东准噶尔卡拉麦里地区黄羊山花岗岩和包体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及地质意义*

杨高学[1] 李永军[1] 吴宏恩[2] 司国辉[1] 金朝[1] 张永智[2]

YANG GaoXue[1], LI YongJun[1], WU HongEn[2], SI GuoHui[1], JIN Zhao[1] and ZHANG YongZhi[2]

1. 长安大学地球科学与资源学院,西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室,西安 710054
2. 新疆维吾尔族自治区有色地质矿产勘察院,乌鲁木齐 830000

1. *Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Earth Science & Resources College of Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*
2. *Xinjiang Institute of Geological Exploration for Nonferrous Resources, Urumqi* 830000, *China*

2008-12-08 收稿, 2009-06-02 改回.

Yang GX, Li YJ, Wu HE, Si GH, Jin Z and Zhang YZ. 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Huangyangshan pluton and its enclaves from Kalamaili area eastern Junggar, Xinjiang, and geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 25(12): 3197 – 3207

Abstract High-precision LA-ICP-MS zircon U-Pb dating has revealed that the Huangyangshan pluton in eastern Junggar, northern Xinjiang, was formed at 311 ± 12Ma, which represents the age of lithogenesis of the Huangyangshan magma mixing pluton, and that microgranular enclaves in the alkaline granite were formed at 300 ± 6Ma. It's the first time obtain the microgranular enclaves age in Huangyangshan pluton, which represents the age of the enclaves formed, both ages are very consistent within errors, the time belongs to Late Carboniferous, implying the host rock and its enclaves were formed at the same time, that is the product of post-collisional magma activity around the Junggar area in 300Ma approximately. Petrochemistry and geochemistry researching suggested host rock characteristics of high silicon and enrich alkali, low magnesium, calcium and aluminous, and high differentiation, ingredient of the host rock, microgranular enclaves and diabase dykes project on line of the magma mixing. Host rock enrichment of LILE (such as Rb and Th) and HFSE (such as Zr and Hf), depleted of Ba、Sr、Ta and Ti, have lowest δEu (0.01), low initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios and high positive $\varepsilon_{Nd}(t)$ values. Huangyangshan magma mixing pluton formed in expansion tectonics setting of post-collisional stage, mantal magma take place underplating, because the underplating of the mantal magma, low crust melt by the high temperature forming the acid crust-magma, part of the mantal magma up to crust along the deep fault belt, the basic magma from mantle and acid one from crust mixing, formed the Huangyangshan magma mixing pluton. The diorite microgranular enclaves are the recorder of the crust and mantal magma mixing process, the diabase dykes in research area is the product from direct differentiation and evolution of the mantal magma.

Key words Zircon LA-ICP-MS U-Pb age; Magma mixing; Diorite microgranular enclaves; Huangyangshan alkaline granite; Kalamaili; Eastern Junggar

摘 要 高精度 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明,黄羊山岩浆混合花岗岩加权平均$^{206}Pb/^{238}U$年龄为 311 ± 12Ma,首次获得闪长质微细粒包体加权平均$^{206}Pb/^{238}U$年龄为 300 ± 6Ma,在误差范围内完全一致,均属于晚石炭世,前者代表黄羊山岩浆混合花岗岩成岩年龄,后者代表暗色闪长质微粒包体的形成年龄,表明两者是同时代形成的,属于 300Ma 前后准噶尔周边地区后碰撞岩浆活动的产物。岩石地球化学研究表明,寄主岩石具有高硅、低铝、贫钙镁、富碱和高分异的特征,寄主岩石、包体和辉绿岩脉成分均落在了混合趋势线上,寄主岩富集 Rb 和 Th 等大离子亲石元素及 Zr、Hf 等高场强元素,亏损 Ba、Sr、Ta 和 Ti 等元素,δEu 值(为 0.01)极低,具有低的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比值和高正的$\varepsilon_{Nd}(t)$值。黄羊山碱性花岗岩是在后碰撞拉张的构造背景下,幔源岩浆发生底垫作用,由于幔源岩浆底垫作用,下地壳温度升高而熔融形成酸性壳源岩浆,部分幔源岩浆沿着地壳中的深断裂带上涌,发生不同程度壳幔混合形成的,其中闪长质微细粒包体就是基性的幔源岩浆和酸性的壳源岩浆不同程度的混合的记录者,研究区的辉绿岩脉是幔源岩浆直接分异演化的产物。

---

* 本文受新疆青河、奇台县红柳沟 – 苏吉泉一带 1∶5 万区域地质矿产调查项目(QD200508)资助.

第一作者简介: 杨高学,男,1980 年生,博士生,构造地质学专业,E-mail:mllygx@126.com

关键词 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄;岩浆混合;闪长质微细粒包体;黄羊山碱性花岗岩;卡拉麦里;东准噶尔
中图法分类号 P588.121;P588.122

1 引言

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,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(Han *et al.*, 1997;田慧新等,1990;刘显凡和田慧新,1991;韩宝福等,1998,1999,2006;高俊等,2006;苏玉平等,2006;肖文交等,2006),近年来,积累了大量同位素年龄资料:刘家远和袁奎荣(1995)测得贝勒库都克岩体 Rb-Sr 等时线年龄 286.89Ma 和单颗粒锆石年龄 313.18Ma,黄羊山岩体钠铁闪石 K-Ar 同位素年龄为 304Ma 和锆石 U-Pb 年龄为 317.7Ma;汤好书等(2006)测得贝勒库都克锡矿石英脉中白云母的 K-Ar 同位素年龄为 296±3Ma;孙桂华等(2005)测得哈尔里克闪长岩锆石 SHRIMPU-Pb 年龄为 316±3Ma;林锦富等(2007)测得东准噶尔萨北富碱花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 313±2Ma;唐红峰等(2007a)测得萨北碱性 A 型花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 306±3Ma 和萨惹什克锡矿石辉钼矿 Re-Os 同位素年龄 307±11Ma;苏玉平等(2006)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)$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 304±2Ma,黄羊山岩体单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 300~305 Ma;唐红峰等(2007b)测得卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 373Ma;韩宝福等(2006)最近研究认为,东准噶尔后碰撞深成岩浆活动发生在 330~265Ma 之间,主要集中发生在 330~310Ma 和 305~280Ma 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黄羊山岩浆混合花岗岩,特别是其中的闪长质微细粒包体,还没有最新且准确的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的报道。笔者在执行"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"项目时,提出萨北岩体和苏吉泉岩体只仅仅是黄羊山岩体的一个组成部分,而并非单独岩体,它们是岩浆混合的产物同时,首次对该岩体中的闪长质包体进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年,获得了可靠年龄资料,对东准噶尔后碰撞阶段的时限约束提供科学依据。

2 地质概况及岩体特征

卡拉麦里造山带位于新疆北部,由西伯利亚板块和准噶尔板块碰撞缝合形成,是中亚构造框架一个非常重要的构造单元。一条北西向延伸的蛇绿混杂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(李锦轶等,1990;李锦轶,1995)。区内出露的地层以下石炭统黑山头组中酸性、中基性火山碎屑岩和凝灰岩以及下石炭统姜巴斯套组凝灰质粉砂岩、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泥盆纪卡拉麦里组陆源碎屑岩地层。花岗岩类岩浆活动在该区大规模发育,构成与卡拉麦里断裂走向一致并受断裂控制的花岗岩带,发育与金、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两类花岗岩(毕承思等,1993;刘家远等,1997),岩石类型包括花岗闪长岩、黑云母碱性花岗岩、角闪石碱性花岗岩、钠铁闪石碱性花岗岩和花岗斑岩等,有斜长花岗岩零星发育,花岗岩类出露面积约 1100km^2,由不同期次、大小不等的岩体组成,如黄羊山、贝勒库都克等碱性花岗岩体和库布苏南花岗闪长岩体。它们多为岩基状发育(少数呈岩枝状),具有超酸、高碱、富挥发份(F)、高分异指数、高 F/Cl 和 Rb/Sr 比值的特点(田慧新等,1990)。

