

西准噶尔萨吾尔地区早古生代火山岩的发现及其意义*

张达玉^{1,2} 周涛发¹ 袁峰¹ 邓宇峰¹ 许超¹ 张若飞¹ 李鹏³ 王金林²

ZHANG DaYu^{1,2}, ZHOU TaoFa¹, YUAN Feng¹, DENG YuFeng¹, XU Chao¹, ZHANG RuoFei¹, LI Peng³ and WANG Jinlin²

1. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009

2. 中国科学院新疆生态与地理研究所新疆矿产资源研究中心, 乌鲁木齐 830011

3. 新疆有色 706 地质大队, 阿尔泰 836600

1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

2. Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Xinjiang, Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumchi 830011, China

3. No. 706 Geological Party, Xinjiang Geoprospection Bureau for Nonferrous Metals, Altai 836500, China

2014-06-15 收稿, 2014-09-13 改回.

Zhang DY, Zhou TF, Yuan F, Deng YF, Xu C, Zhang RF, Li P and Wang JL. 2015. The discovery on the Early Paleozoic magmatism in the Sawuer area, West Junggar. *Acta Petrologica Sinica*, 31(2):415–425

Abstract The Sawuer area is located in the north part of the West Junggar region, which is characterized by the outcrops of the Devonian-Carboniferous pyroclastic sedimentary strata. In this study, the authors focused on the basaltic andesite from Tiepuke district, Southwest Sawuer area. The basaltic andesite strata are E-W trending, and there are some post-volcanism granite porphyry intruding into the basaltic andesite strata. After detailed geological mapping, the basaltic andesite was dated as 427.6 ± 4.2 Ma with the LA-ICPMS U-Pb dating method, and the granite porphyry inserting in the Tiepuke basaltic andesite strata intruded at 387.2 ± 2.9 Ma. The dating results suggest that basaltic andesite from Tiepuke district was erupted in Early Paleozoic magmatism. This is the first time to report the discovery of the Early Paleozoic magmatism in the Sawuer area, which change the traditional understanding that there is no Early Paleozoic magmatism in Sawuer area. The basaltic andesite from Tiepuke district, comparing with the spatial and temporal distribution characters of the magmatism from the adjacent Tarbaghatai and Xiemisitai area, indicate that the Early Paleozoic magmatism in Sawuer may formed in the consistent background within Tarbaghatai-Sawuer-Xiemisitai setting, Northwest Junggar area.

Key words Early Paleozoic epoch; Volcanism; LA-ICPMS U-Pb dating; Sawuer; West Junggar

摘要 萨吾尔地区位于西准噶尔北部, 是以出露泥盆-石炭系火山碎屑-沉积岩为特征的构造单元。本次工作测得萨吾尔西南部铁普克玄武安山岩的锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 427.6 ± 4.2 Ma, 形成于中志留世; 同时测得侵入该玄武安山岩内的花岗斑岩的锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 387.2 ± 2.9 Ma, 是中泥盆世的中酸性岩浆作用。本文首次报道了萨吾尔地区存在早古生代岩浆活动的年龄证据。与邻近的塔尔巴哈台和谢米斯台地区代岩浆作用的时空分布对比显示, 塔尔巴哈台-萨吾尔和谢米斯台两个地质单元在早古生代可能具有一致的成岩背景。

关键词 早古生代; 火山岩; LA-ICPMS U-Pb 定年; 萨吾尔; 西准噶尔

中图法分类号 P588.121; P588.144; P597.3

* 本文受“十二五”国家科技支撑计划(2011BAB06B01)、国家自然科学基金项目(41302050、40772057、41040025)、国家重点基础研究发展规划项目(2007CB411304、2001CB409800)、新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0324)和矿床地球化学国家重点实验室开放基金(201102)联合资助。

第一作者简介: 张达玉, 男, 1985年生, 博士, 讲师, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: dayuzhang@hfut.edu.cn

1 引言

中亚成矿带西起乌拉尔山、东至阿拉斯加、北接西伯利亚板块、南抵塔里木-中朝板块的巨型造山带,总体呈东西走向(肖序常等, 1992; 何国琦等, 1995; 朱永峰和徐新, 2006; Xiao *et al.*, 2012)。新疆北部是中亚造山带的重要组成部分,前人对新疆地区大量的研究成果表明,该区成岩成矿作用主要形成于古生代,且集中于晚古生代(韩宝福等, 2006; Zhou *et al.*, 2006, 2008)。西准噶尔地区地处新疆西北部,是一个主体呈北东向分布的构造成矿带(沈远超和金成伟, 1993; Xiao *et al.*, 2013)。目前关于西准噶尔地区成矿作用的研究大多集中于其南部的哈图-包古图(Cao *et al.*, 2014; 申萍等, 2010; Shen *et al.*, 2012; An and Zhu, 2010)、谢米斯台(王居里等, 2013; Shen *et al.*, 2013)等地区,对于地处中国-哈萨克斯坦交界的塔尔巴哈台-萨吾尔地区的研究见有部分侵入岩的成岩年代(Chen *et al.*, 2010; 朱永峰和徐新, 2006; 袁峰等, 2006a)、地球化学(Zhou *et al.*, 2008)等方面的研究,前人对塔尔巴哈台和谢米斯台地区均有早古生代岩浆作用的报道(朱永峰和徐新, 2006; Jian *et al.*, 2005),而萨吾尔地区尚未发现早古生代岩浆活动的证据。本文在对出露于萨吾尔山地区南部的铁普克地区的基性火山岩进行了剖面测量和观察研究,并对该火山岩及侵入于其中的中酸性岩体进行了锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年分析。结果显示萨吾尔该区存在早古生代岩浆活动,并据此探讨了该区早古生代岩浆活动时空特征,这一发现为塔尔巴哈台-萨吾尔地区的岩浆活动格架的建立提供了新的证据,也为深入研究西准噶尔地区早古生代岩浆活动提供了新的资料。

2 地质特征

2.1 区域地质背景

中亚造山带是位于西伯利亚板块(北)和塔里木-中朝板块之间的一个横贯欧亚大陆的巨型造山带,长约 5000km(图 1a),与环太平洋地区、特提斯地区并称为世界三大造山体系(Şengör *et al.*, 1993; Xiao *et al.*, 2012)。西准噶尔地区地处准噶尔盆地西北部,主体呈北东东向展布,区内岩浆活动十分强烈,由北向南可依次分为塔尔巴哈台-萨吾尔岩浆岩带、巴尔鲁克-谢米斯台岩浆岩带和包古图-哈图岩浆岩带(图 1b)。

塔尔巴哈台-萨吾尔岩浆岩带位于西准噶尔北部,其南以洪古勒楞深大断裂为界,西北以中国-哈萨克斯坦边境线为界,东至乌伦古湖,是一个以出露晚古生代火山碎屑-沉积岩为特征的岩浆岩带。根据 1:20 万和布克赛尔幅地质图资料(新疆地质矿产局, 1989^①),塔尔巴哈台-萨吾尔岩浆岩带出露的地层主要为泥盆系和石炭系火山-沉积岩地层,局

