阿尔泰地区玛因鄂博蛇绿岩的地质特征及其LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄

张 越[1,2],徐学义[1],陈隽璐[1],张红英[1],唐 卓[1],孙小攀[2],李现冰[2]
ZHANG Yue[1,2], XU Xue-yi[1], CHEN Jun-lu[1], ZHANG Hong-ying[1],
TANG Zhuo[1], SUN Xiao-pan[2], LI Xian-bing[2]

1. 中国地质调查局西安地质矿产研究所,陕西 西安 710054;2. 长安大学地球科学与资源学院,陕西 西安 710054
1. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;*
2. *College of Earth Science and Resources of Chang´an University, Xi´an 710054, Shaanxi, China*

摘要:新疆富蕴县西部出露一套变质基性火山岩,主要岩性为斜长角闪岩,呈透镜状分布,是古生代增生混杂岩带的组成部分。地球化学特征表明,其具有典型的大洋拉斑玄武岩(N-MORB 型玄武岩)的地球化学特点。运用 LA-ICP-MS 方法,对斜长角闪岩中的锆石进行了 U-Th-Pb 同位素分析。测年结果显示,斜长角闪岩的形成时代为 437Ma±12Ma,为早志留世。对玛因鄂博蛇绿岩的研究为进一步探讨斋桑-额尔齐斯蛇绿构造岩带、建立该区古生代构造格架、讨论其地质演化史提供了新的资料依据。

关键词:LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年;地球化学特征;变基性火山岩;斜长角闪岩;玛因鄂博蛇绿岩;构造演化
中图分类号:P588.12+4; P588.12+5; P597+.3 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2012)06-0834-09

Zhang Y, Xu X Y, Chen J L, Tang Z, Sun X P, Li X B. Geological characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Mayinebo ophiolite in Altay orogenic belt. ***Geological Bulletin of China,*** **2012, 31(6):834-842**

Abstract: A series of metabasic volcanic rocks are exposed in the west of Fuyun Country, Xinjiang. They are composed mostly of plagioclase amphibolite and occured in the lenticular form in Fuyun Rock Group. Geochemical studies indicate that these metabasic volcanic rocks have characteristics of N-type MORB (mid-ocean ridge basalt). LA-ICP-MS zircon U-Pb dating analysis was performed for metabasic volcanic rocks in the west of Fuyun Country, and the results showed that the formation age of the plagioclase amphibolite is 437±12Ma, suggesting Early Silurian. The study of Mayinebo ophiolite provides new supplementary information for the investigation of Zayson-Ertix ophiolic tectonic rock zone and its geological evolution history as well as for the establishment of its Paleozoic tectonic framework in this area.

Key words: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; geochemical characteristics; meta-basic volcanic rocks; amphibolite; Mayinebo ophiolite; tectonic evolution

蛇绿岩通常被认为是洋壳的残片, 众多的研究表明,蛇绿岩可产生在洋中脊、岛弧、弧前和弧后等多种构造环境中, 但是绝大部分蛇绿岩出露于消减带环境中[1-3]。由于蛇绿岩在就位过程中受到构造作用的影响,洋壳的序列可能被破坏,同时也会混入多种不同来源、不同属性的其它地质体,因此识别其组

收稿日期:2012-02-13;**修订日期**:2012-03-20
资助项目:中国地质调查局工作项目《阿尔泰-准噶尔北缘成矿带基础地质综合研究》(编号:1212011085009)、《新疆阿尔泰康布铁堡组厘定与划分》(编号:1212011121093)、《基础地质调查成果集成与综合研究——西北地区》(编号:1212011121137)、《天山成矿带基础地质综合研究》(编号:1212011085055)和《天山-兴蒙成矿带火山岩浆作用对成矿制约的综合研究》(编号:1212010050503)
作者简介:张越(1985-),男,在读硕士,岩石、矿物、矿床专业。E-mail:yanshisank@163.com
通讯作者:徐学义(1966-),男,研究员,博士生导师。E-mail:xuxueyi1030@163.com

分非常困难。加之普遍遭受了热液变质致使矿物成分发生变化[4],以及蛇绿岩随就位深度的不同,往往经历了从绿片岩相到角闪岩相的变质作用,且随深度增加,变质程度也加深。这些均加大了恢复古蛇绿岩的组成和就位机制的难度。由于蛇绿岩研究对于探讨造山带早期地质演化历史,特别是对古洋盆形成、演化和消亡的历史,重建古构造环境和板块拼合过程具有十分重要的作用,因此是各国地质学家研究的热点之一,特别是对蛇绿岩的组成、结构、就位过程及其代表的构造演化意义的研究。

阿尔泰地区地处西伯利亚板块和准噶尔构造带的转换部位,具有极其复杂的构造演化历史,是进行古亚洲洋形成演化等国际前沿科学问题的关键地区。自 20 世纪 80 年代以来,东准噶尔地区陆续被识别出 3 条蛇绿混杂岩带,自北向南分别为额尔齐斯(乔夏哈拉)、札河坝-阿尔曼太和卡拉麦里蛇绿混杂岩带。卡拉麦里和阿尔曼太蛇绿混杂岩带出露良好,蛇绿岩组分比较齐全,研究程度较高,成为北疆最早识辨出的蛇绿岩带,其年龄也被确定为古生代[5-13]。而额尔齐斯蛇绿混杂岩带由于受到后期走滑断裂带的影响,蛇绿岩各组成岩片零星出露,且变质程度较深,使得研究难度大,研究结果分歧较大。目前关于额尔齐斯断裂带内额尔齐斯蛇绿岩的讨论一直没有停止过,除早期张弛[14]、刘峰标等[15]曾经推断额尔齐斯断裂带具有蛇绿混杂岩的性质外,何国琦等[16]注意到富蕴县南 20km 的乔夏哈拉可能存在碳酸盐化镁铁质岩块;曹荣龙[17]认为额尔齐斯带是一个有海西期洋壳-洋幔的残体;许继峰等[18]在额尔齐斯北侧的库尔提一带发现和论证了属于弧后的洋壳残片;Wang 等[19]讨论了科克森套、乔夏哈拉、库尔提蛇绿岩的连接问题;最新的额尔齐斯-布尔根蛇绿岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果显示,它是早石炭世的蛇绿混杂岩带[20]。上述研究使得额尔齐斯蛇绿混杂岩带的组成、性质渐渐清晰。

