

# 中天山晚奥陶世碰撞造山:来自变质花岗岩地球化学及年代学证据\*

王行军<sup>1</sup> 王根厚<sup>1\*\*</sup> 专少鹏<sup>2</sup> 李广栋<sup>2</sup> 王德强<sup>2</sup> 吴连亨<sup>2</sup>

WANG XingJun<sup>1</sup>, WANG GengHou<sup>1\*\*</sup>, ZHUAN ShaoPeng<sup>2</sup>, LI GuangDong<sup>2</sup>, WANG DeQiang<sup>2</sup> and WU LianHeng<sup>2</sup>

1. 中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083

2. 河北省区域地质矿产调查研究所,廊坊 065000

1. School of Geosciences and Resource, China University of Geology, Beijing 100083, China

2. Hebei Institute of Regional Geological and Mineral Resource Survey, Langfang 065000, China

2011-02-01 收稿, 2011-06-03 改回.

Wang XJ, Wang GH, Zhuang SP, Li GD, Wang DQ and Wu LH. 2011. Late Ordovician collision and orogen in middle Tianshan: Evidences of geochemical analyses and geochronology on metamorphosed granitoid rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7):2203–2212

**Abstract** A series of metamorphosed and deformed granitoid rocks occurred in Baoertu area, middle Tianshan of Northwest China. After comprehensive study of petrology, mineralogy and geochemistry, such granitoid rocks are identified as typical calc-alkaline granitoids with following characters: high levels of Hf and Th, lower content of Li, Nb and Ta, the medium REE total, medium negative abnormality of Eu, and V-type REE distribution pattern. All of them indicate that the rocks are Caledon-I type and syn-collision granitoids. Ages of zircon were determined by LA-ICP-MS. Geochronology of U-Pb shows three ages, including  $1207 \pm 87\text{Ma}$ ,  $455.6 \pm 1.8\text{Ma}$  and  $433 \pm 19\text{Ma}$ . The first age of  $1207 \pm 87\text{Ma}$  represents that of clastic zircon, reveals old basement of Proterozoic existed in Baoertu area. The second age of  $455.6 \pm 1.8\text{Ma}$  indicates Baoertu pluton was intruded in Late Ordovician, which represents an important collision events while northern Tianshan ocean subducted southward beneath the middle Tianshan landmass. In Early Silurian about  $433 \pm 19\text{Ma}$ , Baoertu pluton was re-built by the metamorphism which indicated a metamorphism had occurred in the area of middle Tianshan, Northwest China. Such results are significant to reveal the tectonic evolution in the area of middle Tianshan, Northwest China.

**Key words** Middle Tianshan; Collision and orogen; Metamorphosed granitoid rocks; Geochemistry; LA-ICP-MS

**摘要** 中天山包尔图一带发育一套变质变形的花岗岩,属钙碱性系列,其具有较高的 Hf 和 Th 含量,而 Li、Nb 和 Ta 的含量低;稀土总量中等,具中等铕负异常,稀土配分模式曲线为 V 型曲线;显示出加里东型 I 型花岗岩、同碰撞花岗岩的特征。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年获得了  $1207 \pm 87\text{Ma}$ 、 $455.6 \pm 1.8\text{Ma}$  和  $433 \pm 19\text{Ma}$  3 组年龄,其中  $1207 \pm 87\text{Ma}$  代表了碎屑锆石的年龄,说明包尔图一带存在元古宙古老基底; $455.6 \pm 1.8\text{Ma}$  代表了包尔图岩体的侵位年龄,代表了北天山洋与中天山陆块早古生代一次重要碰撞造山事件; $433 \pm 19\text{Ma}$  则代表了包尔图岩体侵入岩的后期变质改造年龄,说明早志留世中天山发生过一次变质作用。这次研究的成果对揭示中天山地区的构造演化有着重要的意义。

**关键词** 中天山;碰撞造山;变质花岗岩;地球化学;LA-ICP-MS

中图法分类号 P588.121; P597.3

横亘于新疆维吾尔自治区中部的天山山脉是中亚地区最重要的造山带之一。木札尔特-红柳河板块缝合带沿天山呈近东西向弧形展布,是哈萨克斯坦-准噶尔板块和塔里

木-中朝板块之间的巨型缝合带,其西起木札尔特,经昭苏、那拉提、巴仑台、库米什、星星峡,东至红柳河,东西长约 2000km,宽数十千米,范围与“中天山”、“中天山变质带”相

\* 本文受地质矿产调查项目(QD200506)资助。

第一作者简介:王行军,男,1970年生,博士研究生,矿产勘查专业,E-mail:wxj1861@163.com

\*\* 通讯作者:王根厚,男,1963年生,教授,博士生导师,主要从事构造地质学的教学、科研工作,E-mail:wgh@cugb.edu.cn

当(何国琦等,2003)。中天山侵入岩发育,侵入岩的出露面积占基岩出露面积的50%以上,特别是中天山中段的巴仑台-库米什一带侵入岩更为发育,侵入岩占70%以上(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993)。沿中天山北缘断裂自东向西有干沟蛇绿岩、米什沟蛇绿岩、乌斯特沟蛇绿岩、巴音沟蛇绿岩,沿中天山南缘断裂自东向西有长阿吾子蛇绿岩、榆树沟蛇绿岩、古洛沟蛇绿岩、库米什蛇绿岩、红柳河蛇绿岩(龙灵利等,2006;张旗和周国庆,2001),说明南、北天山地质历史时期曾经存在过大洋,同时说明发生过板块俯冲碰撞事件。花岗岩是大陆增生和板块俯冲碰撞的重要产物,其蕴含着地质过程的重要地质信息,因此花岗岩是研究地球动力学的重要物质。

在和硕县东北的包尔图一带发育一套浅变质弱变形的中酸性侵入岩,其位于中天山中段巴仑台、库米什中间,前人对其侵入的时代及形成环境和构造意义未做深入的研究。新疆第二区调队(1975<sup>①</sup>)将其确定为华里西早期的产物,将包尔图岩体与属于北天山博罗克努深成岩浆弧的侵入岩归并同一岩体。新疆维吾尔自治区地质矿产局(1993)将包尔图岩体划归为天山岩浆区巴仑台带,属异地侵入型花岗闪长岩序列,形成时代为晚石炭世,属陆壳改造型花岗岩。张良臣等(2006)认为包尔图岩体是晚古生代南天山洋向中天山地块之下俯冲而形成的产物,属于I型花岗岩,形成时代为泥盆纪。作者在进行新疆和硕县包尔图一带1:5万区域地质矿产调查过程中,对包尔图岩体进行详细的解体,系统采集了各类样品,岩石学、岩石化学、地球化学特征说明其为加里东I型(同熔型)花岗岩,形成于同碰撞造山环境,LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果显示其形成时代为晚奥陶世。

## 1 地质概况

研究区位于新疆维吾尔自治区中部,和硕县东北部的包尔图一带,横跨哈萨克斯坦-准噶尔板块和塔里木-中朝板块2大板块,包尔图-库米什大断裂和博罗克努-阿其库克深断裂呈近东西向横穿研究区,2条深大断裂之间发育木札尔特-红柳河板块缝合带,本区是研究天山构造演化的关键地段(图1)。

研究区北部出露有早志留世尼勒克河组深海相复理石建造、早石炭世阿克沙克组海陆交互相碎屑岩-碳酸盐岩以及中奥陶世幔源序列——变质辉石岩、晚泥盆世混源序列侵入岩——细粒石英闪长岩、中细粒石英二长闪长岩、细粒花岗闪长岩、中粒黑云母二长花岗岩、细粒正长花岗岩,阿克沙克组角度不整合于中粒黑云母二长花岗岩和细粒正长花岗岩之上,尼勒克河组和变质辉石岩被晚泥盆世侵入岩侵入;中部发育有长城纪星星峡群中深变质岩系和晚奥陶世混源序列侵入岩——变质中细粒石英二长闪长岩、变质中粒斑状二长花岗岩、变质细粒正长花岗岩,星星峡群变质岩系呈残留体产出于晚奥陶世变质侵入岩之中;南部出露有中泥盆世