部出露少量的奥陶纪、志留纪的沉积岩和二叠纪火山岩。塔尔巴哈台-萨吾尔岩浆岩带主要受到洪古勒楞、萨吾尔、巴音布拉克深大断裂控制,总体以近东西向构造为主,与其南部的谢米斯台地区基本一致(图 1c)。塔尔巴哈台-萨吾尔岩浆岩带除火山岩地层外,还发育有大量侵入岩,基性-酸性岩石均有分布,以中酸性侵入体为主,这些侵入体出露面积在 1~200km² 之间。

2.2 铁普克火山岩

铁普克火山岩分布区位于萨吾尔岩浆岩带西南部,距和布克赛尔县西北约 30km(图 1c)。该区出露的地层主要为中泥盆统库鲁木迪组(D₂k)火山-碎屑岩和新生代坡积物(图 1d);区内构造作用强烈,除了东西向展布的萨吾尔深大断裂横贯研究区外,北东向和北西向的次级断裂也十分发育。区内岩浆作用强烈,东西向展布的和布赛尔花岗岩以岩基状横穿铁普克地区,铁普克火山岩被多条花岗斑岩(图 2a)侵入其内。

本次研究选择铁普克地区垂直于近东西向的库鲁木迪组(D₂k)火山岩地层剖面(图 2a, b; A-A')进行了地质观察和代表性样品的采样。A-A'剖面长约 1km,南北走向,剖面横穿中泥盆统库鲁木迪组(D₂k)火山-碎屑岩地层,南起和丰盆地的第四系坡积物(A),北至和布赛尔岩体内(A')。铁普克剖面的采样情况如图 2a 所示,测得 A-A'剖面横穿的中泥盆统库鲁木迪组火山岩地层走向 82°,为近东西向,倾向北,倾向角约 60°(图 2a, b),铁普克地区剖面出露的岩性主要为玄武安山岩和花岗斑岩(图 2c-i),花岗斑岩大致顺着火山岩层侵入,在火山岩与花岗斑岩接触部位见有磁铁矿化和绿泥石化等蚀变。

铁普克火山岩剖面所采样品包括玄武安山岩(图 2f)和花岗斑岩(图 2i)以及北部和布赛尔岩体。玄武安山岩呈灰褐色,安山结构,块状构造(图 2g),斑晶矿物主要为基性斜长石,有少量的单斜辉石和角闪石等,基质为微晶斜长石,岩石发生了较强的绿泥石化、绢云母化(图 2h);花岗斑岩呈灰白色,略带红色,花岗结构,块状构造(图 2j),主要斑晶矿物为斜长石、石英,有少量的黑云母和角闪石等。斜长石为自形-半自形板状,粒径大小在 0.1~10mm 之间,部分发育有环带结构;石英呈他形粒状,充填于斜长石等矿物颗粒之间。基质为斜长石和石英的微晶,岩石发生了钾长石化和硅化等蚀变(图 2k)。

3 锆石 LA-ICPMS U-Pb 同位素定年

在岩相学工作基础上,本文挑选铁普克实测剖面中代表性的玄武安山岩(TPK-11)和花岗斑岩(TPK-05)样品进行锆

① 新疆地质矿产局. 1989. 1:20 万和布克赛尔幅地质图(编号 L-45-8)

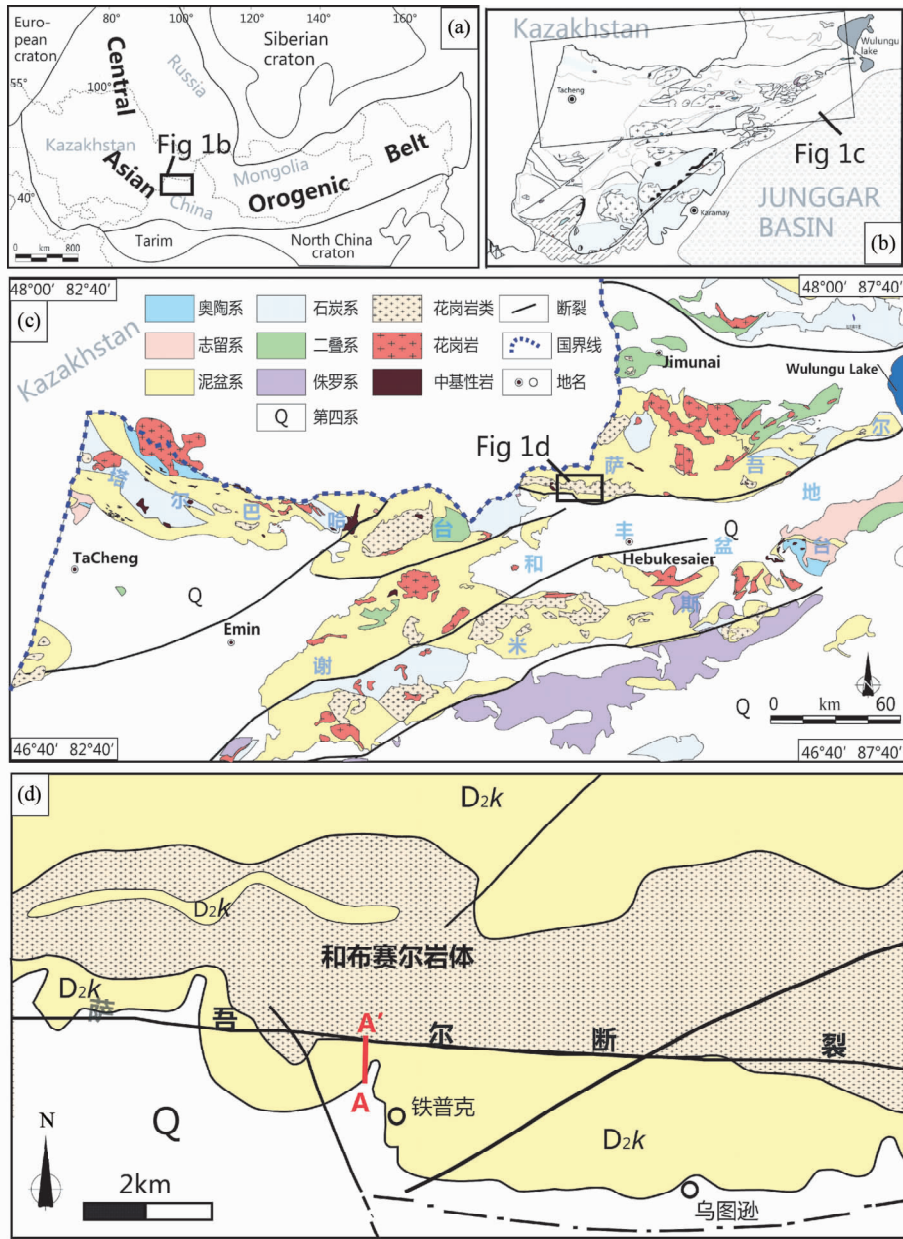


图1 研究区地质图

(a) 中亚造山带地质略图(据 Jahn *et al.*, 2000 修改);(b) 西准噶尔地质图(据申萍等,2010 修改);(c) 塔尔巴哈台-萨吾尔岩浆岩带地质图(据新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993 修改);(d) 铁普克火山岩地质简图

