1000-0569/2007/023(08)-1909-20 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

新疆阿尔泰山南缘玛因鄂博高温型强过铝花岗岩：年龄、地球化学特征及其地质意义*

周刚[1,2] 张招崇[3] 罗世宾[2] 何斌[2] 王祥[2] 应立娟[1] 赵华[2] 李爱红[2] 贺永康[2]

ZHOU Gang[1,2], ZHANG ZhaoChong[3], LUO ShiBin[2], HE Bin[2], WANG Xiang[2], YIN LiJuan[1], ZHAO Hua[2], LI AiHong[2] and HE YongKang[2]

1. 中国地质科学院研究生部，北京 100037
2. 新疆地矿局第四地质大队，阿勒泰市 836500
3. 中国地质大学地质与矿产资源重点实验室，北京 100083

1. *Graduate School of China Academy of Geological Sciences*, *Beijing* 100037, *China*
2. *No.*4 *Geological Team of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources*, *Altay*, *Xinjiang* 836500, *China*
3. *State Key Laboratory of Geo-Processes and Mineral Resources*, *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*

2006-10-23 收稿，2007-05-05 改回.

Zhou G, Zhang ZC, Luo SB, He B, Wang X, Yin LJ, Zhao H, Li AH and He YK. 2007. Confirmation of high-temperature strongly peraluminous Mayin'ebo granites in the south margin of Altay, Xinjiang: age, geochemistry and tectonic implications. ***Acta Petrologica Sinica*****, 23(8):1909 – 1920**

Abstract Mayin'ebo pluton, outcropping at the northeastern side of Mayin'ebo Fault, is comprised of gneissic tonalite, granodiorite, and granite. Some Al-riched diagnostic minerals, such sillimanite, cordierite, tourmaline, have been observed in this pluton, which is coherent with their high A/CNK values (>1.1). Zircon SHRIMP U-Pb dating indicate it crystallized at ca. 283Ma. It has low SiO_2, CaO, Ba, Sr, Nb, P_2O_5 and relatively high but variable MgO, FeO^T, Cr, Ni, TiO_2, REE($\sum REE = 126.8 \times 10^{-6} \sim 218.11 \times 10^{-6}$). It is characterized by enrichment of LREE with $(La/Yb)_N$ ranging from 5 to 11 and mediate negative Eu anomalies ($\delta Eu = 0.52 \sim 0.74$). Petrography and chemical composition of the Mayin'ebo granites share characteristics of the typical peraluminous granites. Due to their low Al_2O_3/TiO_2 ratios, it belong high-temperature sub-type of the peraluminous granites. On the other hand, the granites have negative but large-ranged initial Nd values ($-0.3 \sim -3.5$). Considering the gabbro with positive initial Nd values ($+5$) mingling in the granites, we suggest that the Mayin'ebo granite was derived from partial melting of the psammitic rocks with low maturity induced by underplating of the mafic magma from a depleted mantle, and to some extent, the mafic magma has been added into the primary magma of the granite. In combination with previous studies, we concluded that the Mayin'bo granites was formed in an extensional post-orogenic environment. This study provides an important petrogenetic type of post-collision granites in Altay and even in the Center Asian Orogen Belt.

Key words Altay, Permian strongly peraluminous granites, Age, Geochemistry, Tectonic implications

摘 要 玛因鄂博岩体分布于新疆阿尔泰山南缘玛因鄂博深大断裂北东侧。主体岩石类型包括片麻状英云闪长岩、黑云母花岗闪长岩、二长花岗岩。岩石中含有较高的黑云母，并可见夕线石、堇青石、电气石等富铝特征矿物。锆石的 SHRIMP U-Pb 定年表明该岩体结晶年龄为 283Ma。岩石具有低的 SiO_2、CaO、Ba、Sr、Nb、P_2O_5、Al_2O_3/TiO_2 比值及高 MgO、FeO^T、Cr、Ni、TiO_2、REE($\sum REE = 126.8 \times 10^{-6} \sim 218.11 \times 10^{-6}$)、A/CNK(>1.1)等特征，富集轻稀土($(La/Yb)_N = 5 \sim 11$)，具有中等的 Eu 负异常($\delta Eu = 0.52 \sim 0.74$)。上述特征表明该岩体与典型的高温型强过铝花岗岩相似。岩石的 Nd 同位素分析表明，其 Nd 初始值变化大($-0.3 \sim -3.5$)，而其中辉长岩体的 Nd 初始值为 5.5。基于上述，我们认为花岗岩原始岩浆来源于底侵的玄武岩浆引起的低成熟度碎屑岩部分熔融，并有部分玄武岩浆的加入。结合区域地质资料，推测它形成于后碰撞阶段，属于后碰

* 国家 305 项目(2001BA609A-07-02)；新疆维吾尔自治区 1∶5 万区域地质矿产调查项目(XJQD2003-03).

第一作者简介：周刚，男，1966 年生，高级工程师，博士研究生，矿物、岩石、矿产专业，主要从事区域地质和矿产勘查工作.
通讯地址：836500，新疆阿勒泰市第四地质大队；电话：0906-2152844；E-mail：xazhougang@126.com

撞强过铝花岗岩。在阿勒泰地区早二叠纪强过铝花岗岩的界定为阿尔泰乃至中亚造山带的后碰撞花岗岩提供了一种重要的岩石成因类型。

关键词 阿尔泰; 二叠纪强过铝花岗岩; 年龄; 地球化学特征; 地质意义

中图法分类号 P588.121; P597.3; P594.1

1 引言

强过铝花岗岩(以下简称 SP 花岗岩)是指铝饱和指数[$Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$分子比值]A/CNK≥1.1,含有白云母、堇青石、电气石或石榴子石等高铝矿物的花岗岩类(Sylvester,1998)。20 世纪 80 年代,与碰撞有关的 SP 花岗岩往往被归为同碰撞花岗岩(Pitcher,1983; Pearce *et al.*, 1984; Harris *et al.*, 1986)。后来的研究发现,大量的 SP 花岗岩是后碰撞的(Pitcher,1993; Pamic *et al.*, 1996; Bellieni *et al.*, 1996; Finger *et al.*, 1997; Searle *et al.*, 1997)。后碰撞作用环境由于地壳加厚程度和岩浆底侵程度的不同,可分为高温型和高压型两种后碰撞类型,相应地其 SP 花岗岩也可分为高温型和高压型(Sylvester,1998)。高压型 SP 花岗岩是指在"高压"碰撞过程中(如阿尔卑斯山脉和喜马拉雅山脉)由超厚地壳(>50km)的后碰撞折返作用形成。具有相对较高的 Al_2O_3/TiO_2 比值,以淡色花岗岩、二云母花岗岩为主(Barbarin,1996; Sylvester,1998); 而高温型 SP 花岗岩是在诸如海西褶皱带和拉克伦褶皱带的"高温"碰撞中。在这类碰撞造山过程中,地壳加厚不明显,形成不了高压环境,但在后碰撞阶段,岩石圈可发生拆沉作用与热软流圈的上涌,使有关地壳发生深熔作用,形成高温型 SP 花岗岩。以具有相对较低的 Al_2O_3/TiO_2 比值为特征,以富黑云母含堇青石的英闪岩、花岗闪长岩和二长花岗岩为主(Barbarin,1996; Sylvester,1998)。因此,对于不同成因类型的后碰撞 SP 花岗岩的研究,可以反演碰撞造山活动历史(韩宝福等,1998; 林广春和马前昌,2003; 孙涛等,2003)。

阿尔泰造山带作为中亚造山带(CAOB)的重要组成部分,对分布于其中的花岗岩的研究有助于了解中亚造山带的活动和发展演化历史。前人对新疆阿尔泰造山带中的花岗岩类研究较多(芮行键和吴玉金,1984; 邹天人等,1988; 刘伟,1990; 王中刚和赵振华,1990; Wang *et al.*,2006),但未见有强过铝花岗岩的报道。对于青河县玛因鄂博一带的片麻状花岗岩只将其局部作为岩体,而大部分作为片麻岩划入了地层中,笔者在该区开展 1∶5 万区调工作时发现其与下泥盆统地层呈明显的侵入接触关系,在其中发现有地层捕掳体和残留体,认为其为花岗岩体。本文即在 1∶5 万区调工作的基础上,对该岩体的岩石组成及其地球化学特征进行了研究,并探讨其形成机制和地质意义,以期为研究阿尔泰造山带乃至中亚造山带中花岗岩的成因类型、造山带的地壳生长方式及地质演化历史提供一些依据。

2 岩体及岩石特征

额尔齐斯-玛因鄂博断裂为西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块的分界线(蔡文俊,1986; 曹荣龙等,1993; 陈哲夫等,1997; 王宗秀等,2003),在华力西晚期发生了大型的走滑剪切活动(Sébastien,*et al.*, 2003)。玛因鄂博岩体呈长条状分布于玛因鄂博大断裂的北东侧(图 1)。

岩体规模较大,为一呈北西-南东向展布的岩基,出露面积大于 200km^2。该岩体北东侧侵入于震旦系库卫群(Zk)片麻岩地层中,东段被似斑状花岗(查干水库岩体)侵位; 南西侧与下泥盆统康布铁堡组(D_1k)一套变质中酸生火山岩和片岩呈断层或侵入接触。见有岩枝和岩株侵入康布铁堡组地层中,甚至见其侵入于玛因鄂博断裂带南侧地层中; 岩体与震旦系库卫群(Z*k*)地层中的黑云斜长片麻岩和花岗片麻岩等围岩呈渐变过渡关系。并可见震旦系库卫群地层残留于岩体中,岩体与地层残留体界线往往不十分清楚。岩体边部见有地层捕虏体,成分为细粒黑云斜长片麻岩(库卫群)及变质中酸性沉凝灰岩(康布铁堡组)(图 2A、B),大多为椭圆状、透镜状、不规则状,大小不一,一般为十几厘米×几十厘米,并可见其片麻理及变余层理方向与花岗岩中片麻理方向相交。

