第三十一卷 第四期 地 球 学 报 Vol.31 No.4
二〇一〇年八月: 519-531 Acta Geoscientica Sinica Aug. 2010: 519-531
www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

新疆阿尔泰克兰河中游泥盆纪花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及地球化学特征*

刘国仁[1, 2)], 董连慧[3)], 高福平[4)], 陈剑祥[4)], 赵 华[2)],
王定胜[4)], 宋志勇[4)], 何立新[2)], 秦纪华[2)]

1)中国地质大学, 北京 100083;
2)新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第四地质大队, 新疆阿勒泰 836500;
3)新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 新疆乌鲁木齐 830000;
4)陕西省地矿局汉中地质大队, 陕西汉中 723000

摘 要: 克兰河中游英云闪长岩和二长花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为 400±2.3Ma(MSDW=1.1)和 401±3.3 Ma(MSDW=1.2), 表明岩体侵位于早泥盆世早期, 同时也暗示了岩体围岩康布铁堡组地层的形成时代早于 401 Ma。所有花岗质岩石具有高的 SiO_2(67.80%~76.54%)和 Al_2O_3(12.39%~16.07%)含量, 低 P_2O_5(0.02%~0.17%)和 MgO+FeO(2.22%~5.12%)含量, 富碱(K_2O+Na_2O=5.58%~8.25%), 具有低的 CaO/Na_2O (<0.3)比值和高的 A/CNK 值(0.96~1.39); 富集 LREE 和 Th、U, 贫 Ba、P、Sr、Ti、Nb, 呈现明显的 Eu 负异常(δEu=0.22~0.73)。以上特征表明该岩体属钙碱性准铝质-过铝质岩类, 具有岛弧花岗岩的典型特征。结合阿尔泰南缘的区域地质背景综合分析, 推测岩体形成于活动大陆边缘环境, 是在俯冲作用过程中由变泥质岩和变质杂砂岩脱水熔融的产物, 在部分熔融过程中有磷灰石、斜长石、钛铁矿等矿物的残留。

关键词: 花岗岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; 克兰河中游; 阿尔泰
中图分类号: P597; P588.12; P581 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2010)04-519-13

LA-ICP-MS U-Pb Zircon Dating and Geochemistry of the Devonian Granites from the Middle Kelan River Valley of Altay in Xinjiang

LIU Guo-ren[1,2)], DONG Lian-hui[3)], GAO Fu-ping[4)], CHEN Jian-xiang[4)], ZHAO Hua[2)],
WANG Ding-sheng[4)], SONG Zhi-yong[4)], HE Li-xin[2)], QIN Ji-hua[2)]

1) *China University of Geosciences, Beijing* 100083;
2) *No.* 4 *Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Altay, Xinjiang* 836500;
3) *Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Urumqi, Xinjiang* 830000;
4) *Hanzhong Geological Party, Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Hanzhong, Shaanxi* 723000

Abstract: LA-ICP-MS zircon U-Pb ages and whole rock geochemical data are reported in this paper for granitoid rocks in the Middle Kelan River valley on the southern margin of the Altay orogenic belt. Zircons with well-defined oscillatory zoning from tonalite and adamellite yielded mean $^{206}Pb/^{238}U$ ages of 400±2.3 Ma (MSDW=1.1) and 401±3.3 Ma (MSDW=1.2), respectively, which indicate that the Kangbutiebao Formation was formed prior to 401Ma. The granitoid rocks have high SiO_2 (67.8% to 76.8%), total alkali (Na_2O+K_2O) (5.58% to 8.25%) and Al_2O_3 (12.39% to 16.07%), and low P_2O_5 (0.02% to 0.17%) and MgO+FeO (2.22% to 5.12%). In addition, they are characterized by high A/CNK values (0.96 to 1.34) and low CaO/Na_2O(<0.3)ratios, thus defined as

本文由新疆维吾尔自治区 1∶5 万区调专项资金项目(编号 XJQDZ2006-01)资助。
收稿日期: 2010-02-03; 改回日期: 2010-05-07。
第一作者简介: 刘国仁, 男, 1965 年生。教授级高级工程师, 在读博士。主要从事矿产勘查工作。电话: 0906-2156063。E-mail: altliuguo-ren@163.com。

GACS

calc-alkaline peraluminious granitoid rocks. They assume obvious negative anomalies of Ti, P, Sr, Ba and Eu (δEu=0.22~0.73) and obvious enrichment of LREE and Th, U, thus resembling granitoid rocks formed in an active continental margin. Combined with the tectonic evolution of the southern margin of Altay, the authors suggest that these granitoid rocks were generated by partial melting of the crust in an active continental margin, with the residues being plagioclase, ilmenite and apatite.

Key words: granite; La-ICP-MS U-Pb zircon dating; geochemistry; Altay

阿尔泰造山带是中亚造山带的重要组成部分(Sengör et al., 1993; Xiao et al., 2004), 经历了古生代地壳双向增生和中新生代陆内造山作用, 由一系列大陆块体、岛弧和增生杂岩构成(肖序常等, 1992; 何国琦等, 1994)。阿尔泰造山带花岗岩类广泛分布, 前人对其形成时代和环境方面进行了大量的研究工作(王广耀和许培春, 1983; 芮行健和吴玉金, 1984; 邹天人等, 1988; 刘伟, 1990; 岳永君等, 1990; 赵振华等, 1993; 王中刚等, 1998; 袁峰等, 2001; 王登红等, 2002), 特别是近年来许多学者(Windley et al., 2002; 袁超等, 2005; 王涛等, 2005; 童英等, 2005, 2006; 2007; Sun et al., 2006; Wang et al., 2006; Zhang er al., 2006; 曾乔松等, 2007; 周刚等, 2007a, b; Yuan et al., 2007; 杨富全等, 2008)利用锆石 SHRIMP U-Pb 法和锆石 LA-ICP MS U-Pb 法精确测定了阿尔泰花岗岩类的形成时代, 表明阿尔泰有多次强烈的岩浆侵入活动, 其峰值在 460 Ma、408 Ma、375 Ma 和 265 Ma(Wang et al., 2006; 曾乔松等, 2007), 这些最新成果大大促进了对阿尔泰造山带大地构造环境、构造演化、造山作用和陆壳增生的研究。

2006 年~2008 年, 新疆地矿局第四地质大队在阿尔泰山克兰河中游一带开展 1: 5 万区域地质矿产调查期间, 发现了泥盆纪花岗岩。本文对该区的泥盆纪花岗岩进行了详细的岩相学、地球化学及年代学研究, 探讨其岩石成因及形成的构造背景, 为进一步探讨阿尔泰地区的造山作用和大陆地壳的形成与演化提供新的依据。

1 区域地质背景

阿尔泰造山带位于中亚造山带的东南部, 呈北西-南东向横贯于中、俄、哈、蒙四国, 全长 2000 km, 在中国境内约 500 km。在大地构造上, 中国阿尔泰造山带位于额尔齐斯-布尔根板块缝合带以北的西伯利亚板块(何国琦等, 2004), 包括北阿尔泰早古生代陆缘活动带(包括诺尔特泥盆纪-石炭纪上叠火山-沉积盆地、喀纳斯-可可托海古生代岩浆弧)、南阿尔泰晚古生代活动陆缘(克兰泥盆纪-石炭纪弧后盆地、卡尔巴-纳雷姆石炭纪-二叠纪岩浆弧和西卡尔巴石炭纪弧前盆地)。

研究区属南阿尔泰, 区内北东部主要出露早泥盆世康布铁堡组和中泥盆世阿尔泰组火山-沉积岩系, 南西部出露早-中元古界克木齐群地层。花岗岩类广泛分布, 主要为早泥盆世的片麻状斜长花岗岩、片麻状花岗岩、片麻状花岗闪长岩、片麻状英云闪长岩等(图 1), 也见有晚石炭世(如阿舍勒岩体, 318±6 Ma, Yuan et al., 2007)、二叠纪(如喇嘛昭、塔克什肯口岸、富蕴县南、玛因鄂博等, 275~286 Ma, 王涛等, 2005; 童英等, 2006; 周刚等, 2007a, b)、奥陶纪(如切木尔切克, 462±10Ma, Wang et al., 2006; 阿巴宫岩体, 457.8~462.5Ma, 刘锋等, 2008, 2009)、三叠纪(如将军山, 245Ma, 王中刚等, 1998)和侏罗纪(如尚可兰, 181~177Ma, 王登红等, 2002)花岗岩类出露。

2 岩体地质及岩相学

2.1 岩体地质

克兰河中游泥盆纪花岗岩体呈北西-南东向长条状展布, 均侵位于中下元古界地层中, 向北西及南东延出研究区。岩体分两个侵入次, 第一侵入次为二长花岗岩, 第二侵入次为片麻状中细粒英云闪长岩、片麻状花岗岩(图 2)。二长花岗岩多呈岩枝、岩脉状产出, 接触界线普遍不甚清晰, 混合岩化强烈; 岩体形态一般呈长条状, 其长轴方向与区域构造线方向一致; 岩体均呈现出不同程度的交代结构, 条带状、眼球状、片麻状构造, 片麻理与围岩面理基本一致, 并见有长英质脉体顺片麻理注入。片麻状中细粒英云闪长岩, 呈楔形侵位于中下元古界地层中, 出露面积较大, 向北西大部延出研究区, 与南部克尔木齐群含矽线石榴黑云斜长片麻岩侵入接触, 其内细粒二长花岗岩呈岩脉和小岩株状产出, 二者为脉动接触, 岩体具片麻状构造, 局部为斑杂状构造; 岩体内部可见黑云斜长片麻岩残留体, 局部发育条带状混合岩和伟晶岩囊、岩脉。片麻状花岗岩出露面积较小, 呈长条状产出, 主要与中粒二长花岗岩呈脉动接触, 局部与石炭纪中细粒二长花岗岩呈涌动接触。

