

西准噶尔吾尔喀什尔山库鲁木苏岩基解体的 锆石 U-Pb 年代学证据

张胜龙¹, 李永军¹, 焦光磊¹, 易善鑫¹, 孙 勇¹, 杨 洋¹, 王军年²

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 新疆维吾尔自治区地质矿产开发局第七地质大队,
新疆 乌苏 833000)

摘要: 尽管岩石学特征和接触关系标志是岩基解体的最直接、最重要的证据, 但不同序列的精确同位素定年则是对岩基解体证据的重要补充。库鲁木苏岩基可解体为库鲁木苏序列和沙雀序列, 野外可见库鲁木苏序列呈脉状穿入沙雀序列, 在库鲁木苏序列中沙雀序列呈捕掳体被包裹, 地球化学特征表明二者无演化亲缘关系。高精度 LA-ICP-MS 测年获得库鲁木苏序列年龄 291.5 ± 2.9 Ma 和 290.9 ± 2.9 Ma, 获得沙雀序列年龄 304.9 ± 2.5 Ma 和 304.1 ± 2.9 Ma, 表明二者是两期岩浆事件的产物, 为库鲁木苏岩基的解体提供了年代学证据。库鲁木苏岩基的解体, 不仅客观反映了岩浆的分布及活动特征, 而且对进一步研究岩浆事件和构造演化具有重要的意义。

关键词: 西准噶尔; 库鲁木苏岩基; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 解体

中图分类号: P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)06-1073-13

Zircon U-Pb geochronological evidence of the disintegration of the Kulumusu granitic batholith in Wuerkashier, West Junggar Basin

ZHANG Sheng-long¹, LI Yong-jun¹, JIAO Guang-lei¹, YI Shan-xin¹, SUN Yong¹, YANG Yang¹
and WANG Jun-nian²

(1. Earth Science and Resources College, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. No. 7 Geological Survey Party,
Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resource Exploration, Wusu 833000, China)

Abstract: While petrologic characteristics and contact relations constitute the most direct and important evidence of the disintegration of granitic batholith, the accurate isotopic ages of the different series are important supplementary data. The Kulumusu granitic batholith is composed of Kulumusu and Shaque series. Detailed field investigation shows that the vein from Kulumusu series intruded into Shaque series. In addition, xenoliths of Shaque series are distributed in Kulumusu series. High-precision LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Kulumusu series indicates that the weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages are 291.5 ± 2.9 Ma and 290.9 ± 2.9 Ma, and those of the Shaque series are 304.9 ± 2.5 Ma and 304.1 ± 2.9 Ma. The ages of the two series show that they were formed in different magma intrusion events, and the data obtained provide geochronological evidence for disintegration of the Kulumusu granitic batholith. The disintegration of the Kulumusu batholith not only provides new information on the geological features and facts of magmatic movements, but also is of significance and

收稿日期: 2014-04-11; 修订日期: 2014-10-16

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价专项(1212011120516); 中央高校基本科研业务费专项资金(2014G1271058)

作者简介: 张胜龙(1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 构造地质学, E-mail: chdssl11@163.com; 通讯作者: 李永军(1961-), 男,
教授, 博士生导师, 从事构造地质学、区域地质调查研究, E-mail: yongjunl@chd.edu.cn。

theoretical value in studying the tectonic evolution of this region.

Key words: West Junggar; Kulumusu batholiths; zircon LA-ICP-MS U-Pb age; disintegration

花岗岩基的解体和接触关系研究,是花岗岩地质填图的重要方法,可以客观反映花岗岩类的产出、分布,并为花岗岩类的源区性质、岩浆事件和地质构造演化提供极为重要的信息(李永军等,2005,2007a,2007b; 郑有业等,2008;)。岩石学特征和接触关系标志是进行复式岩基解体最直接、最重要的证据(肖庆辉等,2002; 葛梦春等,2011),而精确的同位素定年则可以提供年代学证据(李永军等,2005)。

后碰撞阶段的伸展期和挤压-伸展转变期是新疆北部地区大规模岩浆活动和成矿的高峰期(Han *et al.*, 1997; Chen and Jahn, 2004)。产于新疆西准噶尔乌尔喀什尔山西段的库鲁木苏大岩基,是区内出露最大的花岗岩基。虽然近年来人们对该岩基的关注程度逐渐增加(Chen *et al.*, 2010; 陈家富等,2010; 尹继元等,2013),但由于岩体分布区交通条件极为困难,加之遥感解译程度较低,长期以来人们将该岩基认为是由正长花岗岩构成的简单岩体。然而,如此大面积产出的岩基果真是前人所述的单一简单岩体吗? 笔者等在本区进行1:5万区域地质矿产调查证实,该岩基可解体为晚石炭世沙雀序列和早二叠世库鲁木苏序列(待刊)。本文分别对该岩基的库鲁木苏序列和沙雀序列进行了锆石U-Pb测年工作,证实二者为两期岩浆活动的产物。库鲁木苏岩基的解体为进一步厘定新疆北部地区后碰撞阶段的时限提供了年代学约束,并为研究该区后碰撞构造演化、古生代地壳增生作用和动力学背景提供重要证据。

1 岩基地质特征及岩基解体证据

吾尔喀什尔山一带大地构造归属中哈萨克斯坦弧形造山系哈萨克斯坦-准噶尔板块(李锦轶等,2006)。库鲁木苏岩基距额敏县城以东约30 km,出露于乌尔喀什尔山西段,面积达220 km²,整体呈椭圆状,其走向与谢米斯台大断裂走向基本一致,岩基侵入于泥盆纪地层中,与围岩多为港湾状外倾接触(图1)。

笔者等详细调查确认库鲁木苏岩基是以石英闪长岩-石英二长闪长岩为主要岩石组合的沙雀序列和以细粒二长花岗岩-细粒正长花岗岩-中粗粒正长

花岗岩-碱长花岗岩-花岗斑岩组合的库鲁木苏序列组成的复式岩基。库鲁木苏序列呈宽的带状展布,是岩基的主体,有时呈小岩枝、脉状穿入沙雀序列(图2a);沙雀序列出露面积较小,呈捕掳体被包裹于库鲁木苏序列中(图2b),序列间呈超动侵入接触关系。

初步地球化学研究证实,库鲁木苏序列具有高硅(SiO_2 含量>70.78%)、富碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量>7.87%),相对低铝(Al_2O_3 含量<15.17%),贫钙(CaO 含量<1.42%),贫镁(MgO 含量<0.95%)的特征。同时,稀土元素配分曲线呈右倾海鸥型,具有强烈的负Eu异常,相对富集Rb、Th、K,强烈亏损Ba、Sr、P、Ti,为铝质A型壳源花岗岩;沙雀序列富铝(15.79%~18.43%)、富碱(6.81%~8.97%)、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值小于1,富集大离子亲石元素(Ba、K、U)和轻稀土元素(LREE),相对亏损Nb、Ta、Ti等高强场元素,源岩为幔源成因。两个序列在源岩、成因等方面具有显著差异(另文讨论)。

2 采样及分析方法

用于库鲁木苏序列锆石U-Pb测年的2个样品采自于实测剖面,用于沙雀序列锆石U-Pb测年的2个样品采自于地质填图路线中。

TW IV-1号样品采于库鲁木苏序列花岗斑岩中,采样点坐标为E83°41'27",N46°44'36",斑状结构,块状构造,斑晶由条纹长石(20%)、石英(5%)和少量更长石(1%)组成,条纹长石呈半自形板状,0.5 mm×3 mm,具强泥化。基质(67%)微细粒结构,由钾长石、石英、少量更长石组成,局部石英与钾长石交生构成少量文象结构(图3a)。

