北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩锆石SHRIMP测年及其意义

徐学义[1)]，马中平[1,2)]，夏林圻[1)]，王彦斌[3)]，李向民[1,2)]，夏祖春[1)]，王立社[1,2)]

1）中国地质调查局西安地质矿产研究所，710054； 2）西北大学地质学系，西安，710069

3）中国地质科学院北京离子探针中心，100037

内容提要：北天山巴音沟蛇绿岩中斜长花岗岩仅产于辉长岩顶部，二者呈突变或渐变接触关系。本文应用SHRIMP方法对斜长花岗岩进行了锆石U-Pb定年，获得了324.8±7.1 Ma(2σ)的年龄，这一年龄精确反映了巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世。巴音沟蛇绿岩代表了天山晚古生代"红海型"洋盆的地质记录。

关键词：斜长花岗岩；巴音沟蛇绿岩；SHRIMP；早石炭世

分布于中天山北缘断裂带北侧的北天山蛇绿岩带，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，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。该蛇绿岩最早由新华社和中国地质报报道(王作勋等，1990)而闻名于世。关于巴音沟蛇绿岩的形成时代，多年来研究认识并不一致，归结起来主要有两种：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；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微体化石(*Ceratoikiscum* sp.)定年，认为其形成于晚泥盆至早石炭世(王作勋等，1990；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。前述第二种认识确定了蛇绿岩形成时代的上限，但它是一个时间段，仍然无法断定蛇绿岩是形成于晚泥盆世或是早石炭世。同样，对巴音沟蛇绿岩形成环境的认识亦不一致，有边缘海盆环境(邬继易等，1989)、弧后盆地(王作勋等，1990；高长林等，1995)、弧前盆地(卢华复等，2001)、准噶尔早古生代洋盆(古亚洲洋盆的组成部分)向南俯冲诱发岩石圈拉伸而形成的小洋盆环境(肖序常等，1992；高俊等，1997)等。笔者等(夏林圻等，2002；Xia et al.，2003，2004)最新的研究表明，石炭纪时，天山古生代洋盆已经关闭，天山造山带进入到造山期后裂谷拉伸阶段并伴随着大规模的裂谷火山岩浆作用。因此，在前期研究的基础上，准确厘定巴音沟蛇绿岩形成时代，是确定该蛇绿岩的形成环境，研究天山晚古生代构造演化的一个关键地质问题。本文在对巴音沟蛇绿岩中侵入于堆晶辉长岩中斜长花岗岩岩相学分析的基础上，选择SHRIMP锆石U-Pb法进行年代学研究，以准确测定巴音沟蛇绿岩的形成时代，探讨巴音沟蛇绿岩形成的构造环境。

1 地质概况和岩相学

在北天山中段独库公路至安集海地区，共出露4个蛇绿岩残片，巴音沟蛇绿岩是其中之一(图1a)。野外填图揭示，巴音沟地区从南西至北东存在两个主要单元："下伏地层"和"蛇绿岩单元"(图1b)：

基底单元由早石炭世火山岩系(阿克沙克组)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(含维宪阶蜿足类和珊瑚化石(新疆维吾尔自治区地质矿产局，1999)、砂岩和砾岩。火山岩在基底单元中占比重最大，有玄武岩、安山岩和凝灰岩，形成同沉积夹层。基底单元的成分(即砂岩、页岩、砾岩和火山岩)和内部结构(韵律层、浊积岩)强烈指示了大陆裂谷内的堆积作用。

下伏地层与蛇绿岩残块之间为断层接触。巴音沟蛇绿岩单元由蛇纹石化方辉橄榄岩、含斜长花岗

注：本文为中国地质调查局综合研究项目(编号 200313000063)和国家自然科学基金资助项目(编号 40472044)的成果。

收稿日期：2004-09-21；改回日期：2005-02-18；责任编辑：郝梓国。

作者简介：徐学义，男，1966年生。博士，研究员，主要从事岩石学、区域地质学研究。通讯地址：710054，西安市友谊东路166号，西安地质矿产研究所；电话：029—87821930；Email：xamzhongping@cgs.gov.cn。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

