

# 东准噶尔老爷庙地区流纹岩晚石炭世时代的确认、地球化学特征及其地质意义

熊双才

新疆地矿局第一地质大队,新疆昌吉,831100



**内容提要:**东准噶尔是中亚造山带(CAOB)的重要组成部分。笔者对东准噶尔老爷庙地区出露的流纹岩开展岩石学、地球化学和锆石 U-Pb 年代学研究,探讨其岩石成因和成岩时的构造环境。结果表明老爷庙流纹岩具有高硅、高钾、富碱,贫钙、磷、铁、镁、钛的特征,富集大离子亲石元素 Rb、K、Th、Nb、Ta 及高场强元素 Zr、Hf,相对亏损 Ba、Sr、P、Ti。轻稀土富集明显,且轻稀土元素内部分馏相对较强,重稀土元素元素内部分馏较弱, Eu 负异常较强 ( $\delta Eu = 0.12 \sim 0.65$ ),呈右倾海鸥型。锆石饱和温度平均 878°C,属于高温花岗岩;形成压力 < 0.8 GPa,深度 < 30 km。与典型 A 型花岗岩相似,成因类型上属 A2 型流纹岩,产于后碰撞环境。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年显示其形成于  $311.6 \pm 3.1$  Ma,属晚石炭世,地层归属为宝塔玛衣内山组。综合本文数据及区域地质特征,老爷庙地区在晚石炭世已经拼贴到西伯利亚板块,进入后造山向板内转化的过渡期,结束了地壳的侧向增生,但由于大量幔源岩浆底侵作用,使该区仍在垂向增生。

**关键词:**东准噶尔;老爷庙;A2 型流纹岩;后碰撞环境;锆石 U-Pb 年龄;晚石炭世

碱性岩与某些特殊的构造环境相关联,既可以产于非造山环境(Kumar and Rathna, 2008),也可以产于碰撞后或后造山环境(Bonin et al., 1998; White et al., 2006),这可为区域构造演化,特别是造山带的研究提供重要证据(洪大卫等, 1995; Tong et al., 2012)。新疆碱性岩(花岗岩、流纹岩)发育,主要分布在古生代岛弧、弧后盆地及隆起区,与板块缝合线、深大断裂密切相关,与蛇绿岩带耦合(王中刚等, 1993; Zhao Zhenhua et al., 2000; 朱笑青等, 2006)。东准噶尔岩浆构造发育(冯京等, 2009; 邓晋福等, 2015)是研究中亚造山带的有利地段,前人研究主要集中在东准噶尔西北部阿勒泰地区(王涛等, 2010)和南部卡拉麦里地区(苏玉平等, 2006; 李永军等, 2009; 田健等, 2016; 黄岗等, 2017)。老爷庙位于东准噶尔造山带东部,出露大量碱性流纹岩,前人开展的研究工作较少,部分学者认为该套流纹岩属于早二叠世晚期卡拉岗组,形成于造山后弛张期大陆板内环境(马雪等, 2005; 张超等, 2005);部分学者认为其属于二叠纪哈尔加乌组,产于大陆构造

环境(张冀等, 2016),这些观点均缺乏精确的年代学数据支持。本次研究通过高精度的锆石 U-Pb 定年、岩石地球化学综合研究,并结合区域对比,确定其成岩时代、探讨其形成环境,为研究区域晚古生代构造岩浆作用提供年代学及岩石地球化学证据。

## 1 区域地质背景

研究区大地构造位置属天山兴蒙造山系—准噶尔弧盆系—唐古巴勒—卡拉麦里古生代复合沟弧带—三塘湖晚古生代弧间盆地(图 1a)。

地层区划属北疆—兴安地层大区—北疆地层区—北准噶尔地层分区—北塔山地层小区。研究区出露的地层由老到新有:上泥盆统卡希翁组( $D_3kx$ )、上泥盆—下石炭统江孜尔库都克组( $D_3C_j$ )、上石炭统宝塔玛衣内山组( $C_2b$ , 本次重新划分)、上更新统新疆群( $Qp_3X$ )。各时代的地层的展布方向为 NW—SN 向(图 1b)。区内断裂极其发育,由于长期受 NE—SW 向挤压,形成大量的 NW—SE 向逆断裂,及 NE、NW 向平移断裂。区内断裂极

注:本文为新疆维吾尔自治区重大科技专项丝路沿线造山带大型矿产资源系统及应用示范(编号:2021A03001-5)、中央财政资金第三次新疆科学考察课题“新疆维生成矿系统优势矿产综合考察与评价”(编号:2022xjkk1301-18)、中央返还新疆两权价款“新疆巴里坤县 1:5 万 L46E020016、L46E020017、L46E021015、L46E021016、L46E022015、L46E022016 六幅区域地质调查”(编号:T15-1-LQ01)的成果。

收稿日期:2023-12-26;改回日期:2024-06-23;网络首发:2024-07-20;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2024.07.075

作者简介:熊双才,男,1987年生,硕士研究生,高级工程师,主要从事成矿规律与成矿预测及区域地质矿产调查;Email: sc\_Xiong@163.com。

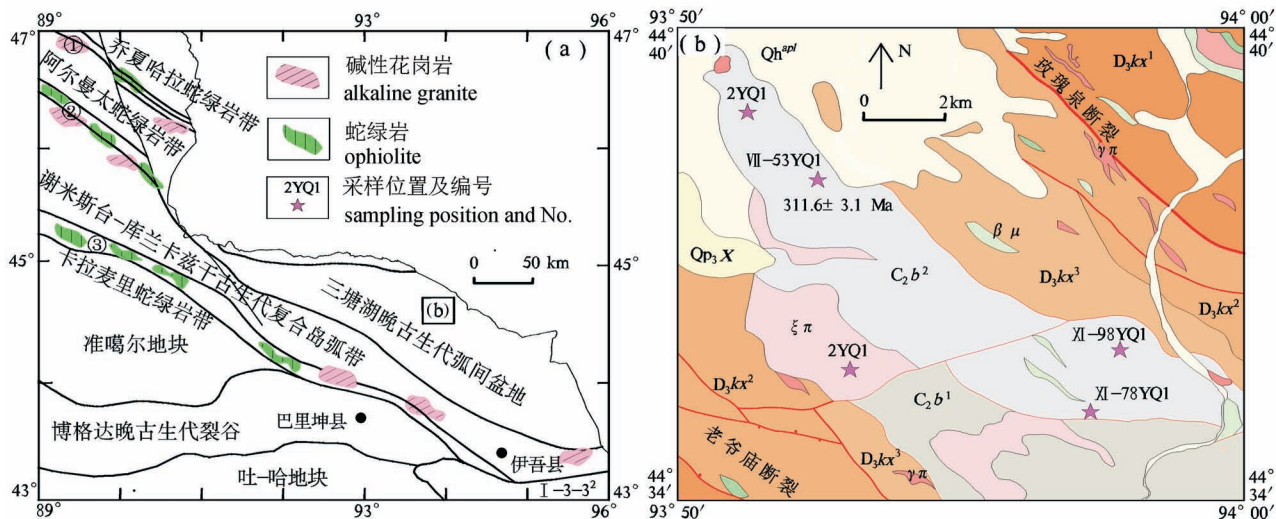


图 1 东准噶尔老爷庙地区大地构造位置(a) (蛇绿岩据徐兴旺等,2013;碱性花岗岩据朱笑青等,2006)及地质简图(b)

Fig. 1 Geotectonic location (a) (Ophiolite is based on Xu Xingwang et al., 2013; alkaline granite is based on Zhu Xiaqing et al., 2006) and geological map (b) of Laoyemiao area, Eastern Junggar

$Qh^{apl}$ —全新统冲洪积物;  $Qp^3X$ —上更新统新疆群;  $C_2b^2$ —上石炭统巴塔玛衣内山组第二岩性段;  $C_2b^1$ —巴塔玛衣内山组第一岩性段;  $D_1kx^3$ —上泥盆统卡西翁组第三岩性段;  $D_1kx^2$ —卡西翁组第二岩性段;  $D_1kx^1$ —卡西翁组第一岩性段;  $\xi\pi$ —正长斑岩;  $\gamma\pi$ —花岗岩岩;  $\beta\mu$ —辉绿玢岩脉

$Qh^{apl}$ —Holocene alluvium and proluvial;  $Qp^3X$ —Upper Pleistocene Xinjiang Group;  $C_2b^2$ —the second lithologic section of the Batamane Mountains Formation Upper Carboniferous;  $C_2b^1$ —the first lithologic section of the Batamane Mountains Formation;  $D_1kx^3$ —the third Lithologic Section of Casio Formation Upper Devonian;  $D_1kx^2$ —the second Lithologic Section of Casio Formation;  $D_1kx^1$ —the first lithologic section of Casio Formation;  $\xi\pi$ —syenite porphyry;  $\gamma\pi$ —granite porphyry;  $\beta\mu$ —diabase-prophyrite dyke

其发育,系统性强,控制不同时代地层的分布,控制侵入体的产状、形态,甚至控制构造机制的发生和发展。侵入岩较发育,主要为石英碱长正长斑岩,呈不规则小岩株产出。少量花岗岩和辉绿玢岩脉分布于岩体边部及周围,整体呈 NW—SE 分布,与区域构造方向一致。

## 2 岩石矿物特征

该套火山地层以流纹岩为主,夹少量凝灰岩,凝灰熔岩。被碱长正长斑岩侵入,二者产于老爷庙大断裂及玫瑰泉大断裂之间,岩石呈黄褐色,斑状、霏细—球粒结构;块状—流纹构造。局部含少量石英、玉髓杏仁。斑晶:钾长石(10%~18%),自形—半自形状,条纹结构。基质:石英(10%~20%),显微粒—粒状,波状消光;钾长石(12%),微晶状;长英质(30%~60%),霏细—球粒状;黑云母(2%~6%)显微鳞片一片状。副矿物:赤褐铁矿、锐钛矿、黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿、方铅矿、白钛石、锆石、磷灰石、萤石等。