2.2 岩相学特征

中粒二长花岗岩: 呈灰-浅肉红色, 中细粒它形-

CAGS

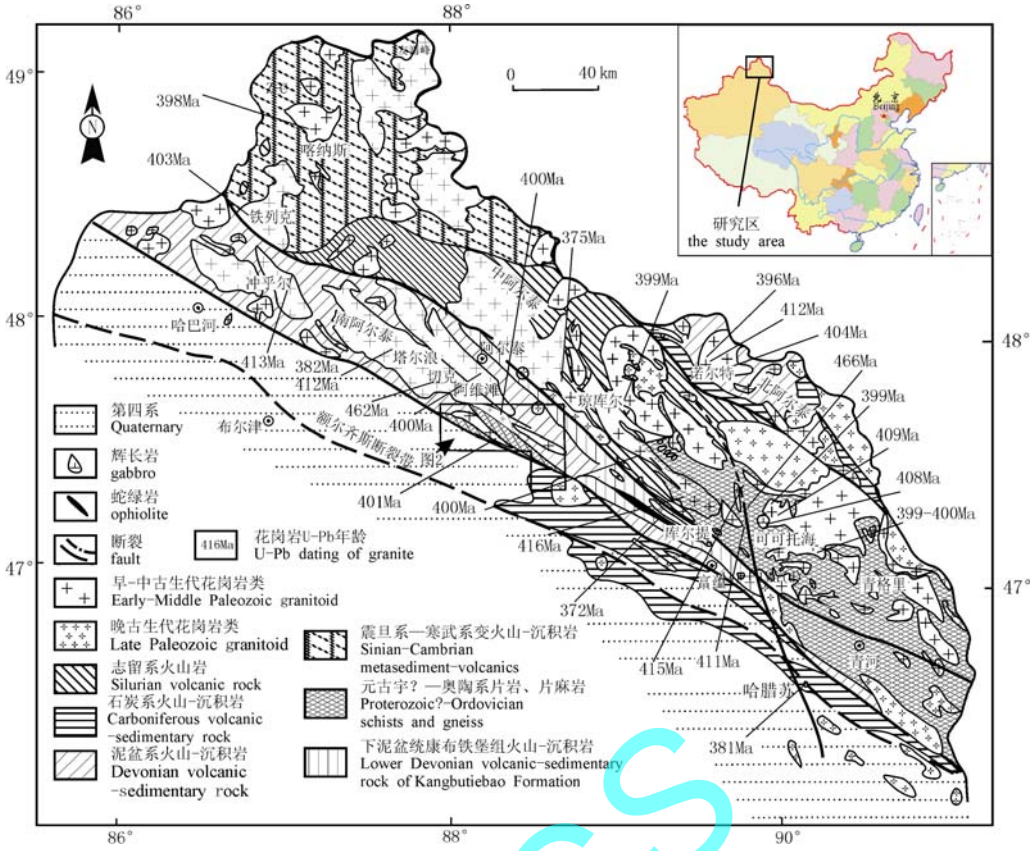

图 1　阿尔泰造山带区域地质及花岗岩分布略图

Fig. 1　Geological sketch map of the Altay orogenic belt, showing the distribution of granites

(据 Wang et al., 2006; 童英等, 2007 修改; 早-中古生代花岗岩年龄数据转引自王中刚等, 1998; 袁峰等, 2001; 王登红等, 2002; Windley et al., 2002; Zhang et al., 2003; 袁超等, 2005; 童英等, 2005, 2007; Wang et al., 2006; Zhang et al., 2006; Yuan et al., 2007; 曾乔松等, 2007; 杨富全等, 2008)

(modified after Wang et al., 2006; Tong et al., 2007; ages of Early-Middle Paleozoic granites after Wang et al., 1998; Yuan et al., 2001; Wang et al., 2002; Windley et al., 2002; Zhang et al., 2003; Yuan et al., 2005; Tong et al., 2005, 2007; Wang et al., 2006; Zhang et al., 2006; Yuan et al., 2007; Zeng et al., 2007; Yang et al., 2008)

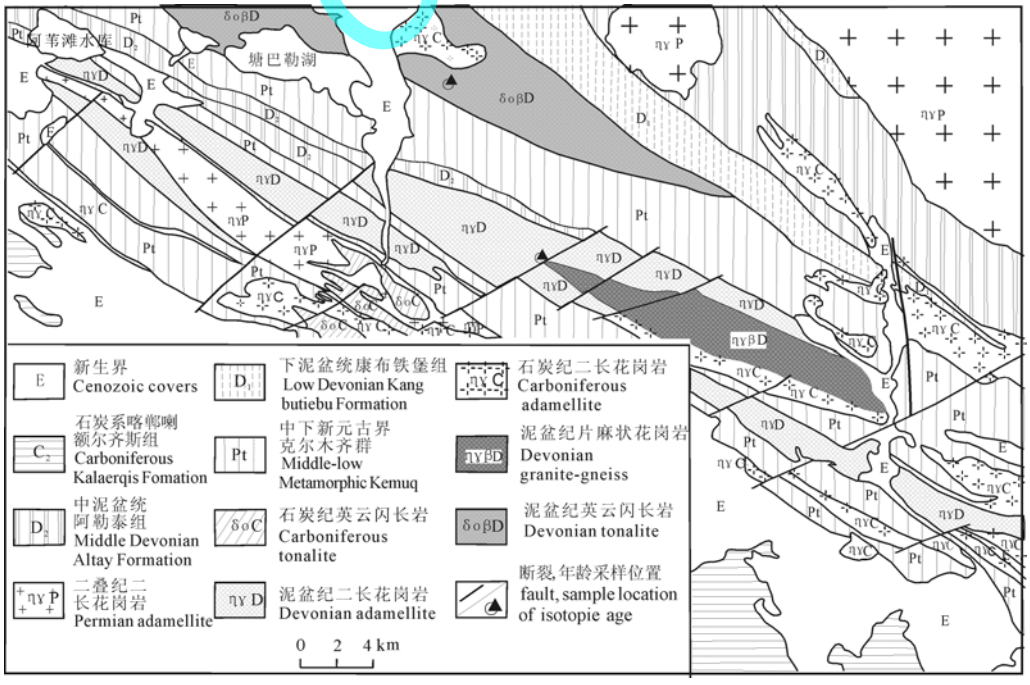

图 2　研究区侵入岩分布简图(新疆地矿局第四地质大队, 2008)

Fig. 2　The distribution of intrusive rocks in the study area (after No. 4 Geological Party of BGMRED, Xinjiang, 2008)

CGCS

半自形粒状结构，块状构造。主要由石英、钾长石、斜长石、黑云母等组成。其中石英呈它形粒状，含量约 35%，大小 0.5~1.4 mm，不均匀分布，具强烈波状消光。钾长石呈半自形-不规则板状，含量约 30%，大小 0.6~4.0 mm，具条纹结构，格子状双晶，为条纹长石、微斜长石，多数发生轻度泥化，局部蚀变强烈。斜长石呈自形-半自形板状，含量约 32%，具聚片双晶，环带构造，发生轻度泥化，环带中心部分蚀变强烈，边缘较洁净。黑云母呈半自形片状，含量约 3%，片径 0.3~1.5 mm。岩石中另见有磁铁矿、磷灰石、锆石等副矿物。锆石呈正方双锥状，无色透明至浅灰褐色半透明，晶体长 0.04~0.1 mm，宽 0.015~0.06 mm，长宽比值为 2: 1、3: 1、3: 2、5: 3，部分晶面上有小凹坑，个别内含小锆石及暗色矿物包体。

片麻状花岗岩：深灰色，粒状结构，眼球状、条带状构造。主要由钾长石(25%)、更长石(20%)、石英(30%)、黑云母(17%)、白云母(1%)和磁铁矿(<1%)组成。黑云母和石英、长石呈现明显的条带分布，石英多呈 0.05~0.1 mm 镶嵌集合体条带状，个别呈 0.3×1 mm^2~1×2 mm^2 的眼球状，黑云母多围绕眼球定向分布，并见少量片状白云母和细粒磁铁矿。

片麻状中细粒英云闪长岩：岩石呈浅灰色，似斑状结构，片麻状构造。岩石主要由斜长石(60%)、钾长石(5%)、石英(20%)、黑云母(15%)等组成。斑晶为斜长石，呈半自形-它形板状、粒状，含量约 35%，大小约为 1.2~3.0 mm，呈眼球状和透镜状定向分布，大多被黑云母等矿物环绕。基质主要由细粒它形粒状石英、钾长石、斜长石及黑云母等组成，并见有少量白云母。钾长石主要为微斜长石，片状、片柱状黑云母呈条带状定向分布，局部石英也呈长条状定向分布。岩石中见有少量磁铁矿、磷灰石(柱粒状, 0.02~0.3 mm)、榍石、锆石等副矿物。锆石呈浅粉色，金刚光泽，半透明至透明的粒状柱状双锥体，多为 0.02~0.2 mm，少数 0.1~0.3 mm，长宽比为 2:1~3:1。

