第三十一卷 第六期 地 球 学 报 Vol.31 No.6
二〇一〇年十二月: 803-812 Acta Geoscientica Sinica Dec. 2010: 803-812
www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

新疆吉木乃县恰其海 A 型花岗岩的地球化学特征、年代学及构造意义

靳 松[1, 2)], 张兆祎[1)], 陈志彬[1)], 杨红宾[1)], 杨进京[1)], 康贵军[1)]

1)河北省地质调查院, 河北石家庄 050081;
2)中国地质大学(武汉)地球科学学院, 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

摘 要: 新疆西准噶尔北部发育大量碱性花岗岩, 其形成时代为早二叠世, 岩石类型为钾长花岗岩和石英钾长正长岩。恰其海岩体的形成年龄为 280 Ma, SiO_2 为 66.83%～68.44%, 高铝(14.46%～15.41%); 富含碱质, 里特曼指数(δ)均大于 3.3, 介于 4.47～4.61 之间; 富钾贫钠, K_2O/Na_2O 为 1.10～1.25; 铁高而镁低, FeO^t/MgO 为 4.06～7.85。其稀土配分模式右倾, 轻重稀土分馏明显, 具有中等-强烈铕负异常。地球化学特征表明: 岩石形成于造山晚期伸展体制的构造环境中, 应为后碰撞演化的晚期阶段, 早于东准噶尔后碰撞的时间(二叠纪末)。构造图解判别岩体为 A_2 型花岗岩, 可能受到与俯冲有关的流体交代的影响, 为探索区域晚古生代地壳演化提供了约束。

关键词: 西准噶尔; A 型花岗岩; 碱性花岗岩; 二叠纪; 后碰撞
中图分类号: P588.121; P597.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2010)06-803-10

Geochemical Characteristics, Geochronology and Tectonic Implications of A-type Granite from Qiaqihai Intrusion in Jeminay County, Xinjiang

JIN Song[1, 2)], ZHANG Zhao-yi[1)], CHEN Zhi-bin[1)], YANG Hong-bin[1)], YANG Jin-jing[1)], KANG Gui-jun[1)]

1) *Hebei Institute of Geological Survey, Shijiazhuang, Hebei* 050081;
2) *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei* 430074

Abstract: Large-size alkali granites are distributed in the northern part of western Junggar, Xinjiang, belonging to early Permian. Rock types include moyite and quartz syenite. The Qiaqihai intrusion is one of these granites. The SiO_2 content of Qiaqihai intrusion ranges from 66.83% to 68.44%, and the intrusion is also characterized by high content of Al (14.46%～15.41%) and alkali, rich K, depleted Na, and low MgO. Rittmann values vary between 4.47 and 4.61, whereas K_2O/Na_2O values between 1.10 and 1.25, and FeO^t/MgO values between 4.06 and 7.85. The REE patterns are characterized by LREE enrichment and medium to strong negative Eu anomalies with obvious fractionation between LREE and HREE. These geochemical characteristics suggest that the Qiaqihai intrusion formed in a post-collisional extensional tectonic environment and occurred earlier than the collision time of East Junggar. The trace element features suggest that this intrusion belongs to A2-type granite and was possibly influenced by subduction-related fluid metasomatism. A-type granite can provide important constraints for late Paleo-

本文由新疆国土资源厅地质调查项目(编号: XJQDZ2008-01, XJQDZ2008-03)联合资助
收稿日期: 2010-05-05; 改回日期: 2010-08-25。责任编辑: 魏乐军。
第一作者简介: 靳松, 男, 1982 年生。博士研究生, 助理工程师。主要从事岩石地球化学和区域地质矿产调查研究。通讯地址: 050081, 河北省石家庄市桥西区工农路 515 号。电话: 0311-85921637。E-mail: js521@163.com。

CAGS

zoic crustal evolution in this region.

Key words: western Junggar; A-type granite; alkali granite; Permian; post-collision

新疆北部广泛发育晚古生代酸性侵入岩，对这些侵入岩的地球化学特征及年代学研究对于新疆北部古生代的构造演化有着重要作用(周涛发等, 2006a; 袁峰等, 2006; 谭绿贵, 2008)。研究发现，后碰撞岩浆活动是新疆北部陆壳增长和成矿的重要原因，有关后碰撞岩浆活动时限，前人认为主体时限为石炭纪—二叠纪(王京彬等, 2006)。但是，新疆北部地区后碰撞阶段时限的厘定还需要更广泛的年代学证据，有关侵入岩的岩石成因和构造属性还需要进一步研究。本文拟从西准噶尔萨吾尔地区恰其海岩体的地球化学特征、年代学入手，探讨本区地球动力学背景，为岩石成因、构造演化和成矿提供依据。

1 地质背景

研究区位于西准噶尔北部，新疆吉木乃县恰其海乡南东，大地构造划分上属于不成熟的加里东期新生陆壳之上发展起来的晚古生代岛弧带(何国琦等, 1995)。区内断裂发育，依据变形特征、空间组合关系及相互切割顺序等可归纳为近东西向高角度仰冲断裂系和走滑剪切断裂系，主要断裂为萨吾尔断裂系。在本研究区主要表现为北西西向和北东东向两组压扭性断裂系(如图 1)。

区内出露的地层主要为石炭系巴塔玛依内山组组和二叠系哈尔加乌组。巴塔玛依内山组主要岩性为岩屑凝灰岩和中酸性火山熔岩，夹少量砂岩、粉砂岩、沉凝灰岩。哈尔加乌组岩性为粉砂岩、砂质泥岩、细砾岩以及酸性火山岩。

侵入岩主要分布在萨吾尔大断裂以北，区内侵入岩由早到晚分别为：森塔斯岩体、沃肯萨拉岩体→塔斯特岩体→喀尔交岩体→阔依塔斯岩体、恰其海岩体(周涛发等, 2006b)。恰其海岩体以岩枝、岩脉状产出，出露面积约 35 km^2。岩体南西侧侵入到二叠系卡拉岗组二段地层中，并在岩体的外接触带形成宽 50～100 m 的角岩带，内接触带花岗岩颗粒变细，有程度不同的混合岩化作用。岩体南东侧侵入到石炭纪吉木乃组二段地层中。岩体北侧为新生界覆盖。