## 3 测试分析

### 3.1 岩石地球化学全分析

本次采集流纹岩 5 件(图 1b),分别为 1YQ1、2YQ1、VII-53YQ1、XI-78YQ1、XI-98YQ1。同时选取东侧前人 1:5 万图幅中延伸带上的流纹岩 I-40、XIX-20、XIX-11、XXX III-16 进行对比研究。岩石全分析在广州澳实矿物实验室测试,样品经过破碎、缩分、研磨至 200 目后,采用 ME-MS81 熔融电感耦合等离子体质谱测定稀土元素含量,ME-XRF26X 荧光光谱仪熔融法精密分析岩石主微量元素,Fe-VOL05 滴定法测定氧化铁。测试结果见表 1。

### 3.2 锆石 U-Pb 测年

锆石样品(同 VII-53YQ1)岩性为粗面岩,位置  $N44^{\circ}38'00''$ 、 $E93^{\circ}52'27''$ 。锆石单矿物挑选在河北省区域地质矿产调查研究所实验室,在南京大学内生金属矿床成矿机制国家重点实验室进行制靶、CL 拍照、透反射光照相、锆石测年和数据校正。锆石 U-Pb 测试使用 193 nm 激光取样系统连接的

表 1 东准噶尔老爷庙地区流纹岩主量(%)、微量及稀土元素( $\mu\text{g/g}$ )分析结果表  
 Table 1 Whole-rock major(%), rare earth and trace element( $\mu\text{g/g}$ ) concentrations of the rhyolite in Laoyemiao area, Eastern Junggar

样号	1YQ1	2YQ1	VII-53 YQ1	XI-78 YQ1	XI-98 YQ1	I-40	XIX-20	XIX-11	XXX III-16	样号	1YQ1	2YQ1	VII-53 YQ1	XI-78 YQ1	XI-98 YQ1	I-40	XIX-20	XIX-11	XXX III-16	
SiO <sub>2</sub>	73.24	72.57	74.20	71.29	72.68	76.25	73.76	69.53	77.10	Dy	9.97	12.3	7.79	11.8	11.2	2.50	4.50	4.30	3.81	
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.31	0.15	0.36	0.34	0.17	0.34	0.29	0.48	Ho	2.01	2.53	1.59	2.34	2.29	0.58	0.98	0.92	0.71	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.39	12.80	12.48	13.32	12.70	12.48	13.11	13.35	12.99	Er	5.90	7.67	4.83	7.24	6.95	1.60	3.20	2.60	2.25	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.45	2.74	1.81	3.11	1.37	0.59	0.83	1.80	0.77	Tm	0.96	1.24	0.79	1.13	1.11	0.27	0.47	0.4	0.34	
FeO	0.57	0.69	0.43	0.68	1.09	0.46	0.12	0.08	0.52	Yb	6.23	8.02	5.23	7.13	7.38	2.20	3.40	2.70	2.34	
MnO	0.09	0.07	0.07	0.10	0.16	0.03	0.04	0.01	0.02	Lu	0.97	1.24	0.82	1.10	1.11	0.35	0.54	0.48	0.35	
MgO	0.07	0.16	0.05	0.18	0.28	0.55	0.08	0.25	0.25	Y	58.5	74.3	43.7	68.5	65.8	16.3	24.1	15.9	22.5	
CaO	0.23	0.34	0.04	0.39	0.41	0.41	0.70	1.17	0.95	ΣREE	370	430	342	398	393	91.2	205	273	141	
Na <sub>2</sub> O	4.07	4.07	2.63	4.29	3.35	4.25	4.25	5.04	3.97	LREE	332	382	311	353	350	81.2	186	255	126	
K <sub>2</sub> O	5.56	5.11	7.21	5.26	5.57	3.62	5.46	4.59	2.77	HREE	38.1	47.6	31.0	44.9	43.2	10.0	18.7	18.0	14.4	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.02	0.01	0.04	0.04	0.04	0.03	0.15	0.03	La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	8.77	7.92	9.57	8.04	7.81	5.67	9.68	14.24	10.01	
烧失	0.53	0.75	0.40	0.86	0.81	0.69	1.25	3.20	0.89	δEu	0.12	0.17	0.14	0.23	0.19	0.38	0.23	0.65	0.52	
总量	99.38	99.63	99.48	99.88	98.80	99.54	99.97	99.46	100.74	δCe	0.99	0.97	1.08	0.98	0.98	1.18	1.06	1.13	0.83	
Df	95.96	93.90	96.78	93.31	93.56	94.47	96.68	94.51	91.20	Sr	30.2	62.4	25.1	62.5	69.0	92.2	151	215		
Mg <sup>#</sup>	6.25	8.28	4.15	8.44	17.69	49.73	14.13	20.77	26.87	Rb	123	111	140	109	122					
A.R	5.83	5.64	8.34	5.59	5.26	4.14	5.74	4.94	2.87	Ba	42.9	81.3	39.2	65.7	89.4	177	300	456		
A/CNK	1.02	1.00	1.02	0.99	1.03	1.07	0.93	0.87	1.15	Th	9.44	9.59	9.22	8.46	9.02					
A/NK	1.05	1.05	1.03	1.04	1.10	1.14	1.02	1.01	1.36	Ta	1.70	1.70	1.60	1.50	1.60					
R1	2101	2124	2284	1910	2323	2722	2122	1782	3036	Nb	27.2	29.0	25.4	26.4	26.4	27.5	10.4	11.0		
R2	294	299	254	315	313	320	340	415	369	Ce	157	179	155	165	165	44.3	94.9	127		
La	76.2	88.6	69.8	79.9	80.4	17.4	45.9	53.6	32.3	P	43.6	87.3	43.6	175	175	167	176	264		
Ce	156	179	155	165	165	44.3	94.9	127	54.6	Zr	416	690	414	645	650	514	238	230		
Pr	18.6	21.5	16.6	20.0	19.7	4.70	9.30	13.5	7.41	Hf	11.9	16.0	11.3	14.6	15.0	13.0	6.10	6.30		
Nd	67.6	78.0	58.3	73.3	71.6	12.2	30.8	52.4	26.2	Sm	12.2	14.3	10.6	13.8	12.9	2.30	5.10	7.20		
Sm	12.2	14.25	10.6	13.8	12.9	2.30	5.10	7.20	4.67	Y	58.5	74.3	43.7	68.5	65.8	62.0	26.8	26.7		
Eu	0.47	0.78	0.45	1.00	0.78	0.28	0.37	1.40	0.75	Yb	6.23	8.02	5.23	7.13	7.38	2.20	3.40	2.70		
Gd	10.35	12.5	8.59	12.15	11.3	2.10	4.80	5.60	3.99	Ga	21.7	25.1	18.8	25.0	23.4					
Tb	1.70	2.07	1.37	1.98	1.84	0.38	0.84	0.96	0.63	t <sub>Zr</sub>	875	925	877	914	925	908	810	794		

注:  $T_{Zr} = \frac{12900}{2.95+0.85M+\ln \frac{496000}{\omega(Zr_{\text{melt}})/10^{-6}}}$  (Watson et al., 1983), 其中  $T$  为绝对温度, 表中已换算为 $^{\circ}\text{C}$ ;  $M$  为全岩  $\frac{n(\text{Na})+n(\text{K})+2n(\text{Ca})}{n(\text{Al}) \cdot n(\text{Si})}$ , 计算中令  $n(\text{Si})+n(\text{Al})+n(\text{Fe})+n(\text{Mg})+n(\text{Ca})+n(\text{Na})$

$n(\text{K})+n(\text{P})=1$  (即归一化);  $Zr_{\text{melt}}$  为熔体中 Zr 含量。

Agilent7500a 型 ICP-MS 上进行,激光剥蚀束斑直径为 32  $\mu\text{m}$ ,频率为 6 Hz,采用 He 气作为剥蚀物质的载气,再和 Ar 气混合后进行分析,详细方法参见 Jackson 等 (2004)。实验获得的同位素比值由 GLITTER 软件 (ver. 4.4) ([www.mq.edu.au/GEMOC](http://www.mq.edu.au/GEMOC)) 在线获得,并采用 Andersen (2002) 方法进行普通铅校正,测试结果如表 2。年龄谱和曲线及加权平均值计算采用 Isoplot(3.0) 软件处理。

## 4 分析结果

### 4.1 岩石地球化学特征

由表可见岩石样品具有高硅 ( $\text{SiO}_2$ : 69.53% ~ 76.25%);高钾富碱 ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ : 6.74% ~ 9.84%;  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  为 0.36 ~ 1.43) 的特征。 $\text{CaO}$  (0.04% ~ 1.17%)、 $\text{P}_2\text{O}_5$  (0.01% ~ 0.15%)、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0.59% ~

3.11%)、 $\text{MgO}$  (0.05% ~ 0.55%) 及  $\text{TiO}_2$  (0.15% ~ 0.48%) 含量均较低,分异指数  $DI$  (91.20 ~ 96.78) 反映岩石经历了高程度分异的特征。在 TAS 图解 (图 2a) 中落入碱性线附近的流纹岩区域。在  $\text{K}_2\text{O}$ — $\text{SiO}_2$  图解 (图 2b) 中投入钾玄岩与高钾钙碱性系列中。铝过饱和程度  $A/NK$  指数为 1.03 ~ 1.36,  $A/CNK$  为 0.87 ~ 1.15,在铝饱和图解 (图 2c) 中主要落入准铝质—弱过铝质范围。在岩浆岩  $\text{SiO}_2$ — $A.R$  图解 (图 2d) 中主要落入在碱性区域。综上,调查区流纹岩属酸性、高钾富碱、碱性、准铝质—弱过铝质的高分异喷出岩。