本文研究的玛因鄂博蛇绿岩位于额尔齐斯-布尔根蛇绿混杂岩带内,变基性火山岩是该蛇绿岩的重要组成部分。杨志华等[21]曾对额尔齐斯构造带内的青河卫东-富蕴蛇绿岩中西部蛇绿岩进行了报道,目前尚无学者对该蛇绿岩进行过详细研究,对于变基性火山岩的原岩恢复和岩石成因的研究更加薄弱。本文拟通过变质基性火山岩详细的岩石学、地球化学、锆石 U-Pb 测年等综合研究,查明其地球化学特征,并限定玛因鄂博蛇绿岩的形成时代,目的是研究早古生代斋桑洋和晚古生代南蒙古洋在中国境内的延伸及其关系,为建立古生代研究区的构造格架、探讨古亚洲洋的演化提供资料依据。

1　地质概况

1.1　蛇绿岩组成特征

在古生代,西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块之间存在一个古亚洲洋[22-26],对其闭合时限现在仍有争议。玛因鄂博蛇绿岩作为古亚洲洋重要的洋壳残片,分布于新疆北部富蕴县西—青河县南一带(图 1),呈北西向展布于玛因鄂博断裂南侧,被可可托海-二台子断裂错断。玛因鄂博蛇绿岩主要由变质基性火山岩和变质辉长岩残块组成,均以岩片、岩块形态产出,为新划古生代增生混杂岩带的组成部分。其中青河县境内的玛因鄂博蛇绿混杂岩岩块(图 2 剖面 A,)主要由碳酸盐化超美铁质岩(?)、辉长岩、堆晶岩辉长岩、辉绿岩墙、变玄武岩、变枕状玄武岩、薄层硅质岩组成,基质为糜棱岩化碎屑岩,绿片岩相变质;富蕴县境内的玛因鄂博蛇绿构造混杂岩岩块(图 2 剖面 B)主要以碳酸盐化超镁铁质岩块、变质火山岩块为主,伴有堆晶成因的条带状辉长岩块,基质为副变质黑云母片麻岩,片岩等,该地区受后期挤压变形强烈,变质达角闪岩相,蛇绿岩残块规模较青河县境内的要小,尽管这些火山岩经历了绿片岩相的区域变质作用,但是部分保留有完好的火山岩构造,例如仍可见清晰的枕状构造。

1.2　蛇绿岩岩石学特征

本文研究的玛因鄂博蛇绿岩主要由变质基性火山岩和变质辉长岩残块组成,岩石均呈暗绿色—深黑绿色,为中细—中粗粒结构,块状构造,片理化明显。

变基性火山岩显微镜下呈粒柱变晶结构(图 3),粒径 0.2~1.5mm。主要由角闪石(60%)、斜长石(30%)、磁铁矿(3%~5%)组成,含少量石英,角闪石与斜长石之比约 2:1。角闪石明显呈柱状定向分布,呈褐—浅褐多色性,部分角闪石发生退变质作用形成绿泥石、绿帘石等矿物,斜长石呈粒状,磁铁矿断续浸染状分布。根据岩相学特征,将变基性火山岩命名为斜长角闪岩。