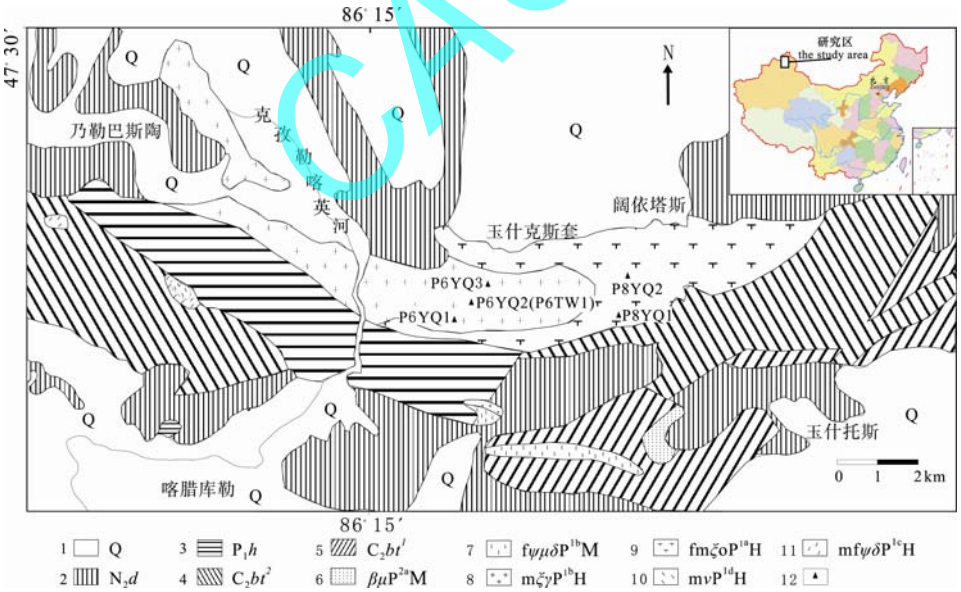


图 1 新疆萨吾尔地区地质略图

Fig. 1 Sketch geological map of Sawuer area, Xinjiang

1-第四系; 2-上新统独山子组; 3-下二叠统哈尔加乌组; 4-上石炭统巴塔玛依内山组二段; 5-上石炭统巴塔玛依内山组一段;6-早二叠世辉绿玢岩; 7-早二叠世细粒辉石闪长玢岩; 8-早二叠世中粒钾长花岗岩; 9-早二叠世细中粒石英钾长正长岩; 10-早二叠世中粒辉长岩; 11-早二叠世中细粒辉石闪长岩; 12-采样点及样品编号

1-Quaternary; 2-Pliocene Dushanzi Formation; 3-Lower Permian Haerjiawu Formation; 4-Upper Carboniferous 2nd Member of Batamayineishan Formation; 5-Upper Carboniferous 1st Member of Batamayineishan Formation; 6-Early Permian diabase-prophyrite; 7-Early Permian fine-grained pyroxene diorite; 8-Early Permian medium-grained moyite; 9-Early Permian fine-medium grained quartz syenite; 10-Early Permian medium-grained gabbro; 11-Early Permian medium-fine grained pyroxene diorite; 12-Sampling point and its serial number

CAGS

2　岩相学特征

恰其海岩体可分解为 2 种岩石类型的侵入体，即细中粒石英钾长正长岩及中粒钾长花岗岩。岩体内各岩性单元时空关系密切，细中粒石英钾长正长岩与中粒钾长花岗岩间为涌动接触关系，其边缘与围岩交代同化混染作用较强烈，往往出现细粒石英正长岩等。

细中粒石英钾长正长岩：肉红色，细中粒粒状结构，块状构造。岩石主要由钾长石、石英组成。钾长石，它形粒状，粒径 0.8～5.0 mm，具条纹结构，为条纹长石，含量 88%；斜长石，半自形板状，粒径 0.5～2.0 mm，聚片双晶发育，含量 2%；石英它形粒状，粒径 0.4～2.4 mm，波状消光，含量 10%；黑云母半自形片状，片径 0.3～0.6 mm，多色性显著，含量少；副矿物有磁铁矿、磷灰石、榍石。

中粒钾长花岗岩：肉红色，中粒花岗结构，块状构造。岩石主要由钾长石、石英组成。钾长石，半自形粒状，粒径 0.8～5.2 mm，具条纹结构，为条纹长石，含量 78%；石英它形粒状，粒径 0.5～1.4 mm，波状消光，分布不均匀，含量 20%；斜长石呈半自形板状，粒径 0.4～0.8 mm，聚片双晶发育，含量 2%；黑云母半自形片状，片径 0.3～0.8 mm，少量；副矿物有磁铁矿、磷灰石、榍石。

3　分析方法

全岩主量元素在新疆地矿局第一区地质调查大队实验室完成，采用可见分光光度计和原子吸收分光光度计测定，分析精度优于 5%。微量元素在河北省区域地质矿产调查研究所采用等离子质谱仪(ICP-MS)测定，分析精度优于 5%。

锆石 U-Pb 定年在国土资源部天津地质矿产研究所利用 LA-ICP-MS 完成。所用等离子体质谱仪为 Thermo Fisher 公司制造的 Neptune，采用 193nm 激光器对锆石进行剥蚀，斑束直径为 35 μm，采用 He 作为剥蚀物质的载气，锆石 TEMORA 作为年龄外标，元素含量用 NIST612 作为外标标定。锆石测定点的 Pb 同位素比值、U-Pb 表面年龄和 U-Th-Pb 含量采用 ICPMSDataCal 程序和 Isoplot 程序进行数据处理，采用 ^{208}Pb 校正法对普通铅进行校正(李怀坤等，2009)。

4　分析结果

4.1　主量元素特征

如表 1 所示，恰其海岩体的 $w(SiO_2)$为 66.83%～68.44%。$w(Al_2O_3)$值为 14.46%～15.41%；全碱值 $w(K_2O+Na_2O)$为 10.41%～10.80%，里特曼指数(δ)均大于 3.3，介于 4.47～4.61 之间；富钾贫钠，K_2O/Na_2O 为 1.10～1.25；铁高而镁低，FeO^t/MgO 为 4.06～7.85，与 A 型花岗岩普遍具有富铁贫镁的特征相一致(Anderson et al., 2003; Kebede et al., 2003; Whalen et al., 1987)；铝饱和指数(A/CKN)变化在 0.83～0.98(<1.1)之间；在侵入岩 TAS 图解上(图 2)，投影点落在碱性花岗岩区；在 A/CKN-A/KN 图上(图 3)，样品全部落在准铝质区域内。因此样品具有碱性和准铝质的岩石化学特征。在 K_2O-SiO_2 判别图解(图 4)上，所有样品均富钾，岩石样品落在含钾较高的钾玄岩系列，这与其形成的地质背景相一致。

