第27卷第2期 地球科学与环境学报 Vol. 27 No. 2
2005年6月 Journal of Earth Sciences and Environment Jun. 2005

北天山巴音沟蛇绿岩形成时代的精确厘定及意义

徐学义，马中平，夏林圻，李向民，夏祖春，王立社
（西安地质矿产研究所，陕西 西安 710054）

[摘要] 应用SHRIMP方法对北天山巴音沟蛇绿岩中侵入辉长岩内的斜长花岗岩进行了锆石U－Pb年龄测定，表明斜长花岗岩形成于(324.8±7.1) Ma(2σ)。这一年龄精确反映了巴音沟蛇绿岩的形成时代于早石炭世晚期。巴音沟蛇绿岩形成于强烈大陆伸展作用导致的大陆裂谷向大洋裂谷转变的一种动力学环境，记录了由于裂谷作用强烈拉伸形成的初始洋壳，是晚古生代天山地区“红海型”洋盆的地质记录。

[关键词] 巴音沟蛇绿岩；形成时代；斜长花岗岩；SHRIMP；早石炭世；新疆
[中图分类号] P588.1 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)02-0017-04

[作者简介] 徐学义(1966－)，男，山西万荣人，研究员，博士，从事区域地质及岩石地球化学研究。

天山造山带蛇绿岩的研究一直都是地质学家关注的焦点[1~5]。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。对该蛇绿岩的形成时代，多年来研究认识并不一致，归结起来主要有2种说法：第1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[1,2]；第2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[3,4]。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。上述第2种认识确定了蛇绿岩形成时代的上限，但是一个时间段，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，巴音沟蛇绿岩形成环境的认识亦不一致，有边缘海盆环境[1]、弧后盆地[2,4,5]、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[3,6]等。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。笔者在对巴音沟蛇绿岩中侵入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法进行年龄测试研究，以准确约束巴音沟蛇绿岩形成时代，探讨巴音沟蛇绿岩形成的时代及构造环境。

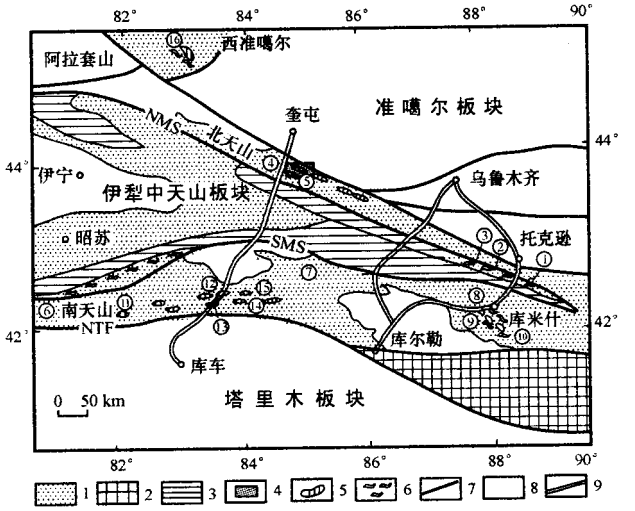
[收稿日期] 2004-12-18
[基金项目] 中国地质调查局国土资源大调查项目(200313000063；200313000028)

1 地质概况和岩相学

巴音沟蛇绿岩位于北天山晚古生代构造岩浆岩带中部位置，距奎屯市约50 km(图1)。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。野外工作揭示，巴音沟地区从南西至北东存在2个主要单元：基底单元和蛇绿岩单元(图2)。

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。变质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，新疆地质矿产局，1999)、砂岩和砾岩。火山岩在基底单元所占比重最大，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。

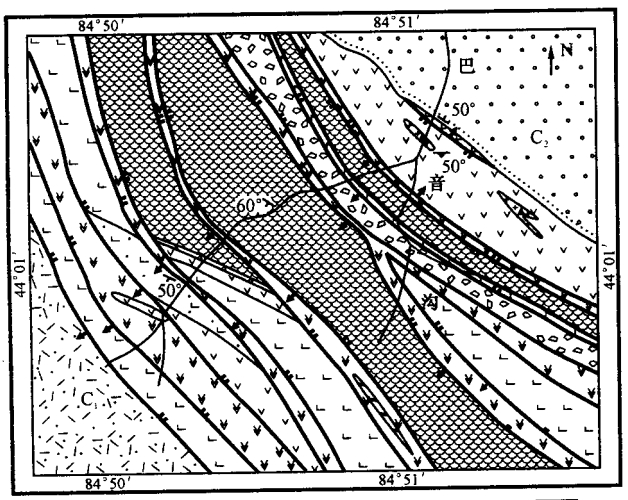
基底单元为蛇绿岩单元上覆，2个单元之间为断层接触。巴音沟蛇绿岩单元由蛇纹石化方辉橄



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

图 1 天山西段地质构造略图(简示古生代蛇绿岩分布)