在标准化图解中 (图 3),尽管邻区部分数据不全,但已有微量、稀土元素曲线一致,表明其为同源,亦表明其为同源产物。大离子亲石元素 Rb、K、Th 的富集明显, Ba、P、Ti 相对亏损及 Nb、Ta 槽不明显

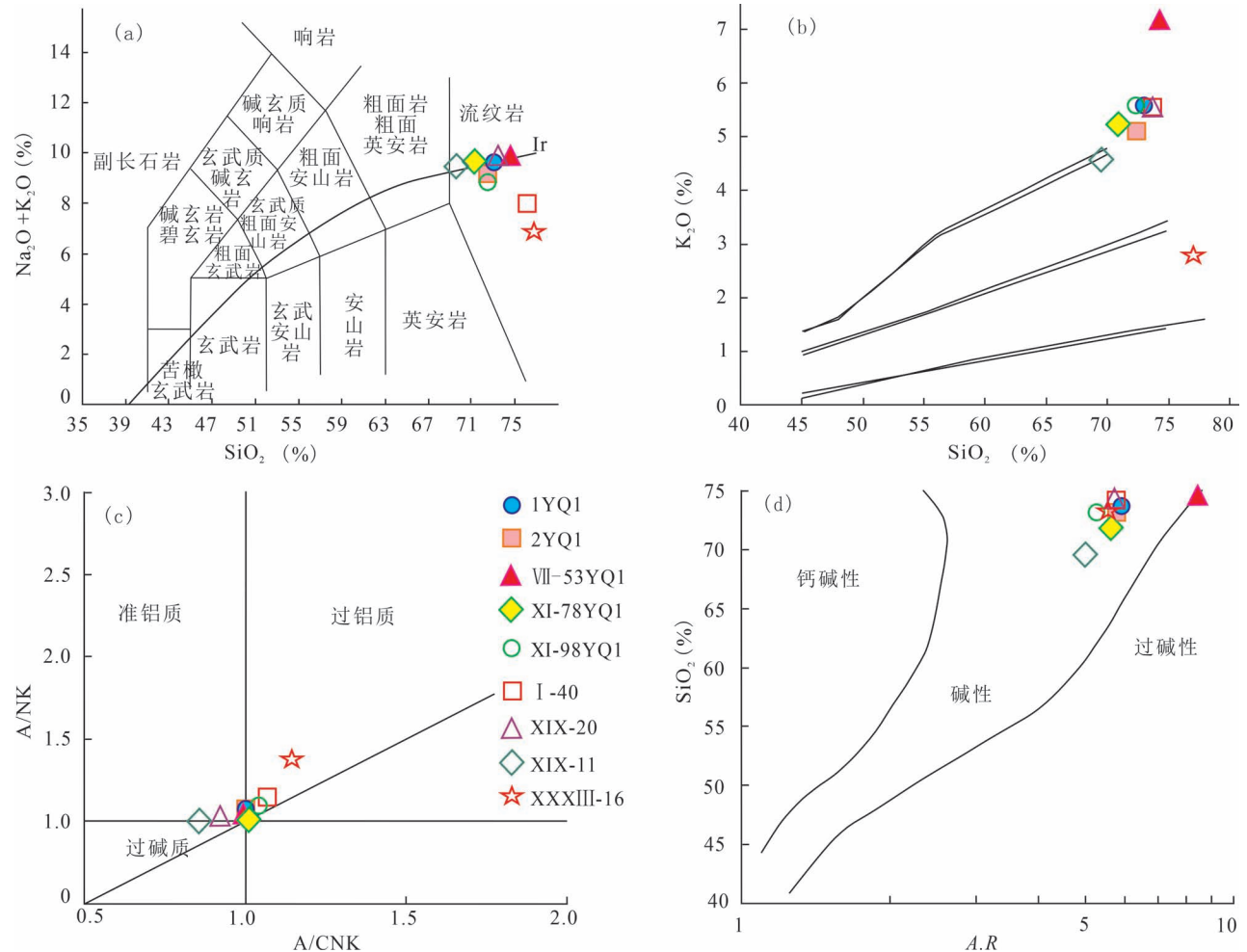


图 2 老爷庙流纹岩 TAS 分类图 (a) (底图据 Middlemost, 1994);  $\text{SiO}_2$ — $\text{K}_2\text{O}$  和铝饱和度图 (b)、(c) (底图据 ManiarAnd Piccoli, 1989);  $A.R$ — $\text{SiO}_2$  图解 (d) (底图据 Wright, 1969)

Fig. 2 TAS classification and identification diagram (a) (after Middlemost, 1994);  $\text{SiO}_2$ — $\text{K}_2\text{O}$  and luminum saturation diagram (b), (c) (after Middlemost, 1989);  $A.R$ — $\text{SiO}_2$  diagram (d) (after Wright, 1969) of rhyolite in Laoyemiao area

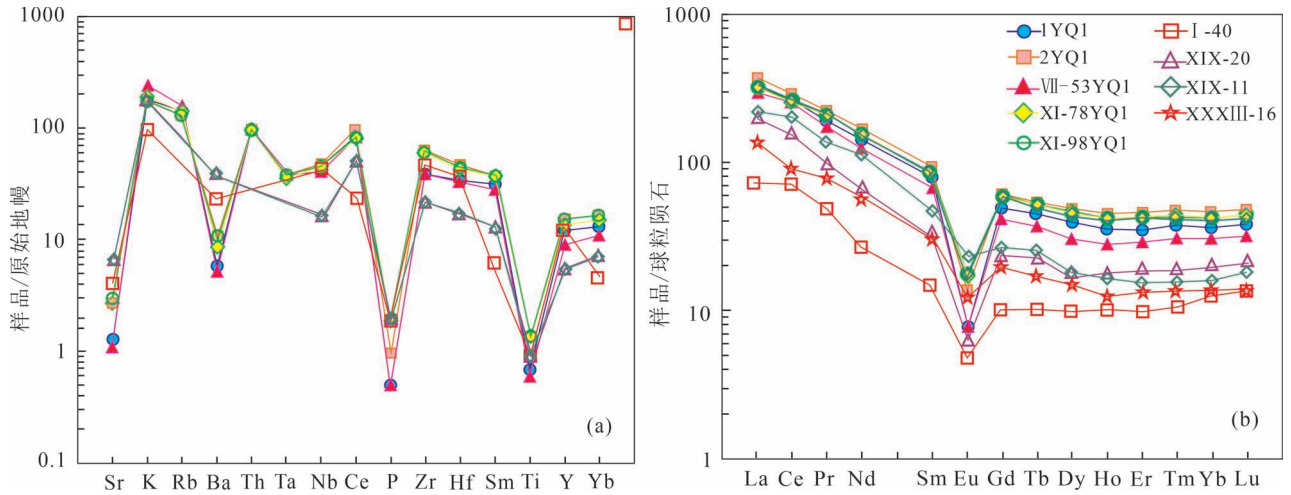


图3 老爷庙地区流纹岩微量元素原始地幔标准化图及稀土元素球粒陨石标准化图(标准化值据 Sun and Mc Donough, 1989)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagrams (b) of rhyolite in Laoyemiao area (the values for standardization from Sun and Mc Donough, 1989)

(图3a), 指示与消减作用无关。

稀土元素特征如下:  $\sum \text{REE} = 91.2 \times 10^{-6} \sim 398 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $293 \times 10^{-6}$ , 稀土元素总量较高。LREE/HREE = 7.87 ~ 14.20, 平均值 9.31;  $\text{La}/\text{Yb}_N = 5.67 \sim 10.01$ , 平均值为 9.08, 反映源区地壳成熟度较高(熊兴国, 2006)。 $\delta\text{Eu} = 0.12 \sim 0.65$ , 平均 0.29, 反映岩石在形成过程中有斜长石的结晶分离或源区部分熔融残留斜长石, 可能指示岩浆形成的深度较浅。 $\delta\text{Ce} = 0.83 \sim 1.18$ , 平均值 1.02, 无明显异常(图3b)。稀土配分型式具较强的 $\delta\text{Eu}$ 负异常, 呈右倾海鸥型, 反映轻稀土相对富集, 重稀土亏损, 且轻稀土

元素内部分馏相对较强, 重稀土元素元素内部分馏较弱。具有地壳稀土元素的特征(Wedepohl, 1995), 暗示它们可能来自于地壳物质部分熔融形成的壳源岩浆系列, 或指示岩浆分异演化程度较高(刘一鸣等, 2014)。

#### 4.2 锆石 U-Pb 年龄

锆石浅黄色, 颜色单一; 自半自形双锥柱状及短柱状(图4); 锆石粒度整体偏小, 粒径集中在 70 ~ 150  $\mu\text{m}$  之间, 长宽比主要介于 1 : 1.1 ~ 1.8。根据 CL 图像, 锆石可分为 2 类, ①发育典型岩浆成因的生长振荡环带, 无晶核和增生边(如锆石 21、22); ②

