阿尔金山北缘冰沟蛇绿混杂岩中辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义*

杨子江[1,2] 马华东[2] 王宗秀[1] 肖伟峰[1]

YANG ZiJing[1,2], MA HuaDong[2], WANG ZongXiu[1] and XIAO WeiFeng[1]

1. 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081
2. 国家 305 项目办公室,乌鲁木齐 830011
1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100081, *China*
2. *National* 305 *Project Office, Urumqi* 830011, *China*

2011-11-08 收稿, 2012-03-16 改回.

Yang ZJ, Ma HD, Wang ZX and Xiao WF. 2012. SHRIMP U-Pb zircon dating of gabbro from the Binggou ophiolite mélange in the northern Altyn, and geological implication. *Acta Petrologica Sinica*, 28(7):2269 – 2276

Abstract Binggou ophiolite mélange, the eastern part of Hongliugou ophiolite, Altyn Tagh, is composed of serpentinites, harzburgites, pyroxenites and gabbros etc. Geochemistry analysis shows that the serpentinites are characterized by high Mg contents, with Mg/Fe ratio greater than 9, and low Al, Ca, Na, K contents. Determined by rare earth elements and trace elements compositions, the gabbro is very similar to MORB, and ultrabasic rocks are close to PRIMA. The SHRIMP U-Pb age of zircon from the gabbro is 449.5 ± 10.9Ma which is belongs to Middle to Late Ordovician. The country rocks of Binggou ophiolite mélange are mainly composed of clastic rocks, pyroclastics, volcanics, and part of carbonates which combined to be a huge thick sequence. These rocks contain basalt which has characteristics of MORB and the pillow structure, and radiolarian cherts which formed in Middle to Late Ordovician that is consistent with the gabbro SHRIMP age. These evidences further convinced that the Early Paleozoic ocean basin has been existed in the Hongliugou area.

Key words Ophiolite mélange; Gabbro; Zircon SHRIMP dating; Altyn Tagh

摘 要 冰沟蛇绿混杂岩是阿尔金山红柳沟蛇绿混杂岩带的东段部分,岩石组合包括蛇纹岩、方辉橄榄岩、辉石岩和辉长岩等。蛇纹岩具高 Mg,Mg/Fe 值大于 9,低 Al、Ca、Na、K 为特征,从稀土元素和微量元素特征来看,基性辉长岩和洋壳以及洋中脊玄武岩极为相似,而超基性岩与原始地幔较为接近。辉长岩获得锆石 SHRIMP 年龄为 449.5 ± 10.9Ma。蛇绿混杂岩的围岩为一套巨厚的碎屑岩、火山碎屑岩、火山岩,以及部分碳酸盐岩构成,其中含有具有洋中脊特征的枕状构造玄武岩,以及放射虫硅质岩,放射虫时代为奥陶纪中晚期,与辉长岩的 SHRIMP 年龄一致。这些证据进一步证实了红柳沟一带存在早古生代洋盆的地质事实。

关键词 蛇绿混杂岩; 辉长岩; 锆石 SHRIMP 测年; 阿尔金山

中图法分类号 P588.124; P597.3

新疆东南部阿尔金山北缘出露一条基性-超基性岩带,即著名的红柳沟基性-超基性岩带。20 世纪 90 年代,根据当时所认识到的红柳沟基性-超基性岩带的围岩时代,确定其属于中元古代的蛇绿岩(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993; 陈哲夫等,1997; 张旗等,2003); 近年来,随着基性-超基性岩带和围岩同位素年代学资料的新成果,大致明确其为早古生代蛇绿岩(郭召杰等,1998; 刘良,1999; 郝杰等,2006; 杨经绥等,2002,2008; 修群业等,2007)。与红柳沟基性-超基性岩带相伴产出的洋盆火山沉积体系(吴峻等,2001,2002)和超高压变质岩带(张建新等,2007)也相继得到进一步的明确和研究,但在红柳沟基性-超基性岩带形成构造环境和时间上还存在争议(郭召杰等,1998; 刘良,1999; 修群业等,2007; 杨经绥等,2008),其中突出问题有两个,其一是红柳沟蛇绿岩代表的洋盆规模是否为大洋; 其二是蛇

* 本文受国家科技支撑计划重点项目(2006BAB07B02-04)和新疆维吾尔自治区地质勘查专项资金项目联合资助.
第一作者简介:杨子江,男,1972 年生,博士生,主要从事地质矿产调查研究,E-mail:yangzi126@126.com

绿岩及其洋盆沉积体系形成的确切时限。本文给出一些新的野外资料和地球化学分析数据以及辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果,为进一步探讨阿尔金地区大地构造格架及其演化提供依据。

1 冰沟蛇绿混杂岩带的地质特征

冰沟蛇绿混杂岩是著名的红柳沟蛇绿混杂岩带的东段部分(图 1)。红柳沟蛇绿混杂岩带东西向延伸约 100km,宽 8 ~ 10km。在其东段的冰沟一带,蛇绿混杂岩带产于巨大的复式冰沟花岗岩体的北侧,呈东西向展布的岩带分布,出露宽数百米到两千米,长可达 20km 以上,出露面积约为 20km^2。主要由基性辉长岩和超基性纯橄榄岩(蛇纹石化橄榄岩、蛇纹岩)、方辉橄榄岩和少量辉石岩等构成,基性岩和超基性岩分别占一半的面积。

辉长岩为深灰绿色、灰黑色,中细粒结构,由斜长石(30% ~70%)、单斜辉石构成,斜长石为拉-中长石。岩石较为新鲜,长石具有少量泥化、黝帘石化,辉石发育纤闪石化、阳起石化。超基性岩为深墨绿色、灰黑色,岩石遭受强烈的热液蚀变。纯橄榄岩一般基本或全部蛇纹石化(含量大于 90%),部分情况下出现少量辉石,副矿物有磁铁矿、铬铁矿及少量黄铁矿、镍黄铁矿;方辉橄榄岩由橄榄石(多数已蚀变为蛇纹石,含量一般 40% ~70%)、斜方辉石构成,副矿物有磁铁矿、铬铁矿及少量黄铁矿、镍黄铁矿;辉石岩基本由斜方辉石构成。

