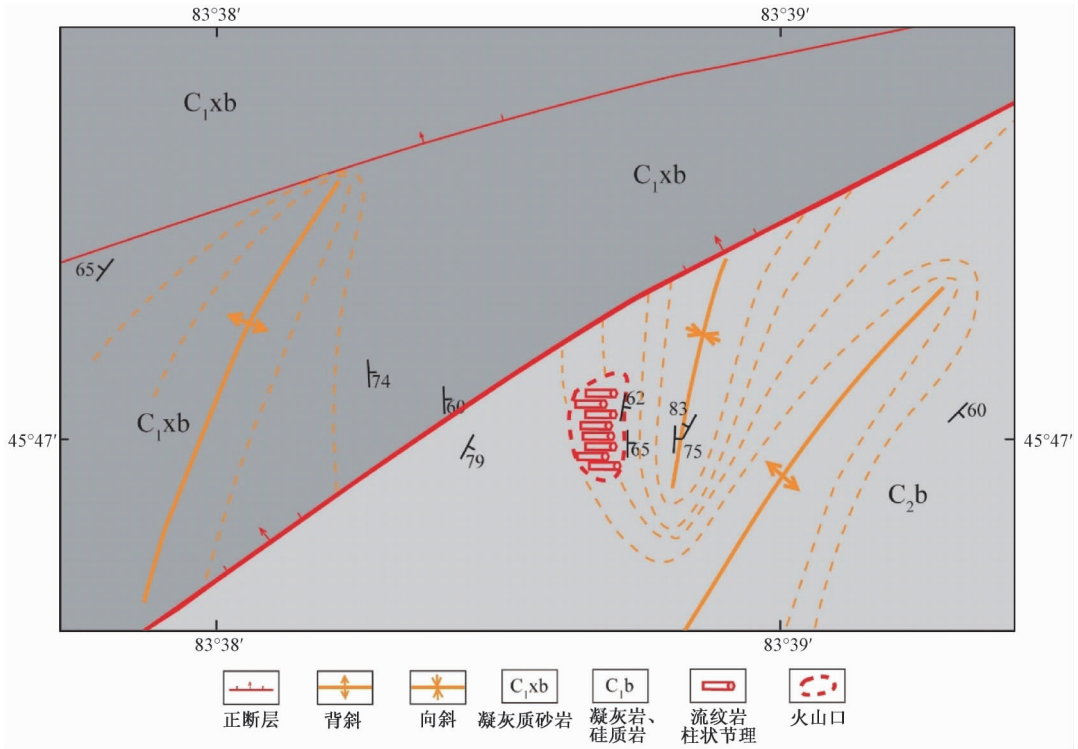


图 3 柱状节理流纹岩产出简图【位置见图 1 黑色框内】

Fig. 3 The occurrence of the Rhyolites with columnar joints

表 1 西准噶尔地区流纹岩样品主量元素 (wt%) 分析结果

Table 1 Major elements (wt%) of rhyolites from the West Junggar

样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	CO ₂	H ₂ O ⁺	LOI	TOTAL
SJ150731-6-1	79.20	13.19	0.19	0.58	0.33	4.63	0.18	0.04	1.51	0.04	0.09	0.33	1.62	1.62	101.26
SJ150731-6-2	76.88	12.73	0.99	0.81	0.48	4.72	0.10	0.01	3.14	0.03	0.11	0.5	0.78	1.37	100.74
SJ150803-1-3	77.51	12.53	0.58	0.90	0.55	4.56	0.11	0.01	3.11	0.03	0.09	0.5	0.84	1.26	100.57
SJ150803-1-4	76.45	12.90	1.23	1.23	0.26	4.63	0.09	0.01	3.05	0.04	0.10	1.13	0.96	1.74	101.18
SJ150803-2-1	75.78	12.57	0.15	2.89	0.18	2.92	0.06	0.05	5.13	0.02	0.24	0.5	0.58	0.59	99.92
SJ150803-3-1	77.99	12.21	0.19	1.47	0.25	2.09	0.06	0.02	5.47	0.03	0.20	0.33	0.44	0.49	100.26

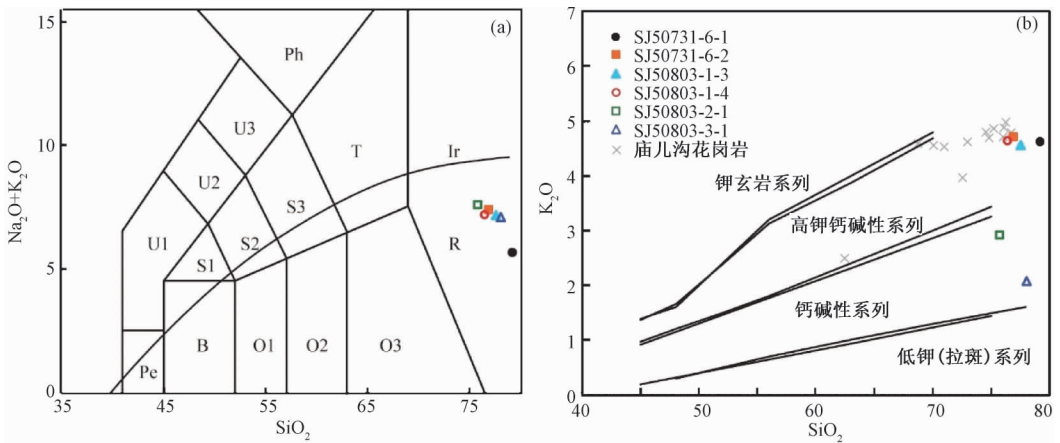
在 1.04 ~ 1.98 间变化, 平均为 1.66, 与庙儿沟花岗岩^[23]基本一致, 主要为高钾钙碱性系列岩石, 少数为钙碱性系列岩石 (见图 4b)。哈克图解 (见图 5) 中, 庙儿沟岩体样品与流纹岩样品除 Na₂O 外大多数的主量元素与 SiO₂ 呈相关负线性关系, 岩浆表现出最显著的岩浆分异结晶; 且由于庙儿沟与流纹岩地理位置较近, 表明流纹岩和庙儿沟岩体可能同属一个岩浆源区。

