

新疆北天山拜辛德-吉吾恰依一带 蛇绿岩地球化学特征研究

高轩¹, 弓小平^{1*}, 谢巍然¹, 朱守忠¹, 薛晓峰²

1. 新疆大学 地质与矿业工程学院, 乌鲁木齐 830049; 2. 新疆维吾尔自治区地质调查院, 乌鲁木齐 830000

摘要:为探讨北天山拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩的形成环境, 对该带内辉长岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年。结果表明, 辉长岩的形成年龄为 336.2 ± 2.3 Ma, 说明辉长岩形成于早石炭世。岩石地球化学研究表明, 辉长岩具有球粒陨石 10 倍左右的 REE 含量, 具有平坦型分布的球粒陨石标准化配分曲线, 与 MORB 型较为相似; 玄武岩分别具有 MORB 型和 OIB 型岩石地球化学性质, 表明该地区早石炭世基底单元火山岩系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。综上可认为该地区蛇绿岩可能形成于强烈大陆拉伸作用导致的大陆裂谷向大洋裂谷转变的动力学环境中, 进而初步判断该区蛇绿岩为“红海型”。

关键词:北天山; 锆石 U-Pb 年龄; 大陆裂谷; 红海型

中图分类号: P588.3 文章编号: 1007-2802(2017)04-0611-09 doi: 10.3969/j.issn.1007-2802.2017.04.013

Geochemical Characteristics of Ophiolite in the Baixinde-Jiwuqiayi Area in the Northern Tianshan, Xinjiang, China and Their Geological Significances

GAO Xuan¹, GONG Xiao-ping^{1*}, XIE Wei-ran¹, ZHU Shou-zhong¹, XUE Xiao-feng²

1. College of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830049, China;

2. Geological Survey of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, China

Abstract: In order to discuss the formation environment of the ophiolite in the Baixinde-Jiwuqiayi area in the Northern Tianshan, the LA-ICP-MS U-Pb dating method has been applied for zircons from the gabbro in the area. Results show that the formation age of gabbro is 336.2 ± 2.3 Ma, indicating that the gabbro was formed in early Carboniferous. Petrogeochemical study indicates that the gabbro contains about 10 times of REE contents of the chondrite, with flat chondrite-normalized REE distribution patterns, relatively similar to those of the MORB. The basalt has petrogeochemical characteristics of the MORB and OIB, showing that the early Carboniferous volcanic rocks in the area were formed in the continental rift environment, with the material sourced from the asthenosphere, similar to the OIB. Therefore, we believe that the ophiolite in the area could be formed in a dynamic environment of the transition from the continental rift, resulted from strong continental extension, to the ocean rift, and then preliminary judge that the ophiolite belongs to the Red Sea type.

Key words: northern Tianshan; zircon U-Pb age; continental rift; Red Sea type

蛇绿岩的岩性单元可以与现代大洋岩石圈的各个组成单元相对比, 被认为是古大洋岩石圈的残留物, 含丰富的古大洋地幔动力学信息。板块构造学说认为, 蛇绿岩存在之处, 标志着这里曾经是古板块边缘上地幔物质上升的地方。蛇绿岩的研究,

对探讨造山带早期地质演化历史、重建古构造环境和板块拼合过程, 具有十分重要的作用(周国庆, 2008)。天山造山带蛇绿岩一直以来也都是地质学家们研究的热点(邬继易和刘成德, 1989; 王作勋等, 1990; 肖序常等, 1992; 高长林等, 1995; 卢华复

收稿日期: 2016-10-30 收到, 2016-11-27 改回

基金项目: 国家自然科学基金项目(41462004); 中国地质调查局项目(12120114000101)

第一作者简介: 高轩(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 地球探测与信息技术. E-mail: washgx@163.com.

* 通讯作者简介: 弓小平(1963-), 男, 博士, 教授级高级工程师. 研究方向: 成矿预测研究. E-mail: gxiaoping01@163.com.

等,2001)。天山造山带由北向南分布有4条重要的古生代蛇绿岩带,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岩带、中天山南缘早古生代晚期-晚古生代早期蛇绿岩带和南天山晚古生代蛇绿岩带(郝杰和刘小汉,1993;高俊等,1995)。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-南东东向展布,从艾比湖、经巴音沟向东延伸至后峡地区,前人的研究表明该蛇绿岩出露于上石炭统沙大王组,并与中泥盆统依连哈比尔尕组呈断层接触,与上覆上石炭统奇尔古斯套群呈角度不整合接触,因此只能确定蛇绿岩形成时代的上限(何国琦等,1994;李锦轶等,2006)。由于研究区内缺少系统的岩石地球化学资料,无法对区内晚古生代地质演化、古构造环境及其动力学机制进行有效的分析。因此,通过拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩锆石U-Pb测年和岩石地球化学分析,可以准确厘定研究区蛇绿岩形成时代,判明蛇绿岩大地构造环境。