组成该岩体的主体岩性以片麻状黑云母二长花岗岩为主,还有片麻状英云闪长岩、花岗闪长岩。各种岩性间接触界线不明显,呈渐变过渡关系,野外难以区分。岩体中见有细粒二云母花岗岩和少量细粒辉长岩,往往呈脉状和不规则状岩枝、岩株。脉岩一般长几十米至几百米,宽几米至几十米,走向大多与岩石中片麻理走向一致,呈北西-南东向; 岩枝和岩株规模一般小于 2km^2,往往沿断裂呈串珠状分布。这些特征表明,辉长岩及二云母花岗岩与主岩体形成时代近于一致(相当于 mingling structure, Zhang *et al.*, 2006)。

该岩体普遍具有较强的韧性剪切变形和变质,均以具有片麻状构造为特征。岩石主要由斜长石、钾长石、石英及黑云母组成。斜长石和钾长石含量变化较大,分别为 15% ~60% 和 0% ~40%; 石英含量为 20% ~30%。含有较多的黑云母(15% ±),并见有少量白云母,但大多为交代黑云母的产物(图 2C)。岩石中钾长石以微斜长石为主,见其交代斜长石的现象,在残余的斜长石中分布有蠕虫状石英(图 2D),局部可见显微交生体。可见夕线石、堇青石、电气石等特征矿物,含量一般小于 1%。夕线石往往呈针状和毛发状,分布于云母中及其附近(图 2E、F)。

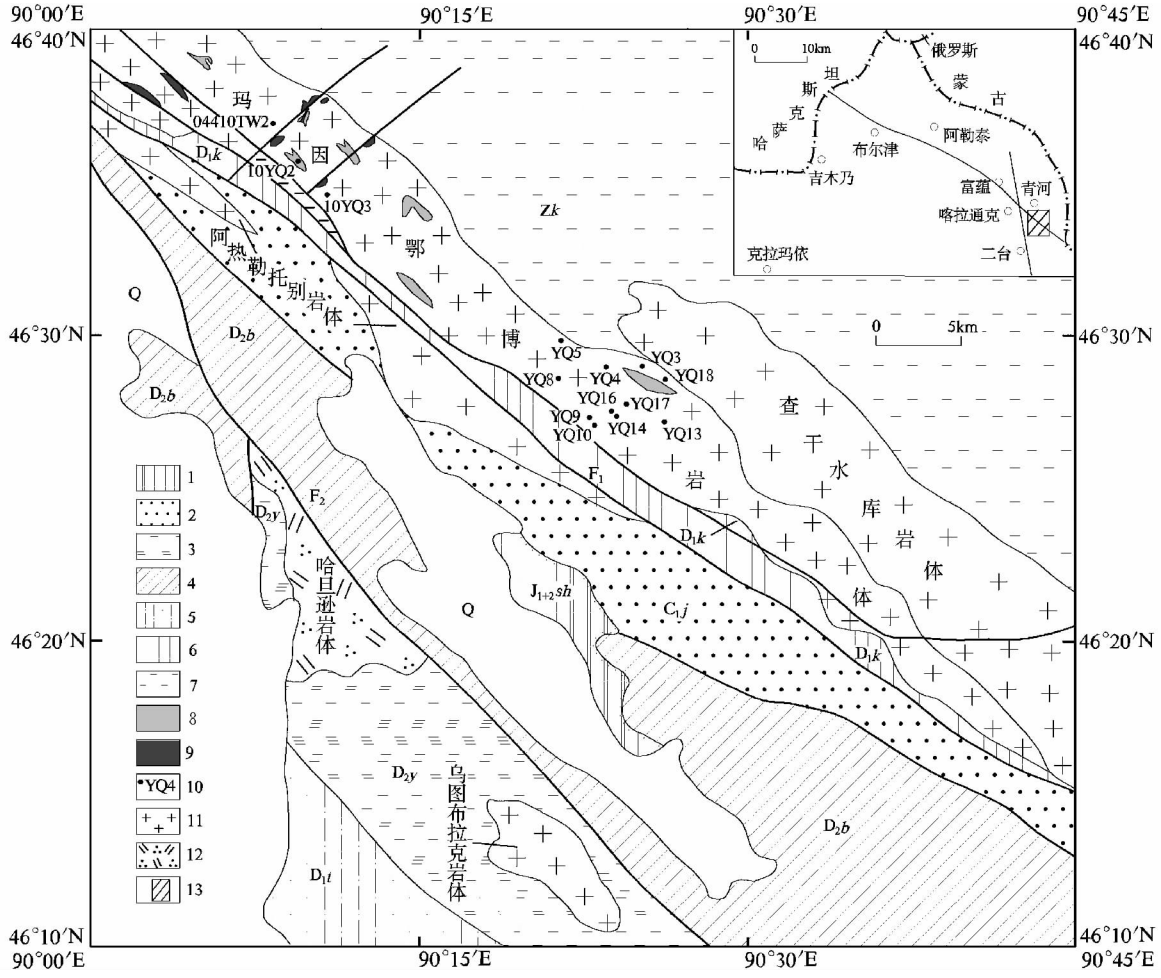


图 1 玛因鄂博一带地质简图

Q-第四系；1-下—中侏罗统水西沟群($J_{1+2}sh$)；2-下石炭统姜巴斯套组(C_1j)；3-中泥盆统蕴都喀拉组(D_2y)；4-中泥盆统北塔山组(D_2b)；5-下泥盆统托让格库都克组(D_1t)；6-下泥盆统康布铁堡组(D_1k)；7-震旦系库卫群(Zk)；8-二云母花岗岩；9-细粒辉长岩；10-样品采集位置及编号；11-花岗岩；12-石英二长岩；13-研究区位置；图中 F_1 为玛因鄂博断裂；F_2 为卡拉先格尔断裂

Fig. 1 Sketch geological map of Mayin'ebo area

Q-Quaternary Systerm, 1-Shuixigou Group of lower to middle Jurassic Series, 2-Jiangbasitao Formation of lower Carboniferous Series, 3-Yundukala Formation of middle Devonian Series, 4-Beitashan Formation of middle Devonian, 5-Tuoranggekuduke Formation of lower Devonian Series, 6-Kangbutiebao Formation of lower Devonian Series, 7-Kuwei Group of Sinian System, 8-Two-mica granite, 9-gabbro, 10-collection location and its number of the samples, 11-granite, 12-quartz momzonite, 13-location of research area. F_1-Mayin'ebo Fault; F_2-Kalaxiange'er Fault

3 测试方法

定年样品取自片麻状黑云母花岗闪长岩，样品编号为 0410TW2，采样坐标为东经 90°07′48″，北纬 46°36′36″。样品破碎后经人工淘洗分离出重砂，经重液分离和磁选后，在双目镜下挑选出代表性的锆石 1000 余粒。样品制靶后经投射光及反射光照相，并采用阴极发光对锆石内部结构进行研究。阴极发光在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室完成。锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心的 SHRIMPII 上进行，详细分析流程和原理见宋彪等(2004)。分析结果见表 1。

岩石的主量元素、微量元素及 Nd 同位素分析均在宜昌地质矿产研究所中南实验检测中心完成分析测试。分析过程中，从分析样品制备到各个项目的分析，均严格执行《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ0130-94)要求。其中硅酸盐主要元素全分析为湿化学法；稀土元素及 Nb、Zr、Hf、Sr、Ba、V 等元素采用 ICP-AES 法测定，Cr、Ni、Co 等元素采用原子吸收光谱法，Th 采用光度法，U 采用激光萤光法，Ga 采用粉末发射法。内检样品比例大于 20%。内检分析原始合格率为 98%。符合相关质量管理规范要求。Nd 同位素分析采用 TIMS 法。主量成分、微量元素和 Nd 同位素组成见表 2、3。

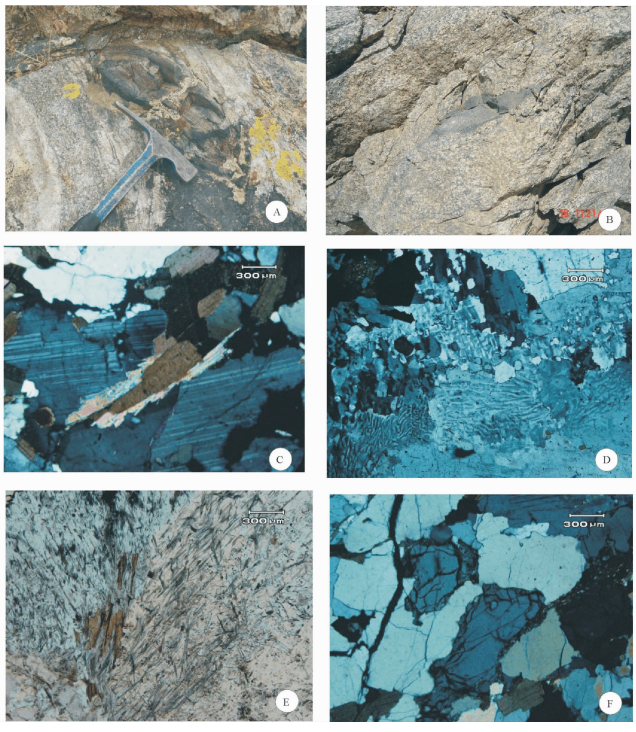


图 2 片麻状黑云母二长花岗岩的宏观和显微照片

A 和 B 为岩体中的地层捕掳体(A 为康布铁堡组中的变质中酸性沉凝灰岩; B 为库卫群中的片岩); C 为白云母交代黑云母的现象; D 为蠕虫结构; E 为长石中的夕线石; F 为特征矿物堇青石