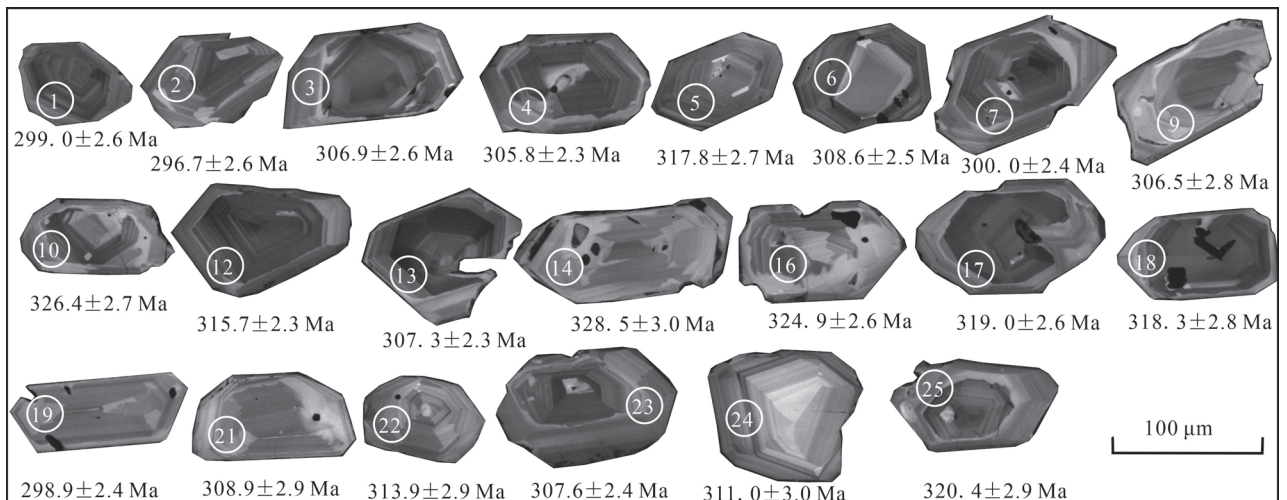


图4 东准噶尔老爷庙地区流纹岩锆石形态和阴极发光(CL)图像

Fig. 4 Shapes and cathodoluminescence (CL) images of the zircons from rhyolite in Laoyemiao area, eastern Junggar

具有核边结构,具微弱环带晶核被新生岩浆锆石包裹(如锆石 1、2、14、16)。所测锆石 U 和 Th 含量分别为  $2.819 \times 10^{-6} \sim 15.25 \times 10^{-6}$  和  $32.47 \times 10^{-6} \sim 218.1 \times 10^{-6}$ , 含量变化较大, Th/U 值为 0.42~1.16, 比值变化较小。

21 个锆石测点,除点 7、10 谐和率误差较大外,余下 19 个点数据点在谐和图中成群分布在一组曲线上及附近,给出了较好的谐和和年龄。除点 1、2、19、14、16 比较分散外,其余 14 个测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄介于  $305.8 \pm 2.6 \sim 320.4 \pm 2.9$  Ma 之间,年龄范围集中,加权平均年龄为  $311.6 \pm 3.1$  Ma (MSDW = 4.2) (图 5),代表了流纹岩的喷出年龄。点 14、16 ( $324.9 \sim 328.5$  Ma) 锆石 CL 图像核部大且平整、边部小,测点位于核部,与周边黑山头组 ( $330.7 \pm 7.4$  Ma) 相当(熊双才等,2019a),可能为捕虏锆石年龄。而点 1、2、19 ( $297 \sim 299$  Ma) 锆石核部小,边部宽,测点在边部,年龄与石英碱长正长斑岩 ( $297.0 \pm 6.5$  Ma) 相当(熊双才等,2019b),代表后期侵入岩的年龄。

## 5 讨论

### 5.1 地层归属

前人 1:20 万研究将该套地层归为下石炭统黑山头组或中—上石炭统哈尔加乌组<sup>①</sup>,在研究区东侧相邻 1:5 万图幅开展区调工作时将其划归为上二叠统卡拉岗组<sup>②</sup>。

新疆岩石地层中将黑山头组定义为一套正常陆源碎屑岩和火山碎屑沉积序列,上部夹中酸性火山岩,时代为早石炭世;哈尔加乌组是以中性火山岩及

碎屑岩为主,夹酸性及基性火山岩,时代为早二叠世。显然与本套地层岩性、时代不符。而卡拉岗组以酸性火山岩及碎屑岩为主,时代为早二叠世,虽然岩性相似但时代差异较大。巴塔玛衣内山组定义为一套陆相火山岩地层序列,由基性、中性、酸性火山熔岩、凝灰岩、凝灰角砾岩组成,时代为早石炭世晚期—中石炭世早期(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1999);朱志新等(2005)根据化石组合将该组时代定为晚石炭世,岩石化学特征表明其形成于造山期后;张峰等(2014)在其原始定名地巴塔玛衣内山北侧松喀尔苏附近获得的巴塔玛衣内山组玄武岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为  $319.7 \pm 5.9$  Ma。巴塔玛衣内山组广泛用于东准地区,与本套岩性相似,时代在误差范围内一致,构造环境也相同,故将本套地层划归为巴塔玛衣内山组。

### 5.2 成因类型及构造环境

人们习惯于把碱性花岗岩等同于 A 型花岗岩, A 型花岗岩原本有 3 个特征(Loiselle et al., 1979)即碱性的(Alkaline)、无水的(Anhydrous)和非造山的(Anorogenic),近年来不少研究者发现很多碱性花岗岩不具备无水和非造山的特征,而把碱性花岗岩再分为非造山和后造山两类(Eby, 1990; Bonin, 1998; 洪大卫等, 1995)。典型 A 型花岗岩相比 S 型、I 型花岗岩,具有高  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}/\text{Mg}$ 、 $\text{Ga}/\text{Al}$ 、 $\text{Zr}/\text{Nb}$ 、 $\text{Ga}/\text{Y}$  和  $\text{Ce}$ , 低  $\text{CaO}$ 、 $\text{Sr}$ , 明显亏损  $\text{Eu}$ , 并富含碱性矿物的特征(吴锁平等, 2007), 老爷庙流纹岩除了未见典型碱性暗色矿物外,其他特征与典型 A 型花岗岩相似。高分异 I、S 型花岗岩与 A 型花岗岩在地球化学特征及矿物学特征方面十分相似

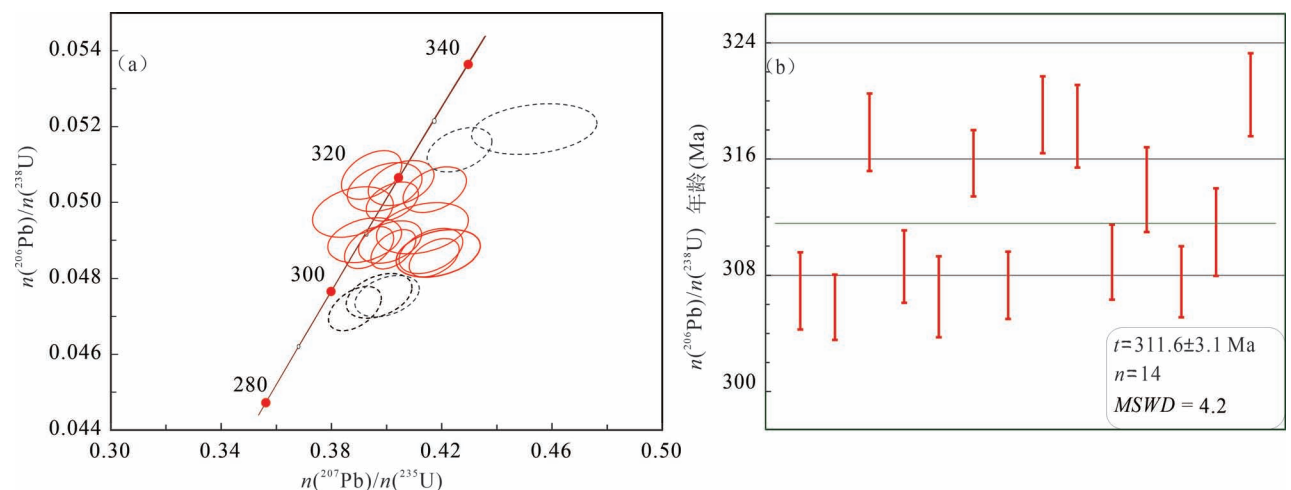


图 5 老爷庙流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 5 LA-ICP-MS Zircon U-Pb age concordiat diagram of rhyolite in Laoyemiao area

表 2 老爷庙地区流纹岩锆石 U-Pb LA-ICP-MS 定年结果表

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of rhyolite in Laoyemiao area