1 蛇绿岩区域概况和地质特征

1.1 区域地质概况

研究区位于北天山,处于“中天山北缘断裂”北侧。位于新疆中部的北天山,是中亚造山带重要组成部分,也是地球上最大的显生宙增生造山带。弧-陆增生和碰撞造山作用,是中亚古生代造山带的主要特征(Xiao *et al.*, 2004, 2008, 2010)。当时古亚洲洋构造格局是多岛弧型,类似于现今的西南太平洋地区。随着古亚洲洋的闭合,多数微陆块、岛弧、海山混杂在其内部,最终洋盆的闭合使各陆块、岛弧等在晚古生代进行贴合、碰撞作用(Kröner *et al.*, 2007)。

北天山晚古生代蛇绿岩带呈北西西向展布,长度超过300 km。其南界是北西西走向的中天山北缘断裂,北界是北倾的逆冲断层。研究区位于巴音沟东侧依连哈比尔尕山主山脊,玛纳斯河西侧,是北疆蛇绿岩中时代最新的。蛇绿岩是北天山晚古生代构造岩浆作用重要组成部分,研究拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩,对了解北天山晚古生代构造岩浆作用具有重要的意义。

1.2 地质特征

研究区从南西至北东,存在3个主要地质单元,依次为中泥盆统依连哈比尔尕组、下石炭统沙大王组和上石炭统奇尔古斯套组。下石炭统沙大王组与下伏中泥盆统依连哈比尔尕组呈断层接触;与上石炭统奇尔古斯套组角度不整合接触。蛇绿岩呈推覆岩片逆冲分布于下石炭统沙大王组。带内蛇绿岩带宽度不等,以砂岩、凝灰岩为基质,各构造岩块与基质呈断层接触(图2a、2b)。由于受后期构造破坏,与典型的蛇绿岩的“完整层序”有一定差距,但从岩石组合特征来看,仍是一个岩石组合基本齐全的蛇绿岩组合。岩石变形变质强烈,普遍强蚀变碎裂岩化(图2c)、绿泥石化、碳酸盐化。同时受断裂构造控制,岩块上有方向不同的擦痕和滑动镜面(图2d),特别是蛇纹岩表面,可知在其形成过程中发生过多方向不同方向的滚动,为多次构造作用的产物。

2 样品采集及测试方法

本次辉长岩 LA-ICP-MS 锆石U-Pb测试样品采自吉吾恰依达坂,采样坐标为:经度 $85^{\circ}41'44''$,纬度 $43^{\circ}42'00''$ 。测试时先将样品经破碎后,用常规重力和磁选方法分选出锆石,选出具代表性的锆石样品;然后将锆石样品配列在载玻片双面胶上,放上

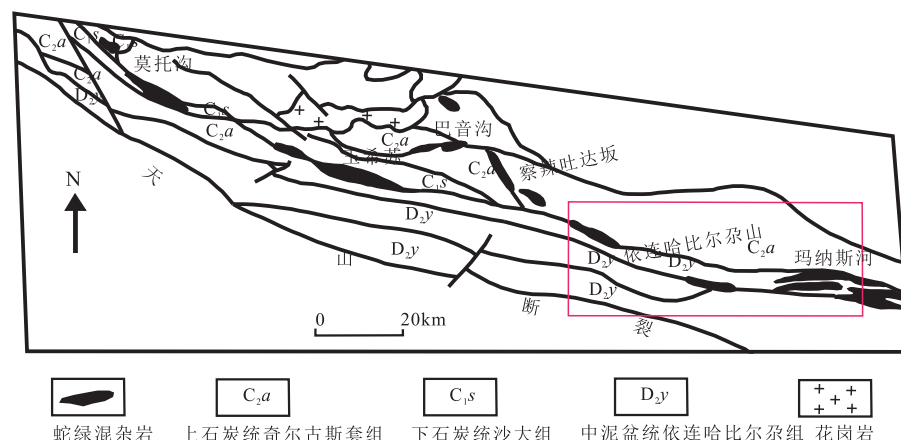


图1 拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩带分布位置简图

Fig.1 A sketch map showing distribution of ophiolites in the Baixinde-Jiwuqiayi area

