

# 东准库布苏南岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年

杨高学<sup>1</sup> 李永军<sup>1</sup> 司国辉<sup>1</sup> 吴宏恩<sup>2</sup> 张永智<sup>2</sup> 金朝<sup>1</sup>

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;

2. 新疆维吾尔自治区有色地质矿产勘察院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果显示, 库布苏南花岗闪长岩形成时代为  $(287 \pm 2)$  Ma, MSWD=0.15, 包体年龄为  $(286 \pm 3)$  Ma, MSWD=0.22, 两者在误差范围内完全一致, 表明花岗闪长岩和暗色微粒包体是同时代形成的。包体是岩浆混合作用的产物, 是过冷的镁铁质岩浆混入到中性岩浆中经快速冷凝的结果。在岩浆混合过程中, 基性的包体岩浆和中酸性的寄主岩浆通过化学扩散发生成分交换, 使包体受到了花岗闪长质岩浆的改造和同化。这可能就是库布苏南花岗闪长岩及其包体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄相同的原因所在。库布苏南花岗闪长岩形成的时代属于东准噶尔后碰撞深成岩浆活动的范围 330~265 Ma, 略晚于东准噶尔乌伦古河碱性花岗岩和卡拉麦里碱性花岗岩的形成时代(300 Ma 左右), 均为准噶尔周边地区后碰撞岩浆活动的产物, 其形成和演化标志了准噶尔地区后碰撞幔源岩浆底侵作用导致大陆地壳垂向生长的过程。

**关键词:** 库布苏南岩体; 微细粒包体; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年; 卡拉麦里; 东准噶尔

**中图分类号:** P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)05-0849-10

新疆北部天山—准噶尔—阿尔泰地区, 以其完整的后碰撞演化历史 (从主碰撞、后碰撞到板内环境)、强烈的后碰撞构造—岩浆—成矿活动, 成为研究后碰撞构造—成矿的理想地区, 受到众多地质学家的关注<sup>[1-25]</sup>。而东准噶尔卡拉麦里地区与锡矿相关的碱性花岗岩带是研究的热点<sup>[3-5, 8, 18, 21, 22]</sup>, 近年来, 积累了大量同位素年龄资料: 刘家远等<sup>[20]</sup>测得贝尔库都克岩体 Rb-Sr 等时线年龄 287 Ma 和单颗粒锆石年龄 313 Ma, 黄羊山岩体钠铁闪石 K-Ar 同位素年龄为 304 Ma 和锆石 U-Pb 年龄为 318 Ma; 汤好书等<sup>[27]</sup>测得贝尔库都克锡矿石英脉中白云母的 K-Ar 同位素年龄为  $(296 \pm 3)$  Ma; 孙桂华等<sup>[28]</sup>测得哈尔里克闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄值  $(316 \pm 3)$  Ma; 李文铅等<sup>[29]</sup>测得东天山彩中花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄值为  $(316 \pm 4)$  Ma; 吴昌志等<sup>[30]</sup>测得东天山红云滩闪长岩的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为  $(328 \pm 9)$  Ma; 林锦富等<sup>[31]</sup>测得东准噶尔萨北富碱花岗岩 SHRIMP

锆石 U-Pb 年龄为  $(313 \pm 2)$  Ma; 唐红峰等<sup>[32]</sup>测得萨北碱性 A 型花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $(306 \pm 3)$  Ma 和萨惹什克锡矿石辉钼矿 Re-Os 同位素年龄  $(307 \pm 11)$  Ma; 苏玉平等<sup>[33]</sup>测得卡拉麦里地区苏吉泉铝质 A 型花岗岩 (黄羊山岩体部分, 笔者注) <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为  $(304 \pm 2)$  Ma, 黄羊山岩体单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 300~305 Ma; 唐红峰等<sup>[34]</sup>测得卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 373 Ma; 韩宝福等<sup>[8]</sup>研究认为, 东准噶尔后碰撞深成岩浆活动发生在 330~265 Ma, 而集中发生在 330~310 Ma 和 305~280 Ma 两个时段。然而, 直至目前, 作为中亚造山带重要组成部分的东准噶尔卡拉麦里地区的库布苏南花岗闪长岩, 以及其中的微细粒包体, 还没有最新且准确的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的报道。为了解决这一问题, 笔者在进行“新疆青河、奇台县红柳沟—苏吉泉一带 1:5 万区域地质矿产调查”时, 对该岩体及包体进行 LA-ICP-

MS 锆石 U-Pb 测年<sup>①</sup>,对东准噶尔后碰撞阶段的时限约束提供科学依据。

### 1 地质背景及岩石特征

新疆东准噶尔卡拉麦里地区位于野马泉和准噶尔两个陆块之间,是东准噶尔古生代造山带的一部分。一条北西向延伸的蛇绿岩带沿卡拉麦里深大断裂断续分布,其形成时代为早泥盆世,可能是小洋盆的洋壳残片<sup>[35,36]</sup>。区内出露的地层以泥盆纪和石炭纪的凝灰质粉砂岩、火山碎屑岩为主,卡拉麦里深大断裂的南部零星分布有少量志留纪地层。花岗岩类岩浆活动在该区大规模发育,存在与金、铜成矿系列有关的钙碱性花岗岩和与锡成矿系列有关的富碱花岗岩<sup>[37,38]</sup>,岩石类型包括花岗闪长岩、黑云母花岗

岩、角闪石花岗岩和碱性花岗岩等。其中,富碱花岗岩类出露面积约 1100 km<sup>2</sup>,由不同期次、大小不等的岩体组成,如黄羊山碱性花岗岩体、贝勒库都克等黑云母花岗岩体和库布苏南花岗岩体(图 1)。它们多为岩基状分布(少数呈岩枝状),具有超酸、高碱和高度分异的特点。

库布苏南花岗闪长岩位于卡拉麦里深大断裂带的东北侧(图 1),呈条带状分布,北北西走向,与主构造线相一致,出露面积约 55 km<sup>2</sup>,岩体与围岩呈突变接触,接触面倾向围岩,局部与围岩接触处粒度变细,围岩也有不同程度的热变质,具球状风化特征。通过 1:5 万区域地质矿产调查对该岩体进行了综合调查研究,将该侵入体解体为灰白色似斑状花岗闪长岩和浅肉红色似斑状碱长花岗岩,其中以前