黄羊山岩体就位于卡拉麦里深大断裂带的东北侧(图 1),岩体中心坐标为东经 90°20′00″北纬 45°07′00″。岩体地表形态似圆形,出露面积约 230km^2。侵入于石炭系黑山头组凝灰质粉砂岩中,岩体与围岩呈明显侵入接触关系,接触面倾向围岩,局部与围岩接触处花岗岩一侧常见 10~20cm 厚的具细粒结构的冷凝边,围岩也有不同程度的热变质,具球状风化特征(刘显凡和田慧新,1991)。岩体由碱性寄主岩石和基性端元的暗色微细粒闪长质包体群及基性岩墙群构成。碱性寄主岩石有以下岩性:中粒黑云母碱长花岗岩、中粒角闪石碱长花岗岩、中粒钠铁闪石碱长花岗岩、中细粒钠铁闪石碱长花岗岩、细粒黑云母碱长花岗岩和细粒混合花岗岩(含石墨),两两之间为脉动接触关系,局部为断层接触,而与区内出露的斜长花岗岩呈超动接触关系;暗色微细粒闪长质包体集中发育在中粒角闪碱长花岗岩边部,具有集群特点,大多数呈弥散状接触界限,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,黑云母和角闪石呈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。另外,岩体内部发育大量花岗斑岩脉、闪长(玢)岩脉以及少量辉绿(玢)岩脉,总体走向为北东东向,与卡拉麦里断裂呈锐角关系。

3 分析方法

用于锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年的寄主岩样品(编号:06TW-X-29-1)和包体样品(编号:06TW-D1191-1)公里网坐标分别为:X = 4995079, Y = 16296354; X = 4996245, Y = 16288592。

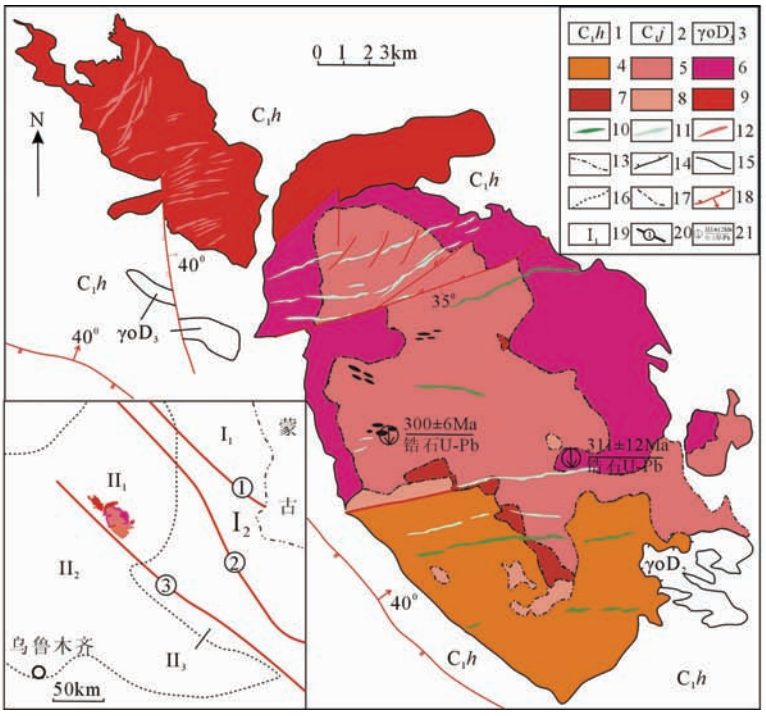


图 1　卡拉麦里地区黄羊山岩体地质简图

1-石炭系黑山头组;2-石炭系姜巴斯套组;3-泥盆世斜长花岗岩;4-中粒黑云母碱长花岗岩;5-中粒角闪石碱长花岗岩;6-中粒钠铁闪石碱长花岗岩;7-中细粒钠铁闪石碱长花岗岩; 8 -细粒黑云母碱长花岗岩;9-细粒混合花岗岩(含石墨);10-辉绿岩脉;11-闪长岩脉;12-花岗斑岩脉;13-脉动接触关系;14-超动接触关系;15-侵入接触关系;16-构造带界线;17-国界;18-断层及产状;19-构造带编号;20-断裂及编号;21-样品位置以及锆石年龄;I_1-阿尔泰构造带;I_2-阿尔曼太构造带;II_1-卡拉麦里构造带;II_2-准噶尔盆地;II_3-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　Geological sketch of Huangyangshan granite in Kalamaili area

1-Carboniferous Heishantou Formation;2-Carboniferous Jiangbasitao Formation;3-Ordovician plagiogranite;4-Medium granularity biotite alkali-feldspar granite;5-Medium granularity amphibole alkali-feldspar granite;6-Medium granularity arfvedsonite alkali-feldspar granite;7-Medium-fine granularity arfvedsonite alkali-feldspar granite;8-Fine granularity biotite alkali-feldspar granite;9-Fine granularity mixing granite(containing graphite);10-Diabase dykes;11-Diorite dykes;12-Granite-porphyry dykes;13-Pulsation invading relationship;14-Beveling invading relationship;15-Invading relationship;16-Tectonic belt boundary;17-National boundary;18-Fault and elements of attitude;19-Number of tectonic belt;20-Fault and its number;21-Place and LA-ICP-MS zircon U-Pb ages;I_1-Altay tectonic belt;I_2-Aermantai tectonic belt;II_1-Kalamaili tectonic belt;II_2-Junggar basin;II_3-Jiangjunmiao tectonic belt;①-Eerqisi fault;②-Aermantai fault;③-Kalamaili fault

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)照相。然后用体积百分比为 3% 的 HNO_3 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 193nm)与 MicroLas 公司的光学系统组成。激光剥蚀斑束直径为 30μm,激光剥蚀样品的深度为 20 ~ 40μm。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 SRNI610 作为外标。由于 SiO_2 在锆石中的含量较恒定,选择 ^{29}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(Horn *et al.*,2000;Ballard *et al.*,2001;Kosler *et al.*,2002)。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