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。辉绿岩墙清楚地侵入于辉长岩中,在玄武岩浆运移过程中,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,但原始的蛇绿岩层序已被后期构造变动破坏。辉长岩露头局部富含斜长石,指示一种线理或层理。辉长岩和块状玄武岩之间目前为段层接触,形成一个数米宽的段层破碎带;斜长花岗岩呈小岩株、岩枝或透镜状侵位于辉长岩顶部,与辉长岩呈突变接触关系,而超基性岩中并未见有斜长花岗岩产出,并且其周围也未见有角闪岩相变质及韧性剪切作用,从而区别于与蛇绿岩相伴生的其他类型花岗岩,如"剪切型"、"俯冲型"和"仰冲型"花岗岩(李武显等,2003; Li Wuxian et al.,2003),而应属大洋玄武岩浆在低压条件下结晶分异型斜长花岗岩。前人(邬继易等,1989)曾将该蛇绿岩单元视为一地层单元,并将其称作"沙大王组"。

蛇绿岩被晚石炭世碎屑岩和火山碎屑岩(上覆地层单元—奇尔古斯套组)不整合覆盖。

岩石地球化学的精细研究表明(夏林圻等,2002; Xia et al.,2003,2004),巴音沟地区早石炭世镁铁质熔岩的多数成分点均落入板内玄武岩(WPB)区,但也有一些样品落入洋脊玄武岩(MORB)区。稀土元素和微量元素特征亦证明,早石炭世火山岩系确是产于一种大陆板内裂谷拉伸环