阿拉塔格组浅海相-半深海相碳酸盐岩-碎屑岩、早侏罗世哈满沟组陆相含煤碎屑岩系和渐新世-中新世克孜勒依组陆相含膏盐红色岩系以及晚石炭世混源序列侵入岩——粗中粒大斑黑云母二长花岗岩、粗中粒斑状黑云母二长花岗岩、粗中粒斑状正长花岗岩和中粒含斑正长花岗岩,哈满沟组和克孜勒依组角度不整合于晚石炭世侵入岩之上,晚石炭世侵入岩侵入于阿拉塔格组之中(图1)。

## 2 岩相学特征

作者在进行1:5万区域地质矿产调查时,对包尔图岩体进行了详细的解体,对其岩石学、岩石化学、地球化学特征进行了详细的研究,依据岩性的不同和接触关系将包尔图岩体划分为变质中细粒石英二长闪长岩、变质中粒斑状二长花岗岩、变质中细粒正长花岗岩三个岩类的侵入体,各岩类侵入体之间为脉动型侵入关系。星星峡群呈残留体产于包尔图岩体之中,与早志留世尼勒克河组、中泥盆世阿拉塔格组和泥盆纪、石炭纪侵入岩呈断层接触。

变质中细粒石英二长闪长岩,浅灰色,变余中细粒半自形粒状结构,似片麻状构造。主要矿物有斜长石(60%~65%)、钾长石(5%~10%)、石英(15%)、黑云母(15%~20%)。斜长石( $An_{30}$ )为更长石,半自形板状,定向分布,0.5~4mm,常见聚片双晶、卡钠复合双晶,粒内具膝折、波状消光、双晶弯曲等变形,可见少量显微裂隙,具高岭土化、绢云母化。钾长石为正长石,他形粒状,0.2~1.5mm,常交代斜长石构成交代蠕英结构,具高岭土化。石英,他形粒状,0.3~3.5mm,具波状消光、带状消光,部分集合体呈透镜状定向分布。黑云母,片状,0.2~1mm,棕褐色-浅褐黄色,常见解理弯曲,集合体呈似片麻状、似条痕状定向分布,局部呈团块状,绿泥石化强烈。副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石、榍石。

变质中粒斑状二长花岗岩,肉红色,变余中粒斑状结构、弱糜棱结构,似片麻状构造、似糜棱纹理构造。斑晶由钾长石(5%)、斜长石(5%)构成。斜长石( $An_{26}$ )为更长石,半自形板状,定向分布,5~8mm,常见聚片双晶,常见波状消光、双晶弯曲等塑性变形现象,具强烈的绢云母化。钾长石为微斜条纹长石,半自形板状,5~15mm,可见格子双晶、钠质条纹,钠质条纹呈不均匀状定向分布,在变形强烈处较为发育;常见波状消光;粒内可见半自形斜长石小包体,小包体呈似环带状分布。基质主要由斜长石(40%~45%)、钾长石(20%~25%)、石英(20%)、黑云母(1%~5%)构成,粒度2~5mm,长英质矿物定向明显;石英塑性变形明显,具强烈的波状消光、带状消光,集合体呈条纹状、条痕状,局部呈透镜状;黑云母,叶片状,0.5~1mm,多色性明显,定向排列,集合体多呈条纹状,绿泥石化强烈。

① 新疆第二区域地质调查大队. 1975. 1:20万包尔图幅区域地质报告

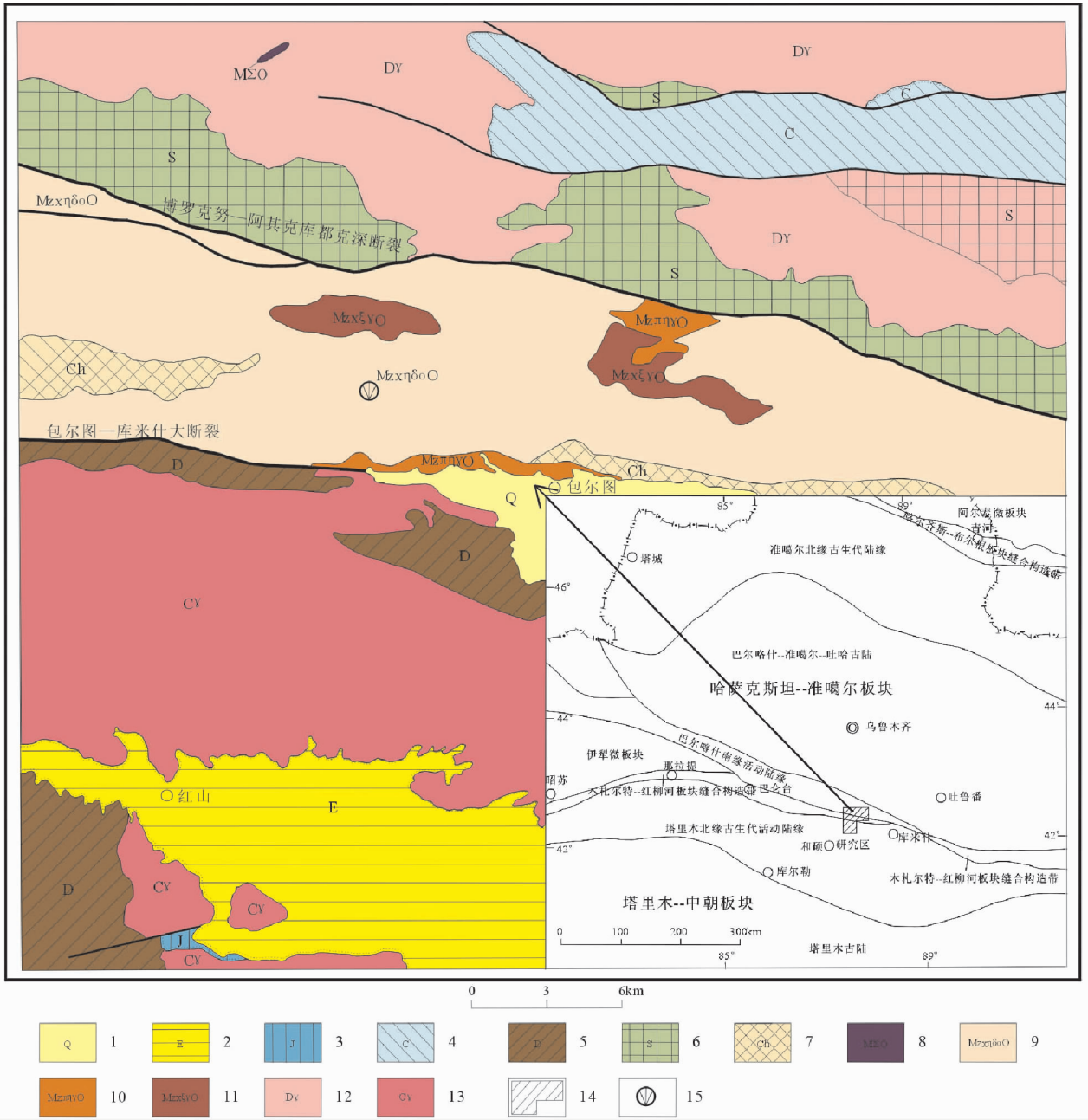


图1 包尔图一带地质简图

1-第四系;2-古近系;3-侏罗系;4-石炭系;5-泥盆系;6-志留系;7-长城系;8-奥陶纪变质辉石岩;9-晚奥陶世变质中细粒石英二长闪长岩;10-晚奥陶世变质中粒斑状二长花岗岩;11-晚奥陶世变质中细粒正长花岗岩;12-泥盆纪花岗岩;13-石炭纪花岗岩;14-研究区;15-同位素年龄样取