TW V-1号样品采于库鲁木苏序列碱长花岗岩中,采样点坐标为E84°00'28",N46°22'50",具半自形-他形中粗粒结构,块状构造,主要矿物粒径多为2~7 mm。钾长石63%,具条纹结构,轻微泥化,石英30%,斜长石6%,含少量黑云母和角闪石(图3b)。

4TW 08号样品采于沙雀序列石英二长闪长岩中,采样点坐标为E84°13'25",N46°20'06",他形细粒结构,块状构造,斜长石(65%)以半自形板状为主,可见环带构造,粒径0.2~2 mm,钾长石(13%)以他

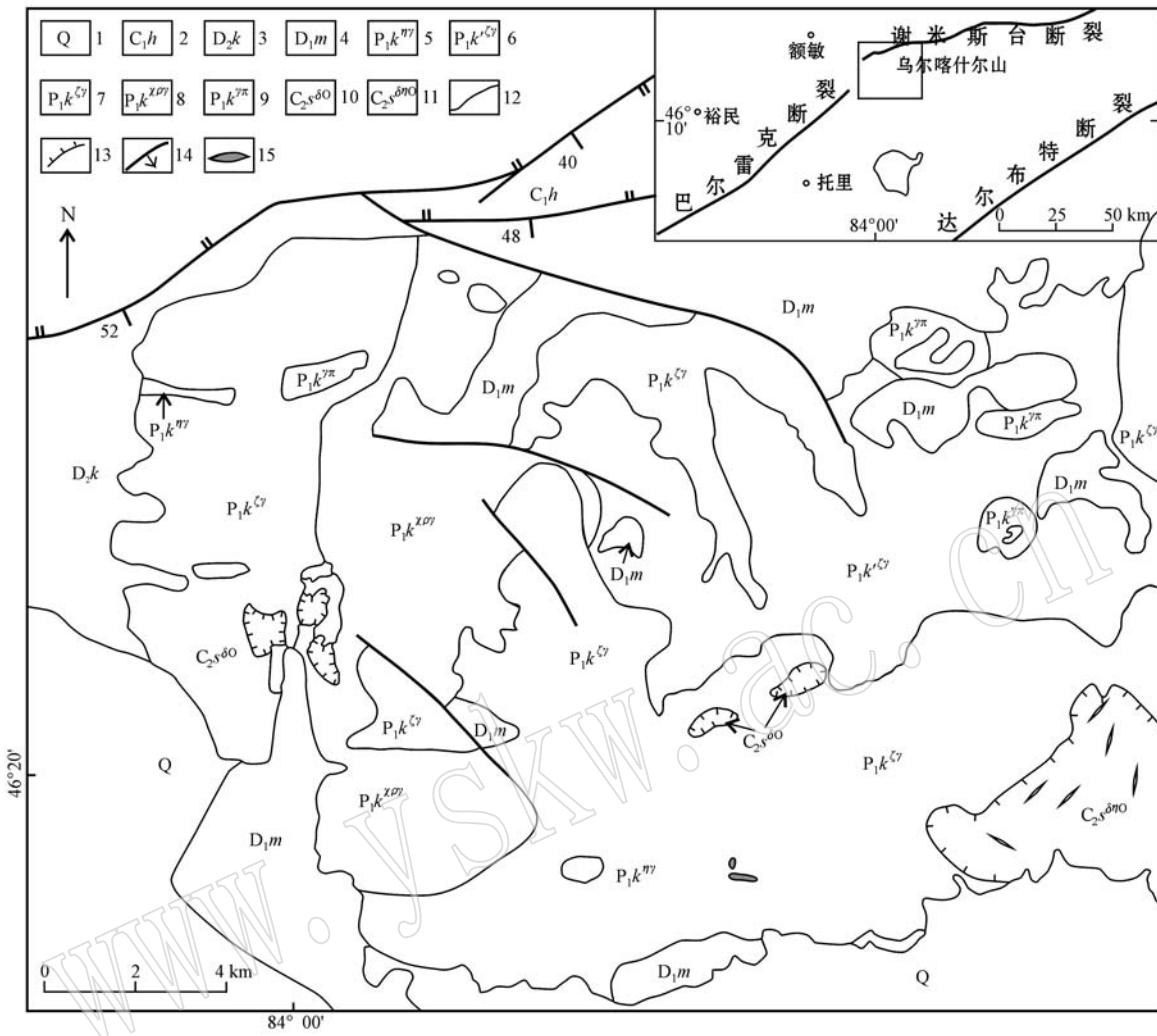


图1 库鲁木苏岩基地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Kulumusu batholith

1—第四系; 2—下石炭统姜巴斯套组; 3—中泥盆统库鲁木组; 4—下泥盆统马拉苏组; 5—早二叠世库鲁木苏序列二长花岗岩; 6—早二叠世库鲁木苏序列细粒正长花岗岩; 7—早二叠世库鲁木苏序列中粗粒正长花岗岩; 8—早二叠世库鲁木苏序列碱长花岗岩; 9—早二叠世库鲁木苏序列花岗斑岩; 10—晚石炭世沙雀序列石英闪长岩; 11—晚石炭世沙雀序列石英二长闪长岩; 12—脉动接触关系; 13—超动接触关系; 14—断层; 15—正长花岗岩脉

1—Quaternary; 2—Lower Carboniferous Jiangbasitao Formation; 3—Middle Devonian Kulumudi Formation; 4—Lower Devonian Malasu Formation; 5—Early Permian adamellite of Kulumusu series; 6—Early Permian fine syenogranite of Kulumusu series; 7—Early Permian middle-coarse syenogranite of Kulumusu series; 8—Early Permian alkali feldspar granite of Kulumusu series; 9—Early Permian porphyritic granite of Kulumusu series; 10—Late Carboniferous quartz diorite of Shaque series; 11—Late Carboniferous quartz monzodiorite of Shaque series; 12—pulsation intrusion contact; 13—incompatible intrusive contact; 14—fault; 15—syenogranite vein

形粒状为主,石英12%,角闪石和黑云母10%,角闪石充填于斜长石颗粒之间,多与黑云母共生(图3c)。

4TW 97号样品采于沙雀序列石英闪长岩中,采样点坐标为E84°10'25",N46°23'64",斑状结构,基质重结晶他形粒状结构,斑晶斜长石(40%)以更长石为特征,半自形可见聚片双晶。岩石的基质主要为斜长石(47%)他形粒状,重结晶强烈,重结晶可能为原岩中的隐晶质成分,经历了热变质形成的静态重结晶。基质中的白云母(4%)大部分具有筛状变晶结构,可

见白云母包含斜长石他形晶,基质中石英含量约8%,另外可见微量的黑云母和角闪石分布(图3d)。

样品通过常规的重液浮选和电磁初步分选出锆石,在双目镜下挑选出锆石,再制靶、抛光和镀金后,进行锆石显微照相(反射光和透射光)、扫描电镜阴极发光(CL)显微图像研究。

激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)原位U-Pb定年在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。实验采用ICP-MS为美国Agilent公司生