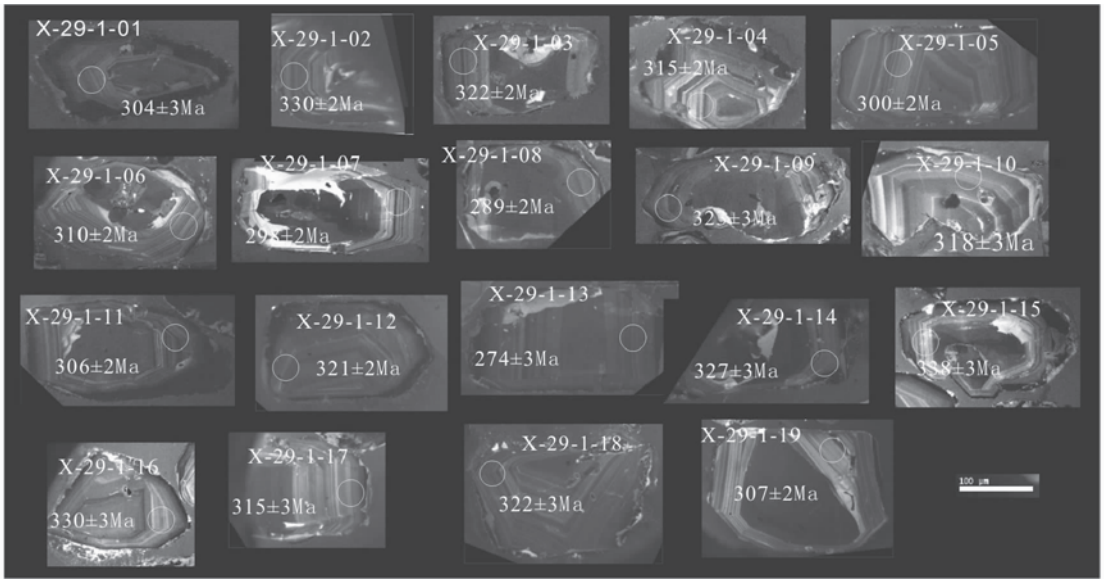


图 2 黄羊山岩浆混合花岗岩(X-29-1)中典型锆石的 CL 图象和年龄值

Fig. 2 Representative zircon CL images and ages of the Huangyangshan magma mixing pluton (X-29-1)

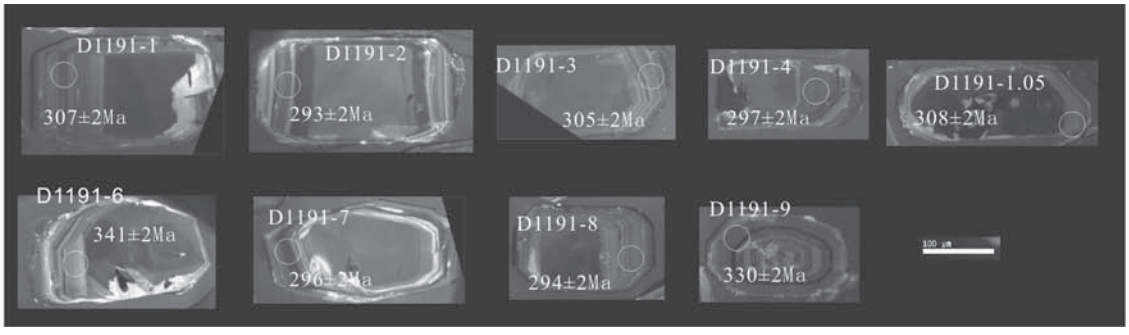


图 3 闪长质微细粒包体(D1191-1)中典型锆石的 CL 图象和年龄值

Fig. 3 Representative zircon CL images and ages of the microgranular enclave (D1191-1)

计算。并按照 Andersen Tom 的方法(Andersen, 2002)。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(Ludwig,1991)。

4 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果

黄羊山岩浆混合花岗岩及微细粒闪长质包体中锆石的 CL 图像分别如图 2 和图 3 所示。根据 CL 图像,闪长质包体中锆石样品可以分为两大类,一类为无色透明的短柱状,自形程度高,锆石的 CL 图像色调较为均匀,晶形具有明显的岩浆震荡环带。另一类锆石为浑圆状,颜色较为复杂,褐色至深棕色,自形程度相对较差,CL 图像显示锆石内部结构较为复杂,个别锆石环带不清楚,还有一些颗粒外围有一个窄的亮色边,可能是不同类型的捕获锆石。寄主岩中的锆石全部属于前者。

黄羊山岩浆混合花岗岩及包体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果见表 1。锆石具有较高的 Th/U 比值(为 0.35 ~ 0.96,多数 > 0.55)属于典型岩浆成因锆石的范围(Pidgeon *et al.*, 1998; Claesson *et al.*, 2000)。19 个样品测点的 Th 含量变化为 $0.77 \times 10^{-6} \sim 427.1 \times 10^{-6}$,U 含量变化为 $2.1 \times 10^{-6} \sim 647.6 \times 10^{-6}$,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。对于显生宙锆石,一般采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄(Compston *et al.*, 1992)。寄主岩石样品 19 颗锆石的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄范围在 274 ~ 330Ma 之间,最大年龄误差为 56Ma,加权平均 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 311 ± 12Ma, MSWD = 0.47 (95% 置信度)(图 4a, b),闪长质包体样品 9 颗锆石的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄范围在 293 ~ 341Ma 之间,最大年龄误差为 48Ma,可分为两组,一组 7 个样品加权平均 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 300 ± 6Ma, MSWD = 1.14 (95% 置信度),另一组两个样品年龄分别为 330Ma 和 341Ma(图 4c, d),可能代表捕获围岩年龄。

表 1　黄羊山岩浆混合花岗岩(Ⅹ-29-1)和包体(D1191-1)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1　LA-ICP-MS zirzon U-Pb isotopic analysis of the Huangyangshan magma mixing pluton(Ⅹ-29-1) and the microgranular enclave (D1191-1)

