

# 阿尔泰山南缘可可托海地区二厂房岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、岩石成因及其地质意义

张亚峰<sup>1</sup>, 蔺新望<sup>1</sup>, 郭岐明<sup>1</sup>, 吕军利<sup>1</sup>, 赵端昌<sup>1</sup>, 王星<sup>1</sup>, 王旭<sup>2</sup>

(1. 陕西省地质调查中心, 陕西 西安 710016; 2. 西安地质矿产勘查开发院, 陕西 西安 710100)

**摘要:** 对出露于阿尔泰山南缘可可托海地区二厂房岩体中的黑云母花岗闪长岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和岩石地球化学分析。结果显示, 锆石的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄加权平均值为  $398.0 \pm 3.5$  Ma (MSWD = 1.3), 表明该岩体形成于早中泥盆世。岩体的 SiO<sub>2</sub> 含量介于 65.40% ~ 69.31% 之间, 里特曼指数值为 1.27 ~ 1.65, A/CNK 值为 0.92 ~ 1.02, 属中钾、钙碱性、准铝质岩石。具有富集 Cs、Rb、Th、U 等大离子亲石元素和轻稀土元素, 相对亏损重稀土元素和 Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素, 负 Eu 异常明显 ( $\delta Eu = 0.48 \sim 0.65$ ) 的岛弧岩浆岩特征。结合区域地质资料, 认为二厂房岩体形成于陆缘弧构造环境, 是在古亚洲洋俯冲过程中, 幔源的基性岩浆底侵下地壳后使之熔融并发生了岩浆混合作用的产物。

**关键词:** 黑云母花岗闪长岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 二厂房岩体; 可可托海; 阿尔泰山

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>2; P597<sup>+</sup>.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)01-0013-16

## LA-ICP-MS U-Pb geochronology and petrogenesis of Erchangfang plutons in Koktokay area of southern Altay and their geological implications

ZHANG Ya-feng<sup>1</sup>, LIN Xin-wang<sup>1</sup>, GUO Qi-ming<sup>1</sup>, LÜ Jun-li<sup>1</sup>, ZHAO Duan-chang<sup>1</sup>,  
WANG Xing<sup>1</sup> and WANG Xu<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Center of Geological Survey, Xi'an 710016, China; 2. Xi'an Institute of Geology and Mineral Exploration, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** The Erchangfang plutons at the Keketuohai area in southern Altay orogenic belt are mainly composed of biotite granodiorite, and the authors studied their LA-ICP-MS zircon U-Pb ages and major and trace elements. The results shows that the zircon <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U weighted average age is  $398.0 \pm 3.5$  Ma (MSWD = 1.3), indicating that the plutons were formed in the early-middle Devonian period. The SiO<sub>2</sub> values range from 65.40% to 69.31%,  $\sigma$  from 1.27 to 1.65, and A/CNK from 0.92 to 1.02, suggesting intermediate-K, calc-alkaline, metaluminous rocks. In addition, they are enriched in LILE (Cs, Rb, Th, U) and LREE, with obvious negative anomalies of HREE and HFSE (Nb, Ta, Zr, Hf) and Eu ( $\delta Eu = 0.48 \sim 0.65$ ), thus resembling granitoid rocks formed in island-arc. Combined with the data obtained from the southern margin of Altay, the authors hold that the Erchangfang plutons were generated by partial melting of the lower crust underplated by mafic magma of the mantle in an island-arc setting of active continental margin, accompanied by magma mixing.

**Key words:** biotite granodiorite; LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope dating; Erchangfang plutons; Koktokay; Altay

收稿日期: 2013-03-28; 修订日期: 2013-06-20

基金项目: 中国地质调查局地调项目(1212011120503)

作者简介: 张亚峰(1984-), 男, 硕士, 主要从事区域地质调查工作, E-mail: aimom84@163.com

网络出版时间: 2013-07-19; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1966.P.20130719.1111.005.html>

阿尔泰造山带位于中亚造山带的西南部,是由一系列块体、岛弧和增生杂岩构成的增生型造山带,呈北西-南东向横贯于中、俄、哈、蒙四国,是中亚造山带的重要组成部分(Sengör *et al.*, 1993; Xiao *et al.*, 2004)。中国阿尔泰造山带处于阿尔泰造山带的南缘,发育有大量的花岗岩,约占全区总面积的40%以上(王中刚等, 1998)。前人对这些花岗岩的形成时代和构造环境等方面进行了大量的研究,认为其具有多时代、多类型、多成因、多来源等特征,形成于多种构造环境(王广耀等, 1983; 芮行健等, 1984; 王中刚等, 1990, 1998, 2006; 刘伟, 1990; 岳永君等, 1990; 赵振华等, 1993; 袁峰等, 2001; 王登红等, 2002)。近年来许多学者(Windley *et al.*, 2002; 董英等, 2005, 2007; 董英, 2006; 袁超等, 2005; 王涛等, 2005, 2010; Wang *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2006; 张招崇等, 2006; Yuan *et al.*, 2007; 曾乔松等, 2007; 周刚等, 2007a, 2007b; 杨富全等, 2008; 刘锋等, 2009; 孙桂华等, 2009; Cai *et al.*, 2010; 柴凤梅等, 2010; 刘国仁等, 2010; 张志欣等, 2011; 董永观等, 2012)对阿尔泰花岗岩类进行了精确的定年工作,结果表明阿尔泰地区有多次强烈的岩浆侵入事件,其峰值分别为460、408、375和265 Ma(Wang *et al.*, 2006)。同时也获得了大量的岩石地球化学和同位素数据,这些新成果大大提高了对阿尔泰花岗岩构造属性及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等方面的研究水平。

二厂房岩体位于新疆阿勒泰可可托海地区,柏美祥等(1985)测得其年龄为111 Ma(K-Ar法),认为其属于燕山期;1:20万富蕴幅区调报告<sup>①</sup>(报告中称之为莫库尔卓勒混合花岗岩体)将其时代定为华力西中期;1:5万铁买克幅区调报告<sup>②</sup>沿用1:20万富蕴幅区调报告划分方案将其划归石炭纪,并认为其岩浆来源于壳源,可能形成于岛弧构造环境;刘建民等(2009)获得该岩体中的钾长花岗岩(5个锆石测点)和黑云母花岗岩(4个锆石测点)的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄分别为 $398.7 \pm 6.4$  Ma和 $400.6 \pm 5.7$  Ma。综上所述,现有资料对该岩体的形成时代认识跨度较大,且关于该岩体的岩石成因方面研究较为欠缺,因此有必要做进一步研究。最近,笔者在

1:25万可可托海幅区域地质调查过程中通过对该岩体进行剖面测制和地质路线调查等工作,详细研究了其规模、展布、露头发育等地质特征,并采集了必要的同位素年龄样品和岩石地球化学样品,以期通过地质年代学和地球化学研究来限定岩体的形成时代和地球化学特征,并探讨岩石成因、构造环境等问题,从而为阿尔泰花岗岩形成演化以及阿尔泰造山带区域构造演化发展提供新信息。

## 1 区域地质和岩体地质特征

中国阿尔泰造山带位于新疆北部,呈北西向展布,大地构造位置属西伯利亚板块南缘,北至中蒙、中俄及中哈边境(何国琦等, 1990),南以额尔齐斯-玛因鄂博构造带与哈萨克斯坦-准噶尔板块北缘相邻。由北向南,分别以红山嘴-诺尔特断裂和阿巴宫-库尔提断裂为界将其划分为北阿尔泰、中阿尔泰和南阿尔泰3个块体(Li *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2004)(图1)。北阿尔泰块体主要由震旦系-寒武系、晚泥盆世-早石炭世火山-沉积岩组成,并发育晚加里东期花岗岩;中阿尔泰块体主要由震旦系-早古生界深变质岩系和奥陶纪-二叠纪侵入岩组成,以泥盆纪花岗岩广泛发育为特征,其中可能有前寒武纪基底存在(Hu *et al.*, 2000),具有微陆块的特点(Windley *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2006);南阿尔泰块体主要由元古界片麻岩和泥盆纪火山-沉积岩系(主要为下泥盆统康布铁堡组和中泥盆统阿勒泰组)组成,其次是石炭纪火山-沉积岩系。

二厂房岩体出露于新疆富蕴县可可托海地区二厂房-海子口一带(图1),属中阿尔泰块体,与西侧苏普特一带花岗岩岩体处于同一构造带上,二者间被宽约400~1000 m的奥陶系东锡勒克组地层所分隔。岩体出露面积约62 km<sup>2</sup>,长轴走向320°~330°,长20 km,最宽6 km,呈不规则透镜状,北部侵入中元古界苏普特岩群和志留纪岩体中,东端被可可托海-二台断裂相截,西部和西南部与上奥陶统东锡勒克组呈侵入接触关系,侵入界线清楚,接触面弯曲或呈锯齿状,多数地段倾向250°~260°,倾角80°~82°,局部倾向北东,倾角75°以上,南部与上奥陶统

① 新疆地质局区域地质调查大队七分队, 1978. 1:20万富蕴幅区域地质调查报告.

② 新疆地矿局第四地质大队, 2006. 新疆富蕴县可可托海一带1:5万区域地质矿产调查.