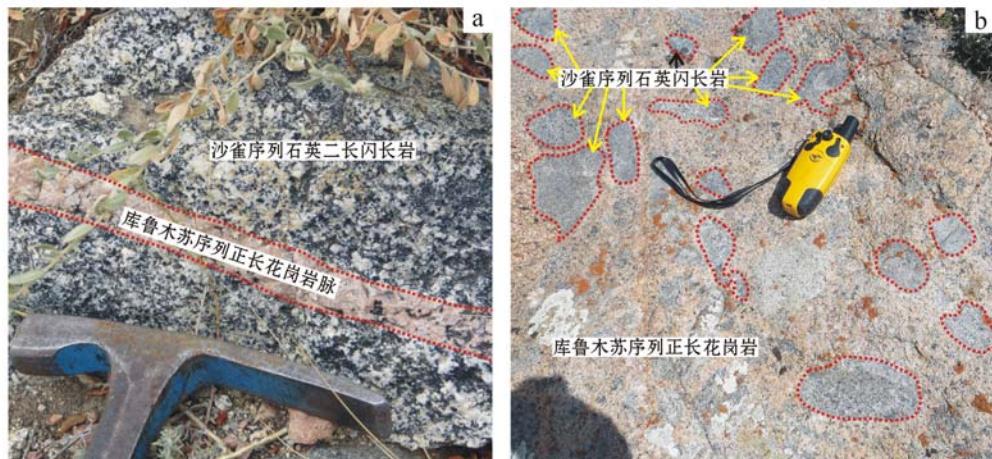


图 2 库鲁木苏序列与沙雀序列超动接触关系

Fig. 2 Intrusive contact relationship between Kulumusu series and Shaque series

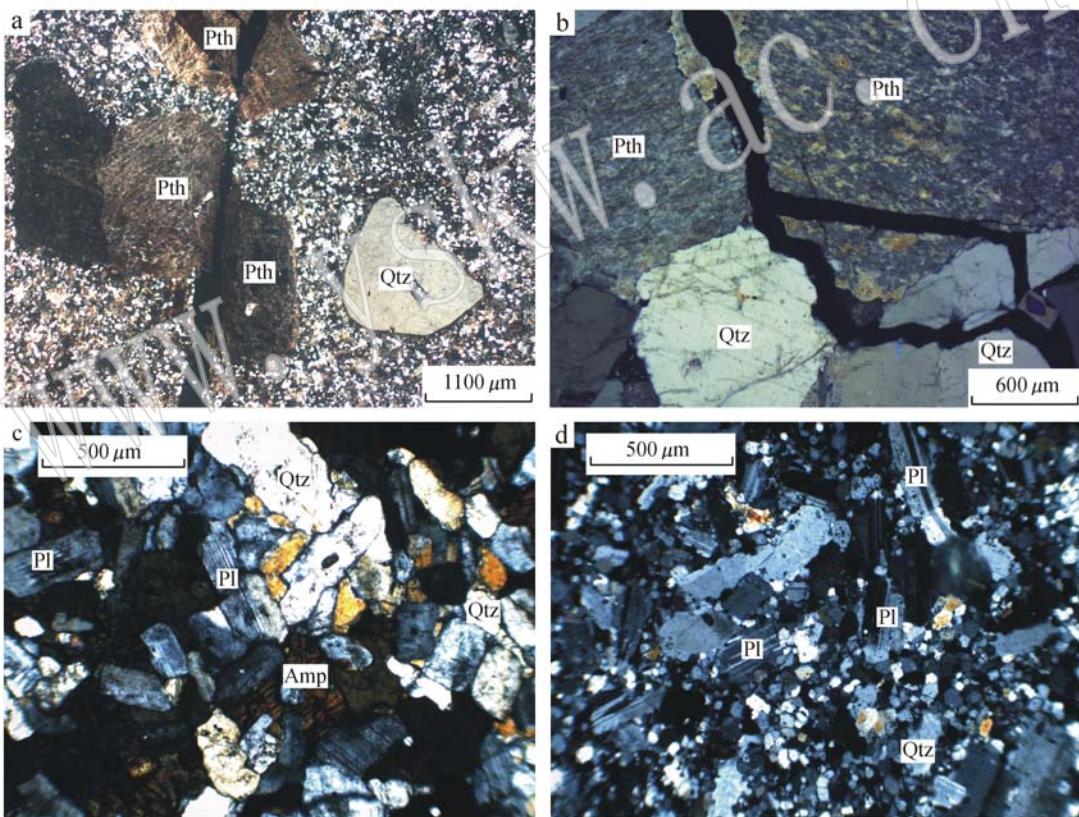


图 3 库鲁木苏序列和沙雀序列岩相学显微照片(+)

Fig. 3 Microphotographs of Kulumusu series and Shaque series (+)

a—花岗斑岩; b—碱长花岗岩; c—石英二长闪长岩; d—石英闪长岩; Qtz—石英; Pth—一条纹长石; Pl—斜长石; Amp—角闪石
a—granite porphyry; b—alkali feldspar granite; c—quartz monzonodiorite; d—quartz-diorite; Qtz—quartz monzonite; Pth—perthite;
Pl—plagioclase; Amp—amphibole

产的 Agilent7500a, 激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas200 M。激光剥蚀斑束直径为 30 μm , 激光剥蚀样品深度为 20~40 μm 。锆石年龄采用标准锆石 91500 作为外部标准物质。元素含量采用 NIST SRM1610 作为外标, ^{29}Si 作为内标元素进行

校正。采用 Glitter 程序(ver4.0, Macquarie University)对锆石的同位素比值及元素含量进行计算, 用 LAM-ICP-MS Common Lead Correction(ver3.15)对其进行普通铅校正。年龄计算及谐和图采用 Iso-plot(ver3.0)完成。详细的实验原理和流程及仪器参

数参见柳小明等(2002)和袁洪林等(2003)文献。

3 锆石特征及U-Pb年龄结果

TW IV-1号样品锆石多为浅黄色-无色透明, 多呈长柱状、正方双锥状自行晶体, 少部分呈半截锥状, 锆石粒度较大, 长100~300 μm, 宽50~150 μm, 长宽比为2:1~4:1, 阴极发光图像表现出典型的岩浆振荡环带和明暗相间的条带结构, 部分锆石可见继承锆石的残留核。

TW V-1号样品锆石粒径较大, 呈长柱状、正方双锥状自行晶体, 晶体长150~350 μm, 宽50~100 μm, 长宽比为4:3~3:1, 锆石边部发育晶棱圆化、港湾状结构, 阴极发光图像表现出典型的岩浆振荡环

带结构, 环带宽度较宽, 少量锆石中可见继承锆石的残留核。

4TW 08号样品锆石粒度细小, 以正方双锥状为主, 晶体长80~150 μm, 宽40~60 μm, 长宽比为3:2~3:1, 阴极发光图像中可见典型的岩浆振荡环带结构, 环带宽度较TW IV-1号样品和TW V-1号样品较窄。

4TW 97号样品锆石粒度细小, 以长柱状为主, 部分锆石呈半截锥状, 晶体长60~220 μm, 宽30~70 μm, 长宽比为2:1~3:1, 锆石环带较窄, 边部多有港湾状结构, 部分锆石发育典型的扇形分带结构。