样品号	同位素比值								同位素年龄(Ma)								同位素含量($\times10^{-6}$)						Th/U	$\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}$
	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		^{204}Pb	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb	^{232}Th	^{238}U		
	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ								
X-29-1-01	0.068	0.002	0.461	0.009	0.049	0.000	0.020	0.000	398	77	315	9	304	3	302	2	0.59	1.71	0.17	0.097	0.78	2.11	0.37	2.90
X-29-1-02	0.054	0.001	0.394	0.005	0.053	0.000	0.017	0.000	387	18	338	4	330	2	350	3	1.61	4.27	0.77	0.85	10.32	16.24	0.64	2.65
X-29-1-03	0.058	0.001	0.412	0.005	0.051	0.000	0.017	0.000	408	47	332	5	322	2	320	2	0.53	1.48	0.13	0.1	2.35	6.66	0.35	2.79
X-29-1-04	0.055	0.001	0.377	0.006	0.050	0.000	0.015	0.000	395	20	325	4	315	2	303	3	0.35	2.36	0.15	0.16	4.43	9.97	0.44	6.74
X-29-1-05	0.053	0.001	0.350	0.007	0.048	0.000	0.015	0.000	340	33	305	6	300	2	301	4	0.28	1.7	0.12	0.11	3.22	7.37	0.44	6.07
X-29-1-06	0.061	0.001	0.420	0.006	0.050	0.000	0.017	0.000	391	59	319	7	310	2	308	2	0.31	1.6	0.11	0.13	4.13	7.09	0.58	5.16
X-29-1-07	0.076	0.001	0.508	0.007	0.048	0.000	0.018	0.000	651	57	342	7	298	2	292	2	0.33	1.61	0.15	0.085	0.74	1.99	0.37	4.88
X-29-1-08	0.063	0.001	0.405	0.007	0.046	0.000	0.017	0.000	387	64	300	7	289	2	287	2	0.41	1.37	0.097	0.083	2.48	6.34	0.39	3.34
X-29-1-09	0.061	0.001	0.440	0.008	0.052	0.000	0.019	0.000	381	64	330	7	323	3	322	2	0.37	1.95	0.15	0.15	4	8.71	0.46	5.27
X-29-1-10	0.069	0.001	0.487	0.009	0.052	0.000	0.020	0.000	408	75	329	9	318	3	317	2	0.51	2.44	0.22	0.22	5.72	11.24	0.51	4.78
X-29-1-11	0.063	0.001	0.424	0.004	0.049	0.000	0.020	0.000	716	8	359	3	306	2	399	3	0.55	2.46	0.19	0.17	4.43	11.75	0.38	4.47
X-29-1-12	0.056	0.001	0.396	0.005	0.051	0.000	0.016	0.000	465	18	339	4	321	2	325	3	0.46	2.01	0.15	0.13	3.23	8.55	0.38	4.37
X-29-1-13	0.085	0.002	0.517	0.010	0.044	0.000	0.015	0.000	1019	67	369	10	274	3	263	2	0.33	1.69	0.15	0.088	0.77	2.1	0.37	5.12
X-29-1-14	0.052	0.001	0.370	0.008	0.052	0.000	0.016	0.000	268	31	319	6	327	3	328	5	12.63	12.4	12.43	12.4	13.52	14.14	0.96	0.98
X-29-1-15	0.064	0.001	0.481	0.006	0.054	0.000	0.018	0.000	536	53	364	7	338	3	334	2	0.48	1.47	0.13	0.13	2.95	6.28	0.47	3.06
X-29-1-16	0.054	0.001	0.393	0.006	0.053	0.000	0.016	0.000	380	23	336	5	330	3	329	4	1.1	25.71	1.81	2.24	52.92	117.7	0.45	23.37
X-29-1-17	0.131	0.001	0.987	0.008	0.054	0.000	0.028	0.000	893	79	394	12	315	3	305	3	0.31	1.45	0.096	0.1	2.89	6.32	0.46	4.68
X-29-1-18	0.057	0.001	0.405	0.008	0.051	0.000	0.016	0.000	506	28	345	6	322	3	322	4	0.72	1.75	0.19	0.19	5.34	8.75	0.61	2.43
X-29-1-19	0.054	0.001	0.362	0.005	0.049	0.000	0.017	0.000	364	20	314	4	307	2	336	4	0.41	1.79	0.12	0.098	2.6	7.62	0.34	4.37
D1191-1	0.051	0.001	0.344	0.004	0.049	0.000	0.015	0.000	246	12	300	3	307	2	295	2	0.78	48.12	3.058	2.952	100.8	235.7	0.43	61.69
D1191-2	0.053	0.001	0.341	0.003	0.046	0.000	0.014	0.000	338	11	298	3	293	2	285	2	0.87	55.61	4.63	2.857	24.36	67.28	0.36	63.92
D1191-3	0.056	0.001	0.374	0.004	0.048	0.000	0.014	0.000	456	13	323	3	305	2	285	2	0.79	87.63	5.34	7.17	248.7	450.8	0.55	110.9
D1191-4	0.053	0.001	0.342	0.003	0.047	0.000	0.015	0.000	309	11	299	3	297	2	307	2	<0.5	87.14	5.27	6.19	205.7	423.1	0.49	174.3
D1191-5	0.055	0.001	0.374	0.004	0.049	0.000	0.011	0.000	432	12	323	3	308	2	230	2	3.51	130.9	10.27	13.73	427.1	647.6	0.66	37.32
D1191-6	0.056	0.001	0.416	0.005	0.054	0.000	0.019	0.000	434	15	353	4	341	2	382	3	0.62	55.67	4.63	2.871	25.95	70.53	0.37	89.79
D1191-7	0.052	0.001	0.334	0.004	0.047	0.000	0.014	0.000	271	12	293	3	296	2	285	2	<0.5	77.24	4.61	4.92	152.6	371.8	0.41	160.9
D1191-8	0.055	0.001	0.355	0.003	0.047	0.000	0.011	0.000	422	10	308	3	294	2	228	1	1.58	47.76	4.04	4.68	221.5	240.6	0.92	30.23
D1191-9	0.056	0.001	0.409	0.005	0.053	0.000	0.017	0.000	360	47	334	5	330	2	330	2	<0.5	56.96	3.32	3.57	125.4	284.2	0.44	118.7

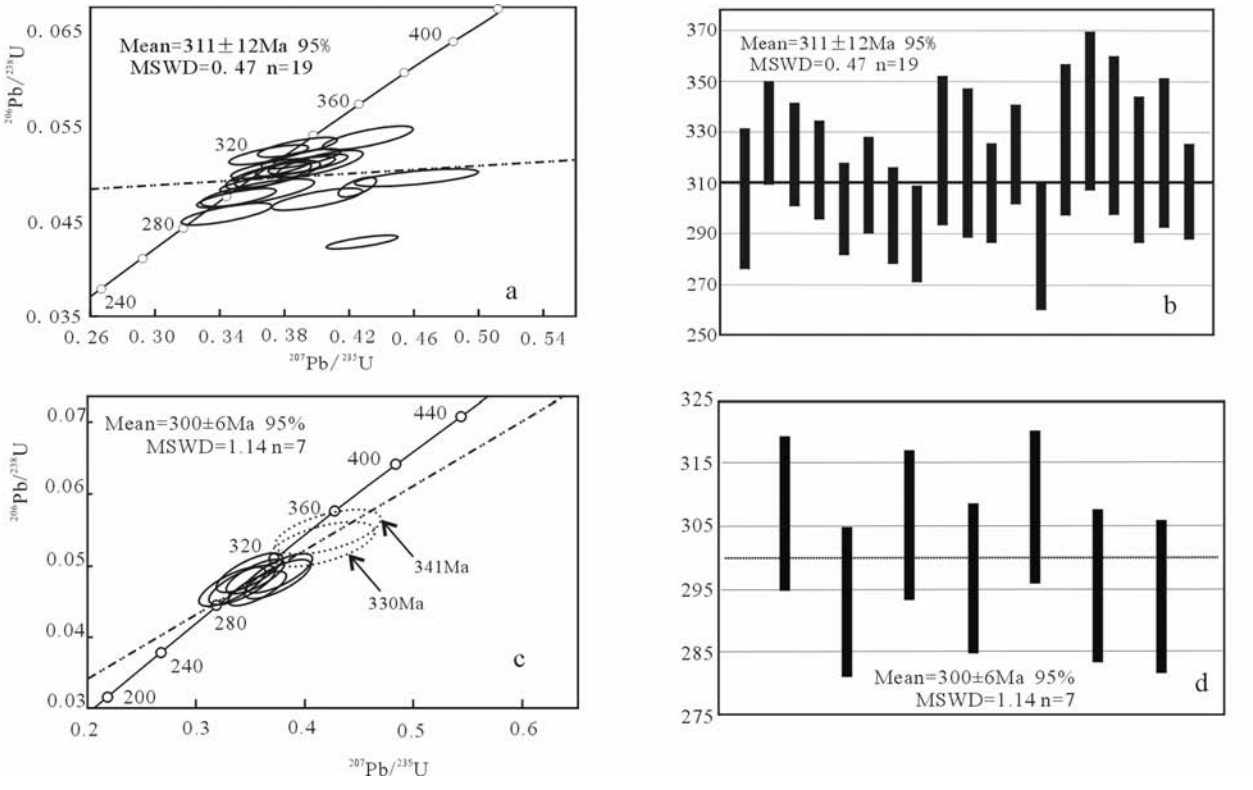


图 4 寄主岩石(X-29-1)和微细粒包体(D1191-1) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图(a,c)和直方图(b,d)

Fig. 4 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams (a,c) and histograms of weighted average ages (b,d) of the host rock(X-29-1) and microgranular enclave(D1191-1)

5 讨论

分析样品锆石的 Th/U 比值属于典型岩浆成因锆石的范围,两组锆石均发育明显的环带,表明花岗岩及包体的锆石均是从岩浆结晶的,寄主岩石样品加权平均$^{206}Pb/^{238}U$年龄为 311±12Ma,MSWD=0.47(95%置信度),包体样品的加权平均$^{206}Pb/^{238}U$年龄为 300±6Ma,MSWD=1.14(95%置信度),在误差范围内完全一致,按照最新的国际地质年表中石炭纪和二叠纪划分方案(Gradstain *et al.*,2004),均属于晚石炭世,前者代表黄羊山岩浆混合花岗岩成岩年龄,后者代表暗色闪长质微粒包体的形成年龄,表明两者是同时代形成的。

