第80卷 第8期 地 质 学 报 ACTA GEOLOGICA SINICA Vol. 80 No. 8
2006年8月 Aug. 2006

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

北天山巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世：来自辉长岩LA-ICPMS锆石U-Pb年龄的证据

徐学义[1)]，李向民[1,2)]，马中平[1,2)]，夏林圻[1)]，夏祖春[1)]，彭素霞[1)]

1）西安地质矿产研究所，710054；2）西北大学地质系，西安，710069

内容提要：北天山巴音沟蛇绿岩中堆晶辉长岩的LA-ICPMS锆石U-Pb测年结果确定：巴音沟蛇绿岩中辉长岩形成的同位素地质年代为344.0±3.4 Ma。表明巴音沟蛇绿岩所代表的洋盆形成于早石炭世。综合前人天山石炭纪蛇绿岩及构造演化的研究成果，笔者认为巴音沟蛇绿岩是大陆板内强烈拉张的产物。

关键词：辉长岩；LA-ICPMS锆石U-Pb测年；巴音沟蛇绿岩；早石炭世

位于中国西北部的天山造山带是中亚巨型复合造山系（又可称为乌拉尔—蒙古巨型古生代复合造山系）的中国境内部分，它是挟持于北部西伯利亚地块与南部塔里木地块、华北地块之间的古亚洲洋，在形成、演化和消亡过程中伴随诸多陆块拼合、增生-俯冲、碰撞造山的产物。古生代蛇绿岩是天山造山带古生代地质演化历史的重要记录，对研究天山古生代洋陆转化具有重要作用。天山造山带由北向南分布有4条重要的古生代蛇绿岩带或蛇绿混杂岩带，分别是北天山晚古生代蛇绿岩带、中天山北缘早古生代蛇绿混杂岩带、中天山南缘早古生代晚期-晚古生代早期蛇绿混杂岩带和南天山晚古生代蛇绿混杂岩带，它们的组成结构及其所揭示的大地构造含义一直是国内外研究的热点问题（邬继易等，1989；王作勋等，1990；肖序常等，1992；高俊等，1993；1995；何国琦等，1994；汤耀庆等，1995；高长林等，1995；李锦轶等，1999，2005；Gao Jun et al.，2001；李向民等，2002；夏林圻等；2002）。分布于中天山北缘断裂带北侧的北天山晚古生代蛇绿岩带，位于北天山伊连哈比尔尕晚古生代构造岩浆岩带内，呈北西西—南东东展布，从艾比湖、经巴音沟向东延伸至后峡地区（王作勋等，1990），构成北天山一条重要的晚古生代蛇绿岩带，巴音沟蛇绿岩是该条蛇绿岩带的重要组成部分和典型代表（图1）。该蛇绿岩最早由新华社（1983）和中国地质报（孙建新、王作勋，1985）报道，闻名于世。加之巴音沟蛇绿岩是当前天山造山带蛇绿岩各组成单元中最为完整的蛇绿岩，因此，巴音沟蛇绿岩的形成时代、性质和形成环境一直是天山地区古生代演化研究的热点之一。

关于巴音沟蛇绿岩形成的时代，目前的资料可归结为两种认识，第一种是依据巴音沟蛇绿岩的下伏地层和上覆地层的时代认为其形成于石炭纪（邬继易等，1989；王作勋等，1990；高长林等，1995），第二种是依据蛇绿岩套上部的放射虫硅质岩中放射虫及牙形刺微体化石定年，认为其形成于晚泥盆至早石炭世（肖序常等，1992）。由于巴音沟蛇绿岩与下伏下石炭统阿克沙克组呈断层接触，与上覆上石炭统奇尔古斯套群呈角度不整合接触，因此根据蛇绿岩下伏及上覆地质体时代无法准确厘定蛇绿岩的形成年龄。前述第二种认识的年龄对象是硅质岩，而硅质岩是蛇绿岩套最上部的岩系，是覆盖于蛇绿岩之上的远洋深海沉积产物，因此，它的时代只能代表蛇绿岩形成时代的上限。而且前人测定的硅质岩年龄是一个时间段，仍然无法准确断定蛇绿岩是形成于晚泥盆世或是早石炭世。鉴于上述两种巴音沟蛇绿岩形成时代依据上的缺陷，徐学义等（2006）对巴音沟蛇绿岩中侵入于堆晶辉长岩中的斜长花岗岩进行了锆石SHRIMP U-Pb年龄测年，测年结果为324.7±7.1 Ma，提出了巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世晚期的认识。由于斜长花岗岩是侵入于辉长岩之中，其形成时代较辉长岩要晚，而辉长岩是原始地幔部分熔融后形成岩浆经分离结晶形成的堆晶岩。因此，相对斜长花岗岩来讲，辉长岩的形成年龄更能确切地反映蛇绿岩形成的准确时代。

注：本文为国土资源大调查项目（编号200313000063，200313000028）、国家自然科学基金项目（编号40472044）联合资助成果。

收稿日期：2006-02-11；改回日期：2006-05-27；责任编辑：郝梓国。

作者简介：徐学义，男，1966年生。研究员，博士。主要从事区域岩石学及地球化学研究。Email：xaxxueyi@cgs.gov.cn。

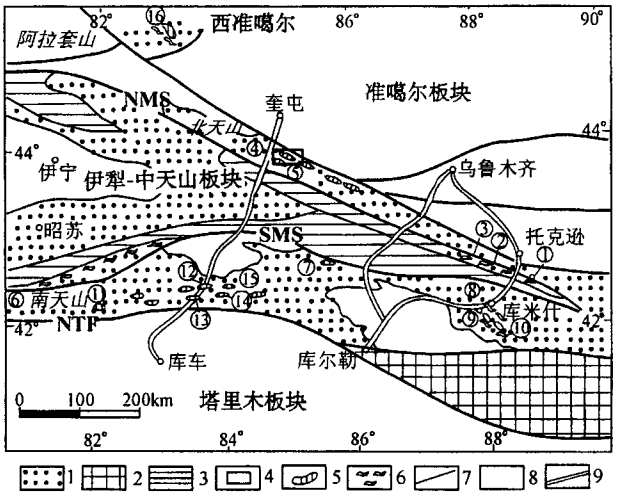

图 1　天山西段地质构造略图(简示古生代蛇绿岩分布据张旗等,2001 修改)