基性辉长岩与超基性岩之间有较为明显的接触界线,显然是不同期次岩浆侵位的产物,从辉长岩边部常见有细粒边,内部多见有超基性岩的捕虏体来看,辉长岩的形成应晚于超基性岩,在蛇绿岩带的东段常见二者呈层状间互出现(图 2)。而超基性岩各岩性之间,由于野外特征相似,不易区分,没有划分出明确界线。冰沟蛇绿混杂岩遭受强烈的热液蚀变,野外观察超基性岩蛇纹石化、滑石化强烈,部分为蛇纹岩,岩石多数破碎,部分为粉末状,"冷侵位"现象明显,边界一般为断层构造接触界线。

2 地球化学特征

冰沟基性-超基性岩岩石化学成分分析结果见表 1,全岩样品的元素分析在武汉综合岩矿测试中心完成。

其中基性辉长岩:SiO_2 含量为 46.41% ~51.73%,与玄武岩的 SiO_2 含量相当,高的 MgO 和 FeO 含量,镁铁比值(MgO/(FeO + 2Fe_2O_3 + MnO))为 1.23 ~ 1.73,TiO_2 含量中

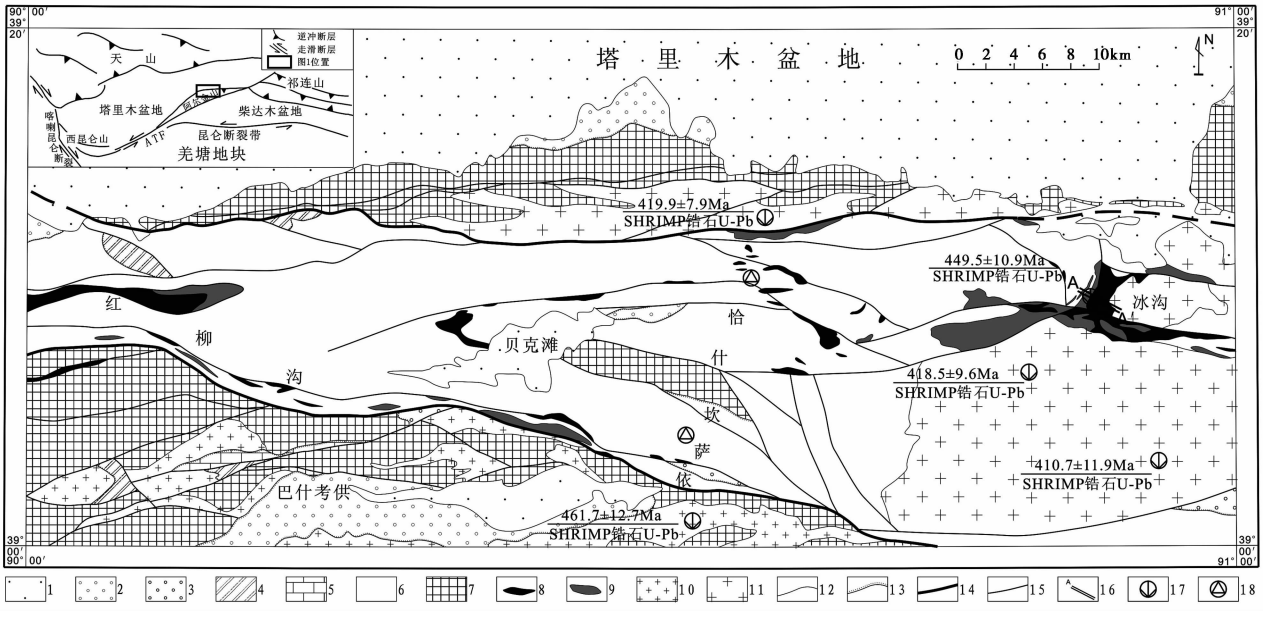


图 1 红柳沟-冰沟一带研究区区域地质图

1-第四系; 2-第三系; 3-侏罗系; 4-上古生界; 5-下古生界稳定台地碳酸盐岩沉积体系; 6-下古生界洋盆火山沉积体系; 7-前寒武系基底变质地层; 8-未分超基性岩; 9-辉长岩; 10-早古生代早中期花岗岩; 11-早古生代末期花岗岩; 12-地质界线; 13-不整合界线; 14-区域深大断裂; 15-主要断裂; 16-实测剖面位置; 17-放射虫化石样采样位置; 18-同位素测年样采样位置

Fig. 1 Regional geological map of study area, Hongliugou-Binggou

1-Quaternary; 2-Tertiary; 3-Jurassic; 4-Upper Palaeozoic; 5-Lower palaeozoic carbonate sedimentary system on stable platform; 6-Lower Palaeozoic volcanic-sedimentary system in ocean basin; 7-metamorphic strata of basement before Cambrian; 8-ultrabasic rock; 9-gabbro; 10-granite, early to middle Early Paleozoic; 11-granite, late Early Paleozoic; 12-geological boundary; 13-boundary of unconformity; 14-regional deep fault; 15-the main fracture; 16-locations of the geological section; 17-locations of radiolarians fossil samples; 18-locations of isotope-dating samples

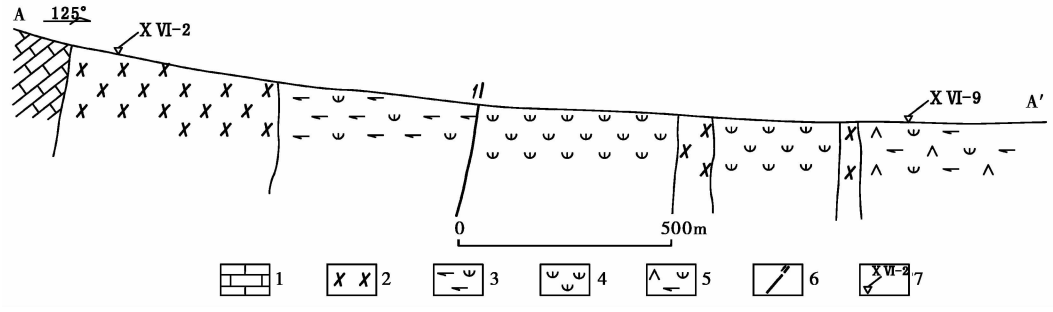


图 2　冰沟蛇绿岩地质剖面图

1-灰岩；2-辉长岩；3-蛇纹石化橄榄岩；4-蛇纹岩；5-蛇纹石化方辉橄榄岩；6-断裂；7-采样位置及其编号

Fig. 2　The geological section of Binggou ophiolite mélange

1-limestone; 2-gabbro; 3-serpentinized peridotite; 4-serpentinites; 5-serpentinized harzburgites; 6-fault; 7-location of sample with its identifier

