东准噶尔地区晚古生代向南增生：来自 A 型花岗岩的启示*

毛启贵[1,2] 肖文交[1] 韩春明[1] 袁超[3] 孙敏[4]

MAO QiGui[1,2], XIAO WenJiao[1], HAN ChunMing[1], YUAN Chao[3] and SUN Min[4]

1. 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029
2. 中国科学院研究生院地球科学学院，北京 100039
3. 香港大学地球科学系，香港
4. 中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

1. *State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029, *China*
2. *Earth Sciences College, Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing* 100039, *China*
3. *Department of Earth Science, The University of Hong Kong, China*
4. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou* 510640, *China*

2008-01-14 收稿，2008-03-31 改回.

Mao QG, Xiao WJ, Han CM, Yuan C and Sun M. 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

Abstract The Dajiashan alkali granite is situated at the central parts of the Kalameili-Haerlike granitic belt of Eastern Junggar, Northwest China. LA-ICPMS zircon U-Pb dating shows that its crystallization age is 284 ± 1Ma. The Dajiashan alkali granite is characterized by high absolute SiO_2, Alkali (A/CNK < 1, AR = 3.9 ~ 6.67) abundance, low CaO and Al_2O_3; high FeO_T/MgO and 10000 * Ga/Al ratios; enriched REE (except Eu), LILE (Rb, U, Th, K) and some HFSE (Zr, Hf, Nb, Ta); strongly depleted Ba, Sr P, Ti, Eu; Y/Nb (2.71 ~ 3.75) > 1.2. All these facts reveal that the Dajiashan alkali granite is a Permian A_2-type granite. The distribution of ages of the other A-type and late-orogenic granites belts in the Eastern Junggar area indicates a south-ward younging trend, which is good agreement with the south-ward accretion.

Key words A-type granite; LA-ICPMS age; Earlier Permian; Accretionary orogenesis; Eastern Junggar; Dajiashan

摘 要 大加山碱性花岗岩位于卡拉美丽-哈尔里克花岗岩带的中段，主要为中细粒钠铁闪石花岗岩。大加山碱性花岗岩锆石 LA-ICPMS 年龄为 284 ± 1Ma。该花岗岩具有富碱(A/CNK < 1, AR = 3.9 ~ 6.67)和具有高的 FeO^T/MgO 和 10000 × Ga/Al 值，而钙和铝含量较低的特征，相对富集稀土元素 REE(除 Eu)元素、大离子亲石元素(Rb、U、Th、K)，而强烈亏损 Ba、Sr、P、Ti、Eu 元素的特征。同时其 Y/Nb (2.71 ~ 3.75) > 1.2。这些说明大加山岩体为二叠纪 A_2 型花岗岩。东准噶尔和天山地区各花岗岩带年龄有向南为逐渐年轻的趋势，这与新疆北部由北向南增生的方向一致。因此，可能是侧向增生与垂向增生均表现出向南增生极性。

关键词 A 型花岗岩；LA-ICPMS 年龄；早二叠世；增生造山；东准噶尔；大加山

中图法分类号 P588.121；P597.3

---

* 国家重点基础研究发展规划项目(2007CB411307)、国家杰出青年基金项目(40725009)、国家自然科学基金委重点项目(40523003)与国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409801)联合资助.

第一作者简介：毛启贵，男，1980 年生，博士研究生，构造地质学与大地构造学专业，E-mail：qg-mao@mail.igcas.ac.cn

中亚造山带是全球最大的增生造山带,记录最显著的显生宙大陆增生(Sengör *et al.*, 1993; Jahn *et al.*, 2000; Windley *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2007; Yuan *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2003, 2004a, 2004b, 2008)。其中产出大量的碱性花岗岩(王中刚等,1993; Jahn *et al.*, 2000; 许保良等, 2001; Hong *et al.*, 2004),而且这些花岗岩普遍具有较高的 $\varepsilon_{Nd(t)}$,因此被认为是显生宙造山后或陆内环境下陆壳垂向增生的表现(赵振华等,1996; Jahn *et al.*, 2000; Hong *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2000, 2002; 韩宝富等,2006; Chen and Jahn, 2004)。因此,对碱性花岗岩的研究是认识整个中亚造山带显生宙期间的地壳增生规律和机制的关键之一,对认识古生代增生作用也具有重要意义。

本文选取位于卡拉美丽-哈尔里克花岗岩带中段的大加山花岗岩作为研究对象(图 1b),研究其岩石学、地球化学特征,并进行锆石 U-Pb 同位素年代学研究,探讨其成因。同时,结合前人对新疆北部地区碱性花岗岩的研究成果,讨论这些碱性花岗岩的构造意义。

1 区域地质概况

研究区位于中亚造山带南部东,准噶尔造山带。北部发育有都拉特和野马泉岛弧带,主体为泥盆纪-石炭纪岛弧火山岩,火山碎屑岩,碎屑沉积岩组合(马瑞士等,1997; Xiao *et al.*, 2004)。卡拉麦里蛇绿岩带位于准噶尔、吐哈地块和野马泉岛弧带之间,中部与东西走向的博格达山斜交,为北西-南东走向(图 1b)。卡拉美丽缝合带内出露地层以泥盆纪和石炭纪的凝灰质粉砂岩,火山碎屑岩和蛇绿混杂岩为主(李锦轶,1995; 马瑞士等,1997; Xiao *et al.*, 2004b)。南部哈尔里克岛弧带为奥陶纪-石炭纪岛弧带,产出一套岛弧钙碱性基性、中酸性火山岩,火山碎屑岩,凝灰岩和碎屑沉积岩等(马瑞士等,1997; Xiao *et al.*, 2004b)。花岗岩沿卡拉美丽断裂带和其两侧大规模发育,岩石类型包括有片麻状黑云母花岗岩,斜长花岗岩,花岗闪长岩,黑云母花岗岩,角闪花岗岩和碱性花岗岩等。前人研究表明这些岩浆活动是由 I 型到 S 型,再向 A 型演化,并且存在与之对应的成矿作用。如