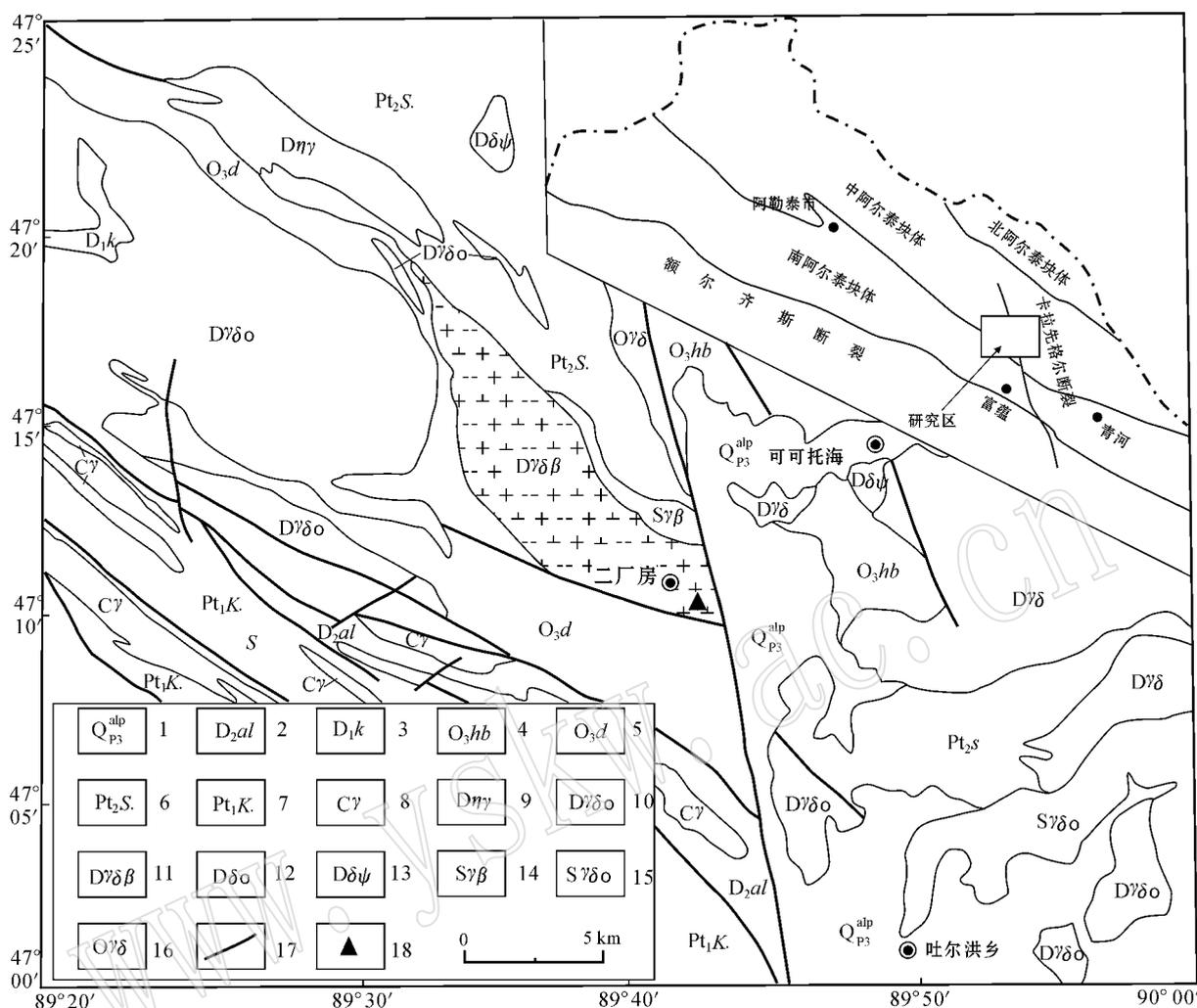


图 1 阿尔泰山南缘可可托海地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map in Koktokay area on the southern margin of Altay

1—第四系；2—中泥盆统阿勒泰组；3—下泥盆统康布铁堡组；4—上奥陶统哈巴河组；5—上奥陶统东锡勒克组；6—中元古界苏普特岩群；7—下元古界克木齐岩群；8—石炭纪花岗岩；9—泥盆纪二长花岗岩；10—泥盆纪英云闪长岩；11—泥盆纪黑云母花岗闪长岩；12—泥盆纪石英闪长岩；13—泥盆纪角闪闪长岩；14—志留纪黑云母花岗岩；15—志留纪英云闪长岩；16—奥陶纪花岗闪长岩；17—断裂；18—采样点

1—Quaternary；2—Middle Devonian Altay Formation；3—Lower Devonian Kangbutiebao Formation；4—Upper Ordovician Habahe Formation；5—Upper Ordovician Dongxileke Formation；6—Middle Proterozoic Supute group complex；7—Lower Proterozoic Kemuqi group complex；8—Carboniferous granite；9—Devonian monzogranites；10—Devonian tonalite；11—Devonian biotite granodiorite；12—Devonian quartz diorite；13—Devonian dioreid；14—Silurian biotite granite；15—Silurian tonalite；16—Ordovician granodiorite；17—fault；18—sample location

东锡勒克组呈断层接触关系(图 1)。岩体近断层处岩石破碎,糜棱岩化、碎裂岩化现象明显(图 2a),可见断层擦痕、台阶等(图 2b),且发育有中等程度的片麻理构造,片麻理表现为暗色矿物的定向排列和石英的轻度拉长,与主构造带走向一致。而远离断裂带,岩石基本没有发生变形,但节理较为发育,节理面平直,切割岩体呈直立“层状”。岩体内发育暗色闪长

质包体(图 2c),多呈椭圆状,大者 30 cm×20 cm,小者 3 cm×2 cm,与寄主岩石界线截然。岩体主要由黑云母花岗闪长岩组成,少量二长花岗岩和黑云母钾长花岗岩分布于岩体东端断裂带附近,各岩性间没有明显的界线,呈过渡接触关系。

本次工作对二厂房岩体的主体岩性黑云母花岗闪长岩进行了详细研究,岩石呈灰-灰白色,中细粒

花岗结构、块状构造。断裂带岩石矿物多发生重结晶,具糜棱岩化结构(图 2d)、碎斑结构。主要矿物有斜长石(52%~53%,它形粒状,隐约显示钠长石双晶,部分已蚀变为绿帘石、褐帘石)、石英(20%~21%,它形粒状)、钾长石(12%~13%,它形粒状,具条纹结构和格子双晶)、角闪石(4%~5%,半自形粒状)和黑云母(6%~7%,半自形片状,褐色)(图 2e、2f)。副矿物可见磷灰石、榍石、锆石等。

## 2 样品分析方法

### 2.1 锆石 U-Pb 同位素分析方法

采集约 15 kg 岩石样品,按常规方法粉碎,用磁选、电磁选方法分选得到重砂矿物,再淘洗获得锆石精矿,最后在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石晶体作为 U-Th-Pb 同位素测定对象。首先将锆石颗粒粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后,对其表面进行抛光至锆石内部暴露。锆石的阴极发光照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室扫描电镜加载阴极发光仪

上完成。锆石微区原位 U-Th-Pb 同位素年龄分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行,分析仪器为 Agilent7500a 型四极杆质谱仪和 Geolas200M 型激光剥蚀系统,激光器为 193 nm ArF 准分子激光器。激光剥蚀束直径为 20  $\mu\text{m}$ ,激光剥蚀样品的深度为 20~40  $\mu\text{m}$ 。锆石年龄计算采用标准锆石 91500 作为外标,元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 作为外标, $^{29}\text{Si}$  作为内标元素进行校正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER(ver4.0, Macquarie University) 程序,并采用 Andersen 软件(Anderson, 2002)对测试数据进行普通铅校正,年龄计算及谱和图绘制采用 ISOPLOT(2.49 版)软件(Ludwig, 2003)完成。详细的实验原理和流程及仪器参见参考文献(Yuan *et al.*, 2004)。

### 2.2 地球化学分析方法

本次工作选择新疆阿勒泰可可托海地区二厂房岩体新鲜、蚀变较轻的黑云母花岗闪长岩进行地球化学测试,分析在咸阳核工业二〇三研究所分析测

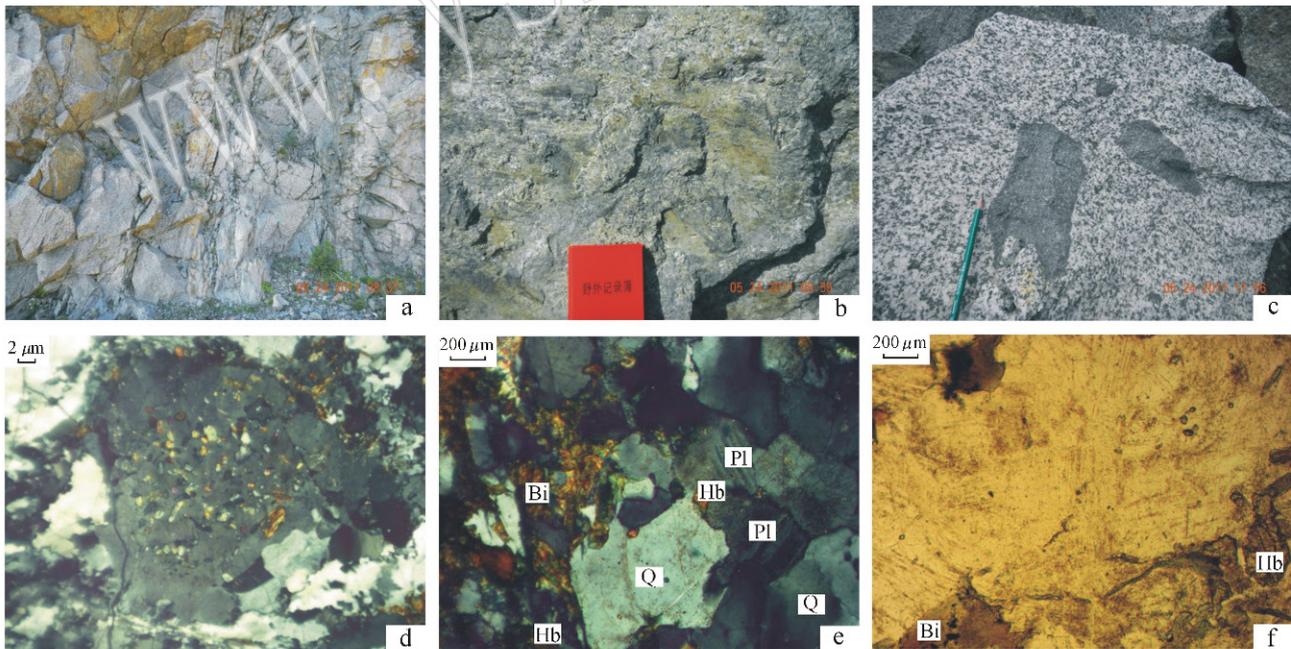


图 2 二厂房岩体的宏观和显微照片

Fig. 2 Field photographs and microphotographs of Erchangfang plutons

a, b—受断裂影响的岩体特征; c—黑云母花岗闪长岩中的暗色微闪长质包体特征; d—二长花岗岩镜下变形特征;

e, f—黑云母花岗闪长岩镜下特征; Bi—黑云母; Hb—角闪石; Pl—斜长石; Q—石英

a and b—characteristics of Erchangfang plutons affected by faults; c—characteristics of mafic microgranular enclaves in biotite granodiorite;

d—microscopic deformation characteristics of monzonitic granite; e and f—microscopic characteristics of biotite granodiorite; Bi—biotite;

Hb—hornblende; Pl—plagioclase; Q—quartz

试中心完成。常量元素用常规湿法、容量法分析,其中烧失量用重量法分析,微量元素用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)分析,稀土元素用电感耦合等离子体质谱法。常量元素的分析精度(相对标准差)一般小于1%,微量元素和稀土元素分析精度优于5%。

### 3 锆石 U-Th-Pb 同位素测定结果

用于锆石 U-Th-Pb 同位素测定的灰色中细粒黑云母花岗闪长岩样品(0004)采自阿勒泰可可托海二厂房,其地理坐标为北纬 47°9′43″、东经 89°43′32″。