本文流纹岩具有如下的微量元素特征: 与庙儿沟花岗岩稀土配分模式基本相同, 流纹岩样品的稀土元素配分模式 (见图 6a) 为轻稀土富集型, 大部分样品具明显的 Eu 负异常, 部分样品 Eu 负异常不明显, 样品稀土总量变化于 144.14 × 10⁻⁶

~ 187.85 × 10⁻⁶, 平均为 170.83 × 10⁻⁶, 轻稀土总量 (ΣLREE, 平均为 136.32 × 10⁻⁶) 明显高于重稀土 (ΣHREE, 平均为 34.51 × 10⁻⁶), 轻重稀土分馏明显 ((La/Yb)_N 变化范围 2.71 ~ 4.40, 平均为 3.51; δEu 平均仅为 0.20, 相对亏损 Sr, 具有较明显的负 Eu 异常, 说明流纹岩和庙儿沟花岗岩岩浆属于同一源区, 并发生了斜长石的分离结晶作用。在原始地幔标准化的微量元素蛛网图 (见图 6b) 上, 所有样品 (流纹岩和庙儿沟花岗岩) 均表现为富集大离子亲石元素 (LILE) Rb、K、Ba、Th、U 和轻稀土元素, 相对亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti、P 和重稀土元素。上述特点表明了他们与俯冲带岩浆地球化学特征相类似^[23]。

表 2 西准噶尔地区流纹岩样品微量元素分析结果
Table 2 Trace elements (10^{-6}) of rhyolites from the West Junggar

微量元素	样品中微量元素含量/ 10^{-6}					
	SJ150731-6-1	SJ150731-6-2	SJ150803-1-3	SJ150803-1-4	SJ150803-2-1	SJ150803-3-1
La	25.10	21.00	24.20	24.40	32.60	27.90
Ce	61.50	51.90	58.90	59.30	58.50	60.30
Pr	8.63	6.71	7.97	8.09	9.78	8.31
Nd	35.40	28.80	32.90	33.00	41.40	37.00
Sm	9.39	6.98	8.19	8.28	9.70	8.30
Eu	0.17	0.17	0.16	0.18	1.72	1.11
Gd	10.00	6.83	8.24	8.44	9.27	8.26
Tb	1.80	1.23	1.48	1.54	1.48	1.37
Dy	12.20	8.10	9.66	9.98	9.24	9.02
Ho	2.65	1.68	2.07	2.08	1.91	1.87
Er	7.32	4.83	5.70	6.22	5.33	5.40
Tm	1.07	0.70	0.83	0.89	0.80	0.80
Yb	6.64	4.54	4.95	5.47	5.31	5.11
Lu	0.99	0.67	0.72	0.81	0.81	0.74
Y	69.20	43.70	51.60	55.90	49.40	46.30
Ba	257.00	207.00	201.00	196.00	871.00	542.00
Rb	138.00	106.00	103.00	106.00	63.90	53.30
Th	12.10	9.55	11.30	11.20	6.41	7.66
Lu	0.99	0.67	0.72	0.81	0.81	0.74
Nb	6.23	6.27	6.30	6.47	8.95	9.26
Ta	0.63	0.64	0.59	0.57	0.65	0.64
Sr	24.30	32.50	33.20	46.70	33.90	42.70
Zr	100.00	91.30	94.20	99.20	344.00	355.00
Hf	4.41	4.12	4.15	4.30	11.10	11.60
U	3.08	2.15	2.41	2.27	2.50	2.48



(a) 火成岩岩类 TAS 分类图解 (原图据文献 [19]) (b) K_2O-SiO_2 分类图 (庙儿沟花岗岩数据据文献 [20], 原图据文献 [21, 22])
Pe—苦橄玄武岩; B—玄武岩; O1—玄武安山岩; O2—安山岩; O3—英安岩; R—流纹岩; S1—粗面玄武岩; S2—玄武质粗面安山岩;
S3—粗面安山岩; T—粗面岩、粗面英安岩; F—副长石岩; U1—碱玄岩、碧玄岩; U2—响岩质碱玄岩; U3—碱玄质响岩;
Ph—响岩; Ir—Irvine 分界线 (上方为碱性, 下方为亚碱性)

图 4 西准噶尔地区流纹岩岩性判别图

Fig. 4 Classification diagrams of rhyolites from the West Junggar area

4 岩石成因探讨

4.1 岩石成因类型与构造环境判别

A 型岩浆可以与其他种类的岩浆类型 (I, S 和

M) 相区分开^[26]。本次采集的柱状节理流纹岩样品以及前人的庙儿沟花岗岩样品全部落在 A 型岩石区域内, 很明显属于 A 型岩石类型 (见图 7a—7d)。认为本文流纹岩与庙儿沟花岗岩具有同一岩浆来源。

