

# 新疆北部富蕴县埃达克岩的同位素年代学及其对古亚洲洋板块俯冲时限的制约\*

张海祥<sup>1</sup> 沈晓明<sup>1,2</sup> 马林<sup>1,2</sup> 牛贺才<sup>3</sup> 于学元<sup>3</sup>

ZHANG HaiXiang<sup>1</sup>, SHEN XiaoMing<sup>1,2</sup>, MA Lin<sup>1,2</sup>, NIU HeCai<sup>1</sup> and YU XueYuan<sup>1</sup>

1. 中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室, 广州 510640

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 51064

1. Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China

3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2008-01-08 收稿, 2008-05-06 改回.

Zhang HX, Shen XM, Ma L, Niu HC and Yu XY. 2008. Geochronology of the Fuyun adakite, north Xinjiang and its constraint to the initiation of the Paleo-Asian Ocean subduction. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5):1054–1058

**Abstract** Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the Fuyun adakites of Tuoranggekuduke Group, north Xinjiang has been carried out in this study. The Tuoranggekuduke Group was previously considered to be early Devonian. Our result indicates that the zircon U-Pb age of the Fuyun adakites is  $441.3 \pm 1.8$  Ma. They might be formed at early Silurian. Previous studies suggest that the formation of the adakites approximately represents the beginning of oceanic crust subduction. Since the Fuyun adakites were suggested to be derived from the partial melting of the newly subducted Paleo-Asian Oceanic crust, our result indicates that the initiation of the Paleo-Asian Ocean subduction in north Xinjiang occurred at early Silurian. This is the first accurately isotopic age for the initiation of the Paleo-Asian Ocean subduction.

**Key words** North Xinjiang; Adakite; Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating; Paleo-Asian Ocean subduction

**摘要** 采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年方法对分布于新疆北部富蕴县托让格库都克组中的埃达克岩进行了年代学研究。结果表明, 以往被认为属早泥盆世的埃达克岩的形成年龄为  $441.3 \pm 1.8$  Ma, 属早志留世。由于托让格库都克组中的埃达克岩被认为是由新生的古亚洲洋板块俯冲后部分熔融形成的, 因此, 埃达克岩的同位素年代学研究结果表明, 新疆北部东准噶尔地区古亚洲洋的板块俯冲从早志留世就已经开始。这是首次采用精确的同位素定年手段确定的古亚洲洋板块俯冲作用开始的时间, 具有十分重要的地质意义。

**关键词** 新疆北部; 埃达克岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年; 古亚洲洋板块俯冲

中图分类号 P597.3

## 1 引言

分布于新疆北部富蕴县境内的托让格库都克组自下而上的岩石组合为: 玄武岩-火山凝灰角砾岩-火山集块岩-含铁硅质岩; 凝灰岩-安山岩; 晶质凝灰岩-凝灰质角砾岩-玄武岩; 凝灰岩-玄武岩-安山岩。详细的岩石学和地球化学研究

结果表明, 托让格库都克组中的部分安山岩(英安岩)具有埃达克岩的地球化学特征(张海祥等, 2004; Zhang *et al.*, 2005)。由于埃达克岩是由俯冲的新生洋壳部分熔融形成的, 因此, 它的形成时代基本代表了洋壳俯冲作用开始的时间。也就是说, 托让格库都克组中的埃达克岩的形成时代基本代表了东准噶尔地区古亚洲洋板块俯冲作用的开始时间。由于缺乏精确的同位素年代学资料, 目前对古亚洲洋的形成

\* 国家重点基础研究发展计划(编号: 2007CB411303)和国家自然科学基金(批准号: 40473016, 40672057)资助。

第一作者简介: 张海祥, 男, 1969年生, 博士, 副研究员, 从事岩石地球化学研究, E-mail: zhanghx@gig.ac.cn

与演化,特别是对古亚洲洋洋壳开始俯冲的确切时间还没有统一的认识。因此,通过对托让格库都克组埃达克岩的同位素年代学研究,不仅可以查明埃达克岩形成的确切时间,同时还可以首次通过精确的同位素年代学研究,限定东准噶尔地区古亚洲洋板块开始俯冲的时限,为古亚洲洋的形成与演化提供制约。