Fig. 1　Geological and tectonic sketch map of west stage of Tianshan (simply showing the distribution of the ophiolite suites of Paleozoic, modified from Zhang et al., 2001)

1—古生代地层;2—前寒武系;3—古生代弧火山-沉积岩系;4—巴音沟蛇绿岩工作区;5—蛇绿岩岩片;6—高压变质带;7—断层;8—中新生代地层;9—公路;①—干沟;②—乌斯特沟;③—米什沟;④—芦苇沟;⑤—巴音沟;⑥—长阿吾子;⑦—古洛沟;⑧—榆树沟;⑨—铜花山;⑩—硫磺山;⑪—米斯布拉克;⑫—库勒湖;⑬—独库公路;⑭—色日牙依布拉克;⑮—科克铁克达坂;⑯—唐巴勒;NMS—中天山北缘断裂带;SMS—中天山南缘断裂带;NTF—塔里木北缘断裂

1—Paleozoic strata; 2—Pro-cambrian; 3—Paleozoic arc volcanic-sedimentary system; 4—Batingou ophiolite; 5—ophiolite block; 6—high pressure metamorphic belt; 7—fault; 8—Meso-Cenozoic strata; 9—highway; ①—Gangou; ②—Wusitegou; ③—Mishengou; ④—Luweigou; ⑤—Bayingou; ⑥—Chang'awuzi; ⑦—Guluogou; ⑧—Yushugou; ⑨—Tonghuashan; ⑩—Liuhuangshan; ⑪—Misibulake; ⑫—Kulehai; ⑬—Dushanzi—Kuqe highway; ⑭—Seriyayi Bulake; ⑮—Keketieke Daban; ⑯—Tangbale; NMS—fault belt in the north margin of middle Tianshan; SMS—fault belt in the south margin of middle Tianshan; NTF—belt in the north margin of Tarim

目前,单颗粒锆石阴极发光照相和高分辨率离子探针(SHRIMP)和激光剥蚀等离子质谱 U-Pb 测年已成为研究单个地质事件强有力的手段(Gebauer,1996;Gebauer et al.,1997;Vavra et al.,1996;Williams et al.,1996)。因此,在前期斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年的基础上,本文选择蛇绿岩辉长岩中的锆石,利用激光剥蚀等离子质谱(LA-ICPMS)方法进行单颗粒锆石 U-Pb 精确定年,以求更为准确地厘定巴音沟蛇绿岩的形成时代。

1　地质背景和样品特征

1.1　地质背景及岩相学特征

巴音沟蛇绿岩位于"中天山北缘断裂"北侧,是北天山晚古生代构造岩浆作用的重要组成部分。巴音沟地区从南西至北东存在三个主要地质单元,依次为下石炭统阿克沙克组,巴音沟蛇绿岩和上石炭统奇尔古斯套组。巴音沟蛇绿岩呈推覆岩片逆冲于阿克沙克组之上,其上又被上石炭统奇尔古斯套组角度不整合覆盖(图 2)。前人(邬继易,1989;新疆维吾尔自治区地质矿产局,1999)曾将该蛇绿岩单元视为一个地层单元,并将其称作"沙大王组"。

下石炭统阿克沙克组由早石炭世火山-沉积岩系组成,包括有低级变质沉积岩和火山岩。变沉积岩为浅海相至陆相浊积岩、灰岩、页岩、粉砂岩(含维宪阶蜒足类和珊瑚化石(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1999)、砂岩和砾岩。火山岩占比重最大,有玄武岩、安山岩和凝灰岩,形成同沉积夹层。

蛇绿岩单元由蚀变超基性岩、含斜长花岗岩脉的辉长岩、闪长岩、辉绿岩墙、枕状玄武岩、块状熔岩(玄武岩、安山岩)、基性凝灰岩和硅质岩组成。缺失典型席状辉绿岩墙。辉绿岩墙清楚地根植于辉长岩中,对上覆玄武岩起着补给通道的作用。在巴音沟地区,虽然蛇绿岩组合出露的比较完整,但原始的蛇绿岩组合已被后期构造变动破坏。蚀变超基性岩主要由蛇纹岩化方辉橄榄岩和纯橄岩组成。

上石炭统奇尔古斯套组,主要由碎屑岩和火山碎屑岩组成。

蛇绿岩中辉长岩具有较为典型的层状堆积构造,由粗粒辉长岩和细粒辉长岩互层构成,露头外可见数个粗-细堆积韵律。闪长岩呈脉状出现于蛇绿岩中,具半自形晶结构,主要由含量近于相等的斜长石和角闪石组成,部分角闪石已蚀变为阳起石,少量其它矿物包括钾长石、榍石、磁铁矿、钛铁矿和石英,有时可见单斜辉石、锆石、磷灰石和黑云母。辉绿岩呈辉绿结构,有时见斑状结构,斜长石通常被单斜辉石所环绕,少量矿物有钛铁矿、磁铁矿、榍石、磷灰石和锆石。基性熔岩通常具有聚斑结构,玻基交织结构、斑状结构或微晶结构,主要由斜长石、单斜辉石、磁铁矿、钛铁矿和少量锆石组成,发育低级变质作用形成钠长石、绿帘石、绿泥石、方解石、榍石和阳起石等矿物,它们常出现在基质中。枕状玄武岩是构成蛇绿岩的主体,具斑状结构,斑晶主要为斜长石和少量单斜辉石,基质为间隐结构(玻璃质已脱玻化),斜长石微晶发育海相火山岩特有的水下"淬火"结构。