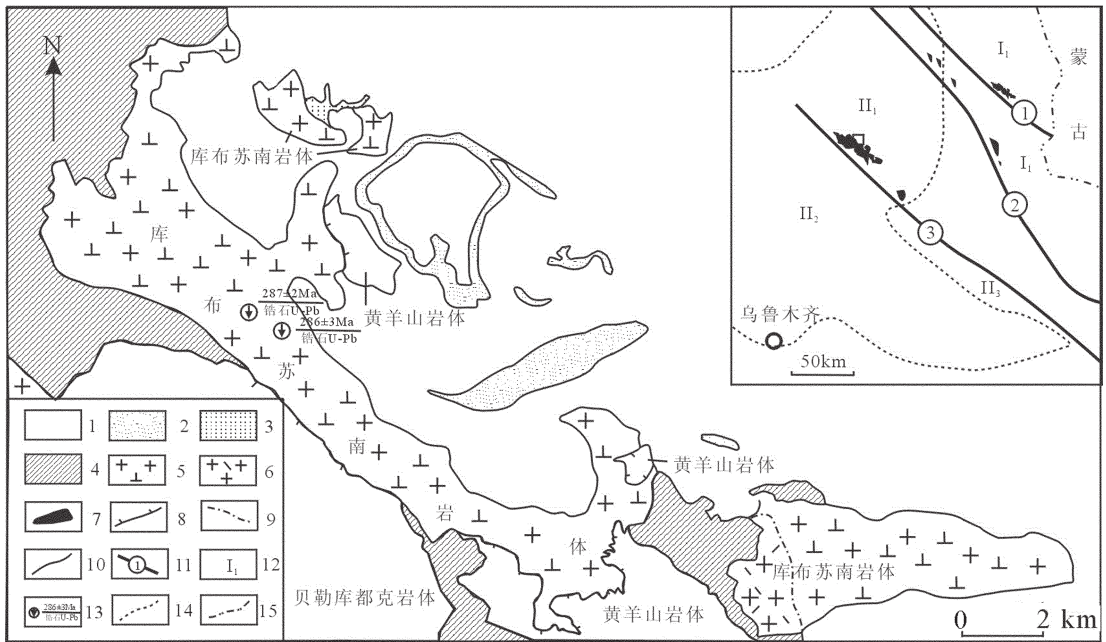


图 1 卡拉麦里构造带库布苏南岩体分布略图

- 1—第四系;2—侏罗系;3—石炭系姜巴斯套组;4—石炭系黑山头组;5—花岗闪长岩;6—碱长花岗岩;7—花岗岩带;
- 8—超动接触关系;9—脉动接触关系;10—侵入接触;11—断裂及编号;12—构造带;13—样品位置及同位素年龄;
- 14—构造区带界线;15—国界;I<sub>1</sub>—阿尔泰构造带;I<sub>2</sub>—阿尔曼太构造带;II<sub>1</sub>—卡拉麦里构造带;II<sub>2</sub>—准噶尔盆地;
- II<sub>3</sub>—将军庙构造带;①—额尔齐斯断裂;②—阿尔曼太断裂;③—卡拉麦里断裂

Fig.1 Distribution of the Kubusunan intrusion in the Kalamaili tectonic belt, East Junggar

- 1—Quaternary;2—Jurassic;3—Carboniferous Jiangbasitao Formation;4—Carboniferous Heishantao Formation;5—Granodiorite;
- 6—Alkali-feldspar granite;7—Alkali granite belt;8—Beveling contact relationship;9—Pulsation contact relationship;
- 10—intrusive contact;11—Fault and number;12—Tectonic belt;13—Sample site and isotopic ages;14—Boundary of tectonic region (belt);15—National boundary;I<sub>1</sub>—Altay tectonic belt;I<sub>2</sub>—Aermantai tectonic belt;II<sub>1</sub>—Kalamaili tectonic belt;
- II<sub>2</sub>—Junggar basin;II<sub>3</sub>—Jiangjunmiao tectonic belt;①—Ertix fault;②— Aermantai fault;③—Kalamaili fault

①李永军, 吴宏恩, 杨高学, 等. 新疆青河、奇台县红柳沟—苏吉泉一带 1:5 万区域地质矿产调查成果报告.新疆有色地质矿产勘察院, 长安大学地质调查院, 2008.

者为主,两者脉动侵入接触关系明显。灰白色似斑状花岗闪长岩具有似斑状结构,块状构造。岩石由斑晶和基质两部分组成,斑晶由斜长石和钾长石组成,斜长石(5%~10%);灰白色,自形程度相对较好,为半自形板状,粒径为 7~10 mm;钾长石(2%~5%);肉红色,自形程度相对较差,粒径为 8~10 mm;基质为中细粒结构,主要矿物组成为斜长石(45%~60%)、角闪石(1%~15%)、石英(10%~20%)、钾长石(1%~10%)。斜长石:粒径为 0.3~2.4 mm,半自形宽板状,其表面已绢云母化、粘土化、碳酸盐化,隐约可见聚片双晶,测得部分斜长石 An 为 31;钾长石:粒径为 0.8~1.2 mm,呈他形粒状,为正长石、微斜长石和条纹长石等碱性长石,表面常见轻度绿泥石化现象,常与石英形成共结平衡,形成各种不规则交生结构,局部见钾长石交代斜长石、石英形成蠕英结构;石英:油脂光泽,他形粒状,粒径为 0.5~1.3 mm,呈填隙物充填或呈蠕虫状分布于钾长石中,见有较大的石英包裹有各种形态的钾长石;角闪石:黑色,自形—半自形长柱状,粒径为 0.5~1.2 mm,多呈聚集态不均匀分布于浅色矿物间,大部分已绿泥石化;黑云母粒径为 0.2~1.2 mm,鳞片状,呈集合体聚集态分布,多已绿泥石化,充填于长石、石英间。

库布苏南花岗闪长岩中暗色微细粒包体发育,大多数呈截然接触界限,局部见淬冷边。包体色率较深,富含铁镁质矿物,显微镜下包体呈半自形粒状结构,矿物组成与寄主岩相近,只是矿物含量比例不同,黑云母和角闪石含量较高,还可见单斜辉石,黑云母和角闪石成港湾状包围半自形斜长石和石英,大颗粒有筛状熔蚀结构和由磁铁矿形成的暗化边结构,单斜辉石有发生强烈熔蚀的残影。此外,包体还含有针—柱状磷灰石、磁铁矿、钛铁矿和锆石等副矿物。