上述锆石阴极发光图像表现出典型的岩浆振荡环带和明暗相间的条带结构(如图4), 属于岩浆结晶的产物(吴元保等, 2004)。

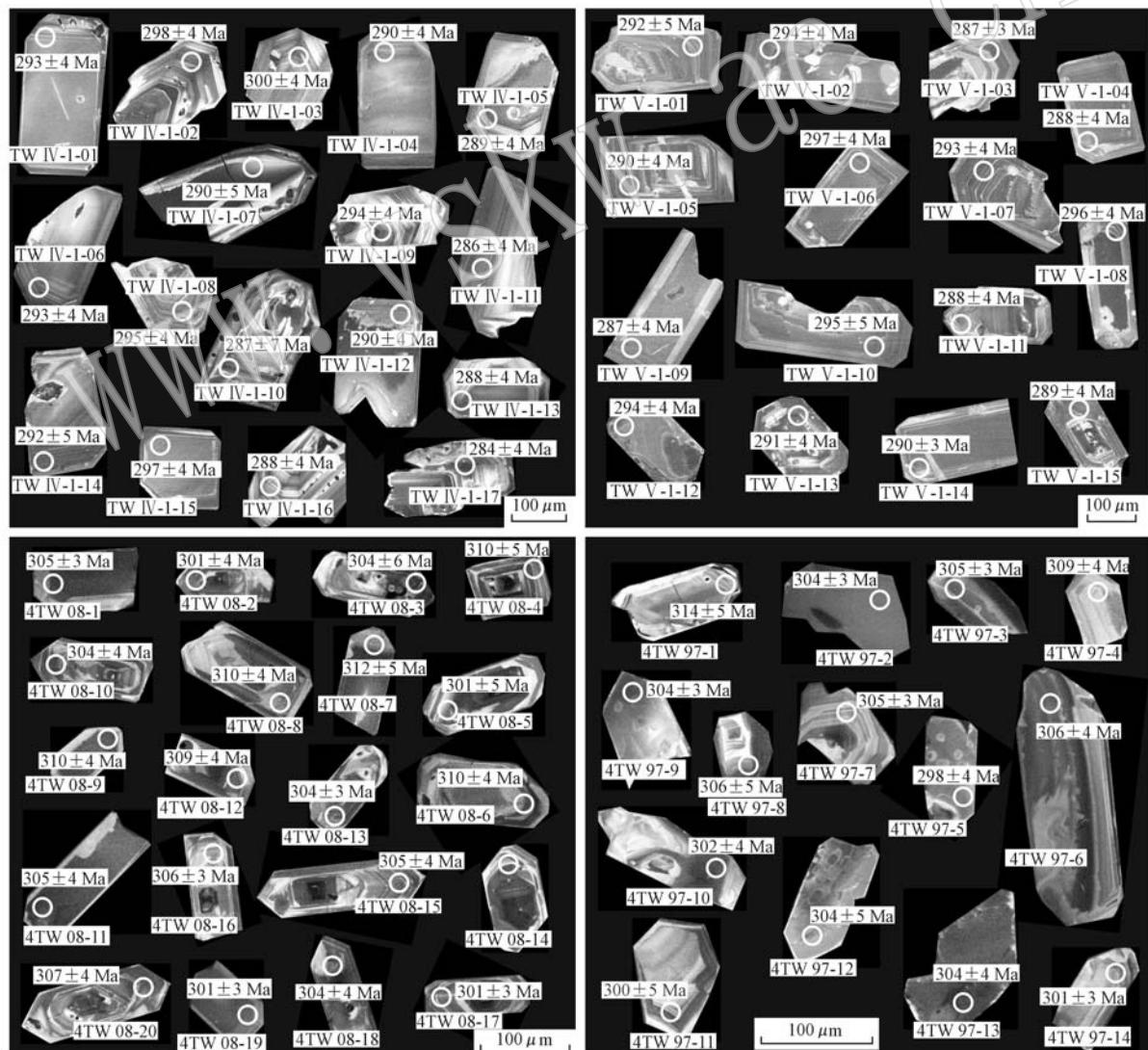


图4 库鲁木苏序列和沙雀序列样品中典型锆石CL图像和年龄值
Fig. 4 Representative zircon CL images and ages of Kulumusu series and Shaque series

库鲁木苏序列花岗斑岩 TW IV-1 号样品分析测试结果见表 1, 17 个样品测试点的 Th 含量变化为 $70.37 \times 10^{-6} \sim 200.83 \times 10^{-6}$, U 含量变化为 $162.04 \times 10^{-6} \sim 432.16 \times 10^{-6}$, Th/U 比值较高 ($0.41 \sim 0.63$), 属于典型岩浆成因锆石的范围 (Pidgeon *et al.*, 1998; 吴元保等, 2004)。Th、U 含量呈

现出较好的正相关关系, 与典型的岩浆锆石特征一致。17 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄范围在 $284 \sim 300$ Ma 之间, 均分布在谐和曲线附近, 构成比较集中地锆石群, 加权平均 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 291.5 ± 2.9 Ma, MSWD = 0.54 (95% 置信度) (图 5)。