变质辉长岩显微镜下呈变余辉长结构,岩石虽强烈变质,但仍保持辉长结构。暗色矿物和浅色矿物

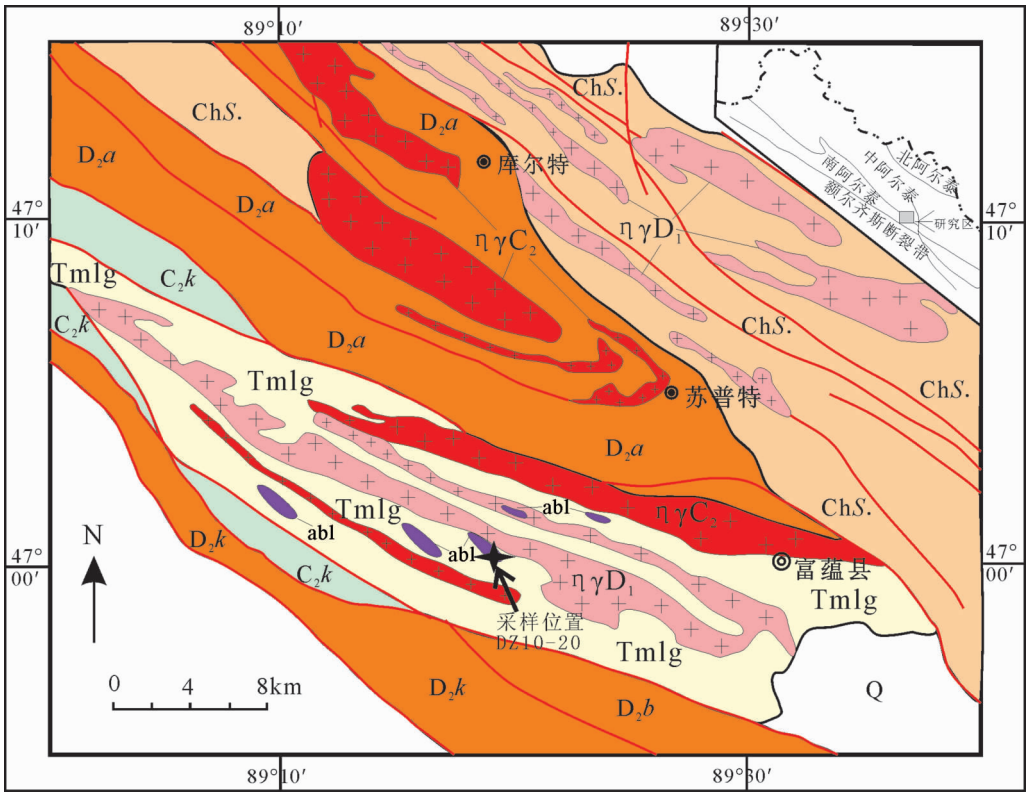


图 1 新疆北部富蕴一带地质图

Fig. 1 Geological map of Funyun area, northern Xinjiang

ChS—长城纪苏普特岩群；D_2a—中泥盆世阿勒泰组；D_2k—中泥盆世库鲁木迪组；D_2b—中泥盆世巴尔雷克组；C_2k—中石炭世喀喇额尔齐斯组；Q—第四纪沉积物；$\eta\gamma D_1$—早泥盆世花岗质侵入体；$\eta\gamma C_2$—中石炭世花岗质侵入体；abl—斜长角闪岩；Tmlg—构造混杂岩带

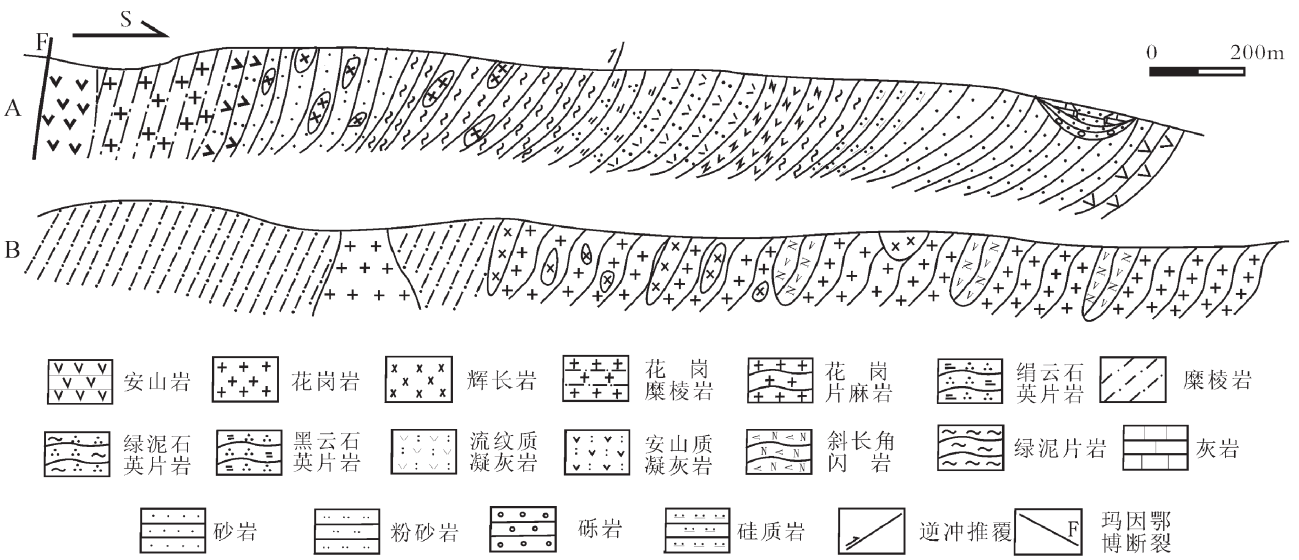


图 2 玛因鄂博蛇绿岩地质剖面

Fig. 2 Geological section of Mayinebo ophiolite

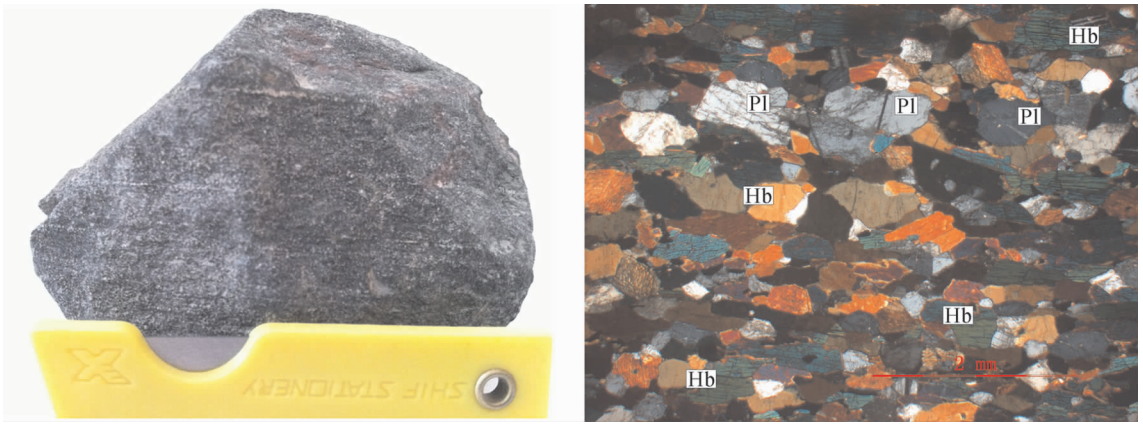


图 3　富蕴县西部变基性火山岩岩相学特征

Fig. 3　Petrographic features of meta-basic volcanic rocks in western Fuyun County

Pl:斜长石;Hb:角闪石

大致含量相等,暗色矿物已阳起石化、绿泥石化,但仍保持柱状外形。基性斜长石已细粒化、酸性化,局部出现少量钾长石和石英。

2　蛇绿岩地球化学特征和构造环境判别

在薄片鉴定的基础上，选择了 3 件较新鲜的斜长角闪岩样品进行了化学分析。分析由中国地质调查局西安地质调查中心完成。氧化物以 X 荧光光谱仪 3080E 测试；稀土元素和微量元素 Cu、Pb、Th、U、Hf、Ta、Sc、Cs、V、Co、Ni 用等离子质谱测试;微量元素 Sr、Ba、Zn、Rb、Nb、Zr、Ga 用 X 荧光光谱仪 2100 测试。3 个斜长角闪岩代表性样品的主要氧化物分析结果和微量元素、稀土元素的分析结果列于表 1 中。