测点号	元素含量 ( $\times 10^{-6}$ )		Th/U	同位素比值						同位素年龄 (Ma)		谐和度 (%)				
	Th <sup>232</sup>	U <sup>238</sup>		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$						
				测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$					
1	106.4	157.9	9.772	0.05533	0.00127	0.3623	0.0086	0.04747	0.00042	433.4	51.8	314.0	6.4	299.0	2.6	105
2	103.9	164.2	10.01	0.05441	0.00105	0.3528	0.0069	0.04710	0.00043	387.1	44.4	306.8	5.1	296.7	2.6	103
3	103.3	89.11	6.271	0.05740	0.00128	0.3827	0.0084	0.04876	0.00043	505.6	48.1	329.0	6.2	306.9	2.6	107
4	116.6	163.4	10.52	0.05734	0.00097	0.3840	0.0066	0.04858	0.00037	505.6	32.4	330.0	4.8	305.8	2.3	108
5	77.05	109.7	7.277	0.05584	0.00131	0.3842	0.0083	0.05054	0.00043	455.6	51.8	330.1	6.1	317.8	2.7	104
6	52.52	78.94	5.029	0.05473	0.00130	0.3664	0.0083	0.04904	0.00040	466.7	53.7	317.0	6.2	308.6	2.5	103
7	72.75	110.1	6.876	0.05863	0.00125	0.3857	0.0086	0.04764	0.00039	553.7	46.3	331.3	6.3	300.0	2.4	110
9	23.69	59.78	3.541	0.05800	0.00169	0.3856	0.0111	0.04870	0.00045	531.5	63.0	331.1	8.1	306.5	2.8	108
10	76.51	122.9	8.348	0.05896	0.00109	0.4244	0.0085	0.05194	0.00045	564.9	40.7	359.2	6.1	326.4	2.7	110
12	121.4	148.4	9.994	0.05315	0.00098	0.3675	0.0068	0.05019	0.00037	344.5	38.0	317.8	5.1	315.7	2.3	101
13	218.1	223.5	15.25	0.05466	0.00086	0.3678	0.0059	0.04883	0.00037	398.2	35.2	318.0	4.4	307.3	2.3	103
14	37.78	72.25	4.801	0.05975	0.00246	0.4239	0.0165	0.05228	0.00048	594.5	89.6	358.8	11.8	328.5	3.0	109
16	53.74	105.8	6.889	0.05541	0.00120	0.3941	0.0085	0.05170	0.00042	427.8	43.5	337.4	6.2	324.9	2.6	104
17	50.82	77.97	5.131	0.05353	0.00130	0.3708	0.0086	0.05074	0.00043	350.1	55.6	320.3	6.4	319.0	2.6	100
18	45.17	61.89	4.095	0.05245	0.00138	0.3645	0.0097	0.05061	0.00046	305.6	61.1	315.6	7.3	318.3	2.8	99
19	63.85	104.8	6.452	0.05580	0.00127	0.3653	0.0085	0.04746	0.00040	442.6	50.0	316.1	6.3	298.9	2.4	106
21	38.70	73.37	4.523	0.05293	0.00143	0.3567	0.0096	0.04909	0.00042	327.8	61.1	309.7	7.2	308.9	2.6	100
22	38.61	63.14	3.962	0.05129	0.00154	0.3519	0.0106	0.04990	0.00048	253.8	68.5	306.1	7.9	313.9	2.9	98
23	93.46	145.2	9.305	0.05318	0.00092	0.3584	0.0065	0.04887	0.00040	344.5	38.9	311.0	4.8	307.6	2.4	101
24	32.47	43.38	2.819	0.05663	0.00185	0.3796	0.0120	0.04942	0.00049	476.0	39.8	326.7	8.8	311.0	3.0	105
25	43.15	102.2	6.298	0.05147	0.00112	0.3593	0.0079	0.05096	0.00046	261.2	48.1	311.7	5.9	320.4	2.9	97

(King et al., 1997),常常难以区分,判别 A 型花岗岩的 Whalen 等(1987)的指标仍是最有效的方法(吴福元等, 2007)。

老爷庙流纹岩在一系列 Whalen 等(1987) A 型花岗岩岩石成因类型判别图中(图 6a,b,c)落入 A 型范围内。进一步对该 A 型流纹岩细分落入 A2 型(后造山或造山后环境中(图 6d,e,f)。在微量元素构造环境判别图(图 7a,b,c)中落入板内范围中靠近火山弧边界,属后碰撞花岗岩。Rb/30—Hf—3Ta 三角图中(图 7d)投入火山弧范围,靠近板内边界并有向后碰撞的趋势。在花岗岩 R1—R2 构造环境判别图(图 7e)上落入造山期后范围。Rb/10—Hf—3Ta 三角图中(图 7f)投入火山弧与碰撞背景之间并靠近板内边界。岩石在一定程度上继承源区的化学特征(张本仁,2001),在后俯冲演化过程中所形成的长英质岩浆岩,完全有可能具有弧岩浆所具有的地球化学特征,在部分判别图可落在火山弧区,但并不代表其形成于火山弧环境(李宁波等,2012)。综上,老爷庙地区流纹岩为产于后碰撞背景的 A2 型流纹岩。

锆石饱和温度  $t_{zr}$  794 ~ 925°C, 平均 878°C (> 840°C) 属于高温花岗岩,明显高于 S 型花岗岩平均 764°C 和 I 型花岗岩平均 781°C,位于 A 型花岗岩 800 ~ 883°C 的平均范围(King et al., 1997),高于该区莫霍面最大温度 700°C ±(汪洋等,2013)。在 Sr—Yb 图中投入南岭型(图略),与 A 型花岗

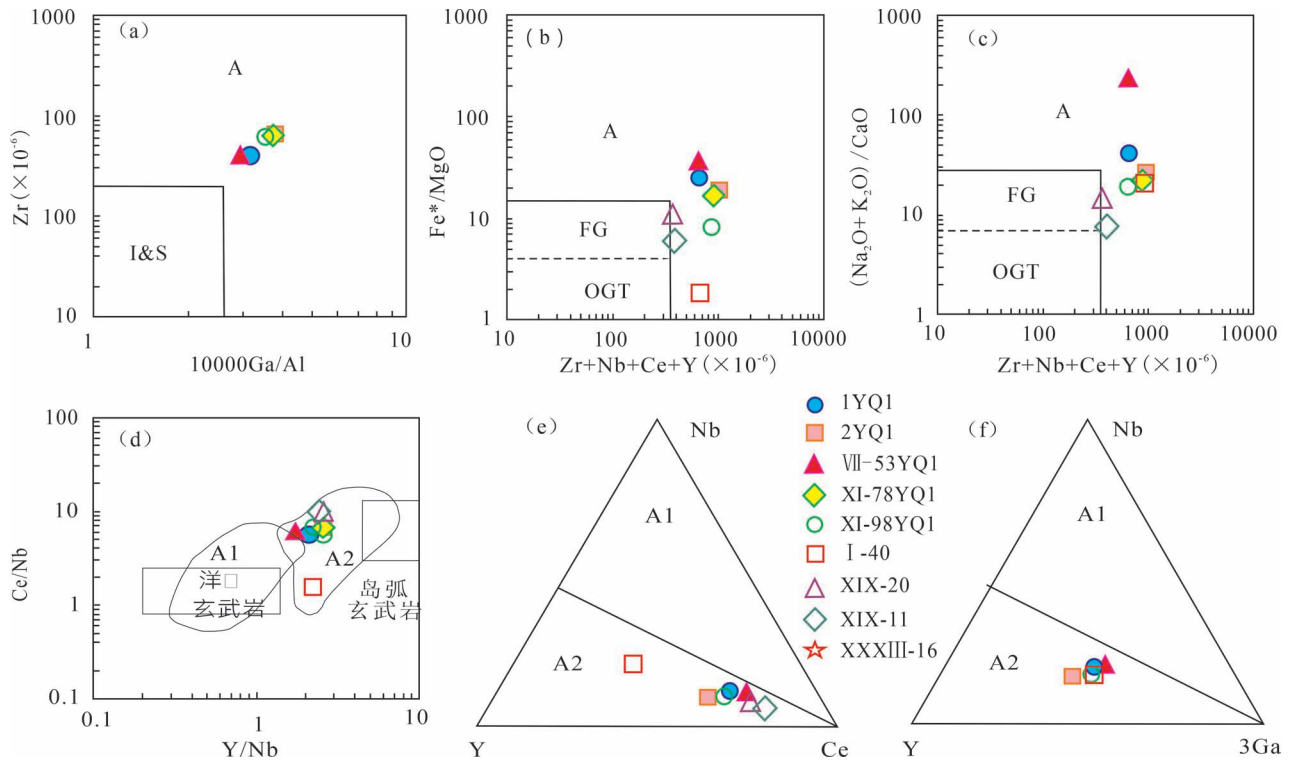


图 6 老爷庙 A 型流纹岩岩石成因类型判别图 [ (a)—(d) 底图据 Whalen et al., 1987; (e)、(f) 底图据 Eby, 1992 ]

Fig. 6 Classification diagrams of the A-type rhyolite in Laoyemiao area [ (a)—(d) after

Whalen et al., 1987; (e), (f) after Eby, 1992 ]

I, S, M 和 A—I 型、S 型、M 型和 A 型花岗岩; OGT—未分异的 I, S 和 M 型花岗岩区; FG—分异的 I 型花岗岩区

I, S, M and A—I-type, S-type, M-type and A-type granite area; OGT—undifferentiated I, S and M-type granite area;

FG: differentiated I-type granite area

岩相当(张旗等, 2006), 压力 < 0.8 GPa, 形成深度 < 30 km (张旗等, 2010), 小于该区莫霍面厚度 45~50 km (汪洋等, 2013)。Zr 富集及 Ti 贫化表明岩浆起源于地壳, Nb/Ta 值 16.00~17.60, 平均 16.6, 高于壳源比值 11, 略低于于幔源比值 17.5; Zr/Hf 值 34.96~44.18, 平均 39.97, 接近幔源比值 36.3, 远高于壳源比值 33 (Hofmann, 1988; Green, 1995)。Rb/Nb 值 3.84~5.49, 平均 4.52, 略低于全球陆壳的平均值 4.58, 远高于大洋岩石圈和陆幔(黎彤, 2011)。表明它们可能具有壳幔混合来源特征。Mg<sup>#</sup> 指数 4.15~49.73, 平均 17.37 明显小于玄武岩熔融实验熔体成分的 Mg<sup>#</sup> 值 (Rapp et al., 1995), 地壳部分熔融形成的熔体不管熔融程度如何, 形成的岩石均具有较低的 Mg<sup>#</sup> (<40)。K/Rb 值 376~429 > 150 表明岩浆分异或水热作用不明显 (Dostal and Chatterjee, 2000)。事实上, 对于如此高硅的酸性岩浆来说, 很难发生强烈的分离结晶作用 (刘阁, 2016), 因此更可能是壳源岩石部分熔融的产物。

结合该区的后碰撞背景推测岩浆的产生与后造山伸展体制下导致的软流圈上涌、幔源岩浆的底侵作用有关(吴福元等, 2007)。东准地区, 尤其是夹持研究区的阿尔曼太及卡拉麦里碱性岩带普遍具有正的  $\epsilon_{Nd}(t)$  和  $\epsilon_{Hf}(t)$  值, 表明有大量幔源岩浆底侵到下地壳, 导致地壳部分熔融而形成的富碱岩浆 (朱笑青等, 2006; 梁培等, 2017)。

