

新疆阿尔泰大东沟乌雷库-克朗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义

曾祥武^{1,2}, 刘家军¹

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 武警黄金第八支队, 新疆 乌鲁木齐 830057)

摘要: 乌雷库-克朗岩体正长花岗岩和花岗闪长岩中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为 $(404 \pm 2.7) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.24$) 和 $(410.5 \pm 2.1) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.3$), 属早泥盆世早期岩浆活动的产物, 为阿尔泰造山带在 400Ma 有一次强烈的岩浆侵入活动提供了新依据, 限定了康布铁堡组时代早于 410Ma。岩石具高硅 (72.22%~78.33%)、高碱 (5.76%~9.24%)、高 Al_2O_3 (12.07%~14.30%)、低 P_2O_5 (0.02%~0.1%) 和 $\text{FeO}+\text{MgO}$ (0.33%~3.50%), 高 A/NCK 值 (1.04~1.47), 低 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 值 (均值 <0.3) 特点, 属过铝质花岗岩。富 Rb、Th、U、K, 贫 Ba、Sr、P、Ti, 高场强元素 Nb、Ta 的含量偏低。亲 Fe 元素 (V、Co) 的含量低, 也指示岩体分异演化程度高。岩石的轻稀土富集, 并具有 $\text{Eu}(\delta\text{Eu}=0.05\sim0.67)$ 的显著负异常, 显示了岛弧花岗岩的地球化学特征。结合阿尔泰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, 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。

关键词: 花岗岩; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; 乌雷库-克朗岩体; 阿尔泰

中图分类号: P597

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2017)02-0037-12

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age, Geochemistry of the Wuleiku-Kelang Pluton from the Dadonggou Area of Altay in Xinjiang and Its Tectonic Implications

ZENG Xiangwu^{1,2}, LIU Jiajun¹

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing),
Beijing 100083, China; 2. No. 8 Gold Geological Party of Chinese People's Armed
Police Force, Urumqi 830057, Xinjiang, China)

Abstract: LA-ICP-MS zircon U-Pb ages and whole rock geochemical data about the Wuleiku-Kelang pluton from the Dadonggou area of Altay in Xinjiang have been reported in this paper. Zircons from granodiorite and syenogranite have well-defined oscillatory zoning, which yielded the mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of $(404 \pm 2.7) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.24$) and $(410.5 \pm 2.1) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.3$), respectively, indicating that the Kangbutiebao Formation was formed prior to 410Ma. The granitoid rocks have high SiO_2 (ranging from 72.22% to 78.33%), total alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) (changing from 5.76% to 9.24%) and Al_2O_3 (varying from 12.07% to 14.30%), and low P_2O_5 (ranging from 0.02% to 0.1%) and $\text{MgO}+\text{FeO}$ (changing from 0.33% to 3.50%). In addition, they are characterized by high A/CNK values (varying from 1.04 to 1.47).

收稿日期: 2016-11-04; 修回日期: 2017-02-17

基金项目: 中国地质调查局“西北华北重点地区地质矿产调查评价”(12120113071900)项目

作者简介: 曾祥武(1977-), 男, 湖北京山人, 高级工程师, 主要从事多金属矿产勘查工作和区矿调工作。E-mail: tzxw126@126.com

and low $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ ratios (average ratios are less than 0.3), which have been defined as calc-alkaline per-aluminous granitoid rocks. These rocks have obvious negative anomalies of Ba, Sr, P, Ti, Nb, Ta and Eu ($\delta\text{Eu}=0.05\sim0.67$) and obvious enrichment of LREE, Rb, Th, U and K, resembling that these granitoid rocks were formed in the volcano arc settings. Combined with the tectonic evolution of the southern margin of Altay, it's suggested that these granitoid rocks were generated by partial melting of the crust in an active continental margin, with the residues of plagioclase, ilmenite and apatite.

Keywords: granite; LA-ICP-MS U-Pb zircon dating; geochemistry; Wuleiku-Kelang Pluton; Altay

阿尔泰造山带是中亚造山带的典型地区,是由一系列大陆块体、岛弧和增生杂岩构成的增生型造山带(SENGÖR et al., 1993; XIAO et al., 2004)。带内花岗岩类分布广泛,占基岩出露区的 50% 以上。前人对其形成时代、成因和构造环境进行了大量研究和探讨(王广耀等, 1983; 芮行健等, 1984; 邹天人等, 1988; 刘伟, 1990; 王中刚等, 1998; 袁峰等, 2001; 王登红等, 2002; WINDLEY et al., 2002; 袁超等, 2005), 特别是对花岗岩形成时代的研究又取得了一些新的进展(王涛等, 2005, 2008; WANG et al., 2006; ZHANG et al., 2006; 童英等, 2005, 2006, 2007; SUN et al., 2006; 曾乔松等, 2007; 周刚等, 2007a, 2007b; YUAN et al., 2007; 刘锋等, 2008; 杨富全等, 2008; 刘国仁等, 2010; 李永等, 2012; 李月臣等, 2012; 董连慧, 2012), 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。

本次研究的乌雷库-克朗岩体依据原阿克萨拉幅 1:20 万地质图显示为一面积巨大的带状岩基, 属于华力西中晚期侵入体。为提供同位素年代学方面的更多精确信息, 笔者以详细野外地质调查为基础, 对其锆石 U-Pb 年代学、元素地球化学进行了研究。据此, 探讨岩浆成因、构造意义等相关问题, 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 区域构造背景及岩体地质

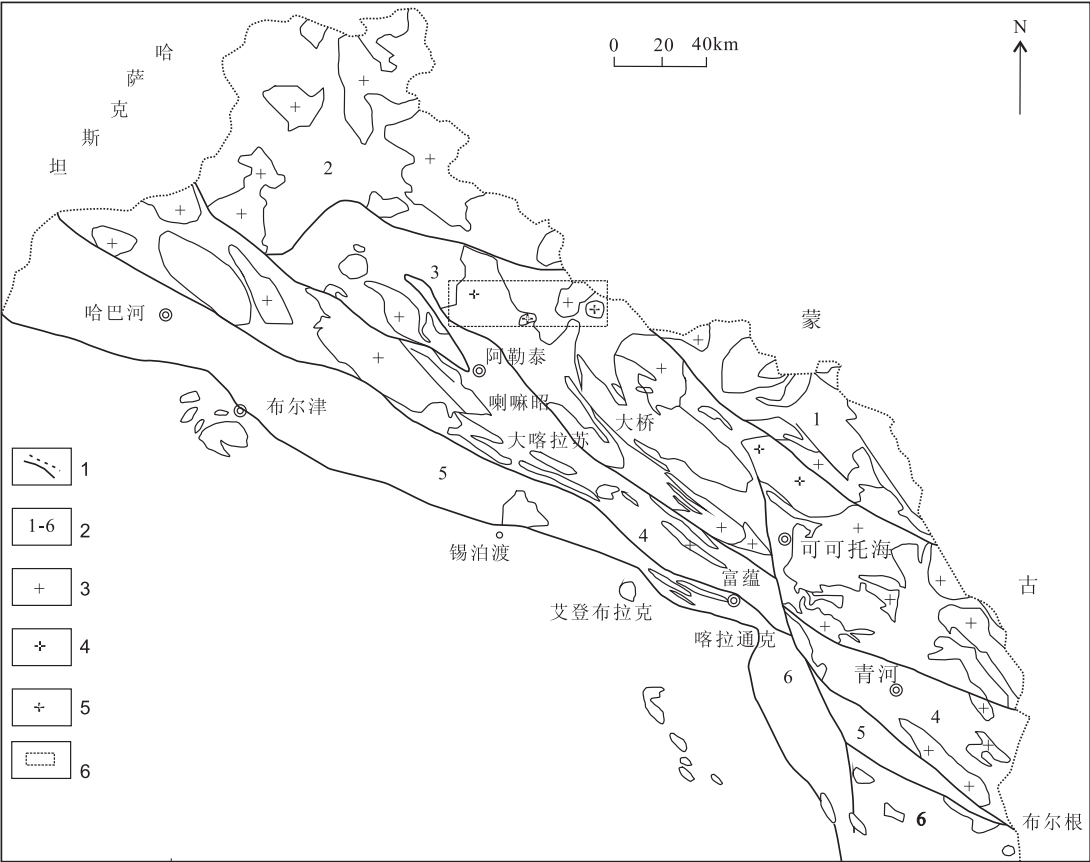
阿尔泰造山带位于西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块之间, 呈北西-南东向横贯于中、俄、哈、蒙 4 国, 为典型的显生宙增生造山带(SENGÖR et al., 1993), 位于中亚造山带的东南部。在大地构造上, 中国阿尔泰造山带位于额尔齐斯-布尔根板块缝合带以北的西伯利亚板块, 包括北阿尔泰早古生