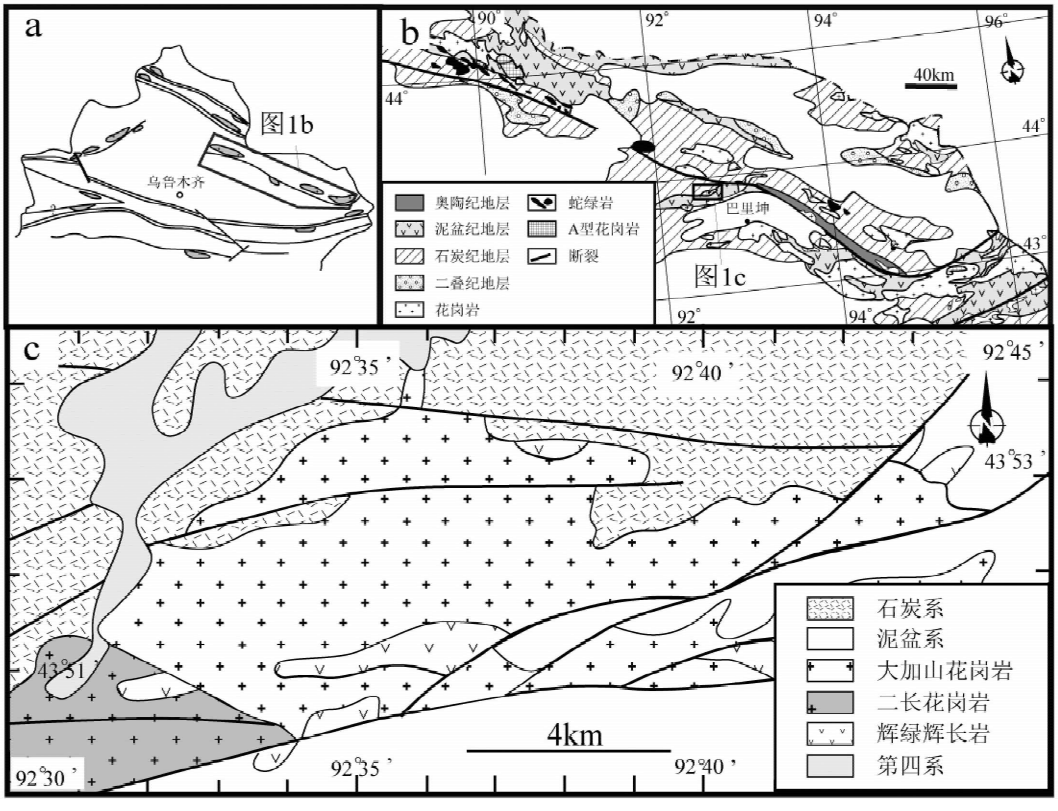

图 1 (a)新疆北部地区碱性花岗岩分布图(据王中刚等,1993); (b)卡拉美丽 – 哈尔里克带花岗岩分布图(据毕承思等, 1993; Gu *et al.*, 1999; Xiao *et al.*, 2004b; 新疆地矿局,1993); (c) 大加山花岗岩体地质图(王伟建,1996; 新疆地矿局, 1993)

Fig. 1 (a) Distribution of granites in the north part of Xinjiang (after Wang *et al.*, 1993); (b) Distribution of granites in the Kelameili-Harlik belt (after Bi *et al.*, 1993; Gu *et al.*, 1999; Xiao *et al.*, 2004b; XBGMR, 1993); (c) The geological map of the Dajianshan granite (modified after Wang, 1996)

铜金矿床与钙碱性岩浆有关，而锡矿床与碱性岩浆有关（张以熔等，1992；毕承思等，1993）。花岗岩一般沿大断裂和次级断裂分布，多为小岩株产出，包括奥莫尔塔格岩体，苏吉泉岩体，黄羊山岩体，大加山岩体，萨尔什克岩体等。

大加山碱性花岗岩位于卡拉美丽缝合带和博格达山的结合部位的哈尔里克岛弧带内（图 1b）。如图 1c 所示，大加山岩体沿断裂侵入，呈岩株状产出，围岩为泥盆纪和石炭纪地层，最新地层为上石炭居里得能组。岩体与围岩为断层接触关系或侵入接触关系。岩体为钠铁闪石花岗岩，可见少量的闪长岩包体（3～5cm），岩体局部为小规模成群的闪长岩脉侵入。花岗岩为中细粒半自形粒状结构、似斑状结构等，块状构造，主要矿物组分有碱性长石，石英和钠铁闪石，副矿物有霓辉石，磷灰石，磁铁矿和锆石等。

2 年代学分析

采用人工重砂、重液、电磁仪等方法，从花岗岩样品中分离出锆石，然后在双目显微镜下挑出无色透明、无裂痕、无包体的晶体 100 余颗，将之粘在双面胶上，浇注环氧树脂，待其固化后，用砂纸将锆石磨平，并出露 1/3～1/2，然后抛光，再进行光学、CL 显微图像及 LA-ICPMS 分析。锆石的 CL 像分析在中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源重点实验室 Cameca 电子探针仪器上完成（分析电压为 50kV，电流为 15nA）。锆石 U-Pb 年龄测定和数据处理按袁洪林（2003）报道的流程进行。测定工作在西北大学大陆动力学教育部重点实验室的 Perkin Elemer/SCIEX 公司生产的 Elan6100DRC 型四极杆 ICP-Ms 仪器和德国 MicroLas 公司的 GeoLas2000M 激光剥蚀系统的联机上完成，激光束斑直径 30nm。锆石年龄计算及谐和图绘制用 Isoplot（ver 2.0）完成。

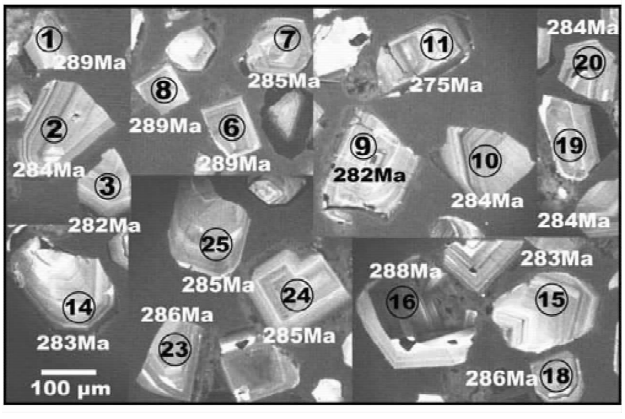

图 2 大加山花岗岩体锆石 CL 照片

Fig. 2 CL images of typical zircon grains from the Dajiashan alkali granite

锆石 CL 图像（图 3）显示，锆石颗粒较大，晶形较好、为短柱状晶体，短柱状锆石长短轴比值介于 1～1.25 之间

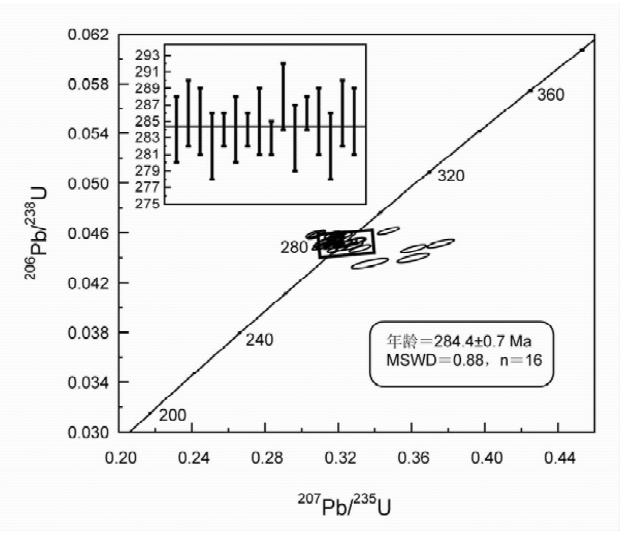

图 3 大加山花岗岩体锆石 U-Pb 年龄图

Fig. 3 Concordia plot and diagram of the Dajiashan granite

（图 3）。锆石晶形好，成分单一，具有岩浆型锆石韵律环带，因此为单一岩浆成因。对 25 粒锆石的分析结果见表 1 和图 3。所测得的 Pb/U 年龄比较集中（表 1），$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄范围在 275 ± 2Ma～291 ± 2Ma 之间，大部分落在 $^{206}Pb/^{238}U$ – $^{207}Pb/^{235}U$ 等时线图上（图 3），少数偏离等时线。3 号、11 号、19 号、20 号和 25 号处于谐和线下方可能是由于放射性 Pb 丢失而造成的。其中 16 颗落在谐和线上，锆石的 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 284.4 ± 0.7Ma（MSWD = 0.88，95% 可信度）。大加山 A 型花岗岩的锆石 U-Pb 定年获得一致年龄为 284 ± 1Ma，代表了岩体的形成年龄，即早二叠世。