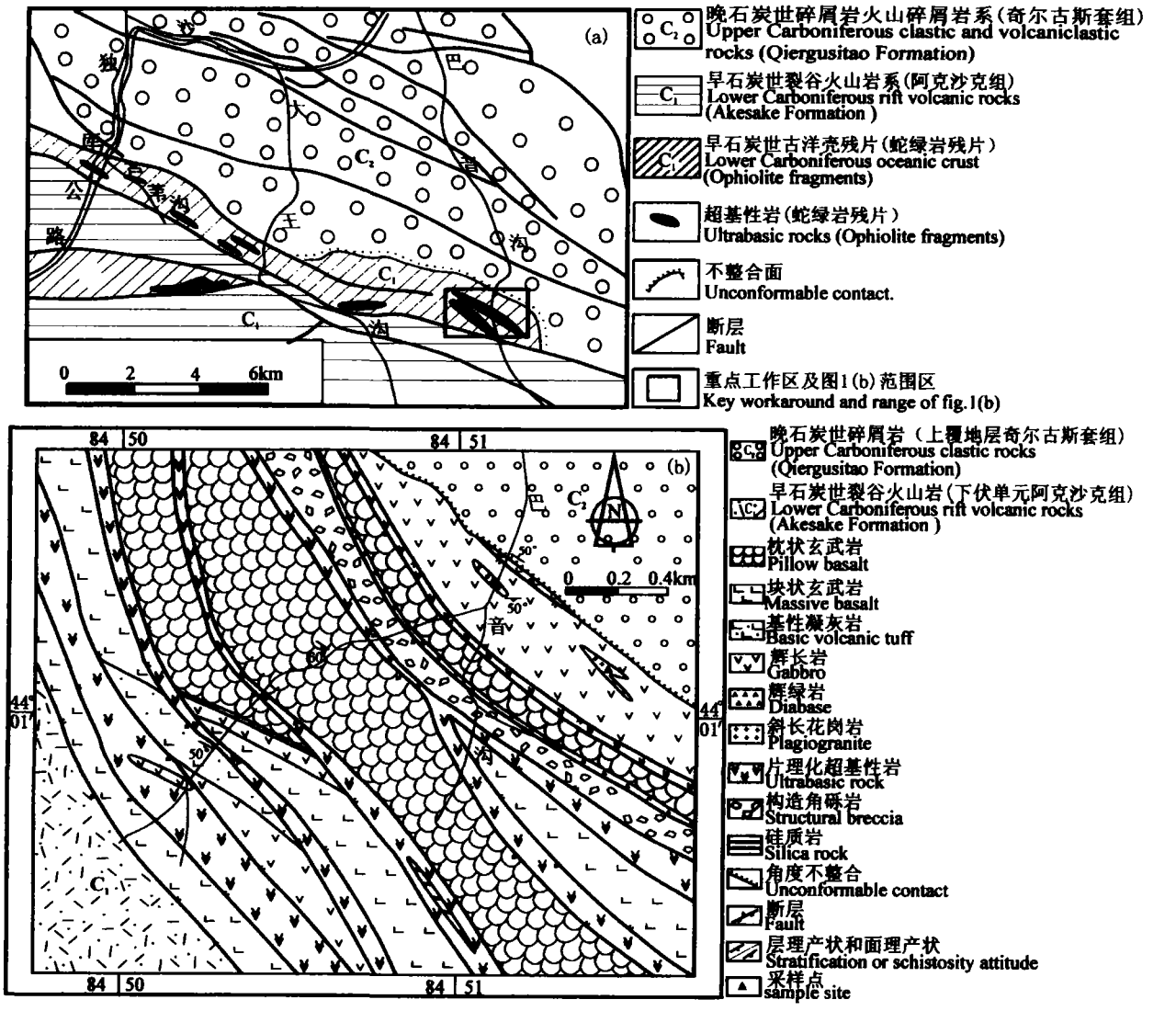


图1 巴音沟及邻区早石炭世蛇绿岩片分布略图(a)和巴音沟蛇绿岩地质略图及采样位置图(b)

Fig. 1 Distribution sketch map (a) of the Early Carboniferous ophiolite fragments at the Bayingou area and adjacent regions, and geological sketch map (b) of Bayingou ophiolite and the sites of the samples