代陆缘活动带(包括①诺尔特泥盆纪-石炭纪上叠火山-沉积盆地、②喀纳斯-可可托海古生代岩浆弧)、③南阿尔泰晚古生代活动陆缘(克兰泥盆纪-石炭纪弧后盆地、④卡尔巴-纳雷姆石炭纪-二叠纪岩浆弧和⑤西卡尔巴石炭纪弧前盆地)(WINDLEY et al. 2002; 何国琦等, 2004)(图 1)。

本次研究的乌雷库-克朗岩体位于新疆阿尔泰大东沟两侧。岩体大地构造位于北阿尔泰喀纳斯-可可托海古生代岩浆弧中, 出露主要地层有震旦系一下寒武统喀纳斯群(Z_{C_1K})、下泥盆统康布铁堡组(D_1k)。花岗岩类广泛分布, 主要为早泥盆世的花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩、碱长花岗岩, 中泥盆世的细粒白云母二长花岗岩, 晚三叠世的二长花岗岩(图 2)。

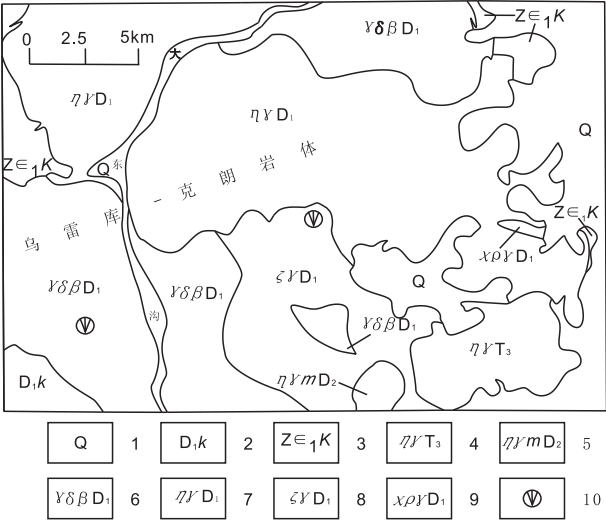
乌雷库-克朗岩体呈北西-南东向长条状展布, 位于震旦系一下寒武统喀纳斯群(Z_{C_1K})和下泥盆统康布铁堡组(D_1k)中, 向北西及南东延出研究区。岩体分 4 个侵入次, 第一侵入次为灰白色粗中粒黑云母花岗闪长岩; 第二侵入次为灰白色似斑状二长花岗岩; 第三侵入次为浅灰色正长花岗岩; 第四侵入次为灰白色碱长花岗岩。花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩侵入体形态一般呈长条状, 其长轴方向与区域构造线方向一致; 岩体均呈现出不同程度的交代结构, 条带状、眼球状、片麻状构造, 片麻理与围岩面理基本一致, 并见有长英质脉体顺片麻理注入。碱长花岗岩多呈岩枝、岩脉状产出, 接触界线普遍较为清晰。

灰白色粗中粒黑云母花岗闪长岩: 灰白色, 粗中粒结构, 块状构造, 岩石由长石、石英、黑云母等组成; 钾长石: 他形粒状-半自形板状, 具条纹, 粒径 $< 8.0\text{mm}$, 均匀分布, 15%; 斜长石: 半自形板状, 具聚片双晶, 粒径 $< 9.0\text{mm}$, 具较强绢云母化, 均匀分布, 50%; 石英: 不规则状, 粒径 $< 6.5\text{mm}$, 具细粒化、变形纹, 均匀分布, 30%; 黑云母: 片状, 片径 $< 5.0\text{mm}$, 具绿泥石化, 稀疏分布, 5%。其中含有细粒黑云母英云闪长岩包体。



1. 断裂;2. 块体;3. 早古生代花岗岩;4. 晚古生代花岗岩;5. 中生代花岗岩;6. 工作区
图 1 阿尔泰造山带区域地质及花岗岩分布略图(据何国琦等,2004)

Fig. 1 Geological sketch map of the Altay orogenic belt and the distribution of granites(HE Guoqi et al,2004)



1. 第四系;2. 康布铁堡组;3. 喀纳斯群;4,5,7. 二长花岗岩;6. 花岗闪长岩;8. 正长花岗岩;9. 碱长花岗岩;10. 同位素采样位置

图 2 研究区侵入岩分布简图

Fig. 2 The distribution of intrusive rocks in the study area

灰白色似斑状二长花岗岩:灰白色,似斑状结构,块状构造,岩石主要由长石、石英、黑云母等组成;钾长石:半自形板状,具格子双晶、条纹结构,粒径 $<7.0\text{mm}$,碎裂纹发育,均匀分布,42%。斜长石:半自形板状,聚片双晶,粒径 $<6.0\text{mm}$,具较强泥化、绢云母化、碎裂现象,均匀分布,33%。石英:他形粒状,粒径 $<4.0\text{mm}$,具细粒化、波状消光,均匀分布,22%。黑云母:片状,片径 $<5.0\text{mm}$,稀疏分布,3%。其中含有细粒黑云母英云闪长岩包体。

浅灰色正长花岗岩:浅灰色,变晶糜棱结构,半定向构造,岩石由长石、石英等组成;钾长石:半自形板状,具条纹,粒径 $<7.5\text{mm}$,在应力作用下具碎裂、粒化,均匀分布,63%;斜长石:半自形板状,聚片双晶,粒径 $<6.0\text{mm}$,具碎裂现象,12%;石英:他形粒状,粒径 $<5.0\text{mm}$,具变形纹、细粒化,半定向分布,22%;黑云母:片状,片径 $<4.0\text{mm}$,具细粒化,稀疏分布,3%。

灰白色中细粒碱长花岗岩:灰白色,中细粒结构,块状构造,主要由长石、石英等组成。钾长石:形不规则状,粒径多为 1.0~3.0mm,均匀分布,70%。斜长石:半自形板状,聚片双晶,边缘具钾化,粒径<3.0mm,稀疏分布,7%。石英:他形粒状,粒径<1.0mm,团块状分布,23%。黑云母:片状,片径<0.5mm,具绿泥石化,稀疏分布。岩石经混合岩化作用,部分长英质具细粒重结晶现象,呈细条带状分布。