#### 3.1 锆石特征

样品(0004)中选出的锆石以褐黄色为主,少

量为淡黄色,弱金刚光泽,透明-半透明,棱角状-次棱角状,晶体晶面粗糙不光亮,溶蚀相为麻点状、瘤状,个别晶体较发亮光滑,可见小锆石包裹体、不明性质黑色包裹体和褐红色氢氧化物包裹体。晶体形态以柱面  $m(110)$ 、柱面  $a(100)$  近乎相等,与锥面  $p(111)$  聚合的晶形为主。从图 3 中可以看出,锆石以长柱状晶体为主,自形程度较好,长宽比多为 2~3,粒径多在 100~220  $\mu\text{m}$  之间。锆石内部结构清楚,生长震荡环带结构发育,且锆石 Th、U 含量分别为  $45 \times 10^{-6} \sim 361 \times 10^{-6}$  和  $74 \times 10^{-6} \sim 528 \times 10^{-6}$ , Th/U 比值为 0.53~1.02 (岩浆锆石 Th/U 比值一般大于 0.4; Rubatto, 2002),表现出典型的岩浆锆石的特征 (Vavra *et al.*, 1996; 吴元保等, 2004)。

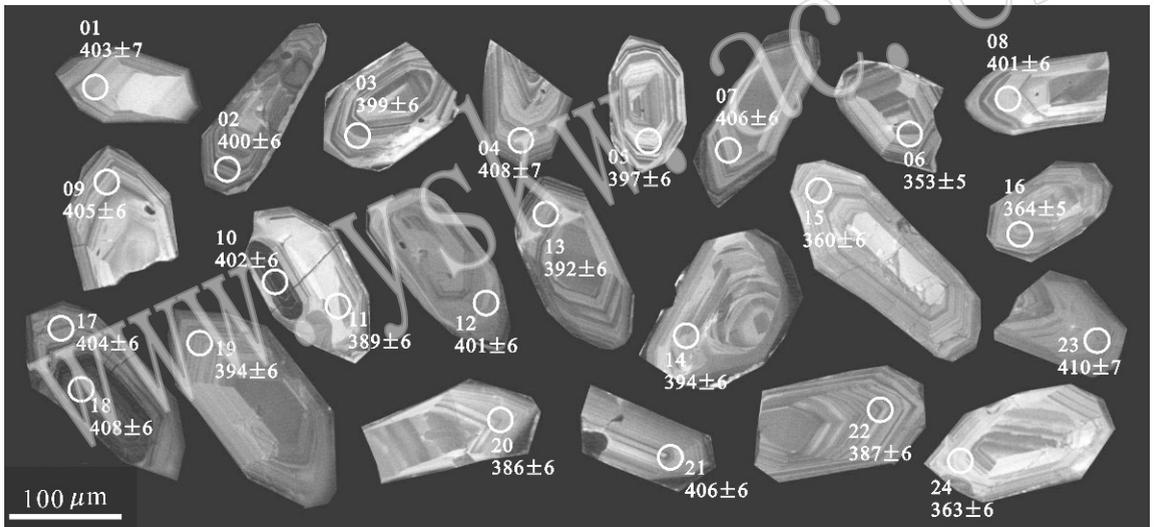


图 3 二厂房黑云母花岗闪长岩(样品 0004)中锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 Cathodoluminescence (CL) images of selected zircons of the granodiorite (sample 0004) from Erchangfang plutons

#### 3.2 锆石 U-Pb 年龄

对样品(0004)中的 22 粒锆石进行了分析,得到 24 个数据(表 1),其中 17、18、23 和 24 号这 4 个数据在谐和图中明显偏离谐和线,对照阴极发光图像,测点处或有不太明显的裂纹,或位于残留核与震荡环带结合部位,故加权平均值计算时予以剔除。其余 20 个数据投点落在谐和线及其附近(图 4),谐和性较好, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄介于 353~408 Ma 之间,明显可分为两组。第 1 组有 17 个测点,均位于清晰的岩浆震荡环带上(10 号测点除外),构成非常集中的主锆石群, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄的加权平均值为  $398.0 \pm 3.5 \text{ Ma}$  (MSWD=1.3),时代为早中泥盆世,代表二

厂房岩体岩浆结晶年龄;第 2 组年龄值偏小,有 3 个测点(6、15 和 16),其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分别为  $353 \pm 5 \text{ Ma}$ 、 $360 \pm 6 \text{ Ma}$  和  $364 \pm 5 \text{ Ma}$ 。观察这 3 个测点的阴极发光图像,发现 6 号和 15 号测点处分别有一细小裂纹,可能是造成年龄偏低的原因;16 号测点年龄值较低的原因还有待于进一步研究,可能是测试过程中的问题,也可能是后期热事件(如流体作用)的影响。值得注意的是,第 1 组 10、11 号测点所在锆石 CL 影像特征差异明显,其中 10 号测点位于锆石核部,11 号测点位于边部不太明显的环带处,而两个测点所得出的年龄结果基本一致,不存在大的变化,推测这种现象可能是同期岩浆先后侵位造成的。

表 1 二厂房黑云母花岗闪长岩(样品 0004)中锆石的 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素分析结果  
 Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotopic analyses of granodiorite (sample 0004) from Erchangfang plutons

点号	$w_{Pb}/10^{-6}$		Th/U		同位素比值及误差												年龄/My			
	Pb*	Th	U	Th/U	$^{207}Pb/^{235}U$	$1\sigma$	$^{206}Pb/^{238}U$	$1\sigma$	$^{206}Pb/^{232}Th$	$1\sigma$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$1\sigma$	$^{207}Pb/^{235}U$	$1\sigma$	$^{206}Pb/^{238}U$	$1\sigma$	$^{206}Pb/^{232}Th$	$1\sigma$		
1	6.9	57.6	88.9	0.65	0.055 39	0.002 78	0.492 54	0.020 59	0.064 48	0.001 14	0.019 35	0.000 47	428	62	407	14	403	7	387	9
2	10.4	87.2	135.8	0.64	0.056 68	0.002 24	0.500 79	0.014 45	0.064 07	0.001 02	0.019 52	0.000 33	479	36	412	10	400	6	391	7
3	9.4	87.6	131.9	0.66	0.057 31	0.002 29	0.504 56	0.014 85	0.063 85	0.001 02	0.019 31	0.000 33	503	37	415	10	399	6	387	7
4	5.7	45.8	73.9	0.62	0.054 97	0.002 47	0.495 22	0.017 66	0.065 33	0.001 09	0.019 63	0.000 42	411	50	408	12	408	7	393	8
5	8.7	76.8	116.0	0.66	0.053 05	0.002 34	0.464 30	0.016 13	0.063 47	0.001 05	0.018 87	0.000 37	331	49	387	11	397	6	378	7
6	14.8	117.5	221.8	0.53	0.055 84	0.002 32	0.433 25	0.016 67	0.056 27	0.000 89	0.017 52	0.000 24	446	95	365	12	353	5	351	5
7	9.5	73.2	117.3	0.62	0.055 71	0.002 26	0.499 28	0.015 07	0.065 00	0.001 04	0.022 75	0.000 39	441	39	411	10	406	6	455	8
8	12.0	103.2	150.8	0.68	0.054 19	0.002 28	0.479 90	0.015 45	0.064 23	0.001 04	0.019 37	0.000 36	379	44	398	11	401	6	388	7
9	5.8	45.3	74.3	0.61	0.056 13	0.002 47	0.501 54	0.017 34	0.064 80	0.001 07	0.020 03	0.000 42	458	48	413	12	405	6	401	8
10	19.8	163.5	235.6	0.69	0.054 66	0.002 83	0.485 18	0.023 87	0.064 37	0.001 04	0.020 10	0.000 27	399	119	402	16	402	6	402	5
11	9.6	79.1	112.3	0.70	0.054 45	0.003 41	0.467 14	0.028 18	0.062 23	0.001 06	0.019 44	0.000 26	390	145	389	20	389	6	389	5
12	10.6	107.3	129.1	0.83	0.055 73	0.002 05	0.493 08	0.012 39	0.064 17	0.000 98	0.019 97	0.000 28	442	30	407	8	401	6	400	6
13	7.5	66.0	98.8	0.67	0.060 89	0.002 54	0.526 59	0.016 7	0.062 72	0.001 01	0.020 17	0.000 38	635	41	430	11	392	6	404	8
14	9.3	94.5	118.5	0.80	0.057 25	0.002 22	0.498 03	0.013 89	0.063 09	0.000 98	0.019 42	0.000 30	501	35	410	9	394	6	389	6
15	7.3	60.5	103.0	0.59	0.056 52	0.002 98	0.446 94	0.022 43	0.057 35	0.000 94	0.017 84	0.000 24	473	120	375	16	360	6	357	5
16	11.7	114.9	167.0	0.69	0.060 20	0.002 16	0.482 70	0.011 57	0.058 15	0.000 88	0.018 37	0.000 27	611	27	400	8	364	5	368	5
17	19.0	122.0	220.8	0.55	0.083 92	0.002 84	0.747 86	0.015 55	0.064 63	0.000 97	0.028 98	0.000 38	1291	19	567	9	404	6	577	7
18	44.9	361.8	528.2	0.68	0.073 66	0.002 37	0.662 87	0.011 95	0.065 26	0.000 95	0.025 58	0.000 28	1032	17	516	7	408	6	511	6
19	6.5	53.3	86.1	0.62	0.054 60	0.002 46	0.474 27	0.016 98	0.062 98	0.001 03	0.020 27	0.000 41	396	51	394	12	394	6	406	8
20	8.7	74.2	121.0	0.61	0.054 48	0.003 27	0.463 70	0.026 77	0.061 73	0.001 03	0.019 28	0.000 26	391	139	387	19	386	6	386	5
21	24.7	293.5	286.7	1.02	0.059 02	0.001 97	0.529 26	0.010 61	0.065 02	0.000 95	0.020 55	0.000 23	568	21	431	7	406	6	411	5
22	12.2	105.6	161.4	0.65	0.054 44	0.002 25	0.464 65	0.014 55	0.061 89	0.000 97	0.019 21	0.000 35	389	43	387	10	387	6	385	7
23	5.2	59.3	89.7	0.66	0.207 51	0.007 58	1.878 54	0.044 93	0.065 64	0.001 11	0.072 66	0.001 09	2886	19	1074	16	410	7	1418	21
24	6.8	61.9	101.4	0.61	0.077 50	0.003 25	0.619 80	0.019 67	0.057 98	0.000 95	0.014 28	0.000 52	1134	38	490	12	363	6	287	10