库鲁木苏序列碱长花岗岩 TW V-1 号样品分析

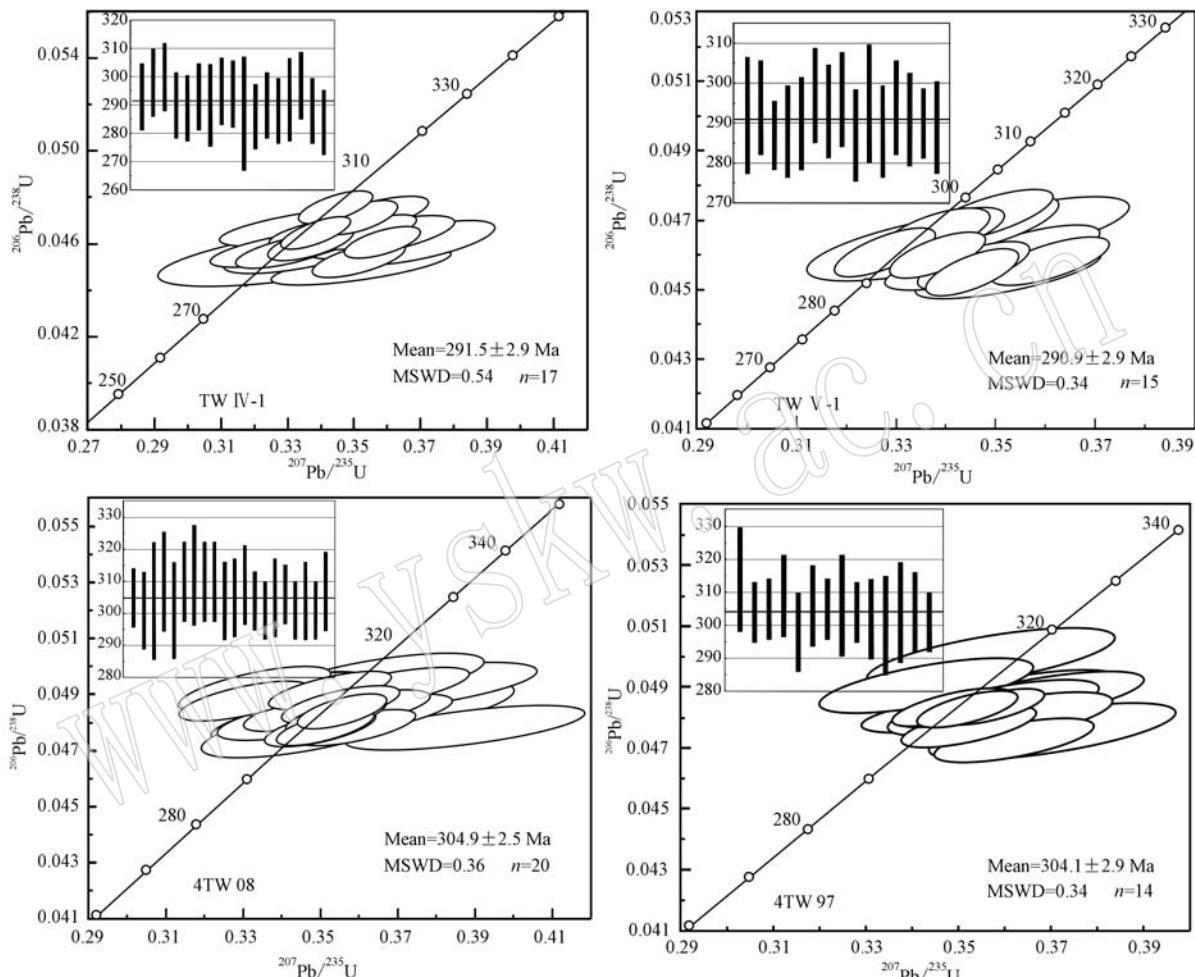


图 5 库鲁木苏序列和沙雀序列样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig. 5 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams of Kulumusu series and Shaque series

测试结果见表 2, 15 个样品测试点的 Th 含量变化为 $58.00 \times 10^{-6} \sim 291.42 \times 10^{-6}$, U 含量变化为 $144.36 \times 10^{-6} \sim 494.82 \times 10^{-6}$, 具有较高的 Th/U 比值 ($0.32 \sim 0.93$), 且 Th、U 含量呈现出较好的正相关关系, 属于岩浆成因锆石 (Pidgeon *et al.*, 1998; 吴元保等, 2004)。15 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄谐和性较好, 范围在 $287 \sim 297$ Ma 之间, 最大年龄误差为 10 Ma, 加权平均 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 290.9 ± 2.9 Ma, MSWD = 0.34 (95% 置信度) (图 5)。

沙雀序列石英二长闪长岩 4TW 08 号样品分析测试结果见表 3, 20 个样品测试点的 Th 含量变化

$42.71 \times 10^{-6} \sim 457.81 \times 10^{-6}$, U 含量变化为 $101.56 \times 10^{-6} \sim 518.32 \times 10^{-6}$, Th/U 比值 ($0.42 \sim 0.88$) 均大于 0.4, 且 Th、U 含量呈现出较好的正相关关系, 属于典型的岩浆成因锆石 (Pidgeon *et al.*, 1998; 吴元保等, 2004)。20 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄谐和性好, 范围在 $301 \sim 312$ Ma 之间, 加权平均 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 304.9 ± 2.5 Ma, MSWD = 0.36 (95% 置信度) (图 5)。

沙雀序列石英闪长岩 4TW 97 号样品分析测试结果见表 4, 14 个样品测试点的 Th 含量变化为 $34.06 \times 10^{-6} \sim 1368.27 \times 10^{-6}$, U 含量变化为 $82.67 \times$

表 1 库鲁木苏序列花岗斑岩(TW IV-1)中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年数据
 Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data for granite porphyry (TW IV-1) of Kulumusu series

测点号	$w_{\text{B}}/10^{-6}$		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	Th	U		比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ
TW IV-1-1	115	244	0.47	0.03519	0.00204	0.35424	0.01146	0.04655	0.00062	420	48	308	9	293	4
TW IV-1-2	162	393	0.41	0.05451	0.00231	0.35521	0.01352	0.04726	0.00068	392	59	309	10	298	4
TW IV-1-3	145	311	0.47	0.05240	0.00166	0.34407	0.00908	0.04762	0.00060	303	37	300	7	300	4
TW IV-1-4	201	432	0.46	0.05301	0.00191	0.33635	0.01057	0.04601	0.00061	329	47	294	8	290	4
TW IV-1-5	130	235	0.55	0.05199	0.00295	0.32845	0.01799	0.04581	0.00068	285	133	288	14	289	4
TW IV-1-6	143	312	0.46	0.05273	0.00162	0.33804	0.00860	0.04649	0.00058	317	35	296	7	293	4
TW IV-1-7	117	201	0.58	0.05812	0.00316	0.36918	0.01868	0.04607	0.00078	534	81	319	14	290	5
TW IV-1-8	87	176	0.50	0.05220	0.00356	0.33645	0.02239	0.04675	0.00070	294	158	294	17	295	4
TW IV-1-9	70	162	0.43	0.05376	0.00282	0.34530	0.01746	0.04659	0.00066	361	122	301	13	294	4
TW IV-1-10	93	199	0.47	0.05354	0.00618	0.33660	0.03791	0.04559	0.00115	352	264	295	29	287	7
TW IV-1-11	138	290	0.48	0.05614	0.00209	0.35090	0.01146	0.04533	0.00062	458	48	305	9	286	4
TW IV-1-12	108	253	0.43	0.05635	0.00176	0.35802	0.00934	0.04608	0.00058	466	36	311	7	290	4
TW IV-1-13	152	296	0.51	0.05231	0.00219	0.32980	0.01313	0.04572	0.00060	299	98	289	10	288	4
TW IV-1-14	81	179	0.45	0.05600	0.00303	0.35750	0.01803	0.04630	0.00078	452	82	310	13	292	5
TW IV-1-15	111	251	0.44	0.05408	0.00169	0.35156	0.00918	0.04715	0.00060	374	36	306	7	297	4
TW IV-1-16	92	225	0.41	0.05306	0.00317	0.33369	0.01925	0.04561	0.00072	331	139	292	15	288	4
TW IV-1-17	162	257	0.63	0.05664	0.00364	0.35152	0.02199	0.04501	0.00066	477	146	306	17	284	4

表2 库鲁木苏序列碱长花岗岩(TW V-1)中锆石LA-ICP-MS U-Pb定年数据

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb data for alkali-feldspar granite (TW V-1) of Kulumusu series

测点号	$w_{\text{B}}/10^{-6}$		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	Th	U	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ
TW V-1-1	58	147	0.39	0.052 59	0.003 24	0.335 52	0.019 48	0.046 26	0.000 82	311	100	294	15	292	5	
TW V-1-2	240	385	0.62	0.052 65	0.001 87	0.338 69	0.010 47	0.046 64	0.000 61	314	46	296	8	294	4	
TW V-1-3	152	473	0.32	0.054 96	0.001 54	0.344 93	0.007 68	0.045 51	0.000 55	411	29	301	6	287	3	
TW V-1-4	291	313	0.93	0.054 77	0.001 77	0.345 23	0.009 38	0.045 70	0.000 58	403	38	301	7	288	4	
TW V-1-5	269	495	0.54	0.051 51	0.001 57	0.327 38	0.008 20	0.046 08	0.000 57	264	35	288	6	290	4	
TW V-1-6	79	185	0.43	0.053 60	0.001 88	0.348 49	0.010 53	0.047 15	0.000 61	354	45	304	8	297	4	
TW V-1-7	137	288	0.48	0.053 00	0.002 16	0.339 73	0.012 38	0.046 49	0.000 65	329	57	297	9	293	4	
TW V-1-8	91	182	0.50	0.053 97	0.001 94	0.349 08	0.010 86	0.046 91	0.000 62	370	46	304	8	296	4	
TW V-1-9	97	194	0.50	0.056 16	0.002 56	0.352 17	0.015 32	0.045 48	0.000 62	459	104	306	12	287	4	
TW V-1-10	80	169	0.48	0.055 08	0.002 89	0.355 31	0.017 32	0.046 78	0.000 76	415	80	309	13	295	5	
TW V-1-11	120	258	0.46	0.054 67	0.002 34	0.344 47	0.014 06	0.045 70	0.000 59	399	98	301	11	288	4	
TW V-1-12	129	265	0.49	0.052 50	0.001 67	0.337 69	0.009 00	0.046 66	0.000 58	307	38	295	7	294	4	
TW V-1-13	69	144	0.48	0.055 97	0.002 14	0.355 87	0.011 97	0.046 11	0.000 62	451	51	309	9	291	4	
TW V-1-14	214	395	0.54	0.053 29	0.001 55	0.337 95	0.007 90	0.046 00	0.000 56	341	31	296	6	290	3	
TW V-1-15	210	376	0.56	0.057 07	0.001 86	0.360 62	0.009 89	0.045 83	0.000 58	494	38	313	7	289	4	