2 样品概况及测试方法

样品由岩体南部到中部连续采集,其均为采自新鲜的岩体露头。其中定年样品来自粗-中粒黑云母花岗闪长岩和正长花岗岩中的锆石。具体采样位置见图 1,花岗闪长岩样品地理坐标为 48°03'01"N, 88°02'19"E,正长花岗岩样品地理坐标为 48°04'26"N, 88°11'32"E。锆石的 CL 图像分析在武汉上谱公司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耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)原位 U-Pb 定年在国土资源部西安地质调查检测中心完成。

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西安地质调查检测中心完成。主量元素用 Xios4.0kwX-荧光光谱仪,元素分析误差小于 2.5%,FeO 用湿化学分析测定,烧失量(LOI)在烘箱中经 1 000℃ 高温烘烤 90min 后称重获得;微量元素和稀土元素采用 ICP-MS 测定,多数微量元素的分析精度优于 5%。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。

3 锆石 U-Pb 年代学

用于定年的锆石颗粒多为浅褐色,半透明-透明,多呈半自形的长、短柱状、短板状或双锥状晶体锆石颗粒,晶棱及晶面清楚,粒度较小,长轴多变化于 100 μ m 左右,长短轴比一般约为 2:1~5:3。在阴极发光照片中,大部分锆石具有岩浆锆石平直对称的生长环带,为典型岩浆成因锆石,少数锆石含不透明包裹体或裂纹。本次分析选择没有亮边且震荡

环带发育部位测定,避开裂纹和包体(图 3、图 4)。

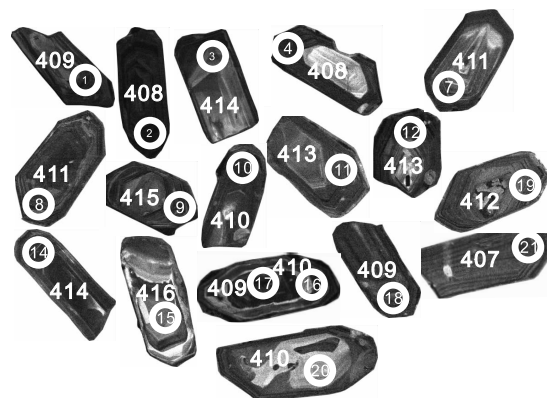


图 3 花岗闪长岩中锆石的阴极发光图像

Fig. 3 CL images of dated zircon crystal from granodiorite (scale: 100 μ m)

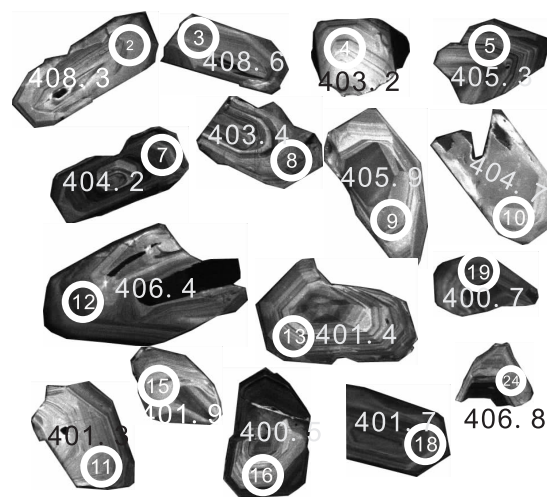


图 4 正长花岗岩中锆石的阴极发光图像

Fig. 4 CL images of dated zircon crystal from syenogranite (scale: 100 μ m)

通过透射光、反射光和阴极发光研究,选择粗中粒黑云母花岗闪长岩 18 个锆石颗粒和正长花岗岩中 16 个锆石颗粒进行 LA-ICP-MS U-Pb 分析,其结果列于表 1、表 2。粗中粒黑云母花岗闪长岩中锆石 Th/U 值为 0.3~0.6,大于 0.1,表明了锆石为岩浆成因。粗中粒黑云母花岗闪长岩中 18 个分析结果年龄变化范围较小,在误差范围内有一致的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 值,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $(410.5 \pm 2.1)\text{Ma}$ (MSWD=0.3)(图 5),代表了该岩体的形成年龄。

表 1 乌雷库-克朗岩体(花岗闪长岩)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分析结果表
Tab. 1 Zircon U-Pb LA-ICP-MS dating results of the WuLeKu-KeLang pluton(granodiorite)

点 号	元素含量及比值			同 位 素 比 值						年 龄					
	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	(1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	(1σ)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	(1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	(1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	(1σ)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	(1σ)
1	1 316	2 139	0.6	0.052 0	0.001 6	0.472 3	0.014 0	0.065 4	0.000 7	287	70	393	10	409	4
2	1 386	2 846	0.5	0.051 8	0.001 4	0.471 7	0.013 1	0.065 3	0.000 6	280	63	392	9	408	4
3	230	633	0.4	0.053 5	0.002 7	0.490 5	0.025 7	0.066 4	0.001 0	350	115	405	18	414	6
4	917	2 214	0.4	0.051 5	0.001 5	0.466 1	0.013 3	0.065 3	0.000 7	265	67	388	9	408	4
7	466	808	0.6	0.053 1	0.002 5	0.480 5	0.022 2	0.065 8	0.000 9	332	107	398	15	411	6
8	567	1 670	0.3	0.055 4	0.001 8	0.502 5	0.015 5	0.065 8	0.000 8	432	68	413	10	411	5
9	756	1 997	0.4	0.054 7	0.001 7	0.502 2	0.015 4	0.066 5	0.000 9	398	75	413	10	415	5
10	863	2 142	0.4	0.054 9	0.001 8	0.499 4	0.015 4	0.065 7	0.000 7	406	66	411	10	410	4
11	775	2 005	0.4	0.054 1	0.001 6	0.498 4	0.014 3	0.066 2	0.000 7	376	65	411	10	413	4
12	581	1 373	0.4	0.054 3	0.001 8	0.497 5	0.016 6	0.066 1	0.000 9	383	74	410	11	413	5
14	834	2 319	0.4	0.054 3	0.001 8	0.501 1	0.016 3	0.066 3	0.000 8	383	72	412	11	414	5
15	272	485	0.6	0.057 0	0.003 1	0.527 4	0.028 5	0.066 7	0.001 0	500	120	430	19	416	6
16	1 392	2 656	0.5	0.054 0	0.001 5	0.494 8	0.014 1	0.065 7	0.000 7	372	65	408	10	410	4
17	852	2 122	0.4	0.056 7	0.001 7	0.514 8	0.015 0	0.065 5	0.000 7	480	67	422	10	409	5
18	852	2 122	0.4	0.057 0	0.001 7	0.517 0	0.014 7	0.065 4	0.000 7	494	67	423	10	409	4
19	525	1 539	0.3	0.057 2	0.001 9	0.526 1	0.017 9	0.065 9	0.000 7	498	69	429	12	412	4
20	623	1 500	0.4	0.054 4	0.002 0	0.496 6	0.018 4	0.065 6	0.000 8	387	86	409	12	410	5
21	1 101	2 513	0.4	0.054 4	0.001 5	0.492 5	0.013 8	0.065 2	0.000 7	387	66	407	9	407	4