本次研究所取的辉长岩(为粗粒辉长岩,主要由

粗粒斜长岩和单斜辉石组成，斜长石通常被辉石包裹构成嵌晶结构，岩石中含有少量钛铁矿、磁铁矿、榍石、锆石及石英(含量<5%)。可见斜长石、具辉石假晶的角闪石充填于重结晶纳质斜长石构成的间隙中，岩石中不均一分布的绿色角闪石、阳起石、绿帘石、绿泥石、方沸石、方解石。

1.2 样品地球化学特征

辉长岩样品(04T-11)主量和微量元素分析在中国地质大学实验测试中心的 XRF 和 ICPMS 实验室进行。主量元素含量如下：SiO_2(52.72%)、TiO_2(0.80%)、Al_2O_3(15.25%)、Fe_2O_3(3.03%)、FeO(5.60%)、MnO(0.18%)、MgO(7.23%)、CaO(8.88%)、Na_2O(2.02%)、K_2O(0.56%)、P_2O_5(0.27%)。据徐学义等(2006)研究成果，辉长岩稀土总量低，为 27.58(μg/g)，球粒陨石标准化图解具有轻稀土亏损的配分模式，$(Ce/Yb)_N=0.63$。$Eu/Eu^*=1.30$，呈左倾式分布，展示出与 N-MORB 一致的特征。微量元素原始地幔标准化分布型式与 N-MORB 类似(Sun，1980)，但大离子亲石元素 Rb、Ba、Sr 变化较大，可能是后期蚀变引起的。辉长岩的初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值变化于 0.70306，$\varepsilon_{Nd}(t)=8.37$(按斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄回算，$t=324.7$ Ma)，具有低的锶同位素初始比值和高的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值，在 $^{87}Sr/^{86}Sr(t)$ 对 $\varepsilon_{Nd}(t)$($t=325$ Ma)相关图解中显示出具 MORB 地幔源同位素特征。上述地球化学特征表明辉长岩应为蛇绿岩的组成部分。

2 实验条件及定年结果

2.1 实验条件

将所采的辉长岩样品(约 25 kg)，在实验室粉碎至 80～100 目，经常规浮选和磁选方法分选后，得到>200 粒锆石。在双目镜下挑选出晶形较完好的锆石作为测定对象。将锆石样品置于 DEVCON 环氧树脂中，待固结后抛磨至锆石粒径的大约二分之一，使锆石内部充分暴露，然后进行锆石显微(反射光和透射光)照相、CL 显微图像研究及 LA-ICPMS 分析。

锆石的阴极发光(CL)研究在北京大学信息科学技术学院扫描电镜实验室完成，采用 FEI 公司 XL30 型 SFEG 电子束进行锆石内部结构显微照相分析。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 照片反复对比，力求避开内部裂隙和包裹体，以获得较准确的年龄信息。

LA-ICPMS 法单颗粒锆石微区 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学教育部重点实验室的 Agilent7500 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF，波长 193 nm)以及 MicroLas 公司的 GeoLas 200M 光学系统的联机上进行。激光束斑直径为 30 μm，激光剥蚀样品的深度为 20～40 μm。实验中采

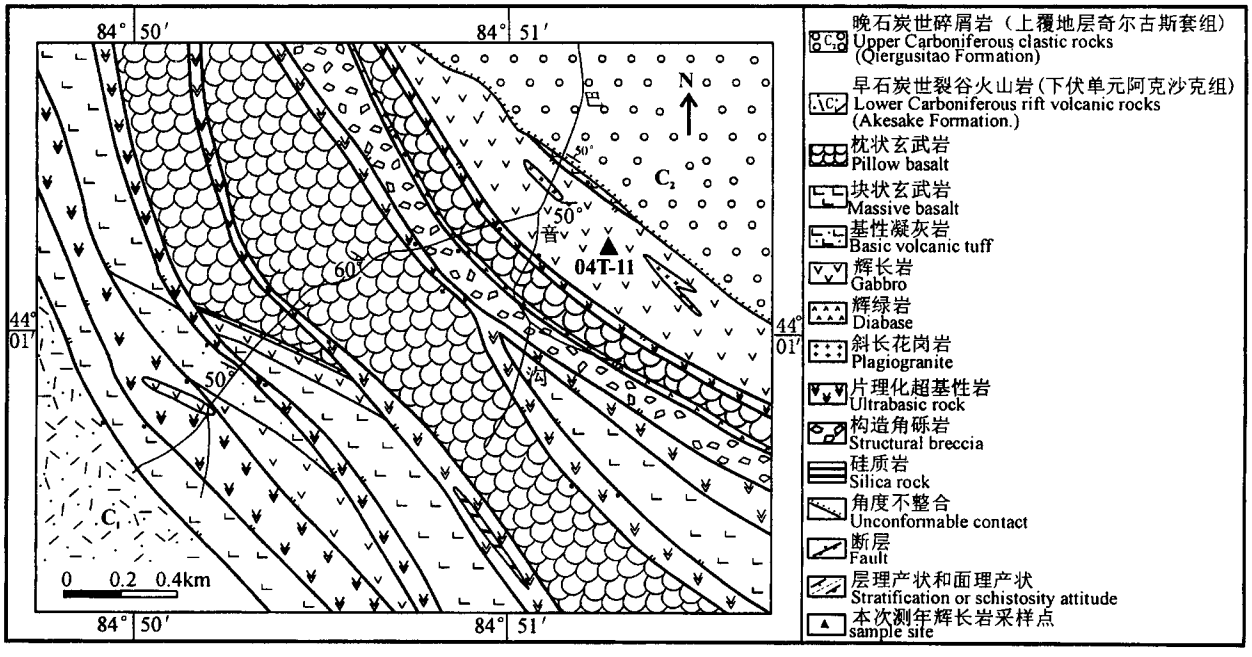

图 2 巴音沟蛇绿岩平面地质略图及辉长岩采样位置图

Fig. 2 Geological sketch map of Bayingou ophiolite fragments and the site of the gabbro sample