Eby^[27] 根据地球化学特征将 A 型花岗岩分为

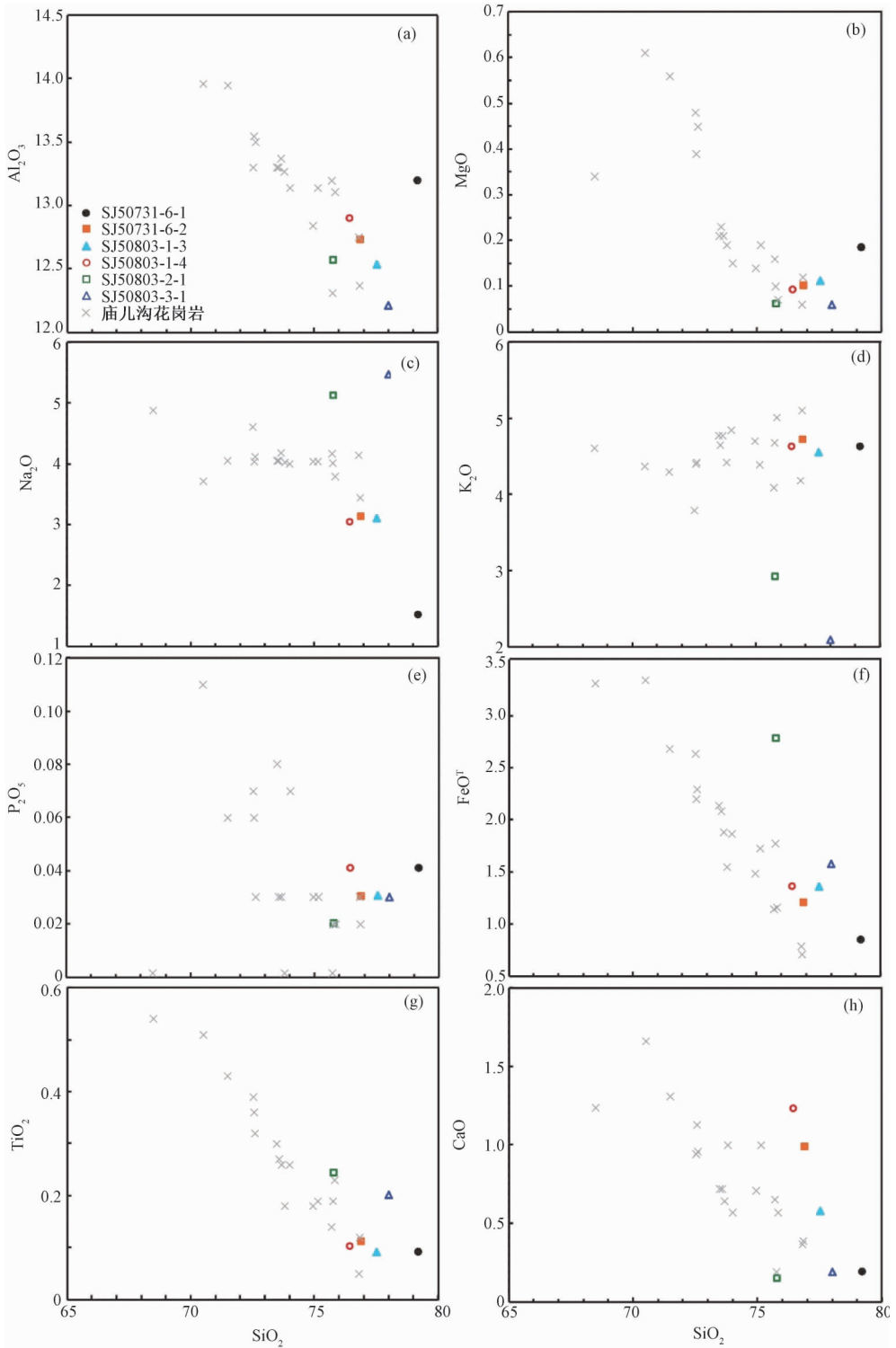


图 5 哈克图解

Fig. 5 Harker diagrams (major elements vs. SiO₂ content (wt. %))

A1 型和 A2 型, 并认为 A1 型是与洋岛岩浆来源相同的地幔分异产物, 且侵位于大陆裂谷或板内的构造环境, A2 型来源于大陆地壳或板下地壳, 且与陆-陆碰撞或岛弧岩浆作用有关。在图 7 中, 流纹岩样品和庙儿沟花岗岩全部落入 A2 区 (见图

7e、7f)。由此说明, 西准噶尔地区晚石炭世柱状节理流纹岩的形成, 可能与准噶尔洋板块向哈萨克斯坦俯冲作用有关, 都是地幔玄武岩浆演化, 或者玄武岩浆上升后与地壳混染或亏损地壳熔融的产物 (见图 9)。其岩浆可能与包