## 2 样品的采集、制样及分析方法

用于 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年的样品 IV 25-1 主要采自库布苏南花岗闪长岩,而样品 IV 25-2 采自距样品号 IV 25-1 约 1 km 东南侧的花岗闪长岩中的(图 1),它们的公里网坐标分别为: $X=5018216$ , $Y=16270569$ ; $X=5017962$ , $Y=16271251$ 。

首先使用常规的重液浮选和电磁分离方法挑选出锆石,然后在双目镜下根据锆石颜色、自形程度、形态和透明度等特征初步分类,挑选出具有代表性的锆石,将锆石样品分别用双面胶粘在载玻片上,放

上 PVC 环,然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC 环中,待树脂充分固化后将样品座从载玻片上剥离,并对其进行抛光,直到样品露出一个光洁的平面,进行锆石显微(反射光和透射光)照像。然后用体积百分比为 3%的 HNO<sub>3</sub> 清洗样品并镀金作成样品靶。

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。实验采用的 ICP-MS 为美国 Agilent 公司生产的 Agilent7500a,激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas200 M,该系统由德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(波长 193 nm)与 MicroLas 公司的光学系统组成。激光剥蚀斑束直径为 30  $\mu\text{m}$ ,激光剥蚀样品的深度为 20~40  $\mu\text{m}$ 。实验中采用 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,采样方式为单点剥蚀。数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式,每完成 4~5 个待测样品测定,插入测标样一次。在所测锆石样品 15~20 个点前后各测 2 次 NIST SRM 610。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 SRM610 作为外标。由于 SiO<sub>2</sub> 在锆石中的含量较恒定,选择 <sup>29</sup>Si 作为内标来消除激光能量在点分析过程中以及分析点之间的漂移,对于大多数元素单点分析的相对标准偏差为 5%~15%。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献<sup>[39-42]</sup>。采用 Glitter(ver40, Macquarie University) 序对锆石的同位素比值及元素含量进行计算。并按照 Andersen Tom 的方法<sup>[43]</sup>。用 LAM-ICPMS Common Lead Correction (ver3.15)对其进行了普通铅校正。年龄计算及谐和图采用 Isoplot(ver3.0)完成<sup>[44]</sup>。

## 3 锆石特征及分析结果

从样品(IV 25-1, IV 25-2)中选取的锆石为浅黄色—无色透明呈正方双锥状、钮柱状及半截锥状自形晶体,晶体长为 0.42~0.06 mm,宽为 0.15~0.02 mm,柱状长宽比为 2:1~4:1,阴极发光图像(图 2~3)表现出典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构等,属于岩浆结晶产物<sup>[45]</sup>。由图 2~3 可见,锆石内部结构比较复杂,成因类型多样。部分锆石具有残留的核部,为继承核或捕获核部分锆石颗粒具有窄的浅



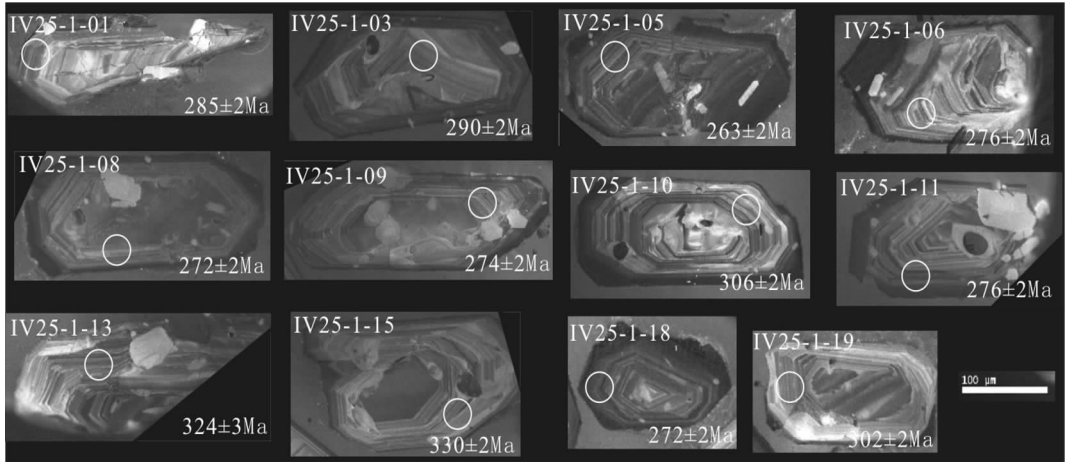


图2 花岗闪长岩(IV25-1)中典型锆石的 CL 图像和年龄

圈表示 U-Pb 分析点位置,左上角数字表示点号,右下角数字表示  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄(下同)

Fig.2 CL images and ages of representative zircons of granodiorite (IV25-1)

The figure indicates the location U-Pb analyzed spots The number at the upper left corner denotes the spot number; the number at the lower right corner denotes the  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  apparent age (the same hereinafter)

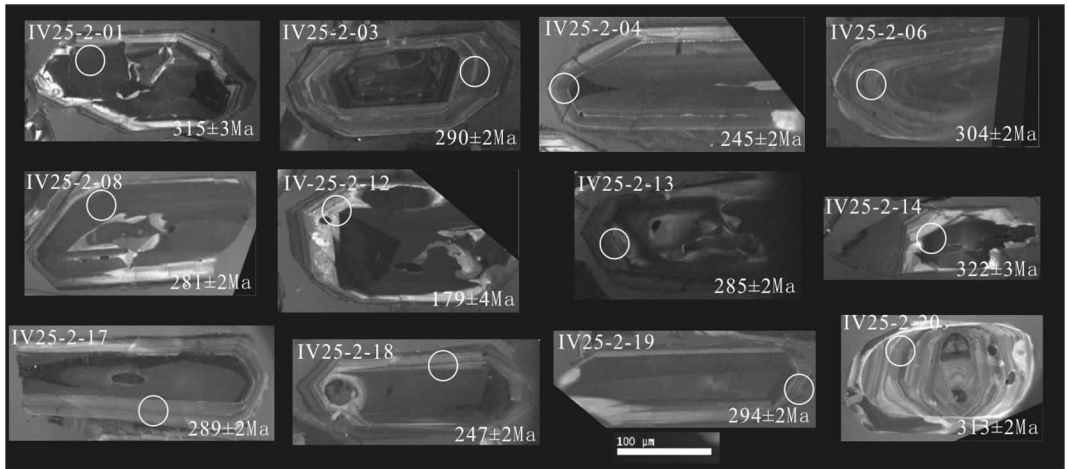


图3 花岗闪长岩微细粒包体(IV25-2)中典型锆石的 CL 图像和年龄

Fig.3 CL images and ages of representative zircons of a microgranular enclave (IV25-2) of granodiorite

