

中天山巴仑台地区变形花岗岩类 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其构造意义

陈义兵^{1 2)} 张国伟²⁾ 柳小明²⁾ 熊小林¹⁾ 袁超¹⁾ 陈林丽¹⁾

1) 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室, 广州, 510640;

2) 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西安, 710069

内容提要: 本文对巴仑台地区中天山南北边缘的变形花岗岩体进行了详细的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究。中天山北缘花岗岩片麻岩中岩浆锆石结晶年龄为 630.0 ± 5.0 Ma, 代表了中天山微陆基底的新元古代岩浆事件年龄; 其变质增生锆石边的年龄为 440.9 ± 3.3 Ma, 精确限定了中天山北缘洋盆闭合与碰撞造山作用的时代为早志留世。中天山南缘糜棱岩化花岗闪长岩中岩浆锆石结晶年龄为 389.5 ± 3.2 Ma, 指示出中天山南缘洋壳在中泥盆世向北俯冲形成陆缘岩浆弧; 其变质增生锆石边的年龄为 362.1 ± 4.3 Ma, 精确限定了中天山南缘洋盆闭合与碰撞造山作用的时代为晚泥盆世末期。研究结果还表明中天山微陆块具有年龄为 2.5 Ga 和 1.8 Ga 的古老结晶基底。

关键词: 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年; 变形花岗岩类; 巴仑台; 中天山; 新疆

新疆天山造山带是中亚造山带(CAOB)的重要组成部分, 长期以来备受地质学家的广泛关注, 由北向南可分为北天山、中天山和南天山三个大地构造单元, 现今以中天山北缘边界断裂带和中天山南缘边界断裂带为界相区分, 是塔里木地块、准噶尔地块及其间的伊犁地块长期相互的地质作用而形成的复合型造山带(王作勋等, 1990; Windley et al., 1990; Allen et al., 1992; 肖序常等, 1992)。中天山(也称伊犁—中天山)是在一系列具有前寒武纪基底的微陆块上形成的复合岩浆弧, 西宽东窄呈楔形展布, 向西延伸出境外, 向东在库米什东部尖灭。尽管多数研究者认为, 中天山北缘边界断裂带和中天山南缘边界断裂带具有古板块缝合带性质, 是中天山南、北缘古洋盆长期构造演化而形成的。但是到目前为止, 对中天山南、北缘古生代洋盆的性质、演化过程与时限、最终闭合时间等重大问题, 还存在很大的争议(Gao Jun et al., 1998; 李锦轶等, 1999; Xiao Wenjiao et al., 2004; 董云鹏等, 2005a; 董云鹏等, 2005b; 董云鹏等, 2006; 高俊等, 2006; 李锦轶等, 2006)。

区域地质资料显示, 沿中天山南、北边缘分布有

两条古生代花岗岩带, 在西部这两条岩带分隔清楚, 而在东部中天山逐渐变窄, 两条岩带有合二为一的趋势而难以区分(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993)。前人大量的研究成果证明, 沿中天山南、北边缘分布的两条古生代花岗岩带是由于两侧古洋壳俯冲消减—碰撞作用在中天山南、北边缘形成的重要岩石类型之一, 其形成时代和地球化学性质对于确定中天山南、北缘古生代洋盆的演化模式与最终闭合时间等问题具有重要的意义(韩宝福等, 2004; 朱永峰等, 2006; 杨天南等, 2006a, 2006b; 石玉若等, 2006; 朱志新等, 2006; 龙灵利等, 2007)。中天山微陆块内还存在有前寒武纪形成的花岗岩(陈义兵等, 1999a, 1999b), 与古生代花岗岩一样均遭受后期地质作用的改造而发生强烈的变形(变质), 由于缺乏精确的同位素地质年代学研究, 二者之间往往难以有效区分。本文选择巴仑台地区中天山南、北缘的变形花岗岩类进行详细的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究, 准确测定了变形花岗岩的岩浆结晶年龄和后期变质/变形年龄, 并结合现有的地质资料探讨其地质意义。这一研究结果为确定中天山微陆块南、北缘的俯冲—碰撞造山作用时限和探讨天山古

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40002016)、中国科学院创新项目(编号 GIGCX-03-01)、中国博士后科学基金资助项目(编号 20070411138)、中石化海相前瞻性项目(编号 YPH08012)、西北大学大陆动力学国家重点实验室开放课题基金项目(编号 06LCD17)和自主研究课题(BJ081331)的成果。

收稿日期: 2010-10-11; 改回日期: 2011-05-18; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 陈义兵, 男, 1971年生, 博士。主要从事地球化学和大陆动力学研究。电话: 020-85290035; Email: chenyingbing@gig.ac.cn。

生代构造演化提供了新的有效证据。

1 区域地质背景和采样位置

研究区位于新疆天山中部的巴仑台地区,主要由不同类型的花岗岩体组成,见少量前寒武纪基底岩系,奥陶纪—志留纪火山—沉积岩系和石炭纪地层等,其南北两侧均发育巨型韧性剪切断裂带分别与南天山和北天山相分隔(杨天南等,2004)。前寒武纪基底主要是以中—新元古代巴仑台群为代表的活动型基底,由各类片麻岩、片岩、混合岩等中深变质岩系组成。奥陶系是一套变质火山—沉积岩系,志留系为一套浅变质的复理石沉积建造。泥盆系在研究区内缺失。下石炭统为碎屑岩,碳酸盐岩地层(王作勋等,1990;肖序常等,1992;新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993;车自成等,1994)。

从变形的角度来看,研究区内的花岗岩分为两类:一类是没有变形的似斑状花岗岩,二云母花岗岩

和少量闪长岩,侵入到石炭系地层中;另一类为发育片麻状构造或糜棱岩化的狭长状花岗岩体,延伸方向与区域构造线一致。根据已发表的锆石 U-Pb 年代学资料和区域地质资料分析,中天山广泛分布的变形花岗岩也是十分复杂的,既有古生代不同期次的变形花岗岩(韩宝福等,2004;朱永峰等,2006;杨天南等,2006a;杨天南等,2006b;石玉若等,2006;朱志新等,2006;龙灵利等,2007),也有的则是伊犁—中天山微陆块基底的前寒武纪岩体(陈义兵等,1999a,1999b)。但是由于多数是沿伊犁—中天山微陆块两侧的韧性剪切带分布,为强烈糜棱岩化的花岗质岩石,发育透入性面理和矿物拉伸线理,由于后期变质变形作用的影响,不同期次的变形花岗岩类往往难以区分(杨天南等,2004)。我们在详细野外调查研究的基础上,在巴仑台地区中天山南、北缘各选取了一个变形花岗岩样品进行详细的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究(图1)。