等，为 0.88% ~1.1%，K_2O 含量较低，Na_2O 含量中等，K_2O/Na_2O 比值为 0.01 ~0.06，远小于 1，属于钠质；超基性岩的 SiO_2 含量为 34.53% ~55.44%，除辉石岩 SiO_2 含量较高为 55.44% 外，其他超基性岩 SiO_2 含量小于 45%，具高 Mg，镁铁比值（$MgO/(FeO+2Fe_2O_3+MnO)$）为 9.45 ~10.44，大于 9，低 Al、Ca、Na、K 的特征。在 CAM 图中超基性岩落入变质橄榄岩区（图略），辉长岩属于蛇绿岩中的镁铁质堆晶岩。

辉长岩的稀土元素总量 ΣREE 为 54.02×10^{-6} ~ 72.55×10^{-6}，约高出球粒陨石的相应丰度 10 倍左右。在稀土元素球粒陨石（Leedy 等）标准化配分模式图中（图 3a），轻、重稀土分馏不明显，呈较为平坦的平滑型曲线，无负 Eu 异常，微量元素 Rb、Ba、Th 等大离子亲石元素较为富集，在微量元素原始地幔标准化的配分曲线图（图 3b）上呈较为平坦的不规则曲线。超基性岩的稀土总量 ΣREE 为 1.84×10^{-6} ~ 6.58×10^{-6}，低于球粒陨石的相应丰度，轻稀土分馏明显，重稀土分馏不明显，呈缓倾斜的右倾-平坦型两段型曲线，δEu 值为 0.52 ~1.06，表明铕的异常特征为负异常或没有异常，超基性岩中微量元素含量值较基性辉长岩低一个数量级，为原始地幔中的各元素的 1 倍左右，为较为向右缓倾的不规则曲线，K、Rb、Ba、Th、P 大离子亲石元素明显富集，形成明显的波峰。从冰沟基性-超基性岩的稀土元素和微量元素特征来看，基性辉长岩和洋壳以及洋中脊玄武岩极为相似，而超基性岩与原始地幔较为接近。

3　冰沟辉长岩的时代

3.1　分析方法

在新疆地矿局第一区调大队实验室用常规方法从样品中分离锆石。锆石 SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院北京离子探针中心的 SHRIMP Ⅱ上完成。分析流程和方法见相关文献（Compston *et al.*，1992；宋彪等，2002），使用的标准样品 SL13（572Ma）标定标样 TEMORAI（417Ma）和待测锆石的 U、Th、Pb 含量，而锆石 U、Th、Pb 同位素比值用 TEMORAI 标定（Black *et al.*，2003；Williams，1998）。数据处理、年龄计算

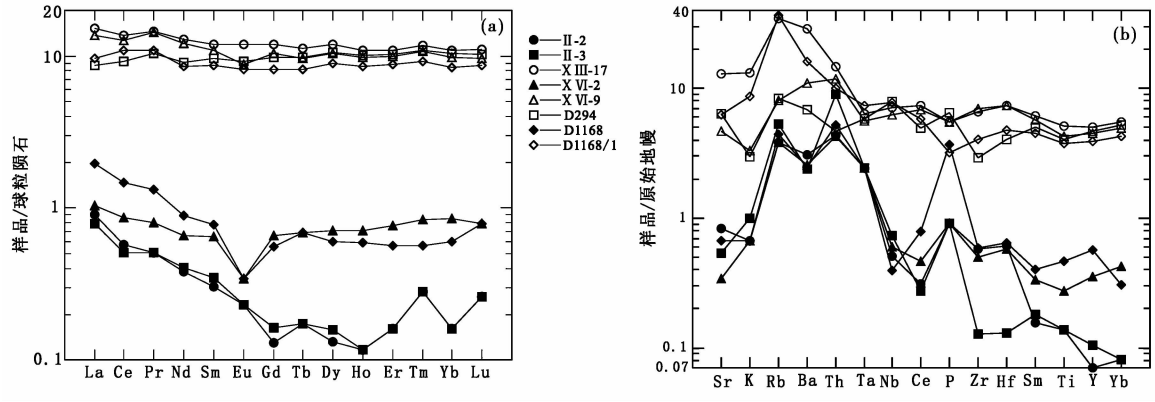


图 3　冰沟基性-超基性岩球粒陨石标准化稀土元素配分图（a）和原始地幔标准化微量元素蛛网图（b）（标准化值据 Sun and McDonough，1989）

Fig. 3　C1 chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantle-normalized trace elements spider diagram (b) for mafic-ultramafic rocks from Binggou (normalized values after Sun and McDonough, 1989)

表 1 冰沟基性-超基性岩岩石主量元素(wt%)、微量元素($\times 10^{-6}$)分析结果

Table 1 Major elements(wt%) and trace elements($\times 10^{-6}$) compositions of mafic-ultramafic rocks from Binggou