3 地球化学分析

常量和微量元素在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室测定。常量元素的测定采用 X 射线荧光光谱法（XRF）：首先称取 0.6g 样品，然后加入适量硼酸高温熔融成玻璃片，最后在 Shimadzu XRF-1700/1500 上采用外标法测定氧化物含量，分析误差优于 5%。微量元素测定采用 ICP-MS 法：首先称取 40mg 样品和国家标准（GRS1、GRS2、GRS3）用酸溶法制成溶液，然后在 ICP-MS Element II 上进行测定。其精度为：元素含量大于 10×10^6 的精度优于 5%，而小于 10×10^6 的精度优于 10%。

对大加山碱性花岗岩样品研究所获得常量、稀土和微量等岩石地球化学数据及参数例于表 2。从所获得的数据可以看出大加山碱性花岗岩在岩石地球化学方面具有典型的碱性花岗岩所具有的岩石地球化学特征。

大加山花岗岩的常量地球化学数据显示，其具有高 SiO_2（71.73%～75.03%），$K_2O + Na_2O$（7.90%～7.32%）含量和 FeO^T/MgO 值 5.02～19.15，低 Al_2O_3（11.60%～12.97%），

表 1　大加山碱性花岗岩锆石 U-Pb LA-ICPMS 定年结果

Table 1　U-Pb LA-ICPMS dating results for zircon grains from the Dajiashan alkali granite

	元素含量($\times10^{-6}$)及比值				同位素比值						年龄(Ma)					
	Pb(t)	Th	U	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
BLK2.1	48.46	99.58	224.6	0.44	0.04857	0.0008	0.30758	0.004	0.04592	0.0003	127	23	272	3	289	2
BLK2.2	54.98	116.9	259.2	0.45	0.05111	0.0009	0.31747	0.005	0.04504	0.0003	246	23	280	4	284	2
BLK2.3	59.84	110.1	286	0.38	0.05854	0.0011	0.36107	0.006	0.04473	0.0003	550	23	313	4	282	2
BLK2.4	61.93	107.1	294.3	0.36	0.04877	0.0007	0.30802	0.004	0.0458	0.0002	137	19	273	3	289	1
BLK2.5	66.49	134.9	316	0.43	0.05014	0.0008	0.31394	0.004	0.0454	0.0003	201	21	277	3	286	2
BLK2.6	66.82	114.6	317.4	0.36	0.05009	0.0007	0.31672	0.004	0.04585	0.0002	199	16	279	3	289	1
BLK2.7	51.53	110.8	243.4	0.46	0.05249	0.0011	0.32737	0.006	0.04522	0.0003	307	32	288	5	285	2
BLK2.8	58.3	113.7	274.9	0.41	0.05061	0.0008	0.31984	0.004	0.04582	0.0003	223	21	282	3	289	2
BLK2.9	52.29	115.9	249.5	0.46	0.05183	0.0009	0.31992	0.005	0.04476	0.0003	278	24	282	4	282	2
BLK2.10	54.88	108.2	263.8	0.41	0.05039	0.0008	0.3131	0.004	0.04505	0.0002	213	21	277	3	284	1
BLK2.11	40.53	62.55	199.3	0.31	0.05617	0.0015	0.33726	0.008	0.04354	0.0003	459	41	295	6	275	2
BLK2.12	40.54	76.71	193	0.4	0.05051	0.0009	0.31382	0.005	0.04505	0.0003	219	25	277	4	284	2
BLK2.13	50.82	111	240.5	0.46	0.05184	0.0008	0.32225	0.004	0.04507	0.0002	278	21	284	3	284	1
BLK2.14	45.79	82.13	217.8	0.38	0.05003	0.0008	0.31188	0.004	0.0452	0.0003	196	22	276	3	285	2
BLK2.15	73.19	163	352.1	0.46	0.05007	0.0007	0.31028	0.004	0.04494	0.0002	198	18	274	3	283	1
BLK2.16	124.3	463.7	566.4	0.82	0.05107	0.0009	0.3218	0.005	0.04569	0.0003	244	23	283	4	288	2
BLK2.17	42.7	76.9	205.1	0.37	0.05264	0.0011	0.32618	0.006	0.04493	0.0003	313	30	287	5	283	2
BLK2.18	51.93	112.4	245.4	0.46	0.05079	0.0008	0.31816	0.004	0.04543	0.0002	231	20	280	3	286	1
BLK2.19	41.58	89.98	198.9	0.45	0.05952	0.0013	0.36097	0.007	0.04397	0.0003	586	31	313	5	277	2
BLK2.20	71.78	225.9	324.6	0.7	0.05458	0.0009	0.34748	0.005	0.04616	0.0003	395	21	303	4	291	2
BLK2.21	61.79	146	294.2	0.5	0.05213	0.0009	0.32476	0.004	0.04517	0.0003	291	21	286	3	285	2
BLK2.22	40.48	45.55	199.2	0.23	0.05377	0.0009	0.33185	0.005	0.04475	0.0003	361	23	291	4	282	2
BLK2.23	43.3	56.33	209.6	0.27	0.05078	0.0009	0.3172	0.005	0.0453	0.0003	231	25	280	4	286	2
BLK2.24	48.5	86.72	230.7	0.38	0.05241	0.0011	0.32715	0.006	0.04526	0.0003	303	30	287	5	285	2
BLK2.25	53.43	112.5	251.2	0.45	0.06037	0.0011	0.37591	0.006	0.04515	0.0003	617	24	324	4	285	2

表2　大加山碱性花岗岩体常量(%)、微量($\times10^{-6}$)分析测试结果

Table 2　Representative Major, trace element (including REE) analysis results of the rocks from the Dajiashan alkali granite