Fig. 2 Wall rock inclosures in the gneiss biotite monzonitic granites (A: metamorphic sedimentary tuff from Kangbutiebao Formation; B: schist from Kuwei Group); C: the biotite replaced by muscovite; D: myrmekitic texture; E: diagnostic minerals such as sillimanite; F: cordierite

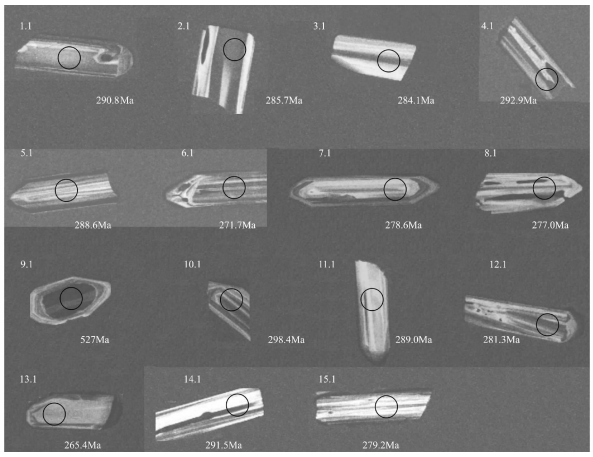


图 3 玛因鄂博岩体 0410TW2 号样品测年锆石颗粒形态

Fig. 3 CL images of zircon grains of sample 0410TW2

4 分析结果

4.1 年龄

大多数锆石呈自形长柱状晶体,长轴在 100 ~ 120μm 之间,长短轴之比为 3 ~ 4(图 3)。在阴极发光照片中,大多数锆石具有板条结晶纹或典型的环带状结构(图 3)。我们注意到有极少量的锆石有圆形的核,为继承性锆石(图 3 中的 9.1)。对 15 粒锆石的 15 次分析结果显示(表 1),继承性的核年龄为 527Ma,与该岩体南侧片麻岩中的一组锆石 U-Pb 表面年龄(525Ma)一致(周刚等,2006a)。其余的 14 个分析

表 1 玛因鄂博岩体锆石 U-Pb SHRIMP 年龄分析结果表

Table 1 Zircon U-Pb SHRIMP dating results of Matinebo pluton

Spot	U (×10⁻⁶)	Th (×10⁻⁶)	Th/U	f_{206} # (%)	$^{206}Pb^*/^{238}U$		$^{207}Pb^*/^{235}U$		$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$		$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄(Ma)		$^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄(Ma)	
1.1	68	101	1.53	4.95	0.0461	3.3	0.19	55	0.029	55	290.8	9.3	-1,230	1700
2.1	198	249	1.3	0.99	0.0453	2.5	0.304	6.3	0.0486	5.8	285.7	7.0	128	140
3.1	131	160	1.26	2.07	0.0451	2.7	0.258	15	0.0415	15	284.1	7.4	-259	380
4.1	337	23	0.07	0.22	0.0465	2.6	0.345	4.9	0.0539	4.1	292.9	7.4	365	93
5.1	108	67	0.64	0.35	0.0458	2.6	0.332	4.2	0.0526	3.3	288.6	7.4	311	76
6.1	202	195	1	2.63	0.0431	2.8	0.223	22	0.0376	21	271.7	7.4	-513	570
7.1	110	56	0.52	3.28	0.0442	3	0.188	32	0.0309	32	278.6	8.3	-1,071	960
8.1	250	44	0.18	0.49	0.0439	2.5	0.281	4.7	0.0464	4	277	6.9	18	96
9.1	400	166	0.43	0.27	0.0852	2.4	0.649	2.9	0.0552	1.7	527	12	421	37
10.1	371	63	0.18	0.22	0.0474	2.4	0.336	3.4	0.0514	2.4	298.4	7.1	259	54
11.1	58	58	1.04	4.59	0.0442	3	0.14	46	0.023	46	279.1	8.2	-2,070	1700
12.1	250	275	1.13	0.83	0.0446	2.5	0.278	5.9	0.0452	5.4	281.3	6.8	-46	130
13.1	93	112	1.25	2.75	0.042	2.7	0.196	20	0.0338	20	265.4	7.1	-810	560
14.1	257	41	0.17	0.23	0.0463	2.5	0.34	3.3	0.0534	2.2	291.5	7.1	345	50
15.1	72	76	1.08	1.98	0.0443	3.1	0.261	17	0.0427	17	279.2	± 8.6	-185	± 410

f_{206} 为普通^{206}Pb 在总^{206}Pb 中的百分比

表 2 玛因鄂博岩体主量元素(wt%)和微量元素($\times10^{-6}$)含量表

Table 2 Major elements contents(wt%) and trace elements contents($\times10^{-6}$) of Myinebo pluton

岩石名称	片麻状黑云母斜长花岗岩			片麻状英云闪长岩			片麻状黑云母花岗闪长岩			片麻状黑云二长花岗岩			片麻状黑云母花岗岩	二云母花岗岩
样品号	yQ3	yQ4	yQ18	yQ5	yQ9	yQ17	yQ7	10YQ3	yQ14	yQ10	yQ13	yQ16	yQ8	10YQ2
SiO_2	65.91	62.8	63.03	64.87	68.79	67.62	68.62	68.08	66.86	69.68	69.9	71.27	70.98	73.86
TiO_2	0.574	0.746	0.813	0.76	0.656	0.634	0.614	0.678	0.838	0.482	0.491	0.428	0.324	0.07
Al_2O_3	14.94	16.48	16.56	15.41	14.16	14.34	14.04	13.86	14.48	14.11	14.22	13.84	13.88	14.24
FeO^T	7.5	7.53	7.81	6.36	5.41	6.01	5.1	5.23	5.69	4.08	4.34	3.82	3.38	1.44
MnO	0.175	0.11	0.12	0.085	0.085	0.084	0.089	0.099	0.086	0.076	0.084	0.07	0.08	0.084
MgO	2.65	3.31	3.32	2.46	1.66	2.47	1.49	2.78	1.56	0.908	1.15	1.06	0.806	0.289
CaO	1.43	1.59	1.48	2.1	2.18	1.49	1.74	2.13	2.33	1.74	1.79	1.35	1.15	1.12
Na_2O	2.39	2.47	2.51	3.16	3.07	2.74	2.92	2.55	3.24	3.47	3.22	3.05	3.07	3.72
K_2O	2.6	2.91	2.78	2.88	2.48	3.03	3.74	3.04	3.81	4.28	3.85	4.09	4.65	4.23
P_2O_5	0.113	0.203	0.18	0.212	0.175	0.176	0.232	0.156	0.289	0.238	0.225	0.237	0.267	0.109
灼失量	1.08	1.31	1.26	0.837	0.975	1.27	0.678	1.38	0.516	0.468	0.656	0.637	0.678	0.7
总量	99.362	99.459	99.863	99.134	99.641	99.864	99.263	99.983	99.699	99.532	99.926	99.852	99.265	99.865
K_2O+Na_2O	4.99	5.38	5.29	6.04	5.55	5.77	6.66	5.59	7.05	7.75	7.07	7.14	7.72	7.95
K_2O/Na_2O	1.09	1.18	1.11	0.91	0.81	1.11	1.28	1.19	1.18	1.23	1.20	1.34	1.51	1.14
Mg	39	44	43	41	35	42	34	49	33	28	32	33	30	26
C	5.83	6.81	7.12	3.73	2.83	4.23	2.52	2.85	1.41	1.12	2	2.46	2.29	1.73
σ	1.09	1.46	1.4	1.67	1.19	1.35	1.73	1.25	2.08	2.25	1.86	1.8	2.13	2.05
AR	1.82	1.75	1.77	2.05	2.03	2.06	2.18	1.94	2.25	2.56	2.35	2.34	2.38	2.88
A/NKC	1.58	1.64	1.69	1.27	1.21	1.37	1.17	1.23	1.06	1.05	1.11	1.17	1.13	1.12
CaO/Na_2O	0.60	0.64	0.59	0.66	0.71	0.54	0.60	0.84	0.72	0.50	0.56	0.44	0.37	0.30
Al_2O_3/TiO_2	26.03	22.09	20.37	20.28	21.59	22.62	22.87	20.44	17.28	29.27	28.96	32.34	42.84	203.43
Cr	77.3	105	96.1	65.7	42.4	84.1	35.6	83.4	23.4	14.2	19.7	26.1	16.9	10.8
Ni	50.3	123	69.5	40.3	30.5	72.6	25.6	44.8	12.9	11.4	12.8	54	16.7	2.3
Co	17.3	24.2	19.1	16.6	16.4	16	12.3	16.2	13.6	6.4	11.3	11	7.5	5.9
Rb	95.8	110	104	116	98.4	128	147	121	154	169	152	160	171	110
Sr	252	298	264	288	595	279	188	234	247	176	201	213	161	105
Ba	647	480	565	459	484	588	521	769	520	484	526	563	400	537
V	98.1	128	154	118	89.2	108	72.1	104	93.8	44.6	63.3	59.3	37.3	3.81
Nb	8.88	9.42	10.1	11.6	12.6	9	11.4	13.6	13.4	12.7	13.7	9.73	11	7.32
Ta	1.02	1.23	1.1	1.08	0.93	0.75	1.07	1.2	2.15	1.83	1.3	1.75	1.91	0.74
Zr	204	179	117	170	130	159	139	196	239	148	151	86.4	108	82
Hf	5.57	5.42	3.59	5.23	4.48	4.69	4.36	6.45	6.78	4.12	4.24	2.77	3.53	5.22
U	1.48	1.72	2.41	2	3.36	2.41	1.48	1.62	1.26	2.3	2.65	3.72	3.36	1.31
Th	34.9	32.3	22.6	22.8	30.7	22.9	24.1	21.1	29	22.5	21.8	14.8	23.8	8.23
Y	29.2	25.1	31.4	31.8	30.6	23.5	29.3	28.5	29.6	36.4	32.6	24.1	23.3	23.3
Rb/Sr	0.38	0.37	0.39	0.40	0.17	0.46	0.78	0.52	0.62	0.96	0.76	0.75	1.06	1.05
Rb/Ba	0.15	0.23	0.18	0.25	0.20	0.22	0.28	0.16	0.30	0.35	0.29	0.28	0.43	0.20
Sr/Ba	0.39	0.62	0.47	0.63	1.23	0.47	0.36	0.30	0.48	0.36	0.38	0.38	0.40	0.20
La	35.4	29.1	33.8	37.2	34.8	30.4	35.0	35.5	38.5	34.3	31.3	27.7	20.2	12.3
Ce	62.2	52.5	61.1	68.1	63.9	53.1	62.8	59.8	70.2	64.6	55.2	50.1	36.0	21.4
Pr	7.78	6.07	7.66	8.34	8.20	6.67	7.77	6.55	9.05	8.31	6.43	6.37	4.43	2.73
Nd	32.8	27.2	35.1	36.1	36.3	29.6	34.0	30.3	37.9	35.0	29.4	28.0	18.8	10.2
Sm	6.93	5.51	7.11	7.49	7.51	5.95	7.48	6.57	7.59	7.86	6.03	5.94	4.27	3.13
Eu	1.51	1.30	1.41	1.50	1.24	1.24	1.35	1.25	1.54	1.36	1.08	1.03	0.76	0.66
Gd	5.70	5.01	6.01	6.54	6.46	4.76	6.16	5.74	6.94	6.78	5.66	4.97	4.67	3.88
Tb	1.02	0.91	1.02	1.12	1.14	0.87	1.11	0.97	1.16	1.20	1.02	0.90	0.84	0.69
Dy	6.75	5.86	7.07	7.35	7.63	5.61	7.49	6.12	7.31	8.20	6.74	6.04	5.51	4.86
Ho	1.32	1.08	1.32	1.44	1.48	1.02	1.44	1.15	1.35	1.55	1.29	1.14	1.07	0.96
Er	3.83	3.38	4.13	4.32	3.89	3.14	3.84	3.67	3.71	4.53	3.73	3.19	3.14	2.83
Tm	0.60	0.48	0.58	0.64	0.54	0.44	0.61	0.59	0.53	0.66	0.57	0.44	0.45	0.44
Yb	3.63	2.92	3.48	3.76	3.47	2.69	3.34	3.49	2.43	4.06	3.17	2.66	2.96	3.14
Lu	0.53	0.43	0.55	0.53	0.50	0.40	0.55	0.45	0.30	0.50	0.45	0.39	0.40	0.39
∑REE	199.2	166.85	201.74	216.23	207.66	169.39	202.24	162.15	218.11	215.31	184.67	162.97	126.8	67.61
$(La/Yb)_N$	6.6	6.7	6.6	6.7	6.8	7.6	7.1	6.9	10.7	5.7	6.7	7.0	4.6	2.6
La/Sm	5.11	5.28	4.75	4.97	4.63	5.11	4.68	5.40	5.07	4.36	5.19	4.66	4.73	3.93
δEu	0.71	0.74	0.64	0.64	0.53	0.69	0.59	0.61	0.64	0.56	0.56	0.56	0.52	0.58