表 3 沙雀序列石英二长闪长岩(4TW 08)中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年数据

Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb data for quartz monzonodiorite (4TW 08) of Shaque series

测点号	$w_{\text{B}}/10^{-6}$		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			
	Th	U		比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ
4TW 08-1	336	496	0.68	0.053 22	0.001 45	0.355 23	0.009 46	0.048 42	0.000 52	338	41	309	7	305	3
4TW 08-2	53	109	0.49	0.058 69	0.003 89	0.387 12	0.025 35	0.047 85	0.000 69	556	118	332	19	301	4
4TW 08-3	77	153	0.50	0.054 09	0.004 92	0.360 51	0.032 26	0.048 35	0.000 97	375	166	313	24	304	6
4TW 08-4	43	102	0.42	0.054 69	0.004 23	0.371 26	0.028 37	0.049 24	0.000 75	400	145	321	21	310	5
4TW 08-5	200	280	0.72	0.052 62	0.003 47	0.346 29	0.022 43	0.047 75	0.000 78	312	118	302	17	301	5
4TW 08-6	166	280	0.59	0.051 92	0.001 96	0.352 02	0.013 06	0.049 19	0.000 57	282	64	306	10	310	4
4TW 08-7	149	271	0.55	0.053 29	0.003 44	0.363 97	0.023 12	0.049 55	0.000 74	341	117	315	17	312	5
4TW 08-8	186	402	0.46	0.049 01	0.002 46	0.332 43	0.016 36	0.049 21	0.000 66	148	88	291	12	310	4
4TW 08-9	95	188	0.50	0.054 01	0.002 69	0.366 33	0.017 93	0.049 21	0.000 62	371	88	317	13	310	4
4TW 08-10	103	204	0.50	0.052 02	0.002 88	0.345 80	0.018 81	0.048 23	0.000 65	286	100	302	14	304	4
4TW 08-11	217	409	0.53	0.051 99	0.002 17	0.346 90	0.014 15	0.048 41	0.000 60	285	71	302	11	305	4
4TW 08-12	172	327	0.53	0.050 51	0.002 48	0.341 49	0.016 48	0.049 05	0.000 65	219	87	298	12	309	4
4TW 08-13	458	518	0.88	0.053 14	0.001 65	0.353 53	0.010 72	0.048 27	0.000 53	335	49	307	8	304	3
4TW 08-14	171	281	0.61	0.054 41	0.001 94	0.358 92	0.012 53	0.047 86	0.000 54	388	58	311	9	301	3
4TW 08-15	174	256	0.68	0.053 75	0.002 35	0.359 39	0.015 41	0.048 50	0.000 59	361	75	312	12	305	4
4TW 08-16	375	481	0.78	0.052 86	0.001 91	0.354 63	0.012 53	0.048 66	0.000 56	323	59	308	9	306	3
4TW 08-17	234	317	0.74	0.053 04	0.001 81	0.349 54	0.011 66	0.047 81	0.000 54	331	55	304	9	301	3
4TW 08-18	78	148	0.53	0.054 08	0.003 08	0.359 64	0.020 12	0.048 23	0.000 67	374	101	312	15	304	4
4TW 08-19	231	423	0.55	0.053 16	0.001 63	0.350 76	0.010 47	0.047 86	0.000 52	336	48	305	8	301	3
4TW 08-20	216	319	0.68	0.049 01	0.002 10	0.329 78	0.013 86	0.048 80	0.000 58	148	76	289	11	307	4

表4 沙雀序列石英闪长岩(4TW 97)中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年数据

Table 4 LA-ICP-MS zircon U-Pb data for quartz diorite (4TW 97) of Shaque series

测点号	$w_B/10^{-6}$		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	Th	U	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ
4TW 97-1	104	92	1.13	0.05176	0.00338	0.35665	0.02211	0.04999	0.00079	275	113	310	17	314	5	
4TW 97-2	1368	964	1.42	0.05281	0.00165	0.35163	0.00898	0.04830	0.00050	321	39	306	7	304	3	
4TW 97-3	1132	1358	0.83	0.05213	0.00180	0.34760	0.01014	0.04837	0.00053	291	46	303	8	305	3	
4TW 97-4	70	102	0.68	0.05065	0.00298	0.34266	0.01897	0.04907	0.00073	225	100	299	14	309	4	
4TW 97-5	153	229	0.67	0.05549	0.00243	0.36157	0.01423	0.04726	0.00061	432	65	313	11	298	4	
4TW 97-6	70	102	0.69	0.05458	0.00308	0.36617	0.01934	0.04866	0.00072	395	92	317	14	306	4	
4TW 97-7	220	344	0.64	0.05348	0.00172	0.35693	0.00947	0.04840	0.00051	349	41	310	7	305	3	
4TW 97-8	360	251	1.44	0.05386	0.00310	0.36103	0.01945	0.04862	0.00078	365	93	313	15	306	5	
4TW 97-9	129	294	0.44	0.05231	0.00181	0.34880	0.01028	0.04836	0.00053	299	47	304	8	304	3	
4TW 97-10	99	184	0.54	0.05470	0.00282	0.36200	0.01722	0.04800	0.00069	400	81	314	13	302	4	
4TW 97-11	34	83	0.41	0.05640	0.00352	0.36989	0.02183	0.04756	0.00074	468	103	320	16	300	5	
4TW 97-12	118	141	0.84	0.05359	0.00300	0.35717	0.01864	0.04835	0.00074	354	90	310	14	304	5	
4TW 97-13	321	345	0.93	0.05299	0.00301	0.35248	0.01956	0.04824	0.00060	328	132	307	15	304	4	
4TW 97-14	147	246	0.60	0.05345	0.00210	0.35195	0.01217	0.04775	0.00056	348	57	306	9	301	3	

$10^{-6} \sim 1.357.95 \times 10^{-6}$, Th/U 比值 ($0.41 \sim 1.44$) 均大于 0.4, 属于典型的岩浆成因锆石 (Pidgeon *et al.*, 1998; 吴元保等, 2004)。14 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄谐和性好, 均分布在谐和曲线附近, 加权平均 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 304.1 ± 2.9 Ma, MSWD = 0.34 (95% 置信度) (图 5)。