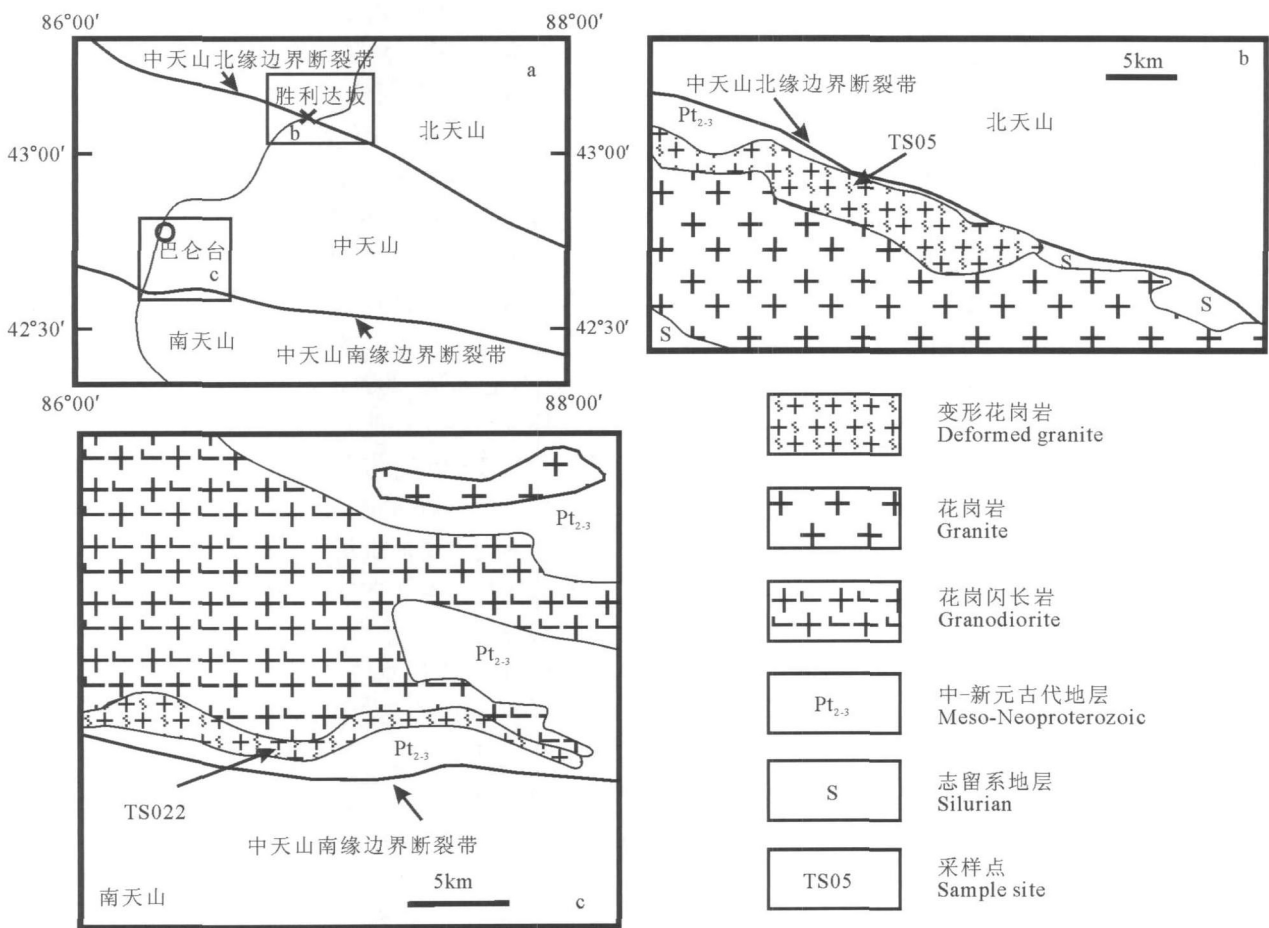


图1 中天山巴仑台地区构造区划图(a)和采样点地质简图(b,c)

Fig.1 Simplified geotectonic map (a) and geological map of the sampling site (b,c) in the Baluntai area, Central Tianshan Mountains

样品 TS05 (地理坐标: N43°6′58″, E86°51′16″) 采自中天山北缘胜利达坂一带的条带状花岗质片麻岩 (即原 1:20 万地质图中所划分的“混合岩”) 被认为是以巴仑台群为代表的中深变质岩系中天山基底的组成部分 (车自成等, 1994), 其延伸方向与区域构造线 (NWW) 一致。中天山北缘断裂带是一条宽达十多千米的韧性剪切带, 出露岩性为条带状糜棱岩, 局部见超糜棱岩 (杨天南等, 2004)。该采样点靠近中天山地块北缘韧性剪切带南侧, 所谓的“混合岩”可能是花岗岩体遭受糜棱岩化的结果。

样品 TS022 (地理坐标: N42°38′28″, E86°15′58″) 采自中天山南缘乌瓦门一带的片麻状花岗闪长岩, 岩体长轴方向呈近东西向延伸, 与区域构造线方向 (NWW) 一致, 其南侧为长石石英砂岩、大理岩等中一新元古代巴仑台群浅变质沉积岩, 侵入接触关系较清楚, 边缘含有大量的围岩捕掳体。采样点靠近中天山地块南缘韧性剪切带, 花岗闪长岩变形极强, 在露头范围内已转化成糜棱岩, 局部发育超糜棱岩条带 (杨天南等, 2004)。

2 分析方法

选择 3~5kg 新鲜的岩石样品, 经过单独的破碎后用常规方法分选出非电磁性的锆石单矿物, 然后在双目镜下精心地挑选出不带包裹物、无裂隙、透明度好的一百多颗锆石, 用无色透明的环氧树脂制靶并研磨抛光至锆石内部暴露, 准备用于显微照相、阴极发光成像和 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析测试。

锆石的阴极发光图像分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室 JXA-8100 电子探针仪器上完成, 根据锆石晶体的内部结构特征选择最佳测试所用的锆石颗粒和区域。LA-ICP-MS 分析在西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室完成。采用的为 Hewlett Packard 公司新一代带有屏蔽炬 (shield torch) 的 Agilent 7500a ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 Excimer 激光器 (工作物质 ArF, 波长 193 nm) 以及 MicroLas 公司的 GeoLas200M 光学系统联机组成的系统。激光剥蚀斑直径为 30 μm , 激光剥蚀深度为 20~40 μm , U-Th-Pb 同位素和元素的测定在一个点上同时完成。分析时采用 He 作为剥蚀物质的载气, 用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化。数据处理采用 GLITTER (ver4.0, Macquarie University) 程序, 年龄计算以国际标准锆