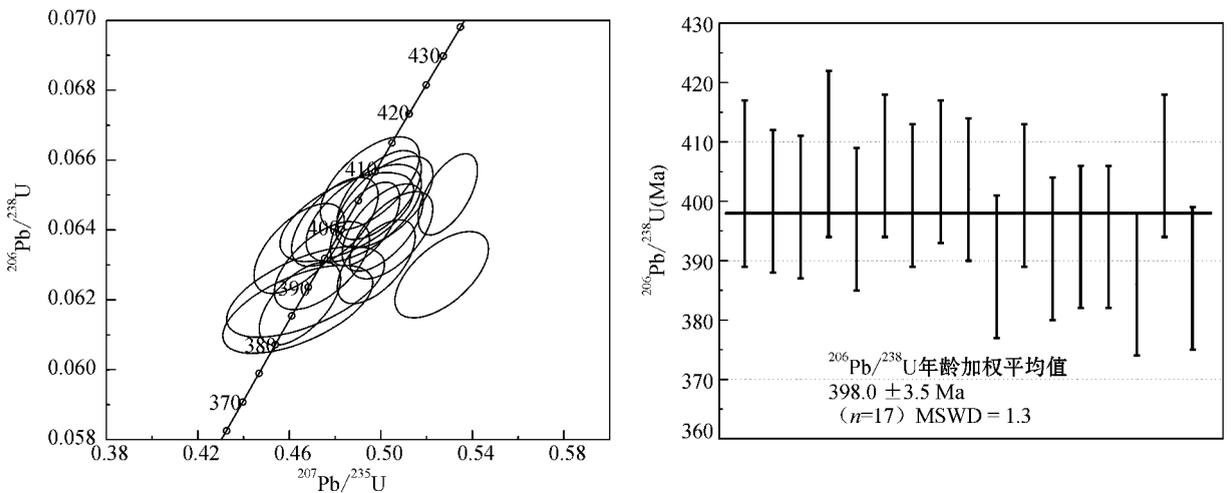


图 4 二厂房黑云母花岗岩闪长岩(样品 0004)中锆石 U-Pb 谐和图和<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄图

Fig. 4 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram of granodiorite (sample 0004) from Erchangfang plutons

综上所述,本文将可可托海地区二厂房岩体的主体岩浆结晶时代确定为  $398.0 \pm 3.5$  Ma (MSWD = 1.3), 属早中泥盆世。

## 4 地球化学特征

### 4.1 主量元素特征

岩石  $\text{SiO}_2$  含量为 65.40%~69.31% (数据见表 2),  $\text{TiO}_2$  含量低, 介于 0.48%~0.78% 之间,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 13.66%~15.31%,  $\text{MgO}$  含量为 0.98%~1.73%。岩石  $\sigma$  值为 1.27~1.65, 小于 4, 表明其具有亚碱性岩石特征。在  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  图解(图 5a) 中样品均落入中钾钙碱性区域。 $A/\text{CNK}$  值为 0.92~1.02 < 1.1,  $A/\text{NK}-A/\text{CNK}$  图解(图 5b) 中, 样品落入准铝质岩石系列区域, 同时落入 I 型花岗岩区域。

综上所述, 二厂房岩体总体上具有中钾钙碱性、准铝质、I 型花岗岩岩石特征。此外, 岩浆分异指数 DI 值为 66.41~77.70 表明岩浆分异程度一般。

### 4.2 微量元素特征

岩石稀土元素总含量 ( $\sum \text{REE} = 126 \times 10^{-6} \sim 166 \times 10^{-6}$ ) 较低, 平均值为  $149 \times 10^{-6}$ 。(La/Sm)<sub>N</sub> 值为 2.22~3.50 (Ga/Yb)<sub>N</sub> 值为 1.46~1.63 (La/Yb)<sub>N</sub> 值为 4.64~6.86 表明岩石轻稀土元素分馏程度高于重稀土元素, 轻、重稀土元素之间分馏程度较强。岩石  $\delta\text{Eu}$  值介于 0.48~0.65 之间, 具明显负 Eu 异常, 暗示岩浆在形成过程中可能存在斜长石的分离结晶作用或源区有斜长石的残留。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图 6a) 显示轻稀土元素富

集、重稀土元素相对亏损的右倾型, 具典型的岛弧岩浆岩特征。

岩石的高场强元素(如 Nb、Ta、Zr 和 Hf) 含量较低, Zr 为  $6.75 \times 10^{-6} \sim 27.2 \times 10^{-6}$ , Hf 为  $0.73 \times 10^{-6} \sim 2.47 \times 10^{-6}$ , 尤其是 Nb、Ta 含量更低, 分别为  $9.67 \times 10^{-6} \sim 10.9 \times 10^{-6}$  和  $0.39 \times 10^{-6} \sim 0.78 \times 10^{-6}$ , Nb/Ta 值在 12.40~27.44 之间(平均值为 18.91), 大于原始地幔(17.5)和大陆地壳(11)的相应值(Taylor & Mclennan, 1985), 这可能是由于流体加入导致 Nb、Ta 的分馏(Dostal & Chatterjee, 2000)。Sr、P、Ti 含量明显偏低, 分别为  $110 \times 10^{-6} \sim 175 \times 10^{-6}$ 、 $275 \times 10^{-6} \sim 663 \times 10^{-6}$  和  $1.310 \times 10^{-6} \sim 2.026 \times 10^{-6}$ 。Cs、Rb、Th、U 等大离子亲石元素富集, 此外, La、Ce、Sm 等元素也较富集, 与原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 6b) 表现出一致的结果。

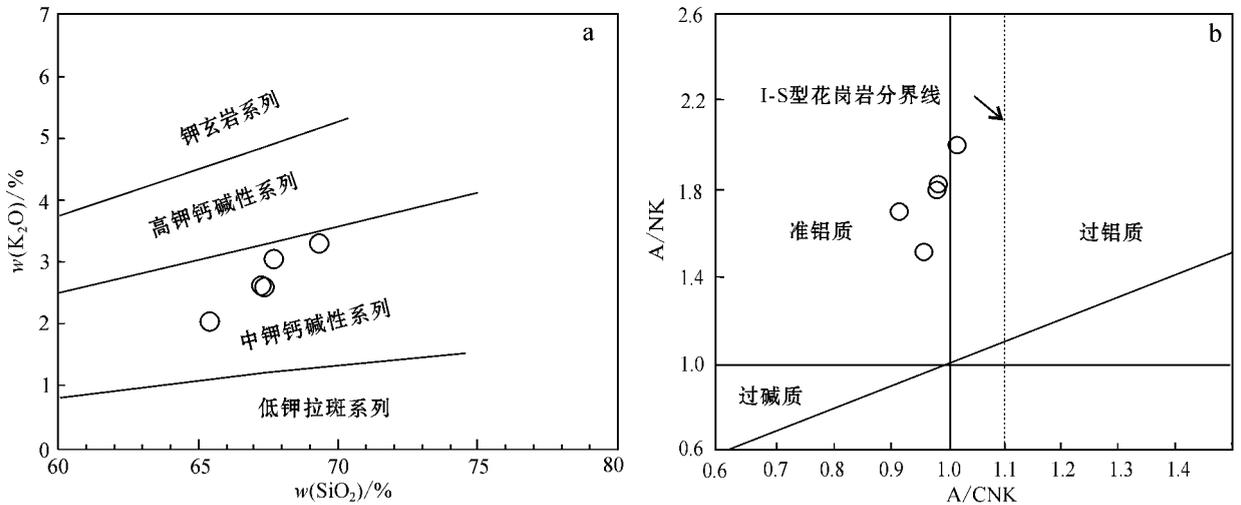
## 5 讨论

### 5.1 花岗岩形成时代及其地质意义

近年来, 关于阿尔泰山花岗岩的形成时代, 许多学者先后利用锆石 SHRIMP U-Pb 法和 LA-ICP-MS U-Pb 法进行了详细研究。目前, 已经认识到该区花岗质岩浆侵入活动从奥陶纪开始一直持续至侏罗纪, 其中年龄为 400 Ma 左右的花岗质岩石分布最广, 多沿区域构造线广布于阿尔泰山造山带。例如北阿尔泰山块体诺尔特地区的塔斯比克都尔根岩体(414~396 Ma, 肖序常等, 1992), 哈龙-巴利尔岩体(401 Ma, 袁

表 2 二厂房黑云母花岗闪长岩主量(  $w_B/\%$  ) 稀土和微量元素(  $w_B/10^{-6}$  )分析结果Table 2 Major elements(  $w_B/\%$  ), trace elements and REE data(  $w_B/10^{-6}$  ) of Erchangfang biotite granodiorite

样品	PM52/1	PM52/2	PM52/3	PM52/4	PM52/5	样号	PM52/1	PM52/2	PM52/3	PM52/4	PM52/5
SiO <sub>2</sub>	69.31	67.69	67.25	65.40	67.36	Co	3.89	3.37	2.84	5.94	4.22
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.48	0.60	0.78	0.58	Ni	4.74	3.71	2.68	6.28	4.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.66	14.14	14.54	15.31	14.67	Cr	2.20	9.05	15.9	12.0	10.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.71	1.56	1.97	2.14	1.72	V	23.2	19.3	15.3	41.2	26.6
FeO	2.65	2.86	3.20	3.85	3.18	Ga	17.6	15.6	13.5	17.5	15.5
MgO	0.98	0.07	0.07	0.09	0.07	Sc	9.30	7.40	5.70	7.20	6.45
MnO	0.09	1.40	1.68	1.73	1.43	Sr	175	149	110	163	137
CaO	2.85	3.88	3.72	4.04	3.71	Ba	415	468	521	388	455
Na <sub>2</sub> O	3.27	3.01	3.09	3.28	3.21	Rb	95.0	82.4	69.8	90.1	84.9
K <sub>2</sub> O	3.32	3.07	2.63	2.05	2.62	Cs	3.51	2.63	1.75	3.19	2.82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.21	0.13	0.17	0.17	Nb	10.7	10.2	9.67	10.9	10.4
LOI	1.03	1.13	0.64	0.63	0.77	Ta	0.39	0.59	0.78	0.56	0.58
Total	102.56	99.48	99.50	99.47	99.48	Zr	6.75	17.0	27.2	8.54	14.2
La	34.1	27.2	25.1	30.0	21.3	Hf	0.82	1.34	2.47	0.73	1.60
Ce	63.4	58.3	53.9	65.9	45.8	U	2.12	1.97	1.89	1.90	1.90
Pr	7.43	7.23	5.96	8.02	5.46	Th	8.84	9.05	5.12	13.2	9.16
Nd	27.8	30.5	24.8	32.1	24.3	P	663	469	275	529	402
Sm	6.13	6.69	5.70	6.60	6.05	Ti	1674	1670	1310	2026	1668
Eu	1.32	1.40	0.90	1.24	1.18	Y	30.2	30.6	33.2	26.5	27.2
Gd	6.24	6.43	5.53	6.52	5.97	$\sigma$	1.65	1.50	1.35	1.27	1.40
Tb	0.92	1.03	0.83	1.00	0.92	A/CNK	0.96	0.92	0.99	1.02	0.99
Dy	5.94	6.52	5.22	6.29	5.91	Mg <sup>#</sup>	3.69	36.92	37.63	34.81	35.04
Ho	1.17	1.29	1.04	1.23	1.18	DI	77.7	72.30	69.99	66.41	70.93
Er	3.41	3.57	3.11	3.22	3.37	$\delta$ Eu	0.65	0.64	0.48	0.57	0.59
Tm	0.49	0.51	0.48	0.50	0.50	(La/Yb) <sub>N</sub>	6.86	5.65	5.55	6.25	4.65
Yb	3.36	3.26	3.06	3.24	3.10	$\Sigma$ REE	162.	154	136	166	126
Lu	0.49	0.49	0.46	0.50	0.45	Nb/Ta	27.44	17.41	12.40	19.46	18.08