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个点的跳峰方式,每完成 4～5 个测点的样品测定,加测标样一次。在所测锆石样品 15～20 个点前后各测 2 次 NIST SRM610。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质,元素含量采用 NIST SRM610 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,2000;Ballard et al.,2001;Kosler et al.,2002;袁洪林等,2003)。

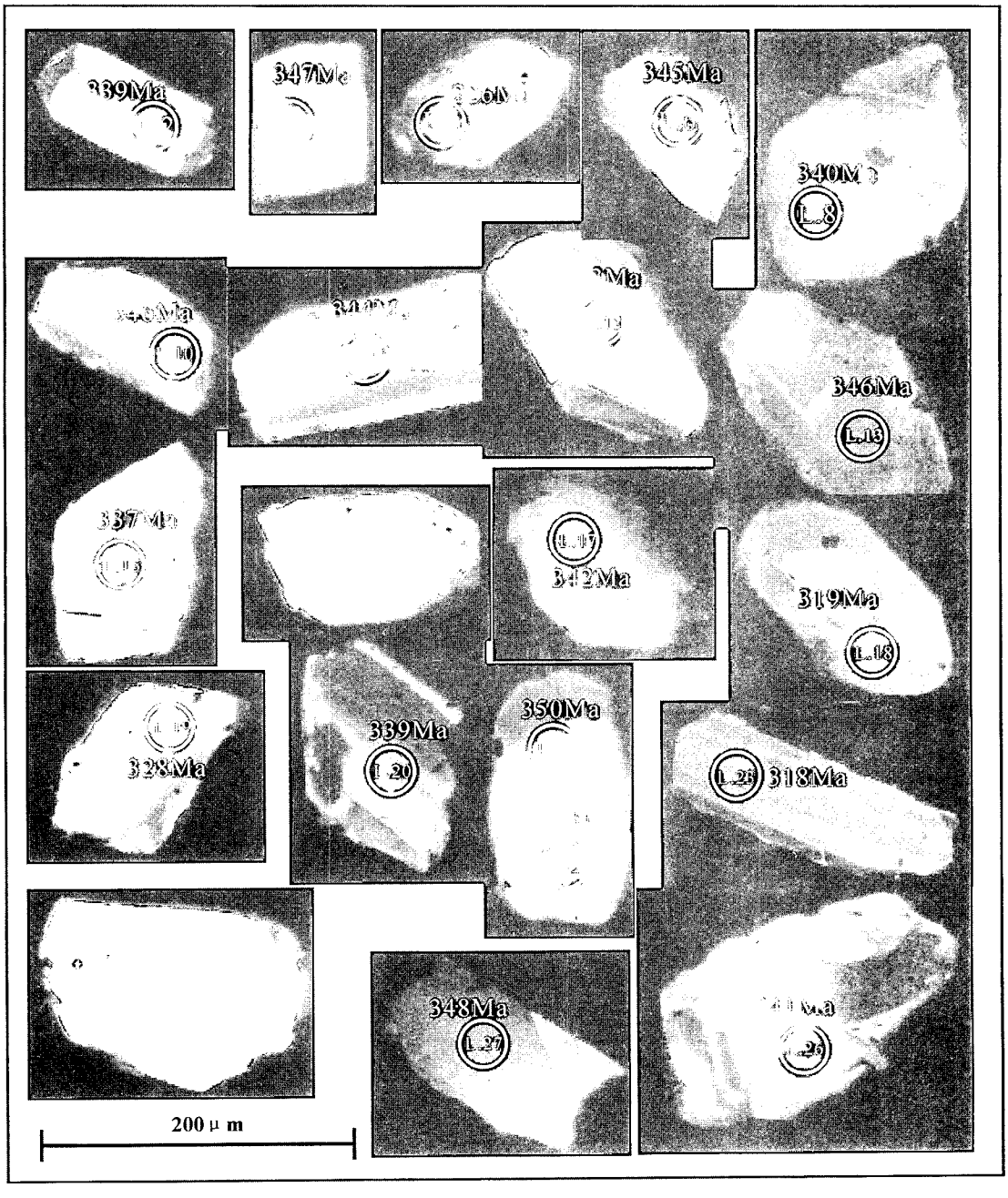

图 3　巴音沟辉长岩中锆石的 CL 图像

Fig. 3　CL images of the representative analyzed zircons from the gabbros in Bayingou ophiolite

圈和数字分别表示 U-Pb 分析位置、测量编号和 $^{206}Pb/^{238}U$ 表观年龄

Circle and number in the circle are analysis location and number of samples respectively; other numbers are $^{206}Pb/^{238}U$ age