石 91500 为外标进行同位素比值分馏校正, 并采用 Anderson (2002) 的方法和软件进行普通铅校正; 元素浓度计算采用 NIST SRM 610 作为外标, ^{29}Si 作为内标。数据处理采用 Isoplot3.00 (Ludwig, 2003) 程序, 详细的分析流程及数据处理方法参见文献 (Yuan Honglin et al., 2004)。文中对于 >1000Ma 的锆石, 采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄, 对于 <1000Ma 的锆石, 由于放射性成因 Pb 含量低和普通 Pb 校正的不确定性, 因而采用更为可靠的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄。

3 分析结果

3.1 中天山北缘的片麻状花岗岩样品 TS05

该样品中选出的锆石一般呈无色透明, 少数为褐色透明, 多为半自形柱状, 部分被不同程度地磨圆, 也有部分保留柱状晶形, 粒径长 100~200 μm , 宽 50~100 μm 之间。从锆石的阴极发光 (CL) 图像中可以看到 (图 2), 大多数锆石具有清楚的韵律环带结构, 又多具有新的生长边, 其中有些锆石可见残留核结构。该样品的锆石 U-Pb 年龄分析结果见表 1。

17 个位于具韵律环带结构区域的分析点给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 611~645 Ma。在一致曲线图中, 数据点成群分布于一致曲线上或其附近 (图 3), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 630.0 ± 5.0 Ma

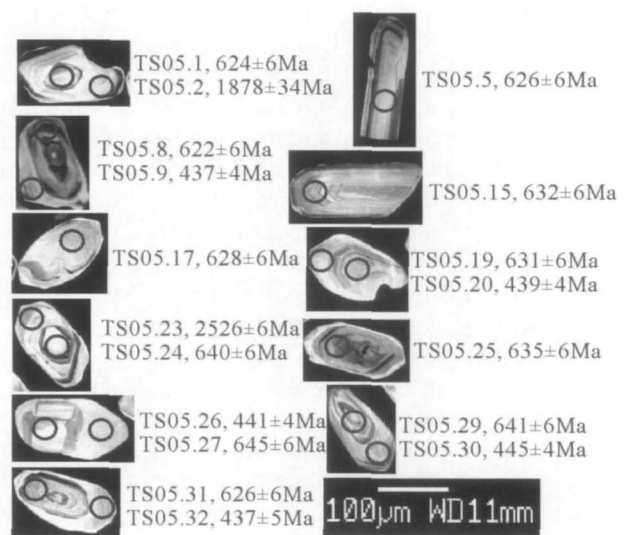


图 2 中天山北缘花岗片麻岩样品 (TS05) 中锆石的 CL 图像

Fig. 2 CL images and U-Pb ages of the zircons (No. TS05) from the gneissic granite on the north margin of Central Tianshan block

表 1 中天山北缘花岗片麻岩和南缘糜棱岩化花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
 Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data of zircons from the gneissic granite on the north margin and from the mylonitized granodiorite on the south margin of Central Tianshan block