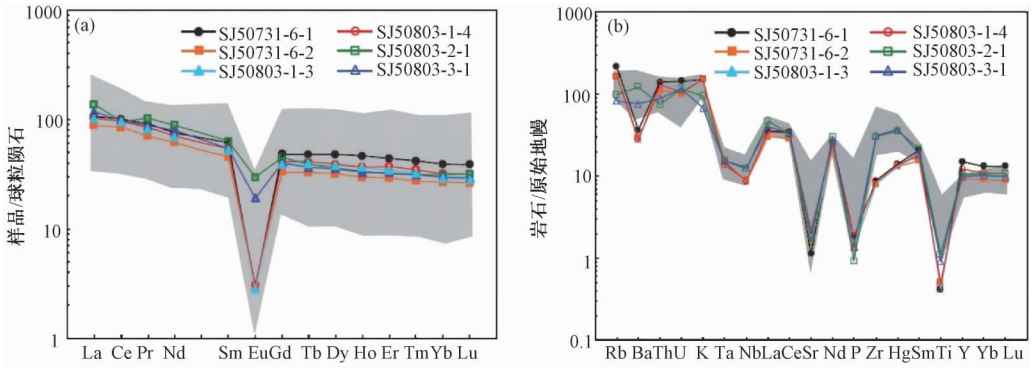


图 6 柱状节理流纹岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图 (a) 和微量元素原始地幔标准化多元素蛛网图 (b)

(原图据文献 [24 ~ 25]; 灰色部分庙儿沟花岗岩数据据文献 [22])

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantle-normalized multi-elements spider diagram (b)

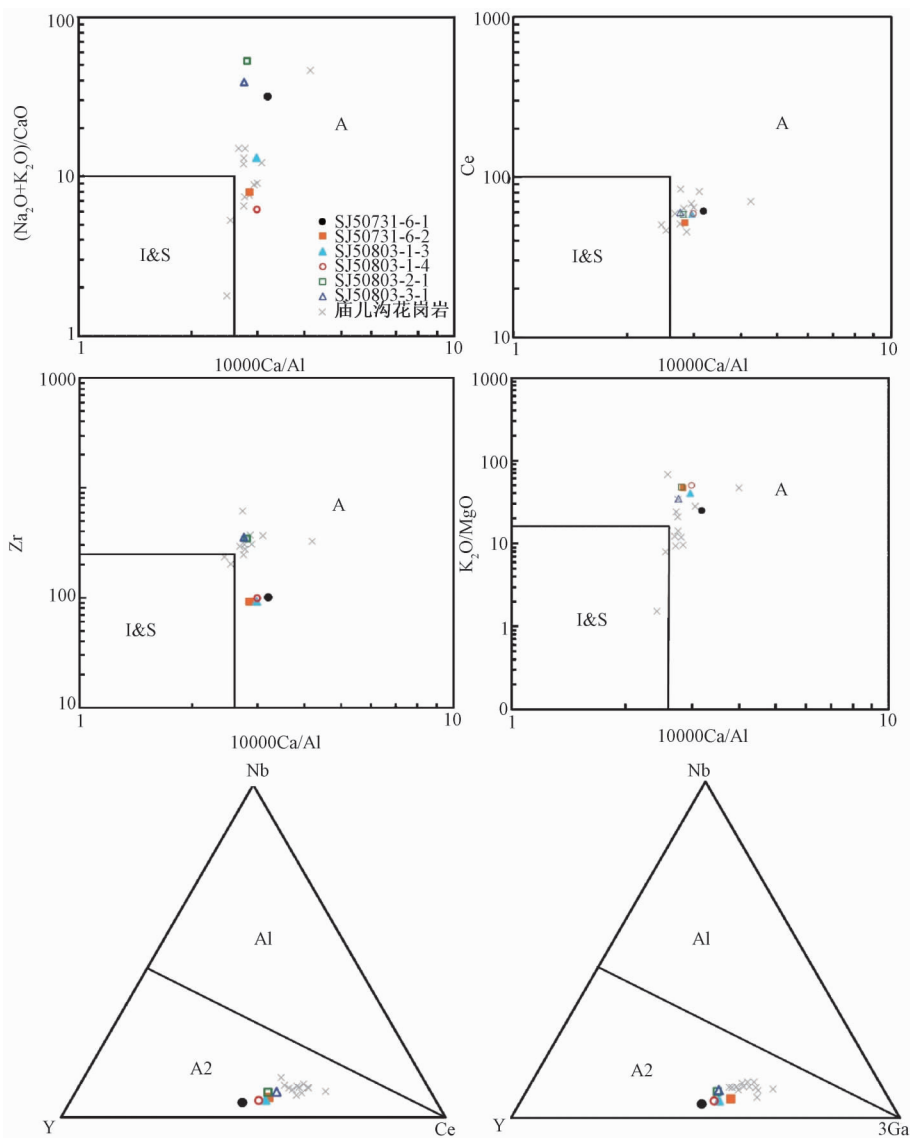
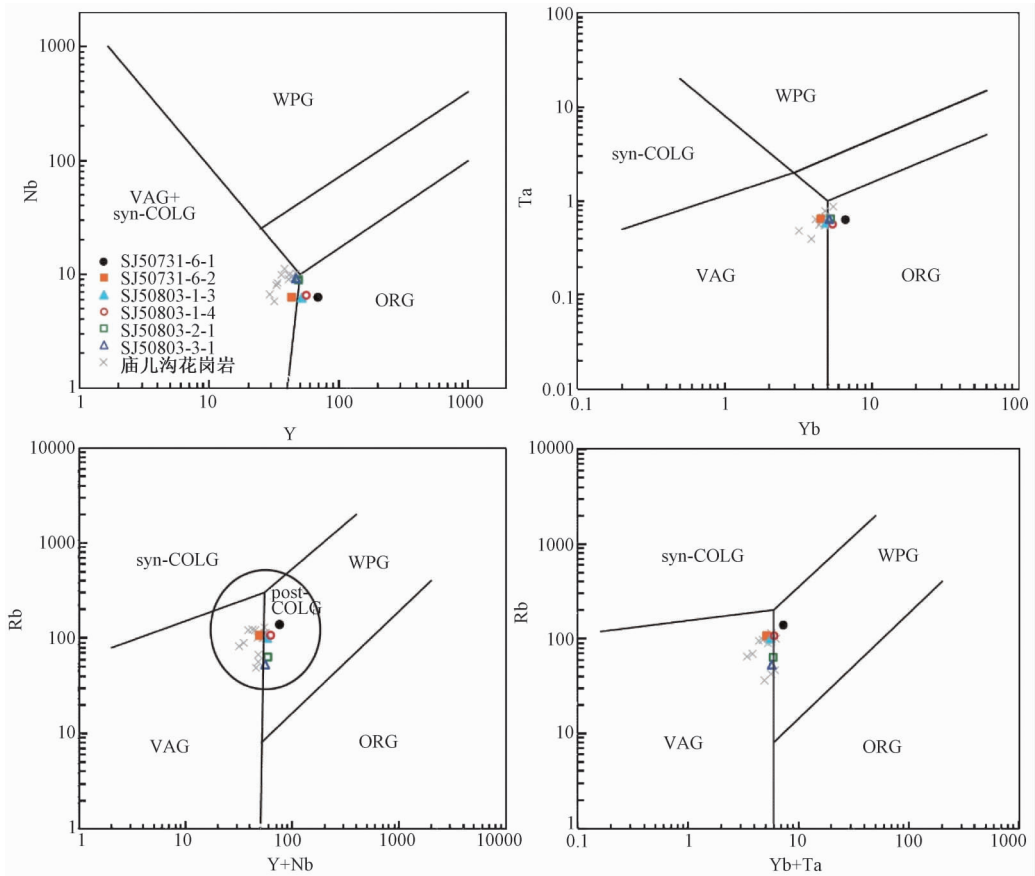