Fig.1 Geological sketch of Baoertu area, Heshuo County, Xinjiang

变质中细粒正长花岗岩,肉红色,变余中细粒花岗结构,似片麻状构造。主要矿物成分为钾长石(55%~60%)、斜长石(20%)、石英(20%)、黑云母(2%~5%)。斜长石为更长石( $An=26$ ),半自形板状,0.5~2mm,常见聚片双晶、卡钠复合双晶,可见环带结构,局部与钾长石形成蠕虫结构,具绢云母化。钾长石为微斜条纹长石,半自形板状-他形粒状,0.5~3mm,格子双晶、钠质条纹发育,局部与石英形成文象共生

结构,长石定向排列明显。石英,他形粒状,0.5~2mm,常见波状消光,少见带状消光。黑云母,叶片状,具棕色-浅黄色多色性,0.1~0.5mm,定向分布,集体呈条纹状,可见解理弯曲。副矿物有磁铁矿、褐帘石。

包尔图岩体侵入岩的岩石特征显示出加里东型I型花岗岩(Pitcher,1982,1997)、同熔型花岗岩(徐克勤等,1986;刘昌实和朱金初,1989)、MC型花岗岩(伍光英等,2008a)。

### 3 分析方法

#### 3.1 地球化学

分析测试由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室测试完成。主量元素采用碱熔法将样品制备,使用 X 射线荧光光谱仪(XRF-1500)完成分析测试,分析精度高于 5%。微量元素和稀土元素的分析采用酸溶法将样品制备好后,使用等离子体质谱仪(ICP-MS)Element II 测试完成,分析精度总体优于 10%,测试方法详见高剑峰等(2003)。

#### 3.2 年代学

样品由河北省区域地质矿产调查研究所实验室粉碎并挑选锆石。在双目镜下,根据锆石颜色、自形程度、形态等特征初步分类,挑选出具有代表性的锆石,将锆石与标样一起放入环氧树脂制成的样品靶中,并对其进行抛光,直到样品露出一个光洁的平面,然后在阴极发光上进行锆石显微照相(宋彪等,2002)。同位素测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光照片进行初选,再与 CL 图像反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体,以获得较准确的年龄信息。样品测定之前用体积百分比为 3% 的  $\text{HNO}_3$  清洗样品表面,以除去样品表面的污染。

锆石 LA-ICP-MS 原位 U-Pb 定年由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。激光剥蚀时,斑束直径为  $30\mu\text{m}$ ,频率为 10Hz。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(peak jumping)。每个分析点的气体背景采集时间为 30s,信号采集时间为 40s。每测定 10 个样品点测定 2 个一极标样(Temora standard of Black *et al.*, 2003)和 1 个二级标样(91500 standard of Wiendenbeck *et al.*, 1995),对仪器进行校正。数据处理采用 GLITTER(ver 4.0, Macyuarie University)程序,年龄计算及谐合图的绘制采用 Isoplot(ver 2.49)(Ludwig, 1991)。年龄计算时以标准锆石 91500 为外标进行同位素比值分馏校正,以扣除普通铅的影响(Andersen, 2002)。所给定同位素的比值和年龄误差(标准偏差)在  $1\sigma$  水平。Black and Gulson(1978)、Jackson *et al.*(2004)、Black *et al.*(2004)的研究表明,在测定已知年龄的低 U 锆石年龄时,离子探针和 LA-ICP-MS 分析法所得结果会偏老 3% 左右,所获得的年龄结果都可以与 SHRIMP 法结果媲美。

### 4 测试结果

#### 4.1 年代学

样品 P5TW1 采自变质中细粒石英二长闪长岩侵入体,其

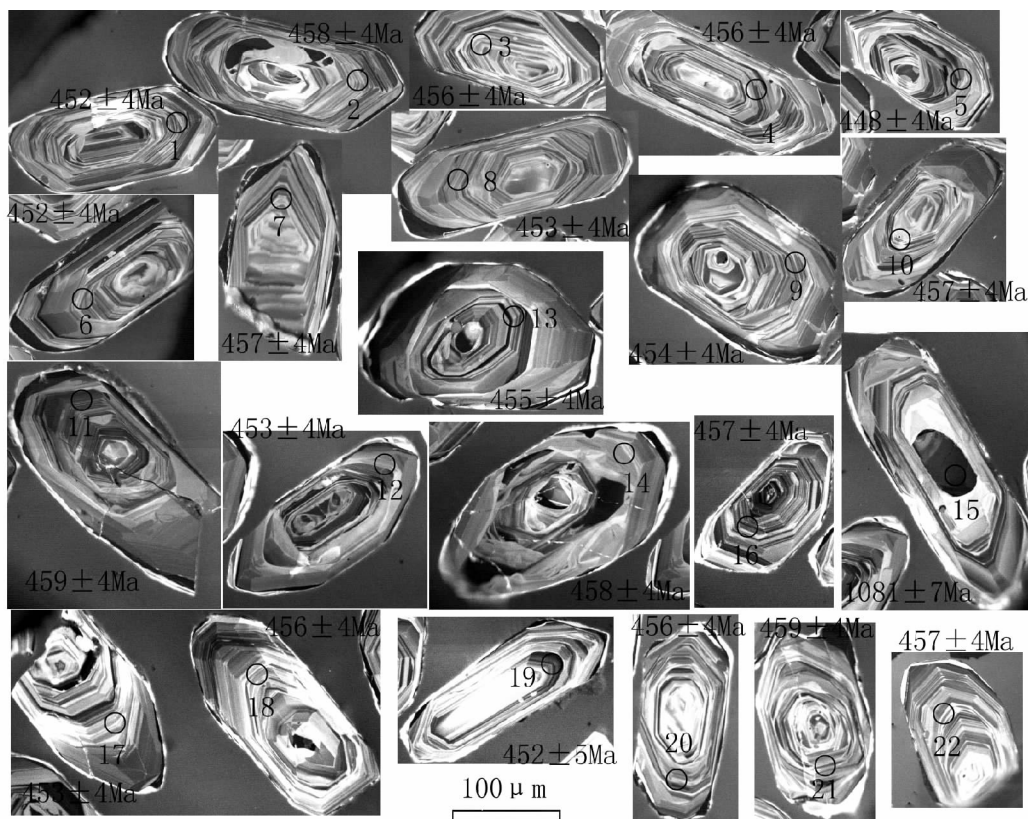


图 2 P5TW1 锆石阴极发光图像

Fig. 2 Zircon CL images of sample P5TW1

表 1 P5TW1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄结果  
Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb analyzing data of sample P5TW1