Fig. 1 Geological and tectonic sketch map of west stage of Tianshan Mountains (also showing the distribution of the opholite suites)



1 – 晚石炭世碎屑岩(上覆岩层奇尔古斯套组) ;2 – 早石炭世裂谷火山岩(基底单元阿克沙克组) ;3 – 枕状玄武岩 ;4 – 块状玄武岩 ;5 – 基性凝灰岩 ;6 – 辉长岩 ;7 – 辉绿岩 ;8 – 斜长花岗岩 ;9 – 片理化超基性岩 ;10 – 构造角砾岩 ;11 – 硅质岩 ;12 – 角度不整合 ;13 – 断层 ;14 – 层理产状和面理产状 ;15 – 采样点

图 2 巴音沟蛇绿岩地质略图

Fig. 2 Geological sketch map of Bayingou ophiolite

榄岩、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比较完整,但原始的蛇绿岩组合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为侵入接触,形成数米宽的过渡带,过渡带中 2 种岩性互层。前人[1]曾将该蛇绿岩单元视为地层单元,并将其称作沙大王组。

蛇绿岩为上石炭统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。

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,主要矿物体积分数分别由斜长石(73%)、石英(20%)、角闪石(部分已绿泥石化)(5%)组成,含榍石、锆石等副矿物(<2%)。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 ;石英呈它形粒状,粒度为 0.1 ~1.1 mm,分布于长石晶体间 ;角闪石呈它形–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。岩石各氧化物质量分数分别为 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 1/2,使锆石内部暴露,随后进行锆石显微(反射光和透射光)照像及阴极发光研究。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[7]有关描述。分析时,采用跳峰扫描,记录 Zr_2O^+,$^{206}Pb^+$,背景值,$^{207}Pb^+$,$^{208}Pb^+$,U^+,Th^+,ThO^+和 UO^+共 9 个离子束峰,每 7 次扫描记录 1 次平均值。1 次离子流强度约 4.5 nA,10 kV 的 O^{2-},靶径 25 ~ 30 μm,质量分辨率约5 000(1% 峰高)。应用澳大利亚国家地调局标准锆石 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 质量分数约 238×10^{-6})标定所测锆石的 U,Th,Pb 的质量分数。数据处理采用 Ludwig SQUID 1.0 及 ISOPLT 程序。普通 Pb 以实测 ^{208}Pb 值校正。表 1 中所列单次测量的数据点的误差均为 1 σ;采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄,其加权平均值具 95% 的置信度。

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 3 类:第 1 类型锆石发育清晰的韵律环带结构,晶形相对完整,无疑是岩浆成因锆石,代表了斜长花岗质岩浆结晶的产物;第 2 类锆石韵律环带结构发育较弱,但阴极发光的强度与环带结构发育的锆石基本相同,可能亦为岩浆成因锆石;第 3 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,形态均呈它形不规则状,可能为捕获锆石。3 种类型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 1 类和第 2 类锆石的 U 质量分数低,变化于(29 ~ 69)$\times10^{-6}$间(表 1),Th/U 比值变化于 0.25 ~ 0.42 之间,显示了很小的变化范围。SHRIMP 测年结果表明,这 2 类阴极发光略有差异的锆石年龄基本一致。第 3 类锆石的 U 质量分数高,介于(175 ~ 246)$\times10^{-6}$间(表 1),明显高于第 1 和第 2 类锆石,Th/U 比值变化于 0.35 ~ 0.52 间,同样显示了很小的变化范围,SHRIMP 测年结果早于第 1 和第 2 类锆石,但年龄的误差相对较大。

第 1 类和第 2 类锆石的 9 个分析结果给出了基本一致的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄,为 304 ~ 339 Ma(表 1),在一致曲线中成群分布(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 3 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,它有可能为蛇绿岩的基底单元阿克沙克组中基性火山岩的形成年龄。

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	锆石分类	$w_B/10^{-6}$ U	$w_B/10^{-6}$ Th	$\frac{^{232}Th}{^{238}U}$	$^{206}Pb_c$ /%	$^{206}Pb*$ $/10^{-6}$	同位素比值 $\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	± %	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	± %	$\frac{^{207}Pb^*}{^{206}Pb^*}$	± %	err corr	t/Ma $\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	Discordant /%
1 - 1	一类锆石	33	9	0.29	3.18	1.55	0.0524	2.9	0.340	9.2	0.0471	8.7	0.311	329 ± 10	297.2 ± 24	54.3 ± 210	-7
3 - 1		32	11	0.35	8.72	1.50	0.0502	2.9	0.242	24	0.0349	24	0.120	316 ± 11	220.1 ± 48	-716.6 ± 670	77
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	341.6 ± 22	358.5 ± 160	69
6 - 1		44	14	0.34	4.84	2.00	0.0505	2.8	0.412	19	0.059	19	0.146	317 ± 10	350.3 ± 56	567.1 ± 410	76
7 - 1		29	10	0.35	11.32	1.39	0.0497	3.0	0.276	15	0.0403	15	0.194	312 ± 12	247.5 ± 33	-331.7 ± 390	56
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	332.9 ± 13	424.4 ± 89	31
10 - 1		35	9	0.27	10.92	1.61	0.0483	3.9	0.312	22	0.047	22	0.177	304 ± 15	275.7 ± 53	49.2 ± 530	57
12 - 1	三类锆石	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	340.2 ± 9.3	320.2 ± 50	-43
13 - 1	二类锆石	34	10	0.30	4.52	1.62	0.0537	3.2	0.353	11	0.0477	11	0.289	337 ± 12	307 ± 29	84.4 ± 260	36
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	335.1 ± 18	311.6 ± 130	66
14 - 1	三类锆石	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	323.4 ± 19	84.4 ± 260	63