## 2 样品的岩石学和地球化学特征

用于本次年代学研究的埃达克岩样品采自富蕴县城南边的索尔库都克地区(图1)。岩石呈灰黑色,致密块状,主

要由等粒的斜长石和石英组成,斜长石呈半自形-自形柱状,双晶发育,石英为它形粒状,此外还有少量的呈明显的淡绿-浅黄绿色多色性角闪石和不透明矿物,样品新鲜无蚀变。

表1是样品的岩石化学分析结果。从表中可以看出,样品具有高的 $Al_2O_3$ 、 $Na_2O$ 含量和低的 $K_2O$ 含量,同时具有高的 $Na_2O/K_2O$ 比值( $=2.9$ )。在微量元素方面,它具有极高的Sr含量和很低的重稀土(其中 $Yb = 1.652 \times 10^{-6}$ )和Y含量,同时具有很高的Sr/Y比值( $=117$ )。样品的稀土总量较低,并显示了明显的重稀土亏损特征( $La/Yb = 9.4$ ),同时没有明显的Eu异常( $\delta Eu = 0.94$ ),所有这些地球化学特征均与埃达克岩的地球化学特征相似。

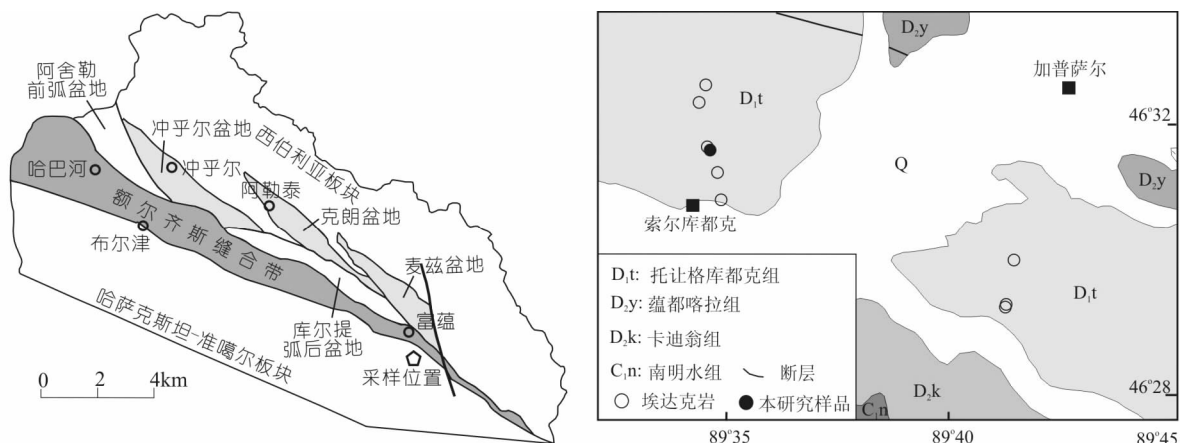


图1 新疆北部构造简图(左)、研究区地质图及采样位置(右)

Fig.1 Tectonic sketch of north Xinjiang (left), Geological map of study area and sample location (right)

表1 新疆北部富蕴县埃达克岩岩石化学分析结果\*

Table 1 The chemical compositions of the Fuyun adakite, north Xinjiang

主量元素														
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LiO	Total			
54.55	0.75	18.05	8.41	0.14	3.85	4.95	4.79	1.63	0.22	2.17	99.51			
微量元素														
Sc	V	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Hf	Ta	Th	U
24.14	211.4	28.77	22.9	12.32	25.48	1812.8	15.55	97.05	3.532	784.1	2.842	0.242	2.839	1.324
稀土元素														
La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	总量
15.46	32.28	4.428	19.11	3.987	1.174	3.679	0.521	2.994	0.587	1.575	0.249	1.652	0.274	87.97

\* 主量元素 XRF 分析由西北大学地质系完成,微量元素 ICP-MS 分析在中国科学院广州地球化学研究所完成。

## 3 锆石年代学研究

### 3.1 分析方法

用于锆石定年的样品新鲜、无蚀变。锆石按常规方法分选,最后在双目镜下挑纯。本研究采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb

同位素定年法对研究区的埃达克岩进行年代学研究。锆石样品靶的制备及 U-Pb 同位素测定均在中国地质大学(武汉)完成,锆石样品靶的制备方法及 U-Pb 同位素分析详细流程见参考袁洪林等(2003)。锆石阴极发光(CATH)和背散射电子(BSE)图像在中国科学院广州地球化学研究所 JEOL-JXA 8100 型电子探针上完成。锆石年龄采用国际标准锆石

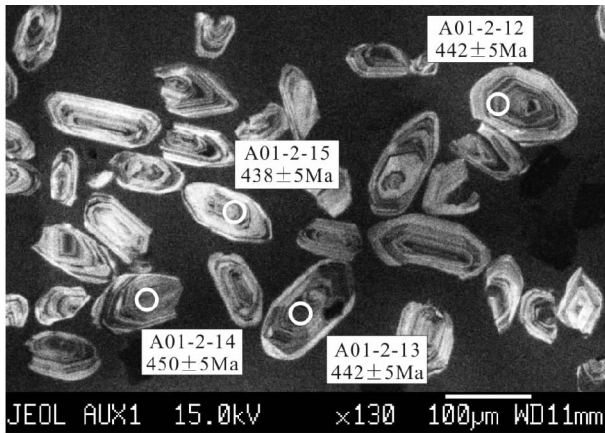


图2 锆石阴极发光图像

Fig. 2 CL image of zircons

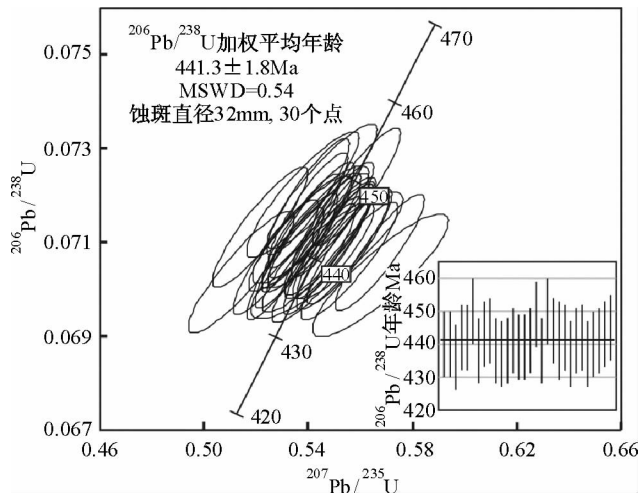


图3 锆石 U-Pb 协和图

Fig. 3 U-Pb consonant diagram of zircon

91500 作为外标标准物质, 样品的同位素比值计算采用 GLITTER 程序, 年龄计算及协和图的绘制采用 Isoplot 完成。

### 3.2 分析结果

研究区埃达克岩中的锆石在双目镜下无色透明, 短柱状, 颗粒的晶形良好, 阴极发光图像表现为清晰的韵律环带结构(图2), 属典型的岩浆结晶产物。本研究采用  $32\mu\text{m}$  的激光剥蚀斑径对锆石进行 U-Pb 同位素定年, 样品的 U-Pb 同位素分析及年龄计算结果见表2。30 个测点的 U/Th 比值都小于 10, 同样显示了岩浆锆石的特征。它们的  $\text{Pb}^{206}/\text{U}^{238}$  年龄介于 436.1 Ma ~ 449.6 Ma 之间。在锆石协和图中(图3), 30 个测点成群分布在一致线上, 其加权平均年龄为  $441.3 \pm 1.8\text{Ma}$ , 这个年龄代表了埃达克岩的形成时代。