新疆北部 A 型花岗岩多形成于 320~260 Ma (朱笑青等, 2006; 苏玉平等, 2006; 王涛等, 2010, 徐兴旺等, 2013), 中亚地区 A 型花岗岩应该是晚期增生事件的记录 (Coleman, 1989)。A 型花岗岩在北疆地区广泛而有规律地发育表明至少存在显著的地壳增生现象 (毛启贵等, 2008)。结合老爷庙地区地质特征, 上泥盆统卡希翁组及上泥盆—下石炭统江孜尔库都克组为海陆交互相、下石炭统组黑山头为大陆边缘相 (熊双才, 2019a)、上石炭统巴塔玛衣内山组为陆相, 早石炭世早期 (349.8±3.5 Ma) 进入俯冲向碰撞造山转化的过渡期 (张征峰, 2021), 早石炭



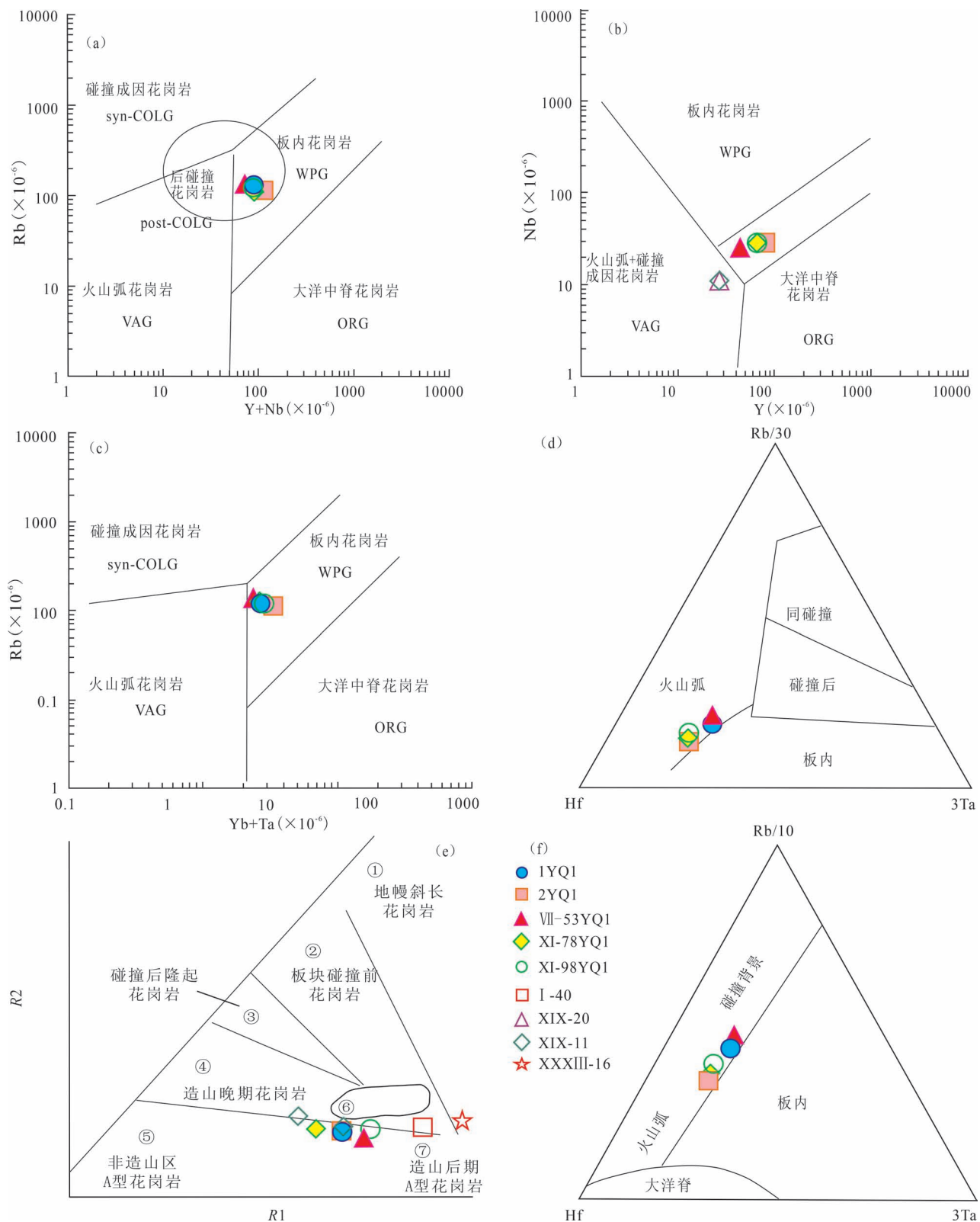


图 7 老爷庙流纹岩微量元素构造环境判别图[ (a)、(b)、(c)底图据 Pearce et al., 1984; (e)底图据 Batchelor and Bowden, 1985; (d)、(f)底图据 Harris and Pearce, 1986 ]

Fig. 7 Trace element discrimination diagrams for tectonic settings of rhyolite in Laoyemiao area[ (a), (b), (c) after Pearce et al., 1984; (e) after Batchelor and Bowden, 1985; (d), (f) after Harris and Pearce, 1986 ]

世 ( $330.7 \pm 7.4$  Ma) 仍向北俯冲消减 (熊双才, 2019a)。老爷庙地区在晚石炭世 ( $311.6 \pm 3.1$  Ma) 时已经拼贴到西伯利亚板块, 进入后碰撞向板内转化的过渡期, 结束了地壳的侧向增生, 而由于大量幔源岩浆的底侵作用, 垂向增生仍在继续。这一观点与区域上前人研究成果一致 (熊双才, 2019b; 汤贺军, 2021; 安瑞, 2021; 陶威, 2022)

## 6 结论

(1) 老爷庙流纹岩是高硅、高钾富碱、贫钙、磷、铁、镁、钛的高分异喷出岩。富集大离子亲石元素 Rb、K、Th、Nb、Ta 及高场强元素 Zr、Hf, 相对亏损 Ba、Sr、P、Ti。稀土元素总量 ( $\Sigma\text{REE}$ ) 较高, 变化较大; 轻稀土相对富集, 重稀土亏损 [ $(\text{La}/\text{Yb})_N = 5.67 \sim 10.01$ ], 且轻稀土元素内部分馏相对较强, 重稀土元素内部分馏较弱; Eu 负异常较强, 呈右倾海鸥型。锆石温度饱和温度  $794 \sim 925^\circ\text{C}$ , 平均  $878^\circ\text{C}$ , 属于高温花岗岩; 形成压力  $< 0.8\text{GPa}$ , 深度  $< 30\text{km}$ 。具有 A 型花岗岩特征, 成因类型上属 A2 型流纹岩, 产于后碰撞环境。

(2) 老爷庙地区陆相火山岩相流纹岩夹凝灰岩、凝灰熔岩的岩石组合特征, 结合 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄显示流纹岩结晶年龄为  $311.6 \pm 3.1$  Ma, 表明该地层归属为上石炭统巴塔玛衣内山组。

(3) 老爷庙地区于晚石炭世已拼贴到西伯利亚板块, 东准噶尔地区进入后碰撞向板内转化的过渡期, 结束了地壳的侧向增生。但由于大量幔源岩浆底侵作用, 使该区仍在垂向增生。

## 注 释 / Notes

- ①新疆维吾尔自治区地质调查院. 2000. 新疆巴里坤县三塘湖以北地区 1:5 万幅区域地质矿产调查报告.
- ②新疆地质局区域地质调查大队. 1981. L-46-34 三塘湖地质图, L-46-35 克孜勒塔格、琼河坝幅地质图.

## 参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 安瑞. 2021. 东准噶尔北缘古生代构造演化: 来自恰库尔图—二台地区火山岩的制约. 导师: 赵国春. 西安: 西北大学博士学位论文: 1~173.
- 邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 刘翠, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孟斐, 车如风. 2015. 古亚洲构造域侵入岩时—空演化框架. 地质论评, 61(6): 1211~1224.
- 冯京, 张招崇. 2009. 阿尔泰山南缘中—酸性斑岩的地球化学特征及其岩石成因探讨. 地质论评, 55(1): 58~72.
- 洪大卫, 王式洗, 韩宝福, 靳满元. 1995. 碱性岩的构造环境分类及