色边,但核部仍显示出清晰的岩浆环带特征,表明浅色边为变质的增生边<sup>[45]</sup>。

从样品测得的同位素比值和年龄数据(表1,图2)以看出,锆石具有较高的Th/U比值(为0.30~1.45,多数>0.67)属于典型岩浆成因锆石的范围<sup>[6,47]</sup>。样品的34个测点的Th含量变化为 $23.6 \times 10^{-6} \sim 2303.1 \times 10^{-6}$ ,U含量变化为 $69.1 \times 10^{-6} \sim 1568.1 \times 10^{-6}$ ,且Th、U含量呈现出较好的正相关关系,与典型岩浆锆石特征一致。而这些测点多位于明显的岩浆环带上,显示了岩浆成

因锆石特征。库布苏南花岗闪长岩锆石微区有效数据点共19个。19个样点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值非常接近,为0.053~0.064(除了IV25-1-05,18)(表1),表明该类锆石为同期岩浆结晶成因。由于 $^{235}\text{U}$ 的衰变比 $^{238}\text{U}$ 快6.3倍,放射成因的 $^{207}\text{Pb}$ 在地球早期历史中更为丰富,而显生宙以来 $^{207}\text{Pb}$ 生成率很低,这种变化是显生宙锆石的 $^{207}\text{Pb}$ 计数速率低,而造成 $^{207}\text{Pb}$ 测定的误差较大,使得 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值可信度降低。因此,对于显生宙锆石,一般采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄<sup>[48]</sup>。

表 1 库布苏南花岗岩闪长岩(IV25-1)和包体(IV25-2)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析  
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analysis of the Kubusunan granodiorite (IV25-1) and microgranular enclave (IV25-2)

样品号	同位素比值				同位素年龄/Ma				同位素含量/10 <sup>-6</sup>						Th/U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb								
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb 比值	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U 比值	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U 比值	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th 比值	年龄 1σ	年龄 1σ	年龄 1σ	年龄 1σ	<sup>207</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>238</sup> U											
IV25-1-01	0.0596	0.0010	0.3714	0.0057	0.0452	0.0004	0.0138	0.0002	591	20	321	4	285	2	277	3	1.9	54.7	3.8	3.9	120.9	262.4	0.46	28.8
IV25-1-02	0.0638	0.0009	0.3413	0.0042	0.0388	0.0003	0.0120	0.0001	736	14	298	3	245	2	241	2	1.7	77.7	5.5	5.3	197.4	410.8	0.48	45.7
IV25-1-03	0.0533	0.0008	0.3386	0.0041	0.0460	0.0003	0.0132	0.0001	343	15	296	3	290	2	265	2	1.9	51.8	3.1	2.4	89.7	297.9	0.30	27.3
IV25-1-04	0.0582	0.0012	0.3818	0.0070	0.0476	0.0004	0.0147	0.0001	538	45	328	5	300	2	296	2	2.3	73.3	5.5	7.5	218.3	337.9	0.65	31.9
IV25-1-05	0.0718	0.0020	0.4116	0.0108	0.0416	0.0004	0.0126	0.0001	980	58	350	8	263	2	253	2	4.7	72.9	7.9	8.7	202.5	346.6	0.58	15.9
IV25-1-06	0.0565	0.0014	0.3403	0.0080	0.0437	0.0004	0.0132	0.0002	471	36	297	6	276	2	265	4	0.4	55.5	4.6	2.8	25.1	69.1	0.36	138.8
IV25-1-07	0.0566	0.0013	0.3546	0.0077	0.0454	0.0004	0.0158	0.0002	475	33	308	6	286	2	316	4	1.8	47.4	3.8	4.2	111.9	232.2	0.48	26.3
IV25-1-08	0.0553	0.0010	0.3291	0.0054	0.0432	0.0003	0.0132	0.0002	423	23	289	4	272	2	266	3	4.1	63.7	5.6	6.3	234.5	255.5	0.92	15.9
IV25-1-09	0.0535	0.0013	0.3200	0.0075	0.0434	0.0004	0.0136	0.0001	351	57	282	6	274	2	273	2	0.9	51.2	3.2	2.9	103.5	261.2	0.40	56.9
IV25-1-10	0.0589	0.0009	0.3944	0.0052	0.0486	0.0004	0.0164	0.0002	563	16	338	4	306	2	329	3	1.1	55.0	3.5	4.1	132.8	281.7	0.47	50.0
IV25-1-11	0.0645	0.0010	0.3891	0.0053	0.0438	0.0003	0.0170	0.0002	757	16	334	4	276	2	341	3	1.1	93.7	6.1	7.4	219.4	431.1	0.51	85.2
IV25-1-12	0.0557	0.0014	0.3716	0.0091	0.0484	0.0004	0.0151	0.0001	441	59	321	7	304	2	302	2	0.4	58.7	5.0	3.1	27.3	74.4	0.37	146.8
IV25-1-13	0.0596	0.0011	0.4237	0.0069	0.0516	0.0004	0.0119	0.0001	588	22	359	5	324	3	238	2	1.2	62.3	4.1	3.8	104.2	252.1	0.42	51.9
IV25-1-14	0.0545	0.0010	0.3968	0.0066	0.0528	0.0004	0.0168	0.0002	390	23	339	5	332	3	337	4	1.6	111.1	7.6	9.1	272.1	558.2	0.49	69.4
IV25-1-15	0.0607	0.0009	0.4399	0.0058	0.0526	0.0004	0.0191	0.0002	627	16	370	4	330	2	383	4	1.4	57.7	3.8	4.6	141.8	272.0	0.52	41.2
IV25-1-17	0.0537	0.0010	0.3551	0.0062	0.0480	0.0004	0.0151	0.0002	358	25	309	5	302	2	303	3	0.8	60.9	3.9	3.6	111.2	265.9	0.42	76.1
IV25-1-18	0.0709	0.0008	0.4218	0.0039	0.0432	0.0003	0.0217	0.0002	953	9	357	3	272	2	435	3	0.8	61.2	4.0	4.4	120.6	264.8	0.46	76.5
IV25-1-19	0.0538	0.0007	0.3551	0.0040	0.0479	0.0004	0.0158	0.0001	361	13	309	3	302	2	317	3	1.9	54.7	3.8	3.9	120.9	262.4	0.46	28.8
IV25-1-20	0.0535	0.0008	0.3785	0.0050	0.0513	0.0004	0.0161	0.0002	351	17	326	4	322	2	322	3	1.7	77.7	5.5	5.3	197.4	410.8	0.48	45.7
IV25-2-01	0.0679	0.0010	0.4723	0.0062	0.0504	0.0004	0.0161	0.0001	740	56	372	8	315	3	308	2	0.6	52.1	4.3	2.6	24.2	64.6	0.38	86.8
IV25-2-03	0.0756	0.0012	0.4794	0.0067	0.0460	0.0004	0.0119	0.0001	1085	16	398	5	290	2	239	2	2.4	112.2	8.3	11.6	372.2	494.9	0.75	46.8
IV25-2-04	0.1533	0.0018	0.9347	0.0083	0.0442	0.0003	0.0236	0.0002	462	99	267	15	245	2	242	2	3.6	119.0	10.0	9.3	392.7	575.7	0.68	33.1
IV25-2-06	0.0597	0.0007	0.3968	0.0039	0.0482	0.0004	0.0120	0.0001	592	10	339	3	304	2	241	2	2.3	196.3	13.1	26.7	882.7	950.3	0.93	85.3
IV25-2-07	0.0549	0.0007	0.4097	0.0041	0.0541	0.0004	0.0152	0.0001	408	11	349	3	340	2	304	2	0.8	90.6	5.6	7.2	224.4	427.5	0.46	113.3
IV25-2-08	0.0540	0.0007	0.4440	0.0036	0.0446	0.0003	0.0119	0.0001	373	12	291	3	281	2	239	2	0.5	53.9	4.5	2.7	24.5	66.9	0.37	107.8
IV25-2-09	0.1240	0.0016	0.9194	0.0095	0.0538	0.0004	0.0185	0.0001	1654	47	557	10	328	3	305	2	0.9	82.7	5.6	5.8	227.7	381.3	0.60	91.9
IV25-2-10	0.2003	0.0026	1.2576	0.0132	0.0455	0.0004	0.0330	0.0003	1007	98	327	20	240	3	230	4	1.2	145.8	9.2	16.8	511.3	598.3	0.85	121.5
IV25-2-13	0.1229	0.0015	0.8109	0.0080	0.0479	0.0004	0.0204	0.0001	1228	60	416	10	285	2	271	2	1.8	109.8	7.4	7.7	223.8	488.7	0.51	61.0
IV25-2-14	0.0510	0.0009	0.3608	0.0060	0.0513	0.0004	0.0128	0.0001	243	24	313	4	322	3	257	3	0.5	52.5	4.4	2.6	23.6	65.1	0.36	105.0
IV25-2-16	0.0492	0.0007	0.3185	0.0038	0.0470	0.0004	0.0123	0.0001	155	14	281	3	296	2	246	2	2.0	56.7	4.7	3.9	24.4	69.9	0.35	28.4
IV25-2-17	0.0531	0.0007	0.3359	0.0036	0.0458	0.0003	0.0114	0.0001	335	12	294	3	289	2	230	1	20.8	276.8	35.4	61.7	2303.1	1568.1	1.45	13.3
IV25-2-18	0.1014	0.0011	0.5473	0.0045	0.0391	0.0003	0.0100	0.0001	1649	7	443	3	247	2	201	1	15.2	153.4	22.9	28.2	562.9	711.3	0.79	10.1
IV25-2-19	0.0472	0.0005	0.3043	0.0029	0.0467	0.0003	0.0115	0.0001	59	11	270	2	294	2	231	1	0.6	64.1	4.0	5.1	159.6	277.3	0.58	106.8
IV25-2-20	0.0526	0.0006	0.3612	0.0033	0.0498	0.0004	0.0125	0.0001	310	10	313	2	313	2	251	2	2.1	235.2	14.7	31.8	1211.5	1172.5	1.03	112.6