黄羊山岩浆混合花岗岩所在的卡拉麦里地区是东准噶尔古生代造山带的一部分,该造山带强烈的造山运动发生在早石炭世末,晚石炭世已经进入了后碰撞阶段(李锦轶等,1990;李锦轶,2004)。而花岗岩的地球化学组成(表 2)表明,黄羊山岩体形成于后造山构造背景(图 5),即属于 300Ma 前后准噶尔周边地区后碰撞岩浆活动的产物(Han *et al.*,1997),因此黄羊山岩体和包体锆石 U-Pb 年龄(分别为 311Ma 和 306Ma,属于晚石炭世),与区域地质背景和演化历史相吻合,而且与卡拉麦里地区其它后造山花岗岩的定年结果(如 Han *et al.*,1997,苏玉平等,2006;韩宝福等,2006)一致。因此,本文报道的黄羊山岩浆混合花岗岩以及包体同位素年龄值真实地代表了该岩体的成岩时代和包体形成时代。

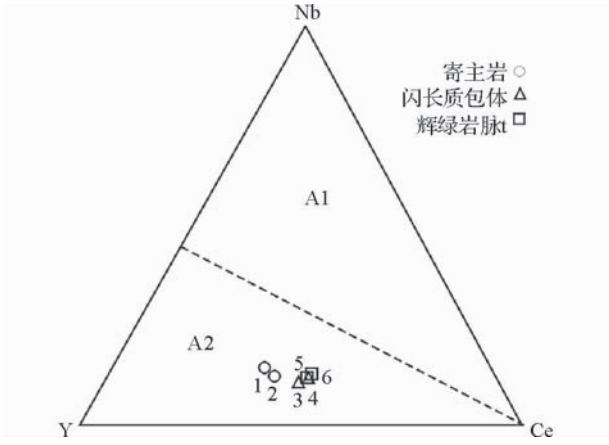


图 5 黄羊山岩浆混合花岗岩 Nb-Y-Ce 判别图(据 Eby,1992)

Fig. 5 The Nb-Y-Ce discrimination diagrams of Huangyangshan magma mixing pluton (after Eby,1992)

岩石地球化学研究表明,寄主岩石具有高硅、低铝、贫钙镁、富碱和高分异的特征。在寄主岩石、包体和辉绿岩脉氧

表 2 黄羊山后碰撞花岗岩及其包体的主量元素(wt%)和微量元素($\times 10^{-6}$)分析结果

Table 2 Major (wt%) and trace ($\times 10^{-6}$) element compositions of the Huangyangshan post-collisional pluton and enclaves

	寄主岩石		闪长质包体		辉绿岩脉	
	1	2	3	4	5	6
SiO_2	76.63	76.46	70.62	62.43	51.82	50.21
TiO_2	0.43	0.51	0.35	0.72	2.04	1.95
Al_2O_3	10.33	10.48	13.40	14.85	15.83	16.37
Fe_2O_3	1.67	1.58	0.57	1.25	2.02	2.09
FeO	0.60	0.81	3.43	4.14	7.88	7.68
MnO	0.10	0.12	0.07	0.10	0.17	0.17
MgO	0.11	0.11	0.82	1.67	4.52	5.59
CaO	0.74	0.71	1.86	3.59	6.82	7.95
Na_2O	3.61	3.43	5.44	6.17	4.05	3.93
K_2O	4.13	4.14	2.89	3.90	1.09	0.89
P_2O_5	0.23	0.23	0.07	0.18	0.43	0.39
Total	98.58	98.58	99.52	99.00	96.67	97.22
NKA	1.01	0.97	0.90	0.97	0.50	0.45
ANKC	0.88	0.92	0.87	0.71	0.78	0.75
Ba	15.1	26.8	187	392	296	211
Rb	222	210	50	108	23.9	24.6
Sr	4.02	7.9	121	208	342	526
Y	56.9	61.7	56.4	53.4	34.8	27.7
Zr	167	152	307	156	218	164
Nb	13	12	12.2	9.65	7.56	5.85
Th	11.2	19.1	4.7	6.5	1.44	0.89
Ga	22	20.6	24.9	21	33.7	30.3
Ni	8.6	15.3	7.21	11.3	16.7	32.8
Cr	20.4	33.6	21.9	26.5	63.7	69.2
Hf	8.31	7.49	8.74	5.24	7.32	5.63
Sc	2.84	1.59	7.08	14	29.3	28.8
Ta	2.26	1.2	1.17	1.49	0.62	1.1
Sn	8.13	18.9	4	11.5	6	4.6
La	18.3	19.3	26.7	23.2	14.8	11.6
Ce	38.2	46.6	59.6	50.6	35.8	28.7
Pr	6.08	6.57	9.04	7.34	5.59	4.6
Nd	25.8	28.5	37.9	30.4	25.1	20.9
Sm	7.01	7.95	10	7.58	6.35	5.38
Eu	0.02	0.04	0.6	1.08	2.15	1.93
Gd	8.49	9.73	9.07	7.2	5.43	4.56
Tb	1.46	1.63	1.92	1.55	1.18	0.99
Dy	9.47	10.2	10.9	8.85	6.52	5.36
Ho	2.05	2.21	2.18	1.83	1.29	1.07
Er	5.91	6.32	6.06	5.04	3.55	2.87
Tm	0.91	0.94	1.05	0.84	0.61	0.49
Yb	6.22	5.94	6.72	5.14	3.88	3.04
Lu	0.92	0.86	0.95	0.72	0.57	0.43
∑REE	130.84	146.79	182.69	151.37	112.82	91.92
δEu	0.01	0.01	0.19	0.44	1.09	1.16

注:样品由宜昌地质研究所岩矿测试室用 ICP 原子光谱等方法分析,质量符合 DZ-0130-94 标准。样品 1,2 数据引自苏玉平等(2006)

化物对 SiO_2 的哈克图(图略)中,TiO_2、Al_2O_3、FeO^T、MgO 和 CaO 与 SiO_2 呈现良好的负线性相关,$Na_2O + K_2O$ 不明显,在 Na_2O/CaO-Al_2O_3/CaO, Na_2O/CaO-SiO_2/CaO, SiO_2/MgO-Al_2O_3/MgO, CaO/MnO-MgO/MnO 同分母氧化物比值相关图(图 6)上也构成良好的线形关系,反映了寄主花岗岩和包体可能为混合作用的演化趋势,因为在分离结晶作用过程中,由于受固相矿物晶出的影响,其演化线多为曲线而不是直线;在 FeO^T-MgO 图解(图 7)上,成分均落在了混合趋势线上,反映他们曾经发生过化学混合。在原始地幔归一化的不相容元素蛛网图上(图 8),明显富集 Rb 和 Th 等大离子亲石元素及 Zr、Hf 等高场强元素,亏损 Ba、Sr、Ta 和 Ti 等元素,说明岩体定位前可能经历了斜长石、磷灰石、钛铁氧化物等矿物的结晶分离作用,而从闪长质包体到辉绿岩脉,Rb 和 Th 等大离子亲石元素及 Zr、Hf 等高场强元素富集程度明显减弱,Ba、Sr 和 Ti 等元素亏损程度也不及寄主岩,但三者的线型相似且平行,另外,寄主岩 Nb、Ta 总体相对亏损,但没有形成相对应的 Zr、Hf 亏损,显示花岗岩具有壳幔混合的一些特征。在稀土配分曲线图上(图 9),寄主岩、闪长质包体和辉绿岩脉三者的轻重稀土元素分馏都不太明显,相对来说轻稀土部分右倾斜较陡,重稀土部分曲线形态基本水平,一般认为,幔源成分较多者表现为轻稀土相对富集(田慧新等,1990)。寄主岩 δEu 值(为 0.01)极低,"铕谷"特别明显,显示长石分离结晶作用极强,表明岩浆结晶分异程度很高,这与 Rb/Sr 比值高(>26.58)是一致的,研究认为,从地幔到地壳,Sr 含量逐渐减少,Rb 含量逐渐增加(田慧新等,1990),从辉绿岩脉到闪长质包体再到寄主岩,符合这样的规律,稀土微量元素比值特征显示具有幔源岩浆成分,属于典型的后碰撞碱性花岗岩。与寄主岩石相比,偏基性的闪长质微细粒包体具有贫硅,而相对富铁、钙和镁,稀土总量略高于寄主岩石,主要归因于角闪石、单斜辉石和黑云母等镁铁矿物,以及富稀土元素的副矿物的聚集,Eu 亏损界于寄主岩石和辉绿岩脉(Eu 正异常)之间,但总体上它们的线形相似且平行,线型的相似表明三者之间有一定的成因联系,而这种在成分的差异,很可能就是岩浆混合不同端元的显示。