点号	元素含量 ( $\times 10^{-6}$ ) 及比值				同位素比值				年龄 (Ma)					
	Th <sub>232</sub>	U <sub>238</sub>	Th/U	总 Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	$1\sigma$	$1\sigma$	
P5-1	163.11	331.18	0.49	110.43	0.05437	0.00128	0.0128	0.54438	0.07258	0.00062	0.02187	0.00032	34	441
P5-2	127.03	238.78	0.53	81.70	0.05812	0.00137	0.01296	0.59048	0.07364	0.00064	0.02332	0.00033	33	471
P5-3	179.16	351.42	0.51	118.93	0.05648	0.00125	0.01168	0.57075	0.07325	0.00061	0.02263	0.0003	30	458
P5-4	137.41	232.55	0.59	79.09	0.05435	0.00136	0.01295	0.54953	0.07233	0.00064	0.02232	0.00031	37	445
P5-5	211.63	301.96	0.70	104.04	0.05819	0.00199	0.01902	0.57766	0.072	0.00065	0.02232	0.00016	77	463
P5-6	188.23	337.56	0.56	113.93	0.05724	0.00132	0.01234	0.57372	0.07265	0.00062	0.02216	0.0003	32	460
P5-7	122.49	236.6	0.52	80.61	0.05679	0.00136	0.01287	0.5759	0.07351	0.00064	0.02351	0.00034	34	462
P5-8	99.9	215.9	0.46	72.67	0.05892	0.00168	0.01598	0.59133	0.07274	0.0007	0.02443	0.00044	42	472
P5-9	155.91	319.84	0.49	107.73	0.05636	0.0013	0.01218	0.56744	0.07297	0.00062	0.02326	0.00033	32	456
P5-10	119.09	269.51	0.44	90.80	0.05529	0.00146	0.01389	0.56036	0.07346	0.00066	0.0235	0.0004	39	452
P5-11	117.11	250.6	0.47	85.20	0.05504	0.00136	0.01295	0.5604	0.07381	0.00065	0.02423	0.00037	414	452
P5-12	161.87	244.49	0.66	83.64	0.05755	0.00153	0.01446	0.57751	0.07274	0.00067	0.0222	0.00033	39	463
P5-13	138.85	229.2	0.61	78.45	0.05531	0.00152	0.01453	0.55802	0.07314	0.00068	0.02351	0.00036	425	41
P5-14	176.56	348.19	0.51	117.89	0.05363	0.00128	0.01217	0.54418	0.07355	0.00063	0.02256	0.00032	35	441
P5-15	97.81	365.6	0.27	310.31	0.07852	0.00129	0.0289	1.97687	0.18261	0.00137	0.03471	0.00039	33	1108
P5-16	204.47	427.93	0.48	144.85	0.05521	0.00115	0.01076	0.55916	0.07342	0.0006	0.02391	0.0003	421	451
P5-17	187.78	474.72	0.40	157.27	0.05668	0.00122	0.01125	0.56863	0.07219	0.0006	0.02219	0.00032	29	457
P5-18	104.32	179.19	0.58	62.00	0.05916	0.0017	0.01623	0.59874	0.07336	0.00071	0.02591	0.00042	42	476
P5-19	48.77	107.22	0.45	36.18	0.0596	0.00225	0.02166	0.59778	0.0727	0.00084	0.02587	0.00062	58	476
P5-20	153.03	299.4	0.51	102.06	0.05611	0.00161	0.01539	0.56729	0.07329	0.0007	0.02526	0.00042	43	456
P5-21	134.88	298.05	0.45	101.26	0.05498	0.00119	0.01117	0.55962	0.07379	0.00061	0.02488	0.00033	41	451
P5-22	262.67	454.51	0.58	156.87	0.05849	0.00117	0.01087	0.59339	0.07354	0.00059	0.02474	0.00028	26	473
													7	457
													4	457
													4	478
													4	444
													4	517
													5	516
													4	504
													4	497
													7	457
													4	494

中的锆石呈粉黄色,透明,晶体大小主要 0.05 ~ 0.15mm, 0.15 ~ 0.3mm 较少,长短向之比为 1.5 : 1 ~ 3.5 : 1,多为 [110] + [111],少量为 [100] + [311] 和 [100] + [131] 聚形。

经正常铅校正,样品 P5TW1 获得有效数据 22 件(表 1)。前人(Vavra *et al.*, 1996, 1999; Ubatto, 2002; 吴元保和郑水飞, 2004; 吴昌志等, 2006) 的研究表明,变质型锆石的 Th/U 值一般小于 0.1,而岩浆型锆石 Th/U 值则一般大于 0.4。由表 1 可知,P5TW1 锆石的 Th/U 值为 0.27 ~ 0.70,仅有 1 个小于 0.4,其余 21 件均大于 0.4,反映其为岩浆型锆石。

由 P5TW1 锆石阴极发光图像可以看出,锆石呈多自形-半自形的柱状,晶形较为完整,震荡式生长环带明显,同样显示出岩浆型锆石的特征;部分锆石出浑圆状的内核,显出碎屑锆石的特征(图 2)。

在锆石 LA-ICP-MS 定年中,年轻的或 U-Pb 含量低的样品,其<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 和<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 比值精度较差(袁洪林等, 2003; 龙灵利等, 2007),本文采用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均值。P5TW1 共分析测试了 22 粒锆石,在谐合图上测试结果表现出较高的谐和度,上交点年龄为 1207 ± 87Ma,下交点年龄为 433 ± 19Ma,MSWD = 6.2(图 3);上交点年龄代表了碎屑锆石的形成年龄,下交点年龄代表了变质年龄。所测 22 粒锆石中 15 号样点打在碎屑核上,测试结果偏老,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄值为 1081Ma;其余 21 粒锆石<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄值较为集中,为 448 ~ 459Ma(表 1),加权平均值为 455.6 ± 1.8Ma,MSWD = 0.42,可信度 95%,均落于<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U-<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 等时线图(图 4);455.6 ± 1.8Ma 代表了包尔图岩体变质中细粒石英二长闪长岩的生成年龄,说明包尔图岩体形成于晚奥陶世中期。

### 4.2 地球化学

作者在地质矿产调查过程之中,对包尔图岩体各岩类侵

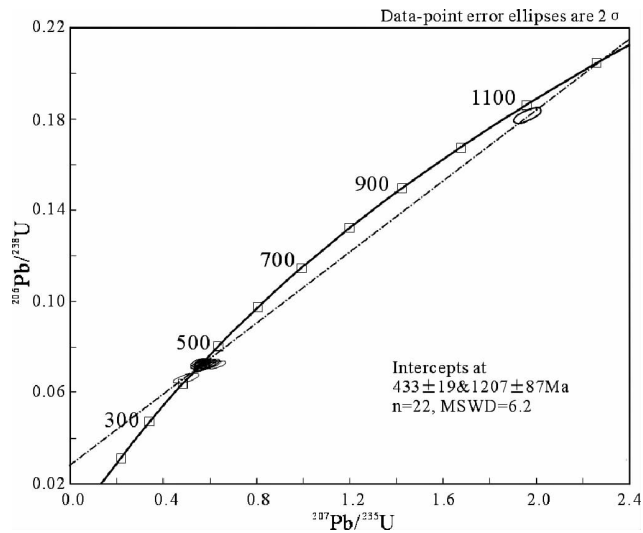


图 3 P5TW1 锆石 LA-ICP-MS 谐合图

Fig. 3 Concordia diagram of zircons of P5TW1

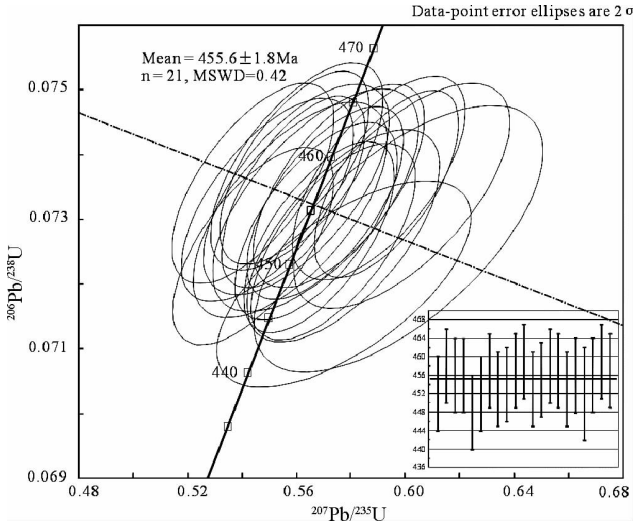


图4 P5TW1 锆石 LA-ICP-MS 谐合图的放大图

Fig. 4 Magnification of concordia diagram of zircons of P5TW1

人体系统采集了各类地球化学样品,共采集了5件地球化学样品,由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室进行主量元素、微量元素、稀土元素的测定(表2)。