图 5 二厂房岩体  $K_2O-SiO_2$  (a, 据 Rickwood, 1989) 和  $ANK-A/CNK$  (b, 据 Maniar & Piccoli, 1989) 图Fig. 5  $K_2O-SiO_2$  (a, after Rickwood, 1989) and  $ANK-A/CNK$  (b, after Maniar & Piccoli, 1989)

diagrams of Erchangfang plutons

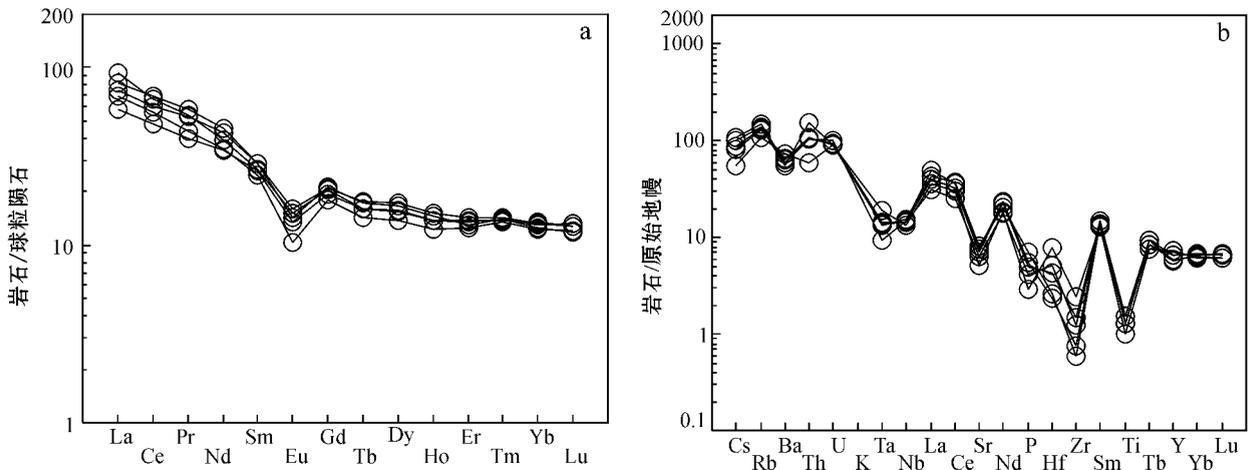


图 6 二厂房岩体稀土元素配分曲线图 (a, 球粒陨石标准化数据据 Taylor and Mclennan, 1985) 和微量元素蛛网图 (b, 原始地幔标准化数据据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns (a, after Taylor and Mclennan, 1985) and primitive mantle-normalized trace element spidergrams (b, after Sun and McDonough, 1989) for Erchangfang plutons

峰等, 2001); 中阿尔泰山体的喀纳斯岩体 ( $398 \pm 5$  Ma, 童英等, 2007)、乌利奇岩体 ( $375 \pm 4$  Ma, Wang *et al.*, 2006)、铁列克岩体 ( $403 \pm 5$  Ma, 童英等, 2005)、阿拉善岩体 ( $403 \sim 388$  Ma)<sup>①</sup>、琼库尔岩体 ( $399 \pm 4$  Ma, 童英等, 2007)、蒙库岩体 ( $404 \sim 378$  Ma, 杨富全等, 2008; Xu *et al.*, 2010)、五矿岩体 ( $378 \pm 6$  Ma, 孙敏等, 2009)、库尔提岩体 ( $416 \pm 5$  Ma, Wang *et al.*, 2006;  $372$  Ma, Zhang *et al.*, 2003)、可可托海岩体 ( $415 \sim 399$  Ma, 赵振华等, 1993; 王中刚等, 1998; Windley *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2006; Yuan *et al.*, 2007)、青格里岩体 ( $420 \sim 386$  Ma, 王中刚等, 1998; 王登红等, 2002) 和南阿尔泰山体的冲乎尔盆地北岩体 ( $413 \pm 4$  Ma, 曾乔松等, 2007)、塔尔浪岩体 ( $412 \sim 382$  Ma, Yuan *et al.*, 2007)、阿维滩岩体 ( $400 \pm 6$  Ma, Wang *et al.*, 2006)、克兰河中游岩体 ( $400 \pm 2.3$  Ma 和  $401 \pm 3.3$  Ma, 刘国仁等, 2010)、希勒克特哈腊苏和喀腊萨依岩体 ( $381 \sim 376$  Ma, 张招崇等, 2006a; Sun *et al.*, 2008) 等。

同时, 在阿尔泰山南缘也发现了大量的该时期的具有岛弧特征的火山岩 (张进红等, 2000; 陈汉林等, 2006; 柴凤梅等, 2009; 刘伟等, 2010; 于淑艳等, 2011; 耿新霞等, 2012), 基性侵入岩 (Wang *et al.*, 2006) 及弧后扩张的产物——库尔提蛇绿岩

( $372 \pm 19$  Ma, 张海祥等, 2003) 表明阿尔泰山造山带  $400$  Ma 左右的岩浆活动剧烈。本文报道的二厂房黑云母花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $398.6 \pm 3.5$  Ma, 为早中泥盆世。此外, 笔者在库卫南库勒萨伊片麻状细粒二云二长花岗岩和阿克布拉克黑云英云闪长岩中获得的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为  $399.6 \pm 5.6$  Ma 和  $396.3 \pm 3.3$  Ma (未刊资料), 这为阿尔泰山造山带在  $400$  Ma 左右的强烈岩浆活动提供了新证据, 说明它与同时代的花岗岩可能是相同构造事件的产物。

### 5.2 岩石成因

相关研究表明 (Ma *et al.*, 1998), 中酸性岩浆岩可以是幔源铁镁质母岩浆结晶分异或与同化混染的耦合作用的产物, 但更巨量酸性岩类的形成大多与地壳岩石的部分熔融相关。二厂房岩体中暗色矿物为角闪石、黑云母, 副矿物组合为磷灰石 + 榍石 + 锆石, 总体上具有中钾钙碱性、准铝质、I 型花岗岩特征。稀土元素表现为轻稀土富集、重稀土相对亏损, 轻稀土相对重稀土分馏程度较高的右倾型, 且负 Eu 异常明显。Nb、Ta、Sr、P、Ti 等元素亏损, Th、La 等富集。Th/U 值为  $2.71 \sim 6.95$  ( $4.65$ ), 与地壳的平均值 ( $3.8$ , Taylor & Mclennan, 1985) 相近; Sr/Ba 比值为  $0.21 \sim 0.42$ , 小于  $0.5$ , 表明源区岩石以陆壳组份为主。岩体中 Sr 含量为  $110 \times 10^{-6} \sim 175 \times 10^{-6}$

① 河北省区域地质矿产调查研究所, 2006. 新疆福海县阿阳拜矿区一带 1:50 000 区域地质矿产调查报告.

( $< 400 \times 10^{-6}$ ), Yb 含量为  $3.06 \times 10^{-6} \sim 3.36 \times 10^{-6}$  ( $> 2 \times 10^{-6}$ ), 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; 而样品高的 Y ( $> 15$ ) 和 Yb 含量、低的 La/Yb ( $< 20$ ) 表明源区不存在石榴子石残留, 也表明部分熔融位于石榴子石稳定区之上 (Defant *et al.*, 2002)。以上这些特征与前人研究中的具有低 Sr 高 Yb 地球化学特征的浙闽型花岗岩相似 (张旗等, 2006)。据实验岩石学资料, 此种特征花岗岩残留相为斜长石, 是熔体与斜长石处于平衡时形成的, 形成地壳厚度约 30~40 km, 压力  $< 0.8 \sim 1.0$  GPa (张旗等, 2010)。可见, 二厂房花岗岩体形成于正常厚度地壳, 形成压力较小。

实验岩石学也已经证明, 地壳中砂泥质岩的部分熔融通常产生化学成分偏酸性的过铝质花岗岩类, 而下地壳玄武质岩的部分熔融可以产生准铝质 I 型花岗岩类 (Patiño Douce, 1999)。二厂房花岗岩体为一套中钾钙碱性、准铝质系列岩石, 结合其出露的规模, 推测其应当为下地壳变基性岩熔融的产物。此外, 与变泥质岩与杂砂岩起源的熔体相比, 由变质基性岩熔融形成的岩浆具低  $Al_2O_3 / (Fe_2O_3^T + MgO + TiO_2)$  高  $Al_2O_3 + Fe_2O_3^T + MgO + TiO_2$  的特征 (Altherr *et al.*, 2000)。在源区类型判别图 (图 7) 中, 样品投影在角闪岩区域, 进一步佐证二厂房花岗岩体来源于基性下地壳。

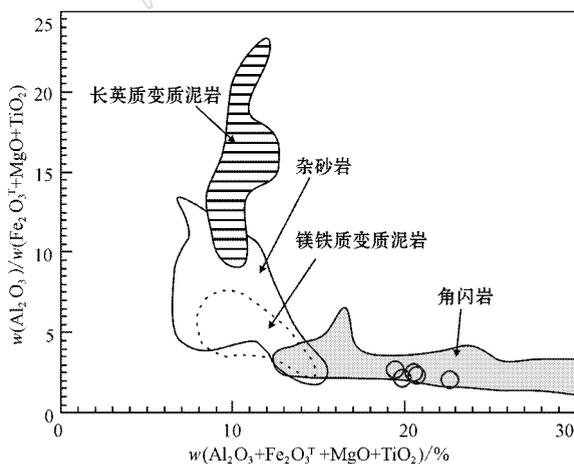


图 7 二厂房岩体源区类型判别图 (据 Ma *et al.*, 1998)

Fig. 7 Discrimination diagram of the source types of Erchangfang plutons (after Ma *et al.*, 1998)