地质体	测点编号	$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		Th/U	年龄(测值 $\pm 1\sigma$; Ma)			谐和度
		测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
中天山北缘花岗片麻岩	TS05.1	0.06034	0.00060	0.84500	0.00817	0.10159	0.00098	0.39	616 \pm 10	622 \pm 4	624 \pm 6	99.68
	TS05.2	0.11491	0.00359	5.35088	0.16070	0.33766	0.00485	0.67	1878 \pm 34	1877 \pm 26	1875 \pm 23	100.11
	TS05.5	0.06151	0.00062	0.86498	0.00844	0.10201	0.00098	0.48	657 \pm 10	633 \pm 5	626 \pm 6	101.12
	TS05.6	0.06077	0.00062	0.83247	0.00809	0.09936	0.00095	0.40	631 \pm 10	615 \pm 4	611 \pm 6	100.65
	TS05.7	0.06189	0.00062	0.88253	0.00846	0.10343	0.00099	0.75	670 \pm 9	642 \pm 5	634 \pm 6	101.26
	TS05.8	0.06069	0.00060	0.84810	0.00804	0.10135	0.00097	0.16	628 \pm 9	624 \pm 4	622 \pm 6	100.32
	TS05.9	0.05604	0.00057	0.54235	0.00529	0.07019	0.00067	0.05	454 \pm 10	440 \pm 3	437 \pm 4	100.69
	TS05.13	0.05561	0.00061	0.54843	0.00573	0.07152	0.00068	0.09	437 \pm 10	444 \pm 4	445 \pm 4	99.78
	TS05.14	0.06021	0.00060	0.83066	0.00785	0.10005	0.00094	0.33	611 \pm 9	614 \pm 4	615 \pm 6	99.84
	TS05.15	0.06084	0.00061	0.86376	0.00811	0.10296	0.00097	0.89	634 \pm 9	632 \pm 4	632 \pm 6	100.00
	TS05.16	0.06026	0.00060	0.84013	0.00787	0.10110	0.00095	0.24	613 \pm 9	619 \pm 4	621 \pm 6	99.68
	TS05.17	0.06043	0.00060	0.85322	0.00797	0.10239	0.00096	0.18	619 \pm 9	626 \pm 4	628 \pm 6	99.68
	TS05.19	0.06131	0.00061	0.87004	0.00812	0.10290	0.00096	0.25	650 \pm 9	636 \pm 4	631 \pm 6	100.79
	TS05.20	0.05583	0.00056	0.54263	0.00504	0.07047	0.00066	0.04	446 \pm 9	440 \pm 3	439 \pm 4	100.23
	TS05.23	0.16685	0.00185	10.72768	0.08234	0.46616	0.00300	0.51	2526 \pm 6	2500 \pm 7	2467 \pm 13	101.34
	TS05.24	0.06044	0.00060	0.86957	0.00799	0.10431	0.00096	0.33	619 \pm 9	635 \pm 4	640 \pm 6	99.22
	TS05.25	0.06088	0.00061	0.86868	0.00807	0.10346	0.00095	0.36	635 \pm 9	635 \pm 4	635 \pm 6	100.00
	TS05.26	0.05677	0.00081	0.55433	0.01370	0.07081	0.00059	0.06	483 \pm 10	448 \pm 9	441 \pm 4	101.59
	TS05.27	0.06129	0.00062	0.88988	0.00822	0.10527	0.00096	0.35	649 \pm 9	646 \pm 4	645 \pm 6	100.16
	TS05.28	0.06156	0.00061	0.89358	0.00813	0.10524	0.00096	0.26	659 \pm 9	648 \pm 4	645 \pm 6	100.47
TS05.29	0.06120	0.00061	0.88199	0.00807	0.10449	0.00095	0.54	646 \pm 9	642 \pm 4	641 \pm 6	100.16	
TS05.30	0.05634	0.00072	0.55499	0.01538	0.07143	0.00065	0.05	466 \pm 10	448 \pm 10	445 \pm 4	100.67	
TS05.31	0.06071	0.00061	0.85334	0.00808	0.10194	0.00097	0.25	629 \pm 9	626 \pm 4	626 \pm 6	100.00	
TS05.32	0.05620	0.00076	0.54332	0.02097	0.07010	0.00080	0.05	460 \pm 10	441 \pm 14	437 \pm 5	100.92	
TS05.35	0.06119	0.00062	0.87206	0.00830	0.10336	0.00098	0.88	646 \pm 9	637 \pm 5	634 \pm 6	100.47	
中天山南缘糜棱岩化花岗闪长岩	TS022.1	0.05437	0.00054	0.46692	0.00430	0.06228	0.00058	0.86	386 \pm 10	389 \pm 3	389 \pm 4	100.00
	TS022.2	0.05442	0.00054	0.46917	0.00435	0.06251	0.00058	0.21	388 \pm 10	391 \pm 3	391 \pm 4	100.00
	TS022.3	0.05403	0.00055	0.44248	0.00418	0.05773	0.00058	0.04	372 \pm 9	372 \pm 3	361 \pm 3	97.04
	TS022.6	0.05499	0.00055	0.46641	0.00433	0.06152	0.00057	0.19	412 \pm 9	389 \pm 3	385 \pm 3	98.97
	TS022.7	0.05403	0.00056	0.43854	0.00436	0.05861	0.00053	0.06	372 \pm 10	369 \pm 3	367 \pm 3	99.46
	TS022.8	0.05404	0.00054	0.43765	0.00412	0.05802	0.00052	0.05	373 \pm 9	369 \pm 3	363 \pm 3	98.37
	TS022.9	0.05514	0.00056	0.48454	0.00453	0.06373	0.00059	0.32	418 \pm 10	401 \pm 3	398 \pm 4	99.25
	TS022.12	0.16447	0.00167	10.74406	0.10066	0.47377	0.00439	0.88	2502 \pm 7	2501 \pm 9	2500 \pm 19	99.96
	TS022.13	0.05404	0.00056	0.46299	0.00498	0.06213	0.00056	0.10	373 \pm 10	386 \pm 3	389 \pm 3	100.78
	TS022.16	0.05535	0.00056	0.47301	0.00444	0.06199	0.00057	0.27	426 \pm 9	393 \pm 3	388 \pm 3	98.73
	TS022.17	0.05371	0.00055	0.42105	0.00448	0.05685	0.00053	0.08	359 \pm 9	357 \pm 3	356 \pm 3	99.72
	TS022.18	0.05527	0.00056	0.47350	0.00437	0.06214	0.00057	0.21	423 \pm 9	394 \pm 3	389 \pm 3	98.73
	TS022.19	0.05404	0.00054	0.45321	0.00418	0.06083	0.00056	0.54	373 \pm 9	380 \pm 3	381 \pm 3	100.26
	TS022.21	0.05485	0.00055	0.43754	0.00428	0.05689	0.00055	0.03	406 \pm 9	369 \pm 3	357 \pm 3	96.75
	TS022.22	0.05504	0.00055	0.48263	0.00444	0.06361	0.00058	0.17	414 \pm 9	400 \pm 3	398 \pm 4	99.50
	TS022.25	0.05484	0.00056	0.45321	0.00433	0.05869	0.00054	0.05	406 \pm 9	380 \pm 6	368 \pm 3	96.84
	TS022.26	0.05445	0.00055	0.47642	0.00439	0.06347	0.00058	0.56	390 \pm 9	396 \pm 3	397 \pm 4	100.25
	TS022.28	0.05499	0.00056	0.43787	0.00407	0.05700	0.00052	0.06	412 \pm 9	369 \pm 3	357 \pm 3	96.75
	TS022.29	0.05518	0.00056	0.47931	0.00441	0.06302	0.00058	0.29	420 \pm 9	398 \pm 3	394 \pm 4	98.99
	TS022.30	0.06034	0.00061	0.81359	0.00757	0.09781	0.00089	0.79	616 \pm 9	604 \pm 4	602 \pm 5	99.67
TS022.32	0.05434	0.00055	0.46501	0.00432	0.06206	0.00057	1.00	385 \pm 10	388 \pm 3	388 \pm 3	100.00	
TS022.33	0.05415	0.00054	0.44248	0.00408	0.05882	0.00055	0.04	377 \pm 9	372 \pm 3	368 \pm 3	98.92	

(MSWD = 2.7)。结合被测锆石的 CL 图像和高的 Th/U 比值(0.16 ~ 0.75),我们将该加权平均年龄解释为该花岗岩的侵位年龄,属于新元古代。

6 个位于锆石新的生长边的分析点给出的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 437 ~ 445 Ma。在一致曲线图中,数据点成群分布于一致曲线上或其附近(图 3),²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值为 440.9 ± 3.3 Ma (MSWD = 0.78)。结合被测锆石的 CL 图像和低的 Th/U 比值(0.04 ~ 0.09),我们将该加权平均年龄解释为该花岗岩的变质/变形年龄,属于早志留世。

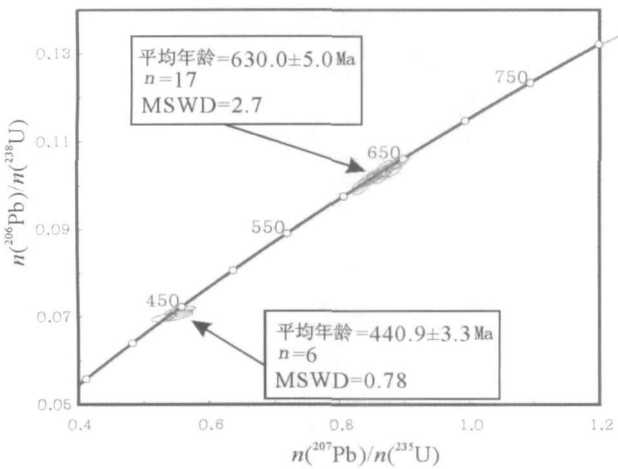


图 3 中天山北缘花岗片麻岩样品(TS05) 中锆石的 U-Pb 一致曲线图

Fig.3 U-Pb Concordia diagram of the zircons (No. TS05) from the gneissic granite on the north margin of Central Tianshan block