表 2 乌雷库-克朗岩体(正长花岗岩)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分析结果表
Tab. 2 Zircon U-Pb LA-ICP-MS dating results of the WuLeKu-KeLang pluton(syenogranite)

点 号	元素含量及比值			同 位 素 比 值						年 龄					
	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	(1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	(1σ)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	(1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	(1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	(1σ)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	(1σ)
2	540	397	1.4	0.054 8	0.002	0.494	0.016	0.065	0.002	404.1	66	407.5	11.1	408.3	5.5
3	532	365	1.5	0.054 5	0.002	0.492	0.016	0.065	0.002	392.3	66	406	11.1	408.6	5.5
4	833	665	1.3	0.055 9	0.002	0.497	0.016	0.065	0.002	447.8	63	409.9	10.8	403.2	5.4
5	745	682	1.1	0.054 6	0.002	0.488	0.017	0.065	0.002	395.8	70	403.7	11.5	405.3	5.5
7	1 456	1 093	1.3	0.057 4	0.001	0.512	0.015	0.065	0.002	507.5	54	419.9	10.0	404.2	5.2
8	969	796	1.2	0.053 3	0.001	0.474	0.014	0.065	0.002	340.1	60	394	9.9	403.4	5.3
9	774	574	1.3	0.055 1	0.002	0.494	0.016	0.065	0.002	417.2	62	407.5	10.7	405.9	5.4
10	442	298	1.5	0.057 1	0.002	0.51	0.021	0.065	0.002	493.9	89	418.2	14.3	404.7	6.0
11	520	374	1.4	0.055 3	0.002	0.49	0.018	0.064	0.002	425.1	76	404.7	12.3	401.3	5.7
12	544	443	1.2	0.054 8	0.002	0.491	0.016	0.065	0.002	403.3	66	405.8	11.1	406.4	5.5
13	798	600	1.3	0.054 7	0.002	0.484	0.015	0.064	0.002	399.1	60	400.9	10.3	401.4	5.3
15	648	482	1.3	0.055 9	0.002	0.495	0.015	0.064	0.002	447.6	60	408.6	10.5	401.9	5.3
16	1 231	833	1.5	0.059	0.002	0.521	0.017	0.064	0.002	566.4	62	425.8	11.2	400.5	5.4
18	934	755	1.2	0.057 7	0.002	0.511	0.016	0.064	0.002	516.2	62	419	10.9	401.7	5.3
19	1 134	749	1.5	0.055 3	0.002	0.488	0.016	0.064	0.002	422.2	67	403.7	11.3	400.7	5.5
24	1 402	1 421	1.0	0.055 5	0.001	0.498	0.014	0.065	0.002	432.1	54	410.4	9.8	406.8	5.3

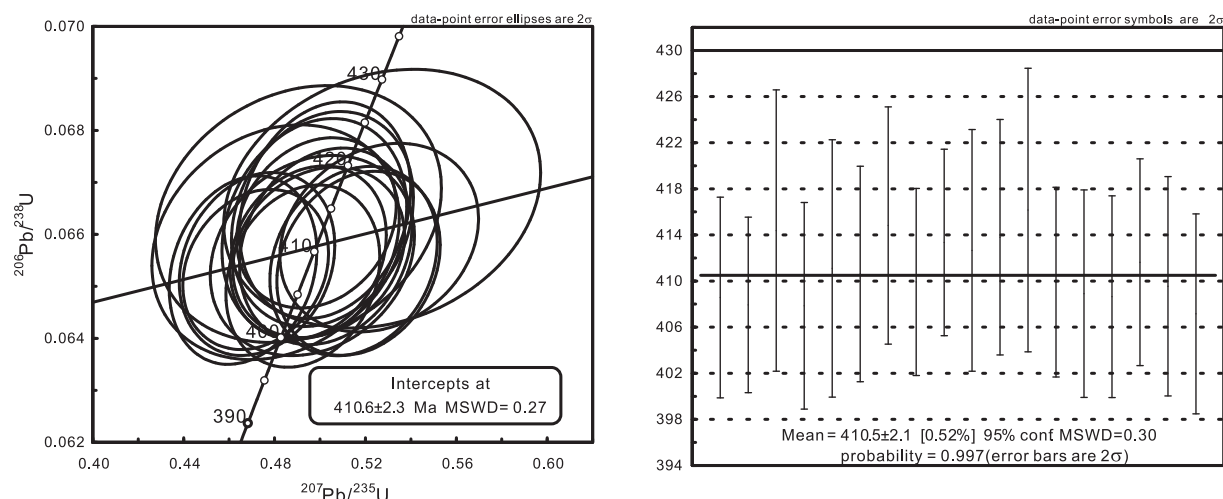


图5 花岗闪长岩 U-Pb 锆石谐和年龄图

Fig. 5 U-Pb concordia for zircons from granodiorite

正长花岗岩中锆石 Th/U 值为 0.99~1.52, 大于 0.1, 表明了锆石为岩浆成因。正长花岗岩中 16 个分析结果年龄变化范围较小, 在误差范围内有一致的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 值, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $(404 \pm 2.7) \text{ Ma}$ (MSWD=0.24) (图 6), 代表了该岩体的形成年龄。

4 元素地球化学

由表 3 数据可看出, 这些岩体在主量元素组成上具有以下共同特征: ① 富硅, 含量均在 72% 以上, 分异指数从细粒黑云母英云闪长岩 (包体) → 粗中粒

黑云母花岗闪长岩 → 似斑状二长花岗岩 → 正长花岗岩 → 碱长花岗岩具有增大的趋势, 反映岩体经历了高分度的分异演化作用, 并且从老到新, 分异程度越来越高。② 弱过铝-强过铝质, ASI 值均大于 1.0, 为 1.07~1.47, CIPW 标准矿物中出现刚玉分子, 含量为 0.48%~4.68%。③ 碱含量 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 5.76\% \sim 9.24\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.06 \sim 1.71$ 。碱度率指数 (A. R 值) 变化于 2.45~4.29。所有岩石的里特曼指数 (σ) 小于 3.3, 属钙碱性岩。

微量元素组成上岩体不同程度富 Rb、Th、U、K, 贫 Ba、Sr、P、Ti, 高场强元素 Nb、Ta 的含量偏低 (表 3、图 7)。亲铁元素 (V、Co) 的含量低, 指示岩体