2.1　主量元素特征

该区变质基性火山岩(斜长角闪岩)的 w(SiO_2)含量较为稳定,为 49%~49.97%,平均值为 49.5%;w(MgO)和 w(FeO)较高,w(Fe_2O_3)较低,分别为 6.58%~8.54%、11.1%~12.92%、2.38%~2.48，平均值分别为 7.81%、11.73%和 2.44%。w(Na_2O)和 w(K_2O)分别为 2.74%~3.07%、0.18%~0.32%，平均值分别为 2.91%和 0.24%。斜长角闪岩主量元素主体表现为 $Na_2O>K_2O$、$MgO<CaO$、$Na_2O/CaO<0.4$ 等正变质岩的特征,同时高镁低硅(MgO>6%,SiO_2<54%)也符合基性岩的成分特征。在 SiO_2-TFeO/MgO 图解[27](图4)中,所有的样品数据点全部落在拉斑玄武岩区域内,原岩为变质基性火山岩。

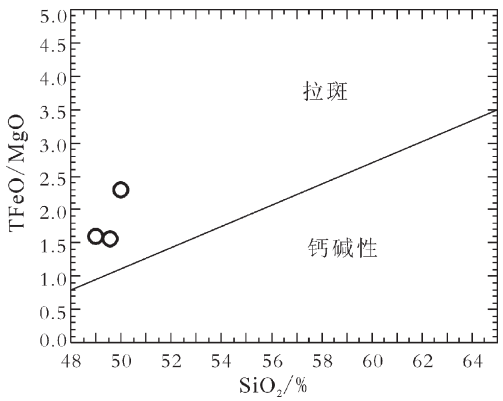


图 4　SiO_2-TFeO/MgO 图解(底图据参考文献[27])

Fig. 4　Diagram of TFeO/MgO versus SiO_2

2.2　稀土、微量元素特征和构造环境判别

稀土元素分析结果见表 1，斜长角闪岩的稀土总量(ΣREE)为 133.89×10^{-6}~181.02×10^{-6},$(La/Yb)_N$=0.67~0.79,平均为 0.75;$(La/Sm)_N$=0.59~0.68,平均为 0.64;$(Gd/Yb)_N$=1.15~1.20，平均为 1.18;δEu 的值为 0.77~0.81,平均为 0.79。在球粒陨石标准化的 REE 分布图(图 5-A)中,所有配分曲线都显示 LREE 较亏损,而 HREE 较平坦,轻稀土与重稀土元素相比分馏程度强。其中 Eu 略显负异常,表明在玄武岩浆喷发前发生过斜长石的分离结晶作用或者源区有斜长石残留。

微量元素分析结果见表 1,高场强元素(HFSE)在岩石分化、蚀变和变质过程中一般不发生迁移,且对分离结晶和同化混染作用的反应不灵敏，故可能代表源区的性质。岩石高场强元素的 w(Zr)为 127×

表 1 阿尔泰玛因鄂博变质基性火山岩主量元素、微量元素和稀土元素分析结果

Table 1 Major element, trace element and REE compositions of meta-basic volcanic rocks in Mayinebo of Altay orogenic belt

编号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	总量
DZ10-20-2	49.00	2.02	12.98	2.45	11.10	0.25	8.29	8.36	2.91	0.32	0.21	2.11	100.00
DZ10-20-3	49.54	2.25	12.68	2.38	11.19	0.22	8.54	7.31	3.07	0.22	0.23	2.35	99.98
DZ10-20-4	49.97	2.91	12.27	2.48	12.92	0.22	6.58	7.08	2.74	0.18	0.34	2.28	99.97

编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	$(La/Yb)_N$	δ Eu
DZ10-20-2	6.17	18.20	3.16	17.20	5.89	1.83	8.15	1.40	9.70	2.13	5.95	0.93	5.64	0.86	56.70	143.91	0.78	0.81
DZ10-20-3	5.12	15.90	2.91	15.90	5.65	1.70	7.65	1.35	9.29	2.07	5.70	0.90	5.52	0.83	53.40	133.89	0.67	0.79
DZ10-20-4	7.72	23.60	4.26	22.80	7.68	2.22	10.20	1.74	12.00	2.67	7.22	1.18	7.05	1.08	69.60	181.02	0.79	0.77

编号	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Li	Rb	Cs	Mo	Sr	Ba	V	Sc	Nb	Ta	Zr
DZ10-20-2	93.60	2.89	113.00	113.00	41.10	40.90	19.90	7.38	0.29	0.50	148.00	75.30	414.00	45.30	2.66	0.34	134.00
DZ10-20-3	13.20	1.49	117.00	209.00	140.00	51.90	25.20	3.87	0.21	0.35	152.00	28.70	433.00	46.30	2.75	0.30	127.00
DZ10-20-4	22.40	1.46	147.00	70.60	47.10	47.30	27.60	4.76	0.41	0.30	207.00	34.30	490.00	42.90	4.22	0.38	162.00

编号	Hf	Ga	U	Th
DZ10-20-2	3.58	19.00	0.30	0.13
DZ10-20-3	3.44	17.70	0.26	0.01
DZ10-20-4	4.49	19.60	0.26	0.09