该样品中获得两个较老的年龄 (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄分别为 1878 ± 34 Ma 和 2526 ± 6 Ma),为残留或捕获的古元古代和新太古代锆石,包裹于岩浆锆石的核部,暗示了岩浆源区更老的前寒武纪基底的存在。

3.2 中天山南缘的片麻状花岗闪长岩样品 TS022

该样品中选出的锆石一般呈无色透明,多为半自形柱状,粒径长 100 ~ 200 μm,宽 50 ~ 100 μm 之间。从锆石的阴极发光(CL) 图像中可以看到(图 4),大多数锆石具有清楚的韵律环带结构,又多具有新的生长边,其中有些锆石可见残留核结构。该样品的锆石 U-Pb 年龄分析结果见表 1。

12 个位于具韵律环带结构区域的分析点给出的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 381 ~ 398 Ma。在一致曲线图中,数据点成群分布于一致曲线上或其附近(图 5),²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值为 389.5 ± 3.2 Ma

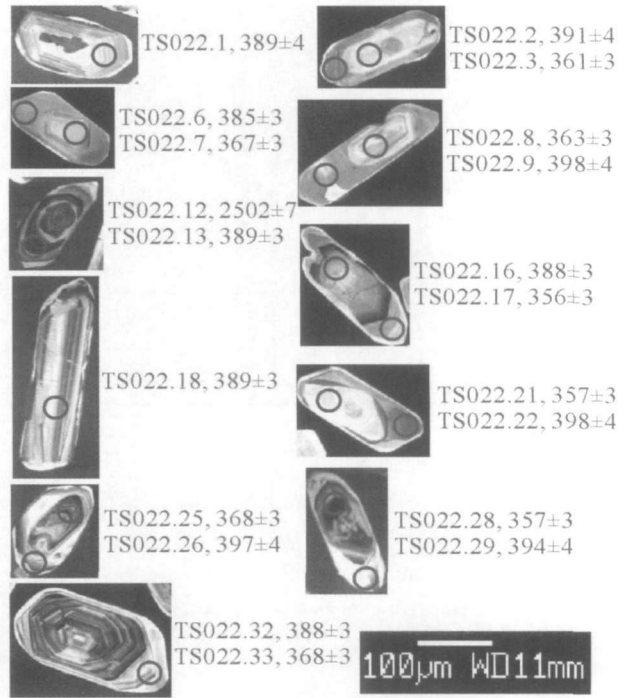


图 4 中天山南缘糜棱岩化花岗闪长岩样品(TS022) 中锆石的 CL 图像

Fig. 4 CL images of the zircons (No. TS022) from the mylonitized granodiorite on the south margin of Central Tianshan block

(MSWD = 2.3)。结合被测锆石的 CL 图像和高的 Th/U 比值(0.10 ~ 0.79),我们将该加权平均年龄解释为该花岗岩的侵位年龄,属于中泥盆世。

8 个位于锆石新的生长边的分析点给出的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 356 ~ 368 Ma。在一致曲线图中,数据点成群分布于一致曲线上或其附近(图 5),²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值为 362.1 ± 4.3 Ma (MSWD = 2.9)。结合被测锆石的 CL 图像和低的 Th/U 比值(0.03 ~ 0.08),我们将该加权平均年龄解释为该花岗岩的变质/变形年龄,属于晚泥盆世。

该样品中获得两个较老的年龄分别为新太古代 (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄 2502 ± 7 Ma) 和新元古代 (²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄 602 ± 5 Ma),为残留或捕获的古老锆石核,说明该花岗岩浆形成过程中有较多古老地壳物质的加入。

4 讨论

对于中天山南、北缘洋盆最终闭合和碰撞造山的时限,学者们从蛇绿岩、高压—超高压变质岩和花岗岩—火山岩等不同的角度进行了大量的研究,但

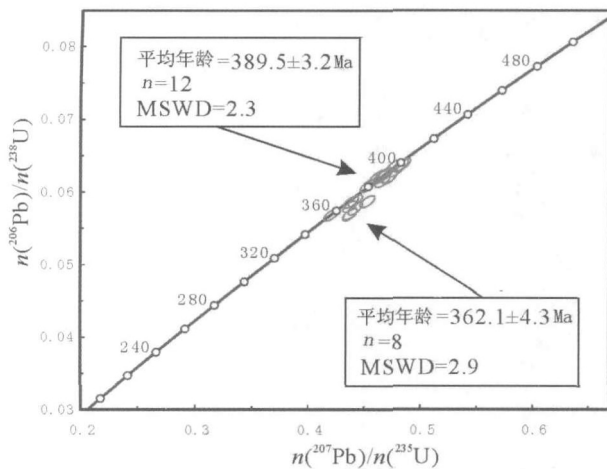


图5 中天山南缘糜棱岩化花岗闪长岩样品 (TS022) 中锆石的 U-Pb 一致曲线图

Fig. 5 U-Pb Concordia diagram of the zircons (No. TS022) from the mylonitized granodiorite on the south margin of Central Tianshan block

是长期以来就存在有很大的争议。本文在综合分析这些方面可靠的同位素地质年代学资料的基础上,结合我们对中天山巴仑台地区变形花岗岩类 LA-ICP-MS U-Pb 定年的新成果,讨论研究区中天山南、北缘碰撞造山的时限,为探讨天山古生代构造演化提供精确的同位素地质年代学证据。

4.1 对研究区中天山北缘洋盆闭合时代的限定

中天山北缘边界断裂带的区域延伸、构造属性与演化等问题虽然还存在很大的争论,但是多数研究者认为,这是一条古生代的板块缝合带,主要沿干沟、米什沟、乌苏通沟,胜利达坂(也称冰达坂)蛇绿混杂岩带呈东西向展布,东延接阿齐克库都克断裂,向西延伸可与西准噶尔南缘的唐巴勒蛇绿混杂岩带相连(董云鹏等,2005a,2006)。长期以来,学者们争论的焦点之一便是中天山北缘洋盆(北天山洋)的闭合时间问题。一部分学者认为北天山洋在石炭末—早二叠世闭合(Windley et al.,1990; Allen et al.,1992; Xiao Wenjiao et al.,2004),另一部分学者认为北天山洋是在志留纪时期闭合的(车自成等,1994;舒良树等,1998;朱宝清等,2002;董云鹏等,2005a;董云鹏等,2006;石玉若等,2006)。本文对胜利达坂地区基底变形花岗岩的 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果支持后一种观点。