#### 4.2.1 主量元素

变质中细粒石英二长闪长岩的  $\text{SiO}_2$  为 56.38% ~ 58.96%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 16.04% ~ 16.21%,  $\text{CaO}$  为 5.70% ~ 6.31%,  $\text{Na}_2\text{O}$  为 2.09% ~ 2.20%,  $\text{K}_2\text{O}$  为 2.56% ~ 3.00%。标准矿物中  $\text{Di}$  为 0.14% ~ 4.02%; 铝饱和度指数  $A/\text{CNK}$  为 0.88 ~ 0.97, 属次铝花岗岩类; 碱指数  $\text{KN}/A$  为 0.39 ~ 0.42, 属钙碱性花岗岩类; 组合指数  $\sigma = 1.35 \sim 2.02$ , 属钙性-钙碱性系列;  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值为 1.22 ~ 1.36, 分子比值为 0.81 ~ 0.90;  $\text{FeO}^T/\text{MgO}$  ( $\text{FeO} + 0.9 * \text{Fe}_2\text{O}_3$ )/ $\text{MgO}$  重量百分比) 值为 1.92 ~ 1.95。

变质中粒斑状二长花岗岩的  $\text{SiO}_2$  为 68.90%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 15.41%,  $\text{CaO}$  为 1.30%,  $\text{Na}_2\text{O}$  为 3.34%,  $\text{K}_2\text{O}$  为 5.58%。标准矿物中  $\text{C}$  为 1.99%; 铝饱和度指数  $A/\text{CNK}$  为 1.11, 属过铝花岗岩类; 碱指数  $\text{KN}/A$  为 0.75, 属钙碱性花岗岩类; 组合指数  $\sigma = 3.07$ , 属碱钙性系列;  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值为 1.67, 分子比值为 1.10;  $\text{FeO}^T/\text{MgO}$  值为 2.13。

变质中细粒正长花岗岩的  $\text{SiO}_2$  为 72.12% ~ 72.86%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 13.42% ~ 13.57%,  $\text{CaO}$  为 1.64% ~ 1.92%,  $\text{Na}_2\text{O}$  为 2.70% ~ 2.85%,  $\text{K}_2\text{O}$  为 5.38% ~ 5.45%。标准矿物中  $\text{Di}(\text{C})$  为 0.29% ~ 0.40%; 铝饱和度指数  $A/\text{CNK}$  为 0.97 ~ 1.01, 属次铝-过铝花岗岩类; 碱指数  $\text{KN}/A$  为 0.77, 属钙碱性花岗岩类; 组合指数  $\sigma = 2.22 \sim 2.33$ , 属钙碱性系列;  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值为 1.89 ~ 2.02, 分子比值为 1.24 ~ 1.33;  $\text{FeO}^T/\text{MgO}$  值为 2.86 ~ 3.11。

在  $(\text{Al}-\text{Na}-\text{K})-\text{Ca}-(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  三角图解中(图5), 变质中粒斑状二长花岗岩样品点(3号)岩落入了斜长石-角闪石-

表2 新疆和硕县包尔图一带变质花岗岩常量元素(wt%)、微量元素及稀土元素( $\times 10^{-6}$ )分析结果

Table 2 Major element (wt%), trace element and rare earth element ( $\times 10^{-6}$ ) content of metamorphosed granitoid rocks in Baoertu area, Heshuo county, Xinjiang

序号/样品号	1/P6YQ3	2/P5YQ2	3/P6YQ1	4/P6YQ2	5/P5YQ1
样品名称	变质中细粒石英二长闪长岩	变质中细粒石英二长闪长岩	变质中粒斑状二长花岗岩	变质细粒正长花岗岩	变质细粒正长花岗岩
$\text{SiO}_2$	58.96	56.38	68.90	72.12	72.86
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16.04	16.21	15.41	13.57	13.42
$\text{TiO}_2$	0.88	0.86	0.30	0.26	0.26
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.71	3.65	0.54	0.52	0.36
$\text{FeO}$	4.48	4.65	1.58	1.22	1.20
$\text{CaO}$	5.70	6.31	1.30	1.92	1.64
$\text{MgO}$	3.55	4.14	0.97	0.59	0.49
$\text{K}_2\text{O}$	2.56	3.00	5.58	5.38	5.45
$\text{Na}_2\text{O}$	2.09	2.20	3.34	2.85	2.70
$\text{MnO}$	0.11	0.15	0.04	0.03	0.03
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.22	0.15	0.22	0.14	0.14
$\text{H}_2\text{O}^+$	1.36	0.93	0.99	0.44	0.52
$\text{H}_2\text{O}^-$	0.05	0.02	0.08	0.02	0.02
Los	2.05	1.67	1.35	1.18	0.86
Total	99.35	99.36	99.53	99.78	99.41
La	30.9	36.9	27.4	75.4	66.0
Ce	69.5	74.6	57.2	139.1	125.1
Pr	8.7	8.9	6.4	15.1	13.7
Nd	34.0	34.5	22.8	48.9	46.5
Sm	7.05	6.92	4.59	7.21	7.72
Eu	1.67	1.53	1.03	1.00	1.03
Gd	5.97	6.17	4.24	5.73	5.82
Tb	0.99	1.04	0.79	0.75	0.79
Dy	5.55	6.12	4.60	3.64	3.76
Ho	1.02	1.19	0.86	0.65	0.66
Er	2.89	3.43	2.57	1.97	1.92
Tm	0.45	0.55	0.42	0.31	0.28
Yb	2.91	3.51	2.60	2.04	1.78
Lu	0.46	0.53	0.41	0.33	0.29
Y	29.0	33.5	26.4	18.8	17.7
Cs	2.87	3.14	3.14	3.51	1.57
Hf	8.18	6.88	5.07	4.63	6.61
Li	21.6	22.96	12.30	11.02	7.20
Nb	15.47	13.73	17.78	9.91	13.17
Ta	1.34	1.14	1.40	0.81	0.83
Th	19.86	14.27	16.09	28.30	25.67
U	3.63	2.27	2.91	2.65	2.16
Zr	186	180	192	190	225
Ba	683	335	1161	1258	981
Rb	117	190	209	194	133
Sr	332	338	151	219	179
V	130.2	142.1	27.4	23.3	24.0
Ti	4955	4885	1928	1674	1610
P	932	871	825	473	375
F	903	1023	409	293	185

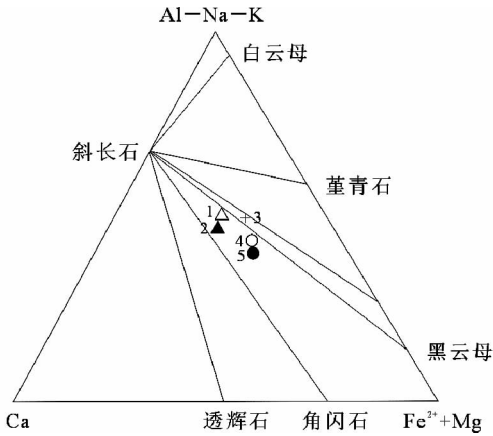


图5 Al-Na-K-Ca-Fe<sup>2+</sup> + Mg 图解(据徐克勤等,1986)  
Al-Na-K、Ca、Fe<sup>2+</sup> + Mg 均为原子数;序号(包括后图)同表2  
Fig.5 Al-Na-K-Ca-Fe<sup>2+</sup> + Mg diagram for granitoid rocks of Baoertu pluton (after Xu *et al.*, 1986)