Fig.1 Geological map on the research area

(a) sketch geological map of Central Asian Orogenic Belt (modified after Jahn *et al.*, 2000); (b) geological map of the West Junggar (modified after Shen *et al.*, 2010); (c) geological map of the Taerbahatai-Sawuer magmatic belt (modified after BGMRX, 1993); (d) geological map of the Tiepuke district, South Sawuer area

石单矿物进行原位 LA-ICPMS U-Pb 同位素的测年分析。

3.1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年

锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析在合肥工业大学资源与环境工程学院 LA-ICP-MS 实验室完成,锆石阴极发光显微照相是在中国地质科学院地质研究所电子探针室完成。

定年工作的具体过程为:(1)分选:将要分选锆石单矿物

的样品破碎至矿物自然粒度(50 ~ 150 μ m)后,通过磁选和重液等选矿技术,将矿物初步分离,然后配合双目镜手选方法进行单矿物分离提纯,分选出晶型完好、颗粒大于 50 μ m 的锆石(TPK-11 > 100 颗;TPK-05 > 100 颗)作为定年和成分测定的对象。(2)制靶:在双目镜下挑选出晶型完好,透明度和色泽较好的锆石单矿物粘在载玻片上的双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后抛光至锆石

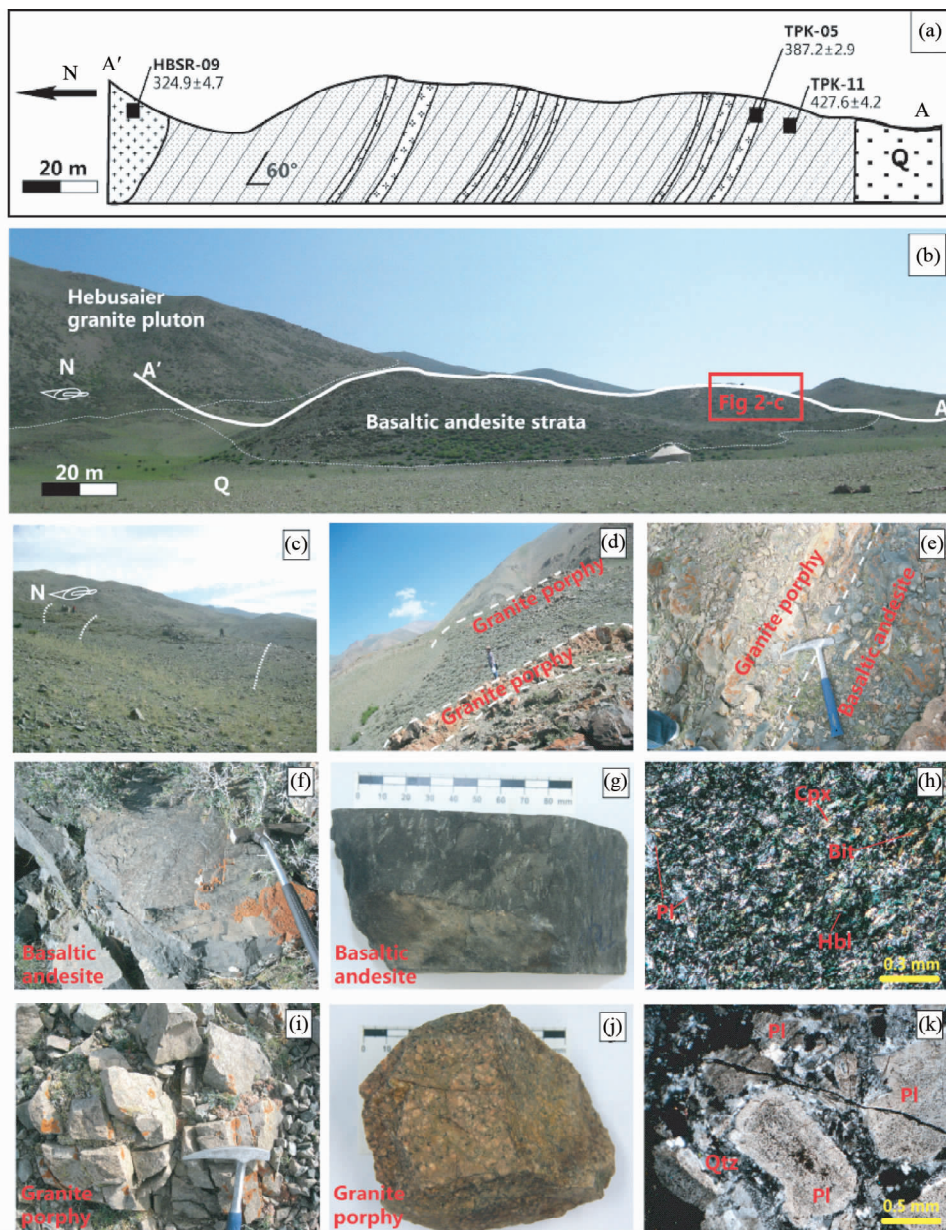


图2 铁普克火山岩剖面地质特征及岩相学照片

(a, b) 铁普克剖面地质图及照片; (c-e) 铁普克剖面中花岗斑岩穿插于玄武安山岩层内; (f-h) 玄武安山岩的岩相学特征; (i-k) 花岗斑岩的岩相学特征。Bit-黑云母; Cpx-单斜辉石; Hbl-角闪石; Pl-斜长石; Qtz-石英

Fig. 2 The geological section and petrographic photos of the volcanic strata in Tiepukue district

(a, b) the sketch geological map and general photograph of the Tiepukue section; (c-e) the photos of the granite porphyry cross into volcanic strata in Tiepukue district; (f-h) petrographic photos of the basaltic andesite; (i-k) petrographic photos of the granite porphyry. Bit-biotite; Cpx-clinopyroxene; Hbl-hornblende; Pl-plagioclase; Qtz-quartz

单颗粒露出1/3以上。(3)照相:对锆石进行阴极发光鉴定并拍照,用配有阴极发光(CL)探头的电子显微镜工作电压为15kV,电流为4nA。这些阴极发光照片被用来检查锆石的内部结构和选择分析区域。(4)LA-ICP-MS U-Pb同位素测年:分析测试前分别用酒精和稀硝酸(5%)轻擦锆石样品表面,以除去可能的污染。采用仪器为Agilent 7500a ICP-MS,采用He作为剥蚀物质载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质NIST SRM610进行

仪器最佳化。锆石年龄分析采用的光斑直径为30 μ m,采用国际标准锆石91500作为外标标准物质,并每隔4~5个样品分析点测一次标准,每隔10个点进行仪器最佳化,确保标准和样品的仪器条件完全一致。(5)数据处理:样品的同位素数据处理采用ICPMS DataCal(V8.6版)软件进行,普通铅校正采用的Andersen的方法(Andersen and Griffin, 2004),年龄计算及谐和图的绘制采用Isoplot(2.49版)进行(Ludwig, 2003),实验过程中误差为1 σ 。