样品号	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅻ-17	Ⅻ-2	Ⅻ-9	D294	D1168	D1168/1
岩性	橄榄岩	辉石岩	辉长岩	辉长岩	方辉橄榄岩	辉长岩	方辉橄榄岩	辉长岩
SiO_2	34.53	55.44	51.73	51.44	42.55	46.41	41.6	49.54
Fe_2O_3	5.72	2.25	1.04	0.93	2.72	0.99	5.14	0.80
FeO	2.10	4.00	9.05	7.85	4.80	11.30	1.45	9.40
Al_2O_3	0.80	0.90	14.62	15.82	2.47	14.36	2.71	14.15
CaO	0.90	1.35	8.52	6.9	0.95	12.56	0.84	9.98
MgO	41.11	33.74	7.05	6.45	39.10	9.87	36.36	10.00
K_2O	0.02	0.03	0.40	0.10	0.02	0.09	0.02	0.26
Na_2O	0.06	0.07	4.36	5.25	0.08	1.32	0.07	2.66
MnO	0.12	0.16	0.21	0.19	0.13	0.24	0.13	0.19
TiO_2	0.03	0.03	1.11	0.93	0.06	0.88	0.10	0.82
P_2O_5	0.02	0.02	0.12	0.12	0.02	0.14	0.08	0.07
烧失量	13.9	1.91	1.17	3.39	6.41	1.2	11.67	1.46
总量	99.31	99.9	99.38	99.37	99.31	99.36	100.17	99.33
La	0.33	0.29	5.54	5.04	0.38	3.17	0.72	3.55
Ce	0.55	0.49	13.08	12.06	0.83	8.78	1.41	10.41
Pr	0.07	0.07	1.99	1.97	0.11	1.42	0.18	1.5
Nd	0.27	0.29	9.17	8.6	0.47	6.45	0.63	6.11
Sm	0.07	0.08	2.74	2.53	0.15	2.22	0.18	2.01
Eu	0.02	0.02	1.03	0.77	0.03	0.8	0.03	0.71
Gd	0.04	0.05	3.66	3.16	0.2	3	0.17	2.51
Tb	0.01	0.01	0.65	0.56	0.04	0.57	0.04	0.47
Dy	0.05	0.06	4.52	3.96	0.27	4	0.23	3.4
Ho	0.01	0.01	0.93	0.83	0.06	0.86	0.05	0.73
Er	0.04	0.04	2.72	2.47	0.19	2.56	0.14	2.2
Tm	0.01	0.01	0.42	0.38	0.03	0.39	0.02	0.33
Yb	0.04	0.04	2.71	2.43	0.21	2.59	0.15	2.09
Lu	0.01	0.01	0.42	0.37	0.03	0.39	0.03	0.33
Y	0.32	0.48	22.97	20.34	1.62	21.44	2.6	17.67
Ba	21.4	16.6	203	76.4	18.1	48.2	17.2	113
Sr	17.4	11.3	273	98.9	7.26	134	14.1	133
Nb	0.36	0.52	5.09	4.46	0.43	5.64	0.28	5.55
Ta	<0.1	<0.1	0.26	0.23	<0.1	0.24	<0.1	0.3
Th	0.37	0.76	1.24	1	0.36	0.4	0.44	0.86
Rb	2.42	3.38	22.1	5.13	2.43	5.35	2.8	23.3
Zr	6.52	1.44	73.5	78.1	5.56	32.4	6.61	45.3
Hf	0.19	0.044	2.27	2.29	0.18	1.24	0.2	1.48
Nd	0.27	0.29	9.17	8.6	0.47	6.45	0.63	6.11
Sm	0.07	0.08	2.74	2.53	0.15	2.22	0.18	2.01
Yb	0.04	0.04	2.71	2.43	0.21	2.59	0.15	2.09
K	166	249	3319	830	166	747	166	2157
Ti	180	180	6660	5580	360	5280	600	4920
P	87	87	524	524	87	611	349	306

注:样品由武汉综合岩矿测试中心测试

和绘图使用的是 SQUID 和 ISOPLOTI 程序(Ludwig,2001,2003)。

3.2 锆石特征

样品岩性为辉长岩(图1,样号ⅩⅥ-2),主要由单斜辉石(40%)和斜长石(60%)组成,岩石较为新鲜,斜长石为拉-中长石,具有少量泥化、黝帘石化,辉石发生纤闪石化、阳起石化。辉长岩中的锆石多为晶形完整的颗粒,还有少量表面磨圆的颗粒。晶形多样,差异较大,一般呈浅黄色、浅黄褐色,透明,金刚光泽,晶面光滑,晶棱平直,晶体呈正方双锥柱状、针状,晶体长一般 0.06 ~ 0.21mm、宽一般 0.03 ~ 0.06 mm,长宽比值为 2 ∶ 1 ~ 3 ∶ 1。少量锆石有磨蚀圆化现象,部分内含暗色矿物包裹体。

3.3 SHRIMP 定年结果

根据锆石特征挑选 14 个测试点,得到一组锆石 SHRIMP 年龄,成果如下(表2、图4)。

14 个锆石 SHRIMP 年龄值($^{206}Pb/^{238}U$)中有 5 个测试点的年龄值较大(8.1、11.1、12.1、13.1、14.1),测试年龄为 853.7 ± 29.5Ma ~ 2999.4 ± 88.4Ma。从锆石的反射光照片来看,这些锆石基本为椭圆状 ~ 粒状,表面圆化磨蚀现象显著,阴极发光照片显示内部结构较为复杂,一般发育内核和外部生长壳的双层结构,锆石 SHRIMP 年龄值反映的是其内核的年龄。从以上特征来看,这 5 个较大年龄的锆石应该是辉长岩中的继承性锆石,是来自于辉长岩在形成过程中熔融的原岩或辉长岩岩浆上升过程中同化混染围岩。与超基性岩伴生的辉长岩一般认为来自地幔或下地壳,锆石的体系封闭温度为 750℃,在地幔或下地壳的温度和压力条件下,锆石一般不可能还保持在体系封闭温度之下,因而这些继承性锆石最有可能来自岩浆上升过程中同化混染围岩,继承性锆石普遍具有磨蚀圆化现象的特点也说明了这一点。

其他 9 个锆石虽然晶形有所差别,但他们都具有较为完好的晶形,晶面光滑,晶棱平直,内部结构显示单一的环带结构,显示了岩浆结晶锆石的特征。其年龄值较为相似,用相似的锆石 SHRIMP 年龄数据制作 U-Pb 谐和曲线(图5),数据点基本都在 U-Pb 谐和曲线附近分布,且数据点较为集中。以上特点说明这些锆石基本是在岩浆结晶过程中形成,且在以后的地质历史中锆石保持了封闭体系,变化不大,没有发生 U 和 Pb 的丢失和加入,因而测得的年龄代表了岩体形成年龄,该年龄值为 449.5 ± 10.9Ma(晚奥陶世中期)。