另外,中粒黑云母碱长花岗岩中的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 为 5.90 ~ 6.30(苏玉平等,2006),中细粒钠铁闪石碱长花岗岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 在 5.2 ~ 7.1 之间,I_{Sr} 多数在 0.7031 ~ 0.7041 之间(林锦富等,2007),产于中粒黑云母碱长花岗岩东侧的斜长花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(t) = 9.47$,其值明显比黑云母花岗岩高(唐红峰等,2007a),微量元素蛛网图中元素 Nb 表现为明显亏损,贝勒库都克黑云母花岗岩的 $\delta^{18}O$ 值为 10.03‰ ~ 10.35‰(刘家远等,1997),黄羊山岩体中黑云母花岗岩氧同位素特征可能与之类似,此外,东准噶尔后碰撞花岗岩类和基性-超基性杂岩都显示出亏损地幔的 Pb 同位素特征,这些表明亏损地幔成分在花岗岩类岩浆中占非常重要的地位,也表明源岩中除了亏损地幔物质之外,还应有一定量地壳物质的混染。

已有研究表明,东准噶尔地区碱性花岗岩普遍有较高的

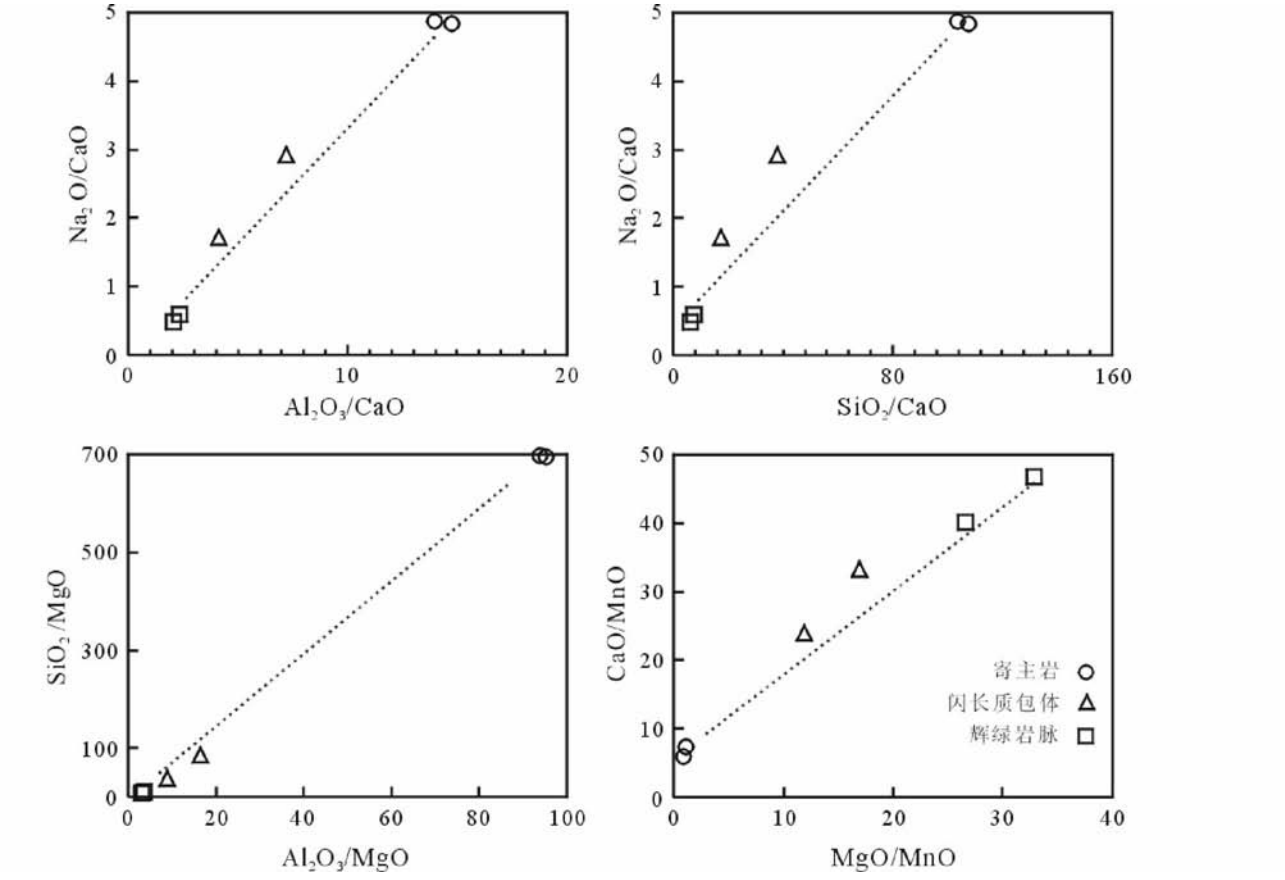


图 6 黄羊山花岗岩、包体和辉绿岩脉同分母氧化物比值相关图解

Fig. 6 The diagram showing the predominant oxide ratios of the Huangyangshan pluton , dioritic enclaves and diabase dykes