## 4 结果讨论

已有的研究表明, 新疆北部东准噶尔造山带古生代以来的大地构造演化是显生宙中亚造山带向南增生和古亚洲洋演化的重要阶段, 但由于有些重要的构造事件还缺乏精确的同位素年代学资料, 加上对一些主要的大地构造演化问题的看法还存在一些分歧, 因此目前对于该构造带古生代以来的构造演化还没有统一的认识(肖序常等, 1992; Sengör *et al.*, 1993; 何国琦等, 1994; 李锦轶和肖序常, 1999; 舒良树等, 2001; Jahn, 2001; Windley *et al.*, 2002, 2007; Jahn *et al.*, 2004; 李锦轶, 2004, 2006; Xiao *et al.*, 2004; 肖文交等, 2006)。对古亚洲洋的形成与演化目前也还存在争议, 特别是对古亚洲洋洋盆打开、洋壳开始俯冲以及洋盆消失的确切时间还没有统一的认识(李锦轶和肖序常, 1999; 舒良树等, 2001; 李锦轶等, 2004, 2006; Xiao *et al.*, 2004; 肖文交等, 2006)。Khain *et al.* (2002) 通过对西伯利亚 East Sayan 的 Dunzhugur 杂岩中斜长花岗岩锆石 U-Pb 同位素年代学的研究发现, 该蛇绿岩的形成年龄为 1020 Ma, 这是古亚洲洋迄今发现的最古老的蛇绿岩, 据此推断, 古亚洲洋洋盆打开的时间至少是在 1000 Ma 以前的中元古代末期。对于古亚洲洋板块向西伯利亚古板块之下俯冲发生的时间, 由于缺乏精确的同位素年代学方面的资料, 目前也没有确切的答案。李锦轶等(2006)认为, 古亚洲洋板块向西伯利亚古板块之下的俯冲在奥陶纪至石炭纪期间一直在持续进行。图瓦贝动物群化石和安加拉植物群化石的分布也表明, 具有前震旦纪基底的阿尔泰和准噶尔等地块从古生代早期开始依次增生到西伯利亚古陆的边缘(李锦轶和肖序常, 1999; 李锦轶, 2004)。最近的研究还发现, 在早古生代早期古亚洲洋发生了洋内俯冲作用, 而且在古亚洲洋中存在东准噶尔岛弧火山岩组成的洋内俯冲体系, 并在晚泥盆世-早石炭世向北拼贴到阿尔泰地体南缘(Windley *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2004; 肖文交等, 2006)。以上研究资料均表明, 古亚洲洋板块开始俯冲的时间大致是在早古生代。

目前有关埃达克岩的成因主要有两大类, 一类是由俯冲的大洋板块部分熔融形成的, 另一类则是由底侵的下地壳部分熔融形成的(Defant *et al.*, 2002)。对于由板片熔融形成埃达克岩的方式, Defant 和 Kepezhinskas (2001) 指出, 除了最先提出的、由新生的、热的俯冲板片部分熔融外, 还可以由其他多种形成方式, 包括: 先前俯冲的残留板片进入地幔被加热后部分熔融、板片倾斜快速俯冲、俯冲开始时冷的板片俯冲进入热的地幔发生部分熔融、俯冲板片的撕裂使板片边缘加热部分熔融、低角度平坦俯冲等都可以形成埃达克岩。

我们以往的研究结果表明, 富蕴县托让格库都克组中的埃达克岩与底侵的下地壳部分熔融无关, 它们是由俯冲的古亚洲洋板块部分熔融形成的(张海洋等, 2004; Zhang *et al.*, 2005)。同时, 研究区发现的、与古亚洲洋板块俯冲密切相关

表2 新疆北部富蕴县埃达克岩中锆石 U-Pb 同位素分析结果  
Table 2 Zircon U-Pb La-ICP-MS analysis data of the adakite rocks from Fuyun area in Northern Xinjiang