区域上早中泥盆世侵入岩出露面积大, 除了广泛分布的闪长岩、花岗岩岩体外, 在可可托海、库卫等地还存在基性岩浆活动, 呈现出幔源岩浆活动的

印迹。此外, 该期岩体中普遍含有暗色包体, 二厂房岩体也不例外。笔者对苏普特和阿克布拉克两地的早泥盆世花岗岩岩体中的暗色闪长质包体进行了年龄测试, 获得其锆石 U-Pb 年龄分别为  $396.4 \pm 4.6$  Ma 和  $392.2 \pm 3.7$  Ma (未刊资料), 说明暗色包体与寄主岩石形成时代基本一致, 暗色包体的发育是壳幔岩浆发生混合作用的表现。因此, 二厂房岩体中发育的暗色包体表明由下地壳来源的酸性岩浆在上升过程中经历了幔源岩浆的混合, 这与前人利用 Sr-Nd 同位素资料得出新疆阿尔泰造山带早中中生代花岗岩类的物源为老陆壳和新生幔源物质相混合的结论一致 (童英等, 2007; 杨富全等, 2008)。

综上, 推断二厂房花岗岩体岩浆来源于正常基性下地壳的部分熔融, 岩浆在上升过程中受到了幔源岩浆的混染作用。

### 5.3 构造环境

前人对阿尔泰造山带泥盆纪构造环境存在不同认识, 有大陆边缘裂谷环境 (韩宝福等, 1991; 陈毓川等, 1996; 王京彬等, 1998) 与俯冲有关的岛弧或弧后盆地环境 (牛贺才等, 1999; Windley *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2004; 万博等, 2006; 周刚等, 2007c) 活动大陆边缘的陆弧环境 (许继峰等, 2001; 张海祥等, 2004; 王涛等, 2010) 活动大陆边缘的伸展环境 (Yuan *et al.*, 2007) 等多种不同认识, 但随着近年来研究的深入, 越来越多的学者认同阿尔泰泥盆纪时期处于活动大陆边缘, 岩浆活动与板块俯冲有关。

二厂房黑云母花岗闪长岩体具有钙碱性、准铝质特点, 轻稀土元素富集、重稀土元素相对较亏损, 微量元素 Cs、Rb、Th、U、La、Ce、Sm 等富集, Nb、Ta、Hf 等高场强元素亏损, Zr、Ti 等元素明显亏损, 这与该区 400 Ma 左右的花岗岩地球化学特征相一致 (童英等, 2007; 杨富全等, 2008)。另外, 微量元素特征值 Th/Nb 较高,  $Th \gg Ta$ ,  $Ta/Yb < 0.5$  及出现 Eu 负异常的特点 ( $Th/Nb = 0.53 \sim 1.21$ ,  $Th/Ta = 8.83 \sim 33.85$ ,  $Ta/Yb = 0.12 \sim 0.25$ ,  $\delta Eu = 0.48 \sim 0.65$ ), 也表现出与俯冲带有关的陆缘弧岩浆岩相一致的地球化学特点 (Condie *et al.*, 1986), 暗示其形成与俯冲带关系密切。微量元素构建的花岗岩 Sr/Y - Y (图 8a) 和 Rb - (Y + Nb) (图 8b) 构造环境判别图解也显示了同样的结果。前人研究结果表明, 同时期火山岩也具有俯冲带活动大陆边缘特征 (陈汉林等, 2006; 丛峰等, 2007)。另外, 龙晓平等 (2008) 通过对

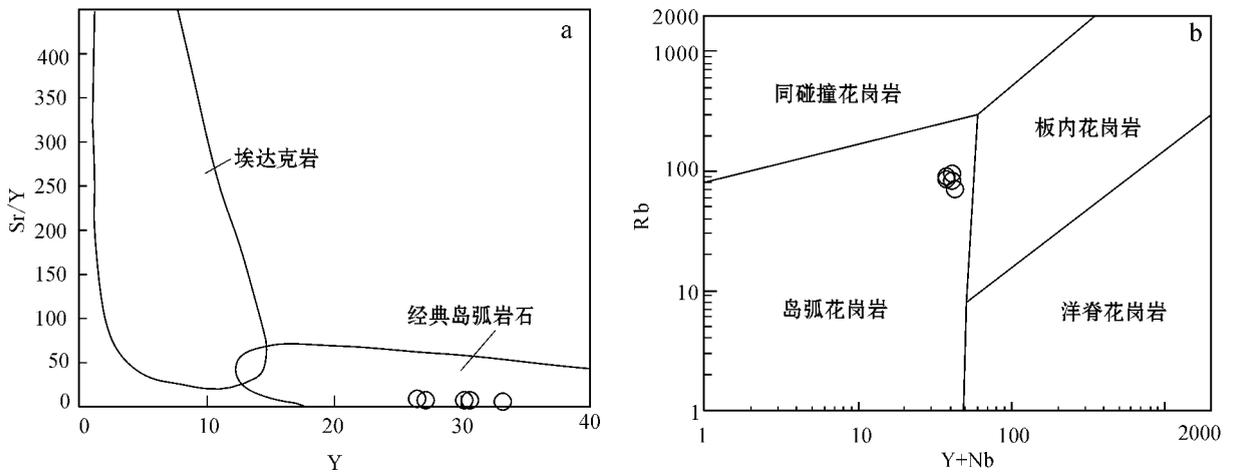


图 8 二厂房岩体的微量元素构造环境判别图(底图 a 据 Castillo *et al.*, 2006; b 据 Pearce, 1984)

Fig. 8 Tectonic setting discriminant plots of trace elements for Erchangfang plutons (a after Castillo *et al.*, 2006; b after Pearce, 1984)

阿尔泰山南缘泥盆纪地层浅变质碎屑沉积岩地球化学特征、源区物质年代学及铅同位素组成研究,认为其形成于活动大陆边缘构造环境。

研究表明,古亚洲洋在早古生代广泛分布于中亚造山带和中国新疆北部地区,并分隔西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块(肖序常等, 1992; 胡霏琴等, 2006)。造山带蛇绿岩是古洋壳存在的物质记录,新疆北部地区自北向南发育额尔齐斯蛇绿混杂岩带、扎河坝-阿尔曼太蛇绿混杂岩带和卡拉麦里蛇绿混杂岩带等。其中后两条蛇绿混杂岩带出露良好,蛇绿岩组分较齐全,研究程度较高,形成时代已被确定为早古生代(何国琦等, 2001; 肖文交等, 2006)。最近对额尔齐斯蛇绿混杂岩带在青河县境内的玛音鄂博蛇绿构造混杂岩带中的斜长角闪岩的锆石 U-Pb 年龄研究显示为早志留世(437 ± 12 Ma)(张越等, 2012),具有大洋拉斑玄武岩特征(N-MORB 型),这表明在早古生代时期西伯利亚板块南部确实存在古亚洲洋。大洋大致从晚寒武世开始向北俯冲于阿尔泰微大陆之下(Windley *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2006)随着古亚洲洋持续的向北俯冲作用,洋壳板块变质脱水,消减洋壳及地幔楔发生部分熔融形成基性岩浆,上涌的基性岩浆携带高热底侵于下地壳,使地壳部分熔融,并发生壳幔混合作用,形成大规模 415~380 Ma 的弧岩浆岩(牛贺才等, 2006; 王涛等, 2010)二厂房花岗岩体正是于此阶段形成的岩浆上侵就位的产物。

## 6 结论

(1)阿尔泰山南缘造山带可可托海地区二厂房岩体主要由黑云母花岗闪长岩组成,其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 398.0 ± 3.5 Ma(MSWD = 1.3),形成于早中泥盆世。

(2)阿尔泰山南缘造山带二厂房花岗岩形成于陆缘弧构造环境,是洋壳俯冲过程中因俯冲流体的加入导致地幔发生部分熔融而产生的基性岩浆底侵下地壳,使基性的下地壳熔融,二者发生机械混合作用下的产物,与古亚洲洋持续的向北俯冲作用有关。

致谢 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试和岩石地球化学数据分析分别得到了西北大学大陆动力学国家重点实验室柳小明博士和咸阳核工业二〇三研究所分析测试中心林桂芝工程师的大力支持和热心帮助;两位匿名评审人提出了诸多宝贵而中肯的意见,在此一并表示衷心的感谢!

## References

Altherr R, Holl A, Hegner E, *et al.* 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 50: 51~73.