$^{206}Pb_c$(%)指普通铅中的 ^{206}Pb 占全铅 ^{206}Pb 的百分数;$^{206}Pb*$(%)指放射性 ^{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

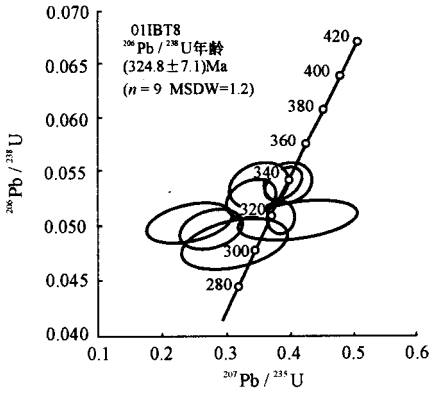


图 3 斜长花岗岩锆石 U－Pb 一致曲线图

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

4 蛇绿岩的形成时代及其地质意义

巴音沟蛇绿岩中侵入辉长岩中的斜长花岗岩球粒陨石标准化分配型式具有轻稀土亏损、重稀土富集的特点。微量元素原始地幔标准化分配型式具有不相容元素亏损的特点，表明其源区为亏损地幔源，应为蛇绿岩岩浆房中基性岩浆（相当于辉长岩岩浆）最终分异的产物，其形成年龄应与辉长岩形成年龄基本相当。因此，斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U－Pb 定年结果应代表了蛇绿岩形成的时代，表明巴音沟蛇绿岩形成时代为 324.7 Ma，属早石炭世晚期。

最新研究表明[8～10]，早石炭世时，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。岩石地球化学的精细研究表明，巴音沟地区的早石炭世基底单元火山岩系（阿克沙克组）形成于大陆裂谷环境，源区为与 OIB 源区类似的地幔软流圈源。因此，早石炭世天山地区已进入到板内裂谷构造环境，巴音沟蛇绿岩应是形成于强烈大陆伸展作用导致的大陆裂谷向大洋裂谷转变的一种动力学环境，它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。

[参 考 文 献]

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

[2] 高长林，崔可锐，钱一雄，等. 天山微板块构造与塔北盆地[M]. 北京：地质出版社，1995.

[3] 肖序常，汤耀庆，冯益民，等. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京：地质出版社，1992.

[4] 王作勋，邬继易，吕喜朝，等. 天山多旋回构造与成矿[M]. 北京：科学出版社，1990.

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

[6] 高俊，何国琦，李茂松，等. 西天山造山带的古生带造山过程[J]. 地球科学——中国地质大学学报，1997，22(20)：682～688.

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

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

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

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

[11] 姜常义，穆艳梅，赵晓宁，等. 南天山褶皱带北缘基性-超基性杂岩带的地质学特征与大地构造意义[J]. 西安工程学院学报，2002，22(2)：1～6.

Accurate dating of Bayingou ophiolite in northern Tianshan mountains and its tectonic significance

XU Xue-yi，MA Zhong-ping，XIA Lin-qi，LI Xiang-min，XIA Zu-chun，WANG Li-she

(*Xi 'an Institute of Geology and Mineral Resources*，*Xi 'an* 710054，*China*)

Abstract：Sensitive High Resolution Ion Microprobe (SHRIMP) zircon U-Pb dating of plagiogranite from Bayingou ophiolite fragment in northern Tianshan indicates the magmatic age of the plagiogranite to be (324.8±7.1) Ma(2σ)，which records the age of the fomation of Baiyingou ophiolite fragment and shows that the Bayingou ophiolite formed in the late stage of Early Carboniferous. The Bayingou ophiolite formes in tectonic setting of continental rift and supplies an evidence for the existence of Late Paleozoic“ Red Sea type ”ocean basin in northern Tianshan Mountains.

Key words：Bayingou ophiolite fragment；shaping age；plagiocgranite；SHRIMP；early Carboniferous Epoch；Uygur Autonomous Region of Xinjiang

[英文审定 杨家喜]