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

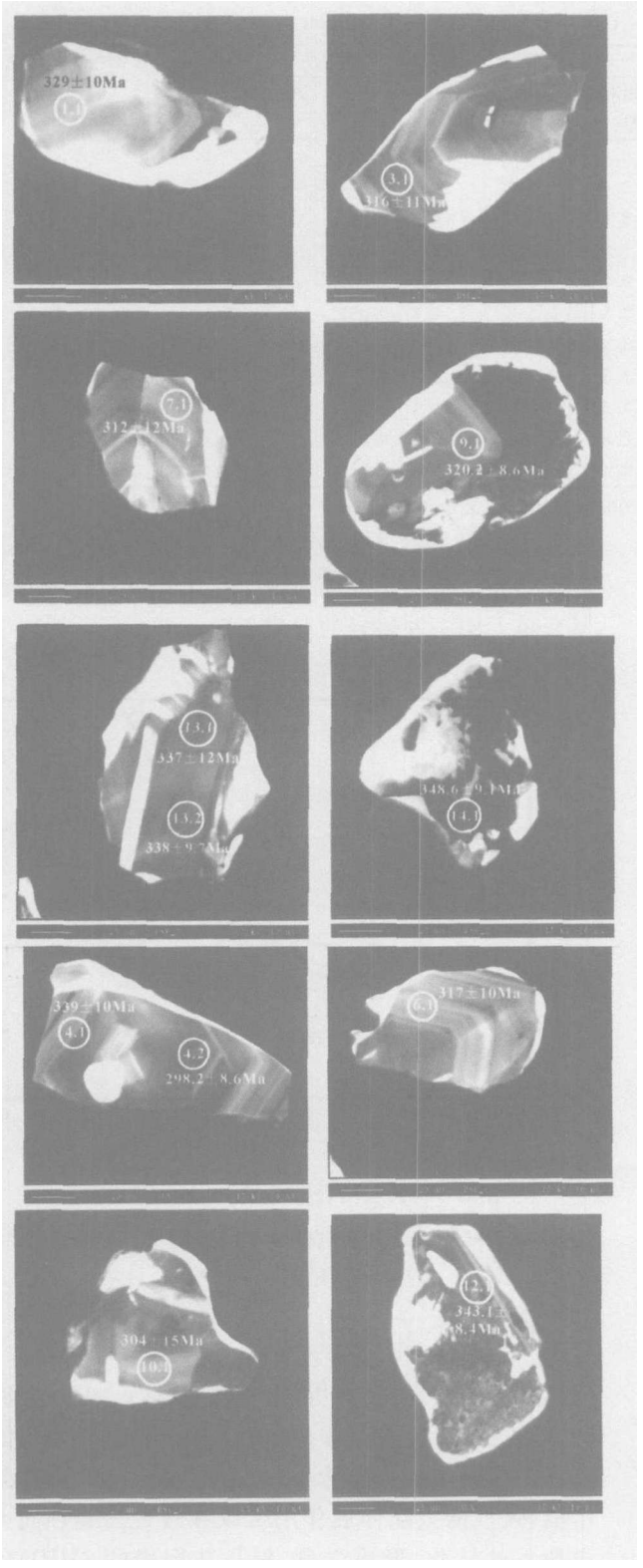


图 2　斜长花岗岩锆石阴极发光图像

Fig. 2　CL imaging of zircons from plagiogranite

圆圈内数字表示 U-Pb 分析点,

其他数字表示$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄

Number in the circle represents the analysis spot of U-Pb and other number represent age of $^{206}Pb/^{238}U$

境,且经历了由大陆裂谷向大洋裂谷的转化。

本次研究所取的斜长花岗岩,呈细脉状或不规则脉状侵入于辉长岩中,具半自形粒状结构,主要由斜长石(73%)、石英(20%)、角闪石(部分已绿泥石化)(5%)、榍石、锆石等副矿物(小于2%)组成。斜长石呈半自形粒状,粒度0.15～1.5 mm,普遍发生轻微钠黝帘石化;石英呈他形粒状,粒度为0.1～1.1 mm,分布于长石晶体之间;角闪石呈他形—半自形柱状,亦形成于斜长石晶体之间,部分已蚀变为片状绿泥石。岩石化学成分为 SiO_2 76.52%, TiO_2 0.10%, Al_2O_3 12.79%, Fe_2O_3 0.74%, FeO 1.50%, MnO 0.07%, MgO 0.60%, CaO 2.05%, Na_2O 3.65%, K_2O 0.20%, P_2O_5 0.08%。

2　分析方法

锆石 SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP Ⅱ上完成,阴极发光及背散射电子相研究在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针室完成。其中锆石按常规方法分选,在双目镜下挑纯。将锆石与数粒 TEM 标准锆石置于环氧树脂中,然后磨至约一半,使锆石内部暴露,随后进行锆石显微(反射光和透射光)照相及阴极发光研究。分析点的选择首先根据锆石反射和透射照片进行初选,再与背散射和阴极发光照片反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体。对符合上述要求、质量好的锆石,再依据研究目的确定具体的分析部位。最后确定分析点时一般还考虑到尽可能包含不同晶形、具有不同内部结构特征的锆石,以获得尽可能多的年龄信息。