样品	BLK-1	BLK-2	BLK-4	BLK-6	BLK-7	BLK-9	BLK-10	BLK-11	BLK-13	BLK-14	BLK-15	BLK-16	WL07*	WL08*	WL11*	WL02*	WL04*	WL11(1)*	WL06*
SiO_2	74.72	75.32	74.39	74.89	74.76	74.96	74.94	74.86	75.03	74.01	74.50	73.96	74.26	74.79	74.30	71.73	72.32	72.09	73.10
TiO_2	0.16	0.20	0.25	0.21	0.20	0.16	0.20	0.21	0.22	0.19	0.19	0.24	0.24	0.24	0.22	0.44	0.36	0.42	0.40
Al_2O_3	12.49	11.77	11.86	11.88	11.98	12.29	11.92	11.99	11.60	12.42	12.01	12.28	11.88	12.97	12.10	12.17	11.96	11.67	12.54
TFe_2O_3	1.95	2.38	2.85	2.48	2.48	1.96	2.34	2.57	2.82	2.41	2.25	2.78	2.84	0.92	1.81	2.42	2.92	2.63	2.59
FeO													0.73	0.66	1.07	2.23	1.56	1.95	0.77
MnO	0.03	0.07	0.06	0.06	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	0.06	0.04	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03
MgO	0.14	0.17	0.18	0.15	0.16	0.14	0.11	0.14	0.14	0.14	0.13	0.15	0.22	0.29	0.36	0.93	0.29	0.86	0.43
CaO	0.34	0.46	0.57	0.55	0.44	0.32	0.39	0.43	0.43	0.51	0.63	0.45	0.69	0.69	0.50	0.99	0.69	1.19	0.59
Na_2O	4.25	4.28	4.05	4.10	4.18	4.26	4.13	4.09	3.83	4.50	4.09	4.13	4.00	4.08	4.19	4.31	4.29	4.12	4.16
K_2O	5.00	4.26	4.87	4.83	4.88	5.06	4.94	4.89	4.81	4.74	5.05	4.89	4.77	4.01	4.61	4.37	4.55	3.78	3.84
P_2O_5	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.07	0.02	0.03	0.03
LOI	0.35	0.58	0.40	0.53	0.35	0.25	0.33	0.43	0.53	0.50	0.53	0.50	0.59	0.60	0.76	1.01	0.93	1.22	1.39
TOTAL	99.44	99.50	99.50	99.69	99.49	99.44	99.34	99.68	99.46	99.49	99.44	99.46	100.27	99.33	99.97	100.71	99.93	100.00	99.87
A/CNK	0.96	0.94	0.91	0.91	0.92	0.94	0.93	0.94	0.94	0.92	0.90	0.95	0.91	1.05	0.94	0.89	0.90	0.89	1.04
A/NK	1.01	1.01	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	1.00	1.01	0.99	0.98	1.01	1.01	1.17	1.02	1.03	1.00	1.07	1.14
FeO^T/MgO	12.54	12.60	14.25	14.88	13.95	12.60	19.15	16.52	18.13	15.49	15.58	16.68	14.94	5.13	7.50	4.74	14.44	5.02	7.21
碱度率(AR)	6.17	5.63	6.08	6.10	6.39	6.67	6.60	6.22	6.10	6.01	6.22	5.86	5.62	3.90	5.63	4.88	5.64	4.19	4.12
La	80.52	81.18	117.33	81.16	75.73	60.60	80.18	82.79	79.95	75.01	74.20	97.49	65.20	112.00	80.20	113.00	93.00	91.60	163.00
Ce	170.00	165.36	237.29	170.12	158.18	128.78	163.43	170.77	174.04	154.63	157.05	196.37	106.00	230.00	170.00	214.00	183.00	174.00	308.00
Pr	21.88	21.65	28.72	22.05	20.90	16.40	21.25	22.03	22.21	19.43	20.24	25.92	14.70	24.40	18.00	25.70	22.00	19.50	36.40
Nd	82.80	79.27	104.45	81.21	76.14	59.72	76.44	79.35	86.19	72.21	73.42	98.09	58.30	93.00	67.00	92.70	82.20	78.50	156.00
Sm	16.40	16.66	19.13	17.20	16.09	12.57	15.40	16.10	17.32	13.76	15.18	19.80	11.30	20.70	15.40	20.90	19.10	14.50	33.60
Eu	0.48	0.49	0.53	0.48	0.43	0.37	0.42	0.45	0.52	0.45	0.41	0.55	0.26	0.61	0.46	0.67	0.56	0.38	1.61
Gd	17.34	16.56	17.77	15.57	15.07	12.72	14.92	15.65	17.37	13.73	13.77	19.29	8.63	14.50	11.70	16.40	141.00	10.60	32.70
Tb	3.17	3.00	3.07	2.83	2.73	2.28	2.79	3.03	3.07	2.49	2.51	3.52	1.67	2.85	2.13	2.90	2.59	1.94	5.84
Dy	19.70	19.88	19.34	18.68	17.34	14.54	17.61	18.75	19.80	15.76	16.21	22.38	14.10	20.70	15.10	19.20	19.60	13.40	37.10
Ho	4.28	4.25	4.26	4.26	3.87	3.22	3.97	4.15	4.38	3.47	3.53	5.02	3.10	4.70	3.27	4.25	3.97	2.95	8.12
Er	12.14	12.56	11.85	12.67	10.89	9.04	11.32	11.71	12.63	9.98	9.85	14.00	8.77	14.00	9.64	12.00	11.80	8.43	23.60
Tm	1.85	1.97	1.80	1.98	1.69	1.44	1.76	1.85	1.90	1.56	1.54	2.11	1.35	2.34	1.50	1.66	1.72	1.28	3.54
Yb	11.71	12.89	11.63	13.58	12.19	9.62	11.63	12.27	12.26	10.58	10.27	13.45	8.10	14.90	8.90	9.96	11.10	8.09	20.40