表 3 玛因额博岩体 Sm-Nd 同位素组成

Table 3 Sm-Nd isotope compositions of the Mayin'ebo granites

样品号	岩石名称	Sm ($\times10^{-6}$)	Nd ($\times10^{-6}$)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd \pm 2\sigma$	t_{DM}(Ma)	t_{2DM}(Ma)	$\varepsilon_{Nd}(t)$
YQ-2	二云母花岗岩	3.053	10.81	0.1707	0.512541 ±0.000013	2.15	1.24	-0.94
YQ-4	片麻状黑云母斜长花岗岩	4.615	21.87	0.1276	0.512359 ±0.000012	1.39	1.4	-2.93
YQ-7	片麻状黑云母花岗闪长岩	5.909	26.93	0.1326	0.512462 ±0.000010	1.29	1.25	-1.1
YQ-13	片麻状黑云母二长花岗岩	5.77	26.56	0.1313	0.512499 ±0.000012	1.2	1.19	-0.33
YQ-17	片麻状英云闪长岩	5.392	26.4	0.1235	0.512321 ±0.000012	1.4	1.44	-3.53
YQ-1	辉长岩	2.975	14.02	0.1283	0.512794 ±0.000014	0.63	0.73	5.52

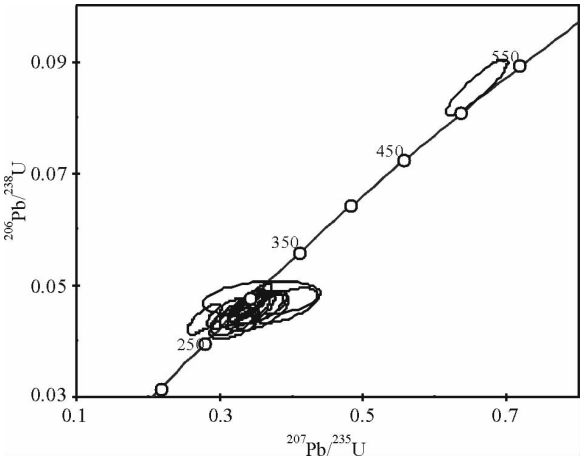


图 4 玛因鄂博岩体锆石 U-Pb SHRIMP 年龄谐和图

Fig. 4 Concordia plot of zircon U-Pb SHRIMP ages of the Mayinebo pluton

结果表明,Th 和 U 的含量分别为 58×10^{-6} ~ 400×10^{-6} 和 23×10^{-6} ~ 275×10^{-6},Th/U 比值为 0.17 ~ 1.53,显示出岩浆锆石的特点(Belousova,2002),这与其形态特点一致(图 3)。14 个分析点在误差范围内有一致的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄,且均落在 U-Pb 一致曲线之上构成单一的正态分布形式(图 4),采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均获得年龄值为 283 ± 4Ma,MSWD = 1.5(图 4),这一年龄代表了岩体的结晶年龄。

4.2 主量元素特征

由表 2 可以看出,与 Nockolds(1954)同类岩石相比,该岩体中主体岩石普遍具有 SiO_2、CaO 等含量偏低,FeO^T、MgO 含量偏高的特点。其中,斜长花岗岩和英云闪长岩中 SiO_2 含量为 62.8% ~68.79%,花岗闪长岩、二长花岗岩及花岗岩中 SiO_2 含量为 66.86% ~71.27%;二云母花岗岩 SiO_2 含量较高,为 73.86%。岩石中大多数样品 K_2O 含量略高于 Na_2O

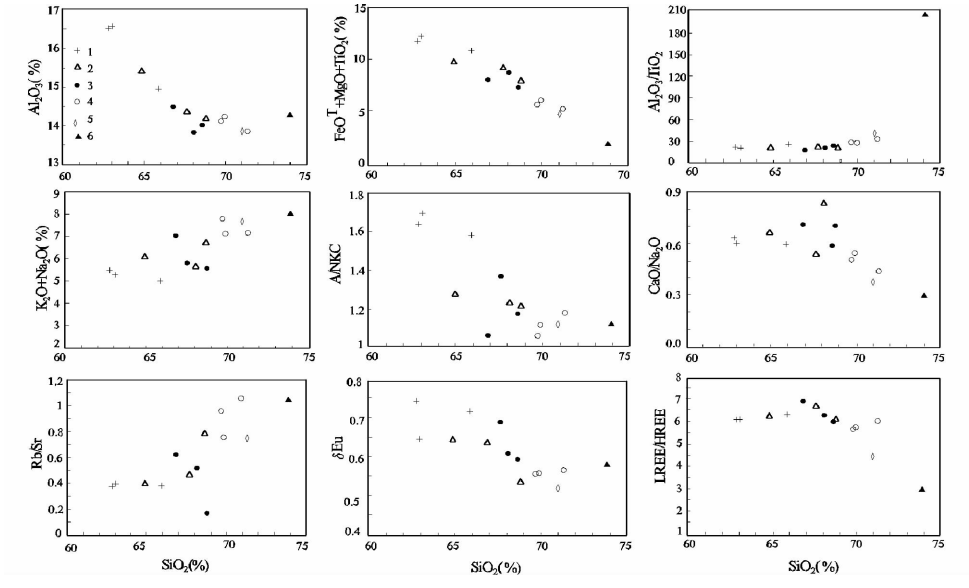


图 5 玛因鄂博岩体一些主量元素含量及特征数值与 SiO_2 关系图解

1-片麻状黑云母斜长花岗岩;2-片麻状英云闪长岩;3-片麻状黑云母花岗闪长岩;4-片麻状黑云母二长花岗岩;5-片麻状黑云母花岗岩;6-二云母花岗岩

Fig. 5 Diagram showing the relations between some major elements, ratios and SiO_2 for Mayin'ebo pluton