4 辉长岩测年结果与地质构造意义的讨论

早期(20 世纪 90 年代以前)阿尔金北缘红柳沟蛇绿混杂岩的形成时代,主要依据蛇绿混杂岩的围岩时代来确定其形成时代,认为形成于中元古代蓟县纪(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993;陈哲夫等,1997)。近年来在阿尔金北缘红柳沟蛇绿混杂岩的研究中,取得了越来越多的同位素年代学证据:刘良等(1999)取得红柳沟蛇绿岩玄武岩的 Sm-Nd 等时线年龄 508.3 ± 41Ma,提出洋壳形成在早古生代早期,闭合于加里东末期;郝杰等(2006)在包裹蛇绿岩残片的基质变质岩系中获得的绢云母 Ar-Ar 变质年龄 455 ± 2Ma 和花

表 2 冰沟辉长岩锆石 SHRIMP 测试数据

Table 2 Zircon SHRIMP U-Pb analytical results of the gabbro(ⅩⅥ-2) from Binggou

测点号	锆石特征		$^{206}Pb_c$	$^{206}Pb^*$	U	Th	$^{207}Pb/^{206}Pb$	锆石年龄值(Ma)		
	形态	颜色	(%)	($\times10^{-6}$)	($\times10^{-6}$)	($\times10^{-6}$)		$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{208}Pb/^{232}Th$
ⅩⅥ-2-1.1	粒状	浅黄色	0.91	10.81	183.03	85.60	0.0681	424.7 ± 15.8	632.1 ± 147.5	452.7 ± 33.9
ⅩⅥ-2-2.1	长柱状	浅黄色	1.85	17.60	264.74	163.16	0.0773	471.8 ± 17.3	690.4 ± 161.8	502.4 ± 40.7
ⅩⅥ-2-3.1	长柱状	浅黄色	0.58	32.86	488.83	146.58	0.0614	482.9 ± 17.3	478.4 ± 87.5	481.6 ± 29.1
ⅩⅥ-2-4.1	长柱状	浅黄褐色	0.89	60.47	959.88	463.81	0.0635	452.3 ± 16.2	462.3 ± 65.7	442.2 ± 21.3
ⅩⅥ-2-5.1	短柱状	浅黄褐色	0.93	26.29	428.74	212.70	0.0683	440.4 ± 16.0	634.4 ± 59.0	482.9 ± 21.6
ⅩⅥ-2-6.1	粒状	浅黄褐色	0.41	35.57	580.65	240.11	0.0614	442.3 ± 16.0	533.3 ± 59.1	449.2 ± 21.0
ⅩⅥ-2-7.1	短柱状	浅黄褐色	1.10	42.01	681.32	314.70	0.0663	442.0 ± 15.9	506.0 ± 81.0	388.7 ± 22.3
ⅩⅥ-2-8.1	椭圆状	浅黄褐色	0.06	502.02	985.75	75.57	0.2067	2999.4 ± 88.4	2876.1 ± 5.6	3004.0 ± 125.0
ⅩⅥ-2-9.1	短柱状	浅黄褐色	0.60	66.59	1021.21	576.98	0.0621	468.9 ± 16.8	502.3 ± 76.3	483.4 ± 23.0
ⅩⅥ-2-10.1	短柱状	浅黄色	1.34	18.09	300.32	213.44	0.0704	431.2 ± 15.8	588.8 ± 195.5	419.5 ± 25.7
ⅩⅥ-2-11.1	椭圆状	浅黄褐色	0.30	249.91	571.33	404.32	0.1797	2646.5 ± 80.2	2625.2 ± 8.6	2665.3 ± 100.8
ⅩⅥ-2-12.1	粒状	浅黄褐色	0.23	118.84	974.71	43.51	0.0772	853.7 ± 29.5	1077.6 ± 21.2	1048.8 ± 85.2
ⅩⅥ-2-13.1	椭圆状	浅黄褐色	0.49	63.64	202.90	185.55	0.1272	1997.8 ± 64.6	1998.6 ± 23.5	2009.1 ± 80.8
ⅩⅥ-2-14.1	粒状	浅黄褐色	0.21	158.53	483.87	162.71	0.1335	2078.9 ± 65.8	2119.5 ± 13.9	2240.5 ± 102.0

注:①误差为 1σ,Pb_c 和 Pb^* 分别代表普通铅和放射性成因铅;②应用 ^{204}Pb 实测值校正普通铅,并假设 $^{206}Pb/^{238}U$-$^{207}Pb/^{235}U$ 年龄一致