样品	BLK-1	BLK-2	BLK-4	BLK-6	BLK-7	BLK-9	BLK-10	BLK-11	BLK-13	BLK-14	BLK-15	BLK-16	WL07*	WL08*	WL11*	WL02*	WL04*	WL11(1)*	WL06*
Lu	1.74	2.02	1.86	2.11	1.87	1.44	1.83	1.98	1.80	1.57	1.66	1.96	1.11	2.03	1.30	1.44	1.42	1.15	3.20
Li	10.68	6.69	15.56	9.83	13.67	8.53	8.19	7.80	6.23	8.31	10.87	3.64	7.60	107.00	29.70	5.80	8.00	89.50	60.10
Be	11.77	11.88	12.73	11.85	12.48	9.99	10.95	12.33	9.77	11.36	10.96	12.11	16.00	24.00	16.00	5.50	20.00	12.00	24.00
Sc	1.99	2.06	1.99	2.37	2.12	1.62	2.02	2.53	1.20	1.40	2.10	1.95	2.44	1.75	1.53	2.89	71.50	1.24	2.64
V	1.60	3.26	1.60	2.76	16.67	3.05	3.66	4.06	1.25	0.52	4.61	4.12	14.90	11.80	12.30	17.00	15.60	12.00	20.60
Rb	184.56	159.14	195.39	183.54	190.10	197.67	195.38	191.04	184.47	177.56	201.77	198.63	197.00	203.00	204.00	142.00	120.00	166.00	182.00
Sr	28.35	32.73	25.17	29.02	30.46	26.13	27.07	32.44	27.05	34.60	28.06	35.21	27.20	20.40	25.30	41.30	54.00	20.70	32.80
Ba	84.87	43.59	19.29	63.03	40.82	48.86	47.17	50.65	36.55	32.46	58.87	80.50	62.00	110.00	130.00	164.00	166.00	93.60	126.00
Th	25.42	27.23	28.68	27.95	22.73	20.33	18.86	23.35	26.02	21.11	25.81	28.67	22.80	36.00	21.20	28.80	17.20	16.40	39.20
Ta	2.68	2.98	2.95	2.89	2.75	2.30	2.44	2.71	2.52	2.54	2.97	2.92	2.00	2.90	2.00	2.90	2.00	2.00	4.10
Y	100.29	103.38	103.09	108.46	107.31	80.97	101.52	110.35	106.72	91.75	92.08	114.63	55.60	97.183.1	72.10	86.00	7.00	60.30	167.00
Hf	20.36	22.29	23.49	24.39	19.06	15.06	18.39	23.55	22.51	17.95	21.77	22.62	7.00	33.00	12.00	19.00	17.00	12.00	26.00
Ga	26.31	26.83	25.89	27.41	28.76	28.65	27.92	28.19	25.38	27.17	28.79	27.19							
Zr	614.69	584.16	704.71	653.69	544.63	432.17	526.90	655.00	698.80	524.76	572.84	684.77							
Nb	30.09	34.39	38.07	35.24	35.12	27.18	30.04	32.12	28.46	31.45	28.00	35.68							
U	4.45	5.20	4.16	6.08	6.32	3.35	5.57	4.86	6.05	4.43	3.89	4.87							
Pb	30.47	28.85	49.91	32.28	33.83	26.50	25.65	30.96	26.94	29.61	58.77	41.85							
ΣREE	444.00	437.75	579.02	443.88	413.10	332.74	422.96	440.86	453.42	394.63	399.82	519.96	302.59	556.73	404.60	534.78	593.06	426.32	833.11
ΣLREE/ΣHREE	5.17	4.99	7.09	5.19	5.29	5.13	5.42	5.35	5.19	5.67	5.74	5.36	5.46	6.32	6.56	6.89	2.07	7.91	5.19
(La/Yb)N	4.93	4.52	7.24	4.29	4.46	4.52	4.95	4.84	4.68	5.09	5.19	5.20	5.78	5.39	6.47	8.14	6.01	8.13	5.73
(La/Sm)N	3.17	3.15	3.96	3.05	3.04	3.12	3.36	3.32	2.98	3.52	3.16	3.18	3.73	3.50	3.37	3.49	3.15	4.08	3.14
(Gb/Yb)N	1.22	1.06	1.26	0.95	1.02	1.09	1.06	1.05	1.17	1.07	1.11	1.19	0.88	0.80	1.09	1.36	1.05	1.08	1.33
δEu	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10	0.09	0.08	0.08	0.10	0.10	0.11	0.10	0.09	0.15
Rb/Ba	2.17	3.65	10.13	2.91	4.66	4.05	4.14	3.77	5.05	5.47	3.43	2.47	3.18	1.85	1.57	0.87	0.72	1.77	1.44
10000 * Ga/Al	3.98	4.31	4.12	4.36	4.53	4.40	4.42	4.44	4.13	4.13	4.53	4.18							
Zr + Ce + Y	884.98	852.90	1045.08	932.27	810.12	641.92	791.85	936.11	979.57	771.14	821.97	995.77							
Y/Nb	3.33	3.01	2.71	3.08	3.06	2.98	3.38	3.44	3.75	2.92	3.29	3.21							
Rb/Nb	6.13	4.63	5.13	5.21	5.41	7.27	6.50	5.95	6.48	5.65	7.21	5.57							
Sc/Nb	0.07	0.06	0.05	0.07	0.06	0.06	0.07	0.08	0.04	0.04	0.08	0.05							

* 数据(据王伟健,1996)δEu = 2 * Eu N /(Sm N + Gd N); $FeO^T = 0.9Fe_2O_3 + FeO$; A/CNK = Al/(Ca + Na + K); A/NK = Al/(Na + K); $AR = (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)/(Al_2O_3 + CaO - Na_2O - K_2O)$

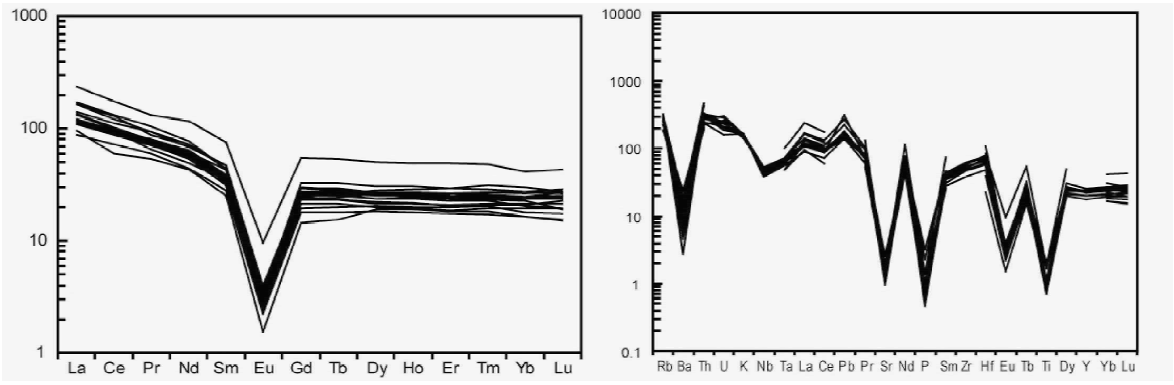

图 4　大加山花岗岩体稀土(REE)球粒陨石标准化配分图(a)和不相容元素原始地幔标准化蛛网图(b)(球粒陨石和原始地幔标准值引自 Sun *et al.*, 1989)

Fig. 4　Chondrite-normalized REE patterns (a) and Primitive mantle (PM)-normalized spider diagrams of trace elements (b) for the Dajiashan granite (The chondrite values after Sun *et al.* (1989))

MgO(0.11% ~0.93%),CaO(0.32% ~1.19%)含量等特征。样品碱度率 AR 为 4.12 ~6.67,A/CNK 值 <1,表明其碱性过饱和,其 NK/A >1,$K_2O > Na_2O$。总之,大加山花岗岩具有富硅、富碱,而钙、铝、镁、铁含量较低等典型的碱性花岗岩的特征。

大加山花岗岩稀土含量较高,其稀土总量为(ΣREE = 332.11×10^{-6} ~ 833.11×10^{-6})。轻重稀土比值为 ΣLREE/ΣHREE = 4.99 ~7.91,其 $(La/Yb)_N$ = 4.03 ~7.65,轻稀土相对富集。且 $(La/Sm)_N$ = 2.9 ~3.97, $(Gb/Yb)_N$ = 0.79 ~1.33,反映轻稀土分馏较重稀土明显(重稀土几乎不存在分馏现象)。Eu 存在强烈亏损,其 δEu 值为 0.8 ~0.15。稀土元素球粒陨石标准化分配模式具有典型 A 型花岗岩分配模式,表现为右倾的 V 型曲线(图 4a),Eu 呈明显的负异常低谷,轻稀土较陡,重稀土比较平坦(图 4a)。

大加山岩体的高场强元素 Nb、Ta、Zr、Ga 的含量很高,而 Ba、P、Sr、Eu、Ti 等的含量非常低。所有样品都非常一致的表现为,Ba、Sr、P、Eu、Ti 元素的相对强烈亏损,而 Rb、U、K、Th、Pb、Nb、Ta、Zr、Hf 和 REE 元素相对富集。同时其 Nb、Ta 相对 Rb、U、K、Th 和 REE 元素有较弱的亏损。

大加山花岗岩的主量、稀土、微量元素都表明其具有 A 型花岗岩特征(Loiselle and Wones,1979)。大加山岩体的原始地幔标准化蛛网图(图 4b)具有典型的 A 型花岗岩的分配曲线特征。样品的 1000 * Ga/Al 值为 3.89 ~4.53, Rb/Ba 比值为 0.72 ~5.47,(Zr + Ce + Y)值为 641.92×10^{-6} ~ 1045.08×10^{-6},这些都表明其为典型的 A 型花岗岩。在 Whalen *et al.* (1987)建立的 A 型花岗岩判别图上(图 5),大加山花岗岩样品全部落在 A 型花岗岩区。