表1 萨吾尔南部铁普克地区岩浆岩锆石 U-Pb 分析结果

Table 1 Zircon U-Pb dating of magmatic rocks in Tiepuke section, Sawuer area

测点号	^{206}Pb		^{232}Th		^{238}U		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		同位素比值		年龄 (Ma)		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ			1σ
玄武安山岩 (TPK-11)																					
-01	116.9	314.8	444.8	0.63	0.0540	0.0012	0.4626	0.0121	0.0625	0.0008	368.57	51.85	386.07	8.43	391.08	5.07					
-02	75.15	223.0	261.5	0.79	0.0531	0.0016	0.4872	0.0167	0.0662	0.0010	361.17	72.22	403.03	11.43	413.44	6.09					
-03	24.81	27.81	82.67	0.31	0.0515	0.0025	0.4810	0.0248	0.0693	0.0012	366.72	86.10	398.77	16.98	432.14	7.28					
-04	12.90	16.01	43.80	0.35	0.0581	0.0043	0.5563	0.0405	0.0702	0.0013	587.07	146.28	449.11	26.45	437.09	8.13					
-05	41.34	90.32	138.8	0.61	0.0581	0.0025	0.5610	0.0254	0.0694	0.0013	524.11	79.62	452.15	16.55	432.56	7.59					
-06	24.34	17.58	81.41	0.20	0.0561	0.0030	0.5249	0.0287	0.0694	0.0013	435.23	111.10	428.42	19.13	432.63	7.93					
-07	70.52	150.5	240.8	0.58	0.0569	0.0017	0.5201	0.0179	0.0668	0.0009	500.04	57.40	425.21	11.97	416.67	5.39					
-08	30.33	33.77	108.6	0.29	0.0587	0.0027	0.5546	0.0268	0.0685	0.0011	568.55	111.10	448.02	17.48	426.98	6.63					
-09	31.88	49.63	107.0	0.42	0.0568	0.0021	0.5488	0.0207	0.0709	0.0011	483.38	94.43	444.19	13.57	441.76	6.47					
-10	19.84	30.27	69.39	0.37	0.0617	0.0037	0.5750	0.0338	0.0683	0.0013	733.34	115.73	461.25	21.77	425.67	7.80					
-11	19.78	21.04	67.71	0.29	0.0542	0.0031	0.5192	0.0321	0.0688	0.0013	394.50	274.84	424.62	21.45	428.67	8.04					
-12	47.68	82.43	166.2	0.46	0.0564	0.0021	0.5287	0.0196	0.0684	0.0010	457.45	83.32	430.97	13.04	426.81	5.81					
-13	71.07	132.19	245.7	0.50	0.0603	0.0019	0.5593	0.0176	0.0682	0.0010	620.39	62.95	451.05	11.48	425.40	6.20					
-14	13.34	12.07	45.28	0.25	0.0709	0.0049	0.6563	0.0455	0.0701	0.0017	938.89	140.73	512.36	27.92	436.72	10.16					
-15	36.52	67.52	128.3	0.48	0.0730	0.0038	0.6667	0.0391	0.0663	0.0012	1095.99	877.93	518.72	23.83	413.91	7.14					
-16	27.23	38.33	92.51	0.37	0.0574	0.0031	0.5276	0.0274	0.0686	0.0012	483.38	194.43	430.23	18.21	427.59	7.20					
-17	14.18	13.38	48.09	0.24	0.0629	0.0035	0.5932	0.0332	0.0697	0.0016	905.56	114.81	472.90	21.17	434.56	9.66					
-18	32.25	45.47	106.7	0.39	0.0621	0.0024	0.5976	0.0273	0.0687	0.0011	673.78	116.65	475.70	17.38	428.50	6.88					
-19	21.55	15.06	69.22	0.19	0.0548	0.0027	0.5264	0.0275	0.0711	0.0012	394.50	112.95	429.41	18.31	442.90	7.50					
-20	41.84	53.24	138.0	0.35	0.0551	0.0018	0.5310	0.0193	0.0692	0.0009	455.60	108.32	432.51	12.80	431.32	5.46					
-21	22.01	31.98	73.78	0.38	0.0581	0.0029	0.5576	0.0278	0.0702	0.0012	600.03	102.76	449.93	18.11	437.31	7.44					
-22	27.22	49.85	95.17	0.47	0.0705	0.0027	0.6478	0.0266	0.0677	0.0011	933.02	79.63	507.10	16.37	422.06	6.43					
-23	29.50	55.35	104.2	0.49	0.0541	0.0025	0.4888	0.0235	0.0665	0.0010	461.16	101.84	404.06	16.06	414.79	6.11					
-24	17.90	26.77	62.03	0.39	0.0509	0.0030	0.4675	0.0269	0.0673	0.0011	235.25	131.47	389.47	18.63	419.63	6.92					
-25	21.81	38.71	72.92	0.49	0.0562	0.0029	0.5440	0.0298	0.0711	0.0010	461.16	101.84	441.03	19.63	442.75	6.29					
-26	62.05	213.2	228.6	0.85	0.0524	0.0016	0.4608	0.0161	0.0639	0.0008	298.21	64.81	384.84	11.17	399.29	5.02					
-27	54.05	107.3	182.4	0.55	0.0573	0.0017	0.5520	0.0173	0.0707	0.0010	522.26	61.10	446.29	11.32	440.31	5.91					
-28	32.50	58.73	115.5	0.46	0.0509	0.0026	0.4574	0.0236	0.0657	0.0009	287.10	103.69	382.44	16.42	410.34	5.58					
-29	16.89	30.91	61.12	0.48	0.0555	0.0028	0.4935	0.0261	0.0669	0.0011	420.42	885.03	407.31	17.78	417.18	6.81					
花岗岩 (TPK-05)																					
-01	107.3	240.9	3.19	0.55	0.0533	0.0012	0.4445	0.0109	0.0607	0.0004	346.35	51.85	373.39	7.68	379.77	2.41					
-02	64.31	115.1	1.24	0.43	0.0527	0.0014	0.4307	0.0125	0.0594	0.0004	324.13	62.03	363.68	8.85	371.88	2.51					
-03	68.86	119.1	12.03	0.39	0.0839	0.0020	0.6545	0.0194	0.0565	0.0007	1298.15	55.71	511.25	11.93	354.13	4.35					