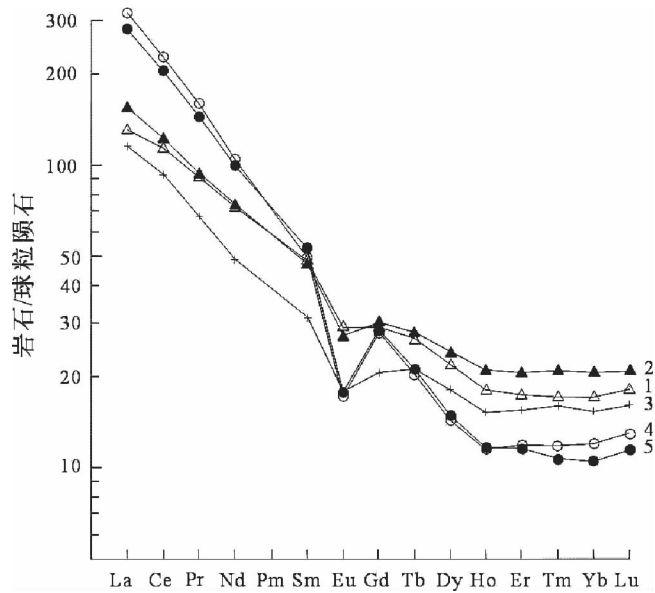


图7 包尔图岩体侵入岩稀土元素配分模式曲线图(球粒陨石值据 Sun and McDonough, 1989)  
Fig.7 REE distribution pattern for normalized intrusive rocks of Baoertu pluton (the chondrite REE values after Sun and McDonough, 1989)

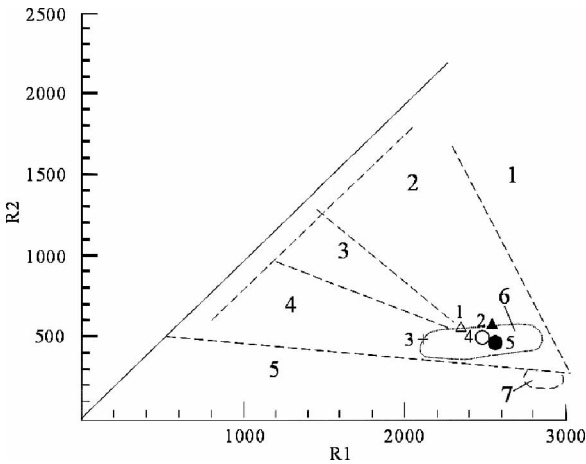


图6 R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> 图解(据 Batchelor and Bowden, 1985)  
R<sub>1</sub> = 4Si + 11(Na + K) - 2(Fe + Ti), R<sub>2</sub> = 6Ca + 2Mg + Al (均为原子数)  
Fig.6 R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> diagram for granitoid rocks of Baoertu pluton (after Batchelor and Bowden, 1985)

黑云母区与斜长石-堇青石-黑云母区交汇位置,其余侵入体样品点落入斜长石-角闪石-黑云母区,说明包尔图岩体来源较深,具有壳幔混合源的特征,具同熔型花岗岩的特征(徐克勤等,1986)。

在 R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> 图解之中(图6),所有样品点均落入同碰撞花岗岩区(4区),其中变质中细粒石英二长闪长岩的样品点(1、2号)投影于碰撞前(2区)与同碰撞(6区)的交汇位置,变质中粒斑状二长花岗岩样品(3号)投在造山晚期(4区)与同碰撞期(6区)交汇位置,显示出包尔图岩体形成于同碰撞环境(Batchelor and Bowden, 1985)。

包尔图岩体侵入岩的岩石化学特征和投图结果表明,其形成于同碰撞环境,属于加里东型 I 型花岗岩(Pitcher, 1982、

1997)、同熔型花岗岩(徐克勤等,1986;刘昌实和朱金初,1989)、MC 型花岗岩(伍光英等,2008b)。

#### 4.2.2 稀土元素、微量元素

变质中细粒石英二长闪长岩  $\Sigma \text{REE} = 201.1 \times 10^{-6} \sim 219.1 \times 10^{-6}$ ;  $\text{LREE}/\text{HREE} = 7.24 \sim 7.50$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 7.48 \sim 7.62$ ,说明轻重稀土分馏程度中等;  $(\text{La}/\text{Sm})_N = 2.83 \sim 3.42$ ,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1.45 \sim 1.70$ ,说明轻、重稀土均富集不明显;  $\delta\text{Eu} = 0.72 \sim 0.77$ ,具弱铕负异常。稀土配分模式曲线为向右倾斜斜率中等的弱“V”型曲线(图7)。与维氏地壳丰度相比, Li、Nb、Ta、Zr、Ba、Rb 含量较低, Hf、Th、V、F 含量偏高。

变质中粒斑状二长花岗岩  $\Sigma \text{REE} = 162.3 \times 10^{-6}$ ;  $\text{LREE}/\text{HREE} = 7.24$ ,  $(\text{La}/\text{Y})_N = 7.56$ ,说明轻重稀土分馏程度中等;  $(\text{La}/\text{Sm})_N = 3.85$ ,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1.35$ ,说明轻、重稀土均富集不明显;  $\delta\text{Eu} = 0.70$ ,具中等程度的铕负异常。稀土配分模式曲线为向右倾斜斜率中等的弱“V”型曲线(图7)。与维氏地壳丰度相比, Li、Nb、Ta、V、Sr、F、Ti、P 含量较低, Hf、Th、Zr、Ba、Rb 含量偏高。

变质中细粒正长花岗岩  $\Sigma \text{REE} = 293.1 \times 10^{-6} \sim 320.9 \times 10^{-6}$ ;  $\text{LREE}/\text{HREE} = 17.00 \sim 18.59$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 26.51 \sim 26.60$ ,说明轻重稀土分馏程度高;  $(\text{La}/\text{Sm})_N = 5.52 \sim 6.75$ ,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 2.32 \sim 2.70$ ,说明轻、重稀土分馏程度高,轻稀土富集明显,重稀土亏损明显;  $\delta\text{Eu} = 0.45 \sim 0.46$ ,具中等铕负异常。稀土配分模式曲线为右陡倾的“V”型曲线(图7)。与维氏地壳丰度相比, Cs、Li、Nb、Ta、V、Sr、F、Ti、P 含量较低, Hf、Th、Zr、Ba 含量偏高。

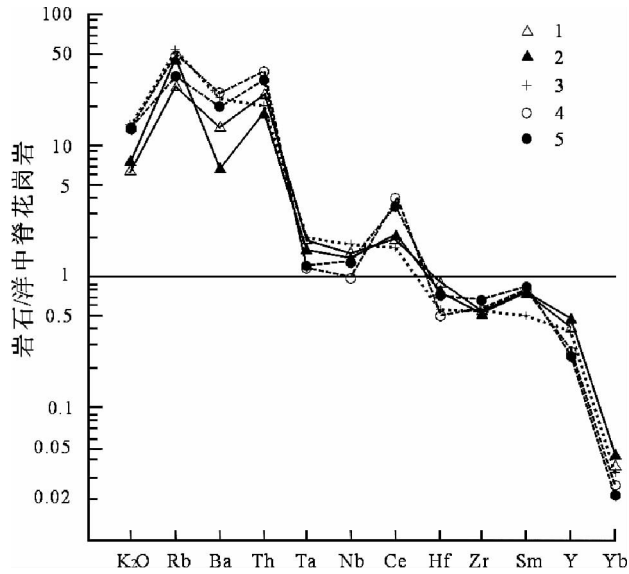


图8 包尔图岩体侵入岩微量元素对洋中脊花岗岩标准化曲线(据 Pearce *et al.*, 1984)