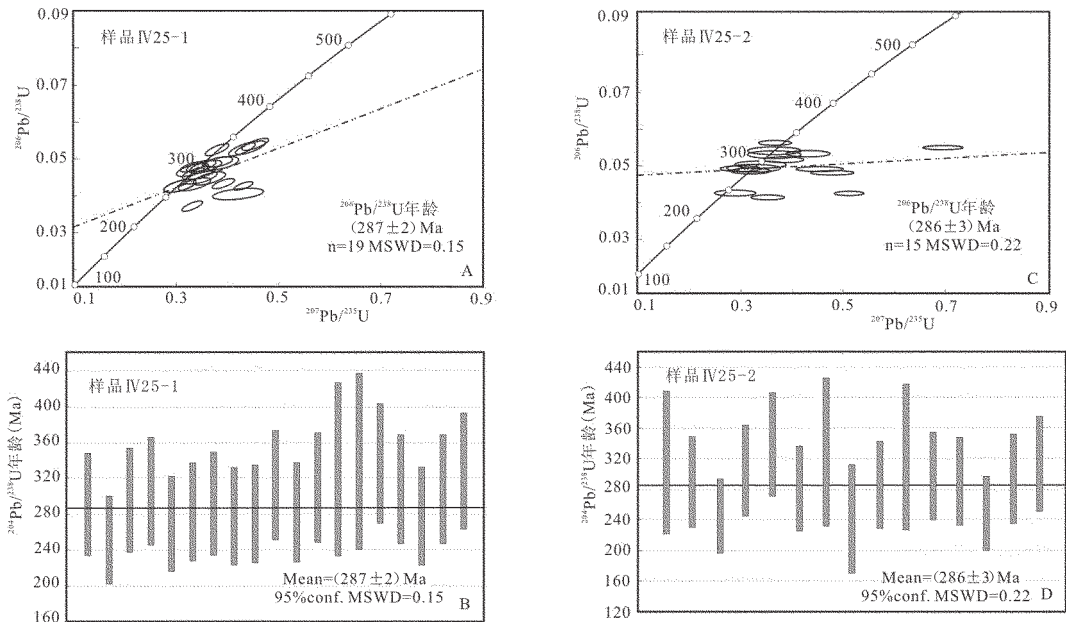


图4 花岗闪长岩(IV25-1)和微细粒包体(IV25-2)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图(A,C)和直方图(B,D)  
Fig.4 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams (A, C) and histograms of weighted average ages (B, D) of the granodiorite (IV25-1) and microgranular enclave (IV25-2)