注:氧化物含量单位为%,微量和稀土元素 10^{-6}

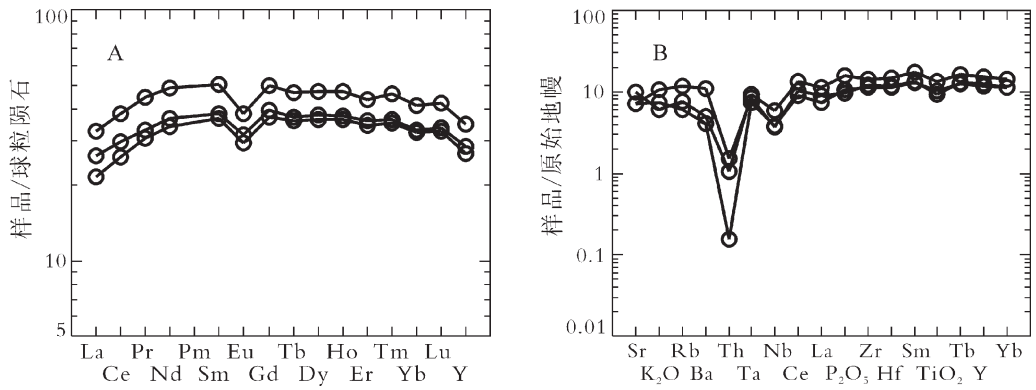


图 5 斜长角闪岩稀土元素球粒陨石配分模式(A)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(B)

(底图据参考文献[28])

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (A) and primitive mantle normalized trace element patterns (B) of amphibolites

10^{-6}~162×10^{-6},w(Hf)为 3.44×10^{-6}~3.58×10^{-6},w(Nb)为 2.66×10^{-6}~4.22×10^{-6},w(Ta)为 0.30×10^{-6}~0.38×10^{-6},分别与典型的 N-MORB 的 w(Zr)、w(Hf)、w(Nb)、w(Ta)相当[4]。玛因鄂博蛇绿岩中的变质基性火山岩(斜长角闪岩)的微量元素 Pearce 比值蛛网图解(图 5-B)显示,其与大洋拉斑玄武岩具有相似的微量元素分配形式,均以大离子亲石元素(Rb、Sr)较富集、高场强元素(Zr、Hf、Sm、Y、Yb)不分异并近于 MORB 的特征,显示其可能来自于 MORB 或类似于 MORB 的幔源。在 Zr-Zr/Y 判别图解[29](图 6-A)、TiO_2-MnO-P_2O_5 判别图解[30](图 6-B)中,该批样品的数据点均无一例外地落入 MORB

型玄武岩内。上述分析表明，该区变质基性火山岩(拉斑玄武岩)为典型洋壳蛇绿岩的组成部分。

3　蛇绿岩中变基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄

3.1　测试方法

所采年龄样的破碎和锆石挑选由河北省廊坊区域地质调查研究院地质实验室完成。锆石阴极发光显微图像(CL 图像)照相和 LA-ICP-MS 定年分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。锆石阴极发光图像在 FEI 公司的场发射环境扫描电子显微仪 Quanta400 EFC 上完成,分析电压 15kV,电流 19nA。锆石 U-Pb 原位定年分析所用仪器为 Agilent 型 ICP-MS 和与之配套的激光剥蚀系统(德国 Lamda Physik 公司生产的 Geolas 200M 深紫外 DUV 193nmArF 准分子激光剥蚀系统)。激光斑束直径是 30μm，激光剥蚀样品的深度为 20~40μm。详细的测试过程、分析步骤和数据处理方法见参考文献[31-35]。

3.2　锆石特征

阴极发光图像研究表明，锆石具有明显的震荡环带或扇形分带，表明所有锆石都是从岩浆中结晶出来的。个别锆石具有明显的核,锆石核部或者代表早期岩浆房中结晶的产物，或者代表早期岩浆锆石的残余。为了测定火山岩的形成年龄,主要测定锆石边部的年龄。测试过程中尽量选择阴极发光生长环带明显、无包裹体、无裂纹的锆石晶体。

富蕴县西部变基性火山岩(DZ10-20)的锆石样品在双目镜下颜色呈粉色透明体,整体呈短柱状,部分晶体两端可见双锥。其中,柱状锆石晶体长 50~200μm,宽度一般在 50~100μm 之间,长宽比多为 2:1~3:1;部分锆石晶形不完整,大小各异,系碎样过程中人为的影响。这些锆石的阴极发光(CL)强度较弱(图 7),部分显示有核-幔结构。所有被测定的锆石均显示有岩浆锆石所特有的震荡环带,而且测试微区的 Th/U 比值均大于 0.1。因而,此变基性火山岩锆石均属岩浆成因,经历过后期变质作用的明显改造。

3.3　测试结果

对 28 颗锆石进行测定，有效点数 29 个，其中 15、16 为同一锆石上的 2 个点。锆石 U-Pb 年龄分析结果见表 2,所有锆石的 Th 含量为(99.88~498.31)×10^{-6},U 含量也较高,为(239.0~1208.98)×10^{-6},Th/U 比值总体在 0.30~0.69 区间内变化。29 个测点给出的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄变化范围为 419~455Ma,且数据点都落在 U-Pb 谐和线上或附近较小的区域内，在置信度 95%时的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 437Ma±12Ma(MSWD=0.082)(图 8),代表了斜长角闪岩(拉斑玄武岩)的形成年龄。

4　讨　论

初步的研究表明，青河—富蕴一带沿玛因鄂博断裂带呈北西—南东向分布的洋脊型变质火山岩(斜长角闪岩),无论是稀土元素特征还是微量元素特征，均表明其为典型的大洋拉斑玄武岩