表 1　巴音沟蛇绿岩中辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素测年数据

Table 1　LA-ICPMS zircon U-Pb isotope data for gabbros in Bayingou ophiolite

样品测试点	元素含量($\times10^{-6}$)及比值				同位素比值								表面年龄(Ma)							
	ΣPb	Th	U	Th/U	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{208}Pb}{^{232}Th}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{208}Pb}{^{232}Th}$	1σ
04T-11-L.2	55.523	52.72	207.97	0.253	0.05391	0.00211	0.40145	0.01527	0.05401	0.00052	0.01689	0.00013	367	91	343	11	339	3	339	3
04T-11-L.3	73.92	77.17	264.04	0.292	0.06445	0.00332	0.4924	0.02448	0.05538	0.0008	0.03726	0.00123	756	81	407	17	347	5	739	24
04T-11-L.4	65.41	208.98	381.77	0.547	0.05102	0.00133	0.25171	0.00611	0.03576	0.00026	0.01046	0.00014	242	42	228	5	226	2	210	3
04T-11-L.6	102.6	124.26	375.96	0.330	0.05402	0.00171	0.40919	0.01255	0.05494	0.00042	0.01718	0.00011	372	73	348	9	345	3	344	2
04T-11-L.8	75.83	52.02	275.99	0.188	0.0573	0.00179	0.42733	0.01296	0.05409	0.00042	0.0168	0.00018	503	71	361	9	340	3	337	4
04T-11-L.10	41.732	44.86	141.07	0.318	0.05581	0.00256	0.42389	0.01901	0.05509	0.00053	0.01716	0.00012	445	105	359	14	346	3	344	2
04T-11-L.11	34.883	24.04	128.82	0.187	0.05416	0.00214	0.40933	0.01567	0.05481	0.00052	0.01713	0.00013	378	91	348	11	344	3	343	3
04T-11-L.12	115.93	193.03	410.49	0.470	0.06206	0.00199	0.46791	0.01459	0.05469	0.00043	0.01682	0.00011	676	70	390	10	343	3	337	2
04T-11-L.13	122.45	147.59	465.82	0.317	0.05308	0.00105	0.40353	0.00709	0.05512	0.00035	0.01606	0.00023	332	28	344	5	346	2	322	5
04T-11-L.15	27.741	18.36	99.1	0.185	0.05303	0.00292	0.39232	0.02109	0.05366	0.00063	0.01682	0.00019	330	128	336	15	337	4	337	4
04T-11-L.16	13.41	11.12	41.27	0.269	0.05976	0.00456	0.45773	0.03408	0.05553	0.00107	0.02969	0.0019	595	129	383	24	348	7	591	37
04T-11-L.17	59.266	40.99	255.8	0.160	0.05281	0.00142	0.39692	0.00993	0.05449	0.00042	0.01766	0.00046	321	43	339	7	342	3	354	9
04T-11-L.18	1463.34	363.47	518.63	0.701	0.07933	0.00157	0.5551	0.00967	0.05073	0.00036	0.0222	0.00025	1180	23	448	6	319	2	444	5
04T-11-L.19	74.57	56.79	204.78	0.277	0.05427	0.004	0.39069	0.02848	0.05221	0.00059	0.01632	0.00039	382	170	335	21	328	4	327	8
04T-11-L.20	85.32	96.89	318.73	0.304	0.05327	0.00261	0.39676	0.01905	0.05402	0.00051	0.01692	0.00018	340	114	339	14	339	3	339	4
04T-11-L.21	17.847	12.2	59.34	0.206	0.07485	0.00529	0.57635	0.03943	0.05583	0.00116	0.04045	0.00263	1064	104	462	25	350	7	801	51
04T-11-L.22	60.34	30.04	121.59	0.247	0.06541	0.00306	0.49313	0.02223	0.05466	0.00071	0.09615	0.00201	788	73	407	15	343	4	1856	37
04T-11-L.23	454.41	301.52	759.35	0.397	0.05477	0.0013	0.3821	0.00829	0.05058	0.00036	0.01726	0.00024	403	36	329	6	318	2	346	5
04T-11-L.24	153.69	176.03	577.5	0.305	0.05658	0.00162	0.42212	0.01169	0.05411	0.00038	0.01683	0.00012	475	65	358	8	340	2	337	2
04T-11-L.26	105.44	117.36	390.13	0.301	0.05736	0.00185	0.42957	0.01341	0.05431	0.00043	0.01686	0.00012	505	73	363	10	341	3	338	2
04T-11-L.27	144.08	211.88	535.12	0.396	0.05366	0.00139	0.40985	0.01022	0.0554	0.00038	0.01734	0.00009	357	60	349	7	348	2	347	2

2.2 锆石特征

巴音沟蛇绿岩辉长岩中锆石含量较低,锆石晶粒无色透明,呈短柱状或等粒状,大小 50～150 μm。CL 图像(图 3)揭示,锆石的内部结构较为复杂,可分为 4 种类型。第一种类型具有较宽的环带结构或模糊的环带结构,显示了高温环境岩浆锆石的特点(吴元保等,2004),如 L. 4、L. 12、L. 17、L. 18、L. 26 号锆石,Th/U 比值为 0. 160～0. 701。第二种类型为明暗相间的条带结构(L. 2、L. 6、L. 10、L. 11、L. 15、L. 20、L. 23),Th/U 比值为 0. 185～0. 397;第三种锆石为扇形分带结构(L. 3、L. 19、L. 21、L. 22、L. 27、L. 24),Th/U 比值为 0. 202～0. 396。以上 4 种锆石的 Th/U 比值多在 0. 16～0. 4 之间变化,变化范围较小,个别可达 0. 7 左右,且 Th、U 含量呈现较好的正相关关系(图 4a),与典型岩浆锆石特征一致。在即将述及的锆石 U-Pb 一致曲线图中构成比较集中的锆石群,表明它们是从同一岩浆结晶的产物。在 L. 4 号锆石中,边部 CL 图像很暗的边,可能是后期增生的锆石。