	Th <sup>232</sup>		U <sup>238</sup>		U/Th		Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>		Pb <sup>206</sup> /U <sup>238</sup>		Pb <sup>208</sup> /Th <sup>232</sup>		Pb <sup>207</sup> /U <sup>235</sup>		Pb <sup>208</sup> /Th <sup>232</sup>		
	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	
A01-2-1	41.85	165.56	3.96	0.05898	0.00128	0.57432	0.01243	0.07064	0.00084	0.02175	0.00039	440.0	5.1	460.8	8.0	435.0	7.8
A01-2-2	43.26	191.42	4.42	0.05593	0.00109	0.54171	0.01064	0.07026	0.00082	0.02096	0.00035	437.7	4.9	439.6	7.0	419.2	7.0
A01-2-3	38.05	134.17	3.53	0.05519	0.00115	0.53352	0.01113	0.07012	0.00083	0.02222	0.00036	436.9	5.0	434.1	7.4	444.2	7.2
A01-2-4	59.43	234.79	3.95	0.05598	0.00104	0.54792	0.01028	0.07099	0.00082	0.02258	0.00034	442.1	5.0	443.6	6.7	451.3	6.8
A01-2-5	83.77	336.61	4.02	0.05700	0.00097	0.55060	0.00955	0.07007	0.00080	0.02136	0.00031	436.6	4.8	445.4	6.3	427.2	6.1
A01-2-6	72.90	231.98	3.18	0.05644	0.00101	0.54918	0.00996	0.07058	0.00081	0.02233	0.00032	439.6	4.9	444.5	6.5	446.3	6.3
A01-2-7	32.79	154.27	4.70	0.05858	0.00120	0.57242	0.01177	0.07088	0.00084	0.02295	0.00041	441.5	5.0	459.6	7.6	458.7	8.1
A01-2-8	45.58	208.58	4.58	0.05571	0.00104	0.54636	0.01032	0.07114	0.00083	0.02350	0.00037	443.0	5.0	442.6	6.8	469.5	7.3
A01-2-9	44.11	180.74	4.10	0.05549	0.00109	0.54645	0.01078	0.07143	0.00084	0.02335	0.00038	444.8	5.0	442.7	7.1	466.6	7.4
A01-2-10	80.74	278.67	3.45	0.05807	0.00103	0.56713	0.01016	0.07084	0.00082	0.02349	0.00034	441.2	4.9	456.2	6.6	469.3	6.6
A01-2-11	74.16	219.88	2.96	0.05721	0.00137	0.55204	0.01319	0.07000	0.00085	0.02029	0.00037	436.1	5.1	446.3	8.6	406.0	7.4
A01-2-12	102.96	330.06	3.21	0.05847	0.00098	0.57310	0.00979	0.07109	0.00082	0.02306	0.00031	442.7	4.9	460.0	6.3	460.8	6.2
A01-2-13	132.89	325.82	2.45	0.05806	0.00098	0.56876	0.00979	0.07105	0.00082	0.02208	0.00030	442.5	4.9	457.2	6.3	441.5	5.9
A01-2-14	59.96	237.29	3.96	0.05795	0.00115	0.57711	0.01150	0.07223	0.00085	0.02588	0.00041	449.6	5.1	462.6	7.4	516.4	8.2
A01-2-15	42.54	144.34	3.39	0.05779	0.00125	0.55987	0.01211	0.07026	0.00084	0.02187	0.00038	437.7	5.1	451.4	7.9	437.2	7.5
A01-2-16	35.04	156.54	4.47	0.05775	0.00120	0.56666	0.01178	0.07116	0.00084	0.02285	0.00040	443.2	5.1	455.9	7.6	456.7	8.0
A01-2-17	55.94	207.93	3.72	0.05704	0.00108	0.56033	0.01072	0.07124	0.00083	0.02378	0.00037	443.6	5.0	451.7	7.0	475.0	7.2
A01-2-18	92.70	280.32	3.02	0.05801	0.00113	0.56255	0.01103	0.07034	0.00083	0.02183	0.00034	438.2	5.0	453.2	7.2	436.5	6.7
A01-2-19	81.07	245.37	3.03	0.05934	0.00119	0.57442	0.01159	0.07021	0.00083	0.02165	0.00035	437.4	5.0	460.9	7.5	432.9	6.9
A01-2-20	42.64	179.30	4.20	0.05404	0.00129	0.52734	0.01250	0.07077	0.00086	0.02443	0.00047	440.8	5.2	430.0	8.3	487.8	9.2
A01-2-21	125.31	336.12	2.68	0.05723	0.00108	0.55598	0.01059	0.07046	0.00082	0.02203	0.00033	438.9	5.0	448.9	6.9	440.5	6.5
A01-2-22	36.27	86.20	2.38	0.05481	0.00143	0.53201	0.01373	0.07039	0.00087	0.02289	0.00042	438.5	5.2	433.1	9.1	457.5	8.2
A01-2-23	98.10	293.40	2.99	0.05805	0.00114	0.56824	0.01116	0.07100	0.00083	0.02318	0.00036	442.2	5.0	456.9	7.2	463.1	7.1
A01-2-24	44.73	191.26	4.28	0.05597	0.00148	0.55611	0.01459	0.07206	0.00090	0.02450	0.00053	448.5	5.4	449.0	9.5	489.1	10.5
A01-2-25	59.19	238.97	4.04	0.06232	0.00157	0.60580	0.01510	0.07049	0.00088	0.02311	0.00049	439.1	5.3	480.9	9.6	461.8	9.6
A01-2-26	37.98	144.58	3.81	0.05659	0.00144	0.56364	0.01422	0.07224	0.00089	0.02209	0.00046	449.6	5.4	453.9	9.2	441.6	9.2
A01-2-27	88.84	326.27	3.67	0.05622	0.00112	0.55222	0.01106	0.07123	0.00084	0.02250	0.00037	443.6	5.1	446.5	7.2	449.8	7.3
A01-2-28	31.51	137.63	4.37	0.06051	0.00181	0.59234	0.01750	0.07099	0.00092	0.02403	0.00061	442.1	5.6	472.4	11.2	480.0	12.0
A01-2-29	75.33	233.57	3.10	0.05639	0.00132	0.55192	0.01284	0.07097	0.00086	0.02178	0.00040	442.0	5.2	446.3	8.4	435.5	8.0
A01-2-30	120.43	332.59	2.76	0.05730	0.00120	0.55935	0.01172	0.07079	0.00084	0.02202	0.00037	440.9	5.1	451.1	7.6	440.3	7.3