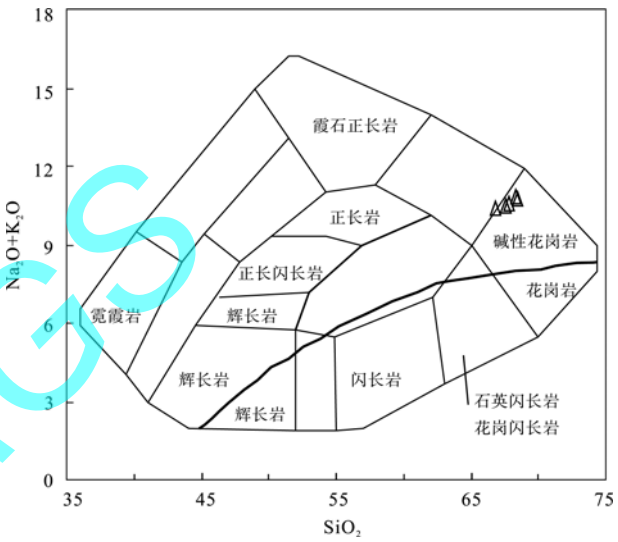


图 2　侵入岩 TAS 图解
Fig. 2　TAS diagram

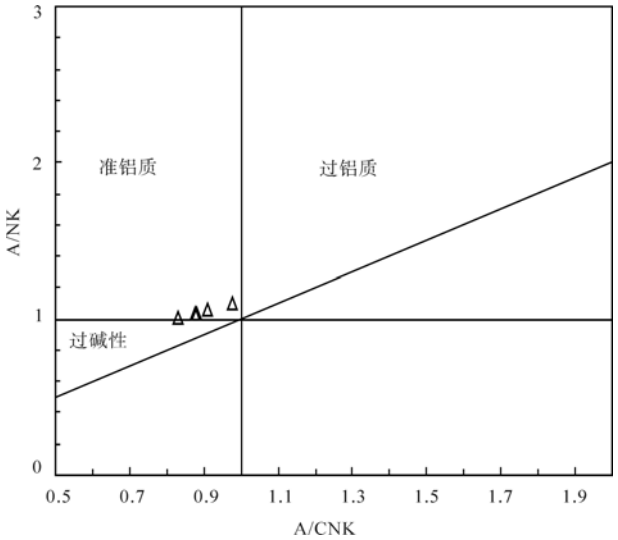


图 3　A/NK-A/NCK 图解
Fig. 3　A/NK-A/NCK diagram
A/NK: $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$; A/NCK: $Al_2O_3/(Na_2O+CaO+K_2O)$

CAGS

表 1 恰其海岩体主量元素、微量元素分析结果

Table 1 Major and trace element compositions of Qiaqihai batholith

样品号	P6YQ1	P6YQ2	P6YQ3	P8YQ1	P8YQ2
岩性	碱性花岗岩(%)	碱性花岗岩(%)	碱性花岗岩(%)	碱性花岗岩(%)	碱性花岗岩(%)
SiO_2	66.83	67.63	68.29	67.85	68.44
TiO_2	0.95	1.10	0.93	0.82	0.67
Al_2O_3	14.83	14.50	14.46	15.41	15.06
Fe_2O_3	1.98	2.06	0.76	2.37	1.53
FeO	1.55	1.70	2.15	0.70	1.05
MnO	0.14	0.12	0.15	0.11	0.10
MgO	0.69	0.69	0.77	0.40	0.56
CaO	1.29	1.40	1.63	0.95	1.40
Na_2O	4.77	4.68	4.85	4.69	5.12
K_2O	5.64	5.81	5.95	5.86	5.65
P_2O_5	0.22	0.22	0.17	0.21	0.15
烧失量	0.87	0.45	0.22	0.83	0.26
H_2O^+	0.48	0.34	0.26	0.64	0.16
H_2O^-	0.19	0.18	0.08	0.14	0.10
K_2O/Na_2O	1.18	1.24	1.23	1.25	1.10
Na_2O+K_2O	10.41	10.49	10.80	10.55	10.77
A/KN	1.06	1.04	1.00	1.09	1.03
A/CKN	0.91	0.88	0.83	0.98	0.88
δ	4.55	4.47	4.61	4.48	4.56
Rb	96.10	103.50	93.70	94.00	60.90
Ba	592.35	726.94	808.27	710.10	684.08
Th	3.85	4.79	3.41	3.76	4.65
Nb	21.56	30.50	24.39	22.15	26.36
Ta	1.20	1.65	1.30	1.23	1.41
Sr	104.10	129.70	149.50	131.70	101.30
Zr	570.80	545.70	461.10	663.20	275.10
Hf	27.99	27.35	21.70	29.85	13.87
Y	50.94	47.79	35.47	39.57	41.36
Sc	7.01	8.71	5.77	8.44	7.52
Cr	3.94	4.13	3.17	2.30	3.17
Co	1.59	1.96	1.21	1.76	1.36
P	559.10	498.07	453.61	586.86	409.60
La	55.18	53.11	47.23	42.60	41.48
Ce	121.41	117.60	92.94	108.32	92.54
Pr	14.95	14.61	11.76	12.64	12.04
Nd	59.44	57.93	46.04	50.31	48.52
Sm	10.74	10.35	8.14	9.03	9.11
Eu	1.82	1.96	1.95	1.81	1.74
Gd	9.43	8.79	7.09	7.55	7.89
Tb	1.63	1.52	1.17	1.35	1.37
Dy	9.73	9.17	6.76	7.88	8.17
Ho	1.90	1.74	1.32	1.52	1.55
Er	5.50	5.09	3.77	4.51	4.49
Tm	0.86	0.83	0.60	0.72	0.70
Yb	5.57	5.52	3.95	4.75	4.58
Lu	0.88	0.87	0.65	0.73	0.69
ΣREE	299.04	289.08	233.36	253.71	234.88
LREE/HREE	7.42	7.62	8.22	7.75	6.98
δEu	0.54	0.61	0.77	0.65	0.61
$(La/Yb)_N$	7.11	6.90	8.58	6.43	6.50