Eby *et al.* (1992)通过对大量 A 型花岗岩进行研究,根据其地球化学特征把 A 型花岗岩分为两类:即 A_1 型和 A_2 型,其中 A_1 型(Y/Nb <1.2)与板内裂谷有关,A_2 型(Y/Nb >1.2)形成于后造山或者造山后环境。大加山 A 型花岗岩的 Y/Nb 值为 2.71 ~3.75,属于 A_2 型。在 Rb/Nb – Y/Nb 和

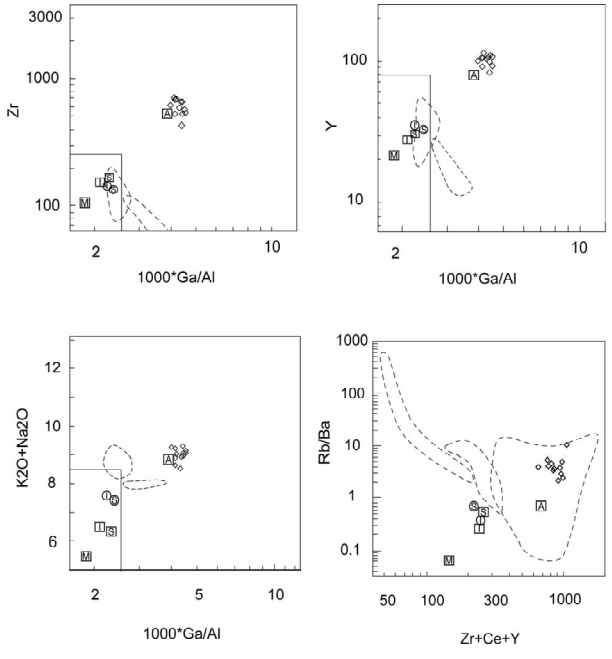

图 5　A 型花岗岩辨别图(据 Whalen *et al.*, 1987)

Fig. 5　Discrimination diagrams for the A-type granites (after Whalen *et al.*, 1987)

Sc/Nb – Sc/Nb 辨别图解上(图 6),大加山 A 型花岗岩样品全部落在 A_2 型区域;在 Nb – Y – Ce 和 Nb – Y – 3Ga 辨别图解上(图 6),大加山 A 型花岗岩样品也全部落在 A_2 型区域。

4　讨论

新疆北部 A 型花岗岩(刘家远等,1996;童英等,2006;苏玉平等,2006;王涛等,2005;贺峰等,2004)多形成于 320 ~260Ma。大加山 A 型花岗岩的形成年龄为 284 ±1Ma,基本落在前人获得的本带其它岩体的年龄范围内。通常认为这

表 3 东准噶尔地区 A 型花岗岩带年龄数据

Table 3 The ages of the A-type granites in the Eastern Junggar area

碱性花岗岩带	岩体	年龄(Ma)	误差(σ)	测试方法	资料来源
东准噶尔构造带	也布山	268	4	LA-ICP-MS U-Pb	韩宝福等,2006
	萨尔铁列克	320	2	单颗粒锆石 U-Pb	刘家远等,1997
	塞尔铁列克	314	2	单颗粒锆石 U-Pb	刘家远等,1997
	塔斯嘎克	323		单颗粒锆石 U-Pb	刘家远等,1997
	苏吉泉	304	2	LA-ICP-MS U-Pb	苏玉平等,2006
	苏吉泉	295	5	SHRIMP	韩宝福等,2006
	萨北	290	11	锆石单颗粒蒸发 U-Pb	刘家远等,1997
	大加山	284.4	0.7	LA-ICP-MS U-Pb	本文
天山构造带	甜水井	267.1	3	锆石化学 U-Pb	贺峰等,2004
	南天山	259.9	2.6	锆石单颗粒蒸发 U-Pb	姜常义等,1999
	南天山	264.6	1.2	锆石单颗粒蒸发 U-Pb	姜常义等,1999

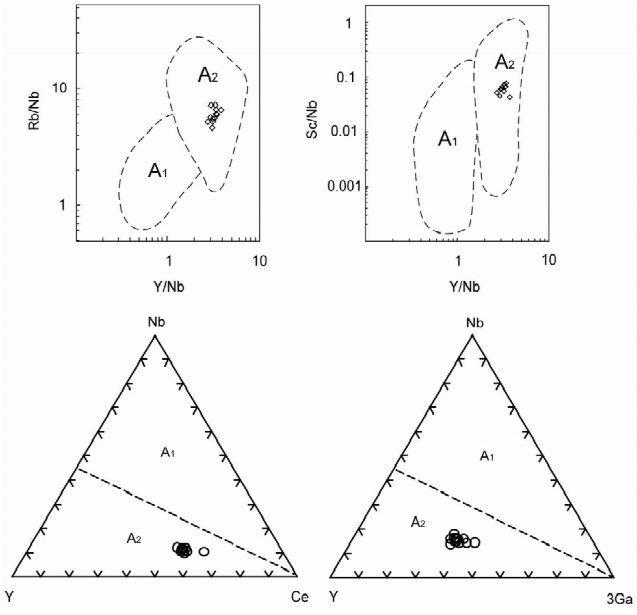

图 6 A 型花岗岩的亚类辨别图解(据 Eby, 1992)
大加山 A 型花岗岩体落在 A 型花岗岩区域 - A_2 区

Fig. 6 Discriminant diagrams for the subdivision of the A-type granites (after Eby, 1992). The data of the Dajianshan A-type granite plot in the A_2 field

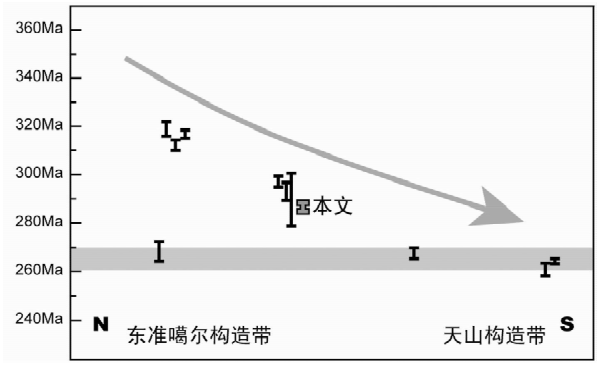

图 7 新疆北部地区碱性花岗岩带的年代分布示意图(年代学数据表 3)

Fig. 7 The age distribution diagram of the late-orogenic granites in the North Xinjiang area (geochronological data are listed in Table 3)

类花岗岩产出于裂谷或稳定大陆块体内 - 非造山环境(Loiselle and Wones,1979; Whalen, 1987)。然而,如果这些 A 型花岗岩仅仅代表造山后的伸展环境,则与北疆地区晚古生代增生造山作用存在难以协调的方面(肖文交等,2006; 毛启贵等,2006; 王强等,2006; Wang *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2008)。