2.3 同位素测年结果

采用 glitter(ver4. 0,Mac-quarie University)程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(Andersen, 2002),用 LAM-ICPMS Common Lead Correction(ver3. 15)对其进行普通铅校正,分析数据详见表 1,年龄计算及谐和图采用 Isoplot(ver3. 0)完成(Ludwig,1991)。

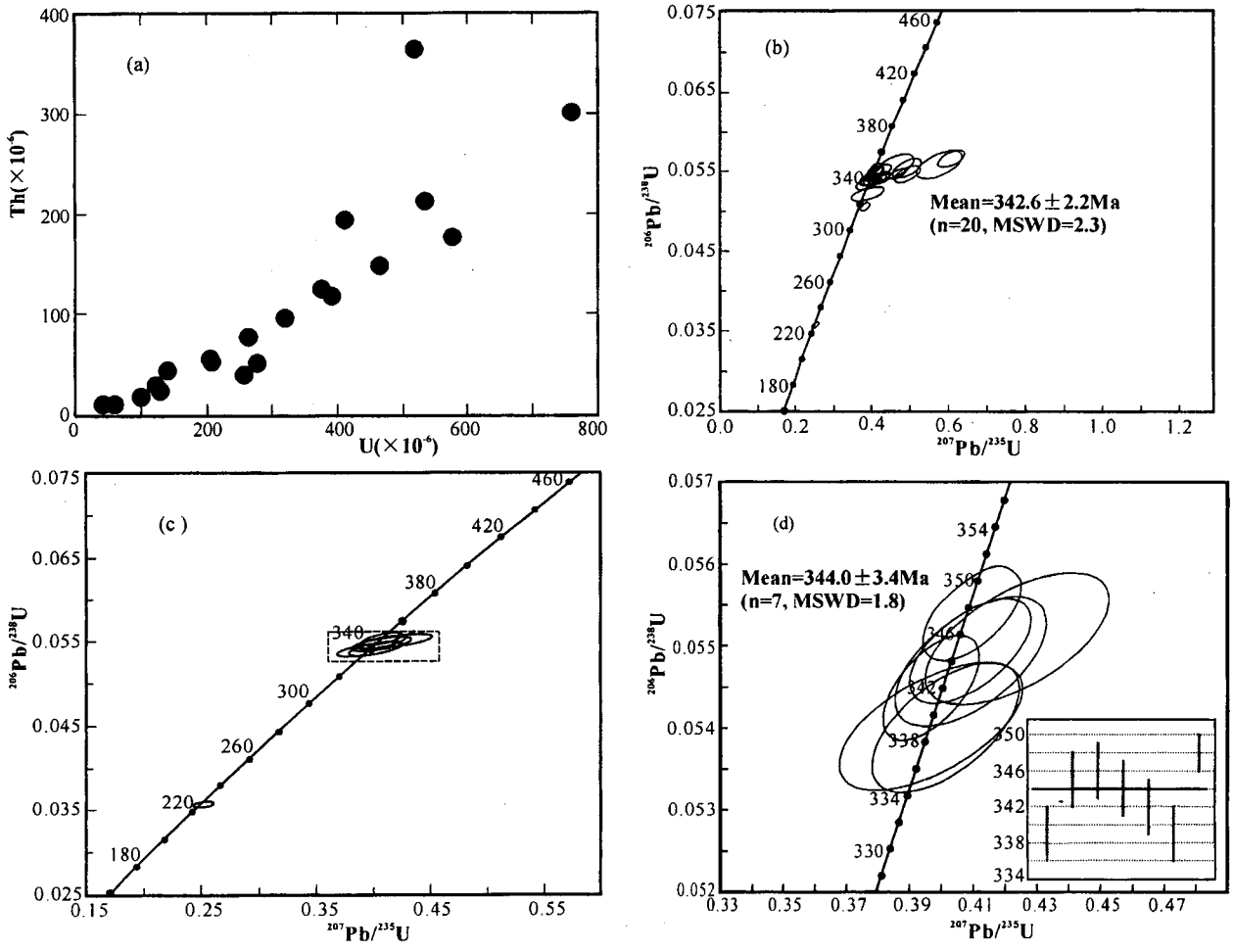

图 4　巴音沟辉长岩锆石 Th-U 图解(a)和 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄谱(b,c,d)

Fig. 4　Th-U contents(a) and LA-ICPMS zircon U-Pb concordia(b,c,d) age diagrams from the gabbros of Bayingou ophiolite

(a)—投点包括岩浆锆石;(b)—所有测年点的锆石 U-Pb 年龄谱;(c)—7 个测年点的锆石 U-Pb 年龄谱;(d)—为 c 图的方框内的放大图

(a)—Including magmatic zircons; (b)—U-Pb concordia diagram of all zircons; (c)—U-Pb concordia diagram of six zircons; (d)—enlarge U-Pb concordia diagram of zircons in the figure (c)