续表 1

Continued Table 1

测点号	^{206}Pb		^{232}Th		^{238}U		Th/U		同位素比值				年龄 (Ma)					
	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
-04	68.33	144.5	3.88	0.54	0.0529	0.0014	0.4519	0.0132	0.0618	0.0005	57.40	324.13	378.61	9.20	386.56	3.00		
-05	49.20	99.03	6.23	0.50	0.0555	0.0020	0.4793	0.0177	0.0633	0.0007	70.37	438.94	397.62	12.13	395.69	4.21		
-06	118.5	364.2	2.02	0.72	0.0535	0.0011	0.4309	0.0111	0.0584	0.0004	54.63	383.39	363.83	7.87	366.02	2.25		
-07	69.33	134.5	3.47	0.48	0.0532	0.0014	0.4487	0.0126	0.0610	0.0005	70.37	327.84	376.36	8.81	381.52	3.11		
-08	89.92	226.6	2.55	0.61	0.0541	0.0011	0.4413	0.0096	0.0592	0.0004	46.29	368.57	371.14	6.79	370.87	2.17		
-09	49.03	102.5	3.37	0.52	0.0551	0.0018	0.4720	0.0160	0.0621	0.0005	64.81	455.60	392.57	11.04	388.57	3.34		
-10	44.03	127.6	1.73	0.69	0.0539	0.0019	0.4485	0.0169	0.0603	0.0005	83.33	361.17	376.25	11.86	377.51	3.11		
-11	56.06	105.0	4.37	0.48	0.0547	0.0014	0.4747	0.0130	0.0629	0.0005	55.55	383.39	394.40	8.93	393.20	3.03		
-12	162.1	476.4	14.32	0.70	0.0551	0.0010	0.4668	0.0101	0.0613	0.0003	38.89	416.72	388.97	6.98	383.36	2.02		
-13	34.28	58.23	3.81	0.44	0.0587	0.0022	0.5192	0.0213	0.0643	0.0007	77.77	568.55	424.59	14.23	401.70	4.11		
-14	91.94	207.8	6.36	0.56	0.0569	0.0012	0.4910	0.0117	0.0626	0.0006	46.29	500.04	405.59	7.97	391.57	3.41		
-15	49.46	103.0	4.45	0.51	0.0571	0.0018	0.4893	0.0163	0.0622	0.0006	58.32	505.60	404.43	11.12	388.74	3.34		
-16	65.30	107.5	5.15	0.40	0.0599	0.0015	0.5039	0.0148	0.0612	0.0005	62.95	612.98	414.35	9.96	382.90	3.31		
-17	70.87	162.4	3.61	0.56	0.0545	0.0015	0.4746	0.0137	0.0633	0.0005	609.23	388.94	394.34	9.46	395.49	2.81		
-18	82.03	175.7	8.10	0.60	0.0573	0.0014	0.5734	0.0157	0.0724	0.0008	49.99	509.30	460.24	10.13	450.69	4.99		
-19	93.61	251.5	5.50	0.65	0.0561	0.0012	0.4675	0.0105	0.0605	0.0004	44.44	453.75	389.49	7.26	378.45	2.50		
-20	64.57	139.9	2.08	0.53	0.0543	0.0014	0.4514	0.0122	0.0604	0.0005	59.25	372.28	378.26	8.51	377.78	2.75		
-21	55.50	112.9	3.65	0.50	0.0575	0.0018	0.4799	0.0148	0.0607	0.0004	68.51	509.30	397.99	10.13	380.00	2.59		
-22	52.38	94.76	4.97	0.45	0.0558	0.0019	0.4772	0.0166	0.0622	0.0006	77.77	442.64	396.18	11.41	389.02	3.41		
-23	79.91	153.6	4.38	0.47	0.0545	0.0012	0.4547	0.0116	0.0603	0.0005	50.00	390.79	380.55	8.12	377.36	2.99		
-24	62.75	115.0	4.80	0.45	0.0590	0.0017	0.4906	0.0144	0.0602	0.0005	61.10	564.85	405.34	9.83	376.78	3.10		
-25	43.80	69.56	3.46	0.40	0.0568	0.0020	0.4910	0.0181	0.0625	0.0006	77.77	487.08	405.58	12.35	390.95	3.77		
-26	27.91	54.92	0.84	0.50	0.0542	0.0020	0.4605	0.0178	0.0617	0.0007	83.33	388.94	384.58	12.41	386.18	4.09		
-27	40.20	68.27	1.55	0.43	0.0556	0.0017	0.4841	0.0148	0.0637	0.0007	66.66	438.94	400.90	10.12	397.95	4.06		
-28	42.70	66.37	3.08	0.40	0.0608	0.0020	0.5403	0.0185	0.0643	0.0006	70.36	631.50	438.59	12.19	401.98	3.77		
-29	59.87	119.0	4.45	0.52	0.0535	0.0015	0.4821	0.0152	0.0651	0.0006	66.66	350.06	399.54	10.40	406.71	3.77		
-30	55.86	126.1	1.37	0.57	0.0538	0.0017	0.4610	0.0153	0.0619	0.0005	70.36	344.50	384.98	10.61	387.42	2.83		
-31	72.44	137.7	1.66	0.45	0.0565	0.0015	0.4862	0.0143	0.0619	0.0004	124.06	587.07	402.29	9.78	387.30	2.42		
-32	48.14	99.95	2.20	0.52	0.0578	0.0020	0.5052	0.0175	0.0634	0.0006	74.06	542.63	415.22	11.83	396.28	3.54		
-33	73.96	143.5	1.46	0.49	0.0539	0.0013	0.4763	0.0124	0.0637	0.0004	59.25	390.79	395.53	8.54	398.36	2.66		
-34	35.76	66.78	1.53	0.49	0.0514	0.0020	0.4610	0.0180	0.0662	0.0008	108.32	253.77	384.93	12.52	412.95	4.61		
-35	47.93	86.24	2.15	0.47	0.0582	0.0016	0.5355	0.0171	0.0664	0.0006	67.58	566.70	435.45	11.28	414.71	3.72		
-36	70.13	134.1	2.59	0.48	0.0549	0.0014	0.4834	0.0132	0.0640	0.0005	32.41	416.72	400.42	9.06	399.78	2.80		
-37	99.25	230.6	2.63	0.58	0.0573	0.0012	0.4973	0.0120	0.0634	0.0004	1107.23	531.52	409.88	8.15	396.15	2.67		