CAGS

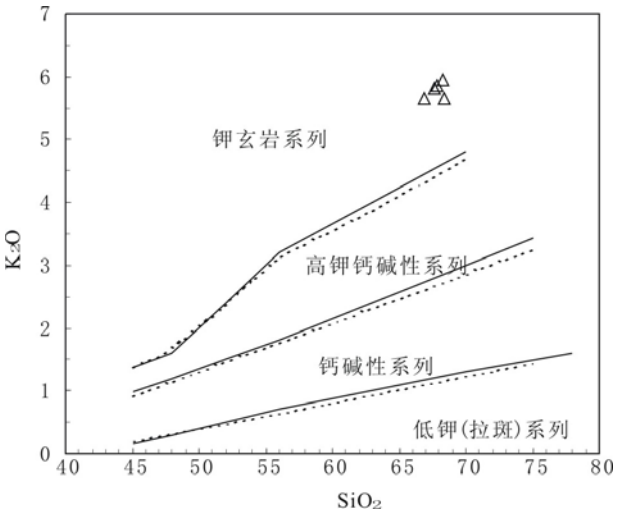


图 4　SiO_2-K_2O 图解
Fig. 4　SiO_2-K_2O diagram

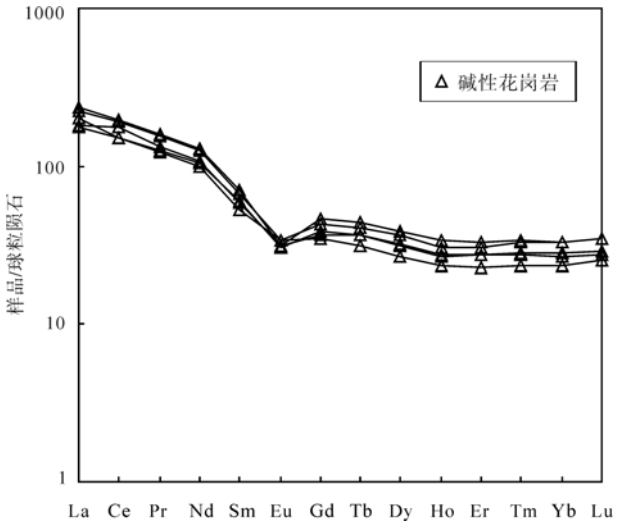


图 5　稀土元素配分型式
Fig. 5　Chondrite-normalized REE patterns

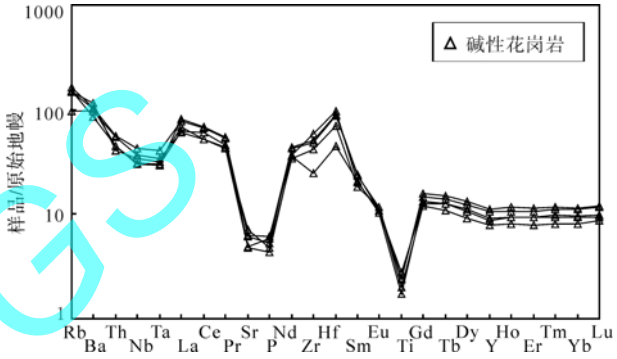


图 6　微量元素蛛网图
Fig. 6　Primitive mantle-normalized trace element patterns

4.2　稀土及微量元素特征

恰其海岩体稀土元素配分型式表现为右陡倾斜式(图 5)，轻稀土明显富集，稀土元素总量较高，ΣREE 变化范围是 233.36～299.04 μg/g，平均达 262.01 μg/g，*w*(LREE)为 205.43～263.54 μg/g，*w*(HREE)为 25.30～35.50 μg/g，*w*(LREE)/*w*(HREE)=6.98～8.22，$(La/Yb)_N$ 比值变化在 6.43～8.58 之间(平均为 7.10)表明轻重稀土之间分异明显。δEu 为 0.54～0.77(平均 0.64)，具有中等-强烈铕负异常。轻稀土分馏程度 $(La/Sm)_N$ 为 2.94～3.75，重稀土分馏程度 $(Gd/Yb)_N$ 为 1.31～1.48，轻稀土分馏程度大于重稀土分馏程度。在蛛网图上尽管个别高场强元素显示略亏损的特征，但相对于 I 和 S 型花岗岩，仍具有较高的丰度，特别是富含稀土元素，因此样品具有明显的 A 型花岗岩的特征。

恰其海岩体微量元素蛛网图特征总体表现为“先隆后凹”式、或“三隆三凹”式(图 6)，富集大离子亲石元素 Rb、(Th+U)、Ba、K、Pb、(Zr+Hf+Sm)和重稀土元素(Gd+Tb+Dy+Ho+Er+Tm+Y+Yb+Lu)；而亏损(Nb+Ta)、(Sr+P)和 Ti(沙淑清等，2007)。Nb 和 Ta 的相对亏损指示其岩浆可能来源于地壳重熔，也可能经历了富 Nb、Ta 矿物的结晶分异作用。Sr 负异常指示岩体在形成过程中，岩浆发生了斜长石的分离结晶作用，或岩浆源区残留有斜长石。P，Ti 偏低可能与磷灰石、钛铁氧化物的结晶分异有关。岩石样品的 Rb/Sr 和 Rb/Ba 分别为 0.601～0.923 和 0.089～0.162，略高于原始地幔的相应比值(原始地幔 Rb/Sr 和 Rb/Ba 分别为 0.029 和 0.088)，说明岩浆经历了较高程度的分异演化(李洪英等，2009)。

4.3　年代学

研究表明，不同成因锆石具有不同的 Th、U 含量和 Th/U 比值：岩浆锆石的 Th、U 含量较高，Th/U 比值较大(一般>0.4)；变质锆石的 Th、U 含量低，Th/U 比值小(一般<0.1)(Wu et al.，2004)。本文利用 LA-ICP-MS 对 P6TW1 样品进行了分析，共测定 18 个点，分析结果如表 2 所示，其 Th 含量为 14～113 μg/g，U 含量为 14～104 μg/g，Th/U 比值变化范围为 0.72～1.15(大于 0.4)，表明锆石均为岩浆成因，U-Pb 表面年龄谐和性好，所有锆石均落在谐和线上，数据点成群分布(图 7)，$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 280.1±3.2 Ma(MSWD=2.8)，代表了岩体的结晶年龄，为早二叠世。