在中天山北缘托克逊县的米什沟地区,米什沟组的岩石组合主要为绿色长石石英砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩互层,具有复理石建造特征,含丰富的早志

留世笔石化石和少量腕足类、腹足类化石。奥陶系可可乃克群(蛇绿混杂岩)的岩石组合、变质程度与米什沟组明显不同,遭受绿片岩相变质改造。志留系米什沟组主要分布于蛇绿混杂岩带南侧,以角度不整合覆盖在其之上(车自成等,1994)。在托克逊县干沟一带出露的早古生代岛弧型蛇绿混杂岩和志留纪前陆盆地沉积时空配置关系表明,洋壳在奥陶纪发生向北俯冲消减,志留纪因前陆和岛弧的碰撞而形成前陆盆地,这一过程结束于(386.1 ± 4.1) Ma 之前(朱宝清等,2002)。干沟地区沿中天山北缘断裂带分布的眼球状花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(428 ± 10) Ma,其地球化学特征与碰撞型花岗岩相类似,属高钾钙碱性系列,此年龄被解释为该花岗岩体的侵位时代,为米什沟—干沟洋盆的最终闭合提供了精确的年代学制约(石玉若等,2006)。董云鹏等(2006)对干沟蛇绿混杂岩带的地质地球化学综合研究表明,中寒武世—早奥陶世中天山北缘存在以干沟蛇绿岩为代表的古洋盆,晚寒武世开始发生洋壳的俯冲消减作用并且形成以干沟 SSZ 型火山岩以及混杂基质为代表的活动大陆边缘火山—沉积建造。到中—晚奥陶世,该洋盆关闭,南北地块碰撞,伴随有强烈的构造变形和绿片岩相变质作用改造。早志留世,为碰撞后的陆表沉积环境,堆积复理石建造。

在中天山北缘胜利达坂北侧出露蛇绿混杂岩残块,是中天山北缘蛇绿混杂岩带的重要组成部分(董云鹏等,2005a)。在胜利达坂一带发育的条带状花岗质片麻岩被认为是中天山活动型基底中—新元古代巴仑台群的组成部分,其形成时代一直没有得到精确的限定(车自成等,1994)。出露于中天山北缘胜利达坂南侧的花岗质片麻岩 TS05 的岩体结晶年龄为 630.0 ± 5.0 Ma,代表中天山微陆基底的新元古代岩浆事件年龄;变质增生锆石的年龄为 440.9 ± 3.3 Ma,其形成与中天山北侧洋盆闭合过程中的俯冲—碰撞事件相关联。虽然朱永峰等(2006)指出在胜利达坂一带的片麻状花岗岩是早志留世花岗岩体被糜棱岩化的结果,并不是中天山微陆块基底的组成部分。但是根据区域地质资料和已经获得的同位素年龄资料综合分析判断,由于该地区早古生代及以前的各种花岗岩体均已经受到多期变形的影响,不同的岩石类型很难划分出明显的界线,并不能排除其中存在元古宙变形花岗岩的可能性。本文这一研究结果显示,胜利达坂蛇绿岩所代表的古洋盆应于奥陶纪末关闭,导致了志留纪初

中天山与北天山的碰撞,在中天山微陆基底新元古代花岗岩中变质增生锆石的形成就是该期碰撞事件的地质记录。这与上述前人在米什沟—干沟地区的研究所得出的结论是相一致的,为有效限定研究区古洋盆的最终闭合时限提供了精确的同位素地质年代学证据。

4.2 对研究区中天山南缘洋盆俯冲和闭合时代的限定

区域地质综合研究表明,中天山南缘断裂构造带代表了中天山南缘古洋盆(南天山洋)闭合后的缝合带,主要沿硫磺山—铜花山—榆树沟蛇绿混杂岩带,乌瓦门蛇绿混杂岩带呈东西向展布,向西延伸可与哈尔克山北坡的长阿吾子蛇绿混杂岩带相接(董云鹏等,2001;董云鹏等,2005b)。榆树沟蛇绿岩的锆石 U-Pb 定年表明,该蛇绿岩套形成年龄为 $440 \pm 18 \text{ Ma}$ (王润三等,1998),结合长阿吾子蛇绿岩的辉石 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 坪年龄 439 Ma (郝杰等,1993),可以认为中天山南缘蛇绿岩所代表的洋盆形成时代主体应为早志留世。榆树沟蛇绿岩中的变质锆石 SHRIMP 年龄分别为 392 ± 7 和 $390 \pm 11 \text{ Ma}$,代表了该蛇绿岩块体经历麻粒岩相变质改造的年龄,揭示南天山洋在泥盆纪早期已经开始向北俯冲(周鼎武等,2004)。中天山巴仑台—库米什地区存在一套早泥盆世的花岗岩,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄在 $416.6 \pm 5.6 \text{ Ma}$ 到 $396 \pm 4 \text{ Ma}$ 之间,说明至少在早泥盆世之前南天山洋已经开始向北俯冲于中天山微陆块之下,并形成了大量的早泥盆世陆弧型侵入岩(杨天南等,2006a,2006b)。据此推测,早泥盆世时巴仑台—库米什地区属于俯冲带上盘活动陆缘环境,其大陆边缘火山—岩浆活动是由于乌瓦门—榆树沟蛇绿岩套所代表的洋壳向北俯冲过程形成的,地幔局部熔融及玄武岩浆上涌带来的热量引起中、下地壳的局部熔融,分别形成玄武质侵入岩及重熔型花岗岩,并使部分岩石发生麻粒岩相变质(王润三等,1999,2003;周鼎武等,2004)。关于研究区南天山洋最终闭合时限的证据是在中天山南缘存在高压变质带。榆树沟蛇绿岩的锆石 U-Pb 下交点年龄为 $364 \pm 5 \text{ Ma}$ 与斜长角闪岩中变质角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $368 \pm 5 \text{ Ma}$,代表其变质作用的年龄(王润三等,1998,2003)。刘斌等(2003)在出露于榆树沟东侧铜花山一带蓝片岩中蓝闪石也得到 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $360.7 \pm 1.6 \text{ Ma}$ 。说明该期高压变质事件形成年龄约为 360 Ma ,也即中天山南缘洋盆最终闭合和碰撞造山的时限。