图 7 西准噶尔地区 A 型流纹岩判别图 (底图据文献 [26 ~ 29])

Fig. 7 Classification diagrams of A-type rhyolite from the West Junggar area



a—Nb-Y; b—Ta-Yb; c—Rb- (Y + Nb); d—Rb- (Yb + Ta);

syn-COLG—同碰撞花岗岩; VAG—火山岛弧花岗岩; WPG—板内花岗岩; ORG—洋脊花岗岩; post-COLG—后碰撞花岗岩

图 8 西准噶尔成矿带花岗岩类微量元素构造环境判别图解 (底图据文献 [28])

Fig. 8 Trace element tectonic setting discrimination diagrams of granitoids from the West Junggar Metallogenic Belt

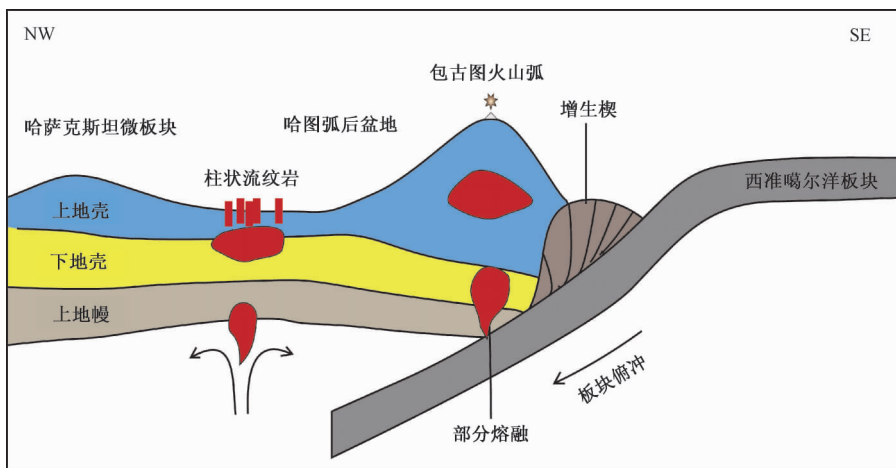


图 9 西准噶尔地区晚石炭世大地构造环境模式图

Fig. 9 A schematic showing the development of the late Carboniferous tectonic environment in the West Junggar

古图-哈图地区发育的后造山的花岗岩类岩基同源, 有大量的哈萨克斯坦微板块大陆地壳物质来源。

花岗岩的微量元素组成明显受其成岩的构造环境制约, Pearce 等^[30]对形成于不同构造背景下的大

量花岗岩微量元素进行了统计研究, 在此基础上提出了适用性较好的花岗岩构造环境的微量元素判别图。根据这些图解, 本区流纹岩样品和庙儿沟花岗岩都落在火山岛弧花岗岩 (VAG) 和板内花岗岩