所有 21 个分析点中的 20 个点在锆石 U-Pb 谐和图中构成非常集中的主锆石群(图 4b),其$^{206}Pb/^{238}U$ 的加权平均年龄为 342.6±2.2 Ma (MSWD=0.19),该年龄代表了巴音沟蛇绿岩辉长岩的结晶年龄。需指出的是,在所有主锆石群的 20 个点中,L.2、L.6、L.13、L.17、L.20、L.27 共 7 个点具有一致的 $^{206}Pb/^{207}Pb$、$^{207}Pb/^{235}U$、$^{206}Pb/^{238}U$、$^{208}Pb/^{232}Th$ 表面年龄,在 U-Pb 一致曲线图中集中分布于谐和线上(图 4c,d),说明这些锆石在构造演化中没有发生 Pb 明显的丢失,该 7 个点的$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄加权平均为 344.0±3.4 Ma(MSWD=1.8)。这个数值和 20 个点所得的$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄加权平均值在误差范围内一致。除上述 7 个点外,其它 13 个测试点的$^{206}Pb/^{207}Pb$、$^{207}Pb/^{235}U$、$^{206}Pb/^{238}U$、$^{208}Pb/^{232}Th$ 表面年龄不尽一致,尤其表现为$^{206}Pb/^{207}Pb$ 表面年龄偏大,在 U-Pb 一致曲线上位于谐和线右方或偏右方,说明存在不同程度的 Pb 丢失,但其$^{206}Pb/^{238}U$ 仍然具有一致性,并在误差范围内与 20 个点的$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄的加权平均值一致。测试点 L.4 具有很低且一致的$^{206}Pb/^{207}Pb$、$^{207}Pb/^{235}U$、$^{206}Pb/^{238}U$、$^{208}Pb/^{232}Th$ 表面年龄,明显低于主锆石群所显示的年龄,该测试点位于锆石颗粒的边部,CL 图像非常弱,与锆石主体 CL 图像有一定的差异,表示该测试点的$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄(226 Ma)代表的是后期变质事件的年龄。这里我们将 7 个没有发生明显铅同位素丢失的测试点的$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄加权平均值 344.0±3.4 Ma(MSWD=1.8)作为辉长岩的结晶年龄。

3 讨论与结论

巴音沟蛇绿岩组成单元中辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素测年结果为 344.0±3.4 Ma (MSWD=1.8),这一结果与徐学义等(2006)在同一地区报导的侵入于辉长岩中的斜长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(324.7±7.1 Ma)相差了近 20 Ma。由于巴音沟斜长花岗岩具有典型大洋斜长花岗岩的地球化学特征,为蛇绿岩岩浆晚期结晶分异作用的产物(徐学义等,2006),它的结晶时代相对于蛇绿岩的基性岩浆(如辉长岩)的结晶时代来说要偏晚。因此,本次所获得的辉长岩的结晶年龄(344.0±3.4 Ma)相对于斜长花岗岩的结晶年龄来说,更能确切地反映巴音沟蛇绿岩形成的时代;辉长岩与斜长花岗岩间 20 Ma 的年龄差距,则可能反映了巴音沟蛇绿岩基性岩浆演化为酸性岩浆所经历的结晶分异作用的持续时间。此外,笔者在进行巴音沟蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年时还获得了 343.1～348 Ma 捕获锆石年龄,当时认为它的地质意义还不明确,有可能代表了斜长花岗岩的寄主岩石——辉长岩的结晶年龄(徐学义等,2006),现在看来,当时的推测还是正确的。巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世,为进一步探讨天山石炭纪的构造演化提供了新的资料。

致谢:感谢评审员提出的宝贵意见。成文过程中与肖文交研究员、李文渊研究员进行了多次有益的讨论。LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测年得到了西北大学大陆动力学实验室的大力支持,柳小明研究员在年龄运用方面提出了许多有益的建议并帮助进行了数据处理。在此一并致谢。

参 考 文 献

高长林,崔可锐,钱一雄,刘斌,丁道桂,殷伟. 1995. 天山微板块构造与塔北盆地. 北京:地质出版社,1～284.

高俊,肖序常,汤耀庆. 1993. 南天山库米什蓝片岩的发现及其大地构造意义. 中国区域地质,4:344～347.

高俊,汤耀庆,赵民. 1995. 新疆南天山蛇绿岩的地质地球化学特征及形成环境初探. 岩石学报,11(增刊):85～97.

何国琦,李茂松,刘德权. 1994. 中国新疆古生代地壳演化与成矿. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1～437.

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,何国琦,徐新,李华芹,孙桂华,杨天南,高立明,朱志新. 2005. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨. 地质学报,80(1):148～168.

李向民,董云鹏,徐学义,夏林圻,马中平. 2002. 中天山南缘乌瓦门地区发现蛇绿混杂岩. 地质通报,21(6):304～307.

汤耀庆,高俊,赵民,李锦轶,王军. 1995. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩. 北京:地质出版社,1～133.

王作勋,邬继易,吕喜朝,张经国. 1990. 天山多旋回构造及成矿. 北京:科学出版社,1～217.

邬继易,刘成德. 1989. 北天山巴音沟蛇绿岩的地质特征. 岩石学报,5:76～87.

吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报,49(16):1589～1604.

夏林圻,夏祖春,徐学义,李向民,马中平,王利社. 2002. 天山古生代洋陆转化特点的几点转考. 西北地质,35(4):9～20.

肖序常,汤耀庆,冯益民,朱宝清,李锦轶,赵民. 1992. 新疆北部及邻区大地构造. 北京:地质出版社,1～169.

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1999. 新疆维吾尔自治区岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社,1～430.

徐学义,夏林圻,马中平,王彦斌,夏祖春,李向民,王立社. 2006. 北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄蛇绿岩成因研究. 岩石学报,22(1):83～94.

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.

张旗,周国庆. 2001. 中国蛇绿岩. 北京:地质出版社,1～182.

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that

do not report ^{204}Pb. Chemical Geology, 192:59～79.

Ballard J R, Palin J M, Williams I S, et al. 2001. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquicamata copper deposit of northern Chilc by ELA-ICP-MS and SHRIMP. Geology, 29:383～386.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjaing Uygur Autonomous Region. 1999. Stratigraphy (lithostratic) of Xinjiang Uygur autonomous region. Wuhan: China University of Geosciences Publishing House, 1～430 (in Chinese).

Gao C L, Cui K R, Qian Y X. 1995. Microplate tectonics from the Tianshan mountains and northern Tarim basin. Beijing: Geological Publishing House, 1～284 (in Chinese with English abstract).