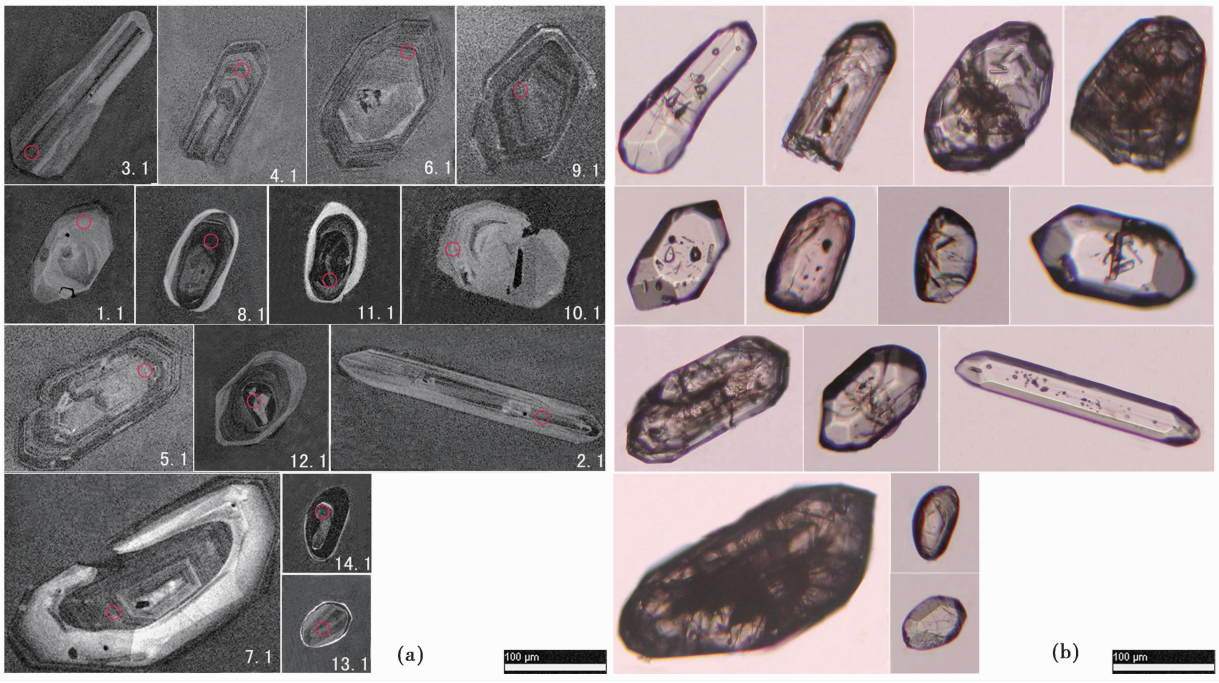


图 4 冰沟辉长岩锆石的阴极发光(a)和反射光影像

Fig. 4 The CL images(a) and reflecting images(b) of zircon grains from gabbro in Binggou

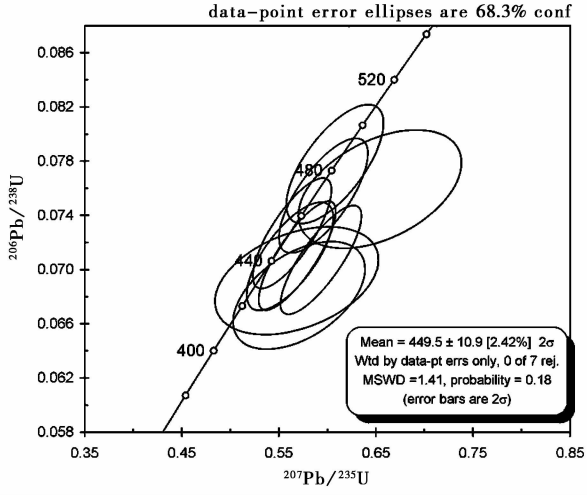


图 5 辉长岩中锆石 SHRIMP 年龄的谐和曲线

Fig. 5 SHRIMP U-Pb concordant diagram of zircon from gabbro

岗闪长岩中获得的锆石结晶年龄 467.1 ± 6Ma,支持蛇绿岩形成于寒武纪的认识;修群业等(2007)最近采用单颗粒锆石 U-Pb(TIMS 法),测得米兰红柳沟恰什坎萨依洋岛型枕状玄武岩的年龄为 448.6 ± 3.3Ma,认为代表蛇绿岩的年龄;张建新等(2007)在米兰红柳沟的红柳泉一带获得榴辉岩中多硅白云母的 Ar-Ar 坪年龄为 512 ± 3Ma,等时线年龄为 513 ± 5Ma,蓝片岩中钠云母的 Ar-Ar 坪年龄为 491 ± 3Ma,等时线年龄为 497 ± 10Ma,认为存在早古生代洋壳俯冲;杨经绥等(2008)获得北阿尔金米兰红柳沟蛇绿岩中辉长岩的锆石 SHRIMP 年龄为 479 ± 8Ma,认为代表蛇绿岩的形成时代。这些证据表明红柳沟蛇绿混杂岩形成于早古生代。

笔者在阿尔金北缘红柳沟蛇绿混杂岩的研究工作中,还对基性-超基性岩的围岩进行了较为广泛深入的调查研究。其围岩为一套巨厚的碎屑岩、火山碎屑岩、火山岩,以及部分碳酸盐岩构成,其中火山岩以基性玄武岩为主,局部可见有枕状构造,玄武岩的岩石化学特征表明,其具有洋中脊玄武岩的特征;围岩中还含有少量硅质岩,在红柳沟以东的恰什坎萨依一带发现含放射虫、海绵骨针等化石的硅质岩,放射虫化石经中国地质大学冯庆来教授鉴定,有 *Protoceratoikiscum* sp. cf., *P. chinocrystallum* Goto, Umeda and Ishiga, *Inanibigutta* sp., *Haplentactinia*? sp., *Inanigutta unica* (Nazarov), *Inanigutta aksakensis* (Nazarov)等,冯庆来教授认为这些放射虫化石的年代应为奥陶纪中晚期(崔智林等,2000;杨子江等,2011);总体来看,红柳沟蛇绿混杂岩的围岩为一套火山-沉积体系,地层厚度巨大,出现冲洪积扇→滨岸(碳酸盐台地)→浅海(海山)→半深海→洋脊火山岩的沉积组合变化特征,沉积环境在纵向上多样,且在横向上极不稳定,沉积相上出现较多的反映近陆源的粗碎屑岩环境,如河流相、冲洪积扇相,这些沉积特征和大洋沉积环境相比有较大的差异,应该形成于近陆源且规模较小的盆地。这些证据进一步证实了红柳沟一带存在早古生代洋盆的地质事实,但沉积盆地的规模应远小于"大洋"。

同时阿尔金北缘地区发育大量花岗质岩石,我们本次工作中的研究表明它们来自两个时代:其一为古生代早中期,

侵入基底中深变质地层，在恰什坎萨依南测得花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 结晶年龄 461.7 ± 12.7Ma（中奥陶世），该类花岗岩具备壳源特征，为钙碱系列的“I”或“S”型花岗岩；其二为早古生代末期，主要侵入早古生代洋盆沉积地层，在恰什坎萨依北、冰沟等地我们获得花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 结晶年龄 419.9 ± 7.9Ma、418.5 ± 9.6Ma、410.7 ± 11.9Ma（晚志留世），花岗岩具备壳幔混合源的特征，主要为钙碱系列的“I”型花岗岩。近年来对阿尔金北缘的花岗岩研究（陈宣华等，2003；Cowgill *et al.*，2003；Gehrels and Yin，2003a，b；吴才来等，2005；戚学祥等，2005）也基本得到了和我们相似的结论。从形成时代和环境上考虑，这些以花岗岩为主的岩浆活动应与红柳沟一带的早古生代洋盆演化息息相关。