实际上,大量的研究表明 A 型花岗岩形成的构造环境也不只是局限于板内裂谷环境(Loissile and Wones, 1979; Collins *et al.*, 1982),还包括造山后期,造山后(碰撞后),以及走滑和活动大陆边缘等引张构造环境(Whalen *et al.*, 1987; Eby *et al.*, 1990, 1992; Kerr and Fryer, 1993; Landerger *et al.*, 1996; Landenberger and Collins, 1996; King *et al.*, 1997)。Coleman (1989)就认为中亚地区 A 型花岗岩应该是晚期增生事件的记录。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。更重要的是这些具有高的 $\varepsilon_{Nd(t)}$ 的花岗岩在增生过程中的产出表明侧向增生和垂向增生可能是同时进行的。

对东准噶尔地区碱性花岗岩的年龄结果和类型归纳总结如表 3。其年龄空间分布图解(图 7)表明,这些花岗岩带的年龄,从北向南有变年轻的趋势。同时还存在一个广泛分布的和比较一致的年龄(260 ~ 270Ma),与南天山 A 型花岗岩的年龄相似(姜常义等,1999),也与西准噶尔地区最年轻的造山后花岗岩年龄接近(韩宝福等,2006)。

由于向南增生特征已在中亚造山带广泛揭示(Coleman, 1989; Sengör *et al.*, 1993; Jahn *et al.*, 2000a, b; Windley *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2007; Yuan *et al.*, 2007; Xiao *et al.*,

2008)，因此可以看出，这些 A 型花岗岩向南变年轻的趋势是与中亚造山带不断向南增生的趋势是一致的(Wu *et al.*, 2000, 2002; Xiao *et al.*, 2008)。因此，初步推测，在东准噶尔地区的增生过程中，俯冲带不断向南后退，各种块体不断拼贴到西伯利亚板块南缘，如都拉特、野马泉和大南湖和天山等活动陆缘层序先后拼贴到西伯利亚板块边缘，在拼贴之后由于幔源岩浆底垫或造山后伸展，导致了碱性花岗岩沿这些弧-陆或弧-弧碰撞造山的缝合带先后侵位。

中亚造山带的这些 A 型花岗岩还可能与洋脊俯冲有关系(Windley *et al.*, 2007)，然而这种侧向和垂向增生的具体过程和它们之间的相互作用和制约关系，以及这些 A 型花岗岩的成因等问题的解决，还有待于系统的深入的岩石学、地球化学和区域构造地质学的研究。

致谢 研究工作得到西北大学大陆动力学重点实验室柳小明和第五春容、中国科学院地质与地球物理研究所李禾、靳新娣与李红艳等的帮助。两位审稿人提出了建设性修改意见。一并谨致谢忱。

References

Bi CS, Shen XY, Xu QS, Ming KH, Sun HL, Zhang CS. 1993. Geological characteristics of stanniferous granites in the Beilekuduk tin metallogenic belt, Xinjiang. Acta Petrologica et Mineralogica, 12: 213 – 223

Chen B, Jahn BM. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar terrane, NW China: Nd, Sr isotope and trace element evidence. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 691 – 703

Coleman RG. 1989. Continental growth of Northwest China. Tectonics, 8: 521 – 635

Collins WJ, Beams SD White AJR, Chappell BW. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. Contribution of Mineralogy and Petrology, 80:189 – 200

Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20 : 641 – 644

Eby GN. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenisis. Lithos, 26: 115 – 134

Gu LX, Hu SX, Chu Q, Yu CS, Xiao XJ. 1999. Pre-collision granites and post-collision intrusive assemblage of the Kelameili-Harlik orogenic belt. Acta Geologica Sinica, 73(3): 316 – 329

Han BF, Ji JQ, Song B, Chen LH, 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

He F, Xu L, Su H, Li X. 2004. Characteristics and tectonic setting of middle Permian A-type granites in Tianshuijing area, west of Inner Mongolia. Northwestern Geology, 37(3):7 – 14

Hong DW, Wang SG, Xie XL, Zhang JS, Wang T. 2004. Continental crustal growth and the supercontinental cycle: evidence from the Central Asian Orogenic Belt. Journal Asian Earth Science, 23(5): 799 – 813

Jahn BM, Wu F, Chen B. 2000. Massive granitoid generation in central Asia: Nd isotopic evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic. Episodes. 23: 82 – 92

Jiang CY, Mu YM, Bai KY, Zhao XL, Zhang HB, Hei AZ. 1999. Chronology, petrology, geochemistry and tectonic environment of granitoids in the southern Tianshan Mountain, western China. Acta Petrologica Sinica, 15(2): 288 – 308

Kerr A, Fryer BJ. 1993. Nd isotopic evidence for crust – mantle interaction in the generation of A-type granitoid suites in Labrador, Canada. Chimerical Geology, 104: 39 – 60

King PL, White AJR, Chappell BW, Allen CM. 1997. Characterization and origin of aluminous A- type granites from the Lachlan fold belt, Southeastern Australia. Journal of Petrology, 38: 371 – 391.

Landenberger B, Collins WJ. 1996. Derivation of A-type granites from a dehydrated charnockitic lower crust: evidence from the Chaelundi Complex, eastern Australia. Journal of Petrology, 37(1): 145 – 170

Li JY. 1995. Main characteristics and emplacement processes of the east Junggar ophiolites, Xinjiang, China. Acta Petrologica Sinica, 11 (Suppl): 73 – 84

Liu JY, Yuan KR. 1996. A discussion on the genesis and tectonic setting of alkali granites in the Ulungur alkali-rich granite belt, Xinjiang. Geological Journal of China Universities, 2(3): 257 – 272

Liu J, Yn H, Wu G. 1997. Alkali granites and tin deposits of the Kalamaili area, northern Xinjiang. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, 6(3): 129 – 135

Loiselle MC, Wones DR. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. Geological Society of America, Abstract, 11: 468

Ma RS, Shu LS, Sun J. 1997. Tectonic Evolution and Metallogeny of Eastern Tianshan Mountains. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 202 (in Chinese)

Mao QG, Xiao WJ, Han CM, Sun M, Yuan C, Yan Z, Li JL, Yong Y, Zhang JE. 2006. Zirocn U-Pb age and the geochemistry of the Baishiquan mafic-ultramafic complex in the eastern Tianshan, Xinjiang: Constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 153 – 162

Sengör AMC, Natal'in BA, Burtman US. 1993. Evolution of the Altaid Tectonic Collage and Paleozoic Crustal growth in Eurasia. Nature, 364: 299 – 307

Su YP, Tang HF, Liu CQ, Hou GS, Liang LL. 2006. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type granites in east Junggar, Xinajiang. Acta Petrologica et Mineralogica, 25: 174 – 184

Sun M, Yuan C, Xiao WJ, Long XP, Xia XP, Zhao GC, Lin SF, Wu FY, Kröner A. 2007. Zircon U – Pb and Hf isotopic study of gneissic rocks from the Chinese Altai: Progressive accretionary history in the early to middle Paleozoic. Chemical Geology, 247, 352 – 383

Sun SS, McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basa1ts: implicattions for mantle composition and process. In: Magmatism in the Ocean Basins. Sauders AD and Norry MJ (eds.). Geological Society Special Publication, 42: 313 – 345

Tong Y, Houng D, Wang T, Wang S, Han B. 2006. TIMS U-Pb zircon ages of Fuyun post-orogenic linear granite plutons on the southern margin of Altay orogenic belt and their implications. Acta Petrologica et Mineralogica, 25(2): 85 – 89