Gao J, Xiao X C, Tang Y Q. 1993. The discovery of Kumishi blueschist and its tectonic significance form South Tianshan Mountains. Chinese Regional Geology, 4: 344～347 (in Chinese with English abstract).

Gao J, Tang Y Q, Zhao M. 1995, The geochemistry and tectonic setting of the ophiolites in southern Tianshan mountains, Xinjiang, China. Acta Petrologica Sinica (supplement), 11: 85～97 (in Chinese with English abstract).

Gao J, Zhang L, Liu S. 2001. The $^{40}Ar/^{39}Ar$ age record of formation and uplift of the blueschists and eclogites in the Western Tianshan Mountains. Chin. Sci. Bull., 45: 1047～1051.

Gebauer D A. 1996. *P-T-t* path for an (ultar) high-pressure ultramafic-mafic rock-association and istits felsic country-rocks based on SHRIMP-dating of magmatic and metamorphic zircon domains. Example: Alpe armi (Central Swiss Alps). In: Earth processes reading the isotopic code. Geophysical Monograph, 95: 307～329.

Gebauer D, Schertl H P, Brix M. 1997. 35Ma old ultrahigh-pressure metamorphism and evidence for very rapid exhumation in the Dora Maira Massif. Wester Alps Lithos, 41: 5～24.

He G Q, Li M S, Liu D Q. 1994. Paleozoic crustal evolution and m ineralization in Xinjiang of China. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House, 1～437(in Chinese).

Horn I, Rudnick R L, Mcdonough W F. 2000. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICP-MS: application to U-Pb geochronology. Chemical Geology, 167:405～425.

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

Li J Y, Xiao X C. 1999. The review on some questions about the tectonic evolution and crustal structure of Xinjiang, China. Science of Geology, 34(4): 405～419(in Chinese with English abstract).

Li J Y, He G Q, Xu X, Li H Q, Sun G H, Yang T N, Gao L M, Zhu Z X. 2005. Crustal tectonic framework of Northern Xijiang and adjacent regions and its formation. Acta Geologica Sinica, 80 (1): 148～168(in Chinese with English abstract).

Li X M, Dong Y P, Xu X Y, Xia L Q, Ma Z P, Wang L S. 2002. The discovery of ophiolitic mélange in Wuwamen area from southern margin of central Tianshan mountains. Gological Bulletin of China, 21(6): 304～307(in Chinese with English abstract).

Ludwig K R. 1991. Isoplot——A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. US Geological Survey Open-File Report. 39:91～445.

Sun S S. 1980. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. Phil. Trans. R. Soc. Lond., A297: 409～455.

Tang Y Q, Gao J, Zhao M, et al. 1995. The ophiolites and blueschists from southwestern Tianshan mountains. Beijing: Geological Publishing House, 1～133 (in Chinese with English abstract).

Vavra G, Gebauer D, Schmid R. 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.

Wang Z X, Wu J Y, Lu X C, Zhang J G. 1990. Polycyclic tectonic evolution and metallogeny of the Tianshan mountains. Beijing: Science Press, 1～217 (in Chinese with English abstract).

Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: Mckibben M A, Shanks W C, Ridley W I, eds. Applications of Microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. Review of Economical Geology, 7: 1～35.

Wu J Y, Liu C D. 1989. Geological characteristics of Bayingou ophiolite from northern Tianshan Mountains. Acta Petrologica Sinica, 5:76～87 (in Chinese with English abstract).

Wu Y B, Zheng Y F. 2004. Study of zircon minerageny and its interpretation to U-Pb ages. China Science Bulletin, 49(16): 1589～1604.

Xia L Q, Xia Z C, Xu X Y, Li X M, Ma Z P, Wang L S. 2002. Some thoughts on the characteristics of Paleozoic ocean-continent transition from Tianshan Mountains. Northwestern Geology, 35 (4): 9～20 (in Chinese with English abstract).

Xiao X C, Tang Y Q, Feng Y M, Zhu B Q, Li J Y, Zhao M. 1992. Tectonic evolution of northern Xinjiang and its adjacent regions. Beijing: Geological Publishing House, 1～169 (in Chinese with English abstract).

Xu X Y, Xia L Q, Ma Z P, Wang Y B, Xia Z C, Li X M, Wang L S. 2006. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of the plagiogranites from Bayingou ophiolite in north Tianshan mountains and the petrogenesis of the ophiolite. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 83～94(in Chinese with English abstract).

Yuan H L. Wu F Y, Gao S. 2003. LA-ICPMS zircon U-Pb dating and REE analysis of Cenozoic intrusion from northeastern region of China. China Sciences Bulletin, 48(14):1511～1520.

Zhang Q, Zhou G Q. 2001. Ophiolites of China. Beijing : Geological Publishing House, 1～182 (in Chinese).

LA-ICPMS Zircon U-Pb Dating of Gabbro from the Bayingou Ophiolite in the Northern Tianshan Mountains

XU Xueyi[1)], LI Xiangmin[1,2)], MA Zhongping[1,2)], XIA Linqi[1)], XIA Zuchun[1)], PENG Suxia[1)]

1) *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xian, Shaanxi*, 710054

2) *Geology Department, Northwestern University, Xian, Shaanxi*; 710069

Abstract

A LA-ICPMS zircon U-Pb dating of gabbro from the Bayingou ophiolite in the northern Tianshan Mountains indicates that the magmatic age of the gabbro is 342.6±2.2 Ma (2σ), which shows the ocean basin represented by the Bayingou ophiolite was formed in the Early Carboniferous. Combined with studies of other geologists, we suggest that the Bayingou ophiolite occurred in a transition tectonic setting from continental rifting to ocean rifting.

Key words: gabbro; IA-ICPMS dating; Bayingou ophiolite; Early Carboniferous