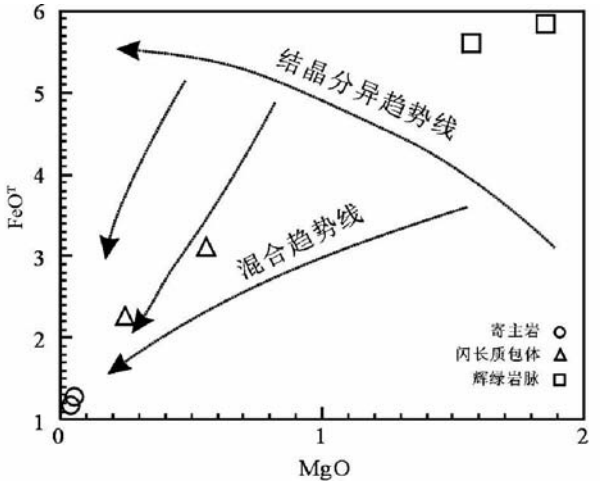


图 7 寄主岩、包体和辉绿岩脉 FeO^T-MgO 图解

Fig. 7 FeOT-MgO diagram of host rock , enclaves and diabase dykes

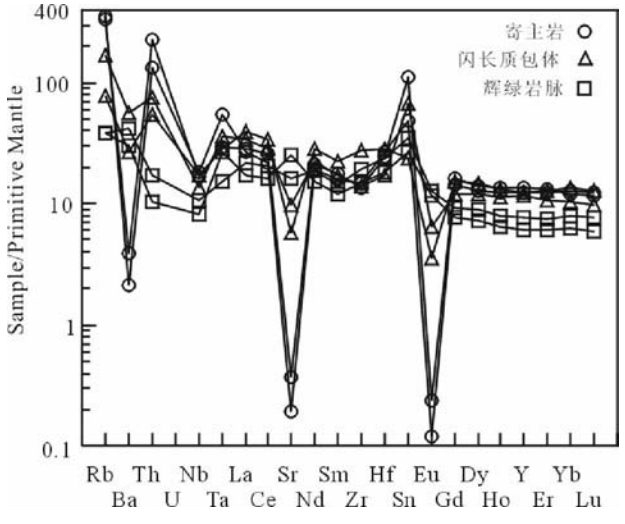


图 8 原始地幔标准化微量元素蛛网图(据 Pearce,1984)

原始地幔标准化值来自 Sun and Mcdonough (1989)

Fig. 8 Primitive-mantle normalized trace element spidergrams (after Pearce, 1984)

Primitive-mantle data from Sun and Mcdonough (1989)

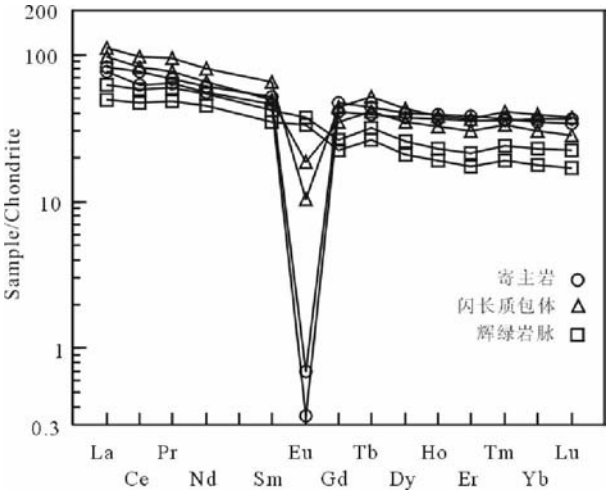


图 9 稀土元素配分模式图(据 Henderson,1989)

球粒陨石标准化值来自 Sun and Mcdonough(1989)

Fig. 9 Chondrite-normalized REE patterns(after Henderson, 1989)

Chondrite data from Sun and Mcdonough (1989)

正 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(Chen and Jahn,2004;Han *et al.*,1997;洪大卫等,2000;苏玉平等,2006),前人对具这种 Nd 同位素特征的碱性花岗岩成因有两种明显不同的认识:①认为花岗岩的岩浆直接来源于亏损地幔(Han *et al.*,1997;刘家远和袁奎荣,1995;韩宝福等,1999);②认为花岗岩的岩浆起源于具有幔源同位素特征的年轻地壳(李锦轶和肖序常,1999;洪大卫等,2000;Chen and Jahn,2004;苏玉平等,2006)。黄羊山碱性花岗岩的部分 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值界于韩宝福等(1999)根据准噶尔盆地周边蛇绿岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值推测的亏损地幔现今的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值在 +6.5 ~ +10 之间,处在这个局部亏损地幔 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值范围内的后碰撞岩浆岩很可能没有受到地壳物质的混染,变化的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值则是亏损地幔不均一性的反映。

黄羊山后碰撞幔源花岗岩的分布受卡拉麦里大断裂的控制,在空间上与蛇绿混杂岩带平行产出,表明大型断裂带对幔源岩浆及其分异的残余熔体能够上升到上地壳侵位起着重要控制作用,而构造体制从碰撞期挤压变为后碰撞期拉张,则成为幔源岩浆及其分异产物能够在上地壳侵位的有利条件。在板块碰撞之后,增厚的岩石圈地幔部分可能发生拆沉,热的软流圈地幔物质上涌,到达相对浅的深度上,因减压而发生部分熔融,产生的幔源岩浆上升到壳幔界面附近和下地壳中,发生底垫作用,在底垫作用过程中,岩浆可以发生分异,少量无分异或弱分异的幔源岩浆和经过强烈分异的幔源岩浆残余熔体沿着地壳中的深断裂带继续上升,到达上地壳中侵位,分别形成基性-超基性杂岩和幔源花岗岩类(韩宝福等,1999),在这个过程中,地壳物质可能对幔源岩浆及其分异产物产生混染,导致 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值降低,下地壳也可能因为温度升高而熔融,形成壳源为主的花岗岩类,它们的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值很低,基性的幔源岩浆和酸性的壳源岩浆不同程度的混合,造成黄羊山岩浆混合花岗岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值的变化,不排除发生底垫作用的下地壳可能是具有幔源同位素特征的洋壳和岛弧建造组成的年轻地壳。其中闪长质微细粒包体就是基性的幔源岩浆和酸性的壳源岩浆不同程度的混合的产物,而辉绿岩脉应该是幔源岩浆直接分异演化的产物。

6 结论

(1)黄羊山岩浆混合花岗岩加权平均 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 311 ± 12Ma,首次获得闪长质微细粒包体加权平均 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 300 ± 6Ma,在误差范围内完全一致,均属于晚石炭世,前者代表黄羊山岩浆混合花岗岩成岩年龄,后者代表暗色闪长质微粒包体的形成年龄,表明两者是同时代形成的,属于 300Ma 前后准噶尔周边地区后碰撞岩浆活动的产物。

(2)黄羊山碱性花岗岩是在后碰撞拉张的构造背景下,幔源岩浆发生底垫作用,由于幔源岩浆底垫作用,下地壳温度升高而熔融形成酸性壳源岩浆,部分幔源岩浆沿着地壳中的深断裂带上涌,发生不同程度壳幔混合形成的,其中闪长质微细粒包体就是基性的幔源岩浆和酸性的壳源岩浆不同程度的混合的记录者,而辉绿岩脉应该是幔源岩浆直接分异演化的产物。

致谢 野外工作得到了新疆有色地质勘察院的大力支持;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,在此表示感谢;在论文写作过程中,长安大学丁仨平博士在数据成图中给了帮助,导师李永军给予了极大的帮助,两位匿名审稿人提出了宝贵的修改意见,在此表示真诚的感谢。

References

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb. Chemical Geology, 192:59 – 79

Ballard JR, Palin JM, Williams IS *et al.* 2001. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquicamata copper deposit of northern Chile by LA-ICP-MS and SHRIMP. Geology,9:383 – 386

Bi CS, Shen XY, Xu QS *et al.* 1993. Geological characteristics of stanniferous granites in the Beilekuduk tin metallogenic belt, Xinjiang. Acta Petrologica et Mineralogica, 12(3):213 – 223 (in Chinese with English alastract)

Chen B and Jabn BM. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 691 – 703

Claesson S, Vetrin V, Bayan ova T *et al.* 2000. U-Pb zircon age from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: A record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic. Lithos, 51 (1 – 2):95 – 108

Compston W, Williams IS, Kirschvink JL *et al.* 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. Journal of Geological Society of London, 149:171 – 184

Eby GN. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20:641 – 644

Gao J, Long LL, Qian Q *et al.* 2006. South Tianshan: A Late Paleozoic or a Triassic orogen? Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1049 – 1061 (in Chinese with English abstract)