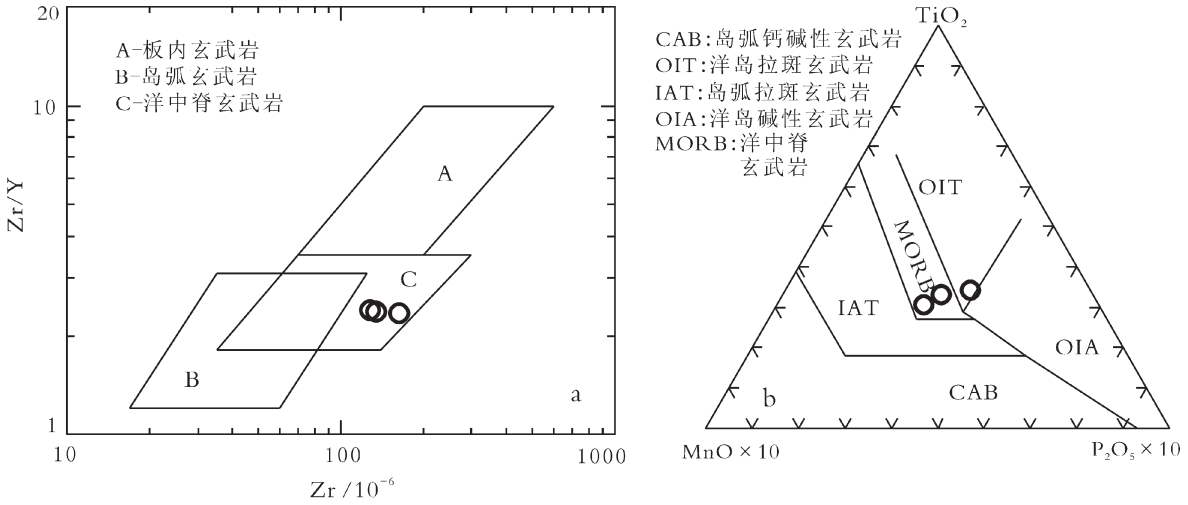


图 6　Zr-Zr /Y 图解(a)和 TiO_2-MnO-P_2O_5 图解(b)(底图分别据参考文献[29]和[30])

Fig. 6　Diagram of Zr- Zr/Y(a) and TiO_2-MnO-P_2O_5 (b)

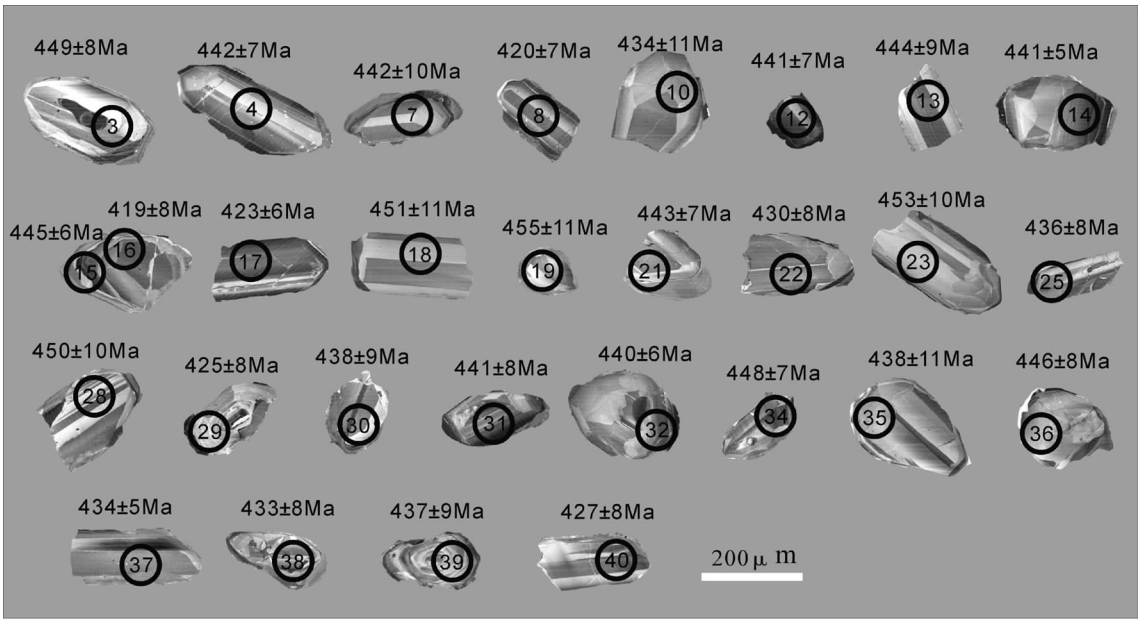


图 7 锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 7 Cathodoluminescence (CL) images of zircons

圆圈和数字代表分析点号与 U-Pb 同位素测试微区的位置,数据为 $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄,见表 2

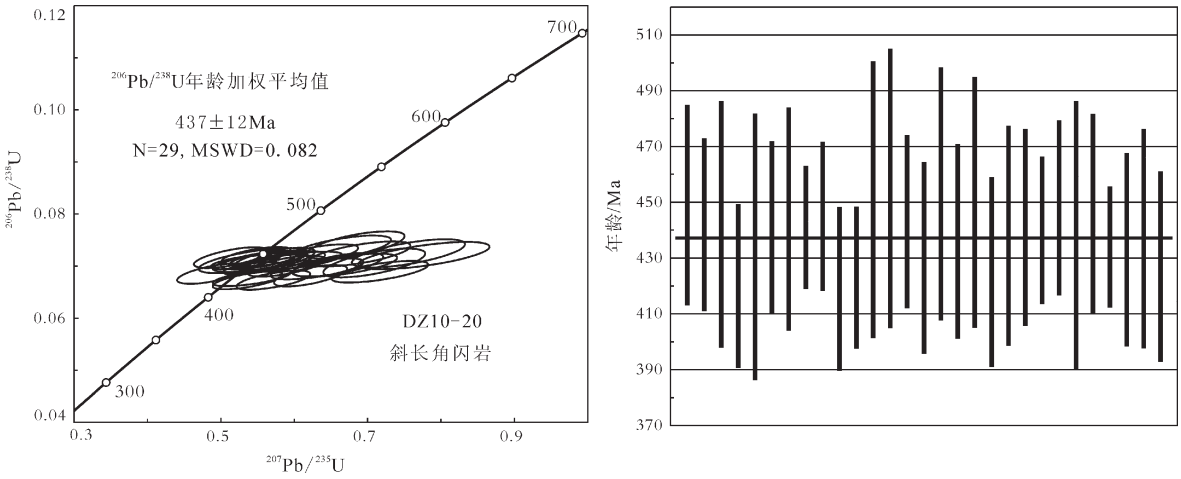


图 8 锆石(DZ10-20)U-Pb 谐和图(左)和 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄图(右)