- 其鉴别标志. 中国科学(B辑), 25(4): 418~426.
- 黄岗, 牛广智, 王新录, 郭俊, 宇峰. 2017. 东准噶尔卡拉麦里蛇绿混杂岩中斜长角闪岩的发现与洋中脊构造环境的确认. 中国地质, 44(2): 358~370.
- 黎彤, 袁怀雨. 2011. 大洋岩石圈和大陆岩石圈的元素丰度. 地球化学, 40(1): 1~5.
- 李宁波, 单强, 张永平, 罗勇, 杨武斌, 姜玉航, 于学元. 2012. 西天山阿吾拉勒地区 A 型流纹斑岩的初步研究. 大地构造与成矿学, 36(4): 624~633.
- 李永军, 杨高学, 吴宏恩, 司国辉, 金朝, 张永智. 2009. 东准噶尔贝勒库都克铝质 A 型花岗岩的厘定及意义. 岩石矿物学杂志, 28(1): 17~25.
- 梁培, 陈华勇, 韩金生, 吴超, 张维峰, 赵联党, 王云峰. 2017. 东准噶尔北缘早石炭世构造体制转变: 来自碱性花岗岩年代学和地球化学制约. 大地构造与成矿学, 41(1): 202~221.
- 刘阁, 朱志新, 舍建忠, 邓洪涛, 赵同阳, 王庆军, 孙耀峰. 2016. 新疆西准噶尔朱鲁木特 A 型花岗岩年代学. 地球化学及岩石成因. 地质论评, 62(2): 331~342.
- 刘一鸣, 李才, 王明, 吴彦旺, 解超明, 胡培远. 2014. 藏北羌塘盆地望湖岭组流纹岩地球化学特征及其地质意义. 地质通报, 30(11): 1759~1767.
- 马雪, 冯成贵, 虞卫东. 2005. 新疆巴里坤县三塘湖北卡拉岗组火山岩特征. 新疆地质, (3): 234~238.
- 毛启贵, 肖文交, 韩春明, 袁超, 孙敏. 2008. 东准噶尔地区晚古生代向南增生: 来自 A 型花岗岩的启示. 岩石学报, 24(4): 733~742.
- 苏玉平, 唐红峰, 刘丛强, 侯广顺, 梁莉莉. 2006. 新疆东准噶尔苏吉泉铝质 A 型花岗岩的确立及其初步研究. 岩石矿物学杂志, 25(3): 175~184.
- 汤贺军. 2021. 新疆东准噶尔扎河坝及邻区古生代构造演化与成岩成矿研究. 导师: 吴珍汉、孟贵祥. 北京: 中国地质科学院博士学位论文: 1~202.
- 陶威, 郭岭, 周宁超, 李阳, 王星, 陈涛, 白建科. 2022. 东准噶尔巴斯克花岗岩闪长岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义. 地质论评, 68(2): 488~506.
- 田健, 廖群安, 聂小妹, 樊光明, 吴魏伟. 2016. 东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩带南侧侵入体的岩石学、地球化学及年代学特征. 地质通报, 35(7): 1184~1195.
- 汪洋, 程素华. 2013. 中国西部及邻区岩石圈热状态与流变学强度特征. 地学前缘, 20(1): 182~189.
- 王军, 刘鹏宇. 2016. 新疆巴里坤县老爷庙金矿地质特征及找矿方向探讨. 东华理工大学学报(自然科学版), 39(2): 150~155.
- 王涛, 童英, 李舫, 张建军, 史兴俊, 李锦铄, 韩宝福, 洪大卫. 2010. 阿尔泰山带花岗岩时空演变、构造环境及地壳生长意义——以中国阿尔泰山为例. 岩石矿物学杂志, 29(6): 595~618.
- 王中刚, 陈岳龙, 董振生, 吴明清, 张杰. 1993. 新疆北部富碱侵入岩带地质、地球化学特征及成因. 见: 涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社: 163~172.
- 吴福元, 李献华, 杨进辉, 郑永飞. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题. 岩石学报, 23(6): 1217~1238.
- 吴锁平, 王梅英, 戚开静. 2007. A 型花岗岩研究现状及其述评. 岩石矿物学杂志, 26(1): 57~66.
- 熊双才, 杨俊强, 张征峰, 王璐, 李广, 赵富庄. 2019a. 东准噶尔老爷庙地区早石炭世黑山头组火山岩地质、地球化学特征及构造环境分析. 新疆地质, 37(2): 194~200.
- 熊双才, 张征峰, 李广, 刘润泽, 华叙登, 赵富庄, 周鹏飞, 李关禄. 2019b. 东准噶尔老爷庙地区碱性花岗岩锆石 U-Pb 定年、地球化学及其地质意义. 地质论评, 65(1): 221~231.

- 熊兴国, 岳龙, 徐安全, 易成兴, 贺永忠. 2006. 西藏羌塘达尔应强过铝花岗岩地球化学特征及地球动力学意义. *沉积与特提斯地质*, 26(4): 40~46.
- 徐兴旺, 董连慧, 屈讯. 2013. 东准噶尔斑岩铜矿成矿规律与预测. 北京: 地质出版社: 1~277.
- 张本仁. 2001. 大陆造山带地球化学研究: I 岩石构造环境地球化学判别的改进. *西北地质*, 34(3): 1~17.
- 张超, 董丽霞, 徐达, 苏延龙, 陈添乐. 2005. 新疆巴里坤县老爷庙、额仁山一带晚古生代火山岩. *新疆地质*, 23(3): 225~229.
- 张峰, 徐涛, 范俊杰, 潘爱军, 王斌, 朝银银. 2014. 东准噶尔石炭系巴塔玛依内山组火山岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄及其构造意义. *地球化学*, 43(3): 301~316.
- 张冀, 许凡, 马玉周, 杨屹. 2013. 三塘湖盆地黄土山—克孜勒塔格地区哈尔加乌组火山岩构造环境及时代判别. *新疆地质*, 31(2): 147~151.
- 张旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2010. 再论花岗岩按照 Sr-Yb 的分类: 标志. *岩石学报*, 26(4): 985~1015.
- 张旗, 王焰, 李承东, 王元龙, 金惟俊, 贾秀勤. 2006. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义. *岩石学报*, 22(9): 2249~2269.
- 张征峰, 熊双才, 范香莲. 2021. 东准噶尔木炭窑地区同造山花岗岩锆石 U-Pb 定年、地球化学及地质意义. *地质论评*, 67(1): 231~241.
- 朱笑青, 王中刚, 王元龙, 毕华. 2006. 新疆后造山碱性花岗岩的地质特征. *岩石学报*, 22(12): 2945~2956.
- 朱志新, 李少贞, 李嵩龄. 2005. 东准噶尔纸房地区晚石炭世巴塔玛依内山组陆相火山~沉积体系特征. *新疆地质*, 23(1): 14~18.
- An Rui. 2021. Paleozoic Tectonic Evolution in the Northern Margin of East Junggar, NW China—Constraints from Volcanic Rocks in the Qiakurtu—Ertai Area. Tutor: Zhao Guochun. Doctoral thesis of Northwest University: 1~173.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ . *Chemical Geology*, 192(1): 59~79.
- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48(1): 43~55.
- Bonin B, Abla Azzouni Sekkal, Bussy F, Ferrag S. 1998. Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: Petrologic constraints and geodynamic setting. *Lithos*, 45(1): 45~70.
- Coleman R C. 1989. Continental growth of Northwest China. *Tectonics*, 8(3): 521~635.
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Che Rufeng. 2015. The intrusive spatial-temporal evolutionary framework in the Paleo Asian Tectonic Domain. *Geological Review*, 61(6): 1211~1224.
- Dostal J, Chatterjee A K. 2000. Contrasting behavior of Nb/Ta and Zr/Hf ratios in a peraluminous granitic pluton Nova Scotia, Canada. *Chem. Geol.*, 163(1): 207~218.
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, 26(1): 115~134.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20(7): 641~644.
- Feng Jing, Zhang Zhaochong. 2009. Geochemistry of the intermediate-acid porphyries on southern margin of the Altay Mountains and its implications for petrogenesis. *Geological Review*, 55(1): 58~72.
- Green T H. 1995. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system. *Chemical Geology*, 120(3): 347~359.
- Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward M P, Ries A C. eds. *Collision Tectonics*, Geological Society, London, Special Publications, 19(1): 67~81.
- Hofmann A W. 1988. Chemical differentiation of the Earth: The relationship between mantle 'continental crust' and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 90(3): 297~314.
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Han Baohu, Jin Manyuan. 1995. Classification and identification of the tectonic environments of alkaline rocks. *Science in China (Series B)*, 25(4): 418~426.
- Huang Gang, Niu Guangzhi, Wang Xinglu, Guo Jun, Yu Feng. 2017. The discovery of the amphibolite in the Kalamaili ophiolitic melange formed in mid-oceanic ridge setting. *Geology in China*, 44(2): 358~370.
- Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, Belousova E A. 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211(1): 47~69.
- King P L, White A J R and Chappell B W. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites of the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. *J. Petrol.*, 38(3): 371~391.
- Kumar K V, Rathna K. 2008. Geochemistry of the mafic dykes in the Prakasam Alkaline Province of Eastern Ghats Belt, India: Implications for the genesis of continental rift-zone magmatism. *Lithos*, 104(1): 306~326.
- Li Ningbo, Shan Qiang, Zhang Yongping, Luo Yong, Yang Wubin, Jiang Yuhang, Yu Xueyuan. 2012. Study on the A-type rhyolite porphyries from the Awulale area, western Tianshan. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(4): 624~633.
- Li Tong, Yuan Huaiyu. 2011. Element abundance in the oceanic and the continental lithospheres. *Geochimica*, 40(1): 1~5.
- Li Yongjun, Yang Gao Xue, Wu Hongen, Si Guohui, Jin Zhao, Zhang Yongzhi. 2009. The determination of Beilekuduk aluminous A-type granites in east Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(1): 17~25.
- Liang Pei, Chen Huayong, Han Jinsheng, Wu Chao, Zhang Weifeng, Zhao Liandang, Wang Yunfeng. 2017. The Early Carboniferous tectonic transition in the northern margin of East Junggar: Constraints from geochronology and geochemistry of alkali granites. *Geotectonica et Metallogenia*, 41(1): 202~221.
- Liu Ge, Zhu Zhixin, She Jianzhong, Deng Hongtao, Zhao Tongyang, Wang Qingjun, Sun Yaofeng. 2016. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the Zhulumute A-type granites in West Junggar, Xinjiang. *Geological Review*, 62(2): 331~342.
- Liu Yiming, Li Cai, Wang Ming, Wu Yanwang, Xie Chaoming, Hu Peiyuan. 2014. Geochemical characteristics of Wanghuling Formation rhyolite in the Qiangtang Basin and their geological significance. *Geological Bulletin of China*, 30(11): 1759~1767.
- Loiselle M C, Wones D R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol. Soc. Am. Abstr. Program*, 11(7): 468.
- Ma Xue, Li Weidong, Yu Weidong. 2005. Kalagang lava formation, north Santanghu Lake, Balikun, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 23(3): 234~238.
- Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5): 635~643.
- Mao Qigui, Xiao Wenjiao, Han Chunming, Yuan Chao, Sun Min.