SHRIMP 分析的详细流程和原理参考 Compston 等(1984,1992)、宋彪等(1999)的有关描述。分析时,采用跳峰扫描,记录 Zr_2O^+、$^{204}Pb^+$、背景值、$^{206}Pb^+$、$^{207}Pb^+$、$^{208}Pb^+$、U^+、ThO^+和 UO^+共9个离子束峰,每5次扫描记录一次平均值。一次离子流强度约4.5 nA,10 kV 的 O^{2-},靶径约25～30 μm,质量分辨率约5400(1%峰高)。应用澳大利亚国家地质调查局标准锆石 TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校正。应用置于调试靶上的 RSES(澳大利亚国立大学地学院)标准锆石 SL13(年龄为572 Ma;U 含量 238×10^{-6})标定所测锆石的 U、Th、Pb 含量。数据处理采用 Ludwig 博士编写的 SQUID 1.0 及 ISOPLOT 程序。普通 Pb 以实测 ^{204}Pb 值校正。表中所列单次测量的数据点的误差均为1σ;采用 $^{206}Pb/^{238}U$年龄,其加权平均值具95%的置信度。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 巴音沟蛇绿岩中斜长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果

Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircons from plagiogranite of Bayingou ophiolite

样号	U (μg/g)	Th (μg/g)	$\frac{^{232}Th}{^{238}U}$	$^{206}Pb_c$ (%)	$^{206}Pb^*$ (μg/g)	$^{206}Pb^*/^{238}U$ 测值	$^{206}Pb^*/^{238}U$ 相对误差(%)	$^{207}Pb^*/^{235}U$ 测值	$^{207}Pb^*/^{235}U$ 相对误差(%)	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$ 测值	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$ 相对误差(%)	误差相关度	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$年龄 ±2σ(Ma)
1-1	33	9	0.29	3.18	1.55	0.0524	2.9	0.340	9.2	0.0471	8.7	0.311	329±10
3-1	32	11	0.35	8.72	1.50	0.0502	2.9	0.242	24	0.0349	24	0.120	316±11
4-1	47	18	0.38	4.40	2.30	0.0540	2.7	0.400	7.5	0.0537	7.0	0.364	339±10
6-1	44	14	0.34	4.84	2.00	0.0505	2.8	0.412	19	0.059	19	0.146	317±10
7-1	29	10	0.35	11.32	1.39	0.0497	3.0	0.276	15	0.0403	15	0.194	312±12
9-1	69	27	0.41	1.88	3.06	0.0509	2.5	0.388	4.7	0.0553	4.0	0.535	320.2± 8.6
10-1	35	9	0.27	10.92	1.61	0.0483	3.9	0.312	22	0.047	22	0.177	304±15
12-1	426	214	0.52	0.32	20.1	0.0547	2.3	0.398	3.2	0.0528	2.2	0.714	343.1±8.4
13-1	34	10	0.30	4.52	1.62	0.0537	3.2	0.353	11	0.0477	11	0.289	337±12
13-2	63	20	0.32	3.87	3.03	0.0538	2.6	0.391	6.2	0.0526	5.7	0.422	338.0± 9.7
14-1	175	59	0.35	2.70	8.57	0.0556	2.4	0.375	6.9	0.0489	6.4	0.353	348.6±9.1

注：$^{206}Pb_c$(%)指普通铅中的^{206}Pb占全铅^{206}Pb的百分数；应用实测^{208}Pb校正普通铅；表中所有分析误差为1σ。

3 分析结果和解释

依据阴极发光图像可将斜长花岗岩中的锆石分为三类：第一类锆石发育清晰的环带结构(图2，颗粒1、3、4、6、7、9、10)，晶形相对完整，应是岩浆成因锆石，代表了斜长花岗质岩浆结晶的产物。第二类锆石环带结构发育较弱，但阴极发光的强度与环带结构发育的锆石基本相同(图2，颗粒13)，可能亦为岩浆成因锆石。第三类锆石阴极发光图像明显发黑，不发育环带结构，内部有退晶质化现象，形态均呈他形不规则状(图2，颗粒12，14)，为捕获锆石。三种类型的锆石均有阴极发光呈白色的次生锆石发育，并使原来的锆石发生熔蚀作用，明显为次生锆石。