Fig. 8 $^{207}Pb/^{235}U$-$^{206}Pb/^{238}U$ concordia diagram and weighted average age diagram of zircons

(N-MORB 型),可能代表了该区消失了的古洋壳。根据其精确的同位素年龄,该蛇绿岩的形成时代应该是早志留世。由此表明,西伯利亚板块南缘存在早古生代洋脊玄武岩,是大洋扩张脊岩浆活动的产物。

玛因鄂博蛇绿构造混杂岩带之北,前人已识别出早古生代岩浆弧和泥盆纪岛弧火山岩[36-39]。本次研究在玛因鄂博蛇绿构造混杂岩带之南,以泥盆纪复理石建造组合为主,在其中已识别出多条泥盆纪岛弧火山岩带,证明存在增生造山作用。玛因鄂博蛇绿构造混杂岩的识别及其时代研究,为造山作用机制研究提供了重要依据。

阿尔泰额尔齐斯构造带的布尔根蛇绿岩[20],前人认为形成于石炭纪,与南蒙古洋形成时代一致[40],可能为南蒙古洋的西延部分。本次研究认为玛因鄂博蛇绿岩形成于 437Ma±12Ma,与斋桑洋的形成时

表 2　阿尔泰玛因鄂博变质基性火山岩锆石(DZ10-20)U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 2　Zircon (DZ10-20) U-Th-Pb isotopic analytical results of meta-basic volcanic rocks in Mayinebo of Altay orogenic belt

测点	Pb(总) /10^{-6}	^{232}Th /10^{-6}	^{238}U /10^{-6}	Th/U	同位素比值 ^{207}Pb/^{235}U	1s	^{206}Pb/^{238}U	1σ	同位素年龄/Ma ^{207}Pb/^{235}U	1σ	^{206}Pb/^{238}U	1σ
3	30	158	353	0.45	0.631	0.038	0.072	0.001	497	23	449	8
4	36	251	409	0.61	0.601	0.043	0.071	0.001	478	27	442	7
7	23	120	276	0.43	0.544	0.049	0.071	0.002	441	32	442	10
8	37	239	442	0.54	0.572	0.033	0.067	0.001	459	21	420	7
10	21	100	247	0.40	0.709	0.046	0.071	0.002	471	39	434	11
12	35	208	416	0.50	0.554	0.043	0.071	0.001	448	28	441	7
13	33	228	382	0.60	0.573	0.037	0.071	0.001	460	24	444	9
14	70	266	882	0.30	0.530	0.029	0.071	0.001	432	19	441	5
15	53	204	669	0.30	0.565	0.035	0.071	0.001	455	22	445	6
16	37	249	472	0.53	0.537	0.032	0.067	0.001	436	21	419	7
17	44	315	542	0.58	0.543	0.035	0.068	0.001	440	23	423	6
18	20	107	243	0.44	0.756	0.051	0.072	0.002	572	29	451	11
19	23	136	262	0.52	0.684	0.044	0.074	0.002	465	42	455	11
21	46	323	547	0.59	0.552	0.034	0.071	0.001	446	22	443	7
22	26	177	318	0.56	0.717	0.044	0.069	0.001	549	26	430	8
23	23	114	280	0.41	0.663	0.045	0.073	0.002	465	36	453	10
25	35	227	432	0.52	0.589	0.035	0.070	0.001	470	22	436	8
28	27	173	312	0.55	0.689	0.046	0.072	0.002	532	28	450	10
29	66	388	791	0.49	0.622	0.033	0.068	0.001	491	21	425	8
30	44	323	496	0.65	0.660	0.041	0.070	0.002	514	25	438	9
31	40	265	462	0.57	0.584	0.038	0.071	0.001	467	25	441	8
32	63	256	781	0.33	0.573	0.032	0.071	0.001	460	21	440	6
34	63	498	722	0.69	0.548	0.031	0.072	0.001	444	20	448	7
35	20	103	239	0.43	0.777	0.059	0.072	0.002	461	56	438	11
36	36	168	454	0.37	0.514	0.033	0.072	0.001	421	22	446	8
37	97	433	1209	0.36	0.542	0.026	0.070	0.001	440	17	434	5
38	33	219	392	0.56	0.631	0.042	0.069	0.001	497	26	433	8
39	30	156	364	0.43	0.669	0.047	0.070	0.001	520	29	437	9
40	54	433	630	0.69	0.489	0.032	0.069	0.001	404	22	427	8

代接近,证明了斋桑洋东延的存在。问题是,斋桑-额尔齐斯-布尔根-南蒙古是 1 条蛇绿构造混杂岩带, 拟或是 2 条蛇绿岩带由后期构造作用在研究区拼贴、混杂在一起,还需要进一步研究。

5　结　论

玛因鄂博蛇绿构造混杂岩主要由碳酸盐化超美铁质岩(?)、辉长岩、堆晶辉长岩、辉绿岩墙、变玄武岩、变枕状玄武岩、薄层硅质岩等构造岩块组成,基质为变质的碎屑岩系,绿片岩相—角闪岩相变质。其中变基性火山岩岩石地球化学特征显示为典型的大洋拉斑玄武岩(N-MORB 型),代表该区消失了的古洋壳残片。

富蕴县西变基性火山岩(斜长角闪岩)锆石 U-Pb 年龄为 437Ma±12Ma, 佐证了早古生代斋桑洋在研究区的存在。这为建立研究区古生代的构造格架、探讨研究区地质演化历史提供了重要资料依据。

致谢: 野外工作中得到中科院李继亮老师和地科院阎臻老师的指导, 文章编写过程中得到西安地质调查中心冯益民、马中平、孙吉明、李平、白建科、李婷等同事的帮助与指导, 实验测试过程中得到西北大学大陆动力学国家实验室和西安地质调查中心测试中心工作人员的指导,在此一并致谢。

参考文献

[1]Pearce J A, Lippard S J,Roberts S. Characteristics and tectonic significance of super-subduction zone ophiolites[C]//Kokelear B P,Howells M F.Marginal Basin Geology. Geological Society Special Publication, 1984,16:77-94.