结合区域地质构造环境，我们认为早古生代红柳沟一带的洋盆演化存在以下几个阶段：（1）古生代早中期在塔里木板块边缘的红柳沟一带形成拉张环境，开始海侵（区域上，见早奥陶世地层不整合于古老变质基底之上），并形成小规模的酸性花岗岩为代表的岩浆活动；（2）早古生代中期（中晚奥陶世）进一步拉张，局部地段出现洋壳，形成地域上和时间跨度上较为有限的洋盆，其性质可能为弧后盆地，盆地内沉积一套沉积环境变化较大的火山沉积体系，在此期间还形成了红柳沟基性-超基性岩带，辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 449.5 ± 10.9Ma（晚奥陶世中期）给这一活动提供了有力证据；（3）早古生代末期（晚志留世）较大规模的以同碰撞酸性花岗岩为代表的岩浆活动，应该是弧后盆地碰撞闭合的产物。

5 结论

根据近年来笔者在阿尔金北缘红柳沟一带的地质调查研究中取得地质成果，和新的辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄结果，可以得到以下认识：

（1）阿尔金北缘恰什坎萨依-冰沟附近出露的基性-超基性岩石组合包括蛇纹岩、方辉橄榄岩辉石岩和辉长岩等，与其相伴产出一套沉积巨厚的围岩地层，其中含有具有洋中脊特征的枕状构造玄武岩，以及放射虫硅质岩，放射虫时代为奥陶纪中晚期。这些证据进一步证实了红柳沟一带存在早古生代洋盆的地质事实。

（2）蛇绿岩中的超基性岩具高 Mg，镁铁比值大于 9，低 Al、Ca、Na、K 的特征，所含稀土总量低于球粒陨石的相应丰度，稀土配分呈平坦型，大离子亲石元素明显富集；辉长岩的稀土元素约高出球粒陨石的相应丰度 10 倍左右，呈较为平坦的平滑型曲线，微量元素 Rb、Ba、Th 等大离子亲石元素较为富集。从这些特征来看，基性辉长岩和洋壳以及洋中脊玄武岩极为相似，而超基性岩与原始地幔较为接近。

（3）蛇绿混杂岩中辉长岩获得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 449.5 ± 10.9Ma，代表早古生代洋盆演化中洋壳增生活动的一个时间点。锆石年代学研究中还发现有部分表面圆化磨蚀、内部结构较为复杂的继承性锆石，测得 853.7 ± 29.5 ~ 2999.4 ± 88.4Ma 的同位素年龄，反映了基底的地质信息。

致谢 本文的野外调查和研究工作得到中国地质科学院地质力学所陈柏林、陈正乐、陈宣华的大力支持和指导，在此表示感谢；同时感谢审稿人提出的建设性意见。

References

Black LP, Kamo SL, Allen CM, Aleinikoff JN, Davis DW, Korsch RJ and Foudoulis C. 2003. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology. Chemical Geology, 200: 155 – 170

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 668 – 717 (in Chinese)

Chen XH, Gehrels G, Wang XF, Yang F and Chen ZL. 2003. Granite from North Altyn Tagh, NW China: U-Pb geochronology and tectonic setting. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 22(4): 294 – 298 (in Chinese with English abstract)

Chen ZF, Chen SD *et al*. 1997. Opening-closing Tectonics and Metallogenesis of Xinjiang. Urumqi: Xinjiang Health Science and Technology Publishing House, 158 – 159 (in Chinese)

Compston W, Williams IS, Kirschvink JL, Zichao Z and Ma GG. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. Journal of the Geological Society (London), 149: 171 – 184

Cowgill E, Yin A and Harrison TM. 2003. Reconstruction of the Altyn Tagh fault based on U-Pb geochronology Role of back thrusts, mantle sutures, and heterogeneous crustal strength in forming the Tibetan Plateau, Journal of Geophysical Research, 108, No. B7, 2346

Cui ZL, Hua H, Song QY *et al*. 2000. The Late Ordovician radiolarian assemblage of the North Qinling back-arc basin, China. Acta Geologica Sinica, 74 (3): 254 – 258 (in Chinese with English abstract)

Gehrels GE and Yin A. 2003a. Detrital zircon geochronology of the northeastern Tibetan Plateau. Geological Society of America Bulletin, 881 – 896

Gehrels GE and Yin A. 2003b. Magmatic history of the northeastern Tibetan Plateau, Journal of Geophysical Research, 108, No. B9, 2423

Guo ZJ, Zhang ZC and Wang JJ. 1998. The Sm-Nd isochrone ages of the Altun ophiolites and its tectonic signification. Chinese Science Bulletin, 43: 1981 – 1984 (in Chinese)

Hao J, Wang EQ, Liu XH and Sang HQ. 2006. Jinyanshan collisional oroginic belt of the Early Pale ozoic in the Altun mountains: Evidence from single zircon U-Pb and $^{40}Ar/^{39}Ar$ isotopic dating for the arcmagmatite and ophiolitic melange. Acta Petrologica Sinica, 22 (11): 2743 – 2752 (in Chinese with English abstract)

Liu L, Che ZC and Wan Y. 1999. The petrological characters and geotectonic setting of high-pressure metamorphic rock belts in Altun Mountains. Acta Petrologica Sinica, 15(1): 57 – 64 (in Chinese with English abstract)

Ludwig KR. 2001. Squid I. 02: A user manual Berkeley: Berkeley Geochronol ogical Center Special Publication, 2: 19

Ludwig KR. 2003. Isoplot 3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronology Center Special Publication, (4): 1 – 70

Qi XX, Wu CL and Li HB. 2005. SHRIMP U-Pb age of zirons from Kazisayi granite in the northern Alty Tagh mountaina and its siginification. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 859 – 866 (in Chinese with English abstract)

Song B, Zhang YH, Wan YS and Jian P. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. Geological Review, 48 (Suppl.): 26 – 30 (in Chinese with English abstract)