U-Pb 分析结果列于表1。第一类和第二类锆石的 U 含量低，为$29\times10^{-6}\sim69\times10^{-6}$(表1)，Th/U 值为 0.25 ～ 0.42，显示了很小的变化范围。SHRIMP 测年结果表明，这两类阴极发光略有差异的锆石的年龄基本一致。第三类锆石的 U 含量高，为$175\times10^{-6}\sim246\times10^{-6}$(表1)，明显高于第一和第二类锆石，Th/U 值为0.35～0.52，同样显示了很小的变化范围，SHRIMP 测年结果早于第一和第二类锆石。

第一类和第二类锆石的9个分析给出了基本一致的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄，为298.2～339 Ma(表1)，在一致曲线图中成群分布(图3)，加权平均年龄为324.8±7.1 Ma(2σ)，MSWD=1.2，加权平均值的误差与单个分析的误差基本一致，所分析的锆石为单一的年龄组成。因此，324.8±7.1 Ma 应解释为斜长花岗岩的形成年龄。第三种锆石同样给出了基本一致的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄，为343.1～348.6 Ma(表1)，加权平均年龄为346±21 Ma (MSWD=0.659)，该年龄解释为捕获年龄，从区域地质演化角度讲，它可能为蛇绿岩中的辉长岩形成年龄，亦有可能为蛇绿岩的基底单元中基性熔岩的形成年龄。

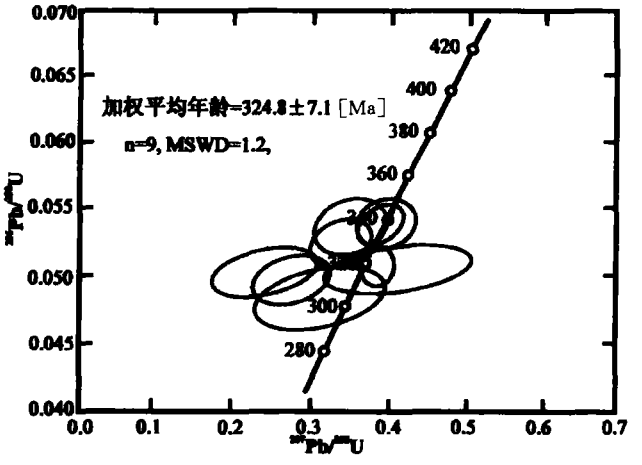


图 3 斜长花岗岩锆石 U-Pb 一致曲线图

Fig. 3 U-Pb Concordia diagram of zircons form plagiogranite

4 地质意义

最新的研究(夏林圻等，2002；Xia et al.，2003；2004)表明，天山造山带石炭纪处于碰撞造山期后的大规模裂谷拉伸作用阶段，发育大规模的火山岩浆作用，强烈的大陆伸展作用可以导致大陆裂谷向大洋裂谷的转化，形成洋盆。斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究表明，巴音沟蛇绿岩中侵入于辉长岩中的斜长花岗岩形成年龄应该为早石炭世晚期(约相当于325 Ma)。由于斜长花岗岩侵入于辉长岩中，是大洋玄武岩浆(以辉长岩为代表)在低压条件下结晶分异的产物，它的年龄代表了蛇绿岩(洋壳)的形成

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

年龄。因此,巴音沟蛇绿岩的形成时代应为早石炭世,其形成于一种由强烈大陆伸展作用所导致的大陆裂谷向大洋裂谷转变的动力学环境,记录了由于裂谷作用强烈拉伸形成的初始洋壳,类似于现今的红海,因此,巴音沟蛇绿岩是晚古生代天山地区"红海型"洋盆的地质记录。

致谢:中国地质科学院北京离子探针中心指导了本文样品的测试工作,在此表示感谢。

参 考 文 献

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

高俊,何国琦,李茂松. 1997. 西天山造山带的古生带造山过程. 地球科学,22(1):27～32

李武显,李献华. 2003. 蛇绿岩中的花岗质岩石成因类型与构造意义. 地球科学进展,18(3):392～397.