Anderson T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do

- not report 204Pb[ J ]. *Chemical Geology*, 19( 1~2 ): 59~79.
- Cai Keda, Sun Min, Yuan Chao, *et al.* 2010. Geochronological and geochemical study of mafic dykes from the northwest Chinese Altai: Implications for petrogenesis and tectonic evolution[ J ]. *Gondwana Res.*, 18( 4 ): 638~652.
- Castillo P R. 2006. An overview of adakites petrogenesis[ J ]. *Chinese Science Bulletin*, 51: 257~268.
- Chai Fengmei, Dong Lianhui, Yang Fuquan, *et al.* 2010. Age, geochemistry and petrogenesis of Tiemierte granites in the Kelang basin at the southern margin of Altai, Xinjiang[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 26( 2 ): 377~386( in Chinese with English abstract ).
- Chai Fengmei, Mao Jingwen, Dong Lianhui, *et al.* 2009. Geochronology and genesis of the meta-rhyolites in the Kangbutiebao Formation from the Kelang basin at the southern margin of the Altai, Xinjiang[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 25( 6 ): 1403~1415( in Chinese with English abstract ).
- Chen Hanlin, Yang Shufeng, Li Zilong, *et al.* 2006. Geochemistry and tectonic setting of early Late Paleozoic felsic volcanic rocks from the Altai orogenic belt, North Xinjiang[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 80( 1 ): 38~42( in Chinese with English abstract ).
- Chen Yuchuan, Ye Qingtong, Feng Jing, *et al.* 1996. Ore-forming Conditions and Metallogenic Prognosis of the Ashele Copper-zinc Metallogenic Belt, Xinjiang, China[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1~33( in Chinese ).
- Condie K C. 1986. Geochemistry and tectonic setting of early proterozoic supracrustal rocks in the southwestern United States[ J ]. *Journal of Geology*, 94: 845~864.
- Cong Feng, Tang Hongfeng, Su Yuping, *et al.* 1996. Geochemistry and tectonic setting of Devonian rhyolites in southern Altai, Xinjiang, northwest China[ J ]. *Geotectonica et Metallogenia*, 31( 3 ): 359~364( in Chinese with English abstract ).
- Defant M J, Xu J F, Kepmhinskas P, *et al.* 2002. Adakites: some variations on a theme[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 18: 129~142.
- Dong Yongguan, Zhang Chuanlin, Zhou Gang, *et al.* 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Keketale granite body in Altai metallogenic belt, Xinjiang[ J ]. *Resource Survey & Environment*, 33( 1 ): 16~21( in Chinese with English abstract ).
- Dostal J and Chatterjee A K. 2000. Contrasting behaviour of Nb/Ta and Zr/Hf ratios in a peraluminous granitic pluton Nova Scotia, Canada[ J ]. *Chem. Geol.*, 163: 207~218.
- Geng Xinxia, Yang Fuquan, Chai Fengmei, *et al.* 2012. LA-ICP-MS U-Pb dating of volcanic rocks from Dadonggou ore district on southern margin of Altai in Xinjiang and its geological implications[ J ]. *Mineral Deposits*, 31( 5 ): 1119~1131( in Chinese with English abstract ).
- He Guoqi, Han Baofu, Yue Yongjun, *et al.* 1990. Tectonic division and crustal evolution of Altai orogenic belt in China[ A ]. *Geoscience of Xinjiang*[ C ]. Beijing: Geological Publishing House, ( 2 ): 9~20( in Chinese ).
- He Guoqi and Li Maosong. 2001. A discussion on age and tectonic significance of ophiolite in eastern Junggar, Xinjiang[ J ]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 37( 6 ): 853~858( in Chinese with English abstract ).
- Hu Aiqin, Jahn B M, Zhang Guoxin, *et al.* 2000. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence, Part I. Isotopic characteristics of basement rocks[ J ]. *Tectonophysics*, 328: 15~51( in Chinese with English abstract ).
- Hu Aiqin, Zhang Guoxin, Chen Yibing, *et al.* 2006. Isotope Geochronology and Geochemistry for Major Geological Events of Continental Crustal Evolution of Xinjiang, China[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 162~198( in Chinese ).
- Li Jinyi, Xiao Wenjiao, Wang K Z, *et al.* 2003. Neoproterozoic-Paleozoic tectonostratigraphy, magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang, NW China[ A ]. Mao J W, Goldfarb S, Wang X *et al.* *Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altai and Tinanshan*[ C ]. IACOD Guidebook Series, 10: 31~74.
- Liu feng, Yang Fuquan, Mao Jingwen, *et al.* 2009. Study on chronology and geochemistry for Abagong granite in Altai orogen[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 25( 6 ): 1416~1425( in Chinese with English abstract ).
- Liu Guoren, Dong Lianhui, Gao Fuping, *et al.* 2010. LA-ICP-MS U-Pb zircon dating and geochemistry of the Devonian granites from the Middle Kelan River Valley of Altai in Xinjiang[ J ]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31( 4 ): 519~531( in Chinese with English abstract ).
- Liu Jianmin, Chen Bolin, Dong Shuwen, *et al.* 2009. Ages of Pseudotachylite and its wall rocks from the Keketuohai Ertai fault zone, Xinjiang, Northwest China[ J ]. *Geological Review*, 55( 4 ): 581~589( in Chinese with English abstract ).
- Liu Wei. 1990. Petrogenetic epochs and peculiarities of genetic types of granitoids in the Altai MTS, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China[ J ]. *Geotectonica et Metallogenia*, 14( 1 ): 44~56( in Chinese with English abstract ).
- Liu wei, Liu lijuan, Liu xiujin, *et al.* 2010. Age of the Early Devonian Kangbutiebao Formation along the southern Altai Mountain and its northeastern extension[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 26( 2 ): 387~400( in Chinese with English abstract ).
- Long Xiaoping, Yuan Chao, Sun Ming, *et al.* 2008. Geochemical characteristics and sedimentary environments of Devonian low metamorphic clastic sedimentary rocks in the southern margin of the Chinese Altai, North Xinjiang[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 24( 4 ): 718~732( in Chinese with English abstract ).
- Ludwig K R. 2003. Isoplot/Ex version 2. 49. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[ A ]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication[ C ]. 1a: 1~56.

- Ma Changqian, Li Z C, Ehlers C, *et al.* 1998. A post-collisional magmatic plumbing system: Mesozoic granitoid plutons from the Dabieshan high pressure and ultra high pressure metamorphic zone, east central China [J]. *Lithos*, 45: 431-456.
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination in of granitoids [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1: 635-643.
- Niu Hecai, Xu Jifeng, Yu Xueyuan, *et al.* 1999. Discovery of rich-Mg volcanic rock series and its geological implication [J]. *Chinese Science Bulletin*, 44(9): 1 002-1 004 (in Chinese).
- Niu Hecai, Yu Xueyuan, Xu Jifeng, *et al.* 2006. Late Paleozoic Volcanism and Associated Metallogenesis in the Altay Area, Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-82 (in Chinese).
- Patiño Douce A E. 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? [A]. Castro A, Fernandez C and Vigneresse L. *Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques* [J]. Geological Society of London Special Publication, 168: 55-75.
- Pearce J A. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of the granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 25: 956-983.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides for major and minor elements [J]. *Lithos*, 22: 246-263.
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism [J]. *Chemical Geology*, 184: 123-138.
- Sengör A M C, Natal'in B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia [J]. *Nature*, 364: 299-307.
- Sun Guihua, Li Jinyi, Yang Tiannan, *et al.* 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating of two linear granite plutons in southern Altay Mountains and its tectonic implications [J]. *Geology in China*, 36(5): 976-987 (in Chinese with English abstract).
- Sun Min, Long Xiaoping, Cai Keda, *et al.* 2009. Early Paleozoic ridge subduction in the Chinese Altai: Insight from the abrupt change in zircon Hf isotopic compositions [J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 39(7): 935-948.
- Sun Min, Yuan Chao, Xiao Wenjiao, *et al.* 2008. Zircon U-Pb and Hf isotopic study of gneissic rocks from the Chinese Altai: Progressive accretionary history in the early to middle Palaeozoic [J]. *Chemical Geology*, 247: 352-383.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [A]. Sunders A D and Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins* [C]. Geological Society Special Publication, 42: 313-345.
- Taylor S R and Mclennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* [M]. Blackwell: Oxford Press, 1-312.
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, *et al.* 2005. Zircon U-Pb age of Tielieke pluton in the western Altai orogen and its implications [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 26: 74-77 (in Chinese with English abstract).
- Tong Ying. 2006. Geochronology, Origin of Late Paleozoic Granitoids from the Altai Orogen in China and Their Geological Significance [D]. Chinese Academy of Geological Sciences, 12-101 (in Chinese).
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, *et al.* 2007. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implication [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1 933-1 944 (in Chinese with English abstract).
- Vavra G, Gebauer D and Schmid R. 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): an ion microprobe (SHRIMP) study [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 122: 337-358.
- Wan Bo and Zhang Lianchang. 2006. Sr-Nd-Pb isotope geochemistry and tectonic setting of Devonian polymetallic metallogenic belt on the Southern margin of Altaid, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 145-152 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jingbin, Qin Kezhang, Wu Zhiliang, *et al.* 1998. Volcanic Exhalative Sedimentary Lead-Zinc Deposits in the Southern Margin of the Altai, Xinjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-210 (in Chinese).
- Wang Tao, Hong Dawei, Jahn Borming, *et al.* 2006. Timing, Petrogenesis, and Setting of Paleozoic Synorogenic intrusions from the Altai Mountains, Northwest China: implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen [J]. *Journal of Geology*, 114: 735-751.
- Wang Tao, Hong Dawei, Tong Ying, *et al.* 2005. Zircon U-Pb SHRIMP age and origin of post-orogenic Lamazhao granitic pluton from Altai orogen: Its implications for vertical continental growth [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 640-650 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Tong Ying, Li Shan, *et al.* 2010. Spatial and temporal variations of granitoids in the Altai orogen and their implications for tectonic setting and crustal growth: perspectives from Chinese Altay [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 595-618 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang, *et al.* 2002. Metallogenic Series and Regularities in Altai Metallogenic Province [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1-493 (in Chinese).
- Wang Zhonggang and Zhao Zhenhua. 1990. Origin and evolution of the granitoids in Altai [A]. *Geoscience of Xinjiang* (No. 1) [C] (in Chinese).
- Wang Zhonggang, Zhao Zhenhua, Zou Tianren, *et al.* 1998. Geo-