Williams IS. 1998. U-Th-Pb geochronology by ionmicroprobe. In: Mckibben MA, Shank WC and Ridley WL (eds.). Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes. Reviews in Economic Geology, 7: 1 – 35

Wu CL, Yang JS, Yao SZ, Zeng LS, Chen SY, Li HB, Qi XX, Wooden JL and Mazdab FK. 2005. Characteristics of the granitoid complex and its zircon SHRIMP dating at the south margin of the Bashikaogong Basin, North Altun, NW China. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 846 – 858 (in Chinese with English abstract)

Wu J, Li JL, Lan CL and Yu LJ. 2001. New knowledge on Hongliugou ophiolite along Altun fault, NW China. Chinese Journal of Geology, 36(3): 342 – 349 (in Chinese with English abstract)

Wu J, Li JL, Lan CL and Yu LJ. 2002. Geochemical evidence of MORB and OIB combination in Hongliugou ophiolite melange, Altun fault belt. Acta Petrologica et Mineralogica, 21(1): 24 – 30 (in Chinese with English abstract)

Xiu QY, Yu HF, Liu YS, Lu SN, Mao DB, Li HM and Li Q. 2007. Geology and zircon U-Pb age of pillow basalt at Qiashikansay in northern Altun Tagh, NW China. Acta Geologica Sinaca, 81(6): 787 – 794 (in Chinese with English abstract)

Yang JS, Wu CL and Shi RD. 2002. Sheeted dike swarm in Hongliugou, northwest of the Altun region: Evidence for seafloor spreading. Regional Geology of China, 21(2): 69 – 74 (in Chinese with English abstract)

Yang JS, Shi RD, Wu CL, Su DC, Chen SY, Wang XB and Wooden J. 2008. Petrology and SHRIMP age of the Hongliugou ophiolite at Milan, North Altun, at the northern margin of the Tibetan plateau. Acta Petrologica Sinica, 24(7): 1567 – 1584 (in Chinese with English abstract)

Yang ZJ, Wang ZX and Wang C. 2011. New discovery in strata of Qiashikansayi canal in Eastern Altyn. Geology in China, 38(5): 1257 – 1262 (in Chinese with English abstract)

Zhang JX, Meng FC, Yu SY, Chen W and Chen SY. 2007. ^{39}Ar-^{40}Ar geochronology of high-pressure/low-temperature blueschist and eclogite in the North Altyn Tagh and their tectonic implications. Geology in China, 34(4): 558 – 564 (in Chinese with English abstract)

Zhang Q, Zhou GQ and Wang Y. 2003. The distribution of time and space of Chinese ophiolites, and their tetonic settings. Acta Petrologica Sinica, 19(1): 1 – 8 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

陈宣华, Cehrels G, 王小凤, 杨凤, 陈正乐. 2003. 阿尔金山北缘花岗岩的形成时代及其构造环境探讨. 矿物岩石地球化学通报, 22(4): 294 – 298

陈哲夫, 成守德等. 1997. 新疆开合构造与成矿. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 158 – 159

崔智林, 华洪, 宋庆原等. 2000. 晚奥陶世北秦岭弧后盆地放射虫组合. 地质学报, 74(3): 254 – 258

郭召杰, 张志诚, 王建君. 1998. 阿尔金山北缘蛇绿岩带的 Sm-Nd 等时线年龄及其地质构造意义. 科学通报, 43: 1981 – 1984

郝杰, 王二七, 刘小汉, 桑海清. 2006. 阿尔金山脉中金雁山早古生代碰撞造山带: 弧岩浆岩的确定与岩体锆石 U-Pb 和蛇绿混杂岩 ^{40}Ar/^{39}Ar年代学研究的证据. 岩石学报, 22(11): 2743 – 2752

刘良, 车自成, 王焰等. 1999. 阿尔金高压变质岩带的特征及其构造意义. 岩石学报, 15(1): 57 – 64

戚学祥, 吴才来, 李海兵. 2005. 北阿尔金喀孜萨依花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义. 岩石学报, 21(3): 859 – 866

宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质评论, 48(增刊): 26 – 30

吴才来, 杨经绥, 姚尚志, 曾令森, 陈松永, 李海兵, 戚学祥, Wooden JL, Mazdab FK. 2005. 北阿尔金巴什考供盆地南缘花岗杂岩体特征及锆石 SHRIMP 定年. 岩石学报, 21(3): 846 – 858

吴峻, 李继亮, 兰朝利, 俞良军. 2001. 阿尔金红柳沟蛇绿岩研究进展. 地质科学, 36(3): 342 – 349

吴峻, 李继亮, 兰朝利, 俞良军. 2002. 阿尔金红柳沟蛇绿混杂岩中 MORB 与 OIB 组合的地球化学证据. 岩石矿物学杂志, 21(1): 24 – 30

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区地质志. 北京: 地质出版社, 668 – 717

修群业, 于海峰, 刘永顺等. 2007. 阿尔金北缘枕状玄武岩的地质特征及其锆石 U-Pb 年龄. 地质学报, 81(6): 787 – 794

杨经绥, 吴才来, 史仁灯. 2002. 阿尔金山米兰红柳沟的席状岩墙群: 海底扩张的重要证据. 地质通报, 21(2): 69 – 74

杨经绥, 史仁灯, 吴才来, 苏德辰, 陈松永, 王希斌, Wooden J. 2008. 北阿尔金地区米兰红柳沟蛇绿岩的岩石学特征和 SHRIMP 定年. 岩石学报, 24(7): 1567 – 1584

杨子江, 王宗秀, 王成. 2011. 阿尔金山东段恰什坎萨依沟的地层新发现. 中国地质, 38(5): 1257 – 1262

张建新, 孟繁聪, 于胜尧, 陈文, 陈松永. 2007. 北阿尔金 HP/LT 蓝片岩和榴辉岩的 Ar-Ar 年代学及其区域构造意义. 中国地质, 34(4): 558 – 564

张旗, 周国庆, 王焰. 2003. 中国蛇绿岩的分布、时代及其形成环境. 岩石学报, 19(1): 1 – 8