表2 萨吾尔地区岩浆岩成岩时代表

Table 2 The geochronology list of the magmatism in Sawuer area, West Junggar

编号	地质体名称	样品号	岩性	成岩年代 (Ma)	误差 (σ)	测年方法	参考资料
1	铁普克	TPK-11	玄武安山岩	427.6	4.2	锆石 LA-ICPMS U-Pb	本文
2	铁东	TD-06	玄武安山岩	383.6	3.7	锆石 LA-ICPMS U-Pb	作者待发表数据
3	阔尔真阔腊	3	安山岩	335	47	Rb-Sr 等时线年龄	Shen <i>et al.</i> , 2005
4	布尔克斯岱	2	安山岩	343	22	Rb-Sr 等时线年龄	刘国仁, 2003
5	阔尔真阔腊	1	安山岩	339.4	4.8	锆石 LA-ICPMS U-Pb	Shen <i>et al.</i> , 2005
6	哈尔加乌组粗玄岩	TK-20	粗玄岩	296.7	5	全岩 Ar-Ar	谭绿贵, 2007
7	卡拉岗组英安岩	TK-12	英安岩	283	2	全岩 Ar-Ar	谭绿贵, 2007
8	卡拉岗组玄武岩	TK-28	玄武岩	281.2	3	全岩 Ar-Ar	谭绿贵, 2007
9	卡拉岗组流纹岩	KE-6	流纹岩	280	2	全岩 Ar-Ar	谭绿贵, 2007
10	铁普克岩体	TPK-05	花岗斑岩	387.2	2.9	锆石 LA-ICPMS U-Pb	本文
11	塔斯特	TST	钾长花岗岩	353.7	3.1	锆石 LA-ICPMS U-Pb	作者待发表数据
12	黑山头	HST54-1	闪长岩	351.1	3.2	锆石 LA-ICPMS U-Pb	作者待发表数据
13	阿卡尔岩体	AKE-10	石英正长岩	345.4	2.7	锆石 LA-ICPMS U-Pb	作者待发表数据
14	汉哲尔能	7HZGNZK0-2-820	似斑状石英二长岩	345.3	8.3	锆石 LA-ICPMS U-Pb	郭正林等, 2010
15	根牛尔岩体	GNE-09	闪长岩	336.5	3	锆石 LA-ICPMS U-Pb	作者待发表数据
16	汉哲尔能	7HZGN-3	二长花岗斑岩	334.9	7.3	锆石 LA-ICPMS U-Pb	郭正林等, 2010
17	森塔斯岩体	STS-1	二长花岗岩	328.2	5.7	锆石 SHRIMP U-Pb	Zhou <i>et al.</i> , 2008
18	和布赛尔岩体	HBSE-09	粗粒黑云母花岗岩	324.9	4.7	锆石 LA-ICPMS U-Pb	作者待发表数据
19	沃肯萨拉	OK-4	二长花岗岩	323.8	6.2	锆石 SHRIMP U-Pb	Zhou <i>et al.</i> , 2008
20	那林卡拉	NLK-01	闪长岩	313.6	3.1	锆石 LA-ICPMS U-Pb	作者待发表数据
21	塔斯特岩体	TST-10	花岗岩	313.6	3.2	全岩 Ar-Ar	Zhou <i>et al.</i> , 2008
22	喀尔交岩体	KE-18	花岗斑岩	302.6	7.6	锆石 SHRIMP U-Pb	Zhou <i>et al.</i> , 2008
23	阔依塔斯岩体	KY-5	碱长花岗岩	297.9	4.6	锆石 SHRIMP U-Pb	Zhou <i>et al.</i> , 2008
24	恰其海岩体	QQH-14	碱长花岗岩	290.7	9.3	锆石 SHRIMP U-Pb	Zhou <i>et al.</i> , 2008
25	吐尔库班套	4	辉长岩	394.6	4.9	锆石 LA-ICPMS U-Pb	郭正林等, 2010
26	吐尔库班套	5	辉长岩	355	5	锆石 LA-ICPMS U-Pb	王玉往等, 2011
27	科克托别	KKTB-09	细粒辉长岩	323.2	6.2	锆石 SHRIMP 年龄	邓宇峰等, 2015
29	科克托别	KKTB-10	中粗粒辉长岩	319.1	4.4	锆石 LA-ICPMS U-Pb	邓宇峰等, 待刊
30	那林卡拉	NLH-01	辉长岩	293.1	1.8	锆石 SHRIMP 年龄	作者待发表数据

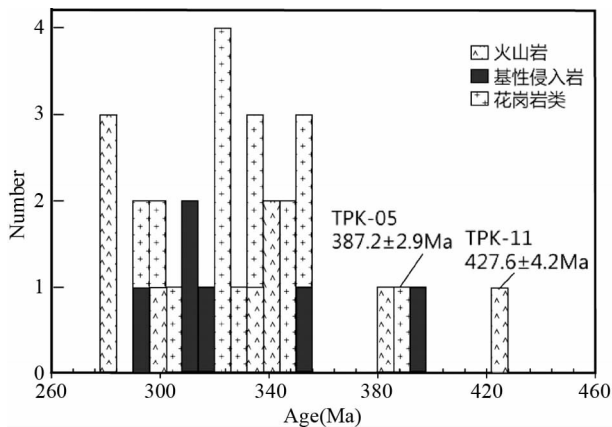


图4 萨吾尔地区岩浆岩成岩年代直方图

Fig. 4 The geochronological histogram of the magmatism in Sawuer area, West Junggar

作(表2、图4),如萨吾尔地区东北部的吐尔库班套辉长岩年龄为350~359Ma(Deng *et al.*, 2013; 王玉往等, 2011);东南部分布的科克托别辉长岩的锆石 SHRIMP 年龄为322Ma左

右(邓宇峰等, 2015);东南部出露的塔斯特、森塔斯、喀尔交、卡依塔斯、恰其海、沃肯萨拉和拉斯特等花岗岩类侵入体的成岩年代为328~291Ma之间(Zhou *et al.*, 2008; 范裕等, 2007; 袁峰等, 2006a; 周涛发等, 2006; Chen *et al.*, 2010);位于萨吾尔岩浆岩带北部的和布赛尔带状花岗岩体侵位于338Ma,为早石炭世岩浆岩(韩宝福等, 2006)。萨吾尔地区出露的火山岩主要为中泥盆统鲁库木迪组(D₂k)中基性火山岩地层(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1989),另有少量石炭系黑山头组和哈尔交组(袁峰等, 2006b)、二叠纪卡拉岗组(谭绿贵等, 2006)中基性火山岩出露。郭正林(2009)测得汉哲尔能铜矿床的含铜花岗石长斑岩的锆石 LAICPMS 年龄为345~334Ma之间。以上年代学研究成果显示,萨吾尔地区成岩成矿作用的时限在早石炭世-早二叠世之间(Zhou *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2010; 韩宝福等, 2006)。

本次工作测得萨吾尔西南部铁普克玄武安山岩(TPK-11)的岩浆锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为427.6 ± 4.2Ma(图3)。该锆石年龄表明萨吾尔地区内存在中志留世的岩浆作用,这一年龄是萨吾尔地区首次报道的早古生代岩浆岩年龄,指示该区岩浆作用至少可以追溯到中志留世。本次工作

成果改变了萨吾尔岩浆岩带内最老的岩浆作用为中泥盆统火山岩的认识,同时也暗示该区1:20万填图归属于中泥盆统库鲁木迪组(D₂k)的中基性火山岩层位需要进一步的厘定。

本次工作还测得穿插于萨吾尔火山岩内部的花岗斑岩脉的岩浆锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 387.2 ± 2.9 Ma, 该定年结果证实了铁普克火山岩是早于中泥盆世(>387.2 Ma)的产物,同时该年龄也是萨吾尔地区目前报道的花岗斑岩的最早年龄,指示了该区存在中泥盆世中酸性岩浆侵入作用,定年结果更新了前人的萨吾尔中酸性侵入岩形成于早石炭世-早二叠世的认识。因此,铁普克地区早古生代火山岩和中泥盆统中酸性侵入体的发现为进一步厘定萨吾尔地区岩浆作用的时空格架、岩石成因以及成岩地球动力学过程提供了重要的年代学证据。

4.2 西准噶尔地区早古生代岩浆作用

前人研究提出中亚造山带西段具有“马蹄形”构造分属的特点,其中马蹄形外侧为早古生代的地质体分布,而内侧主要为晚古生代的地质体分布,由外向内逐渐变新的特点(Şengör *et al.*, 1993; Xiao *et al.*, 2013),西准噶尔地区处于该马蹄形构造外侧与南侧的结合部位。徐新等(2006)研究显示志留纪西准噶尔地区存在广泛的洋盆和岛弧背景的岩浆岩。前人对西准噶尔地区的岩浆作用进行了不同程度的研究工作(朱永峰等, 2007; 唐功建等, 2009; Geng *et al.*, 2009; Cao *et al.*, 2014; Shen *et al.*, 2013)。关于早古生代岩浆作用,在西准噶尔的南部地区除了在唐巴勒和玛伊勒附近发现有形成于早古生代蛇绿岩套(朱永峰等, 2008),在西准噶尔北部的塔尔巴哈台和萨吾尔地区,朱永峰和徐新(2006)对塔尔巴哈台山地区研究发现该区存在早奥陶世(478.3 ± 3.3 Ma)的库及拜蛇绿岩;Jian *et al.* (2005)在谢米斯台地区也发现了洪古勒楞早奥陶世(472 ± 8.4 Ma)的蛇绿岩。在谢米斯台地区还广泛发育了志留世侵入的中酸性岩浆作用(Chen *et al.*, 2010)和志留系火山岩(Shen *et al.*, 2013)。然而,萨吾尔地区作为西准噶尔北部的主要组成部分,此前一直无早古生代岩浆活动的年龄证据。