Fig. 8 ORG normalized trace element pattern of intrusive rocks of Baoertu pluton (after Pearce *et al.*, 1984)

在微量元素洋中脊花岗岩标准化蛛网图中(图8),包尔图岩体侵入岩表现出富集 K、Rb、Th、Ce, 而 Ba、Ta、Nb、Zr 不同程度的贫化,在 Pearce *et al.* (1984) 判别图解上与同碰撞花岗岩一致(图略);Ta 和 Nb 的贫化是板块汇聚边缘岩浆固有特征(姜常义等,1999)。

稀土元素、微量元素特征及典型图解投图结果表明,包尔图岩体侵入岩形成于同碰撞环境,属于加里东型 I 型花岗岩(Pitcher, 1982, 1997)、同熔型花岗岩(徐克勤等,1986;刘昌实和朱金初,1989)、MC 型花岗岩(伍光英等,2008c)。在包尔图岩体变质表现壳幔混合的特征,壳源岩浆贡献较多。

## 5 讨论

中天山地区变质变形花岗岩的形成时代以及形成环境一直存在分歧。刘树文等(2004)认为中天山内部分变形花岗岩形成于前寒武纪,李秋根等(2009)、石玉若等(2006)、杨天南等(2006)认为中天山内部分变形花岗岩形成于早奥陶世、早志留世、早泥盆世。韩宝福等(2004)认为,中天山变质变形花岗岩与南天山洋的扩张有关;Allen *et al.* (1992)、Zhou *et al.* (2001)、杨天南等(2006)认为,中天山变形花岗岩主要属于钙碱性火山弧花岗岩。作者在对包尔图岩体的研究基础之上,确定其形成于同碰撞环境,是板块碰撞的产物。

包尔图岩体变质中细粒石英二长闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果为  $1207 \pm 87\text{Ma}$ 、 $455.6 \pm 1.8\text{Ma}$ 、 $433 \pm 19\text{Ma}$ , 三组年龄分别代表继碎屑的年龄、侵入岩的生成年龄、变质年龄。 $1207 \pm 87\text{Ma}$  这个年龄值说明侵入岩在形成过程中捕获了周边的老地层,这可以被岩体之中存在着星星

峡群变质岩的残留体所证实,同时亦说明在中天山中段的包尔图一带存在变质基底。 $455.6 \pm 1.8\text{Ma}$  这一组数值,与车自成等(1995)所划分的中天山地区第一期造山作用( $452 \sim 439$ )较为接近,在晚奥陶世发生过一次板块碰撞作用,可能代表着北天山洋与中天山陆块的一次重要的碰撞事件。 $433 \pm 19\text{Ma}$  则代表了侵入岩遭受后期变质作用的时限,这一年龄值与舒良树等(2000)在库米什一带年获得麻粒岩的退变质年龄( $432.0 \pm 0.72\text{Ma}$ 、 $434.67 \pm 2.45\text{Ma}$ )较为接近,说明在早志留世在中天山地区发生过一次变质作用,包尔图岩体侵入岩在这次变质作用遭受了改造,并记录了这次地质事件。

## 6 结论

(1) 包尔图岩体为一套浅变质弱变形的中酸性侵入岩,属于钙碱性花岗岩;稀土总量中等,具中等铕负异常,稀土配分模式曲线为 V 型曲线,具有加里东 I 型花岗岩的特征;高 Hf、Th 和低 Li、Nb 和 Ta 的特征,说明其形成于同碰撞环境。包尔图岩体是北天山洋与中天山陆块碰撞的产物。

(2)  $455.6 \pm 1.8\text{Ma}$  代表了包尔岩体侵位年龄,同时记录了北天山洋与中天山陆块在晚奥陶世一次重要的碰撞事件。

(3)  $1207 \pm 87\text{Ma}$  代表了包尔图岩体侵入岩所捕获碎屑锆石的年龄,说明在包尔图一带存在早于  $1207\text{Ma}$  的古老基底。

(4)  $433 \pm 19\text{Ma}$  代表包尔图岩体侵入岩后期变质改造的年龄,说明在中天山早志留世发生过一次变质作用。

**致谢** 本文是区调项目的集体成果。河北省区域地质矿产调查研究所的胡醒明、程洲、孟宪峰、张正平参加了野外工作,在野外地质调查工作过程之中得到了新疆地矿局第三地质大队各级领导的大力支持;常量元素、微量元素、稀土元素分析由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室测试完成,同位素测年样品由西北大学大陆动力学国家重点实验室测试完成,在此表示衷心感谢!

## References

- Allen MB Windley BF and Zhang C. 1992. Paleozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tianshan, central Asia. *Tectonophysics*, 220: 89–115
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ . *Chemical Geology*, 192: 59–79
- Batchelor RA and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multi-cationic parameters *Chemical Geology*, 48:43–55
- Black LP and Gulson BL. 1978. The age of the mud tank carbonatite, strangways Range, Northern Territory. *BMR Journal of Australian Geology and Geophysics*, 3: 227–232
- Black LP, Kamos L, Allen CM *et al.* 2003. TEMORA 1: A new zircon standards for Phanerozoic U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 200: 155–170