Gradstain FM, Ogg JG and Smith AG. 2004. A Geological Time Scale. Cambridge: Cambridge University Press, 1 – 589

Han BF, Wang SG, Jahn BM *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. Chemical Geology, 138: 135 – 159

Han BF, He GQ, Wang SG *et al.* 1998. Post-collisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in North Xinjiang. Geological Review, 44(4): 396 – 406 (in Chinese with English abstract)

Han BF, He GQ and Wang SG. 1999. Post-collisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the Junggar Basin. Science in China (Ser. D), 29(1): 16 – 21 (in Chinese)

Han BF, Ji JQ, Song B *et al.* 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1077 – 1086 (in Chinese with English abstract)

Henderson P. 1989. Rare Earth Element Geochemistry. Beijing: Geological Publishing House, 20 – 178

Horn I, Rudnick RL and Mcdonough WF. 2000. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICPMS: Application to U-Pb geochronology. Chemical Geology, 167:405 – 425

Hong DW, Wang SG, Xie XL *et al.* 2000. Genesis of positive $\varepsilon_{Nd}(t)$ granitoids in the Da Hinggar Mts. -Mongolia orogenic belt and growth continental crust. Earth Science Frontiers, 7(2): 441 – 456 (in Chinese with English abstract)

Kosler J, Fonneland H, Sylvester P *et al.* 2002. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies-a comparison of laser ablation LCPMS and SIMS techniques. Chemical Geology, 182:605 – 618

Li JY, Xiao XC, Tang YQ *et al.* 1990. Main characteristics of Late Paleozoic plate tectonics in the southern part of east Junggar, Xinjiang. Geological Review, 36(4): 305 – 316 (in Chinese with English abstract)

Li JY. 1995. Main characteristics and emplacement processes of the east Junggar ophiolites, Xinjiang, China. Acta Petrologica Sinica, 11 (suppl.): 73 – 84 (in Chinese with English abstract)

Li JY and Xian XC. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xinjiang crust, NW China. Scientia Geologica Sinica, 34(4): 405 – 419 (in Chinese with English abstract)

Li JY. 2004. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China. Geological Review, 50 (3): 304 – 322 (in Chinese with English abstract)

Lin JF, Yu HX, Yu XQ *et al.* 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geological implication of the Sabei alkali-rich granite from Eastern Junggar of Xinjiang, NW China. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1876 – 1884 (in Chinese with English abstract)

Liu JY and Yuan KR. 1995. Alkali Granites and Deposits of the East Junggar Area, Xinjiang. Changsha: South Central Industry University Press, 1 – 140

Liu JY, Yu HX and Wu GQ. 1997. Alkali granites and tin deposits of the Kalamali area, northern Xinjiang. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, 6(3): 129 – 135 (in Chinese with English abstract)

Liu XF and Tian HX. 1991. Genesis and evolution of the belted granitic batholith in the west area of east Junggar, Xinjiang. Journal of Chengdu College of Geology, 18(3): 27 – 37 (in Chinese with English abstract)

Ludwig KR. 1991. Isoplot-A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. US Geological Survey Open-File Report, 39: 91 – 445

Pearce JA. 1984. Trace element discriminiation diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25(4): 956 – 983

Pidgeon RT, Nemchin AA and Hitchen GJ. 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. Contributions to Mineralogy and Petrology, 132: 288 – 299

Su YP, Tang HF, Liu CQ *et al.* 2006. The determination and a preliminary study of Sujiqu aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang. Acta Petrologica et Mineralogica, 25(3): 175 – 184 (in Chinese with English abstract)

Sun GH, Li JY, Gao LM *et al.* 2005. Zircon SHRIMP U-Pb age of a dioritic pluton in the Harlik Mountain, Eastern Xinjiang, and its tectonic implication. Geological Review, 51(4): 463 – 469 (in Chinese with English abstract)

Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and process. In: Sauders AD and Norry MJ (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 42: 313 – 345

Tang HF, Qu WJ, Su YP *et al.* 2007a. Genetic connection of Sareshike tin deposit with the alkaline A-type granites of Sabei body in Xinjiang: Constraint from isotopic ages. Acta Petrologica Sinica, 23 (8): 1989 – 1997 (in Chinese with English abstract)

Tang HF, Su YP, Liu CQ *et al.* 2007b. Zircon U-Pb age of the plagiogranite in Kalamaili belt, northern Xinjiang and its tectonic implications. Geotectonica et Metallogenia, 31(1): 110 – 117 (in Chinese with English abstract)

Tang HS, Chen YJ, Liu YL *et al.* 2006. Isotope dating of the Beerkuduke tin deposit in the eastern Junggar area. Mineral. Petrol., 26(2): 71 – 73 (in Chinese with English abstract)

Tian HX, Liu XF and Xu DZ. 1990. Characteristics of tin-bearing granites in the west area of east Junggar and application of biotite in discrimination of ore-potentiality. Geoscience of Xinjiang, No. 2. Beijing: Geological Publishing House, 56 – 71 (in Chinese)

Xiao WJ, Han CM, Yuan C *et al.* 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of Northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paleoasian Domain. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1062 – 1076 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

毕承思, 沈湘元, 徐庆生等. 1993. 新疆贝勒库都克锡矿带含锡花岗岩地质特征. 岩石矿物学杂志, 12(3): 213 – 223

高俊, 龙灵利, 钱青等. 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, 王式洸等. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵生长. 地质论评, 44(4): 396 – 406

韩宝福, 何国琦, 王式洸. 1999. 后碰撞岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底的性质. 中国科学(D辑), 29(1): 16 – 21

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. 岩石学报, 22(5): 1077 – 1086

洪大卫, 王式洸, 谢锡林等. 2000. 兴蒙造山带正 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长. 地学前缘, 7(2): 441 – 456

李锦轶, 肖序常, 汤耀庆等. 1990. 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. 地质论评, 36(4): 305 – 316

李锦轶. 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史. 岩石学报, 11(增刊): 73 – 84

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. 2004. 新疆东准噶尔新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评, 50(3): 304 – 322

林锦富, 喻亨祥, 余心起等. 2007. 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. 岩石学报, 23(8): 1876 – 1884

刘家远, 袁奎荣. 1995. 新疆东准噶尔富碱花岗岩类及成矿作用. 长沙: 中南工业大学出版社, 1 – 140

刘家远, 喻亨祥, 吴郭泉. 1997. 新疆北部卡拉麦里富碱花岗岩带的碱性花岗岩与锡矿. 有色金属矿产与勘查, 6(3):129 – 135.

刘显凡,田慧新. 1991. 东准噶尔西部花岗岩带的岩石成因探讨. 成都地质学院学报, 18(3):27 – 37

苏玉平, 唐红峰, 刘丛强等. 2006. 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. 岩石矿物学杂志, 25(3): 175 – 184

孙桂华, 李锦轶, 高立明等. 2005. 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. 地质论评, 51(4): 463 – 469

唐红峰, 屈文俊, 苏玉平等. 2007a. 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. 岩石学报, 23(8): 1989 – 1997

唐红峰, 苏玉平, 刘丛强等. 2007b. 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. 大地构造与成矿学, 31(1): 110 – 117

汤好书, 陈衍景, 刘玉林等. 2006. 东准噶尔贝尔库都克锡矿成矿年龄测定. 矿物岩石, 26(2) : 71 – 73

田慧新, 刘显凡, 徐德章. 1990. 新疆东准噶尔(西域)含锡花岗岩特征及黑云母对含矿性的判别作用. 新疆地质科学, (2): 56 – 71

肖文交, 韩春明, 袁超等. 2006. 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. 岩石学报, 22(5): 1062 – 1076