3 样品及测试方法

样品均为采自新鲜的岩体露头。其中定年样品来自英云闪长岩(ⅩⅥTW2, E88°19′37″, N47°37′50″)和二长花岗岩(ⅡTW2, E88°24′17″, N47°32′20″)中的锆石。具体采样位置见图 2。

锆石定年由西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。用常规方法从样品中分选出锆石，在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒。锆石样品靶的制备，首先将挑选好的无色透明无裂隙不含包裹体的锆石用环氧树脂固定，待环氧树脂固化后抛光至锆石露出核部，然后进行锆石的 CL 显微成像及 LA-ICP-MS 分析。锆石的 CL 图像分析在西北大学扫描电镜实验室完成，采用 FEI 公司 XL30 型 SFEG 电子束进行锆石内部结构显微照相分析。锆石的激光剥蚀电感偶合等离子体质谱(LA-ICP-MS)原位 U-Pb 定年在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。实验采用的 ICP-MS 为美国 Agilent 公司生产的 Agilent7500a。激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas200M，激光剥蚀时，斑束直径为 20 μm，频率为 10Hz。采样方式为单点剥蚀。每测定 5 个样品点测定一个锆石 91500 和每测定 10 个点测定一个 NIST610。数据处理采用 GLITTER(ver 4.0, Macyuarie University)程序，年龄计算时以标准锆石 91500 为外标进行同位素比值分馏校正。各样品的加权平均年龄计算及谐和图的绘制采用 Isoplot (ver2.49)。元素浓度计算采用 NIST610 作外标，Si 作内标。

本次研究用样品的主量元素、稀土及微量元素分析由国土资源部中南矿产资源监督检测中心完成。主元素分析为湿化学法；稀土元素及 Nb、Zr、Hf、Sr、Ba、V 等采用 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%。符合相关质量规范要求。

4 分析结果

4.1 锆石 LA-ICP-MS 年龄

锆石颗粒多呈无色、浅灰褐色，半自形-自形透明-半透明短柱状及双锥状晶体，晶棱及晶面清楚，粒度较小，长轴多变化于 100 μm~200 μm 之间，长短轴比一般约为 2: 1~5: 3。在阴极发光照片中，大多数锆石具有清晰的岩浆振荡环带结构(图 3、图 4)，应为岩浆成因。通过透射光、反射光和阴极发光研究，选择英云闪长岩中 12 个锆石颗粒和二长花岗岩中 11 个锆石锆石颗粒进行 LA-ICP-MS U-Pb 分析，其结果列于表 2。

英云闪长岩中锆石 Th/U 比值为 0.31~1.06，大于 0.1，表明了锆石为岩浆成因(Belousova et al., 2002)。英云闪长岩中 12 个分析结果年龄变化范围较小，在误差范围内有一致的 $^{207}Pb/^{206}Pb$，$^{206}Pb/^{238}U$

CAGS

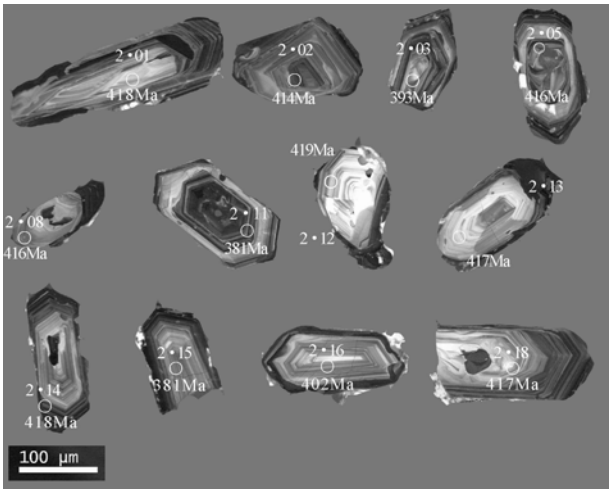

图 3　英云闪长岩中锆石的阴极发光图像

Fig. 3　CL images of dated zircon crystal from tonalite (scale: 100um)

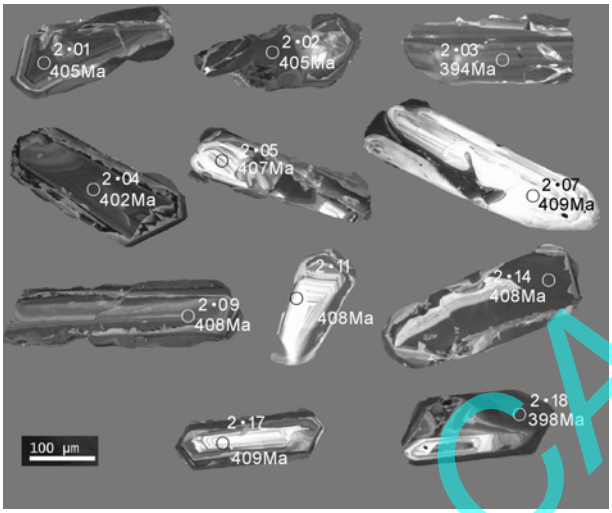

图 4　二长花岗岩中锆石的阴极发光图像

Fig. 4　CL images of dated zircon crystal from adamellite (scale: 100um)

和 $^{207}Pb/^{235}U$ 比值，其 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 400±2.3Ma(MSWD=1.1)(图 5)，代表了该岩体的形成年龄。二长花岗岩中锆石 Th/U 比值为 0.14~1，大于 0.1，表明了锆石为岩浆成因(Belousova et al., 2002)。11 个分析结果中的 10 个年龄变化范围较小，在误差范围内有一致的 $^{207}Pb/^{206}Pb$，$^{206}Pb/^{238}U$ 和 $^{207}Pb/^{235}U$ 比值，其 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 401.1±3.3Ma(MSWD=1.2)(图 6)，代表了该岩体的形成年龄。

4.2　主量、微量元素地球化学

片麻状花岗岩(3 件)、二长花岗岩(1 件)和英云闪长岩(1 件)的主量、微量元素分析结果列于表 1。可以看出，中粒二长花岗岩和中细粒英云闪长岩的 SiO_2 含量分别为 75.64%和 67.8%，片麻状花岗岩的

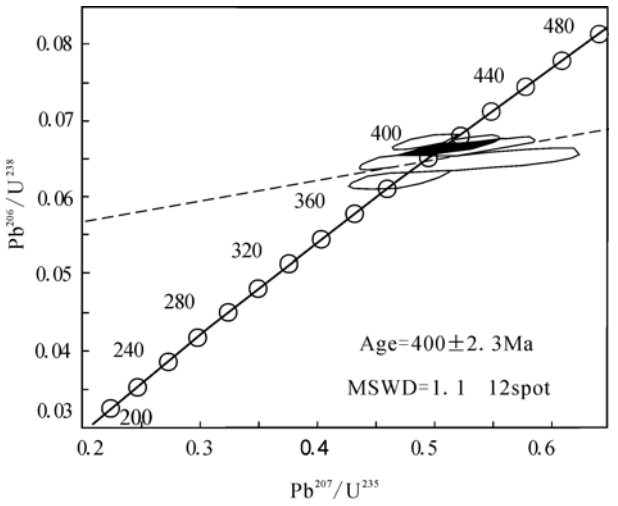

图 5　英云闪长岩的 U-Pb 锆石谐和年龄图

Fig. 5　U-Pb concordia for zircons from tonalite

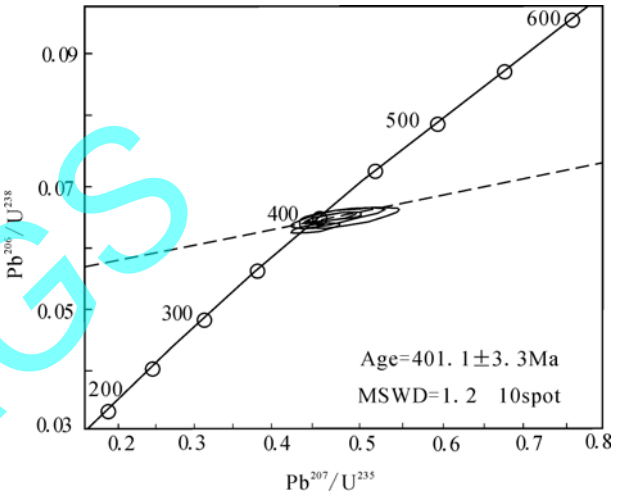

图 6　黑云母二长花岗岩的 U-Pb 锆石谐和年龄图

Fig. 6　U-Pb concordia for zircons from biotite adamellite

SiO_2 含量为 72.8%~76.0%。在侵入岩 TAS 图解中(图 7)，分别位于花岗岩和花岗闪长岩区，与岩相学观察特征一致。其中，中粒二长花岗岩和中细粒英云闪长岩的总碱含量低，K_2O+Na_2O 分别为 6.90%和 5.58%，相对富钠(K_2O/Na_2O 分别为 0.31 和 0.34)；片麻状花岗岩全碱含量高，相对富钾($K_2O/Na_2O>1$)。与中国花岗岩平均值相比，中粒二长花岗岩的 SiO_2、MgO(1.14%)和 Na_2O(5.26%)含量略偏高，Al_2O_3(12.71%)、CaO(0.49%)和 K_2O(1.64%)含量相对偏低，其它氧化物含量基本相当；片麻状花岗岩的 MgO(0.14%~0.54%)偏低，Na_2O(3.61%~4.49%)、Al_2O_3(12.39%~13.40%)含量接近平均值、略偏低，CaO(0.49%~1.40%)偏低，K_2O(3.48%~4.41%)、K_2O+Na_2O 含量与平均值基本相当。所有岩石的里特曼指数(σ)小于 3.3，属钙碱性岩。二长花岗岩、英