含量，K_2O/Na_2O 比值大多为 1.1～1.51，仅有少数样品略小于 1，为 0.81～0.91。由片麻状英云闪长岩→花岗闪长岩→二长花岗岩→二云母花岗岩变化过程中，随着 SiO_2 的增加，Al_2O_3、$FeO^T + MgO + TiO_2$、A/CNK、δEu 有降低趋势，$Na_2O + K_2O$、Rb/Sr 等降低，而 Al_2O_3/TiO_2、CaO/Na_2O 等变化不明显（图 5）。在 SiO_2-$Na_2O + K_2O$ 分类图解中，所有样品均分布在石英闪长岩（或花岗闪长岩）及花岗岩区，为钙碱性系列（图 6a）。岩石具有高的 A/CNK［$Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO)$分子数比］（1.05～1.69），且绝大多数样品 A/NKC > 1.1（图 6b），这与在岩石中出现夕线石等矿物是一致的。经 CIPW 计算，标准矿物出现刚玉，含量为 1.12～7.12。所有上述特征均表明该岩体属于“S”型花岗岩（Sylvester，1998）。

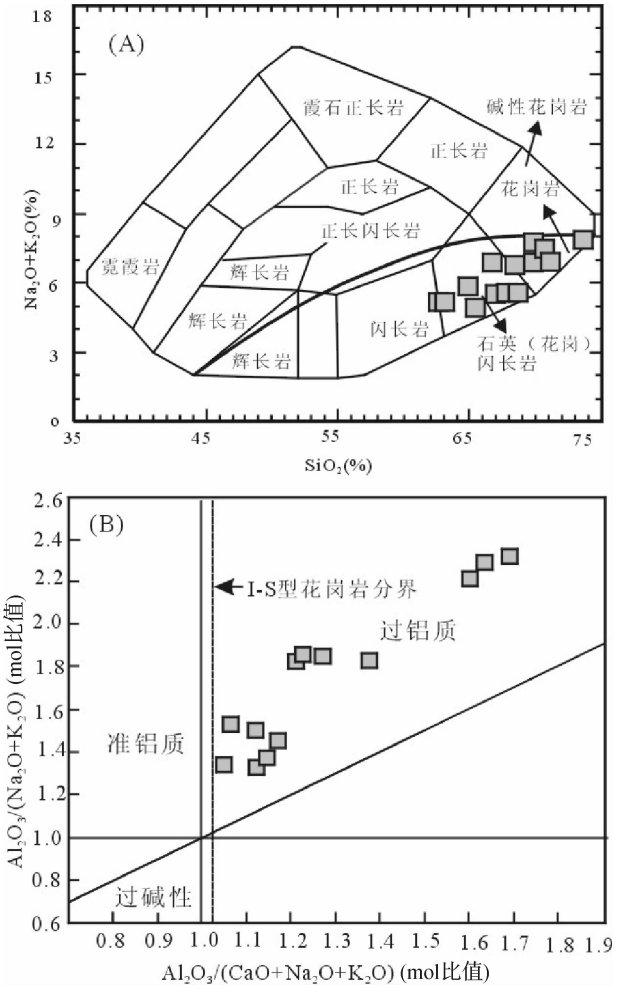


图 6 玛因额博岩体 SiO_2-$Na_2O + K_2O$ 分类（A）及 A/CNK-A/NK 图解（B）

Fig. 6 SiO_2-$Na_2O + K_2O$ classification diagram (A) and A/CNK vs A/NK diagram indicating their peraluminous characteristics (B)

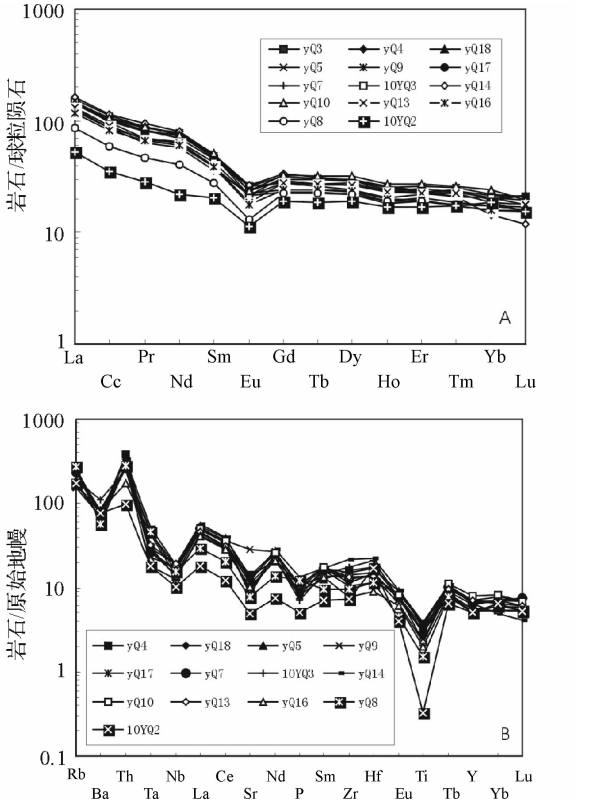


图 7 玛因额博花岗岩稀土元素球粒陨石（A）及微量元素原始地幔标准化图解（B）

Fig. 7 REE distribution patterns (A) normalized by Chronlite and trace elements distribution patterns normalized by primitive mantle (B)

4.3 微量元素特征

岩体的稀土总量 ∑REE 为 126.8×10^{-6}～218.11×10^{-6}，轻稀土有中等程度的富集（$(La/Yb)_N = 5 \sim 11$），具有中等的 Eu 负异常（δEu = 0.52～0.74）。各种不同类型的岩石具有一致的稀土配分曲线（图 7a，标准值采用 Sun and McDonough，1989），表明它们来自同一源区。岩石的 Cr、Ni、Co 等相容元素在不同岩性中含量变化大，部分样品的 Cr、Ni 含量高。与维氏花岗岩相比，强不相容元素 Rb、Sr、Ba 等以及高场强元素 Nb、Ta 等含量低。不相容元素的 Sr/Ba 比值大多为 0.2～0.63，最高可达 1.23；La/Sm 比值为 4.36～6.69，变化均很小。

该岩体不同岩石类型有相似的微量元素配分曲线（图 7b，标准值采用 Sun and McDonough，1989），显示同源岩浆演化的特征。与原始地幔比较，除个别样品的 Ti 含量低以外，其他不相容元素均显示不同程度的富集。与相邻元素相比，Sr、Ba、Nb、P、Ti 等出现不同程度的亏损（图 7b）。

4.4 Nd 同位素特征

Nd 同位素分析结果见表 3。从中可以看出,花岗岩的 $^{147}Sm/^{144}Nd$ 为 0.1235 ~ 0.1707,$^{143}Nd/^{144}Nd$ 为 0.512321 ~ 0.512541。通过计算(详细计算公式见胡蔼琴等,2002),其 Nd 初始值为 -0.3 ~ -3.5 之间,t_{DM} 为 1.2 ~ 2.2 Ga 。由于岩石的 $^{147}Sm/^{144}Nd$ 比值变化范围大,因此采用双阶段计算其模式年龄应更加可靠(李献华,1996)。通过计算,获得 t_{2DM} 为 1.2 ~ 1.4Ga。本次工作除了对花岗岩进行 Nd 同位素组成进行了测试,还对其中的一个辉长岩样品进行了分析,结果表明,其 t_{DM} 为 0.6Ga,Nd 初始值为 5.5。

5 讨论

5.1 成岩作用

前人仅将该岩体的局部地段作为侵入岩体,而将大部分作为片麻岩划归为早泥盆世和中晚奥陶世地层①,或划归为下、中元古界克木齐群,或作为二叠纪变质形成的片麻岩(胡霭琴等,2006)。本次 1∶5 万区调通过较详细的野外地质填图及薄片鉴定,确定该套片麻状岩石为侵入体。玛因鄂博岩体主体岩石中含有较多的黑云母,其岩石矿物组合和岩石的主量元素地球化学特征与 Barbarin(1996)所划分的"含堇青石过铝花岗岩类"一致(如 A/NKC ≥ 1.1, Sylvester, 1998)。玛因鄂博岩体岩石中绝大多数样品 A/NKC ≥ 1.1,岩石中含有较多黑云母,并可见堇青石、电气石、夕线石等特征矿物。因此该岩体岩石应属于强过铝花岗岩类。

一般认为,强过铝花岗岩来自沉积地壳物质的部分熔融(Sylvester, 1998)。实验研究表明,Al_2O_3/TiO_2 比值是衡量确定 SP 花岗岩形成温度的一个重要指标,比值越低,其形成温度越高。这是因为石榴子石、硅铝酸盐或斜长石等含铝矿物的稳定性,使得 Al_2O_3 在 SP 花岗岩熔融物中的浓度随着熔融温度的增加几乎保持不变,而黑云母和钛铁矿等含 Ti 相逐渐分解,TiO_2 的浓度随着温度的升高而稳步上升。因此,具有低的 Al_2O_3/TiO_2 比值的 SP 花岗岩比具有高的 Al_2O_3/TiO_2 比值的 SP 花岗岩是在更高的温度下形成的。

玛因鄂博岩体中除二云母花岗岩外,主体岩石的 Al_2O_3/TiO_2 比值为 17.28 ~ 42.84,变化较大,但多数样品该值小于 30,接近页岩和杂砂岩 Al_2O_3/TiO_2 平均比值(分别为 21 和 22),为具有较低 Al_2O_3/TiO_2 比值的 SP 花岗岩,因此属于高温型过铝花岗岩。

尽管绝大多数过铝花岗岩来自沉积地壳的部分熔融,然而,以下几个方面的证据表明,玛因鄂博岩体的原始岩浆并不是全部来自地壳物质的部分熔融,原始岩浆中应含有一定比例的来自地幔的玄武岩浆:

(1)在野外露头上,可以见到辉长岩呈长条状、团块状分布在花岗岩中,类似岩浆混合形成的岩体面貌特征;

(2)花岗岩中 SiO_2 含量低的样品,往往具有高的 $Mg^{\#}$ (>40)、Cr、Ni 含量,与同等 SiO_2 条件下的 SP 花岗岩相比,要高出很多,这暗示了玄武岩浆的加入;

(3)Nd同位素研究表明,不同岩石类型的 Nd 初始值变化大,在 -0.33 ~ -3.53 之间,一个辉长岩样品的 Nd 初始值达到 +5.5,因此,岩浆混合可以很好地解释岩体的 Nd 同位素变化特征。

综合上述,我们认为,玛因鄂博岩体是典型的高温型 SP 花岗岩,它来自沉积大陆地壳的部分熔融,并有一定比例的来自亏损地幔的玄武岩浆加入。

5.2 构造意义

玛因鄂博断裂以南存在大量的泥盆纪岛弧钙碱性火山岩(梅厚均等,1993),并发现有玻安岩、富铌玄武岩、埃达克岩(刘德权等,1993; 许继峰等,2001; 张海祥等,2004; 杨文平等,2005),说明研究区内存在晚古生代早期的板块俯冲碰撞。阿尔泰山南缘岩石变质作用高峰期为华力西中期(隋静霞,1993; 庄育勋,1994),胡霭琴等(2002)认为采自阿热勒托别北东片麻岩中的锆石 U-Pb 不一致曲线年龄(李天德等,1996)的下交点年龄 367 ±28Ma 代表了该变质岩系的变质年龄。研究区变质作用以低压和中压变质相系为主,至今没有代表高压变质作用的榴辉岩等典型高压变质岩的发现。说明阿尔泰山南缘的造山过程中地壳的增厚是有限的,可能不存在超厚地壳。因而与阿尔卑斯和喜马拉雅造山带 SP 花岗岩不同,不具备存在大规模高压型 SP 花岗岩的条件。

阿尔泰山南缘及准噶尔北缘出露的最新的海相地层时代为早石炭世中晚期,到早二叠世发育有陆相火山沉积地层,普遍缺失上石炭统地层,说明区内在早古生代时期存在的古亚洲洋于早石炭世晚期闭合,到晚石炭世,北部的西伯利亚板块与南部的哈萨克斯坦-准噶尔板块已碰撞对接在一起,形成了统一的大陆(肖序常等,1991; 于学元等,1993; 成守德和王元龙,1998)。玛因鄂博花岗岩 U-Pb SHRIMP 年龄为 283 ±4Ma,属于早二叠世,说明该岩体形成于板块碰撞对接之后,属于后碰撞环境(王京彬和徐新,2006)。该岩体的形成略晚于研究区南侧乌伦古 A 型花岗岩(292 ~ 309Ma)(王式洸等,1994),与玛因鄂博断裂南侧的哈旦逊岩体(周刚等,2006b)、断裂带中的花岗质糜棱岩(周刚等,2007)、富蕴县城西南一带线状侵入体(童英等,2006a)以及喀拉通克岩体(李华芹等,1998; 韩宝福等,2004; 张作衡等,2005)近于同一时期形成。韩宝福(1999)和 Chen and Jahn(2004)等认为准噶尔盆地周边大量的晚古生代花岗岩类和基性-超基性杂岩的形成与后碰撞幔源岩浆活动、底侵(底垫)作用有关。从玛因鄂博花岗岩的野外特征、岩石地球化学及同位素地球化学分析,我们认为玛因鄂博花岗岩是在造山后伸展阶段,由于玄武岩浆的底侵,导致的低成熟度碎屑岩的部分熔融,形成过铝质花岗岩浆并结晶形成,值得注意的是,其原始岩

① 《二台幅》1∶20 万区域地质矿产图及说明书。

浆中有部分来自亏损地幔的玄武岩浆加入。这与前人对这一地区花岗岩的同位素研究结果相一致(赵振华等,1993；童英等,2006b)。

阿尔泰造山带花岗岩发育,主要形成于加里东晚期和华力西期,而华力西期岩体大多为中晚期,(王中刚等,1990；刘伟,1990；Wang *et al.*,2006)。对阿尔泰花岗岩最新的研究表明,阿尔泰造山带的碰撞造山活动主要形成于450～370Ma(Wang *et al.*,2006),布尔根碱性花岗岩的形成(350Ma)(童英等,2006c)可能代表了主体造山活动的结束。王京彬和徐新(2006)认为新疆北部后碰撞始于早石炭世维宪期,至早二叠世末才结束。因而阿尔泰造山带大多数华力西中晚期花岗岩均应为后碰撞时期的产物,其中有相当一部分花岗岩具有过铝及强过铝的岩石化学特征(邹天人等,1988；刘伟,1990；王中刚等,1998)。在中亚造山带的其他地区,如新疆天山地区,内蒙古的满洲里-额尔古纳地区等,虽然没有关于后碰撞强过铝花岗岩的报道,但在华力西中晚期及晚期的部分花岗岩具有过铝及强过铝的岩石化学特征(李伍平等,2001；吕志成等,2001；张增杰等,2003)。因此,后碰撞强过铝花岗岩可能是阿尔泰造山带乃至中亚造山带的一种重要岩石成因类型。玛因鄂博过铝花岗岩的确认,为研究阿尔泰造山后阶段岩浆作用以及大陆地壳生长方式(韩宝福等,1998；李宗怀等,2004；王涛等,2005)提供了新的资料。

6 结论

综合上述,我们得出以下几点主要结论：

(1)野外观察及岩石学特征表明玛因鄂博岩体是典型的强过铝花岗岩类(如含有较高的黑云母,并可见夕线石、堇青石、电气石等到特征矿物),与含堇青石过铝花岗岩类相似。锆石U-Pb定年表明岩体形成结晶时间为284Ma；

(2)岩石具有高的A/CNK值(>1.1)和低的Al_2O_3/TiO_2,为高温型强过铝花岗岩；

(3)野外特征、元素地球化学(特别是高的Cr、Ni及$Mg^{\#}$)及Nd同位素地球化学表明,该岩体的岩浆由于底侵的玄武岩浆造成低成熟度大陆地壳部分熔融形成,并有部分玄武岩浆加入到原始岩浆中；

(4)结合区域地质资料综合分析,玛因鄂博岩体形成于造山后伸展背景。在阿勒泰造山带,高温型强过铝花岗岩的发现也为阿尔泰造山带乃至中亚造山带后碰撞时期提供了一种重要的岩石成因类型。

致谢 感谢审稿人韩宝福教授、陈斌教授提出的宝贵修改意见,一同参加野外工作的还有谷高中、张小林、郑开平、杜超辉、楚海涛、高永强、吴建新等,论文编写过程中得到南京地质矿产研究所张传林研究员的指导、新疆地矿局第四地质大队微机室郝晶的帮助。在此一并致谢！感谢两位评审人提出的宝贵意见。

References

Barbarin B. 1996. Genesis of the two main types of peraluminous granitoids. Geology,24:295－298

Bellieni G, Cavazzini G Fioreti AM, Peccerillo A and Zantedeschi P. 1996. The Cima di Vila (Zinsnock) Intrusion, Eastern Alps: Evidence for crustal melting. acid-mafic magma mingling and Wall-rock fluid effects. Mineral. Petrol,56:125－146

Belousova EA, Griffin WL, O'Reilly SY *et al.* 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. Contrib. Mineral. Petrol. 143: 602－622

Cai WJ. 1986. Preliminary study on plate tectonics of Northern East Junggar in Xinjiang. In: Contributions to the Project of Plate Tectonics in Northern China. Beijing: Geology Publishing House. 1－26 (in Chinese)

Cao RL, Zhu SH, Zhu XK and Guan YB. 1993. Plate and terrain tectonics of Northern Xingjiang. In:Tu GZ(ed). New Improvement of Solid Geosciences in Northern Xinjiang. Beijing: Science Press. 11－26 (in Chinese)

Chen B and Jahn B. 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

Cheng SD and Wang YL. 1998. Basic characteristics of geotectonic evolution of Xinjiang. Xinjiang Geology, 16(2): 98－107 (in Chinese with English abstract)

Chen ZF, Chen SD and Liang YH. 1997. Opening-closing Tectonics of Xinjiang and Mineralization. Urumchi: Xinjiang Technol. and Sanitation Press (in Chinese)

Finger F, Roberts MP, Haunschmid B, Schermaier A and Steyrer HP. 1997. Variscan granitoids of central Europe: Their typology, potential sources and tectonothermal relations. Mineral. Petrol., 61: 67－96

Han BF, Wang SG, Sun YL and Hong DW. 1998. Metaluminous-peraluminous granite with positive $\varepsilon_{Nd}(t)$: Yebushan rock from Xinjiang. Chinese Science Bulletin 43(12): 1323－1328 (in Chinese)

Han BF, He GQ and Wang SG. 1999. Mantle source magma activity post-collision, underplating and basement character of Junggar Basin. Science in China (Edition D),29(1):16－21(in Chinese)

Han BF, Ji JQ, Song B, Chen LH and Li ZH. 2004. SHRIMP Zircon U-Pb age of mafic-ultramafic complex bearing copper and nickel and its geological significance in Kalatongke and East Huangshan, Xinjiang. Chinese Science Bulletin,49(22):2324－2328(in Chinese)

Harris NBW, Pearce JA and Tindle AG. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In:Coward MP and Ries AC (eds). Collision Tectonics. Geological Society Special Publication 19, Blackwell Scientific Publications,67－82

Hu AQ, Zhang GX, Zhang QF, Li TD and Zhang JB. 2002. A review on ages of Precambrian metamorphic rocks from Altai Orogen in Xinjiang, NW China. Chinese Journal of Geology,37(2): 129－142 (in Chinese with English abstract)