本次工作成果显示萨吾尔地区存在中志留世(427.6 ± 4.2 Ma)的岩浆岩,指示了塔尔巴哈台志留纪火山作用延伸到了萨吾尔山一带。在塔尔巴哈台-萨吾尔地区和谢米斯台山地区都发现了中奥陶世的蛇绿岩(朱永峰和徐新, 2006; Jian *et al.*, 2005)、和中志留世同时代的岩浆岩(Chen *et al.*, 2010),塔尔巴哈台-萨吾尔以及南部的谢米斯台地区的早古生代岩浆作用可能具有类似形成背景。

5 结论

(1) 萨吾尔地区西南部铁普克玄武安山岩形成年代为 427.6 ± 4.2 Ma, 为中志留世岩浆作用的产物;侵入于玄武安

山岩内的花岗斑岩年龄为 387.2 ± 2.9 Ma, 为中泥盆世的中酸性岩浆作用的产物。

(2) 萨吾尔地区早古生代的岩浆作用与谢米斯台地区岩浆作用时代上一致,指示塔尔巴哈台-萨吾尔地区和谢米斯台地区早古生代岩浆作用可能具有类似的构造背景。

致谢 本文的研究工作得到了新疆“305”项目办公室、新疆有色706地质队和合肥工业大学 LA-ICP-MS 实验室的大力支持;论文得到了申萍研究员、肖文交研究员的指导和帮助;年代学测试上得到了李全忠博士的指导与帮助;在此一并致以诚挚的感谢!

References

- An F and Zhu YF. 2010. Native antimony in the Baogutu gold deposit (West Junggar, NW China): Its occurrence and origin. *Ore Geology Reviews*, 37(3-4): 214-223
- Andersen T and Griffin WL. 2004. Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of zircons from the Storgangen intrusion, Rogaland intrusive complex, SW Norway: Implications for the composition and evolution of Precambrian lower crust in the Baltic Shield. *Lithos*, 73(3-4): 271-288
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region (BGMRX). 1993. *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House, 1-841 (in Chinese)
- Cao MJ, Qin KZ, Li GM, Jin LY, Evans NJ and Yang XR. 2014. Baogutu: An example of reduced porphyry Cu deposit in western Junggar. *Ore Geology Reviews*, 56: 159-180
- Chen JF, Han BF, Ji JQ, Zhang L, Xu Z, He GQ and 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
- Deng YF, Yuan F, Zhou TF, Xu C, Zhang DY and Guo XJ. 2013. Geochemical characteristics and tectonic setting of the Tuerkubantao mafic-ultramafic intrusion in West Junggar, Xinjiang, China. *Geoscience Frontiers*, doi: 10.1016/j.gsf.2013.10.003
- Deng YF, Zhou TF, Yuan F, Du XW, Zhang DY and Xu C. 2015. Petrogenesis of the Keketuobie mafic intrusion in the Sawuer region, West Junggar: Evidence from geochemistry and U-Pb chronology. *Acta Petrologica Sinica*, 31(2): 465-478 (in Chinese with English abstract)
- Fan Y, Zhou TF, Yuan F, Tan LG, Cooke D, Meffre S, Yang WP and He LX. 2007. LA-ICP MS zircon age of Tasite pluton in Sawuer region of West Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1901-1908 (in Chinese with English abstract)
- Geng HY, Sun M, Yuan C, Xiao WJ, Xian WS, Zhao GC, Zhang LF, Wong K and Wu FY. 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
- Guo ZL. 2009. Tectonic-metallogenic division, regional metallogenic regularity and exploration potential analysis in northwestern margin of junggar, NW China. Ph. D. Dissertation. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 1-152 (in Chinese)
- Guo ZL, Li JX, Qin KZ, Dong LH, Guo XJ, Tang DM and Du XW. 2010. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of Hanzheganeng Cu-Au deposit in West Junggar, Xinjiang: Implications for magma source and metallogenic tectonic setting. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12): 3563-3578 (in Chinese with English abstract)