CAGS

表 1 泥盆纪花岗岩类岩石主量元素(wt%)、微量及稀土元素($\times10^{-6}$)化学成分

Table 1 Abundances of major elements (wt%), trace elements and rare earth elements ($\times10^{-6}$) in Devonian granitoids

岩性	中粒二长花岗岩	英云闪长岩	片麻状花岗岩			中国花岗岩平均值
样号	GHXTWL11	ⅢGHXTWL6	A4GHXTWL1	ⅢGHXTWL1	ⅢGHXTWL2	(黎彤, 1962)
SiO_2	76. 54	67. 8	72. 82	75. 99	76. 2	71. 27
TiO_2	0. 21	0. 47	0. 36	0. 11	0. 04	0. 25
Al_2O_3	12. 71	16. 07	13. 4	12. 39	12. 44	14. 25
TFeO	1. 08	4. 06	2. 84	2. 23	2. 09	2. 86
MnO	0. 03	0. 09	0. 09	0. 07	0. 06	0. 08
MgO	1. 14	1. 06	0. 54	0. 21	0. 14	0. 8
CaO	0. 49	4. 1	1. 4	0. 87	0. 49	1. 62
Na_2O	5. 26	4. 16	4. 49	3. 61	3. 84	3. 79
K_2O	1. 64	1. 42	3. 48	4. 17	4. 41	4. 03
P_2O_5	0. 07	0. 17	0. 09	0. 05	0. 02	0. 16
烧失量	0. 72	0. 21	0. 222	0. 086	0. 074	
总量	99. 89	99. 34	99. 5	99. 7	99. 73	
σ	1. 42	1. 26	2. 13	1. 83	2. 05	
A. R	3. 19	1. 76	3. 33	3. 84	4. 53	
DI	91. 85	70. 04	86. 7	93. 1	92. 8	
SI	12. 5	9. 91	4. 74	2. 04	1. 3	
FL	93. 37	57. 64	85. 06	89. 95	94. 39	
MF	48. 6	79. 29	84. 07	91. 45	93. 88	
M/F	1. 94	0. 47	0. 02	0. 02	0. 02	
A/CNK	1. 72	1. 66	1. 43	1. 43	1. 42	
Na_2O+K_2O	6. 9	5. 58	7. 97	7. 78	8. 25	
La	29. 1	23. 5	21	34. 9	12. 2	
Ce	55. 2	51. 5	49. 3	66. 1	31. 6	
Pr	8. 58	7. 63	7. 12	9. 63	4. 06	
Nd	32. 3	32. 6	29. 9	36. 2	16. 2	
Sm	7. 23	9. 88	7. 52	7. 68	4. 91	
Eu	0. 99	1. 5	1. 8	1. 11	0. 36	
Gd	6. 69	9. 28	7. 3	6. 84	4. 84	
Tb	1. 1	2. 21	1. 39	1. 26	1. 2	
Dy	6. 42	14. 2	8. 35	7. 3	8. 1	
Ho	1. 33	2. 82	1. 74	1. 51	1. 78	
Er	3. 77	7. 36	4. 8	4. 38	5. 24	
Tm	0. 7	1. 31	0. 88	0. 85	1. 06	
Yb	4. 58	7. 32	5. 64	5. 43	7. 08	
Lu	0. 68	0. 94	0. 83	0. 85	1. 1	
Cs	2. 34	3. 31	0. 91	1. 15	1. 4	
Rb	56. 2	74. 9	109	128	165	
Sr	48	172	111	66. 1	25	
Ba	197	212	521	593	207	
Ga	14	17	16. 9	14. 7	11. 8	
Nb	7. 84	15. 7	12. 3	10. 4	12. 6	
Ta	0. 82	2. 3	0. 97	1. 15	1. 55	
Zr	96. 1	203	196	102	69	
Hf	4. 09	5. 52	6. 08	3. 95	3. 66	
Th	15. 2	9. 91	7. 64	10. 1	4. 4	
V	9. 6	43. 7	9. 89	4. 83	2. 54	
Cr	18. 9	16	7. 32	4. 72	7. 65	
Co	17	6. 68	1. 67	1. 22	1. 03	
Ni	2. 39	13. 6	5. 34	2. 31	2. 64	
Sc	8. 9	15. 9	10. 4	6. 17	6. 42	
U	1. 61	1. 44	1. 64	1. 67	1. 16	
Y	35. 1	70	44. 2	41. 8	50	

CAGS

表 2　英云闪长岩及二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄测试数据

Table 2　LA-ICP-MS U-Pb date of zircon from the tonalite and adamellite

Spot	岩石名称	$^{238}U/^{232}Th$	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	1δ	$^{207}Pb^*/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb^*/^{238}U$	1δ	$^{238}U/^{232}Th$	1δ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ Age(Ma)	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$ Age(Ma)	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$ Age(Ma)	1δ
XVITW2.11	英云闪长岩	1. 24	0. 0574	0. 00089	0. 48242	0. 00607	0. 06094	0. 00033			507	18	400	4	381	2
XVITW2.15		1. 63	0. 05641	0. 00348	0. 47375	0. 02844	0. 0609	0. 00088			469	108	394	20	381	5
XVITW2.03		1. 46	0. 05977	0. 00295	0. 51787	0. 02476	0. 06283	0. 00073			595	84	424	17	393	4
XVITW2.16		0. 94	0. 06909	0. 00548	0. 61263	0. 04783	0. 06431	0. 00092			902	169	485	30	402	6
XVITW2.02		2. 05	0. 05463	0. 0012	0. 49972	0. 00986	0. 06633	0. 00043			397	33	412	7	414	3
XVITW2.05		1. 56	0. 05988	0. 00121	0. 55063	0. 00981	0. 06668	0. 00042			599	28	445	6	416	3
XVITW2.08		3. 25	0. 05662	0. 00156	0. 52079	0. 01338	0. 0667	0. 00049			477	44	426	9	416	3
XVITW2.13		1. 24	0. 05497	0. 00283	0. 50642	0. 02539	0. 0668	0. 00067			411	95	416	17	417	4
XVITW2.18		1. 97	0. 0605	0. 00232	0. 55709	0. 02046	0. 06677	0. 00062			622	63	450	13	417	4
XVITW2.01		1. 31	0. 05792	0. 00181	0. 53498	0. 01575	0. 06698	0. 00053			527	51	435	10	418	3
XVITW2.14		1. 04	0. 05747	0. 0016	0. 53143	0. 01375	0. 06705	0. 00051			510	43	433	9	418	3
XVITW2.12		1. 28	0. 05387	0. 00247	0. 49859	0. 02208	0. 06711	0. 00068			366	82	411	15	419	4
IITW2.03	黑云母二长花岗岩	1. 36	0. 05638	0. 00312	0. 49046	0. 02665	0. 06309	0. 00064	1. 36	0. 01	467	±126	405	±18	394	±4
IITW2.18		6. 87	0. 05527	0. 00225	0. 48491	0. 01931	0. 06363	0. 00056	6. 87	0. 07	423	±93	401	±13	398	±3
IITW2.04		2. 83	0. 0544	0. 00245	0. 48207	0. 02124	0. 06427	0. 00059	2. 83	0. 03	388	±104	399	±15	402	±4
IITW2.01		3. 29	0. 0544	0. 00096	0. 48712	0. 00756	0. 06492	0. 00036	3. 29	0. 03	388	±25	403	±5	405	±2
IITW2.02		3. 08	0. 05684	0. 00134	0. 50774	0. 01109	0. 06476	0. 00043	3. 08	0. 03	485	±36	417	±7	405	±3
IITW2.05		2. 02	0. 0593	0. 00558	0. 53339	0. 04927	0. 06521	0. 00137	2. 02	0. 02	578	±166	434	±33	407	±8
IITW2.09		2. 53	0. 05452	0. 00227	0. 49169	0. 01982	0. 06539	0. 00063	2. 53	0. 03	393	±73	406	±13	408	±4
IITW2.11		1. 48	0. 05643	0. 00357	0. 50793	0. 03154	0. 06527	0. 00082	1. 48	0. 01	469	±116	417	±21	408	±5
IITW2.14		3. 3	0. 05537	0. 00218	0. 49942	0. 0191	0. 0654	0. 00065	3. 3	0. 03	427	±68	411	±13	408	±4
IITW2.07		1. 3	0. 05887	0. 00421	0. 5315	0. 03717	0. 06547	0. 00108	1. 3	0. 01	562	±124	433	±25	409	±7
IITW2.17		1	0. 05681	0. 00437	0. 51278	0. 03892	0. 06545	0. 00089	1	0. 01	484	±145	420	±26	409	±5