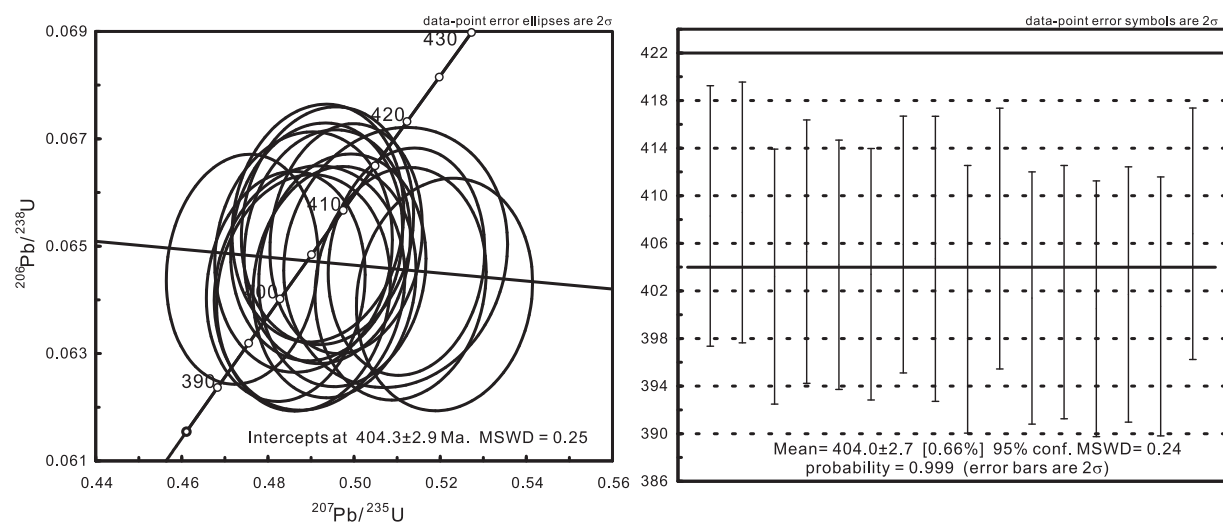


图6 正长花岗岩 U-Pb 锆石谐和年龄图

Fig. 6 U-Pb concordia for zircons from syenogranite

表 3 花岗岩类岩石化学成分(%),微量元素(10^{-6}),稀土元素含量(10^{-6})及特征值表
 Tab. 3 Abundances of major elements(%), trace elements(10^{-6}) and rare earth elements(10^{-6})

元素	英云闪长岩		花岗闪长岩			二长花岗岩				正长花岗岩			碱长花岗岩
	PM36-4	PM36-3	PM15-1	PM16-293	PM16-294	PM36-1	PM36-2	PM27-63	PM1-2	PM35-2	PM35-3	PM35-1	PM2-19
SiO ₂	72.22	72.76	73.2	74.61	75.02	74.33	74.57	75.89	74.99	77.79	77.15	78.33	78.31
TiO ₂	0.41	0.39	0.29	0.25	0.29	0.3	0.33	0.16	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Al ₂ O ₃	13.87	13.61	13.55	13.68	13.45	12.82	12.57	13.25	14.3	12.07	12.43	12.14	12.19
Fe ₂ O ₃	1.07	1.07	1.45	0.7	0.63	1.13	1.03	0.92	0.24	0.36	0.37	0.31	0.12
FeO	1.9	1.8	1.85	1.18	1.02	1.25	1.42	0.37	0.32	0.56	0.56	0.48	0.18
MnO	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02	0.06	0.06	0.03	0.02
MgO	0.6	0.57	1.37	1.35	0.9	0.48	0.54	0.34	0.12	0.06	0.06	0.26	0.16
CaO	1.95	1.87	0.58	0.52	0.85	1.76	1.62	0.33	0.97	0.52	0.53	0.33	0.88
Na ₂ O	3.79	3.9	6.4	3.77	4.42	2.8	2.71	4.12	3.44	3.29	3.36	3.65	2.91
K ₂ O	2.96	3	0.39	1.99	1.6	3.91	3.86	3.73	5.8	4.55	4.7	3.66	4.97
P ₂ O ₅	0.1	0.1	0.06	0.09	0.1	0.09	0.1	0.05	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
LOI	0.76	0.78	0.95	1.77	1.62	0.99	0.91	0.75	0.26	0.58	0.61	0.68	0.37
Total	99.68	99.9	100.1	99.94	99.94	99.91	99.7	99.94	100.5	99.92	99.91	99.94	100.2
ANCK	1.07	1.04	1.13	1.47	1.28	1.06	1.09	1.16	1.04	1.07	1.15	1.07	1.04
ANK	1.47	1.41	1.24	1.64	1.49	1.45	1.46	1.23	1.20	1.17	1.22	1.17	1.20
Or	17.68	17.89	2.32	11.98	9.62	23.36	23.09	22.23	34.18	27.97	21.79	27.07	29.43
Ab	32.42	33.29	54.61	32.5	38.04	23.95	23.21	35.16	29.03	28.63	31.12	28.02	24.67
An	9.12	8.7	2.51	2.03	3.62	8.23	7.47	1.32	4.67	2.45	1.52	2.4	4.24
刚玉(C)	1.14	0.79	1.7	4.68	3.19	1.01	1.24	1.97	0.65	0.93	1.63	0.86	0.47
Q	33.5	33.46	30.73	42.41	40.56	38.68	39.93	36.62	30.34	38.4	42.09	40.04	40.29
Rb	124	167	1.13	90	68.5	168	171	160	174.37	354	284	345	176.52
Ba	353	322	0.43	161	155	433	425	184	216.45	26	39.8	30.8	247.95
Th	20.3	27	0.05	15.3	15.6	24.1	23.6	24.8	19.57	19.6	16.5	17.1	16.57
U	3.96	4.95	13.76	1.82	1.88	3.44	3.05	4.58	1.98	6.26	8.18	5.21	2.1
Ta	1.09	1.14	4	0.61	0.64	0.67	0.73	1.01	0.61	1.1	1.11	1.11	0.78
Nb	14.1	13.7	127.29	7.7	7.9	10.2	10.8	12.3	3.74	13.4	12.9	13.9	3.37
Sr	64.9	61.8	14.4	81.7	97.2	89.3	80.7	42.1	52.61	12.2	25	13	46.02
Zr	410	427	27	121	116	156	162	106	76.9	74.1	69.4	61.8	74.4
Hf	12.4	13.1	32.4	4.31	4.15	5.2	5.51	4.53	3	4.1	3.8	3.4	2.98
V	4.36	3.97	319.4	3.28	3.19	3.01	3.38	1.31	109.41	0.48	0.47	0.48	202.11
Co	64.3	44.9	3.39	20.6	17	36.9	39.4	15.2	10.1	58.4	63.7	37.2	8.83
Ni	17.9	17.5	32.82	13.9	13.3	17	15.4	14.8	14.35	12.8	13.2	14.2	13.08
La	32.9	37	15.95	25.6	27.1	49.5	43.3	29	18.09	23.3	22.6	22	21.23