- Han BF, Ji JQ, Song B, Chen LH and Zhang L. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1077 – 1086 (in Chinese with English abstract)
- He GQ, Liu DQ, Li MS, Tang YL and Zhou RH. 1995. The five-stage model of crust evolution and metallogenic series of chief orogenic belts in Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 13(2): 99 – 194 (in Chinese with English abstract)
- Jahn BM, Wu FY and Chen B. 2000. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotope evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic. *Episodes*, 23(2): 82 – 92
- Jian P, Liu DY, Shi YR and Zhang FQ. 2005. SHRIMP dating of SSZ ophiolites from northern Xinjiang Province, China: Implications for generation of oceanic crust in the central Asian orogenic belt. In: Sklyarov EV (ed.). *Structural and Tectonic Correlation across the Central Asian Orogenic Collage: Northeastern Segment*. IEC SB RAS, Irkutsk: Guidebook and Abstract Volume of the Siberian Workshop IGCP-480, 246
- Liu GR, Long ZN, Chen QZ and Zhou G. 2003. The formation age and geochemical characteristics of the volcanic rock of Kuozhenkuola's gold mine in Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 21(2): 177 – 180 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 2001. *Squid 1.02: A User Manual*. Berkeley: Berkeley Geochronological Center, Special Publication, 19
- Sengör AMC, Natal' in BA and Burtman VS. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364(6435): 299 – 307
- Shen P, Shen YC, Zeng QD, Liu TB and Li GM. 2005. ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar age and geological significance of the Sawur gold belt in northern Xinjiang, China *Acta Geologica Sinica*, 79(2): 276 – 285
- Shen P, Shen YC, Liu TB, Pan HD, Meng L, Song GX and Dai HW. 2010. Discovery of the Xiemisitai copper deposit in western Junggar, Xinjiang and its geological significance. *Xinjiang Geology*, 28(4): 413 – 418 (in Chinese with English abstract)
- Shen P, Shen YC, Li XH, Pan HD, Zhu HP, Meng L and Dai HW. 2012. Northwestern Junggar Basin, Xiemisitai Mountains, China: A geochemical and geochronological approach. *Lithos*, 14 – 141: 103 – 118
- Shen P, Pan HD, Xiao WJ, Li XH, Dai HW and Zhu HP. 2013. Early Carboniferous intra-oceanic arc and back-arc basin system in the West Junggar, NW China. *International Geology Review*, 55(6): 1991 – 2007
- Shen YC, Jin CW and Qi JY. 1993. Ore-forming model and mechanism of gold mineralization area in west Junggar. In: Tu GC (ed.). *New Developments of Solid Earth Sciences of Northern Xinjiang*. Beijing: Science Press, 113 – 171 (in Chinese)
- Tan LG, Zhou TF, Yuan F, Fan Y and Yue SC. 2006. Geodynamic background of Permian volcanic rocks in the Sawuer region, Xinjiang. *Journal of Hefei University of Technology*, 29(7): 868 – 874 (in Chinese with English abstract)
- Tan LG. 2007. Post-collisional magmatism in Sawu'er region, West Junggar, Xinjiang, China. Ph. D. Dissertation. Hefei: Hefei University of Technology, 1 – 113 (in Chinese)
- Tang GJ, Wang Q, Zhao ZH, Wyman DA, Chen HH, Jia XH and Jiang ZQ. 2009. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyries in the Baogutu area (western Junggar): Petrogenesis and their implications for tectonics and Cu-Au mineralization. *Earth Science*, 34(1): 56 – 74 (in Chinese with English abstract)
- Wang JL, Wang JQ, An F, Yang M, Song ZS and Ling WW. 2013. The first discovery of native copper in Xiemisitai area, Xinjiang. *Acta Geoscientia Sinica*, 34(3): 371 – 374 (in Chinese with English abstract)
- Wang YW, Wang JB, Wang LJ, Long LL, Tang PZ, Liao Z and Zhang HQ. 2011. Discovery of Tuerkubantao ophiolitic mélangé in Xinjiang and its significance. *Earth Science Frontiers*, 18(3): 151 – 165 (in Chinese with English abstract)
- Xiao WJ, Li SZ, Santosh M and Jahn BM. 2012. Orogenic Belts in Central Asia: Correlations and connections. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49: 1 – 6
- Xiao WJ, Windley BF, Allen MB and Han CM. 2013. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage. *Gondwana Research*, 23(4): 1616 – 1341
- Xiao XC, Tang YQ, Feng YM et al. 1992. *Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions*. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 169 (in Chinese)
- Xu X, He GQ, Li HQ, Ding TF, Liu XY and Mei SW. 2006. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélangé, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating. *Geology in China*, 33(3): 470 – 475 (in Chinese with English abstract)
- Yuan F, Zhou TF, Tan LG, Fan Y, Yang WP, He LX and Yue SC. 2006a. Isotopic ages of the I-type granites in West Junggar Sawuer region. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1238 – 1248 (in Chinese with English abstract)
- Yuan F, Zhou TF, Yang WP, He LX, Fan Y, Tan LG and Yue SC. 2006b. Nd, Sr, Pb, O isotope characteristics of two types granites in the Sawuer region, Xinjiang. *Acta Geologica Sinica*, 80(2): 264 – 272 (in Chinese with English abstract)
- Zhou TF, Yuan F, Tan LG, Fan Y and Yue SC. 2006. Geodynamic significance of the A-type granites in the Sawuer region in West Junggar, Xinjiang: Rock geochemistry and SHRIMP zircon age evidence. *Science in China (Series D)*, 49(2): 113 – 123
- Zhou TF, Yuan F, Fan Y, Zhang DY, Cooke D and Zhao GC. 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 YF and Xu X. 2006. The discovery of Early Ordovician ophiolite mélangé in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2833 – 2842 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Wang T and Xu X. 2007. Progress of geology study in Xinjiang and its adjacent regions. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1785 – 1794 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Xu X, Chen B and Xue XY. 2008. Dolomite marble and garnet amphibolite in the ophiolitic mélangé in western Junggar: Relics of the Early Paleozoic oceanic crust and its deep subduction. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2767 – 2777 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 邓宇峰, 周涛发, 袁峰, 杜兴旺, 张达玉, 许超. 2015. 西准噶尔萨吾尔地区科克托别基性岩体岩石成因: 地球化学和锆石 U-Pb 年代学证据. *岩石学报*, 31(2): 465 – 478
- 范裕, 周涛发, 袁峰, 谭绿贵, Cooke D, Meffre S, 杨文平, 何立新. 2007. 新疆西准噶尔地区塔斯特岩体锆石 LA-ICPMS 年龄及其意义. *岩石学报*, 23(8): 1901 – 1908
- 郭正林. 2009. 准噶尔西北缘构造-成矿分区、区域成矿规律及找矿潜力分析. 博士学位论文. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 1 – 152
- 郭正林, 李金祥, 秦克章, 董连慧, 郭旭吉, 唐冬梅, 杜兴旺. 2010. 新疆西准噶尔罕哲尔能 Cu-Au 矿床的锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学特征: 对源区和成矿构造背景的指示. *岩石学报*, 26(12): 3563 – 3578
- 韩宝福, 季建清, 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
- 何国琦, 刘德权, 李茂松, 唐延龄, 周汝洪. 1995. 新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列. *新疆地质*, 13(2): 99 – 194

- 刘国仁, 龙志宁, 陈青珍, 周刚. 2003. 新疆阔尔真阔拉金矿一带火山岩形成时代及地球化学特征. 新疆地质, 21(2): 177-180
- 申萍, 沈远超, 刘铁兵, 潘鸿迪, 孟磊, 宋国学, 代华五. 2010. 西准噶尔谢米斯台铜矿的发现及意义. 新疆地质, 28(4): 413-418
- 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
- 谭绿贵, 周涛发, 袁峰等. 2006. 新疆萨吾尔地区二叠纪火山岩地球动力学背景. 合肥工业大学学报(自然科学版), 29(7): 868-874
- 谭绿贵. 2007. 新疆西准噶尔萨吾尔地区后碰撞岩浆活动研究. 博士学位论文. 合肥: 合肥工业大学, 1-113
- 唐功建, 王强, 赵振华, Wyman DA, 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, 34(1): 56-74
- 王居里, 王建其, 安芳, 杨猛, 宋子升, 令伟伟. 2013. 新疆谢米斯台地区首次发现自然铜矿化. 地球学报, 34(3): 371-374
- 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 龙灵利, 唐萍芝, 廖震, 张会琼. 2011. 新疆吐尔库班套蛇绿混杂岩的发现及其地质意义. 地学前缘, 18(3): 151-165
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社, 1-169
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1-841
- 徐新, 何国琦, 李华芹, 丁天府, 刘兴义, 梅绍武. 2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息. 中国地质, 33(3): 470-475
- 袁峰, 周涛发, 谭绿贵, 范裕, 杨文平, 何立新, 岳书仓. 2006a. 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
- 袁峰, 周涛发, 杨文平, 何立新, 范裕, 谭绿贵, 岳书仓. 2006b. 新疆萨吾尔地区两类花岗岩 Nd、Sr、Pb、O 同位素特征. 地质学报, 80(2): 264-272
- 周涛发, 袁峰, 范裕, 谭绿贵, 岳书仓. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区 A 型花岗岩的地球动力学意义: 来自岩石地球化学和锆石 SHRIMP 定年的证据. 中国科学(D 辑), 36(1): 39-48
- 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
- 朱永峰, 王涛, 徐新. 2007. 新疆及邻区地质与矿产研究进展. 岩石学报, 23(8): 1785-1794
- 朱永峰, 徐新, 陈博, 薛云兴. 2008. 西准噶尔蛇绿混杂岩中的白云石大理岩和石榴角闪岩: 早古生代残余洋壳深俯冲的证据. 岩石学报, 24(12): 2767-2777