注：　Pb* 分别表示放射性 Pb 含量

CAGS

云闪长岩的铝饱和指数 A/CNK 均大于 1.1(分别为 1.72, 1.66), 片麻状花岗岩的铝饱和指数 A/CNK 也大于 1.1(1.42~1.43), A/NK 介于 1.51~1.68 之间。CIPW 标准矿物中出现有较高含量的石英(分别为 37.24%和 26.19%), 刚玉含量较少(分别为 1.55%, 0.45%~0.5%和 0.5%)。在铝饱和指数图解中所有岩石均位于过铝质区(图 8)。中粒二长花岗岩和英云闪长岩的分异指数(DI)分别为 91.85、70.04, 反映中粒二长花岗岩的分异程度明显较英云闪长岩高。它们的镁铁指数(MF)分别为 48.60、79.29, 长英指数(FL)分别为 93.37、57.64, 可见它们的长英指数与镁铁指数的值都较大, 说明岩浆分离结晶程度较高。

二长花岗岩的稀土元素总量(∑REE=158.67×10^{-6})较英云闪长岩的稀土总量(∑REE=172.05×10^{-6})稍低, 片麻状花岗岩的稀土元素总量(∑REE)介于 99.73~184.04×10^{-6} 之间。本区花岗质岩类轻重稀土元素之间分馏较强, 且轻稀土元素和重稀土元素内部的分馏较弱, 二长花岗岩的$(La/Yb)_N$=4.27, $(La/Sm)_N$=2.52, $(Gd/Yb)_N$=1.18; 英云闪长岩的$(La/Yb)_N$=2.15, $(La/Sm)_N$= 1.49, $(Gd/Yb)_N$=1.02; 片麻状花岗岩的$(La/Yb)_N$=1.16~4.33, $(La/Sm)_N$=1.56~2.86, $(Gd/Yb)_N$=0.55~1.04。在稀土元素配分曲线图上(图 9), 所有岩石显示了轻稀土富集重稀土相对平缓的右倾型特征, 并因有显著的负 Eu 异常(δEu 分别为 0.43, 0.47 和 0.22~0.73)而呈“V”型谷状, 暗示岩石可能经历了较强的斜长石的分离结晶作用或源区残留有斜长石。

本区岩石的高场强元素(HFSE, 如 Th、U、Nb、Ta、Zr 和 Hf)含量较高, Th 为 4.4×10^{-6}~15.2×10^{-6}, U 为 1.16×10^{-6}~1.67×10^{-6}, Zr 为 69×10^{-6}~203×10^{-6}, Hf

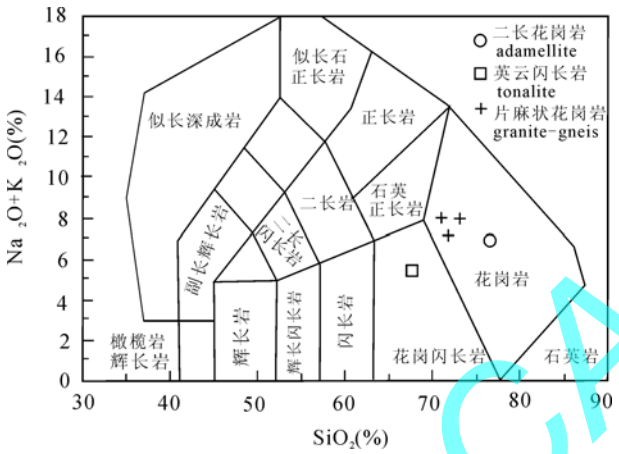

图 7 花岗岩 **TAS** 图解(据 Middlemost, 1994)

Fig. 7 TAS diagrams for granite (after Middlemost, 1994)

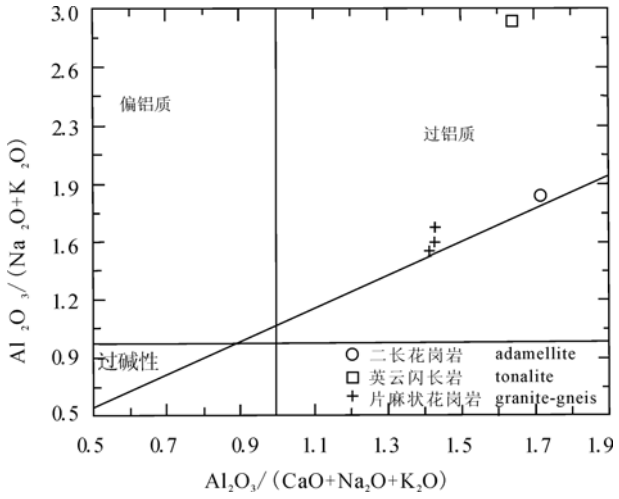

图 8 $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$- $A1_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$图解(据 Maniar and Piccoli 1989)

Fig. 8 $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$- $A1_2O_3$ /$(CaO+Na_2O+K_2O)$ (after Maniar and Piccoli, 1989)

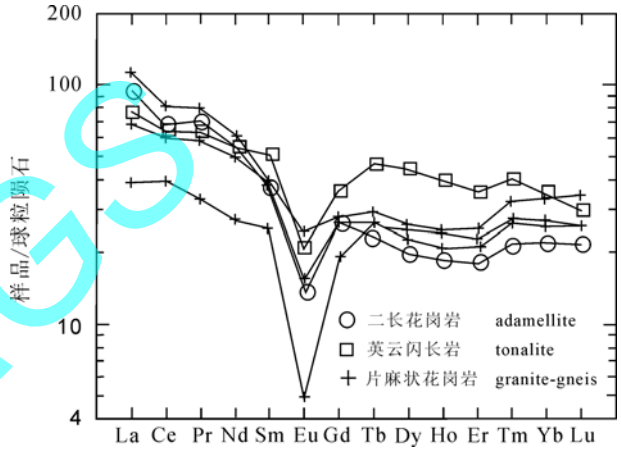

图 9 花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图

Fig. 9 Chondrite-normalized REE patterns of granite

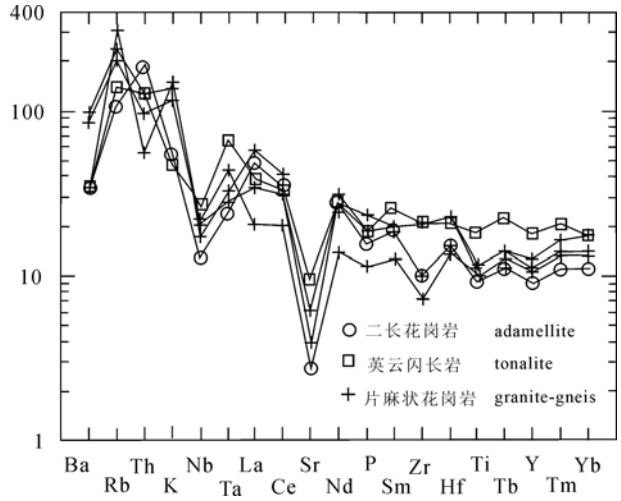

图 10 花岗岩微量元素蛛网图(原始地幔数据取自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 10 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of granites (normalizing factors after Sun and McDonough, 1989)

CAGS

为 3.66×10^{-6}~6.08×10^{-6}, 但 Nb(7.84×10^{-6}~15.7×10^{-6})与 Ta(0.82×10^{-6}~2.3×10^{-6})的含量相对较低, Nb/Ta 比值较低(6.83~12.7); Sr 的含量明显偏低, Sr 为 25×10^{-6}~172×10^{-6}。岩石还具有高的 Yb 含量(4.58×10^{-6}~7.32×10^{-6})和 Y(35.1×10^{-6}~70×10^{-6})。在原始地幔标准化蛛网图中(图 10), 总体显示了较为一致的分布模式, Ti、P、Sr、Zr、Ba 呈现明显的负异常, Th、K、La、Hf 的正异常。Sr 的负异常说明岩石经历了斜长石的分离结晶作用或源区残留有斜长石, 与稀土元素反映的特征一致; Zr、P、Ti 的负异常表明可能有锆石、磷灰石、钛铁矿等的分离结晶, 或是源区有锆石、磷灰石和钛铁矿的残留。总之, 本区花岗岩类岩石体现了弧花岗岩的典型特征。

5　讨论

5.1　岩体形成时代的意义

近年来许多学者(Windley et al., 2002; 袁超等, 2005; 童英等, 2005, 2007; Sun et al., 2006; Wang et al., 2006; Zhang et al., 2006; 曾乔松等, 2007; Yuan et al., 2007; 杨富全等, 2008)利用较为精确的定年方法识别出了大量晚志留世到早-中泥盆世(416~372Ma)花岗质岩石(图 1)。这些花岗岩体广布于北阿尔泰、中阿尔泰和南阿尔泰, 多沿区域构造线分布, 主要岩石类型有花岗岩和花岗闪长岩, 多经历了区域变形作用, 发育程度不同的片麻状构造。其中北阿尔泰诺尔特花岗岩时代变化于 412~396Ma, 中阿尔泰的岩体时代主要集中在 409~398Ma, 南阿尔泰岩体年龄变化于 413~372Ma(杨富全等, 2008)。400Ma 左右花岗岩体在北阿尔泰、中阿尔泰和南阿尔泰最发育, 如北阿尔泰诺尔特地区的塔斯比克都尔根岩体(396~404 Ma)和哈龙-巴利尔岩体(401 Ma, 袁峰等, 2001); 中阿尔泰的喀纳斯(398±5 Ma)、铁列克(403±5 Ma)、琼库尔(399±4 Ma, 童英等, 2005, 2007); 南阿尔泰的阿维滩(400±6 Ma, Wang et al., 2006), 蒙库一带(404~400 Ma, 杨富全等, 2008), 本研究获得的英云闪长岩和二长花岗岩中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为 400±2.3 Ma 和 401±3.3 Ma, 属早泥盆世早期岩浆活动的产物, 为阿尔泰造山带在 400 Ma 有一次强烈的岩浆侵入活动提供了新依据。由此可见早-中泥盆世是阿尔泰花岗岩类主要成岩时期, 特别是 400 Ma 花岗岩类极为发育, 暗示了这一时期是阿尔泰造山作用的鼎盛时期, 早-中泥盆世岩浆作用在中亚造山带演化中起着十分重要的作用。