续表 3

元素	英云闪长岩		花岗闪长岩			二长花岗岩				正长花岗岩			碱长花岗岩
	PM36-4	PM36-3	PM15-1	PM16-293	PM16-294	PM36-1	PM36-2	PM27-63	PM1-2	PM35-2	PM35-3	PM35-1	PM2-19
Ce	70.2	77.3	32.47	49.8	54.8	105	92.2	64.2	37.56	55.3	51.2	49.7	44.23
Pr	8.76	9.7	3.85	5.91	6.32	12.1	10.9	8.12	4.48	7.22	6.56	6.41	5.37
Nd	34.2	37.8	14.32	21.4	22.1	45.5	40.8	33.2	17.11	31.6	24.7	25.6	20.41
Sm	7.94	9.04	3.23	4.22	4.63	9.46	8.8	8.73	3.97	8.59	6.64	7.01	4.42
Eu	0.93	0.96	0.59	0.76	0.81	1.24	1.14	0.59	0.63	0.14	0.13	0.21	0.88
Gd	8.27	9.24	3.25	4	4.5	8.9	8.66	9.7	3.5	8.86	6.76	7.48	3.42
Tb	1.37	1.53	0.59	0.62	0.72	1.42	1.35	1.71	0.55	1.62	1.26	1.3	0.51
Dy	8.46	9.56	3.79	3.7	4.51	8.46	8.36	11.4	3.42	10.2	8.52	8.53	2.71
Ho	1.82	2.12	0.89	0.78	0.94	1.75	1.72	2.43	0.76	2.25	1.91	1.82	0.52
Er	5.46	6.01	2.71	2.25	2.75	4.86	4.8	7.15	2.23	6.52	5.56	5.16	1.38
Tm	0.82	0.9	0.43	0.36	0.44	0.72	0.71	1.1	0.32	1.02	0.87	0.8	0.22
Yb	5.3	5.96	3	2.36	2.94	4.5	4.46	7.13	1.88	6.82	5.71	5.06	1.48
Lu	0.8	0.91	0.49	0.35	0.47	0.65	0.66	1.04	0.29	1.01	0.84	0.75	0.25
Y	44.8	51.5	27	18.9	23.6	43.5	42.6	61.2	20.6	50.6	45	39.1	14.4
REE	187.23	208.03	85.56	122.11	133.03	254.06	227.86	185.5	94.79	164.45	143.26	141.83	107.03
LREE	154.93	171.8	70.41	107.69	115.76	222.8	197.14	143.84	81.84	126.15	111.83	110.93	96.54
HREE	32.3	36.23	15.15	14.42	17.27	31.26	30.72	41.66	12.95	38.3	31.43	30.9	10.49
L/HREE	4.8	4.74	4.65	7.47	6.7	7.13	6.42	3.45	6.32	3.29	3.56	3.59	9.2
δEu	0.35	0.32	0.55	0.56	0.54	0.41	0.39	0.2	0.51	0.05	0.06	0.09	0.67
La/YbN	4.45	4.45	3.81	7.78	6.61	7.89	6.96	2.92	6.9	2.45	2.84	3.12	10.29

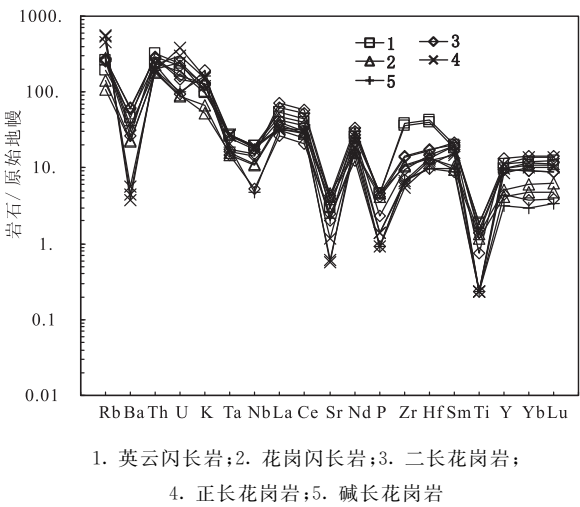


图 7 微量元素原始地幔标准化蛛网图(原始地幔数据取自 SUN et al. ,1989)

Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of granites

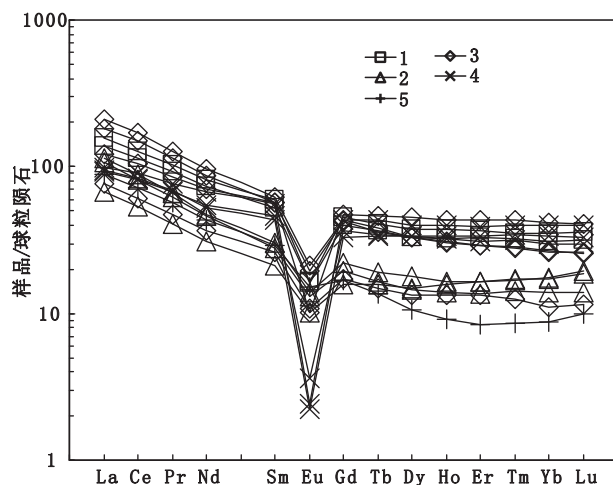
分异演化程度高。岩体稀土元素组成特征总体表现为稀土总量较高, $\Sigma\text{REE}=85.56\times10^{-6}\sim254.06\times10^{-6}$;富轻稀, $\text{LREE}/\text{HREE}=3.45\sim9.20$, 其中轻稀土的分馏尤为明显, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=2.45\sim10.29$, 岩石的稀土元素球粒陨石标准化配分型式呈明显的右倾斜形, 并显示较明显的 Eu 负异常 ($\delta\text{Eu}=0.05\sim0.67$)(图 8、表 3)。上述微量和稀土元素特征相似于阿尔泰地区 S 型花岗岩。

5 讨论

5.1 岩石成因

本区花岗质岩体具有高硅、富碱, 准铝质-过铝质。岩石的 Sr/Ba 值均大部分小于 0.5, 均值为 0.34, 体现了 S 型花岗岩的特征。此外, 岩石的 Nb/Ta 与 Zr/Hf 分别为 4.32~15.22 和 18.07~

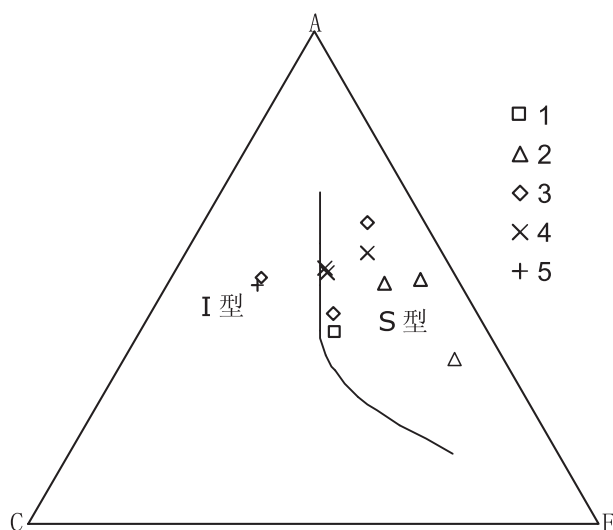
33.06,与地壳的相应值 11 和 33(TAYLOR et al., 1985)接近,与原始地幔的相应值 17.8 与 37(MC-DONOUGH et al., 1995)相差较大,表明岩石受地壳组分影响较大。在花岗岩成因判别 ACF 图解上(图 9),为 S 型花岗岩。



图例同图 7

图 8 稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(球粒陨石数据取自 SUN et al., 1989)

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns



图例同图 7

图 9 花岗岩 ACF 图解

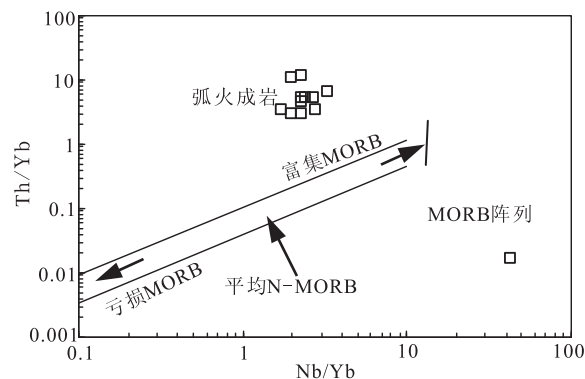
Fig. 9 ACF for granite

前人研究表明,对 SiO_2 含量在 67%~77% 的准或强过铝质花岗岩而言,其 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 值反映其源区成分特征。泥岩生成的过铝质花岗岩所含的