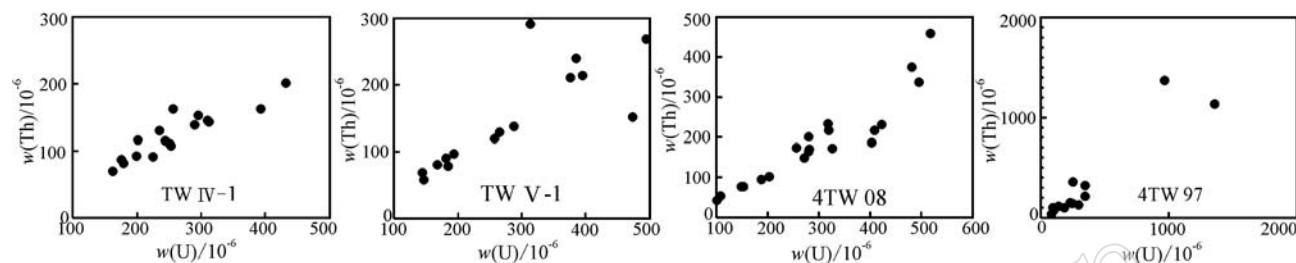


图 6 库鲁木苏序列和沙雀序列锆石 Th-U 图解

Fig. 6 Zircon Th-U diagram of Kulumusu series and Shaque series

库鲁木苏序列花岗斑岩 TW IV-1 号样品年龄为 291.5 ± 2.9 Ma, 碱长花岗岩 TW V-1 号样品年龄为 290.9 ± 2.9 Ma, 二者在误差范围内一致, 也与尹继元等(2013)测得的年龄 294 ± 2 Ma 十分接近, 按照最新国际地质年表中石炭纪和二叠纪划分方案, 时代属于早二叠世。

沙雀序列石英二长闪长岩 4TW 08 号样品年龄为 304.9 ± 2.5 Ma, 石英闪长岩 4TW 97 号样品年龄为 304.1 ± 2.9 Ma, 二者在误差范围内一致, 按照最新国际地质年表中石炭纪和二叠纪划分方案, 时代属于晚石炭世。

4 讨论与结论

尽管岩石学特征和接触关系标志是进行岩基解体最直接、最重要的证据, 但利用不同序列样品的精确同位素定年数据则是对岩基解体证据的重要补充。本次在库鲁木苏序列中获得锆石 U-Pb 年龄 291.5 ± 2.9 Ma 和 290.9 ± 2.9 Ma, 在沙雀序列中获得锆石 U-Pb 年龄 304.9 ± 2.5 Ma 和 304.1 ± 2.9 Ma, 表明二者代表的岩浆成岩事件是两期岩浆活动的结果。本文的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年数据也存在测点少和一定误差, 但尽管如此, 4 个样品的测年结果可以印证库鲁木苏序列和沙雀序列是两次岩浆事件的产物, 与野外露头尺度及地质填图所确认的侵入序次相一致, 为库鲁木苏岩基的解体提供了有力的支持。另外, 西准噶尔北部发育构造环境截

所测锆石的 Th/U 含量均呈现良好的正相关关系 (如图 6), Th/U 比值属于典型的岩浆成因锆石的范围, 且 4 个样品的锆石均发育典型的振荡环带, 表明库鲁木苏序列和沙雀序列样品的锆石均是从岩浆中结晶的, 获得的年龄可以代表库鲁木苏序列和沙雀序列的结晶年龄。

然不同的晚古生代两期侵入岩体, 第 1 期为早石炭世, 当时西准噶尔北部处于俯冲相关的环境, 而第 2 期为晚石炭世-中二叠世, 已经处于后碰撞环境 (韩宝福等, 2006; 陈家富等, 2010)。在区域上, 主要是以第 2 期岩浆事件为代表的花岗岩类普遍发育, 属于后碰撞岩浆活动的产物 (苏玉平等, 2006a; 陈家富等, 2010; 高睿等, 2013)。本文获得锆石 U-Pb 年龄 304.9 ± 2.5 Ma 和 304.1 ± 2.9 Ma 与第 2 期一致, 从年代学角度来看, 沙雀序列和库鲁木苏序列均形成于后碰撞构造环境下。进一步表明, 乌尔喀什尔山一带在晚石炭世-中二叠世已经进入后碰撞构造演化阶段。

大量研究表明西准噶尔地区在晚石炭世-早二叠世期间 A 型花岗岩类十分发育 (童英等, 2006, 2010; 韩宝福等, 2010), 这些 A 型花岗岩体的侵位时间主要集中在 300 Ma 左右, 其后中基性岩浆上涌形成大量中基性岩墙群 (李辛子等, 2004, 2005; 康磊等, 2009; 冯乾文等, 2012), 库鲁木苏岩基的解体确认了在西准噶尔地区晚古生代大规模碱性花岗岩 (库鲁木苏序列) 产生之前还有一次闪长质岩浆 (沙雀序列) 事件。

目前一致认为, 北疆地区的 A 型花岗岩形成于后碰撞伸展环境下, 由软流圈地幔上涌, 热量向上传导并导致下地壳部分熔融形成的 (苏玉平等, 2006a, 2006b; 杨高学等, 2013; 高睿等, 2013)。本文获得较早期的闪长质沙雀序列形成年龄 (约 304 Ma) 与较晚期的库鲁木苏序列 A 型花岗岩形成年龄 (约 291

Ma)之间存在~13 Ma 的时间间隔, 这段时间应该为软流圈地幔上涌、热量向上传导并使得区域内地壳被加热的时间, 闪长质沙雀序列应为先期抵达的幔源岩浆的产物, 库鲁木苏序列 A 型花岗岩为下地壳部分熔融形成。

References

- Chen B and Jahn B M. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5): 691~703.
- Chen J F, Han B F, Ji J Q, et al. 2010. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of Paleozoic plutons in northern West Junggar, North Xinjiang, China[J]. *Lithos*, 115: 137~152.
- Chen Jiafu, Han Baofu and Zhang Lei. 2010. Geochemistry, Sr-Nd isotopes and tectonic implications of two generations of Late Paleozoic plutons in northern West Junggar, Northwest China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2 317~2 335(in Chinese with English abstract).
- Feng Qianwen, Li Jinyi, Liu Jianfeng, et al. 2012. Ages of the Hongshan granite and intruding dioritic dyke swarms, in western Junggar, Xinjiang, NW China: Evidence from LA-ICP-MS zircon chronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(9): 2 935~2 949(in Chinese with English abstract).
- Gao Rui, Xiao Long, Wang Guocan, et al. 2013. Paleozoic magmatism and tectonic setting in West Junggar[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(10): 3 413~3 434(in Chinese with English abstract).
- Ge Mengchun, Zhou Wenzhao, Yu Yang, et al. 2011. Dissolution and supracrustal rocks dating of Xilin Gol Complex, Inner Mongolia, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 18(5): 182~195(in Chinese with English abstract).
- Han Baofu, Guo Zhaojie and He Guoqi. 2010. Timing of major suture zones in North Xinjiang, China: Constraints from stitching plutons[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2 233~2 246(in Chinese with English abstract).
- Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1 077~1 086(in Chinese with English abstract).
- Han B F, Wang S G, Jahn B M, et al. 1997. Depleted-mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth[J]. *Chemical Geology*, 138(3~4): 135~159.
- Kang Lei, Li Yongjun, Zhang Bing, et al. 2009. Petrographic evidence for magma mixing of Xiaerpu granite in West Junggar, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(5): 423~432(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, He Guoqi, Xu Xin, et al. 2006. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 148~168(in Chinese with English abstract).
- Li Xinzi, Han Baofu, Ji Jianqing, et al. 2004. Geology, geochemistry and K-Ar ages of the Karamay basic-intermediate dyke swarm from Xinjiang, China[J]. *Geochimica*, 33(6): 574~584(in Chinese with English abstract).
- Li Xinzi, Han Baofu, Li Zonghuai, et al. 2005. Mechanism of the Karamay basic-intermediate dyke swarm from Xinjiang and tectonic implications[J]. *Geological Review*, 51(5): 517~522(in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Li Suocheng, Yang Junquan, et al. 2005. The "Disintergration" of granite bodies in the Dangchuan area of Western Qinling: Evidence from the isotopic dating ages[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 24(2): 114~120(in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Pang Zhenjia, Luan Xindong, et al. 2007a. Disintergration of Tekesidaban granitic batholiths and its significance for Mo prospecting, Western Tianshan Mountains[J]. *Geotectonica et Metallogenesis*, 31(4): 435~440(in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Yang Gaoxue, Guo Wenjie, et al. 2007b. The disintergration and geological significance of the Kuorku granite batholiths in Awulale, Western Tianshan[J]. *Xinjiang Geology*, 25(3): 233~236(in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaoming, Gao Shan, Yuan Honglin, et al. 2002. Analysis of 42 major and trace elements in glass standard reference materials by 193 nm LA-ICPMS[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 408~418(in Chinese with English abstract).
- Pidgeon R T, Nemchin A A and Hitchen, G J. 1998. Internal structures of zircons from Archaean granites from the Darling Range batholith: implications for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 132(3): 288~299.
- Su Yiping, Tang Hongfeng, Hou Guangshun, et al. 2006a. Geochemistry of aluminous A-type granites along Darabut tectonic belt in West Junggar, Xinjiang[J]. *Geochimica*, 35(1): 55~67(in Chinese with English abstract).
- Su Yiping, Tang Hongfeng, Liu Congqiang, et al. 2006b. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(3): 175~184(in Chinese with English abstract).
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, et al. 2010. Spatial and temporal distribution of the Carboniferous-Permian granitoids in northern Xinjiang and its adjacent areas, and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 619~641(in Chinese with English abstract).