由于这两个岩体均侵位于阿尔泰南缘地区最重要的含矿地层—康布铁堡组地层中, 因此可以间接地证明康布铁堡组地层形成应早于 401 Ma, 这与杨富全等(2008)在蒙库矿区测得花岗岩年龄得出的结论基本一致。前人依据化石将康布铁堡组时代确定为早泥盆世, 近年来杨富全课题组对阿尔泰南缘冲乎尔、克兰和麦兹盆地康布铁堡组时代进行了系统研究, 获得克兰盆地该组变质流纹岩锆石 SHRIMP U-Pb 为 413±3.5 Ma、409±5.3 Ma 和 406.7 ±4.3 Ma。考虑到 413 Ma 的样品并不是采自该组底部, 即底部地层时代大于 413 Ma(Chai et al., 2009), 将康布铁堡组时代确定为晚志留世末-早泥盆世。

5.2　岩体形成的构造环境及成因探讨

本区花岗质岩体具有高硅、富碱, 准铝质-过铝质, 在 A/CNK-A/NK 图解上位于 S 型和 I 型过渡区。所有岩石的 Th/U 比值介于 3.8~9.4 之间, 与地壳的平均值 3.8(Taylor and Mclenann, 1985)相近, 远低于 A 型花岗岩(肖庆辉等, 2002), 岩石的 Sr/Ba 比值均小于 0.5, 体现了 S 型花岗岩的特征。此外, 岩石的 Nb/Ta 与 Zr/Hf 分别为 8.13~12.68 和 18.85~36.7, 与地壳的相应值 11 和 33(Taylor and Mclenann,1985)接近, 与原始地幔的相应值 17.8 与 37(McDonough and Sun, 1995)相差较大, 表明岩石受地壳组分影响较大。因此, 本区花岗岩显示了由 I 型花岗岩向 S 型过渡的特征。所有岩石的轻稀土富集, 富集大离子亲石元素 Rb、K, 亏损 Ba, Sr, P, Ti, Nb, 并具有 Eu 的显著负异常, 显示了岛弧花岗岩的地球化学特征。这与该区 400 Ma 花岗岩的地球化学特征相一致(Wang et al., 2006; 童英等, 2007; 杨富全等, 2008), 暗示它们可能处于相似的构造环境。在微量元素构建的花岗岩构造环境判别的图解上, 大部分样品落在火山弧区(图 11)。

阿尔泰南缘康布铁堡组火山岩形成时代在 413~400 Ma(杨富全等未刊资料), 略早本区花岗岩类侵入时代, 二者形成的大地构造背景类似。流纹岩具有高的 SiO_2(72.46%~80.07%)、全碱(6.38%~11.34%), 低的铝(9.68%~12.19%)、钛(0.17%~0.35%), 极低的 MgO(0.08%~0.48%)、CaO(0.14%~0.73%)、TFeO(0.34%~0.55%)等亚碱性流纹岩的一般特征。具有明显的 Ti、P、Sr、Ba 负异常, Th、U、Pb 的正异常, HFSE 元素(Nb、Ta、Zr、Hf)和 LREE 略富集, 个别样品表现为 LREE 负异常的微量及稀土元素特征, δEu=0.51~0.71。地球化学特征表明流纹岩形成于活动大陆边缘环境(柴凤梅等, 2009)。熔结凝灰岩具有过铝质(A/CNK=1.01~1.36)、高硅(SiO_2=69%~80%)、高钾(K_2O=5%~11%)、高钾钠比值, 并富集大离子亲石元素(Rb、Ba、K、La), 亏损高场强元素(Nb、

Ta、Ti、P), 低 Nb/Y 比值, 富轻稀土, 亏损 Eu, 表明康布铁堡组熔结凝灰岩形成于活动大陆边缘的岛弧环境(单强等, 2007)。

前人研究表明, 对 SiO_2 含量在 67%~77%之间的准或强过铝质花岗岩而言, 其 CaO/Na_2O 比值反映其源区成分特征。泥岩生成的过铝质花岗岩所含的 CaO/Na_2O 比一般小于 0.3, 而砂屑岩生成的过铝质花岗岩所含的 CaO/Na_2O 比一般大于 0.3 (Sylvester, 1998)。中粒二长花岗岩和英云闪长岩 CaO/Na_2O 比值(0.39~0.55)均大于 0.3, 而一件片麻状花岗岩的 CaO/Na_2O 比值大于 0.3, 两件样品的则小于 0.3。在 A/FM-C/FM 图解中, 中粒二长花岗岩和两件片麻状花岗岩投影在较高成熟度的变质泥岩部分熔融区, 英云闪长岩和一件片麻状花岗岩投影在了变质砂岩部分熔融区(图 12)。此外, 样品具有高的 Y 和 Yb 含量以及高的 Zr/Sm(13.29~26.06)比值, 表明部分熔融位于石榴石稳定区之上(Defant et al., 2002)。岩石具有 Sr 和 Eu 的负异常以及 Ti、P 的负异常, 暗示源区残留有富钙斜长石、钛铁矿和磷灰石。

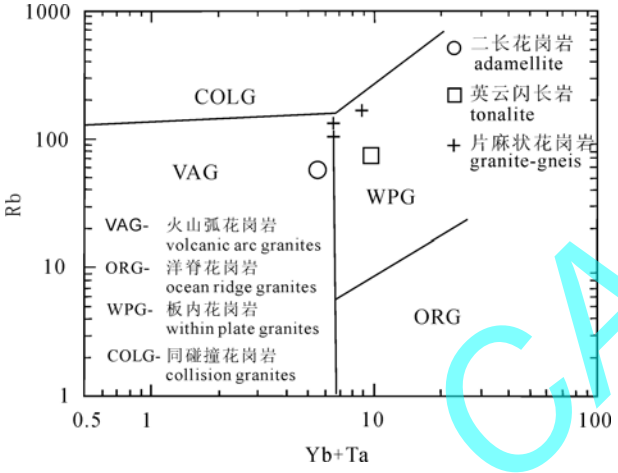

图 11 花岗岩 **Rb-Yb+Ta** 图解(Pearce, 1996)

Fig. 11 Rb-Yb+Ta diagrams for granite(Pearce, 1996)

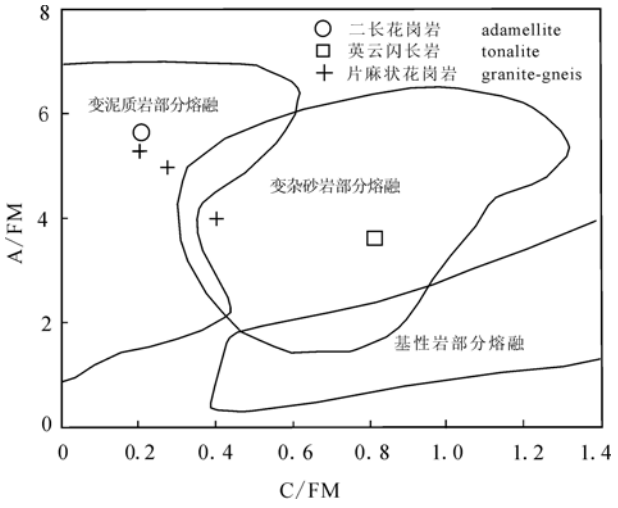

图 12 花岗岩 **A/FM-C/FM** 图解(Altherr et al., 2000)

Fig. 12 A/FM-C/FM diagrams for granite
(after Altherr et al., 2000)

前人研究已证明, 阿尔泰造山带大致从晚寒武纪开始发生俯冲、碰撞、增生, 至中石炭世才基本奠定了阿尔泰造山带的构造格架(Windley et al., 2002; Xiao et al., 2004; Wang et al., 2006; 牛贺才等, 2006)。在阿尔泰南部地区, 广布着具有弧特征的早古生代中晚期的 I 型和 S 型花岗岩。本区花岗岩的过渡性质的特征可能体现了早古生代晚期古亚洲洋板块向西伯利亚板块俯冲、阿尔泰地区地壳处于过渡壳的特点(韩宝福和何国琦, 1991; 王京彬等, 1998; 曾乔松等, 2007)。

综上所述, 推测本区花岗质岩石可能是在洋壳俯冲过程中, 主要由源自地壳的泥质沉积物和少量变质杂砂岩部分熔融形成, 源区残留有富钙的斜长石、钛铁矿和磷灰石等。

6 结论

(1) 研究区英云闪长岩和二长花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 400±2.3 Ma 和 401±3.3 Ma, 均为早泥盆世早期岩浆活动的产物, 限定了康布铁堡组时代早于 401 Ma, 赋存其中的 VMS 型铅锌矿可能生成于早泥盆世。

(2) 岩石具高硅(SiO_2>72%)、高 A/NCK 值(>1.1), 低 CaO/Na_2O 比值(<0.3), 属过铝质花岗岩; 明显亏损 Ti、P、Sr、Ba, 具有 Nb、Ta 的负异常, 富集 Th、U、Pb 和轻稀土元素, 有显著的 Eu 负异常, 表现了典型的岛弧花岗岩的特征。

(3) 岩体形成于活动大陆边缘挤压背景下, 由泥质沉积物和少量变质杂砂岩组成的地壳物质部分熔融形成, 源区残留有富钙的斜长石、钛铁矿和磷灰石等。

致谢: 本文成文过程中承蒙新疆大学柴凤梅教授、中国地质科学院矿产资源研究所杨富全研究员悉心指导和修改、南京地质矿产研究所张传林研究员及新疆地矿局第四地质大队周刚教授级高级工程师提供修改意见和帮助。在此一并表示诚挚的谢意。

参考文献:

柴凤梅, 毛景文, 董连慧, 杨富全, 刘锋, 耿新霞, 张志欣, 黄承科. 2009. 阿尔泰南缘克朗盆地康布铁堡组变质火山岩年龄及岩石成因[J]. 岩石学报, 25(6): 1403-1415.