的库尔提弧后盆地蛇绿岩以及沙尔布拉克玻安岩均表明,托让格库都克组中的埃达克岩应该是在板块俯冲的初期形成的。因此,本研究结果表明,至少在东准噶尔地区,古亚洲洋板块俯冲开始的时间大约是在早志留世( $441.3 \pm 1.8\text{Ma}$ )。

**致谢** 在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年过程中得到了本所王强研究员的帮助,在此深表谢意!

## References

- Defant MJ and Kepezhinskas P. 2001. Evidence suggests slab melting in arc magmas. *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 82, 67–9
- Defant MJ, Xu JF, Kepezhinskas P, Wang Q, Zhang Q and Xiao L. 2002. Adakites: some variations on a theme. *Acta Petrologica Sinica*, 18: 129–142
- He GQ, Li MS, Liu DQ *et al.* 1994. Crust evolution and mineralization of Xinjiang in paleozoic. Urumchi: Xinjiang people's Publishine House (in Chinese)
- Jahn BM. 2001. The third workshop of IGCP-420, continental growth in the Phanerozoic: evidence from Central Asia. *Episode*, 24: 272–273
- Jahn BM, Windley BF, Natal' in B and Dobretsov N. 2004. Phanerozoic continental growth in Central Asia. *Journal of Asian Earth Science*, 23: 599–603
- Khain EV, Bibikova EV, Kröner A, Zhuravlev DZ, Sklyarov EV, Fedotova AA and Kravchenko-Berezhnoy IR. 2002. The most ancient ophiolite of the Central Asian fold belt: U-Pb and Pb-Pb zircon ages for the Duzhugur Complex, Eastern Sayan, Siberia, and geodynamic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 199: 311–325
- Li JY. 2004. Late Neoproterozoic and paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang Northwest China. *Geological Review*, 50(3): 304–322 (in Chinese with English abstract)
- LI JY, He GQ, Xu X, Li HQ, Sun GH, Yang TN, Gao LM and Zhu ZX. 2006. Crustal tectonic framework of Northern Xinjiang and adjacent region and its formation. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 148–168 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, Wang KZ, Sun GH, Mo SG, Li WQ, Yang TN and Gao LM. 2006. Paleozoic active margin slices in the southern Turfan Hami basin: geological records of subduction of the Paleo-Asian Ocean plate in central Asian regions. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1087–1102 (in Chinese with English abstract)
- Li JY and Xiao XC. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xinjiang crust, Northwest China. *Scientia Geologica Sinica*, 34(4): 405–419 (in Chinese with English abstract)
- Sengör AMC, Natal' in BA and Burtman US. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364: 299–307
- Shu LS, Lu HX, Yin DH, Ma RS, Xia F and Lu H. 2001. Late Paleozoic continental accretionary tectonics in Northern Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 19(1): 59–63 (in Chinese with English abstract)
- Windley BF, Alexeiev D, Xiao WJ, Kröner A and Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of Geological. Society, London*, 164: 31–47
- Windley BF, Kröner A, Guo JH, Qu GS, Li YY and Zhang, C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution. *Journal of Geology*, 110: 719–739
- Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Chen HL, Sun M, Lin SF, Li ZL, Mao QG, Zhang JE, Sun S and Li JL. 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of Northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paicoasian