在中天山南缘乌瓦门出露蛇绿混杂岩残块,是中天山南缘蛇绿混杂岩带的重要组成部分(董云鹏等,2005b)。在巴仑台南缘出露大面积的花岗岩和花岗闪长岩,岩体长轴方向呈近东西向延伸,与区域构造线方向(NWW)一致。岩体侵入于元古宙变质岩中,西北侧有石炭纪地层不整合在岩体之上,由于一直缺乏精确有效的同位素年龄数据,其形成时代存在有新元古代和晚奥陶世等分歧意见(车自成等,1994;韩宝福等,2004)。根据现有地质资料分析,可能是一个多期复合岩体,其主体是花岗岩和花岗闪长岩,内部含有闪长岩,边缘普遍发育片麻状构造。出露于巴仑台南部的片麻状花岗闪长岩 TS022 的岩体结晶年龄为 $389.5 \pm 3.2 \text{ Ma}$,是中泥盆世乌瓦门蛇绿岩所代表的洋壳向北俯冲形成岩浆弧;变质增生锆石的年龄为 $362.1 \pm 4.3 \text{ Ma}$,其形成与中天山南侧洋盆闭合后的碰撞事件相关联。这一研究结果显示,中天山南缘洋壳在中泥盆世向北俯冲形成岩浆弧,至晚泥盆世末期中天山南缘与塔里木陆块发生碰撞。这与前人研究所得出的结论是相一致的,为有效限定研究区古洋盆的最终闭合时限提供了精确的同位素地质年代学证据。

综合上述同位素地质年代学资料,研究区中天山南缘蛇绿岩形成时代主体应为早志留世,由于洋壳的俯冲消减所导致的麻粒岩地体以及大量的俯冲型花岗岩形成,其时代限定了洋壳俯冲事件发生于晚志留世—早泥盆世,碰撞作用发生于泥盆纪晚期,并于石炭纪转入碰撞后的陆内造山演化阶段。中天山南缘的这一构造演化模式得到了充分的区域地质资料证实(王作勋等,1990;新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993),中天山巴仑台地区上志留统巴音布鲁克组为灰绿色、灰紫色中性火山岩、碎屑岩,是典型的岛弧火山岩,由此可以推断上志留世南天山洋盆是向北俯冲到中天山地块之下,从而导致中天山快速抬升遭受剥蚀,导致中天山缺失泥盆纪沉积地层。在中天山可见下石炭统马鞍山组角度不整合覆盖在奥陶系或志留系之上,在南天山硫磺山地区也可见下石炭统都呈角度不整合覆盖在前石炭系之上,说明早石炭世之前中天山和南天山已经碰撞聚合。

4.3 对研究区中天山基底时代的探讨

出露于中天山北缘胜利达坂的花岗质片麻岩("混合岩")被当作是微大陆基底的组成部分,划归为巴仑台群,这套变质岩系的原岩形成于 $1100 \sim 1400 \text{ Ma}$,其变质作用和混合岩化的时代介于 $649 \sim$

863Ma(车自成等,1994)。巴伦台群是由各类片岩、片麻岩、混合岩和不同时代的岩体组成的活动型基底,但是长期以来,由于缺乏精确的同位素地质年代学数据,其形成时代一直是一个悬而未决的问题。

胜利达坂南侧的花岗质片麻岩 TS05 的岩体结晶年龄为 630.0 ± 5.0 Ma,代表中天山微陆基底的新元古代岩浆事件年龄;这一年龄结果可以确定以巴伦台群为代表的活动型基底包括有 630Ma 的花岗质岩浆活动。两个样品中的锆石均具有年龄为 2.5Ga 和 1.8Ga 的残留或捕获的古老继承核,表明花岗质岩浆中富含多种继承性锆石,意味着中天山微陆块具有更古老的结晶基底,反映了中天山基底的年龄组成特征。

5 结论

(1) 巴伦台北部中天山微陆基底新元古代花岗岩中变质增生锆石的年龄为 440.9 ± 3.3 Ma,精确限定了研究区中天山北缘洋盆闭合与碰撞造山作用的年代为早志留世。

(2) 巴伦台南侧片麻状花岗闪长岩中岩浆锆石结晶年龄为 389.5 ± 3.2 Ma,变质增生锆石的年龄为 362.1 ± 4.3 Ma,指示中天山南缘洋壳在中泥盆世向北俯冲形成岩浆弧,至晚泥盆世末期研究区中天山南缘洋盆闭合与碰撞造山。

(3) 巴伦台北部的花岗质片麻岩的岩浆锆石结晶年龄为 630.0 ± 5.0 Ma,代表中天山微陆基底的新元古代岩浆事件年龄;南北两个样品中具有年龄为 2.5Ga 和 1.8Ga 的残留或捕获的古老锆石继承核,反映了研究区中天山基底的年龄组成特征。

致谢:作者对张绍立帮助分选锆石,第五春荣和张红在 LA-ICP-MS 分析工作中的帮助,在此一并深表谢意。

参 考 文 献 / References

车自成,刘洪福,刘良. 1994. 中天山造山带的形成与演化. 北京:地质出版社,1~135.

陈义兵,胡露琴,张国新,张前锋. 1999a. 西天山独库公路花岗片麻岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 科学通报,44(21):2328~2332.

陈义兵,胡露琴,张国新,张前锋. 1999b. 西天山前寒武纪天窗花岗片麻岩的锆石 U-Pb 年龄及 Nd-Sr 同位素特征. 地球化学,28(6):515~520.

董云鹏,王润三,周鼎武. 2001. 南天山北缘榆树沟变质基性-超基性岩的地球化学及其成因机制. 地球化学,30(6):559~568.

董云鹏,张国伟,周鼎武,罗金海,张成立,夏林圻,徐学义,李向民. 2005a. 中天山北缘冰达坂蛇绿混杂岩的厘定及其构造意

义. 中国科学(D),35(6):552~560.

董云鹏,周鼎武,张国伟,张成立,夏林圻,徐学义,李向民. 2005b. 中天山南缘乌瓦门蛇绿岩形成构造环境. 岩石学报,21(1):37~44.

董云鹏,周鼎武,张国伟,赵霞,罗金海,徐静刚. 2006. 中天山北缘干沟蛇绿混杂岩带的地质地球化学. 岩石学报,22(1):49~56.

高俊,龙灵利,钱青,黄德志,苏文,Reiner Klemd. 2006. 南天山:晚古生代还是三叠纪碰撞造山带. 岩石学报,22(5):1049~1061.

韩宝福,何国琦,吴泰然,李惠民. 2004. 天山早古生代花岗岩锆石 U-Pb 定年. 岩石地球化学特征及其大地构造意义. 新疆地质,22(1):4~11.

郝杰,刘小汉. 1993. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义. 地质科学,28(1):93~95.