5　讨论

5.1　岩石成因

世界上所发现的正长岩多与 A 型花岗岩伴生，二者在成因及地球化学特征上有很大联系，因此学者常把正长岩归入 A 型花岗岩中(Eby，1992；洪大卫

GAGS

表 2　恰其海岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果

Table 2　Zircon U-Pb isotopic data obtained by LA-ICP-MS for Qiaqihai batholith

测点	含量/×10^{-6}			Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
	Pb	Th	U		比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ
01	1	20	22	0.89	0.0500	0.00167	0.3078	0.01185	0.0447	0.00065	193	78	272	10	282	4
02	4	61	73	0.84	0.0521	0.00136	0.3115	0.01090	0.0433	0.00054	291	59	275	10	273	3
03	5	113	104	1.09	0.0505	0.00112	0.3087	0.00962	0.0443	0.00054	219	51	273	9	280	3
04	2	21	27	0.79	0.0514	0.00281	0.3173	0.01742	0.0448	0.00088	260	125	280	15	282	6
05	2	25	30	0.84	0.0501	0.00162	0.3081	0.00976	0.0446	0.00080	200	75	273	9	281	5
06	3	38	51	0.75	0.0501	0.00078	0.3206	0.00680	0.0464	0.00059	201	36	282	6	292	4
07	2	26	34	0.75	0.0526	0.00121	0.3278	0.00901	0.0452	0.00066	310	52	288	8	285	4
08	1	16	22	0.74	0.0499	0.00114	0.3138	0.00879	0.0456	0.00065	190	53	277	8	288	4
09	1	26	24	1.09	0.0510	0.00102	0.3128	0.00930	0.0445	0.00051	239	46	276	8	281	3
10	2	33	32	1.05	0.0530	0.00117	0.3288	0.01033	0.0450	0.00053	327	50	289	9	284	3
11	1	15	21	0.72	0.0504	0.00202	0.3138	0.01363	0.0452	0.00070	213	93	277	12	285	4
12	1	19	23	0.86	0.0514	0.00121	0.3213	0.01037	0.0453	0.00056	260	54	283	9	286	4
13	1	10	14	0.76	0.0532	0.00199	0.3243	0.01192	0.0442	0.00078	336	85	285	10	279	5
14	1	16	20	0.77	0.0510	0.00177	0.3126	0.01239	0.0445	0.00065	240	80	276	11	280	4
15	2	36	37	0.97	0.0540	0.00092	0.3204	0.00810	0.0430	0.00050	372	38	282	7	271	3
16	1	22	24	0.92	0.0519	0.00110	0.3041	0.00942	0.0425	0.00049	279	49	270	8	268	3
17	1	14	18	0.77	0.0519	0.00124	0.3197	0.01003	0.0447	0.00058	280	55	282	9	282	4
18	1	21	18	1.15	0.0503	0.00143	0.3031	0.01039	0.0437	0.00062	210	65	269	9	276	4

CAGS

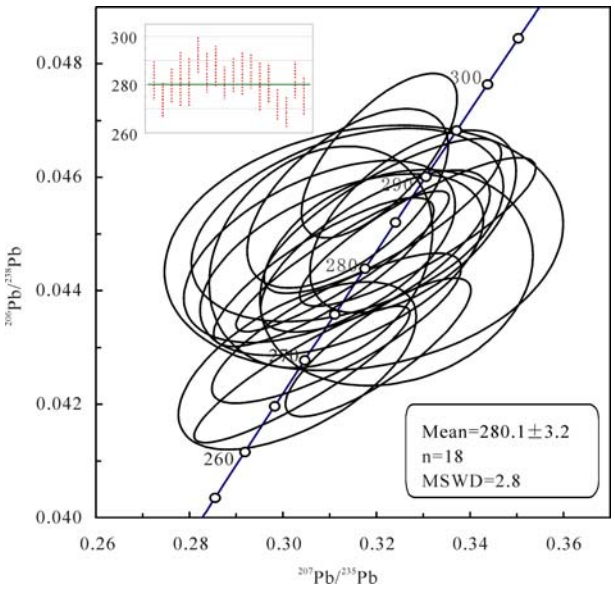


图 7　恰其海岩体锆石 U-Pb 一致曲线图
Fig. 7　U-Pb concordia diagram of zircons from Qiaqihai batholith

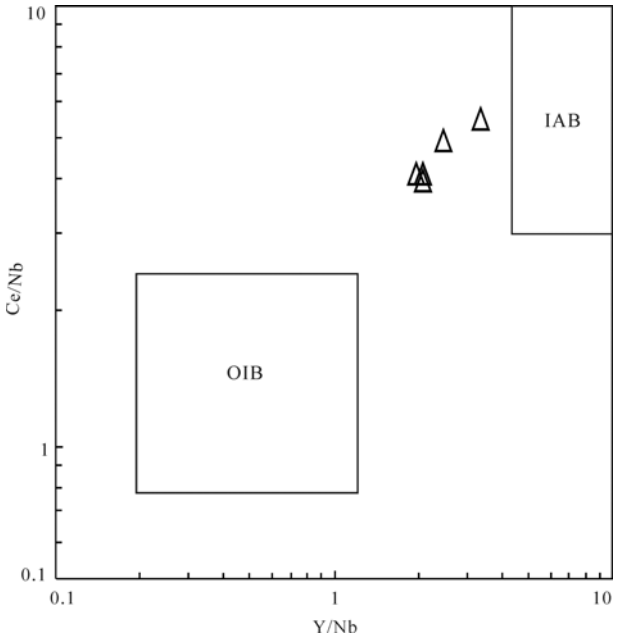


图 8　Ce/Nb-Y/Nb 图解
Fig. 8　Ce/Nb-Y/Nb diagram
IAB—岛弧玄武岩; OIB—洋岛玄武岩
IAB—island arc basalt; OIB—oceanic island basalts

等, 1995; 刘昌实等, 2003)。A 型花岗岩套常分为 A_1 亚型和 A_2 亚型, 其中 A_1 亚型主要与上地幔热柱、裂谷作用有关, 源区物质可能是亏损地幔和富集地幔的混合物; A_2 亚型其 Y/Nb 和 Y/Ta 比值则可由类似平均地壳变化至类似岛弧玄武岩, 岩浆起源于地壳或由岛弧岩浆作用派生, 产于地壳伸展或陆内剪切作用, 后碰撞或后造山的张性构造环境(周宇章等, 2006; 胡建等, 2010)。