Wang Q, Zhao ZH, Xu JF, Wyman DA, Xiong XL, Zi F, Bai ZH. 2006. Carboniferous adakite-high-Mg andesite-Nb-enriched basalt rock suites in the Northern Tianshan area: implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asian Orogenic Belt and Cu-Au mineralization. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 11 – 30

Wang Q., Wyman DA., Zhao ZH., Xu JF., Bai ZH., Xiong XL., Dai TM., Li CF and Chu ZY. 2007. Petrogenesis of Carboniferous adakites and Nb-enriched arc basalts in the Alataw area, northern Tianshan Range (western China): Implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asia orogenic belt. Chemical Geology, 236: 42 – 64

Wang T, Hang D, Tong Y, Han BF and Yan ZQ. 2005. SHRIMP age,

origin of post-orogenic Lanlazhou granitic pluton from Chinese Altai Orogen and its implications for vertical continental growth. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 640 – 650

Wang WJ. 1996. The features and tectonic setting of alkali granites from Dajiashan region, Barkol County, Xinjiang. Xinjiang Geology, 14: 159 – 169

Wang ZG, Chen YL, Dong ZS, Wu MQ, Zhang J. 1993. The high-alkaline intrusive rock belts in norther Xinjiang: their geology, geochemistry and genesis, In: Tu GZ(ed.) Progress of Solid-Earth Sciences in Northern Xinjiang, China. Beijing: Science Publishing House, 163 – 172(in Chinese)

Whalen JB, Currie KL, Chappell BW. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contribution to Mineralogy and Petrology, 95: 407 – 419

Windley BF, Alexeiev D, Xiao WJ, Kröner A, Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. Journal of the Geological Society, London, 163:31 – 47

Wu FY, Jahn BM, Wilde SA, Sun DY. 2000. Phanerozoic crustal growth: U-Pb and Sr-Nd isotopic evidence from the granites in northeastern China. Tectonophysics, 328: 89 – 113

Wu FY, Sun DY, Li HM, Jahn BM, Wilde SA. 2002. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis. Chemical Geology, 187: 143 – 173

XBGMR. 1993. Regional Geology of Xinjiang Autonomous Region, Geological Memoirs, Ser. 1, No. 32, Map Scale 1: 1,500,000: Beijing: Geological Publishing House, 841p

Xiao WJ, Windley BF, Hao J, Zhai MG. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt. Tectonics, 22(6): 1069, doi: 10.1029/2002TC001484

Xiao WJ, Windley BF, Badarch G, Sun S, Li J, Qin K, Wang Z. 2004a. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: Implications for the growth of Central Asia. Journal of the Geological Society, London, 161: 339 – 342

Xiao WJ, Zhang LC, Qin KZ, Sun S, Li JL. 2004b. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the eastern Tianshan (China): implication for the continental growth of central Asia. American Journal of Science, 304: 370 – 395

Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Chen HL, Sun M, Lin SF, Li ZL, Mao QG, Zhang JE, Sun S, Li JL. 2006. Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of Northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the souther Paleoasian Domain. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1062 – 1076

Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Sun M, Lin SF, Chen HL, Li ZL, Li JL, Sun S, 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of North Xinjiang, NW China: implications for the tectonic evolution of Central Asia. Journal of Asian Earth Sciences, 32: 102 – 117

Xu BL, Yan GH, Lu FX, Zhou TR, Tong Y, Cai JH, Liu CX, Zhang HF. 2001. Petrology of rich-alkaline and alkaline intrusive complexes in Beishan-Alxa region. Acta Petrologica et Mineralogica, 20(3): 263 – 272

Yuan C, Sun M, Xiao WJ, Li XH, Chen HL, Lin SF, Xia XP, Long XP. 2007. Accretionary Orogenesis of Chinese Altai: Insights from the Paleozoic Granitoids. Chemical Geology, 242: 22 – 39

Zhang YR, Zhu MY, Tian HX, Ming KH, Liu CQ, Shen XY, Ma WY. 1992. The survey on geology and mineral of gold-tin of esat Junggat. Beijing: Seismological Press, 1 – 256

Zhao ZH, Wang ZG, Zou TR, Masuda A. 1996. Study on petrogenesis of alkali-rich intrusive rocks of Ulungur, Xinjiang. Geochimica, 25: 205 – 220

附中文参考文献

毕承思,沈湘元,徐庆生等. 1993. 新疆贝勒库都克锡矿含锡花岗岩地质特征. 岩石矿物学杂志,12: 213 – 223

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

贺峰,许立权,苏宏伟等. 2004. 内蒙古西部甜水井地区二叠世 A 型花岗岩. 西北地质,37(3):7 – 14

姜常义,穆艳梅,白开寅等. 1999. 南天山花岗岩的年代学、岩石学、地球化学及其构造环境. 岩石学报,15(2): 288 – 308

李锦轶. 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史. 岩石学报,11(Suppl): 73 – 84

刘家远,喻亨祥,吴郭泉等. 1997. 新疆北部卡拉麦里富碱花岗岩的碱性花岗岩与锡矿. 有色金属矿产与勘查, 6(3): 129 – 135

刘家远,袁奎荣. 1996. 新疆乌伦古富碱性花岗岩带碱性花岗岩成因及其形成构造环境. 高校地质学报,2: 257 – 272

马瑞士,舒良树,孙家齐等. 1997. 东天山构造演化与成矿. 北京: 地质出版社,1 – 202

毛启贵,肖文交,韩春明等. 2006. 新疆东天山白石泉铜镍矿床基性一超基性岩体锆石 U-Pb 同位素年龄、地球化学特征及其对古亚洲洋闭合时限的制约. 岩石学报, 22(1): 153 – 162

苏玉平,唐红峰,刘丛强等. 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: 174 – 184

童英,洪大卫,王涛等. 2006. 阿尔泰造山带南缘富蕴后造山线形花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志,25(2): 85 – 89

王涛,洪大卫,童英等. 2005. 中国阿尔泰造山带后造山喇嘛昭花岗岩体锆石 SHTIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义. 岩石学报, 21(3): 640 – 650

王中刚,陈岳龙,董振生等. 1993. 新疆北部富碱性侵入岩带地质、地球化学特征及其成因, 新疆北部固体地球科学新进展(涂光炽主编),北京: 科学出版社,163 – 172

王伟健. 1996. 新疆巴里坤县大加山一带碱性花岗岩的特征及构造环境探讨. 新疆地质,14: 159 – 169

王强,赵振华,许继峰等. 2006. 天山北部石炭纪埃达克岩 – 高镁安山岩 – 富 Nb 岛弧玄武质岩: 对中亚造山带显生宙地壳增生与铜金成矿的意义. 岩石学报,22(1): 11 – 30

许保良,阎国翰,路凤香等. 2001. 北山 – 阿拉善地区二叠 – 三叠纪富碱侵入岩的岩石学特征. 岩石矿物学杂志,20(3): 263 – 272

肖文交,韩春明,袁超等. 2006. 新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约. 岩石学报,22(5): 1062 – 1076

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志, 1: 1,500,000 地质图幅. 北京: 地质出版社, 841p

张以熔,朱明玉,田慧新等. 1992. 东准噶尔地质及金锡矿产研究. 地震出版社,1 – 256

赵振华,王中刚,邹天人,增田彰正. 1996. 新疆乌伦古富碱性侵入岩成因探讨. 地球化学,25: 205 – 220