(WPG)的交界处(见图8),表明本区的流纹岩和花岗岩是一种后碰撞环境下的岩石^[29]。

4.2 洋陆过渡带板块构造格局

流纹岩主要限于产出在大陆上或紧靠大陆的边缘海上^[31,33]。如日本阿苏破火山发育的新生代流纹岩,主要受西太平洋板块俯冲的影响^[32,33]。而在中国东部沿海地区,分布有大面积的侏罗纪、白垩纪流纹岩,可能与西太平洋古板块向欧亚大陆之下的俯冲作用密切相关^[32,33];构成了一条南北延伸达2000余km、平均宽度约400km的巨型古火山岩带。俄罗斯锡霍特—阿林火山岩带发育晚二叠世流纹岩,可能处在关闭之前的古亚洲洋与大陆边缘的洋陆转换带之内^[32-34]。钙碱性系列流纹岩更是常与流纹质、安山质凝灰岩、熔结凝灰岩和安山岩共生,主要产在岛弧、活动陆缘和大陆板内活动带^[33,36]。除流纹构造外,一般还发育有石泡构造。西准噶尔地区产出的早石炭世流纹岩,可以与哈萨克斯坦巴尔喀什地区产出的同时代流纹岩相对比,均反映了中亚造山带晚古生代洋陆转换带构造环境。

以往的研究多注重于柱状节理玄武岩,而较少关注柱状节理流纹岩^[31]。在西太平洋的洋陆转换带地区发育有大量的柱状节理流纹岩,其时代可能为侏罗纪和白垩纪^[32,35],如浙江乐清雁荡山、缙云仙都、吉林四平和香港等地,都有以柱状节理流纹岩著称的国家地质公园,反映了柱状节理流纹岩的洋陆转换构造环境。

由此推测,西准噶尔发育的晚石炭世流纹岩可能处在古亚洲洋关闭过程中的洋陆过渡带环境。以现在的方位而言,该流纹岩产地的东南侧发育了大洋板块(准噶尔洋)向哈萨克斯坦微陆块之下的俯冲作用(以发育岛弧和增生楔为特征)。所以,该流纹岩产地是哈萨克斯坦微陆块的大陆边缘。

就目前所发现的柱状节理流纹岩来说,西准噶尔地区晚石炭世流纹岩具有形成时代较早、保存较为完整的特征,其形成时代远远早于中国东部沿海的柱状节理流纹岩,具有重要的大地构造指示意义。

5 结论

(1) 西准噶尔地区发现晚石炭世柱状节理流纹岩,与庙儿沟花岗岩具有同源性,佐证了该地

区在晚古生代存在洋陆过渡带环境,反映了准噶尔洋板块向西北方向(现在方位)在哈萨克斯坦微陆块之下俯冲的构造极性。

(2) 正是之后的晚石炭世后造山伸展环境下的富碱岩浆作用和大型花岗岩类岩基的形成,终结了该地区洋陆过渡带环境,使之进入二叠纪陆内磨拉石建造发育阶段。

致谢 本研究工作在国家地质实验测试中心完成岩石地球化学测试分析,并得到中国地质大学(北京)张艳国的野外工作帮助,谨表衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 杨高学,李永军,刘振伟,等.西准噶尔玛依拉山组志留纪玄武岩的地球化学特征及构造意义[J].大地构造与成矿学,2012,36(1):127~136.
YANG Gao-xue, LI Yong-jun, LIU Zhen-wei, et al. Geochemistry of the Basalts from the Silurian Maylashan Formation in the West Junggar and its Tectonic Implications [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(1): 127~136.
- [2] 苏玉平,唐红峰,侯广顺,等.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[J].地球化学,2006,35(1):55~67.
SU Yu-ping, TANG Hong-feng, HOU Guang-shun, et al. Geochemistry of aluminous A-type granites along Darabut tectonic belt in West Junggar, Xinjiang [J]. Geochimica, 2006, 35(1): 55~67.
- [3] Chen, B., Arakawa, Y.. Elemental and Nd-Sr isotopic geochemistry of granitoids from the West Junggar foldbelt (NW China), with implications for Phanerozoic continental growth [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2005, 69(22): 1307~1320.
- [4] 高睿,肖龙,王国灿,等.西准噶尔晚古生代岩浆活动和构造背景[J].岩石学报,2013,29(10):3413~3434.
GAO Rui, XIAO Long, WANG Guo-can, et al. Paleozoic magmatism and tectonic setting in West Junggar [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(10): 3413~3434.
- [5] 尹继元,袁超,孙敏,等.新疆哈图早二叠世富镁闪长岩的时代、地球化学特征和可能的成因机制[J].岩石学报,2012,28(7):2171~2181.
YIN Ji-yuan, YUAN Chao, SUN Min, et al. Age, geochemical features and possible petrogenesis mechanism of Early Permian magnesian diorite in Hatu, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(7): 2171~2182.
- [6] 涂光炽.初议中亚成矿域[J].地质科学,1999,34(4):397~404.
TU Guang-zhi. On the central Asia metallogenic province [J]. Science Geologica Sinica, 1999, 34(4): 397~404.
- [7] 何国琦,朱永峰.中国新疆及其邻区地质矿产对比研究[J].中国地质,2006,33(3):451~460.