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄范围在 245~332 Ma, 大部分集中在 263~306 Ma, 最大的年龄误差 3 Ma。所有数据点集中在谐和曲线附近, 花岗闪长岩样品的加权平均  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $(287 \pm 2)$  Ma, MSWD=0.15 (95%置信度)(图 4-A, 图 4-B)。包体样品锆石微区有效数据点共 15 个,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄范围在 240~340 Ma, 大部分集中在 281~315 Ma, 最大的年龄误差 3 Ma。所有数据点集中分布在谐和曲线附近, 包体样品的加权平均  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $(286 \pm 3)$  Ma, MSWD=0.22 (95%置信度)(图 4-C, 图 4-D)。

## 4 结论

分析样品锆石的 Th/U 比值属于典型岩浆成因锆石的范围, 表明花岗闪长岩以及包体的锆石均是从岩浆结晶的, 花岗闪长岩样品的加权平均  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $(287 \pm 2)$  Ma, 包体样品的加权平均  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $(286 \pm 3)$  Ma, 在误差范围内完全一致, 按照最新的国际地质年表<sup>[49]</sup>中石炭纪和二叠纪划分方案, 均属于早二叠世, 前者代表花岗闪长岩侵入年龄, 后者代表暗色微粒包体的形成年龄, 表明两者是同时代形成的。包体是岩浆混合作用的产物, 是过冷

的镁铁质岩浆混入到中酸性岩浆中经快速冷凝的结果。在岩浆混合过程中, 基性的包体岩浆和中酸性的寄主岩浆通过化学扩散发生成分交换, 使包体受到了花岗闪长质岩浆的改造和同化。这可能就是库布苏南花岗闪长岩及其包体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄相同的原因所在。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明, 库布苏南花岗闪长岩形成的时代属于东准噶尔后碰撞深成岩浆活动的范围(330~265 Ma)<sup>[50]</sup>, 略晚于东准噶尔乌伦古河碱性花岗岩<sup>[50,51]</sup>和卡拉麦里碱性花岗岩<sup>[24-26]</sup>的形成时代(300 Ma 左右), 均为准噶尔周边地区后碰撞岩浆活动的产物<sup>[51]</sup>。以库布苏南花岗闪长岩为代表的卡拉麦里断裂北侧的花岗闪长岩、石英闪长岩、碱性花岗岩、钾长花岗岩等的形成时代相近, 均应该是同一期岩浆活动的产物。其形成和演化标志了准噶尔地区后碰撞幔源岩浆底侵作用导致大陆地壳垂向生长的过程。

**致谢:** LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试得到西北大学大陆动力学国家重点实验室柳小明博士、第五春荣博士等的帮助, 在数据成图中还得到了长安大学丁仁平博士的帮助, 在此一并表示感谢。

## 参考文献 (References):

- [1] 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京:地质出版社, 1992:1-169.  
Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yiming, et al. Tectonics of North Xinjiang and Its Adjacent Region [M]. Beijing:Geological Publishing House. 1992:1-169(in Chinese).
- [2] 涂光炽编. 新疆北部固体地球科学新进展[M]. 北京:科学出版社, 1993:1-546.  
Tu Gangzhi (ed.). New Impmvement of Solid Geosciences in Northern Xinjiang [M]. Beijing:Science Press, 1993:1-546 (in Chinese).
- [3] Han Baofu, Wang Shiguang, Jahn BM et al. 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, 1997, 138: 135-159.
- [4] 韩宝福, 何国琦, 王式洸, 等. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵生长[J]. 地质论评, 1998, 44(4):396-406.  
Han Baofu, He Guoqi, Wang Shiguang, et al. Postcollisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the Continental crust in North Xinjiang [J]. Geological Review, 1998, 44 (4):396-406(in Chinese with English abstract).
- [5] 韩宝福, 何国琦, 王式洸. 后碰撞岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底的性质[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(1):16-21.  
Han Baofu, He Guoqi, Wang Shiguang. Postcollisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the Junggar Basin.[J] Science in China(Ser. D), 1999, 29(1):16-21 (in Chinese).
- [6] 韩宝福, 何国琦, 吴泰然, 等. 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[J]. 新疆地质, 2004, 22(1):4-11.  
Han Baofu, He Guoqi, Wu Tiran, et al. Zircron U-Pb dating and geochemical features of early Paleozoic granites from Tianshan, Xinjiang:Implications for tectonic evolution [J]. Xinjiang Geology, 2004, 22(1):4-11(in Chinese with English abstract).
- [7] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 新疆克拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂质岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 2004, 49(22):2324-2328.  
Han Baofu, Jj Jianqing, Song Biao, et al. SHRIMP zircon U-Pb ages of Kalatongke No.1 and Huangshan dong Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complexes, North Xinjiang and geological implications[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(22):2324-2328 (in Chinese).
- [8] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 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, 2006, 22(5): 1077-1086.  
Han Baofu, Jj Jianqing, Song Biao, et al. Late Pahozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (PartI):Timing of post-collisional plutonism [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5):1077-1086 (in Chinese with English abstract).
- [9] 胡霁琴, 王中刚, 涂光炽. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律[M]. 北京:科学出版社, 1997:1-246.  
Hu Aiqing, Wang Zhonggang, Tu Guangchi. Geological Evolution, Petrogenesis and Metallogeny of North Xinjiang [M]. Beijing: Science Press, 1997:1-246(in Chinese).
- [10] Hu Aiqing, Jabn BM, Zhang GX, et al. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang:Nd isotopic evidence. Part I. Isotopic characterization of basement rocks [J]. Rectonophysics, 2000, 328:15-51.
- [11] 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京:地质出版社, 1997:1-202.  
Ma Ruishi, Shu Liangshu Sun Jiaqi. Tectonic evolution and metallogeny of eastern Tianshan mountains[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1997:1-202(in Chinese).
- [12] 李锦轶, 肖序常. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述[J]. 地质科学, 1999, 34(4):405-419.  
Li Jinyi, Xiao Xuchang. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xijiang crust [J]. Scientia Geological Sinica, 1999, 34(4):405-419(in Chinese with English abstract).
- [13] 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. 地质论评, 2004, 50(3):304-322.  
Li Jinyi. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China [J]. Geological Review, 2004, 50(3):304-322(in Chinese with English abstract).
- [14] 舒良树, 卢华复, 印栋浩, 等. 新疆北部古生代大陆增生构造[J]. 新疆地质, 2001, 19(1):59-63.  
Shu Liangshu, Lu Huafu, Yin Donghao, et al. Late Paleozoic continental accratory tectonics in northern Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2001, 19(1):59-63(in Chinese with English abstract).
- [15] 舒良树, 郭召杰, 朱文斌, 等. 天山地区碰撞后构造与盆地演化[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3):393-404.  
Shu Liangshu, Guo Zhaojie, Zhu Wenbin, et al. Post-collision tectonism and basin-range evolution in the Tianshan belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(3):393-404 (in Chinese with English abstract).
- [16] 李宗怀, 韩宝福, 李辛子, 等. 新疆准噶尔地区花岗岩中微粒闪长质包体特征及后碰撞花岗岩质岩浆起源和演化 [J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 23(3):214-226.  
Li Zonghui, Han Baofu, Li Xinzi, et al. Microgranular dioritic enclaves in Junggar granites and their implications for the origin and evolution of post-collisional granitic magmatism in North Xinjiang[J]. Acta petrologica et mineralogica, 2004, 23(3):214-226 (in Chinese with English abstract).
- [17] 杨牧, 彭省临, 杨斌, 等. 新疆北部壳体大地构造演化与运动初步研究[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(1):113-121.  
Yang Mu, Peng Shenglin, Yang Bin, et al. Crustobody's movement and evolution in northern Xinjiang [J]. Geotectonica et