恰其海岩体的碱性花岗岩属富钾碱性岩系, 具有 A 型花岗岩的特征, 其钾的质量分数高, 落入钾玄岩系列, 所以它的源区应高钾, 但地壳中的岩石很难熔出高钾岩石(Robert et al., 1992)。碱性岩的高钾有两种原因, 一种是和软流圈地幔的小比例部分熔融产生的熔体的交代作用有关(Angelo, 1992), 另一种是和俯冲区的碱性、富集元素的流体交代作用有关。A 型花岗岩类或 A 型花岗岩套的结晶分异作用对高场强元素 Y/Nb 比值的影响很小, 该比值常作为识别源区的标志, 在图 8 显示, 碱长花岗岩落入靠近 IAB 区, 而远离 OIB 区, 暗示它和软流圈地幔没有成因联系, 而与俯冲作用有关(Eby, 1990; 白云山等, 2006)。岩石富铝(Al_2O_3 多大于 14%), 其原始岩浆应富铝, 因为陆壳物质为玄武岩浆富铝创造了最有利的条件, Beard 认为这是岩浆起源于活动大陆边缘(或岛弧环境)的一个标志。

对于 A 型花岗岩的成因, 大多学者认为起源于下地壳物质的部分熔融, 岩体可能受到与俯冲有关的流体交代的影响, 生成相对高碱性高铝的岩浆, 早期生成了正长岩, 晚期受流体交代作用减弱, 或斜长石等矿物的分离结晶, 进而形成了碱性花岗岩。

5.2　年代学

韩宝福等(1999)认为新疆北部地区后碰撞岩浆活动的时限为 330～250 Ma。周涛发等(2006)认为西准噶尔萨吾尔地区晚古生代侵入岩年龄在 328.2～290.7 Ma, 时代上属于晚石炭世至早二叠世, 侵入岩由早到晚(森塔斯岩体、沃肯萨拉岩体→塔斯特岩体→喀尔交岩体→阔依塔斯岩体、恰其海岩体)具有明显的地球化学演化特征, 同时, 区内哈尔加乌组、卡拉岗组火山岩年龄在 296.7～280 Ma 之间, 为早二叠世火山活动产物。由此表明, 这些花岗岩类是后碰撞岩浆活动的产物。后碰撞阶段通常伴随大规模的花岗质岩浆作用和剪切活动, 以大规模的(钙碱性-偏碱性) 花岗质岩浆活动和剪切活动结束(韩宝福等, 1999)。

我们在卡拉岗组含砾粗砂岩及灰色粉砂岩中发现了大量的早二叠 *Paracalamites stenocostatus* Gu et Zhi (细肋副芦木)植物化石。恰其海岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 280.1±3.2 Ma, 为早二叠纪, 岩石具有偏碱性特点, 形成于造山晚期伸展体制的构造环境中, 应为后碰撞演化的晚期阶段, 略晚于前人认为的 290.7±9.3 Ma(周涛发等, 2006b), 显然早于东准噶尔后碰撞的时间(二叠纪末)。因哈萨

CAGS

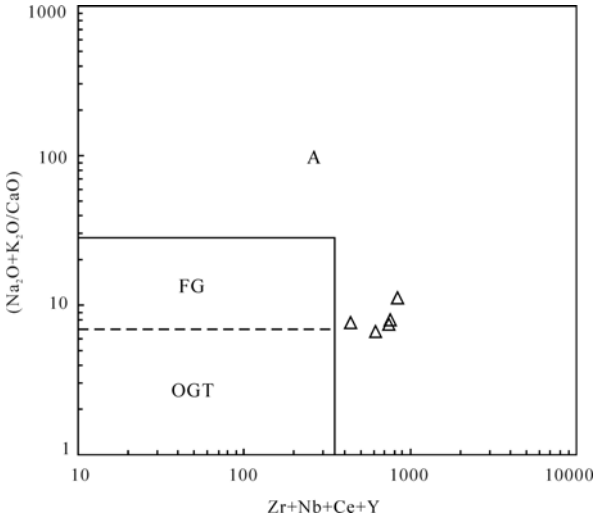


图 9 Zr+Nb+Ce+Y-(Na_2O+K_2O)/CaO 图解

Fig. 9 Zr+Nb+Ce+Y-(Na_2O+K_2O)/CaO diagram

A—A 型花岗岩; FG—M+I+S 型分异花岗岩; OGT—未分异 M+I+S 型花岗岩;

A—A-type granites; FG—fractional M+I+S-type granites; OGT—non-fractional M+I+S-type granites

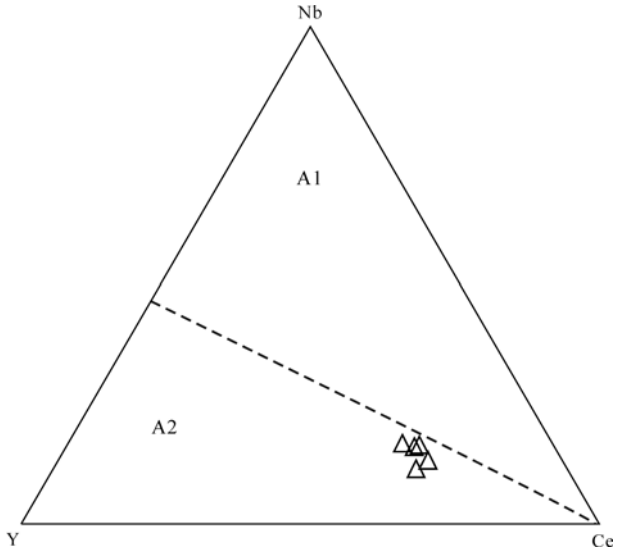


图 10 A_1-A_2 型花岗岩判别图

Fig. 10 Triangular plot of A_1 and A_2 granitoids

A_1—A_1 型花岗岩; A_2—A_2 型花岗岩

A_1—A_1-type granites; A_2—A_2-type granites

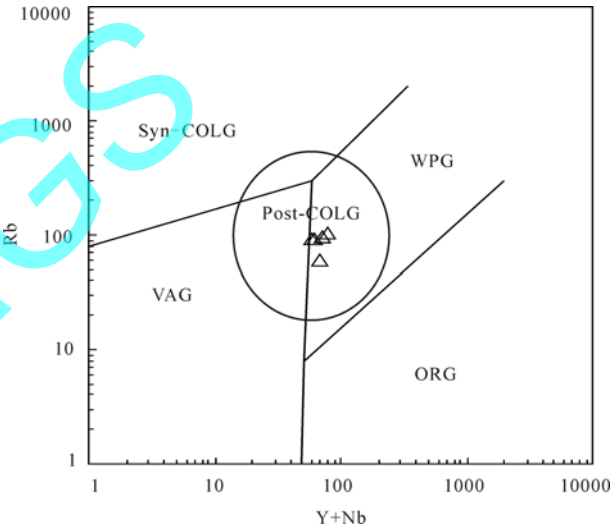


图 11 Rb-Y+Nb 图解

Fig. 11 Rb-Y+Nb discriminant diagram

Syn-COLG—同碰撞花岗岩; WPG—板内花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; ORG—洋中脊花岗岩; Post-COLG—后碰撞花岗岩