- chemistry of Granitoids in Altay, Xinjiang [ M ]. Beijing : Science Press , 1 ~ 15X ( in Chinese ).
- Wang Zhonggang , Zhu Xiaoqing , Bi Hua , *et al.* 2006. Granites in Xinjiang , China [ M ]. Beijing : Geological Publishing House , 133 ~ 158 ( in Chinese ).
- Windley B F , Krner A , Guo J H , *et al.* 2002. Neoproterozoic to palaeozoic geology of the Altai orogen , NW China : New zircon age data and tectonic evolution [ J ]. *The Journal of Geology* , 110 : 719 ~ 737.
- Xiao Wenjiao , Windley B F , Badarch G , *et al.* 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids : implications for the growth of Central Asia [ J ]. *Journal of the Geological Society* , 161 : 339 ~ 342.
- Xiao Wenjiao , Windley B F , Yan Quanren , *et al.* 2006. SHRIMP zircon age of the Aermantai ophiolite in the North Xinjiang area , China and its tectonic implications [ J ]. *Acta Geologica Sinica* , 80( 1 ) : 32 ~ 37 ( in Chinese with English abstract ).
- Xiao Xuchang , Tang Yaoqing , Feng Yimin , *et al.* 1992. Tectonic Evolution of the Northern Xinjiang and Its Adjacent Region , Xinjiang [ M ]. Beijing : Geological Publishing House , 1 ~ 171 ( in Chinese ).
- Xu Lingang , Mao Jingwen , Yang Fuquan , *et al.* 2010. Geology , geochemistry and age constraints on the Mengku skarn iron deposit in Xinjiang Altai , NW China [ J ]. *Journal of Asian Earth Sciences* , 39 ( 5 ) : 423 ~ 440.
- Yang Fuquan , Mao Jingwen , Yan Shenhao , *et al.* 2008. Geochronology , geochemistry and geological implications of the Mengku synorogenic plagiogranite pluton in Altay , Xinjiang [ J ]. *Acta Geologica Sinica* , 82( 4 ) : 485 ~ 499 ( in Chinese with English abstract ).
- Yu Shuyan , Xu Yingxia , Guo Zhenglin , *et al.* 2011. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for granite and meta-andesitic tuff and its geological [ J ]. *North Western Geology* , 44( 2 ) : 15 ~ 24 ( in Chinese with English abstract ).
- Yuan Chao , Sun Min , Xiao Wenjiao , *et al.* 2007. Accretionary orogenesis of the Chinese Altai : Insights from Paleozoic granitoids [ J ]. *Chemical Geology* , 242 : 22 ~ 39.
- Yuan Feng , Zhou Taofa and Yue Shucang. 2001. The ages and the genetic types of the granites in the nurt area , Alta [ J ]. *Xinjiang Geology* , 19( 4 ) : 292 ~ 296 ( in Chinese ).
- Yuan Honglin , Gao Shan , Liu Xiaoming , *et al.* 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry [ J ]. *Geostandards and Geoanalytical Research* , 28( 3 ) : 353 ~ 370.
- Zeng Qiaosong , Chen Guanghao , Wang He , *et al.* 2007. Geochemical characteristic , SHRIMP zircon U-Pb dating and tectonic implication for granitoids in Chonghuer basin , Altai , Xinjiang [ J ]. *Acta Petrologica Sinica* , 23( 8 ) : 1 921 ~ 1 932 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Haixiang , Niu Hecai , Hiroaki Sato , *et al.* 2004. Late Paleozoic adakite and Nb-enriched basalt from northern Xinjiang : Evidence for the southward subduction of the Paleo-Asian Ocean [ J ]. *Geological Journal of China Universities* , 10( 1 ) : 106 ~ 113 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Haixiang , Niu Hecai , Teradak , *et al.* 2003. Zircon SHRIMP U-Pb dating on plagiogranite from Kuerti ophiolite in Altay , north Xinjiang [ J ]. *China Sci. Bull.* , 48( 12 ) : 1 350 ~ 1 354.
- Zhang Jinhong , Wang Jingbin and Ding Rufu. 2000. Characteristics and U-Pb ages of zircon in metavolcanics from the Kangbutiebao Formation in the Altay orogen , Xinjiang [ J ]. *Regional Geology of China* , 19( 3 ) : 281 ~ 287 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Qi , Wang Yan , Li Chengdong , *et al.* 2006. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implication [ J ]. *Acta Petrologica Sinica* , 22( 9 ) : 2 249 ~ 2 269 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Qi , Jin Weijun , Li Chengdong , *et al.* 2010. Revisiting the new classification of granitic rocks based on whole-rock Sr and Yb contents : Index [ J ]. *Acta Petrologica Sinica* , 26( 4 ) : 985 ~ 1 015 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Yue , Xu Xueyi , Chen Junlu , *et al.* 2012. Geological characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Mayinebo ophiolite in Altay orogenic belt [ J ]. *Geological Bulletin of China* , 31( 6 ) : 834 ~ 842 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Zhaochong , Yan Shenhao , Chen Bolin , *et al.* 2006a. SHRIMP U-Pb zircon dating of the eastern Junggar subduction granite , Xinjiang , China [ J ]. *Chinese Science Bulletin* , 51( 13 ) : 1 565 ~ 1 574 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Zhaochong , Yan Shenhao , Chen Bolin , *et al.* 2006b. 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.
- Zhang Zhixin , Yang Fuquan , Chai Fengmei , *et al.* 2011. Study on chronology and genesis of granite in the Wutubulake Iron deposit district , southern margin of Altay [ J ]. *Geological Review* , 57( 3 ) : 350 ~ 365 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhou Gang , Qin Jihua , Zhang Zhaochong , *et al.* 2007c. The discovery of bimodal volcanics in supate area of Fuyun county , Xinjiang , and its geological significance [ J ]. *Geological Review* , 53( 3 ) : 337 ~ 348 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhou Gang , Zhang Zhaochong , Luo Shibin , *et al.* 2007a. Confirmation of high temperature strongly peraluminous Mayin 'ebo granites in the south margin of Altay , Xinjiang : age , geochemistry and tectonic implications [ J ]. *Acta Petrologica Sinica* , 23( 8 ) : 1 909 ~ 1 920 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhou Gang , Zhang Zhaochong , Wang Xinkun , *et al.* 2007b. Zircon U-Pb SHRIMP and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  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).

## 附中文参考文献

柏美祥, 吴裕文, 范福田, 等. 1985. 二台断裂的新活动[A]. 丁国瑜. 新疆富蕴地震断裂带[C]. 北京: 地震出版社, 142~162.

柴凤梅, 董连慧, 杨富全, 等. 2010. 阿尔泰山缘克朗盆地铁木尔特花岗岩体年龄、地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 26(2): 377~386.

柴凤梅, 毛景文, 董连慧, 等. 2009. 阿尔泰山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.

陈汉林, 杨树锋, 厉子龙, 等. 2006. 阿尔泰山晚古生代早期长英质火山岩的地球化学特征及构造背景[J]. 地质学报, 80(1): 38~42.

陈毓川, 叶庆同, 冯京. 1996. 阿舍勒铜锌成矿带成矿条件和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 1~85.

丛峰, 唐红峰, 苏玉平, 等. 2007. 阿尔泰山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): 359~364.

董永观, 张传林, 周刚, 等. 2012. 新疆阿尔泰山成矿带可可塔勒花岗岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 资源调查与环境, 33(1): 16~21.

耿新霞, 杨福全, 柴凤梅, 等. 2012. 新疆阿尔泰山缘大东沟铅锌矿区火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 矿床地质, 31(5): 1119~1131.

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[A]. 新疆地质科学(第3辑) [C]. 北京: 地质出版社, 89~100.

何国琦, 韩宝福, 岳永君, 等. 1990. 中国阿尔泰山造山带的构造分区和地壳演化[A]. 新疆地质科学(第2辑) [C]. 北京: 地质出版社, 9~20.

何国琦, 李茂松. 2001. 论新疆东准噶尔蛇绿岩的时代及其意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 37(6): 852~858.

胡霏琴, 张国新, 陈义兵, 等. 2006. 中国新疆地壳演化主要地质事件年代学和地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 162~198.

刘锋, 杨富全, 毛景文, 等. 2009. 阿尔泰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.

刘国仁, 董连慧, 高福平, 等. 2010. 新疆阿尔泰山克朗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[J]. 地球学报, 31(4): 519~531.

刘建民, 陈柏林, 董树文, 等. 2009. 新疆富蕴可可托海-二台断裂带中假玄武玻璃及其围岩的年代学研究[J]. 地质论评, 55(4): 581~589.

刘伟. 1990. 中国阿尔泰山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.

刘伟, 刘娟娟, 刘秀金, 等. 2010. 阿尔泰山缘早泥盆世康布铁堡组的 SIMS 锆石 U-Pb 年龄及其向东向北延伸的范围[J]. 岩石学报, 26(2): 387~400.

龙晓平, 袁超, 孙敏, 等. 2008. 北疆阿尔泰山缘泥盆系浅变质碎屑沉积岩地球化学特征及其形成环境[J]. 岩石学报, 24(4): 718~732.

牛贺才, 许继峰, 于学元, 等. 1999. 新疆阿尔泰山富镁火山岩系的发现及其地质意义[J]. 科学通报, 44(9): 1002~1004.

牛贺才, 于学元, 许继峰, 等. 2006. 中国新疆阿尔泰山晚古生代火山作用及成矿[M]. 北京: 地质出版社.

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

孙桂华, 李锦轶, 杨天南, 等. 2009. 阿尔泰山脉南部线性花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 36(5): 976~987.

孙敏, 龙晓平, 蔡克大, 等. 2009. 阿尔泰山早古生代末期洋中脊俯冲: 锆石 Hf 同位素组成突变的启示[J]. 中国科学, 39(7): 935~948.

童英. 2006. 阿尔泰山造山带晚古生代花岗岩年代学、成因及其地质意义[D]. 中国地质科学院, 12~101.

童英, 王涛, 洪大卫, 等. 2005. 阿尔泰山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.

童英, 王涛, 洪大卫, 等. 2007. 中国阿尔泰山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.

万博, 张连昌. 2006. 新疆阿尔泰山缘泥盆纪多金属成矿带 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学与构造背景探讨[J]. 岩石学报, 22(1): 145~152.

王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 2002. 阿尔泰山成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京: 原子能出版社, 114~185.

王广耀, 许培春. 1983. 新疆阿勒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, 等. 1998. 阿尔泰山南缘火山喷流沉积型铅锌矿床[J]. 北京: 地质出版社, 18~60.

王涛, 童英, 李舳, 等. 2010. 阿尔泰山造山带花岗岩时空演变、构造环境及地壳生长意义——以中国阿尔泰山为例[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 595~618.

王涛, 洪大卫, 童英, 等. 2005. 中国阿尔泰山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. 1990. 阿尔泰山花岗岩的成因类型与演化[A]. 新疆地质科学(第1辑) [C]. 北京: 地质出版社.

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

- 王中刚,朱笑青,毕华,等. 2006. 中国新疆花岗岩[M]. 北京:地质出版社,133~158.
- 吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报,49(16):1589~1604.
- 肖文交, Windley B F, 闫全人, 等. 2006. 北疆地区阿尔曼太蛇绿岩锆石 SHRIMP 年龄及其大地构造意义[J]. 地质学报,80(1):32~37.
- 肖序常,汤耀庆,冯益民,等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京:地质出版社,1~171.
- 许继峰,梅厚钧,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[J]. 科学通报,46(8):684~687.
- 杨富全,毛景文,闫升好,等. 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.
- 于淑艳,许英霞,郭正林,等. 2011. 新疆苏普特背斜花岗岩和变安山质凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学特征及意义[J]. 西北地质,44(2):15~24.
- 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[A]. 全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要[C]. 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[J]. 新疆地质科学,(2):72~85.
- 曾乔松,陈广浩,王核,等. 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[J]. 岩石学报,23(8):1921~1932.
- 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[J]. 高校地质学报,10(1):106~113.
- 张海祥,牛贺才,Kentaro Terada,等. 2003. 新疆北部阿尔泰地区库尔特蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究[J]. 科学通报,48(12):1350~1354.
- 张进红,王京彬,丁汝福. 2000. 阿尔泰造山带康布铁堡组变质火山岩锆石特征和铀-铅年龄[J]. 中国区域地质,19(3):281~287.
- 张旗,王焰,李承东,等. 2006. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义[J]. 岩石学报,22(9):2249~2269.
- 张旗,金惟俊,李承东,等. 2010. 再论花岗岩按照 Sr-Yb 的分类:标志[J]. 岩石学报,26(4):985~1015.
- 张越,徐学义,陈隽璐,等. 2012. 阿尔泰地区玛音鄂博蛇绿岩的地质特征及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报,31(6):834~842.
- 张招崇,闫升好,陈柏林,等. 2006. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年[J]. 科学通报,55(13):1565~1574.
- 张志欣,杨富全,柴凤梅,等. 2011. 阿尔泰南缘乌吐布拉克铁矿区花岗质岩石年代学及成因[J]. 地质论评,57(3):350~365.
- 赵振华,王中刚,邹天人,等. 1993. 阿尔泰花岗岩类 REE 及 O、Pb、Sr、Nd 同位素组成及成岩模型[A]. 涂光炽. 新疆北部固体地球科学新进展[C]. 北京:科学出版社,239~266.
- 周刚,秦纪华,张招崇,等. 2007c. 新疆富蕴县苏普特一带双峰式火山岩的发现及其地质意义[J]. 地质论评,53(3):337~348.
- 周刚,张招崇,罗世宾,等. 2007a. 新疆阿尔泰山南缘玛音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,等. 2007b. 新疆玛音鄂博断裂带中花岗质糜棱岩锆石 U-Pb SHRIMP 和黑云母  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄及意义[J]. 地质学报,81(3):359~369.