[2]Stern R J, Bloomer S H, Lin P H,et al. Submarine arc volcanism in the southern Mariana Arc as an ophiolite analogue[J]. Tectonophysics, 1989,168:151-170.

[3]Bloomer S H,Stern R J,Smoot N C. Physical volcanology of the submarine Mariana and Volcano Arcs[M]. Bulletin of Volcanology, 1989, 51:210-224.

[4]Wilson M. Igneous petrogenesis[M]. London: Unwin Hyman ,1989 : 1-323.

[5]蔡文俊.新疆准噶尔东北缘板块构造初步研究[C]//中国北方板块构造论文集, 第 1 集. 北京: 地质出版社, 1986:1-26.

[6]肖序常,汤耀庆,李锦轶,等.试论新疆北部大地构造演化[J].新疆地质科学,1990,(1): 47-68.

[7]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,1992:34-42.

[8]何国琦. 额尔齐斯构造带构造演化与成矿系列研究[R]. 课题报告, 1990.

[9]刘伟,张湘炳.乌伦古-斋桑泊构造杂岩带特征及其地质意义: 新疆北部固体地球科学新进展[M].北京: 科学出版社,1993:217-228.

[10]简平,刘敦一,张旗,等.蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J].地学前缘, 2003, 10(4) : 439-456.

[11]何国琦,李茂松.中国新疆北部奥陶—志留系岩石组合的古构造、古地理意义[J].北京大学学报(自然科学版) ,2001,37(1):99-110.

[12]何国琦,李茂松.论新疆东准噶尔蛇绿岩的时代及其意义[J].北京大学学报(自然科学版),2001,37(6):852-858.

[13]肖文交,Windley B F,闫全人,等.北疆地区阿尔曼太蛇绿岩锆石 SHRIMP 年龄及其大地构造意义[J].地质学报, 2006,80(1):32-37.

[14]张弛.新疆蛇绿岩某些地质特征[J].地质论评,1981,7(4):307-314.

[15]刘峰标.阿勒泰古板块与内生矿产[J].西北地质,1983,(4):14-21.

[16]何国琦,李茂松,刘德权,等.中国新疆古生代地壳演化及成矿[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1994:1-437.

[17]曹荣龙.新疆北部蛇绿岩及基性超基性杂岩[J].新疆地质,1994, 12(1):25-31.

[18]许继峰,陈繁荣,于学元,等.新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩:古弧后盆地系统的产物[J].岩石矿物学杂志,2001, 20(3):344-352.

[19]Wang Zhihong, Sun Shu, Li Jiliang, et al. Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang, China: Geochemical and geochronological constraints from the ophiolites[J]. Tectonics, 2003,22(2): 9-1-9-15.

[20]吴波,何国琦,吴泰然,等.新疆布尔根蛇绿混杂岩的发现及其大地构造意义[J].中国地质,2006,33(3):47-486.

[21]杨志华,董连慧,陈明勇,等.在阿尔泰造山带富蕴-青河发现新的蛇绿混杂岩带[J].地学前缘,2005,12(3):177-178.

[22]何国琦,韩宝福,岳永君.中国阿尔泰造山带的构造分区和地壳演化[J].新疆地质科学, 1990,(2):9-20.

[23]曲世禄,侯鸿飞,吴绍祖,等.新疆北部泥盆系研究[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1992:1-146.

[24]肖序常,汤耀庆,李锦轶.新疆北部及其邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992:1-100.

[25]曲国胜,何国琦.阿尔泰造山带的构造运动[J].地质学报,1992,66(33):193-205.

[26]Sengor A M C, Natal′in B A,Burtman V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia [J]. Nature, 1993, 364:299-307.

[27]Miyashiro A. Classification, characteristics and origin of ophiolites[J]. Journal of Geology, 1975,83: 249-281.

[28]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes[C]//Saunders A D,Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ.,1989,42: 313-345.

[29]Pearce J A. Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries[C]//Thorp R S. Andesites. New York: John Wiley and Sons,1982:525-548.

[30]Mullen E D. MnO-TiO_2-P_2O_5: a major element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1983,62:53-62.

[31]Anderson T. Correlation of common lead in U-Pb analysis that do not report ^{204}Pb[J]. Chemical Geology, 2002,192: 59-79.

[32]Ludwig K R. Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4: 1-70.

[33]Gao Shan, Liu Xiao-ming, Yuan Hong-lin. Analysis of forty-two major and trace elements of USGS and NIST SRM Glasses by LA-ICP-MS[J]. Geostand Newsl., 2002,22: 181-195.

[34]柳小明,高山,袁洪林,等.193nm LA-ICP-MS 对国际地质标准参考物质中 42 种主元素和微量元素的分析[J].岩石学报, 2002,18(3):408-418.

[35]袁洪林,吴福元,高山,等.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[J].科学通报,2003,48(14):1511-1520.

[36]王涛,童英,李舢,等.阿尔泰造山带时空演变、构造环境及地壳生长意义[J].岩石矿物学杂志,2010,29(6):595-618.

[37]何国琦,李松茂.中亚蛇绿岩带研究进展及区域构造连接[J].新疆地质,2000,18(3):193-202.

[38]董连慧,朱志新,屈讯,等.新疆蛇绿岩带的分布、特征及研究新进展[J].岩石学报,2010,26(10):2894-2904.

[39]李锦轶,何国琦,徐新,等.新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J].地质学报,2006,80(1):148-168.

[40]Kulkow N P. Biogeographic data on the time of origin of the south-Mongolian paleoocean[C]//Report No.4 of the IGCP Project: Geodynamic Evolution of Paleoasian Ocean. Novosibirsk, 1993:159-161.