丛峰, 唐红峰, 苏玉平. 2007. 阿尔泰南缘泥盆纪流纹岩的地球化学和大地构造背景[J]. 大地构造与成矿学, 31(3):

CAGS

359-364.

单强, 牛贺才, 于学元, 曾乔松. 2007. 新疆北部阿尔泰南缘晚古生代高钾高硅熔结凝灰岩的地球化学、岩浆成因及构造背景[J]. 岩石学报, 23(7): 1721-1729.

韩宝福, 何国琦. 1991. 阿尔泰山南缘泥盆纪火山岩带的大地构造性质[J]. 新疆地质科学, 3: 89-100.

何国琦, 成守德, 徐新, 李锦轶, 郝杰. 2004. 中国新疆及邻区大地构造图(1: 2500000)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1-65.

何国琦, 李茂松, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 香港: 香港文化教育出版社, 1-437.

刘锋, 李延河, 毛景文, 杨富全, 柴凤梅, 耿新霞, 杨宗喜. 2008. 阿尔泰造山带阿巴宫花岗岩体锆石 SHR IMP 年龄及其地质意义[J]. 地球学报, 29(6):795-804.

刘锋, 杨富全, 毛景文, 柴凤梅, 耿新霞. 2009. 阿尔泰造山带阿巴宫花岗岩体年代学及地球化学研究[J]. 岩石学报, 25(6): 1416-1425.

刘伟. 1990. 中国阿尔泰地区花岗岩的时代及成因特征[J]. 大地构造与成矿学, 14(1): 44-56.

牛贺才, 于学元, 许继峰, 单强, 陈繁荣, 张海祥, 郑作平. 2006. 中国新疆阿尔泰晚古生代火山作用及成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1-184.

芮行健, 吴玉金. 1984. 中国阿尔泰花岗岩的成因[C].//徐克勤主编. 花岗岩地质和及其与成矿的关系国际学术会议论文集. 南京: 江苏科学技术出版社, 281-291.

童英, 王涛, KOVACH, 洪大卫, 韩宝福. 2006. 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[J]. 岩石学报, 22(5): 1267-1278.

童英, 王涛, 洪大卫, 代雅建, 韩宝福, 柳晓明. 2007. 中国阿尔泰北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义[J]. 岩石学报, 23(8): 1933-1944.

童英, 王涛, 洪大卫, 柳晓明, 韩宝福. 2005. 阿尔泰造山带西段同造山铁列克花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地球学报, 26(增刊): 74-77.

王登红, 陈毓川, 徐志刚, 李天德, 傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京: 原子能出版社, 1-120.

王广耀, 许培春. 1983. 新疆阿尔泰地区岩浆岩的特征及其与成矿的关系[J]. 西北地质, (1): 8-21

王京彬, 秦克章, 吴志亮, 胡剑辉, 邓吉牛. 1998. 阿尔泰山南缘火山喷流沉积型铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1-210.

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 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义[J]. 岩石学报, 21(3): 640-650.

王中刚, 赵振华, 邹天人. 1998. 阿尔泰花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1-152.

肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 洪大卫, 莫宣学, 卢欣祥, 李志昌, 汪雄武, 马昌前, 吴福元, 罗照华, 王涛. 2002. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 247-253.

肖序常, 汤耀庆, 冯益民. 1992. 新疆北部及邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1-169.

杨富全, 毛景文, 闫升好, 刘锋, 柴凤梅, 周刚, 刘国仁, 何立新, 耿新霞, 代军治. 2008. 新疆阿尔泰蒙库同造山斜长花岗岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. 地质学报, 82(4): 485-499.

袁超, 孙敏, 肖文交. 2005. 阿尔泰山南缘花岗岩的锆石 U-Pb 年代学及其地球化学特征[C]. 2005 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要, 418.

袁峰, 周涛发, 岳书仓. 2001. 阿尔泰诺尔特地区花岗岩形成时代及成因类型[J]. 新疆地质, 19(4): 292-296.

岳永君, 王式洸, 何国琦. 1990. 中国阿尔泰造山带中花岗岩类的成因类型及其在地壳演化中的意义[M]. 新疆地质科学, 北京:地质出版社, (2): 72-85.

曾乔松, 陈广浩, 王核, 单强. 2007. 阿尔泰冲乎尔盆地花岗质岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义[M]. 岩石学报, 23(8): 1921-1932.

赵振华, 王中刚, 邹天人，增田章. 1993. 阿尔泰花岗岩类 REE 及 O、Pb、Sr、Nd 同位素组成及成岩模型[C].//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, 239-266.

周刚, 张招崇, 罗世宾, 何斌, 王祥, 应立娟, 赵华, 李爱红, 贺永康. 2007a. 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[J]. 岩石学报, 23(8): 1909-1920.

周刚, 张招崇, 王新昆, 王祥, 罗世宾, 何斌, 张小林. 2007b. 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[J]. 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和非造山花岗岩及其判别标志[J]. 地质学报, 62(3): 228-234.

References:

ALTHERR R, HOLL A, HEGENER E, LANGER C, KREUZER H. 2000. High potassium, calc-alkaline plutonism in the European variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Geemany)[J]. Lothos, 50: 51-73.

BELOUSOVA E A, GRIFFIN W L O, REILLY S Y, FISHER N I. 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143: 602-622.

CHAI Feng-mei, MAO Jing-wen, DONG Lin-hui, YANG Fu-quan, LIU Feng, GENG Xinxia, ZhANG Zhe-xin. 2009. SHRIMP zircon geochronology of the metarhyolites from the Kangbutiebao Formation in the Kelang basin at the southern margin of the Altay, Xinjiang and its implications[J]. Gondwana Research, 16: 198-200.

CHAI Feng-mei, MAO Jing-wen, DONG Lian-hui, YANG Fu-quan, LIU Feng, GENG Xin-xia, ZHANG Zhi-xin, HUANG Cheng-ke. 2009. Geochronology and genesis of the metarhyolites in the Kangbutiebao Formation from the Kelang basin at the southern margin of the Altay, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(6): 1403-1415.

CONG Feng, TANG Hong-feng, SU Yu-ping. 2007. Geochemistry and tectonic setting of Devonian rhyolites in southern Altay, Xinjiang, Northwest China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 31(3): 359-364 (in Chinese with English abstract).

CAGS

DEFANT M J, XU J F, KEPMHINSKAS P, WANG Qiang, ZHANG Qi, XIAO Long. 2002. Adakites: some variations on a theme[J]. Acta Petrologica Sinica, 18: 129-142.

HAN Bao-fu, HE Guoqi. 1991. Geotectonic setting of Devonian volcanic rocks belt in southern margin of the Altai Mountains, China[J]. Xinjiang Geoscience No. 3, 89-100(in Chinese).

HE Guo-qi, CHEN Shou-de, XU Xin, LI Jin-yi, HAO Jie. 2004. An Introduction to the Explanatory Text of the Map Tectonics of Xinjiang and Its Neighbouring Areas[M]. Beijin: Geological Publishing House, 1-65(in Chinese with Englishi abstract).

HE Guo-qi, LI Mao-song, LIU De-quan, TANG Yan-lin, ZHOU Ruhong. 1994. Paleozoic Crustal Evolution and Mineralization in Xin Jing of China[M]. Urumqi and Hongkong: Xin Jiang People's Publishing House and Educational and Cultural Press, 1-437(in Chinese).

LIU Feng, LI Yan-he, MAO Jing-wen, YANG Fu-quan, CHAI Feng-mei, GENG Xin-xia, YANG Zong-xi. 2008.The SHRIMP U-Pb Ages of the Abagong Granites in the Altay Orogen and their geological implication[J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(6): 795-804(in Chinese).

LIU Feng, YANG Fu-quan, MAO Jing-wen, CHAI Fei-mei, GENG Xin-xia. 2009. Study on chronology and geochemistry for Abagong granite in Altay orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(6): 1416-1425(in Chinese with Englishi abstract).