- Black LP, Kanmo SL, Allen CM *et al.* 2004. Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effort; SHRIMP, IDTIMS, ELA-ICP-MS, and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology*, 205: 115 – 140
- Bureau of Geology and Mineral Resource of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 718 – 759 (in Chinese with English abstract)
- Che ZC, Liu L, Liu HF and Luo JH. 1995. Division of the central Tianshan orogeny based on isotopic ages. *Geological Review*, 41 (3): 261 – 211 (in Chinese with English abstract)
- Gao JF, Lu JJ, Lai MY *et al.* 2003. Analysis of trace elements in rock sample using HR-ICPMS, *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 39(6): 844 – 850 (in Chinese with English abstract)
- Han BF, He GQ, Wu TR *et al.* 2004. Zircon U/Pb dating and geochemical features of the Earlier Paleozoic granites from Tianshan, Xinjiang: Implications for tectonic evolution. *Xinjiang Geology*, 22 (1): 4 – 11 (in Chinese)
- He GQ, Cheng SD, Xu X *et al.* 2003. The Map of Tectonics of Xinjiang and Its Neighboring Areas and Its Explanatory Text. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 56 (in Chinese with English abstract)
- Jackson SE, Pearson NJ, Griffin WL *et al.* 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211: 47 – 69
- Jiang CY, Mu YM, Bai KY *et al.* 1999. Chronology, petrology, geochemistry and tectonic environment of granitoids in the southern Tianshan Mountain, western China. *Acta Petrologica Sinica*, 15 (2): 298 – 308 (in Chinese with English abstract)
- Li QY, Li SW, Song B *et al.* 2009. Late Mesoproterozoic to Paleozoic tectonothermal events in the eastern segment of the central Tianshan tectonic zone of northwestern China: Constraints from SHRIMP zircon geochronology. *Earth Science Frontiers*, 16 (2): 175 – 184 (in Chinese with English abstract)
- Liu CS and Zhu JC. 1989. Contrast of petrochemical characters of four genetic type granite in southern of China. *Acta Petrologica Sinica*, (2): 38 – 47 (in Chinese with English abstract)
- Liu SW, Guo ZJ, Zhang ZC *et al.* 2004. The features of the Precambrian meta-basement of the eastern Tianshan: Constrains from the geochronology and Nd isotopic geochemistry. *Science in China (Ser. D)*, 34(5): 393 – 403 (in Chinese)
- Long LL Gao J, Xiong XM *et al.* 2006. The geochemical characteristics and the age of the Kule lake ophiolite in the southern Tianshan. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (1): 65 – 73 (in Chinese with English abstract)
- Long LL, Gao J, Xiong XM *et al.* 2007. Geochemistry and geochronology of granitoids in Bikai region, southern Central-Tianshan mountains, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (4): 719 – 732 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 1991. A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. US Geological Survey Open-File Report; 39
- Pitcher WS. 1982. Granite type and tectonic environment. In: Hus KJ (ed.). *Mountain Building Processes*. London: Academic Press, 19 – 40
- Pitcher WS. 1997. *The Nature and Origin of Granite*. 2<sup>nd</sup> Edition. London: Chapman and Hall, 1 – 720
- Preace JA, Harris NB, Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granite rock. *Journal of Petrology*, 25: 956 – 983
- Shi YR, Liu DY, Zhang Q *et al.* 2006. SHRIMP chronology of granitic rocks in Gangou area, middle Tianshan, and its tectonic implication. *Chinese Science Bulletin*, 51(22): 2665 – 2672 (in Chinese)
- Shu LS, Lu HF, Charver J *et al.* 2000. A study of isotopic dating and geochemistry of granulites in the eastern Tianshan belt. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*: 36 (6): 718 – 727 (in Chinese with English abstract)
- Song B, Zhang YH, Wan YS *et al.* 2002. Mountmaking and procedures of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48 (Suppl.): 26 – 30 (in Chinese with English abstract)
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in Oceanic Basins*. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 42: 313 – 345
- Ubato D. 2002. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology*, 184: 123 – 138
- Vavra G, Gebauer D, Schmid R *et al.* 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An ion microprobe (SHRIMP) study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 122: 337 – 358
- Vavra G, Schmid R, Bauer D. 1999. Interanal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: Geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134: 380 – 404
- Wiendenbeck M, Alle P, Corfu F *et al.* 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element, and REE analyses. *Geostand Newsletter*, 19: 1 – 23
- Wu CZ, Zhang ZZ, Zaw K *et al.* 2006. Geochronology, geochemical and tectonic significances of the Hongyuntan granitoids in the Qoltag area, eastern Tianshan. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (5): 1121 – 1134 (in Chinese with English abstract)
- Wu GY, Xiao XC, Xian QH *et al.* 2008a. Major element geochemistry and genesis of Yanshanian mineralized granites in the polymetallic deposit concentration region, southern Hunan. *Geology in China*, 35 (2): 217 – 231 (in Chinese with English abstract)
- Wu GY, Hou ZQ, Xian QH *et al.* 2008b. REE geochemistry and petrogenesis and mineralization of the Yanshanian mineralized granites in the southern Hunan polymetallic deposit concentration region. *Geology in China*, 35 (3): 410 – 420 (in Chinese with English abstract)
- Wu GY, Xian QH, Chen MH *et al.* 2008c. Features of rock-forming minerals of Yanshanian mineralized granite in the polymetallic deposit concentration zone in southern Hunan and their implications for granite generation. *Geology in China*, 35 (5): 888 – 901 (in Chinese with English abstract)
- Wu YB and Zheng YF. 2004. Zircon genetic mineralogy and its constraints on the explaining of the U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589 – 1604 (in Chinese)
- Xu KQ, Sun N, Wang DZ *et al.* 1986. Origin and mineralization of granite in southern of China. 1986. In: Xu KQ and Tu GC (eds.). *Relation of Granite Geology and Mineralization*. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 20 (in Chinese)
- Yang TN, Li JY, Sun GH *et al.* 2006. Earlier Devonian active continental are in Central Tianshan: Evidence of geochemical analysis and zircon SHRIMP dating on mylonitized granitic rock. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 41 – 48 (in Chinese with English abstract)
- Yuan HL, Wu FY, Gao S *et al.* 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1151 – 1520 (in Chinese)
- Zhang LC, Liu DQ, Wang YB *et al.* 2006. *Metallogenic Rules of Xinjiang Dominant Metal Minerals*. Beijing: Geological Publishing House, 11 – 48 (in Chinese)
- Zhang Q and Zhou GQ. 2001. *Ophiolite of China*. Beijing: Science Press, 1 – 117 (in Chinese)
- Zhou D, Graham SA, Chang EZ *et al.* 2001. Paleozoic tectonic amalgamation of the Chinese Tianshan: Evidence form a transect along the Dushanzi-Kuqa Highway. In: Marc S *et al.* (eds.). *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation*. Geological Society of American, Memoir, 194: 23 – 46

## 附中文参考文献

- 车自成,刘良,刘洪福,罗金海. 1995. 中天山造山作用同位素年代分期. 地质论评,41(3):261-211
- 高剑峰,陆建军,赖鸣远等. 2003. 岩石样品中微量元素的高分辨率等离子质谱分析. 南京大学学报(自然科学版),39(6):844-850
- 韩宝福,何国琦,吴泰然等. 2004. 天山早古生代花岗岩类 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
- 何国琦,成守德,徐新等. 2003. 中国新疆及邻区大地构造图(1:2500000)及说明书. 北京:地质出版社,1-56
- 姜常义,穆艳梅,白开寅等. 1999. 南天山花岗岩类的年代学、岩石学、地球化学及其构造环境. 岩石学报,15(2):298-308
- 李秋根,刘树文,宋彪. 2009. 中天山东段中元古代晚期-古生代构造-热事件 SHRIMP 锆石年代学证据. 地学前缘,16(2):175-184
- 刘昌实,朱金初. 1989. 华南四种成因类型花岗岩类岩石化学特征对比. 岩石学报,2:38-47
- 刘树文,郭召杰,张志诚等. 2004. 中天山东段前寒武纪变质地块的性质:地质年代学和钨同位素地球化学的约束. 中国科学(D辑),34(5):393-403
- 龙灵利,高俊,熊贤明等. 2006. 南天山库勒湖蛇绿岩地球化学特征及其年龄. 岩石学报,22(1):65-73
- 龙灵利,高俊,熊贤明等. 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,张旗等. 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,卢华复,Charvet J等. 2000. 天山东部麻粒岩定年与地球化学研究. 南京大学学报(自然科学),36(6):718-727
- 宋彪,张玉海,万渝生等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评,5(增刊):26-30
- 吴昌志,张遵忠, Khin Z 等. 2006. 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. 岩石学报,22(5):1121-1134
- 伍光英,肖序常,肖庆辉. 2008a. 湘南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的主元素地球化学特征和成因探讨. 中国地质,35(2):217-231
- 伍光英,候增谦,肖庆辉等. 2008b. 湘南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的稀土地球化学特征和成岩成矿作用探讨. 中国地质,35(3):410-420
- 伍光英,肖庆辉,陈辉明. 2008c. 湘南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的造岩矿物特征及其成因意义. 中国地质,35(5):888-901
- 吴元保,郑水飞. 2004. 锆石成因矿物学研究其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报,49(16):1589-1604
- 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,718-759
- 徐克勤,孙鼎,王德滋等. 1986. 华南花岗岩成因与成矿. 见:徐克勤、涂光炽著. 花岗岩地质与成矿关系. 北京:地质出版社,1-20
- 杨天南,李锦轶,孙桂华等. 2006. 中天山早泥盆世陆弧:来自花岗岩糜棱岩地球化学及 SHRIMP-U/Pb 定年的证据. 岩石学报,22(1):41-48
- 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. 科学通报,48(14):1511-1520
- 张良臣,刘德权,王有标等. 2006. 中国新疆优势金属矿产成矿规律. 北京:地质出版社,11-48
- 张旗,周国庆. 2001. 中国蛇绿岩. 北京:科学出版社,1-117