$\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 比一般小于 0.3,而砂屑岩生成的过铝质花岗岩所含的 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 比一般大于 0.3(SYLVESTER, 1998)。花岗闪长岩 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}=0.09\sim 0.19$,二长花岗岩 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}=0.08\sim 0.63$,正长花岗岩 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}=0.09\sim 0.16$,碱长花岗岩 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}=0.3$,英云闪长岩 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}=0.48\sim 0.51$ 。此外,样品具有高的 Y 和 Yb 含量以及高的 Zr/Sm (8.81~51.63) 值,表明部分熔融位于石榴石稳定区之上(DEFANT et al., 2002)。

5.2 大地构造环境及意义

在岩石地球化学特征上均显示有弧花岗岩的地球化学性质,也进一步显示了其与大洋板片的俯冲消减作用有关。微量元素组成上,各岩体不同程度富 Rb、Th、U、Pb、K,贫 Ba、Sr、P、Ti,高场强元素 Nb、Ta 的含量偏低。亲铁元素(V、Co)的含量低,也指示岩体分异演化程度高。岩石的轻稀土富集,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 400Ma 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 $\text{Th}/\text{Yb}-\text{Nb}/\text{Yb}$ 图解(图 10)中测区侵入岩的投点均落于弧火成岩。

图 10 花岗岩 $\text{Th}/\text{Yb}-\text{Nb}/\text{Yb}$ 图解(PEARCE, 1983)Fig. 10 $\text{Th}/\text{Yb}-\text{Nb}/\text{Yb}$ for granite (PEARCE, 1983)

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),阿尔泰造山带的碰撞造山活动主要形成于 450~370Ma,主要岩石类型是钙碱性 I 型花岗岩,形成于俯冲增生过程,其中 400M 左右最为集中(WINDLEY et al., 2002;袁超等,2005;王涛等,

2005, 2008; WANG et al., 2006; ZHANG et al., 2006; 童英等, 2005, 2006, 2007; SUN et al., 2006; 曾乔松等, 2007; 周刚等, 2007a, 2007b; YUAN et al., 2007; 刘锋等, 2008; 杨富全等, 2008; 刘国仁等, 2010; 李永等, 2012; 李月臣等, 2012; 徐学义, 2014), 如北阿尔泰诺尔特地区的塔斯比克都尔根岩体(396~404Ma)和哈龙-巴利尔岩体; 中阿尔泰的喀纳斯(398±5Ma)、琼库尔(399±4Ma)、铁列克(403±5Ma); 南阿尔泰的阿维滩, 蒙库一带(404~400Ma), 哈巴河岩体(406Ma), 这些岩体形成于与板块俯冲有关的活动大陆边缘的陆弧环境。

本研究获得的正长花岗岩和花岗闪长岩中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为(404±2.7) Ma(MSWD=0.24)和(410.5±2.1) Ma(MSWD=0.3), 属早泥盆世早期岩浆活动的产物, 为阿尔泰造山带在 400Ma 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 400Ma 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。乌雷库-克朗岩体与喀纳斯岩体、铁列克岩体、琼库尔岩体同时代形成, 空间产出位置属同一岩浆活动带, 由此可见, 乌雷库-克朗岩体形成于与板块俯冲碰撞有关的陆弧环境。而阿尔泰造山带南缘早石炭世布尔根碱性花岗岩(358Ma)的发现, 将阿尔泰造山带后碰撞时期确定为早石炭世中晚期—早二叠世中期(270Ma 左右), 克兰河岩体(387.4±1.3Ma), 因此不太可能形成于后碰撞时期。

由于该岩体均侵位于阿尔泰南缘地区最重要的含矿地层——康布铁堡组中。因此, 可以间接地证明康布铁堡组形成应早于 410Ma。

综上所述, 推测乌雷库-克朗岩体可能是在洋壳俯冲过程中, 伴随着俯冲作用的深入和地壳加厚引发地壳物质(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)深融, 从而形成具有弧地球化学特征的 S 型花岗岩。

6 结论

(1) 乌雷库-克朗岩体正长花岗岩和花岗闪长岩

中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为(404±2.7) Ma(MSWD=0.24)和(410.5±2.1) Ma(MSWD=0.3), 属早泥盆世早期岩浆活动的产物, 为阿尔泰造山带在 400Ma 有一次强烈的岩浆侵入活动提供了新依据, 限定了康布铁堡组时代早于 410Ma。

(2) 岩石具高硅(72.22%~78.33%)、高碱(5.76%~9.24%)、高 Al_2O_3 (12.07%~14.30%) 和低 P_2O_5 (0.02%~0.1%) 和 $FeO+MgO$ (0.33%~3.50%), 高 A/NCK 值(1.04~1.47), 低 CaO/Na_2O 值(均值<0.3), 属过铝质花岗岩; 富 Rb、Th、U、K, 贫 Ba、Sr、P、Ti, 高场强元素 Nb、Ta 的含量偏低。亲铁元素(V、Co)的含量低, 也指示岩体分异演化程度高。所有岩石的轻稀土富集, 并具有 Eu($\delta Eu=0.05\sim0.67$) 的显著负异常, 显示了岛弧花岗岩的地球化学特征。

(3) 结合阿尔泰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。

参考文献(References):

- 董连慧, 屈迅, 赵同阳, 等. 新疆北阿尔泰造山带早古生代花岗岩类侵入序列及其构造意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(8): 2307-2316.
- DONG Lianhui, QU Xun, ZHAO Tongyang, et al. Magmatic sequence of Early Palaeozoic granitic intrusions and its tectonic implications in north Altay orogeny, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(8): 2307-2316.
- 何国琦, 成守德, 徐新, 等. 中国新疆及邻区大地构造图(1:2500 000)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- HE Guoqi, CHEN Shoude, XU Xin, et al. An Introduction to the Explanatory Text of the Map Tectonics of Xinjiang and Its Neighbouring Areas [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004(in Chinese).
- 刘锋, 李延河, 毛景文, 等. 阿尔泰造山带阿巴宫花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 地球学报, 2008, 29(6): 795-804.
- LIU Feng, LI Yanhe, MAO Jingwen, et al. The SHRIMP U-Pb Ages of the Abagong Granites in the Altay Orogen and their geological implication [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29(6): 795-804(in Chinese).
- 刘伟. 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, 1990, 14(1): 44-56.