Hu AQ, Wei GJ, Deng WF and Chen LL. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating and its significance for gneisses from the southwest area to Qinghe County in the Altai, China. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 1－10(in Chinese with English abstract)

Liegeois JP *et al.* 1998. Contrasting origins of post-collision high-K calc-alkaline-Shoshonitic and alkaline-peralkaline-granitoids. The use of sliding normalization. Lithos

Li HQ, Xie CF, Chang HL, Cai H, Zhu JP and Zhou S. 1998. Study on Metallogenetic chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore

Deposits in North Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House, 202 – 206 (in Chinese with English abstract)

Li TD, Qi ZM, Wu BQ, Xiao SL, Zhao CL *et al*. 1996. Advance development of geological and metallogenic research on Altai in China and Kazakstan. China Geosociety, to 30th International Geological Conference, Science exchange conference paper collections of the "85" geological science and technology magnitude fruits. Beijing: Metallurgy Industry Publishing House, 256 – 259 (in Chinese with English abstract)

Li WP, Wang T, Li JB., Kang X, Yu, FS, Han QJ and Ma ZP. 2001. Petrography, geochemistry and tectonic environment of the Hercynian granites in Hongliuhe area, eastern Tienshan. Geology Review. 47: 368 – 376 (in Chinese with English abstract)

Li XH. 1996. Application and limitation of the Sm-Nd model age and isochrone age. Scientia Geologica Sinica. 31(1): 97 – 104 (in Chinese with English abstract)

Li ZH, Han BF, Li XZ, Du W and Yang B. 2004. Microgranular dioritic enclaves in Junggar granites and their implications for the origin and evolution of post-collisional granitic magmatism in North Xinjiang. Acta Petrologica et Mineralogica, 23(3): 214 – 226 (in Chinese with English abstract)

Lin GC and Ma CQ. 2003. Genesis of peraluminous granitoids and their tectonic settings. Geology and Mineral Resources of South China, (1): 65 – 70 (in Chinese with English abstract)

Liu DQ, Tang YL and Zhou YH. 1993. Devonian intra-oceanic arc and bonite in north Junggar, Xinjiang. Xinjiang Geol, 11(1): 1 – 12 (in Chinese with English abstract)

Liu W. 1990. Petrogenetic epochs and peculiarities of genetic types of granitoids in the Altai Mts., Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. Geotectonica et Metallogenia, 14(1): 43 – 56 (in Chinese with English abstract)

Lu ZC, Dan GZ, Hao LB, Li DC and Wei CD. 2001. Igneous activities and tectonic implications from Manzhouli to Ergula area. Mineral and Rock, 21: 77 – 85 (in Chinese with English abstract)

Mei HJ, Yang XC, Wang JD, Yu XY, Liu TG and Bai ZH. 1993. The trace element geochemistry of Late Paleozoic volcanic rocks on the southern side of Ertix River and the evolutional history of tectonic setting. In: Tu GZ(ed). New Improvement of Solid Geosciences in Northern Xinjiang. Beijing: Science Press, 199 – 216 (in Chinese)

Pamic J, Lanphere M and Belak M. 1996. Hercynian I-type and S-type granitoids from the Slavonian mountains southern. Pannonian Basin, northern Croatia. N. Jb. Mineral. Abh., 171: 155 – 186

Patino Douce AE and Johnston AD. 1991. Phase equilibria and melt productivity in the pelitic system: Implications for the origin of peralumious granitoids and aluminous granulites. Contrib. Mineral. Petrol., 107: 202 – 218

Pearce JA, Harris NB W and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Petrol., 25: 956 – 983

Pitcher WS. 1983. Granite type and tectonic environment. In: Hsu K (eds). Mountain Building Processes. Academic Press, London, 19 – 40

Pitcher WS. 1993. The Nature and Origin of Granite. Blackie Acad. And Prof. ed., London, 321

Rui XJ and Wu YJ. 1984. Genesis of granites in Altai, Xinjiang. In International Science Conference paper collection of geological and metallgenic relationship of granites. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 180 – 190 (in Chinese)

Searle MP, Parrish RR, Hodges KV, Hurford A, Ayres MW and Whitehouse MJ. 1997. Shisha Pangma leucogranite. South Tibetan Himalaya: Fieldrelations, Geochemistry age origin and emplacement. J. Geol., 105: 295 – 317

Sébastien LC, Jacques C, Patrick M and Liang SS. 2003. Late Paleozoic strike-slip sher zones in eastern central Asia (NW China): New structural and geochronological data. Tectonics, 22(2) 4 – 1 ~ 4 – 24

Song B, Zhang YH and Wan YS. 2002. Discussion on the mount preparation, age dating and related issues. Geology Review, (Supp): 26 – 30 (in Chinese with English abstract)

Sui JX. 1993. The analysis on metamorphism of Ertix structural belt in Northern Xinjiang. In: Tu GZ (ed). New Improvement of Solid Geosciences in Northern Xinjiang. Beijing: Science Press, 281 – 291 (in Chinese)

Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implication for mantle composition and Processes. In: Saunders AD and Morry MJ (eds). Magmatism in the ocean basin. Geological Society of London Special Publication, 42: 528 – 548

Sun T, Zhou XM, Chen PR, Li H M, Zhou HY, Wang ZC and Shen WZ. 2003. Genesis of strongly peraluminous granites at Mesozoic Era in eatern part of Nanling and its geotetonic significance. Science in China (Edition D), 33(12): 1209 – 1218 (in Chinese)

Sylvester PJ. 1998. Post-collision strongly peraluminous granites. Lithos, 45: 29 – 44.

Tong Y, Hong DW, Wang T, Wang SG, Han BF. 2006a. 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

Tong Y, Wang T, Hong DW and Han BF. 2006b. Pb Isotopic composition of granitoids from the Altay Orogen, China: Evidence for mantle-derived origin and continenta l growth. Acta Geologica Sinica, 80 (4): 517 – 528 (in Chinese with English abstract)

Tong Y, Wang T, Kovach VP, Hong DW and Han BF. 2006c. Age and origin of the Takeshiken postorogenic alkali-rich intrusive rocks in southern Altai, near the Mongolian border in China and its implications for continental growth. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1267 – 1278 (in Chinese with English abstract)

Wang JB and Xu X. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in Northern Xinjiang, China. Acta Geologica Sinica, 80(1): 23 – 31 (in Chinese with English abstract)

Wang SG, Han BF, Hong DW, Xu BL and Sun YY. 1994. Geochemistry and tectonic significance of alklic granites along Ulungur River, Xinjiang. Scientia Geologica Sinica, 29(4): 373 – 383 (in Chinese with English abstract)

Wang T, Hong DW, Tong Y, Han BF and Shi YR. 2005. Zircon U-Pb SHRIMP age and origin of post-orogenic Lamazhao granitic pluton from Altai orogen: Its implications for vertical continental growth. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 640 – 650 (in Chinese with English abstract)

Wang T, Hong DW, Jahn BM, Tong Y, Wang YB, Han BF and Wang XX. 2006. Timing, Petrogenesis, and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of an Accretionary Orogen. Journal of Geology, 2114: 735 – 751

Wang ZG and Zhao ZH. 1990. Genesis and evolution of granitoid rocks in Altai. Xinjiang Geology Science (1th Edition). Beijing: Geological Publishing House, 69 – 77 (in Chinese with English abstract)

Wang ZX, Zhou GZ and Li T. 2003. The consideration on ophiolite and interrelated issue in Northern Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 19 (4): 683 – 691 (in Chinese with English abstract)

Xiao XC, Tang YQ, Li JY, Zhao M, Feng YM and Zhu BQ. 1991. On tectonic evolution of the southern margin of the Paleoasian composite Megasuture Zone. In: Xiao XC and Tang YQ (eds). On Tectonic Evolution of the Southern Margin of the Paleoasian Composite Megasuture Zone. Beijing: Science Press, 1 – 24 (in Chinese with English abstract)

Xu JF, Mei HJ and Yu XY. 2001. Late Paleozoic subduction-related adakites in the northern margin of Junggar: Partial melting products