李锦轶,肖序常. 1999. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述. 地质科学,34(4):405~419.

李锦轶,何国琦,徐新,李华芹,孙桂华,杨天南,高立明,朱志新. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨. 地质学报,80(1):148~168.

刘斌,钱一雄. 2003. 东天山三条高压变质带地质特征和流体作用. 岩石学报,19(2):283~296.

龙灵利,高俊,熊贤明,钱青. 2007. 新疆中天山南缘比开(地区)花岗岩地球化学特征及年代学研究. 岩石学报,23(4):719~732.

石玉若,刘敦一,张旗,简平,张福勤,苗来成. 2006. 中天山干沟一带花岗质岩类 SHRIMP 年代学及其构造意义. 科学通报,51(22):2665~2672.

舒良树,夏飞雅克,冯瑞士. 1998. 中天山北缘大型右旋走滑剪切带研究. 新疆地质,16(4):326~336.

王润三,王焰,李惠民,周鼎武,王居里. 1998. 南天山榆树沟高压麻粒岩地体锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 地球化学,27(6):517~522.

王润三,王居里,周鼎武. 1999. 南天山榆树沟遭麻粒岩相变质改造的蛇绿岩套研究. 地质科学,34(2):166~176.

王润三,周鼎武,王焰,王居里,桑海清,张任祜. 2003. 南天山榆树沟高压麻粒岩地体多期变质定年研究. 岩石学报,19(3):452~460.

王作勋,乌继勇,吕喜朝,张经国,刘成德. 1990. 天山多旋回构造演化与成矿. 北京:科学出版社,1~119.

肖序常,汤耀庆,冯益民,朱宝清,李锦轶,赵民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京:地质出版社,1~171.

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京:地质出版社,1~841.

杨天南,李锦轶,文中田,冯晓飞,王瑜,孙桂华,高立明. 2004. 中天山地块南北两缘的韧性剪切带. 地质学报,78(3):310~318.

杨天南,李锦轶,孙桂华,王彦斌. 2006a. 中天山早泥盆世陆弧:来自花岗质糜棱岩地球化学及 SHRIMP-U/Pb 定年证据. 岩石学报,22(1):41~48.

杨天南,王小平. 2006b. 新疆库米什早泥盆世侵入岩时代、地球化学及大地构造意义. 岩石矿物学杂志,25(5):401~411.

周鼎武,苏犁,简平,王润三,柳小明,陆关祥,王居里. 2004. 南天山榆树沟蛇绿岩地体中高压麻粒岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及构造意义. 科学通报,49(14):1411~1415.

朱宝清,冯益民,杨军录,张开春. 2002. 新疆中天山干沟一带蛇绿混杂岩和志留纪前陆盆地的发现及其意义. 新疆地质,20(4):326~330.

朱永峰,宋彪. 2006. 新疆天格尔糜棱岩化花岗岩的岩石学及其

- SHRIMP 年代学研究: 兼论花岗岩中热液锆石边的定年. 岩石学报, 22(1): 135 ~ 144.
- 朱志新, 王克卓, 郑玉洁, 孙桂华, 张超, 李亚萍. 2006. 新疆伊犁地块南缘志留纪和泥盆纪花岗岩侵入体锆石 SHRIMP 定年及其形成时构造背景的初步探讨. 岩石学报 22(5): 1193 ~ 1200.
- Allen M B, Windley B F, Zhang Chi. 1992. Paleozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tien Shan (Tianshan Mts.), central Asia. *Tectonophysics*, 220: 89 ~ 115.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chem. Geol.*, 192: 59 ~ 79.
- Gao Jun, Li Maosong, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing and He Guoqi, 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China. *Tectonophysics*, 287: 213 ~ 231.
- Ludwig K R. 2003. Isoplot/Ex version 3.00. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochron. Centre Spec. Publ., No. 4: 1 ~ 70.
- Windley B F, Allen M B, Zhang Chi, Zhao Zhiyong and Wang Guangrui, 1990. Paleozoic accretion and Cenozoic reformation of the Chinese Tianshan (Tianshan Mts.) range, Central Asia. *Geology*, 18: 128 ~ 131.
- Xiao Wenjiao, Zhang Lianchang, Qin Kezhang, Sun Shu and Li Jiliang, 2004. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the eastern Tianshan (China): implications for the continental growth of Central Asia. *American Journal of Science*, 304: 370 ~ 395.
- Yuan Honglin, Gao Shan, Liu Xiaoming, Li Huiming, Gunther D and Wu Fuyuan, 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geostan. Geoanal. Res.*, 28: 353 ~ 370.

Zircons LA-ICP-MS U-Pb Dating on the Baluntai Deformed Granitoids , Central Tianshan Block , Northwest China , and Its Tectonic Implications

CHEN Yibing^{1 2)} , ZHANG Guowei²⁾ , LIU Xiaoming²⁾ , XIONG Xiaoling¹⁾ , YUAN Cao¹⁾ , CHEN Linli¹⁾

1) *State Key Laboratory of Isotope Geochemistry , Guangzhou Institute of Geochemistry ,
Chinese Academy of Sciences , Guangzhou , 510640;*

2) *State Key Laboratory of Continent Dynamics , Department of Geology , Northwest University , Xi'an , 710069*

Abstract: Zircons LA-ICP-MS U-Pb dating was performed systematically on deformed granitoids in the Baluntai area of Central Tianshan Mountains. The gneissic granite occurring along the northern margin of the Central Tianshan block was formed during the Neoproterozoic , based on the magmatic zircons age of 630.0 ± 5.0 Ma. The metamorphic zircon rims was dated at 440.9 ± 3.3 Ma , which probably was related to the deformation process in the studied Neoproterozoic granite during the collision between the Central Tianshan block and the North Tianshan block in Early Silurian. The mylonitized granodiorite occurring along the southern margin the Central Tianshan block was formed during the Middle Devonian , based on the magmatic zircons age of 389.5 ± 3.2 Ma , which indicate that the oceanic crust subducted northward under the Central Tianshan block at that time. The metamorphic zircon rims was dated at 362.1 ± 4.3 Ma , which probably was related to the deformation process in the studied granodiorite during the collision between the Central Tianshan block and the South Tianshan block at the end of Late Devonian. Our dataset also shows that the zircon cores have apparent U-Pb ages of 2.5 Ga and 1.8 Ga , which was believed to be components of the Precambrian basement of the Central Tianshan Block.

Key words: Zircons LA-ICP-MS U-Pb dating; deformed granitoid; Baluntai area , Central Tianshan Mountains , Xinjiang