- Tong Ying, Wang Tao, Kovach V P, et al. 2006. Age and origin of the Takeshiken postorogenic alkali-rich intrusive rocks in southern Altai, near the Mongolian border in China and its implications for continental growth[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1 267~1 278(in Chinese with English abstract).
- Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1 589~1 604(in Chinese).
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. 2002. Research Division on Granitic Geology China Geological Survey[M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Yang Gaoxue, Li Yongjun, Zhang Bing, et al. 2013. Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of the Jietebutiao A-type Granites in West Junggar, Xinjiang[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(3): 295~306(in Chinese with English abstract).
- Yin Jiyuan, Chen Wen, Yuan Chao, et al. 2013. Ages and tectonic implication of Late Paleozoic plutons in the West Junggar, North Xinjiang: Evidence from LA-ICPMS zircon geochronology [J]. *Geochimica*, 42(5): 414~429(in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. 2003. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1 511~1 520(in Chinese).
- Zheng Youye, Xu Rongke, Zhang Gangyang, et al. 2008. Geochemistry, chronology and tectonic significance of Sangong granite series of Ritu invasion batholith in Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(2): 368~376(in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 陈家富, 韩宝福, 张 磊. 2010. 西准噶尔北部晚古生代两期侵入岩的地球化学、Sr-Nd 同位素特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 26(8): 2 317~2 335.
- 冯乾文, 李锦轶, 刘建峰, 等. 2012. 新疆西准噶尔红山岩体及其中闪长质岩墙的时代——来自锆石 LA-ICP-MS 定年的证据[J]. *岩石学报*, 28(9): 2 935~2 949.
- 高 睿, 肖 龙, 王国灿, 等. 2013. 西准噶尔晚古生代岩浆活动和构造背景[J]. *岩石学报*, 29(10): 3 413~3 434.
- 葛梦春, 周文孝, 于 洋, 等. 2011. 内蒙古锡林郭勒盟杂岩解体及表壳岩系年代确定[J]. *地学前缘*, 18(5): 182~195.
- 韩宝福, 郭召杰, 何国琦. 2010. “钉合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限[J]. *岩石学报*, 26(8): 2 233~2 246.
- 韩宝福, 季建清, 宋 彪, 等. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I): 后碰撞深成岩浆活动的时限[J]. *岩石学报*, 22(5): 1 077~1 086.
- 康 磊, 李永军, 张 兵, 等. 2009. 新疆西准噶尔夏尔甫岩体岩浆混合的岩相学证据[J]. *岩石矿物学杂志*, 28(5): 423~432.
- 李锦轶, 何国琦, 徐 新, 等. 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[J]. *地质学报*, 80(1): 148~168.
- 李辛子, 韩宝福, 季建清, 等. 2004. 新疆克拉玛依中基性岩墙群的地质地球化学和 K-Ar 年代学[J]. *地球化学*, 33(6): 574~584.
- 李辛子, 韩宝福, 李宗怀, 等. 2005. 新疆克拉玛依中基性岩墙群形成力学机制及其构造意义[J]. *地质论评*, 51(5): 517~522.
- 李永军, 李锁成, 杨俊泉, 等. 2005. 西秦岭党川地区花岗岩体的“解体”及同位素年龄证据[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 24(2): 114~120.
- 李永军, 庞振甲, 栾新东, 等. 2007a. 西天山特克斯达坂花岗岩基的解体及钼找矿意义[J]. *大地构造与成矿学*, 31(4): 435~440.
- 李永军, 杨高学, 郭文杰, 等. 2007b. 西天山阿吾拉勒阔尔库岩基的解体及地质意义[J]. *新疆地质*, 25(3): 233~236.
- 柳小明, 高 山, 袁洪林, 等. 2002. 193 nm LA-ICPMS 对国际地质标准参考物质中 42 种主量和微量元素的分析[J]. *岩石学报*, 18(3): 408~418.
- 苏玉平, 唐红峰, 侯广顺, 等. 2006a. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质 A 型花岗岩的地球化学研究[J]. *地球化学*, 35(1): 55~67.
- 苏玉平, 唐红峰, 刘丛强, 等. 2006b. 新疆东准噶尔苏吉泉铝质 A 型花岗岩的确立及其初步研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 25(3): 175~184.
- 童 英, 王 涛, 洪大卫, 等. 2010. 北疆及邻区石炭-二叠纪花岗岩时空分布特征及其构造意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 29(6): 619~641.
- 童 英, 王 涛, Kovach V P, 等. 2006. 阿尔泰中蒙边界塔克什肯口岸后造山富碱侵入岩体的形成时代、成因及其地壳生长意义[J]. *岩石学报*, 22(5): 1 267~1 278.
- 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): 1 589~1 604.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 2002. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社.
- 杨高学, 李永军, 张 兵, 等. 2013. 新疆西准噶尔接特布调 A 型花岗岩年代学、地球化学及岩石成因[J]. *地球学报*, 34(3): 295~306.
- 尹继元, 陈 文, 袁 超, 等. 2013. 新疆西准噶尔晚古生代侵入岩的年龄和构造意义: 来自锆石 LA-ICPMS 定年的证据[J]. *地球化学*, 42(5): 414~429.
- 袁洪林, 吴福元, 高 山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. *科学通报*, 48(14): 1 511~1 520.
- 郑有业, 许荣科, 张刚阳, 等. 2008. 西藏日土岩基三宫岩石序列地球化学、年代学及构造意义[J]. *岩石学报*, 24(2): 368~376.