of subducting slab. Sci. Bull. ,46(8):684 – 688(in Chinese)
Yang WP, Zhang ZC, Zhou G, Yan SH, He LX and Chen BL(2005) Discovery and the significance of the Xileketehalasu porphyry copper deposit in the south margin of the Altay copper deposit belt. Geological of China. 32: 107 – 114 (in Chinese with English abstract)
Yu XY, Mei HJ, Yang XC and Wang JD. 1993. Ertix volcanic rocks and tectonic evolution. In: Tu GZ (ed). New Improvement of Solid Geosciences in Northern Xinjiang. Beijing: Science Press, 185 – 198 (in Chinese)
Zhang CL, Li ZX, Li XH, Wang AG and Guo KY. 2006. Neoproterozoic bimodal intrusive complex in southwestern Tarim block of NW China: Age, geochemistry and Nd isotope and implications for the rifting of Rodinia. International Geology Review. 48: 112 – 128
Zhang HX, Niu HC, Hiroaki S, Shan Q, Yu XY, Jun'ichi Ito 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 Universities. 10 (1):106 – 113 (in Chinese with English abstract)
Zhang XB and Yang XY. 1993. The evolutional and genetic mechanism of tectonics of Altay area. In: Tu GZ (ed). New Improvement of Solid Geosciences in Northern Xinjiang. Beijing: Science Press. 173 – 184(in Chinese)
Zhang ZJ, Chen YJ, Chen HY, Bao JX and Liu YL. 2003. The petrochemical characteristics of the Hercynian granitoids in Tianshan and its geodynamic implications. Mineral and Rock, 23(1):15 – 24 (in Chinese with English abstract)
Zhang ZH, Cai FM, Du AD, Zhang ZC, Yan SH, Yang JM, Qu WJ and Wang ZL. 2005. Re-Os dating and ore-forming material tracing of the Karatongk Cu-Ni sulfide deposit in northern Xinjiang. Acta Petrologica et Mineralogica, 24 (4): 285 – 293 (in Chinese with English abstract)
Zhao ZH, Wang ZG, Zou TR and Masuda A. 1993. The REE, isotopic composition of O, Pb, Sr and Nd diagenetic model of granitoids in Altay region. In: Tu GZ (ed). New Improvement of Solid Geosciences in Northern Xinjiang. Beijing: Science Press, 239 – 266 (in Chinese)
Zhou G, Zhang ZC, Gu GZ, Yang WP, He B, Zhang XL, Luo SB, Wang X and He YK. 2006b. Dating of granitic plutons and its geological implications in the lower reaches of the Qinggeli River in the Northern Part of East Junggar, Xinjiang. Xinjiang Geoscience, 20 (1):141 – 150(in Chinese with English abstract)
Zhou G, Zhang ZC, Wang XK, Wang X, Li JG, He YK, Zheng KP and Luo SB. 2006a. SHRIMP zircon U-Pb dating of the gneisses in the Mayinebo Fault Belt, north Xinjiang , and its significance. Geology in China, 33(6):1209 – 1216(in Chinese with English abstract)
Zhou G, Zhang ZC, Wang XK, Wang X, Luo SB, He B and Zhang XL. 2007. Zircon U-Pb SHRIMP and ^{40}Ar-^{39}Ar dating of the granitic mylonite in the Mayinebo Fault Belt of north Xinjiang and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 81(3):259 – 269(in Chinese with English abstract)
Zhuang YX. 1994. Tectonothermal Evolution in Space and Time and Orogenic Processof Altai, China. Changchun: Jilin Science and Technology Publishing House(in Chinese with English abstract)
Zou TR, Cao HZ and Wu BQ. 1988. Orogenic and anorogenic granitoids of the Altay Mountains, Xinjiang and their discrimination criteria. Acta Geologica Sinica, 62(3):228 – 243 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

蔡文俊. 1986. 新疆准噶尔东北缘板块构造初步研究. 见：中国北方板块构造论文集，北京：地质出版社，1 – 26
曹荣龙，朱寿华，朱祥坤，管云彬. 1993. 新疆北部板块与地体构造格局，见涂光炽主编：新疆北部固体地球科学新进展. 科学出版社，11 – 26
成守德，王元龙. 1998. 新疆大地构造演化基本特征. 新疆地质，16 (2)：98 – 107
陈哲夫，成守德，梁云海. 1997. 新疆开合构造与成矿. 乌鲁木齐：新疆科技卫生出版社
韩宝福，王式洸，孙元林，洪大卫. 1998. 正 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值的准铝-过铝质花岗岩：新疆也布山岩体. 科学通报，43(12)：1323 – 1328
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. 中国科学(D 辑)，29(1)：16 – 21
韩宝福，季建清，宋彪等. 2004. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 科学通报，49(22)：2324 – 2328
胡霭琴，张新国，张前锋，李天德，张积斌. 2002. 阿尔泰造山带变质岩系时代问题的讨论. 地质科学，37(2)：129 – 142
胡霭琴，韦刚健，邓文峰，陈林丽. 2006. 阿尔泰地区青河县西南片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报，22(1)：1 – 10
李华芹，谢才富，常海亮，蔡红，朱家平，周肃. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 地质出版社，202 – 206
李伍平，王涛，李金宝，康旭，于福生，韩庆军，马忠平. 2001. 东天山红柳河地区海西期花岗岩的岩石学、地球化学及其构造环境. 地质论评，47(4)：368 – 376
李宗怀，韩宝福，李辛子，杜蔚，杨斌. 2004. 新疆准噶尔地区花岗岩中微粒闪长质包体特征及后碰撞花岗质岩浆起源和演化. 岩石矿物学杂志，23(3)：214 – 226
李献华. 1996. Sm-Nd 模式年龄和等时线年龄的适用性与局限性. 地质科学. 31(1)：97 – 103
林广春，马昌前. 2003. 过铝花岗岩的成因类型与构造环境研究综述. 华南地质与矿产，(1)：65 – 70
刘德权，唐延龄，周汝洪. 1993. 新疆北准噶尔泥盆纪洋内弧及博宁岩. 新疆地质，11(1)：1 – 12
刘伟. 1990. 中国新疆阿尔泰花岗岩的时代及成因类型特征. 大地构造与成矿学，14(1)：43 – 56
吕志成，段国正，郝立波，李殿超，魏存第. 2001. 满洲里-额尔古纳地区岩浆作用及其大地构造意义. 矿物岩石，21(1)：77 – 85
梅厚均，杨学昌，王俊达等. 1993. 额尔齐斯河南侧晚古生代火山岩的微量元素地球化学与构造环境的变迁史. 见：涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京：科学出版社，199 – 216
芮行健，吴玉金. 1984. 中国阿尔泰花岗岩的成因. 见：花岗岩地质与成矿关系国际学术会议论文集. 南京：江苏科学技术出版社，180 – 190
隋静霞. 1993. 新疆北部额尔齐斯构造带变质作用分析. 见：涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京：科学出版社，281 – 291
孙涛，周新民，陈培荣，李惠民，周红英，王志成，沈渭洲. 2003. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义. 中国科学(D 辑)，33(12)：1209 – 1218
宋彪，张玉海，万渝生. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评，(增刊)：26 – 30

童英,洪大卫,王涛,王式洸,韩宝福. 2006a,阿尔泰造山带南缘富蕴后造山线形花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义,岩石矿物学杂志,25(2): 85 – 89

童英,王涛,洪大卫,韩宝福. 2006b. 中国阿尔泰造山带花岗岩 Pb 同位素组成特征:幔源成因佐证及陆壳生长意义. 地质学报,80(4): 517 – 528

童英,王涛,Kovach VP 等. 2006c. 阿尔泰中蒙边界塔克什肯口岸后造山富碱侵入岩体的形成时代、成因及其地壳生长意义,岩石学报,22(5):1267 – 1278

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

王式洸,韩宝福,洪大卫. 1994. 新疆乌伦古河碱性花岗岩的地球化学及其构造意义. 地质科学,29(4): 373 – 382

王涛,洪大卫,童英,韩宝福,石玉若. 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,赵振华. 1990. 阿尔泰花岗岩类的成因与演化. 新疆地质科学(第 1 辑). 北京: 地质出版社,69 – 77

王宗秀,周高志,李涛. 2003. 对新疆北部蛇绿岩及相关问题的思考. 岩石学报,19(4): 683 – 691

肖序常,汤耀庆,李锦轶,赵民,冯益民,朱宝清. 1991. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 见: 肖序常,汤耀庆主编,古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 北京: 北京科学技术出版社,1 – 24

许继峰,梅厚均,于学元等. 2001. 准噶尔北缘晚古生代岛弧中与俯冲作用有关的 adakite 火山岩: 消减板片部分熔融的产物. 科学通报,46(8): 684 – 687

杨文平,张招崇,周刚,闫升好,何立新,陈柏林. 2005. 阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义. 中国地质,32: 107 – 114

于学元,梅厚均,杨学昌,王俊达. 1993. 额尔齐斯火山岩及其构造演化. 见: 涂光炽主编,新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社,185 – 198

张海祥,牛贺才,Hiroaki Sato 等. 2004. 新疆北部晚古生代埃达克岩、富铌玄武岩组合: 古亚洲洋板块南向俯冲的证据. 高校地质学报, 10(1):106 – 113

张湘炳,杨新岳. 1993. 阿尔泰地区大地构造演化体制及其形成机理. 见: 涂光炽主编 . 新疆北部固体地球科学新进展. 科学出版社,173 – 184

张增杰,陈衍景,陈华勇,鲍景新,刘玉琳. 2003. 天山海西期不同类型花岗岩类岩石化学特征及其地球动力学意义. 矿物岩石,23(1): 15 – 24

张作衡,柴凤梅,杜安道,张招崇,闫升好,杨建民,屈文俊,王志良. 2005. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测年及成矿物质来源示踪. 岩石矿物学杂志,24(4): 285 – 293

赵振华,王中刚,邹天人,增田章增. 1993. 阿尔泰花岗岩类 REE 及 O、Pb、Sr、Nd 同位素组成及成岩模型. 见涂光炽主编: 新疆北部固体地球科学新进展. 科学出版社,239 – 266

庄育勋. 1994. 中国阿尔泰造山带热动力时空演化和造山过程. 长春: 吉林科学技术出版社

周刚,张招崇,何斌,王祥,李建国,贺永康,郑开平,罗世宾. 2006a. 新疆北部玛因鄂博断裂带中片麻岩锆石 U-Pb SHRIMP 定年及其地质意义. 现代地质,33(6): 1209 – 1216

周刚,张招崇,谷高中,杨文平,何斌,张小林,罗世宾,王祥,贺永康. 2006b. 新疆东准噶尔北部青格里河下游花岗岩类的时代及地质意义. 现代地质,20(1): 141 – 150

周刚,张招崇,王新昆,王祥,罗世宾,何斌,张小林. 2007. 新疆玛因鄂博断裂带中花岗质糜棱岩锆石 U-Pb SHRIMP 和黑云母 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄及意义. 地质学报,81(3): 359 – 369

邹天人,曹惠志,吴柏青. 1988. 新疆阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩及其判别标志. 地质学报,62(3): 228 – 243