- HE Guo-qi, ZHU Yong-feng. Comparativestudy of the geology and mineral resources in Xinjiang, China, and its adjacent regions [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (3): 451 ~ 460.
- [8] 朱永峰, 何国琦, 安芳. 中亚成矿域核心地区地质演化与成矿规律 [J]. *地质通报*, 2007, 26 (9): 1167 ~ 1177.
- ZHU Yong-feng, HE Guo-qi, AN Fang. Geological evolution and metallogeny in the core part of the central Asia metallogenic domain [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26 (9): 1167 ~ 1177.
- [9] 肖文交, 舒良树, 高俊, 等. 中亚造山带大陆动力学过程与成矿作用 [J]. *新疆地质*, 2008, 26 (1): 4 ~ 8.
- XIAO Wen-jiao, SHU Liang-shu, GAO Jun, et al. Continental dynamics of the central Asian orogenic belt and its metallogeny [J]. *Xinjiang Geology*, 2008, 26 (1): 4 ~ 8.
- [10] 陈宣华, 陈正乐, 杨农. 区域成矿与矿田构造研究——构建成矿构造体系 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (1): 1 ~ 19.
- CHEN Xuan-hua, CHEN Zheng-le, YANG Nong. Study on regional mineralization and ore-field structure: Bring on the building of mineralizing tectonic systems [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (1): 1 ~ 19.
- [11] 陈宣华, 屈文俊, 韩淑琴, 等. 巴尔喀什成矿带 Cu-Mo-W 矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄测定及其地质意义 [J]. *地质学报*, 2010, 84 (9): 1333 ~ 1348.
- CHEN Xuan-hua, QU Wen-jun, HAN Shu-qin, et al. Re-Os dating of molybdenites from Cu-Mo-W deposits in Balkhash metallogenic belt, Kazakhstan and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84 (9): 1333 ~ 1348.
- [12] 陈宣华, 杨农, 叶宝莹, 等. 中亚成矿域多核成矿系统西准噶尔成矿带构造体系特征及其对成矿作用的控制 [J]. *大地构造与成矿学*, 2011, 35 (3): 325 ~ 338.
- CHEN Xuan-hua, YANG Nong, YE Bao-ying, et al. Western Junggar Tectonic System and Its Control on Metallogenesis in Multi-Core Metallogenic System, Central Asia [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2011, 35 (3): 325 ~ 338.
- [13] Xiao, W. J., Windley, B. F., Sun, S., et al. A tale of amalgamation of three Permo-Triassic collage systems in Central Asia: Oroclines, sutures, and terminal accretion [J]. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 2015, 43: 477 ~ 507.
- [14] Heinhorst, J., Lehmann, B., Ermolov, P., et al. Paleozoic crustal growth and metallogeny of Central Asia: Evidence from magmatic-hydrothermal ore systems of Central Kazakhstan [J]. *Tectonophysics*, 2000, 328 (1/2): 69 ~ 87.
- [15] 陈宣华, 聂兰仕, 丁伟琴, 等. 西准噶尔走滑断裂系元素分布特征及其成矿意义 [J]. *岩石学报*, 2015, (2): 371 ~ 387.
- CHEN Xuan-hua, NIE Shi-lan, DING Wei-cui, et al. The relationship between strick-slip tectonic system and geochemical anomalies in the West Junggar, northwestern China and its implication for mineral exploration [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31 (2): 371 ~ 387.
- [16] 陈宣华, 陈正乐, 白彦飞, 等. 中亚成矿域西部巴尔喀什—准噶尔成矿带晚古生代成矿作用大爆发 [J]. *地球科学与环境学报*, 2016, 38 (3): 285 ~ 305.
- CHEN Xuan-hua, CHEN Zheng-le, BAI Yan-fei, et al. Late Paleozoic concentrated mineralization of Balkhash-Junggar metallogenic belt in the western part of the Central Asian Metallogenic Domain [J]. *Journal of Earth Science and the Environment*, 2016, 38 (3): 285 ~ 305.
- [17] YANG Gao-xue, LI Yong-jun, Santosh, M., et al. Geochronology and geochemistry of basaltic rocks from the Sartuohai ophiolitic mélange, NW China: Implications for a Devonian mantle plume within the Junggar Ocean [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 59: 141 ~ 155.
- [18] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 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 [J]. *岩石学报*, 2006, 22 (5): 1077 ~ 1086.
- HAN Bao-fu, JI Jian-qing, SONG Biao, et al. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22 (5): 1077 ~ 1086.
- [19] 李永军, 王祚鹏, 段丰浩, 等. 新疆西准噶尔额敏前陆盆地的构造特征及其演化 [J]. *大地构造与成矿学*, 2016, 40 (3): 419 ~ 428.
- LI Yong-jun, WANG Zuo-peng, DUAN Feng-hao, et al. Tectonics and evolution of the E' min foreland basin in West Junggar, Xinjiang [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2016, 40 (3): 419 ~ 428.
- [20] Le, Bas, M. J., Le, Maitre, R. W., Streckeisen, A., et al. A chemical classification of volcanic rocks on the total alkali-silica diagram [J]. *Petrol.* 1986, 27 (3): 745 ~ 750.
- [21] 黄鹏辉, 陈宣华, 王志宏, 等. 西准噶尔成矿带晚古生代花岗岩类岩浆活动及其构造意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 2016, 40 (1): 145 ~ 160.
- HUANG Peng-hui, CHEN Xuan-hua, WANG Zhi-hong, et al. Late Paleozoic granitic magmatism in West Junggar metallogenic belt (Xinjiang), Central Asia, and its tectonic implication [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2016, 40 (1): 145 ~ 160.
- [22] Peccerillo, R., Taylor, S. R.. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1976, 58 (1): 63 ~ 81.
- [23] Middlemost, E. A. K.. Magmas and magmatic rocks [M]. London: Longman, 1985: 1 ~ 266.
- [24] Wilson, M.. Igneous petrogenesis: A global tectonic approach [M]. London: Unwin Hyman, 1989: 1 ~ 466.
- [25] Boynton, W. V.. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies [J]. *Development in Geochemistry*, 1984, 2: 63 ~ 114.
- [26] Sun, S. S., McDonough, W. F.. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [C] // Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the ocean basins. Oxford: Blackwell, 1989: 313 ~ 346.
- [27] Whalen, J. B., Currie, K. L., Chappell, et al. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1987, 95: 407 ~ 419.
- [28] Eby, G. N.. Chemical subdivision of the A-type granitoids:

- Petrogenetic and tectonic implications [J]. *Geology*, 1992, 20 (7): 641 ~ 644.
- [29] Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G.. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *J Petrol*, 1984, 25 (4): 956 ~ 983.
- [30] Pearce, J. A.. Sources and settings of granitic rocks [J]. *Episodes*, 1996, 19 (4): 120 ~ 125
- [31] 徐松年. 浙江中生代酸性火山岩柱状节理构造的发现及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 1995, (03): 325 ~ 332.
XU Song-nian. Discovery of columnar joint structure of mesozoic acidic volcanic rocks in Zhejiang province and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 31 (3): 325 ~ 332.
- [32] 胡小猛, 许红根, 陈美君, 等. 雁荡山流纹岩地貌景观特征及其形成发育规律 [J]. *地理学报*, 2008, (3): 270 ~ 279.
HU Xiao-meng, XU Honggen, CHEN Mei-jun, et al. The rhyolite landforms and development law in Yandang Mt [J]. *Acta Geographica Sinica*. 2008, (3): 270 ~ 279.
- [33] 邢广福, 陶奎元, 杨祝良, 等. 中国东南沿海中生代火山岩成因研究现状与展望 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 1999, 18 (3): 189 ~ 193.
XING Guang-fu, TAO Kui-yuan, YANG Zhu-liang, et al., The summarizing about the reasons causing the formation of Mesozoic igneous rock in southeast China near the reason [J]. *The Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1999, 18 (3): 189 ~ 193.
- [34] 赵恒乐, 陈宣华, 屈文俊, 等. 巴尔喀什成矿带博尔雷斑岩铜矿床地质特征与成矿时代 [J]. *地质力学学报*, 2010, (4): 340 ~ 348.
ZHAO Heng-le, CHEN Xuan-hua, QU Wen-jun, et al., Geological characteristics and metallogenic age of borly porphyry cu deposits in balkhash metallogenic belt, Kazakhstan [J]. *Journal of geomechanics*, 2010, (4): 340 ~ 348.
- [35] 张耀玲, 张绪教, 胡道功, 等. 东昆仑造山带纳赤台群流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 [J]. *地质力学学报*, 2010, (1): 21 ~ 27 + 50.
ZHANG Yao-ling, ZHANG Xu-jiao, HU Dao-gong, et al., Zircon U-Pb age for rhyolitic ruffs of the naocangjiangou formation in the east kulun orogenic belt and their implication [J]. *Journal of geomechanics*, 2010, (1): 21 ~ 27 + 50.
- [36] 陈宣华, 王小凤, 杨风, 等. 阿尔金山北缘早古生代岩浆活动的构造环境 [J]. *地质力学学报*, 2001, (3): 193 ~ 200.
CHEN Xuan-hua, WANG Xiao-feng, YNAG Feng, et al. Tectonic environments of magmatism in early Paleozoic in the north altyan tagh, China [J]. *Journal of geomechanics*, 2001, (3): 193 ~ 200.

LATE PALEOZOIC OCEAN-CONTINENT TRANSITION IN WEST JUNGGAR, CENTRAL ASIAN OROGENIC BELT: EVIDENCE FROM LATE CARBONIFEROUS RHYOLITES

SHI Jian-jie, CHEN Xuan-hua*, DING Wei-cui, LI Bing

(*Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China*)

Abstract: The late carboniferous rhyolites with columnar joints have been found in the West Junggar, then we studied their tectonic environment through the geochemical characteristics. The rhyolites from the West Junggar have the characteristics of high K, low Na, so they belong to high-k calc-alkaline or cala-alkaline magmatic series. According to the V patterns of the REE distribution patterns of the rhyolites, Eu is deficient, testifying the process of the crystallization differentiation of plagioclase. The rhyolites are enrichment of elements Rb、K (LILE), and deficient of Nb、Ta (HFSE), this is same to the characteristic of subduction zone magma. The study shows that the rhyolites which belong to A2 rock type derived from post-orogenic tectonic environment. The rhyolites and granites batholith have the same magmatic source and both belong to rich alkaline magmatism in orogenic environment. Similarly to the environment of the rhyolites in the east China, the study proves the existence of sea-land transition zone during the late Paleozoic, indicating that the Junggar Oceanic Plate subducted under the Kazakhstan Plate. Ocean subduction mainly developed in Karamay-Baogutu area, where the Junggar oceanic plates subducted to the northwest under the Kazakhstan plates. The rich alkaline magmatism in the post-orogenic stretch environment which the late carboniferous rhyolites with columnar joins occurred, put an end to the ocean-land transition environment.

Key words: the West Junggar; rhyolites; geochemical characteristics; ocean-land transition; tectonic evolution