- Metallogenia, 2005, 29 (1):113-121 (in Chinese with English abstract).
- [18] 高俊, 龙灵利, 钱青, 等. 南天山:晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? [J]. 岩石学报, 2006, 22(5):1049-1061.  
Gao Jun, Long Lingli, Qian Qing, et al. South Tianshan: A Late Paleozoic or a Triassic orogen? [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1049-1061 (in Chinese with English abstract).
- [19] 朱永峰, 宋彪. 新疆天格尔(冰达坂)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 [J]. 岩石学报, 2006, 22:135-144.  
Zhu Yongfeng, Song Biao. Petrology and SHRIMP chronology of mylonitized Tianger granite, Xinjiang: Also about the dating on zircon hydrothermal zircon rims in granite [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22:135-144 (in Chinese with English abstract).
- [20] 朱永峰, 徐新. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩 [J]. 岩石学报, 2006, 22(12):2833-2842.  
Zhu Yongfeng, Xu Xin. The discovery of Early Ordovician ophiolite mélange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (12):2833-2842 (in Chinese with English abstract).
- [21] 苏玉平, 唐红峰, 刘丛强, 等. 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, 2006, 25(3): 175-184.  
Su Yuping, Tang Hongfeng, Liu Congqiang, et al. The determination and preliminary study of Sujiqu aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2006, 25 (3):175-184 (in Chinese with English abstract).
- [22] 肖文交, 孙枢, 李继亮, 等. 新疆北部石炭纪—二叠纪独特的构造—成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约 [J]. 岩石学报, 2006, 22(5):1062-1076.  
Xiao Wenjiao, Sun Shu, Li Jiliang, et al. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of Northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paleasian Domain [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5):1062-1076 (in Chinese with English abstract).
- [23] Zhu Yongfeng, Zhang Lifei, Gu Libing, et al. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50:2201-2212.
- [24] Zhu Yongfeng, Zeng Yishan, Gu Libing. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite no.3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay mountains, northwest China [J]. Asian Earth Sciences, 2006, 27:61-77.
- [25] Zhu Yongfeng, Zhou Jing, Zeng Yishan. The Tianger (Bingdaban) shear zone hosted gold deposit, west Tianshan, NW China: Petrographic and geochemical characteristics [J]. Ore Geology Review, 2007, doi:10.1016/j.oregeorev.2006.10.006:1-29.
- [26] 刘家远, 袁奎荣. 新疆东准噶尔富碱花岗岩类及成矿作用 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1995:1-140.  
Liu Jiayuan, Yuan Kuirong. Alkali granites and deposits of the East Junggar area, Xinjiang [M]. Changsha: South central Industry University Press, 1995:1-140.
- [27] 汤好书, 陈衍景, 刘玉林, 等. 东准噶尔贝尔库都克锡矿成矿年龄测定 [J]. 矿物岩石, 2006, 26(2):71-73.  
Tang Haoshu, Chen Yianjing, Liu Yuling, et al. Isotope dating of the Beerkuduke tin deposit in the eastern Junggar Area [J]. Mineral. Petrol., 2006, 26(2):71-73 (in Chinese with English abstract).
- [28] 孙桂华, 李锦轶, 高立明, 等. 新疆东部哈尔里克山闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 地质论评, 2005, 51(4): 463-469.  
Sun Guihua, Li Jinyi, Gao Liming, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age of adioritic pluton in the Harlik Mountain, Eastern Xinjiang, and its tectonic implication [J]. Geological Review, 2005, 51(4): 463-469 (in Chinese with English abstract).
- [29] 李文铅, 夏斌, 王克卓, 等. 新疆东天山彩中花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄及地球化学特征 [J]. 地质学报, 2006, 80 (1):43-52.  
Li Wenqian, Xia Bin, Wang Kezhao, et al. Zircon SHRIMP Age and Geochemistry of Caizhong Granite from East Tianshan, Xinjiang, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (1):43-52 (in Chinese with English abstract).
- [30] 吴昌志, 张遵忠, Khin Zaw, 等. 东天山觉罗塔格红云滩花岗岩年代学、地球化学及其构造意义 [J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1121-1134.  
Wu Changzhi, Zhang Zunzhong, Khin Zaw, et al. Geochronology, geochemistry and tectonic significances of the Hongyunta "granitoids in the Qoaag area, Eastern Tianshan [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5):1121-1134 (in Chinese with English abstract).
- [31] 林锦富, 喻亨祥, 余心起, 等. 新疆东准噶尔萨北富碱花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (8):1876-1884.  
Lin Jinfu, Yu Hengxiang, Yu Xinqi, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Dating and geological implication of the Sabei alkali-rich granite from Eastern Junggar of Xinjiang, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(8):1876-1884 (in Chinese with English abstract).
- [32] 唐红峰, 屈文俊, 苏玉平, 等. 新疆萨惹什克锡矿与萨北碱性 A 型花岗岩成因关系的年代学制约 [J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 1989-1997.  
Tang Hongfeng, Qu Wenjun, Su Yuping, et al. Genetic connection of Sareshike tin deposit with the alkaline A-type granites of Sabei body in Xinjiang: constraint from isotopic ages [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (8):1989-1997 (in Chinese with English abstract).
- [33] 苏玉平, 唐红峰, 刘丛强, 等. 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, 2006, 25(3): 175-184.  
Su Yuping, Tang Hongfeng, Liu Congqiang, et al. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang [J]. Acta Petrologica et