卢华复,贾承造,贾东,等. 2001. 库车再生前陆盆地冲断构造楔特征. 高校地质学报,7(3):257～271.

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. 地质论评,45(增刊):26～30.

王作勋,邬继易,吕喜朝,等. 1990. 天山多旋回构造与成矿. 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.

夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 2002. 天山造山带古生代洋陆转换的几点思考. 西北地质,35(4):9～20.

肖序常,汤耀庆,冯益民,等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京:地质出版社,1～171.

References

Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian Time-scale. J. Geol. Soc., 149: 171～184.

Compston W, Williams I S, Meyer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion mocroprobe. Journal of Geophysical Research, 89 (supp.): B325～534.

Gao Changlin, Cui Kerei, Qian Yixiong, et al. 1995. Microplate tectonics in Tianshan and northern Tarim basin. Beijing: Geological Publishing House, 1～284 (in Chinese with English abstract).

Gao Jun, He Guoqi, Li Maosong. 1997. Paleozoic orogenic processes of Western Tianshan orogen. Earth Science, 22(1):27～32 (in Chinese with English abstract).

Lu Huafu, Jia Chenzhao, Jia Dong, et al. 2001. Features of the thrust wedge of deformation belt in kuqa rejuvenation foreland basin. Geological Journal of China Universities, 7(3):257～271 (in Chinese with English abstract).

Li Wuxian, Li Xianhua. 2003a. Rock types and tectonic significance of the granitoids rocks within ophiolites. Advance in Earth Sciences, 18(3): 392～397.

Li Wuxian, Li Xianhua. 2003b. Adakitic granites within the NE Jiangxi ophiolites, South China: geochemical and Nd isotopic evidence. Precambrian Research, 122: 29～44.

Song B, Zhang Y H, Wan Y S, Jian P. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. Geological Review, 48 (Supp.): 26～30 (in Chinese with English abstract).

Wu Jiyi, Liu Chengde. 1989. Geological features of Bayigou ophiolitic suite of North Tianshan, Xijiang. Acta Petrologica Sinica, (5): 76～87 (in Chinese with English abstract).

Xia L Q, Xu X Y, Xia Z C, et al. 2003. Carboniferous post-collisional rift volcanism of the Tianshan Mountains, northwestern China. Acta Geologica Sinica(English edition), 77(3): 338～360.

Xia L Q, Xu X Y, Xia Z C, et al. 2004. Petrogenesis of Carboniferous rift volcanic rocks in the Tianshan Mountains, northwestern China: Geological Society of America Bulletin, 116: 419～433.

Xia Linqi, Xu Xueyi, Xia Zuchun, et al. 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 Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, et al. 1992. The Tectonics of Northern Xinjiang and Its Neighboring Area. Beijing:Geological Publishing House, 1～171 (in Chinese with English abstract).

SHRIMP Dating of Plagiogranite from Bayingou Ophiolite in the Northern Tianshan Mountains

XU Xueyi[1)], MA Zhongping[1,2)], XIA Linqi[1)], WANG Yanbin[3)], LI Xiangmin[1,2)], XIA Zuchun[1)], WANG Lishe[1,2)]

1) *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an*, 710054; 2) *Department of Geology, Northwest University, Xi'an* 710069; 3) *Beijing SHRIMP Lab., Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037

Abstract

The sensitive high-resolution ion microprobe (SHRIMP) U-Pb zircon dating of plagiogranite from the Bayingou ophiolite in the northern Tianshan Mountains indicates that the magmatic age of the plagiogranite is 324.8±7.1Ma (2σ), which shows the Bayingou ophiolite was formed in the early Carboniferous. This suggests the existence of the late Paleozoic "Red Sea type" ocean basin in the northern Tianshan Mountains and the Baiyingou ophiolite is the remnant of the oceanic crust.

Key words: plagiocgranite; Bayingou ophiolite fragment; SHRIMP; Early Carboniferous, Xinjiang

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net