LIU Wei. 1990. Petrogenetic epochs and peculiarities of genetic types of granitoids in the Altai Mountains, Xin Jiang Uygur Autonomous Region, China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 14(1): 44-56 (in Chinese).

MANIAR P D, PICCOLI P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 101: 635-643.

MCDONOUGH W F, SUN S S. 1995. The composition of the earth[J]. Chemical Geology, 120: 223-253.

MIDDLEMOSt E A. K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. Earth-Science Reviews, 37(3-4): 215-224.

NIU He-cai, YU Xue-yuan, XU Ji-feng, SHAN Qiang, CHEN Fan-rong, ZHANG Hai-xiang, ZHENG Zuo-ping. 2006. Late Paleozoic Volcanicsim and Associated Metallogenesis in Altay Area, xinjiang, China[M]. Beijin: Geological Publishing House, 1-184 (in Chinese).

PEARCE J A. 1996. Sources and setting of granitic rock[J]. Episode, 23: 120-125.

RUI Xing-Jian, WU Yu-jin. 1984. Petrogenesis of granitoids in the Altai region, China[C]. In Xu KQ (ed). Granitic geology and its relation to mineralization, Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 281-291(in Chinese).

SENGÖR A M C, NATAL'IN B A, BURTMAN V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. Nature, 364(22): 299-307.

SHAN Qiang, NIU He-cai, YU Xue-yuan, ZENG Qiao-song. 2007. Geochemical characteristics, magmatic genesis and tectonic background of the Late Paleozoic high potassium and high silicon ignimbrite on the southern margin of Altay, North Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(7): 1721-1729 (in Chinese with English abstract).

SUN Min, YUAN Chao, XIAO Wen-jiao, LONG Xiao-ping, XIA Xiao-ping, HAN C, LIN Shou-fa. 2006. Granitic gneisses and gneissic granites from the Central Terrane of the Chinese Altai Orogen: Zircon ages and tectonic significance[C]. Eos Trans. AGU, 87(36), West. Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract V25A-06.

SUN S S, MCDONOUGH W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society Special Publication, 42: 313-345.

SYLVESTER P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites[J]. Lithos, 45(1-4): 29-44.

TAYLOR S R, MCLENANN S M. 1985. The continental crust: its composition and evolution[M]. Blackwell: Oxford Press, 1-312.

TONG Ying, WANG Tao, HONG Da-wei, DAI Ya-jian, HAN Bao-fu, LIU Xiao-ming. 2007. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 23 (8): 1933-1944 (in Chinese with English abstract).

TONG Ying, WANG Tao, HONG Da-wei, LIU Xiao-ming, HAN Bao-fu. 2005. Zircon U-Pd age of syn-oronegenic Tielieke pluton in the west part of Altay Orogenic Belt and its structural implications[J]. Acta Geoscientica sinica, 26(supp.):74-77 (in Chinese with English abstract).

TONG Ying, WANG Tao, KOVACH, HONG Da-wei, HAN Bao-fu. 2006. 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[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1267-1278 (in Chinese with English abstract).

WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, XU Zhi-gang, LI Tian-de, FU Xu-jie. 2002. Minerogetic series and regularity of mineralizaition in the Altai Metallogenic Province[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1-120 (in Chinese).

WANG Guang-yao, XU Pei-chun. 1983. Magamatites in the Altai area, Xinjiang and its relation to mineralization[J]. Northwest Geology, (1): 8-21(in Chinese).

WANG Jing-bin, QIN Ke-zhang, WU Zhi-liang, HU Jian-hui, DENG Ji-niu. 1998. Volcanic-exhalative-sedimentary lead and zinc deposits in the southern matgin of the Altai, Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-120(in Chinese with English abstract).

WANG Tao, HONG Da-wei, JAHN Bor-ming, TONG Ying, WANG Yan-bin, HAN Bao-fei, WANG Xiao-xia. 2006. Timing, petrogenesis, and setting of Paleozoic synorogenic intrusions

CAGS

from the Altai Mountains, Northwest China: implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen[J]. The Journal of Geology, 114: 735-751.

WANG Tao, HONG Da-wei, TONG Ying, HAN Bao-fu, SHI Yu-ruo. 2005. SHRIMP age, origin of post-orogenic Lamazhou granitic pluton from Chinese Altai Orogen and its implications for vertical continental growth[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 640-650 (in Chinese with English abstract).

WANG Zhong-gang, ZHAO Zhen-hua, ZOU Tian-ren. 1998. Geochemistry of granitoids in Altai, Xinjiang[M]. Beijing: Science Press, 1-152 (in Chinese).

WINDLEY B F, KROENER A, GUO Jing-hui, QU Guo-sheng, LI Ying-yi, ZHANG Chi. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai Orogen, NW China: new zircon age data and tectonic evolution[J]. Journal of Geology, 110(6): 719-737.

XIAO Qing-hui, DENG Jin-fu, MA Da-quan, HONG Da-wei, MO Xuan-xue, LU Xin-xiang, LI Zhi-chang, WANG Xiong-wu, MA Chang-qian, WU Fu-yuan, LUO Zhao-hua, WANG Tao. 2002. The ways of investigation on granitoids[M]. Beijing: Geological Publishing House, 247-253(in Chinese).

XIAO Wen-jiao, WINDLEY B F, BADARCH G, SUN Shun, LI Ji-liang, QIN Ke-zhang, WANG Z H. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: implications for the growth of Central Asia[J]. Journal of the Geological Society, London, 161: 339-342.

XIAO Xu-chang, TANG Yao-qing, FENG Yi-min. 1992. Tectonic Evolution of the Northern Xinjiang and Its Adjacent Region. Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-169(in Chinese).

YANG Fu-quan, MAO Jing-wen, YAN Sheng-hao, LIU Feng, CHAI Feng-mei, ZHOU Gang, LIU Guo-ren, HE Li-xin, GENG Xin-xia, DAI Jun-zhi. 2008. Geochronology, Geochemistry and Geological Implications of the Mengku Synorogenic Plagiogranite Pluton in Altay, Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 82(4): 458-499(in Chinese with English abstract).

YUAN Chao, SUN Min, XIAO Wen-jiao, LI Xian-hua, CHEN Hanlin, LIN Shou-fa, XIA Xiao-ping, LONG Xiao-ping. 2007. Accretionary orogenesis of the Chinese Altai: Insights from Paleozoic granitoids[J]. Chemical Geology 242: 22-39.

YUAN Chao, SUN Min, XIAO Wen-jiao. 2005. Zircon U-Pb chronology and geochemistry of granites in sourthern margin of the Altai Moutains[C]. Symposium on geology and mineral resources of Altai Montains, Xinjiang. 418 (in Chinese).

YUAN Feng, ZHOU Tao-fa, YUE Shu-cang. 2001. The age and genetic types of the granites in the Nurt area, Altai[J]. Xinjiang Geology, 19(4): 292-296(in Chinese with English abstract).

YUE Yong-jun, WANG Shi-guang, HE Guo-qi. 1990. Genetic types of Granitoids of the Altai orogenic belt, China and their implications for crustal evolution[M]. Xinjiang Geology Science 2, 72-85 (in Chinese).

ZENG Qiao-song, CHEN Guang-hao, WANG He, SHAN Qiang. 2007. Geochemical characteristic, SHRIMP zircon U-Pb dating and tectonic implication for granitoids in Chonghuer basin, Altai, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1921-1932 (in Chinese with English abstract).

ZHANG Hai-xiang, NIU He-cai, TERADA K, YU Xue-yuan, SATO H, ITO J. 2003. Zircon SHRIMP U-Pb dating on plagiogranite from Kuerti ophiolite in Altay, north Xinjiang[J]. China Sci. Bull, 48: 2231-2235.

ZHANG Zhao-chong, YAN Sheng-hao, CHEN Bai-lin, ZHOU Gang, HE Yong-kang, CHAI Feng-mai, HE Li-xin, WAN Yu-sheng. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating for subduction-related granitic rocks in the northern part of east Junggar, Xinjiang[J]. Chinese Science Bulletin, 51(8): 952-962.

ZHAO Zhen-hua, WANG Zhong-gang, ZOU Tian-ren, ZENG Tian-zhang. 1993. The REE, isotopic composition of O, Pb, Sr, Nd and petrogenesis of granitoids in the Altai Region, Xinjiang. In: Tu Guangzhi, ed. Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang, China[C]. Beijing: Science Press, 239-266 (in Chinese).

ZHOU Gang, ZHANG Zhao-chong, LUO Shi-bin, HE Bin, WANG Xiang, YING Li-juan, ZHAO Hua, LI Ai-hong, HE Ying-kang. 2007a. Confirmation of high-temperature strongly peraluminous Mayinebo granites in the south margin of Altay, Xinjiang: Age, geochemistry and tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1909-1920(in Chinese with English abstract).

ZHOU Gang, ZHANG Zhao-chong, WANG Xin-kun, WANG Xiang, LUO Shi-bin, HE Bin, ZHANG Xiao-lin. 2007b. 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[J]. Acta Geologica Sinica, 81(3): 359-369(in Chinese with English abstract).

ZHOU Tian-ren, CAO Hui-zhi, WU Bo-qing. 1988. Orogenic and anorogenic granitoids of the Altay Mountains, Xinjiang and their discrimination criteria[J]. Acta Geologica Sinica, 62(3): 228-234(in Chinese with English abstract).

CAGS