- 2008&. Late Paleozoic south-ward accretionary polarity of the eastern Junggar orogenic belt; Insight from the Dajiashan and other A-type granites. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 733~742.
- Middlemost E A. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37(3): 215~224.
- Pearce J A, Harris N B and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956~983.
- Rapp R P and Watson E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8~32 Kbar; Implication for continental growth and crust—mantle recycling. *Journal of Petrology*, 36(4): 891~931.
- Su Yuping, Tang Hongfeng, Liu Congqiang, Hou Guangshun, Liang Lili. 2006&. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 25(3): 175~184.
- 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.
- Tang Hejun. 2021&. Paleozoic Tectonic Evolution, Diagenesis and Mineralization of the Zhaheba and Its Adjacent Areas in East Junggar, Xinjiang. Tutor: Wu Zhenhan, Meng Guixiang. Doctoral thesis of Chinese Academy of Geological Sciences; 1~202.
- Tao Wei, Guo Ling, Zhou Ningchao, Li Yang, Wang Xing, Chen Tao, Bai Jianke. 2022&. Zircon U-Pb ages, geochemical characteristics of the Basike granodiorite in East Junggar and their tectonic significance. *Geological Review*, 68(2): 488~506.
- Tian Jian, Liao Qunan, Nie Xiaomei, Fan Guangming; Wu Weiwei. 2016&. Petrological, geochemical and chronologic characteristics of the intrusive bodies on the south side of Karamaili ophiolite belt in eastern Junggar. *Geological Bulletin of China*, 35(7): 1184~1195.
- Tong Ying, Wang Tao, Wolfgang S. 2012. Recognition of Early Carboniferous alkaline granite in the southern Altai Orogen; Post-orogenic processes constrained by U-Pb zircon ages, Hf and Nd isotopes, and geochemical data. *International Journal of Earth Sciences*, 101(4): 937~950.
- Wang Jun, Liu Pengyu. 2016&. Characters of geology and prospecting directions of Laoyemiao gold deposit, Balikun County, Xinjiang. *Journal of East China University of Technology (Natural Science)*, 39(2): 150~155.
- Wang Tao, Tong Ying, Li Shan, Zhang Jianjun, Shi Xingjun, Li Jinyi, Han Baofu, Hong Dawei. 2010&. Spatial and temporal variations of granitoids in the Altai orogen and their implications for tectonic setting and crustal growth; Perspectives from Chinese Altai. *Acta Petrologica Sinica*, 29(6): 595~618.
- Wang Zhonggang, Chen Yuelong, Dong Zhensheng, Wu Mingqing, Zhang Jie. 1993#. Geological, geochemical characteristics and genesis of alkali-intrusive rock belts in northern Xinjiang. In: Tu Guangchi. ed. *New Progress in Solid Earth Science in the North of Xinjiang*. Beijing: Science Press: 163~172.
- Watson E B, Harrison T M. 1983. Zircon saturation revisited; Temperature and composition effect in a variety of crustal magmas types. *Earth and planetary Science Letters*, 64(2): 295~304.
- Wedepohl K H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7): 1217~1232
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites; Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4): 407~419.
- White J C, Benker S C, Ren M, Urbanczyk K M, Corrick D W. 2006. Petrogenesis and tectonic setting of the peralkaline Pine Canyon caldera, Trans-Pecos Texas, USA. *Lithos*, 91(1): 74~94.
- Wright J B A. 1969. Simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geologica Magazine*, 106(4): 370~384.
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui and Zheng Yongfei. 2007&. Discussions on the petrogenesis of granites. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1217~1238.
- Wu Suoping, Wang Meiyang, Qi Kaijing. 2007&. Present situation of researches on A-type granites; A review. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(1): 57~66.
- Xiong Shuangcai, Zhang Zhengfeng, Li Guang, Liu Runze, Hua Xudeng, Zhao Fuzhuang, Zhou Pengfei, Li Guanlu. 2019b&. Zircon U-Pb dating, geochemical characteristics and geological significance of alkali-granites in Laoyemiao area, Eastern Junggar. *Geological Review*, 65(1): 221~231.
- Xiong Shuangcai, Yang Juntao, Zhang Zhengfeng, Wang Lu, Li Guang, Zhao Fuzhuang. 2019a&. Geological, geochemical significance and tectonic environment of the Early Carboniferous Heishantou Formation volcanic rock in Laoyemiao area, Eastern Junggar. *Xinjiang Geology*, 37(2): 194~200.
- Xiong Xingguo, Yue Long, Xu Anquan, Yi Chengxing, He Yongzhong. 2006&. Geochemistry and geodynamics of the strongly peraluminous granites in Darying, Qiangtang, Xizang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(4): 40~46.
- Xu Xingwang, Dong Lianhui, Qu Xun. 2013#. *Metallogenetic Regularity and Prognosis of Porphyry Copper Deposits in East Junggar*. Beijing: Geological Publishing House: 1~277.
- Zhang Benren. 2001&. Geochemical study of continental orogenic belts: On improvement of geochemical discrimination of tectonic settings of rocks. *Northwestern Geology*, 34(3): 1~17.
- Zhang Chao, Dong Lixia, Xu Da, Su Yanlong, Chen Tianle. 2005&. Late Palaeozoic volcanic rocks in Laoye Miao (temple) and Erren Shan (mountain), Balikun County, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 23(3): 225~229.
- Zhang Feng, Xu Tao, Fan Junjie, Pan Aijun, Wang Bin, Chao Yinyin. 2014&. Whole-rock Sm-Nd isochron age of Carboniferous volcanic rocks in eastern Junggar and its tectonic significance. *Geochimica*, 43(3): 301~316.
- Zhang Ji, Xu Fan, Ma Yuzhou, Yang Yi. 2013&. Tectonic environment and age discrimination of Haljiawu Formation volcanic rock in Huangtushan—Eziletage area in Santanghu Basin. *Xinjiang Geology*, 31(2): 147~151.
- Zhang Qi, Jin Weijun, Li Chengdong and Wang Yuanlong. 2010&. Revisiting the new classification of granitic rocks based on whole-rock Sr and Yb contents; Index. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 985~1015.
- Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdong, Wang Yuanlong, Jin Weijun, Jia Xiuqin. 2006&. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2249~2269.
- Zhang Zhengfeng, Xiong Shuangcai, Fan Xianglian. 2021&. Zircon U-Pb dating, geochemistry and geological significance of synorogenic granit in Mutanyao area, eastern Junggar. *Geological Review*, 67(1): 231~241.
- Zhao Zhenhua, Bai Zhenghua, Xiong Xiaolin. 2000. *Geochemistry of*

alkali-rich igneous rocks of northern Xinjiang and its implications for geodynamics. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*. 74(2): 321~328.

Zhu Xiaoqing, Wang Zhonggang, Wang Yuanlong and Bi Hua. 2006&. Geological characteristics of the post orogenic alkaline granites in

Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2945~2956.

Zhu Zhixin, Li Shaozhen, Li Gaoling. 2005&. The characteristics of sedimentary system—Continental facies volcano in Late Carboniferous Batamayi Group, Zhifang region, East Jungger. *Xinjiang Geology*, 23(1): 14~18.

## Confirmation of the age, geochemical characteristics of Late Carboniferous rhyolite in Laoyemiao area, eastern Junggar, and their geological significance

XIONG Shuangcai

No. 1 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Changji, Xinjiang, 831100

**Abstract:** East Junggar is an important part of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB). In this paper, we study the petrological, geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of the rhyolite exposed in Laoyemiao area of East Junggar, to discuss its petrogenesis and tectonic environment. Based on our research, the Laoyemiao rhyolite has the characteristics of high silicon, high potassium, riched in alkali, deficiency in Ca, P, Fe, Mg and Ti. It is riched in large ion lithophile elements (LILE) Rb, K, Th, Nb, Ta and high field strength element (HFSE) Zr, Hf; relatively poored in Ba, Sr, P, Ti. The enrichment of light rare earth elements (LREE) is obvious, and the internal fractionation of LREE is relatively strong. The internal fractionation of heavy rare earth elements (HREE) is weak, and the Eu negative anomaly is strong ( $\delta Eu = 0.12 \sim 0.65$ ), showing a right-dipping seagull type. The average zircon saturation temperature is  $878^{\circ}\text{C}$  and belongs to high temperature granite; the formation pressure is  $<0.8$  GPa and the depth is  $<30$  km. Similar to the typical A-type granite, the genetic type belongs to the A2-type rhyolite, which is produced in the post-collision environment. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating shows that it formed at  $311.6 \pm 3.1$  Ma, belonging to the Late Carboniferous and the strata belongs to Batamayineishan Formation. Based on the data and regional geological features of the paper, the Laoyemiao area has been planted into the Siberian plate in the Late Carboniferous, and entered the transitional period of post-orogenic conversion into the plate. The lateral growth of the crust in the area was ended. However, due to the large amount of mantle-derived magma underplating, the area is still in vertical expansion.

**Keywords:** East Junggar; Laoyemiao area; A2-type rhyolite; post-orogenic environment; zircon U-Pb dating; Late Carboniferous

**Acknowledgements:** This paper is financially fund by Major Science and Technology Projects of Xinjiang; Large scale mineral resource system and application demonstration along the Silk Road orogenic belt (No. 2021A03001-5); the Third Scientific Expedition of Xinjiang with Central Financial Funds (No. 2022xjkk1301-18); the Central People's Government returned prospecting rights and mining rights price to Xinjiang (No. T15-1-LQ01)

**Introduction of author:** XIONG Shuangcai, male, born in 1987, master's degree, senior engineer, is mainly engaged in metallogenic regularity and metallogenic prediction and regional geological mineral investigation; Email: sc\_xiong@163.com

**Manuscript** received on: 2023-12-26; Accepted on: 2024-06-23; Published online on: 2024-07-20

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2024.07.075

**Edited by:** ZHANG Yuxu