- Mineralogica, 2006, 25 (3):175-184 (in Chinese with English abstract).
- [34] 唐红峰, 苏玉平, 刘丛强, 等. 新疆北部卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1):110-117.
- Tang Hongfeng, Su Yuping, Liu Congqiang, et al. Zircon U-Pb age of the plagiogranite in Kalam Ailibelt, northern Xinjiang and its tectonic implications[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(1): 110-117(in Chinese with English abstract).
- [35] 李锦轶. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J]. 岩石学报, 11(增刊), 1995:73-84.
- Li Jinyi. Main characteristics and emplacement processes of the east Junggar ophiolites, Xinjiang, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 11 (supp.):1995:73-84(in Chinese with English abstract).
- [36] 李锦轶, 肖序常, 汤耀庆, 等. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J]. 地质论评, 1990, 36(4):305-316.
- Li Jinyi, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, et al. Main characteristics of late paleozoic plate tectonics in the southern part of east Junggar, Xinjiang[J]. Geological Review, 1990, 36(4):305-316 (in Chinese with English abstract).
- [37] 毕承思, 沈湘元, 徐庆生, 等. 新疆贝勒库都克锡矿带含锡花岗岩地质特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(3):213-223.
- Bi Chengsi, Shen Xiangyuan, Xu Qingsheng, et al. Geological characteristics of stanniferous granites in the Beilekuduk tin metallogenic belt, Xinjiang [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1993, 12(3):213-223 (in Chinese with English abstract).
- [38] 刘家远, 喻亨祥, 吴郭泉. 新疆北部卡拉麦里富碱花岗岩带的碱性花岗岩与锡矿[J]. 有色金属矿产与勘查, 1997, 6(3):129-135.
- Liu Jiayuan, Yu Hengxiang, Wu Guoquan. Alkali granites and tin deposits of the Kalamali area, northern Xinjiang [J]. Geological Exploration For Non-Ferrous Metals, 1997, 6 (3):129-135 (in Chinese with English abstract).
- [39] Horn I, Rudnick R L, McDonough W F. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICPMS: Application to U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 2000, 167:405-425.
- [40] Ballard J R, Palin J M, Williams I S, et al. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquibambilla copper deposit of northern Chile by ELA-ICPMS and SHRIMP [J]. Geology, 2001, 9:383-386.
- [41] Kosler J, Fonneland H, Sylvester P, et al. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies—a comparison of laser ablation ICPMS and SIMS techniques [J]. Chemical Geology, 2002, 182:605-618.
- [42] 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 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, 2003, 48 (14):1511-1520.
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. LA-ICPMS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(14):1511-1520(in Chinese).
- [43] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report <sup>204</sup>Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192:59-79.
- [44] Ludwig K R. Isoplot-A plotting and regression program for radiogenic isotope data [J]. US Geological Survey Open-File Report. 1991, 39:91-445.
- [45] 吴元保, 郑永飞. 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, 2004, 49(16):1589-1604.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraint interpretation of U-Pb age [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16):1589-1604(in Chinese).
- [46] Pidgeon R T, Nemchin A A, Hitchen G J. 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, 1998, 132: 288-299.
- [47] Claesson S, Vetrin V, Bayanova T et al. U-Pb zircon age from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia; a record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic[J]. Lithos, 2000 51(1/2):95-108.
- [48] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale [J]. Journal of Geological Society. London, 1992, 149:171-184.
- [49] Gradstein FM, Ogg JG, Smith AG. A geological time scale [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004, 589.
- [50] 王式洸, 韩宝福, 洪大卫, 等. 新疆乌伦河碱性花岗岩的地球化学及其构造意义[J]. 地质科学, 1994, 29(4):373-383.
- Wang Shiguang, Han Baofu, Hong Dawei, et al. Geochemistry and tectonic significance of alkali granites along Ulungur river, Xinjiang [J]. Chinese Journal of Geology, 1994, 29(4):373-383(in Chinese with English abstract).
- [51] Han baofu, Wang shiguang, Jahn borming, et al. Depleted-mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implication for Phanerozoic crustal growth [J]. Chemical Geology, 1997, 138:135-159.

## LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Kubusunan granodiorite in the Kalamaili area, eastern Junggar, Xinjiang

YANG Gao-xue<sup>1</sup>, LI Yong-jun<sup>1</sup>, SI Guo-hui<sup>1</sup>,  
WU Hong-en<sup>2</sup>, ZHANG Yong-zhi<sup>2</sup>, JIN Zhao<sup>1</sup>

(1. Earth Science & Resources College of Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Xinjiang Institute of Geological Exploration for Nonferrous Resources, Ürümqi 830000, Xinjiang, China)

**Abstract:** LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Kubusunan granodiorite and its enclaves in the Kalamaili area, eastern Junggar, Xinjiang, indicates an age of  $287 \pm 2$  Ma (MSWD=0.15) for the granodiorite and an age of  $286 \pm 3$  Ma (MSWD=0.22) for its enclaves. The two ages are the same within the error limits, suggesting that granodiorite and dark enclaves formed synchronously. Enclaves resulted from magma mixing, i.e. they were the result of mixing of supercool mafic magma into intermediate-acid magma and then fast condensation. In the process of magma mixing, basic magma of enclaves and acid magma of host rocks changed their components by chemical diffusion, and thus enclaves were modified and assimilated by granodiorite magma. This might be why the Kubusunan granodiorite and its enclaves have the same LA-ICP-MS U-Pb zircon age. The ages of the Kubusunan granodiorite is in the range of 330–265 Ma for post-collisional magmatic activity in East Junggar, slightly younger than the age ( $300 \pm$  Ma) of the Wulungu River alkali granite and Kalamaili alkali granite, all being the product of post-collisional magmatic activity at peripheries of East Junggar, and their formation and evolution indicate that underplating of post-collision mantle-derived magma in Junggar resulted in vertical growth of continental crust.

**Key words:** Kubusunan granodiorite; microgranular enclaves; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Kalamaili; East Junggar

---

**About the first author:** YANG Gao-xue, male, born in 1980, master candidate, his research interests are orogenic belts and basin analysis; E-mail: mllygx@126.com.