Domain. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1062–1076 (in Chinese with English abstract)

- Xiao WJ, Windley BF, Badarch G, Sun S, Li J, Qin K and Wang Z. 2004. Paleozoic accretionary and convergent tectonics of the Southern Altaids: implications for the lateral growth of Central Asia. *Journal of Geological. Society, London*, 161: 339–342
- Xiao WJ, Windley BF, Yan QR, Qin KZ, Chen HL, Yuan C, Sun M, Li JL and Sun S. 2006. SHRIMP zircon age of the Aermantai ophiolite in the Northern Xinjiang area, China and its tectonic implications. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 32–37 (in Chinese with English abstract)
- Xiao XC, Tang YQ, Li JY. 1992. Tectonic evolution of the Northern Xinjiang and its adjacent region. Beijing: Geological Publishing House. 1–180 (in Chinese)
- Yuan HL, Wu FY, Gao S, Liu XM, Xu P and Sun DY. 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from cenozoic intrusions in Northeastern China by laser ablation ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511–1520 (in Chinese)
- Zhang HX, Niu HC, Sato H, Shan Q, Yu XY, Ito J and Zhang Q. 2004. Late Paleozoic Adakite and Nb-enriched Basalt from Northern Xinjiang: Evidence for the Southward Subduction of the Paleo-Asian Ocean. *Geological Journal of China University*, 10(1): 108–117 (in Chinese with English abstract)
- Zhang HX, Niu HC, Sato H, Shan Q, Yu XY, Ito J and Zhang Q. 2005. Late Paleozoic adakites and Nb-enriched basalts from Northern Xinjiang, NW China: evidence for the southward subduction of the Paleo-Asian Oceanic Plate. *The Island Arc*, 14(1): 55–68

## 附中文参考文献

- 何国琦, 李茂松, 刘德权等. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社
- 李锦轶. 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
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨. *地质学报*, 80(1): 148–168
- 李锦轶, 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
- 李锦轶, 肖序常. 1999. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述. *地质科学*, 34(4): 405–419
- 舒良树, 卢华复, 印栋浩, 马瑞士, 夏飞, 卢汉. 2001. 新疆北部古生代大陆增生构造. *新疆地质*, 19(1): 59–63
- 肖文交, Windley BF, 阎全人, 秦克章, 陈汉林, 袁超, 孙敏, 李继亮, 孙枢. 2006. 北疆地区阿尔曼太蛇绿岩锆石 SHRIMP 年龄及其大地构造意义. *地质学报*, 80(1): 32–37
- 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: 1062–1076
- 肖序常, 汤耀庆, 李锦轶. 1992. 新疆北部及其邻区的构造演化. 北京: 地质出版社, 1–180
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针年龄测定与稀土元素成分分析. *科学通报*, 48(14): 1511–1520
- 张海洋, 牛贺才, Hiroaki Sato, 单强, 于学元, Jun'ichi Ito, 张旗. 2004. 新疆北部晚古生代埃达克岩-富铋玄武岩组合: 古亚洲洋板块南向俯冲的证据. *高校地质学报*, 10(1): 108–117