- LIU Wei, Petrogenetic epochs and peculiarities of genetic-types of granitoids in the Altai Mountains, Xin Jiang Uygur Autonomous Region, China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1990, 14(1): 44-56(in Chinese).
- 牛贺才, 于学元, 许继峰, 等. 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, 2006.
- NIU Hecai, YU Xueyuan, XU Jifeng, et al. Late Paleozoic Volcanism and Associated Metallogenesis in Altai Area, Xinjiang, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- 刘国仁, 董连慧, 高福平, 等. 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[J]. *地球学报*, 2010, 31(4): 519-531.
- LIU Guoren, DONG Liahui, GAO Fuping, et al. 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*, 2010, 31(4): 519-531.
- 李永, 周刚, 柴凤梅. 阿尔泰南缘哈巴河岩体 LA-ICP-MS 锆石定年及地质意义[J]. *新疆地质*, 2012, 30(2): 146-151.
- LI Yong, ZHOU Gang, CHAI Fengmei. LA-ICP-MS U-Pb Ages and Geological Implications of the Habahe Pluton at the Southern Margin of the Altai, Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 2012, 30(2): 146-151(in Chinese).
- 李月臣, 李美姣, 刘锋, 等. 新疆阿尔泰铁木里克花岗岩长岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *新疆地质*, 2012, 30(3): 268-271.
- LI Yuechen, LI Meijiao, LIU Feng, et al. Zircon U-Pb Dating and Geological Significance of Granodiorite in Tiemulik, Altai, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 2012, 30(3): 268-271(in Chinese).
- 芮行健, 吴玉金. 中国阿尔泰花岗岩的成因[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984.
- RUI Xingjian, WU Yujin. Petrogenesis of granitoids in the Altai region, China. In Xu KQ(ed). *Granitic geology and its relation to mineralization*[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1984(in Chinese).
- 邹天人, 曹惠志, 吴柏青. 新疆阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩及其判别标志 [J]. *地质学报*, 1988, 62(3): 228-234.
- ZHOU Tianren, CAO Huizhi, WU Boqing. Orogenic and anorogenic granitoids of the Altai Mountains, Xinjiang and their discrimination criteria[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1988, 62(3): 228-234.
- 童英, 王涛, 洪大卫, 等. 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*, 2005, 26(9): 74-77.
- TONG Ying, WANG Tao, HONG Dawei, et al. Zircon U-Pd age of synorogenic Tielieke pluton in the west part of Altai Orogenic Belt and its structural implications[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2005, 26(9): 74-77(in Chinese with English abstract).
- 童英, 王涛, KOVACH, 等. 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*, 2006, 22(5): 1267-1278.
- TONG Ying, WANG Tao, KOVACH, et al. 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*, 2006, 22(5): 1267-1278(in Chinese with English abstract).
- 童英, 王涛, 洪大卫, 等. 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*, 2007, 23(8): 1933-1944.
- TONG Ying, WANG Tao, HONG Dawei, et al. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(8): 1933-1944(in Chinese with English abstract).
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 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, 2002.
- WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Zhigang, et al. Mineralogical series and regularity of mineralization in the Altai Metallogenic Province [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2002.
- 王广耀, 许培春. 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*, 1983, (1): 8-21.
- WANG Guangyao, XU Peichun. Magmatites in the Altai area, Xinjiang and its relation to mineralization[J]. *North-western Geology*, 1983, (1): 8-21(in Chinese).
- 王中刚, 赵振华, 邹天人, 等. 阿尔泰花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- WANG Zhonggang, ZHAO Zhenhua, ZOU Tianren. Geochemistry of granitoids in Altai, Xinjiang[M]. Beijing: Science Press, 1998(in Chinese).
- 袁峰, 周涛发, 岳书仓. 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*, 2001, 19(4): 292-296.
- YUAN Feng, ZHOU Taofa, YUE Shucang. The age and genetic types of the granites in the Nurt area, Altai[J]. *Xinjiang Geology*, 2001, 19(4): 292-296.
- 王涛, 洪大卫, 童英, 等. 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*, 2005, 21(3): 640-650.
- WANG Tao, HONG Dawei, TONG Ying, et al. SHRIMP age, origin of post-orogenic Lamazhou granitic pluton

- from Chinese Altai Orogen and its implications for vertical continental growth [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21 (3): 640-650 (in Chinese with English abstract).
- 王涛, 童英, 李舫, 等. 阿尔泰造山带花岗岩时空演变、构造环境及地壳生长意义——以中国阿尔泰为例[J]. *岩石矿物学杂志*, 2010, 29(6): 595-618.
- WANG Tao, TONG Ying, LI Shan, et al. Spatial and temporal variations of granitoids in the Altay orogen and their implications for tectonic setting and crustal growth: perspectives from Chinese Altay [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 29(6): 595-618.
- 杨富全, 毛景文, 闫升好, 等. 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*, 2008, 82(4): 485-499.
- YANG Fuquan, MAO Jingwen, YAN Shenghao, et al. Geochronology, Geochemistry and Geological Implications of the Mengku Synorogenic Plagiogranite Pluton in Altay, Xinjiang [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(4): 458-499 (in Chinese).
- 袁超, 孙敏, 肖文交. 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]. 2005 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要[C], 2005, 418.
- YUAN Chao, SUN Min, XIAO Wenjiao. Zircon U - Pb chronology and geochemistry of granites in southern margin of the Altai Mountains [A]. Symposium on geology and mineral resources of Altai Mountains, Xinjiang [C], 2005, 418 (in Chinese).
- 周刚, 张招崇, 罗世宾, 等. 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*, 2007a, 23(8): 1909-1920.
- ZHOU Gang, ZHANG Zhaochong, LUO Shibin, et al. Confirmation of high-temperature strongly peraluminous Mayinebo granites in the south margin of Altay, Xinjiang: Age, geochemistry and tectonic implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007a, 23 (8): 1909-1920 (in Chinese with English abstract).
- 周刚, 张招崇, 王新昆, 等. 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⁴⁰Ar - ³⁹Ar 年龄及意义[J]. *地质学报*, 2007b, 81(3): 359-369.
- ZHOU Gang, ZHANG Zhaochong, WANG Xinkun, et al. Zircon U - Pb SHRIMP and ⁴⁰Ar - ³⁹Ar dating of the granitic mylonite in the Mayinebo fault belt of north Xinjiang and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007b, 81(3): 359-369 (in Chinese with English abstract).
- 曾乔松, 陈广浩, 王核, 等. 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*, 2007, 23(8): 1921-1932.
- ZENG Qiaosong, CHEN Guanghao, WANG He, et al. Geochemical characteristic, SHRIMP zircon U - Pb dating and tectonic implication for granitoids in Chonghuer basin, Altai, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (8): 1921-1932 (in Chinese with English abstract).
- DEFANT M J, XU J F, KEPMHINSKAS P, et al. Adakites: some variations on a theme [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18: 129-142.
- MANIAR P D, PICCOLI P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, 101: 635-643.
- MCDONOUGH W F, SUN S S. The composition of the earth [J]. *Chemical Geology*, 1995, 120: 223-253.
- MIDDLEMOST E A. K. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Earth-Science Reviews*, 1994, 37 (3-4): 215-224.
- PEARCE J A. Sources and setting of granitic rock [J]. *Epidotite*, 1996, 23: 120-125.
- SENGÖR A M C, NATAL B A, BURTMAN V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia [J]. *Nature*, 1993, 364(22): 299-307.
- SYLVESTER P J. Post collisional strongly peraluminous granites [J]. *Lithos*, 1998, 45(1-4): 29-44.
- WINDLEY B F, KROENER A, GUO J, et al. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai Orogen, NW China: new zircon age data and tectonic evolution [J]. *Journal of Geology*, 2002, 110(6): 719-737.
- XIAO Wenjiao, WINDLEY B F, BADARCH G, et al. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: implications for the growth of Central Asia [J]. *Journal of the Geological Society, London*, 2004, 161: 339-342.
- SUN Min, YUAN Chao, XIAO Wenjiao, et al. Granitic gneisses and gneissic granites from the Central Terrane of the Chinese Altai Orogen: Zircon ages and tectonic significance [C]. *Eos Trans. AGU, West. Pac. Geophys. Meet. Suppl.*, Abstract 2006, 87(36), V25A-06.
- ZHANG Zhaochong, YAN Shenghao, CHEN Bailin, et al. SHRIMP zircon U - Pb dating for subduction related granitic rocks in the northern part of east Junggar, Xinjiang [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51 (8): 952-962.