Syn-COLG—syn-collisional granite; WPG—intraplate granite; VAG—volcanic arc granite; ORG—ocean ridge granite; Post-COLG—post-collisional granite

克斯坦板块与西伯利亚板块已连为一体，随两大板块边部挤压应力的消失，由挤压变为张性，区内处于拉张机制下，卡拉岗组火山岩显示出“双峰式”的特征，随后该区进入板内演化阶段。

5.3 构造意义

在 Zr+Nb+Ce+Y-(Na_2O+K_2O)/CaO 图解上(图 9)，数据落入 A 型花岗岩区，在划分 A 型花岗岩亚类的 Nb-Y-Ce 等判别图上(图 10)，数据均落入 A_2 花岗岩区，在 Rb-Y+Nb 环境判别图(图 11)上，显示出后造山期花岗岩特征。A_2(即 PA)型花岗岩浆起源于经历了陆陆碰撞或岛弧岩浆作用的陆壳或下地壳，标志着造山作用不久后的拉张，是造山作用结束的标志。结合同位素年龄(LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为早二叠世)，表明在早二叠世萨吾尔地区处于拉张的构造背景，应力环境由挤压转变为张性，是后碰撞阶段的伸展期。

本文样品普遍富集轻稀土(LREE)和 Cs, Rb, Th, U 等大离子亲石元素(LILE)，亏损 Sr, P, Ti, Nb 和 Ta 等元素，指示这些岩石的岩浆源区具有显著的弧岩浆活动特点，其形成机制很可能与陆块俯冲-地壳增生事件有关。Chen et al.(2005)认为，后碰撞岩浆活动是中亚造山带(包括西准格尔)陆壳增生的主要原因。因此，萨吾尔地区 A 型花岗岩的研究对于探索区域晚古生代地壳演化有重要意义。

6 结论

(1)恰其海岩体具有碱性和准铝质的岩石化学特征。

(2)恰其海岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 280.1±3.2 Ma，为早二叠纪初，形成于造山晚期伸展体制的构造环境中，应为后碰撞演化的晚期阶段，早于东准噶尔后碰撞的时间(二叠纪末)。

(3)恰其海岩体可能为与俯冲有关的流体交代的产物，岩浆源区具有显著的弧岩浆活动特点，其形成机制很可能与陆块俯冲-地壳增生事件有关。

GCAGS

致谢：本文的研究得到了新疆国土资源厅地质调查项目管理办公室、河北省地质调查院和河北省地球物理勘查院的支持，成文过程中得到了中国地质大学(武汉)钟增球教授，吴元保教授和河北地质调查院夏国礼教授级高工的指导，参加野外工作的还有河北省地质调查院孙志国，许肖斌，马燕冰，李峰，李晓峰，陶光活等同志，在此一并致谢。

参考文献:

白云山, 李莉, 牛志军, 姚华舟, 段其发. 2006. 羌塘中部各拉丹冬二长花岗岩体同位素地质年代学和地球化学研究[J]. 地球学报, 27(3): 217-225.

韩宝福, 何国琦, 王式洸. 1999. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底的性质[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 29(1): 16-21.

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专辑[J]. 新疆地质, 13(2): 99-194.

洪大卫, 王式洸, 韩宝福. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志[J]. 中国科学(B 辑), 25(4): 418-426.

胡建, 邱检生, 徐夕生, 王孝磊, 李真. 2010. 大别山东缘片麻状变质花岗岩的锆石 U-Pb 年代学与地球化学: 对扬子板块北东缘新元古构造-岩浆作用的启示[J]. 中国科学, 40(2): 138-155.

李洪英, 张荣华, 胡书敏. 2009. 庐枞盆地正长岩类地球化学特征及成因探讨[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 39(5): 839-846.

李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 张永清, 李惠民. 2009. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物学报, S1: 600-601.

刘昌实, 陈小明, 陈培荣. 2003. A 型岩套的分类、判别标志和成因[J]. 高校地质学报, 9(4): 573-591.

沙淑清, 王宗秀, 郭通珍, 肖伟峰, 杨欣德. 2007. 巴颜喀拉山东段花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其地球化学特征[J]. 地球学报, 28(3): 261-269.

谭绿贵. 2008. 新疆西准噶尔恰其海后碰撞花岗岩[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 38(6): 980-987.

王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿[J]. 地质学报, 80(1): 23-31.

袁峰, 周涛发, 杨文平, 何立新, 范裕, 谭绿贵, 岳书仓. 2006. 新疆萨吾尔地区两类花岗岩 Nd、Sr、Pb、O 同位素特征[J]. 地质学报, 80(2): 264-272.

周涛发, 袁峰, 范裕, 谭绿贵, 岳书仓. 2006a. 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[J]. 中国科学 D 辑, 36(1): 39-48.

周涛发, 袁峰, 谭绿贵, 范裕, 杨文平, 何立新, 岳书仓. 2006b. 新疆萨吾尔地区晚古生代岩浆作用的时限、地球化学特征及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 22(5): 1225-1235.

周宇章, 邢光福, 杨祝良, 沈加林, 陈荣, 包超民, 魏乃颐. 2006. 浙江诸暨新元古代后造山铝质 A 型花岗岩的厘定[J]. 地球学报, 27(2): 107-113.

References:

ANDERSON I C, FROST C D, FROST B R. 2003. Petrogenesis of the Red Mountain pluton, Laramie anorthosite complex, Wyoming: Implications for the origin of A-type granite[J]. Precambrian Research, 124: 243-267.

ANGELO P. 1992. Potassic and ultrapotassic rocks: compositional characteristics, petrogenesis, and geologic significance(and its references)[J]. Episodes, 15(4): 243-251.

BAI Yun-shan, LI Li, NIU Zhi-jun, YAO Hua-zhou, DUAN Qi-fa. 2006. Isotope geochronology and geochemical characteristics of Geladandong monzonitic granite in centeral Qiangtang[J]. Acta Geoscientica Sinica, 27(3): 217-225(in Chinese with English abstract).

CHEN B, ARAKAWA Y. 2005. Elemental and Nd-Sr isotopic geochemistry of granitoids from the West Junggar fold belt(NW China), with implications for Phanerozoic continental growth[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 69: 1307-1320.

EBY G N. 1990. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. Lithos, 26: 115-134.

EBY G N. 1992. Chemical subdivision of the A- type granitoid: petrogenetic and tectonic implications[J]. Geology, 20: 641-644.

HAN Bao-fu, HE Guo-qi, WANG Shi-guang. 1999. Postcollisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the Junggar Basin[J]. Science in China(Series D:Earth Sciences), 2: 113-119.

HE Guo-qi, LIU De-quan, LI Mao-song, TANG Ya-ming, ZHOU Ru-hong. 1995. The five-stage model of crust evolution and metallogenic series of chief or ogenic belts in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 13(2): 99-194(in Chinese with English abstract).

HONG Da-wei, WANG Shi-guang, HAN Bao-fu. 1995. The tectonic setting classification of alkali granite and identification marks[J]. Science in China(Series B: Earth Sciences), 25(4): 418-426(in Chinese with English abstract).

HU Jian, QIU Jian-sheng, XU Xi-sheng, WANG Xiao-lei, LI Zhen. 2010. Geochronology and geochemistry of gneissic metagranites in eastern Dabie Mountains: Implications for the Neoproterozoic tectono-magmatism along the northeastern margin of the Yangtze Block[J]. Science China Earth Sciences, 40(2): 138-155(in Chinese with English abstract).

KEBEDE T, KOEBERL C. 2003. Petrogenesis of A-type granitoids from the Wallagga area, western Ethiopia: Constraints from mineralogy, bulk-rock chemistry, Nd and Sr isotopic compositions[J]. Precambrian Research, 121: 1-24.

LI Hong-ying, ZHANG Rong-hua, HU Shu-min. 2009. Geochemical characteristics of syenite and its genesis in the Luzong basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 39(5): 839-846(in Chinese with English abstract).

LI Huai-kun, GENG Jian-zhen, HAO Shuang, ZHANG Yong-qing, LI Hui-min. 2009. The study of determination zircon U-Pb isotopic age using laser ablation multi-collector Inductively

CAGS

Coupled Plasma Mass Spectrometry(LA-MC-ICPMS)[J]. Acta Mineralogica Sinica, S1: 600-601(in Chinese).

LIU Chang-shi, CHEN Xiao-ming, CHEN Pei-rong. 2003. Subdivision, discrimination criteria and genesis for A-type rock suites[J]. Geological journal of China universities, 9(4): 573-591(in Chinese with English abstract).

ROBERT M P, CLEMENTS J D. 1992. Origin of high-potassiium, calc-alkaline, I-type granitoids[J]. Geology, 21: 825-828.

SHA Shu-qing, WANG Zong-xiu, GUO Tong-zhen, XIAO Wei-feng, YANG Xin-de. 2007. Zircon SHRIMP dating and geochemical characteristics of granites in the eastern part of the Bayan Har mountains[J]. Acta Geoscientica Sinica, 28(3): 261-269(in Chinese with English abstract).

TAN Lü-gui. 2008. The Post-Collisional Granite in the Qiaqihai Area, Western Junggar, Xinjiang[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 38(6): 980-987(in Chinese with English abstract).

WANG Jing-bin, XU Xin. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in Northern Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Sinica, 80(1): 23-31(in Chinese with English abstract).

WHALEN J B, CURRIE K L, CHAPPELL B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. Contrib Mineral Petrol, 95: 407-419.

WU Yuan-bao, ZHENG Yong-fei. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 49: 1554-1569.

YUAN Feng, ZHOU Tao-fa, YANG Wen-ping, HE Li-xin, FAN Yu, TAN Lü-gui, YUE Shu-cang. 2006. Nd, Sr, Pb, O isotope characteristics of two types granites in the Sawuer region, Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 80(2): 264-272(in Chinese with English abstract).

ZHOU Tao-fa, YUAN Feng, TAN lü-gui, FAN Yu, YANG Wen-ping, HE Li-xin, YUE Shu-cang. 2006b. Time limit, geochemical characteristics and tectonic setting of late Paleozoic magmatism in Sawuer region, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1225-1237(in Chinese with English abstract).

ZHOU Tao-fa, YUAN Feng, TAN Lü-gui, FAN Yu, YUE Shu-cang. 2006a. Geodynamic significance of the A-type granites in the Sawuer region in west Junggar, Xinjiang: Rock geochemistry and SHRIMP zircon age evidence[J]. Science in China(Series D: Earth Sciences), 2: 113-123.

ZHOU Yu-zhang, XING Guang-fu, YANG Zhu-liang, SHEN Jia-lin, CHEN Rong, BAO Chao-min, WEI Nai-yi. 2006. Recognition of Neoproterozoic post-orogenic aluminous A-type granite in Zhuji, Zhejiang province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 27(2): 107-113(in Chinese with English abstract).

CAGS

李四光思想研究与发展研讨会在京召开
李四光研究会呼之欲出

2010 年 10 月 20—21 日，中国地质科学院地质力学研究所组织召开的李四光思想研究与发展研讨会在京举行。会议决定成立李四光研究会，并成立筹备组，明确了李四光研究会的工作重点。

李四光是我国现代地质科学的开拓者之一，他创造了地质力学，并将其成功运用到实践当中，为我国地质找矿建立了不朽的功勋。

在研讨会上，各位专家就当前国内学习、推进李四光思想的现状，推动过程中存在的问题以及如何继承和发展李四光思想等发表了观点。会议讨论决定成立李四光研究会，科学地宣传和发展李四光爱国、创新等优秀思想；李四光研究会筹备组，负责研究会制度章程的制定等前期工作。会议明确，研究会成立后，将大量开展以科学宣传李四光思想为核心的各种学术研讨活动，以继承并弘扬李四光热爱祖国、求实创新的精神为主要任务，努力推进地质科学的发展。

本次会议由中国工程院院士赵文津、中国地质科学院地质力学研究所所长龙长兴等人发起。毕孔彰、苗培实、王泽九等 20 余位地学专家出席了研讨会。

本刊编辑部 采编