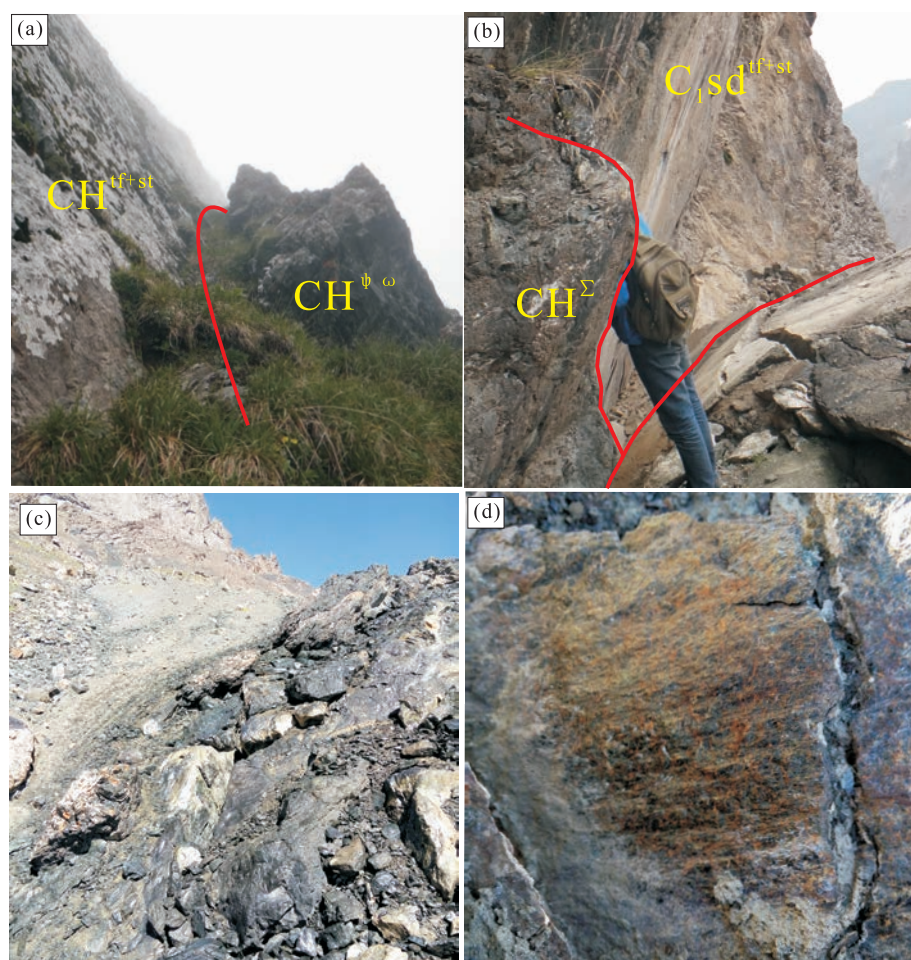


图2 蛇绿岩野外产出特征

Fig.2 Field characteristics of the ophiolite

PVC 环,再将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC 环,进行磨平抛光,然后对锆石进行透射光和反射光显微照相以及阴极发光图像分析观察锆石结构,选择合适定位点进行测年和数据分析的结果的解释。将挑选出的锆石送至南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室进行测年。测试使用与 New Wave 213 nm 激光取样系统连接起来的 Agilent 7500a ICP-MS 完成。分析过程中,激光束斑直径采用 $20 \sim 30 \mu\text{m}$,频率 5Hz。样品剥蚀后,由氦气为载气,再和 Ar 气混合后进入 ICP-MS 进行分析,U-Pb 分馏根据澳大利亚锆石标样 GEMOC GJ-1 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $608 \pm 1.5 \text{ Ma}$) 来校正,锆石标样 Mud Tank (截距年龄为 $732 \pm 5 \text{ Ma}$) 为内标,控制分析精度。U-Pb 年龄和 U, Th, Pb 的计算由 GLITTER 软件 (ver.4.4 获得),普通 Pb 的校正以及谐和图的绘制由 IsoPlot 软件处理完。

岩石地球化学样品分析在新疆维吾尔自治区矿产实验研究所岩矿检测室完成。常量元素分析

使用美国 ARL 公司制造的 X 荧光光谱仪 (规格型号为 XRF-8680) 测试,其 $\text{RD} < 2\%$; 微量元素测试使用 X 系列电感耦合等离子体质谱仪 (CIP-MS),检测依据 ZBF-3.67-2005,误差小于 5%。

3 测试结果

3.1 锆石 LA-ICP-MS 测年

14TWS-PMXXXIV-6 样品共分选出 20 多粒锆石,锆石粒度相对均匀,外形多为短柱状,透明自形晶型,阴极发光照片显示典型的岩浆锆石结晶环带或条带 (图 3)。结合其反射光、透射光和阴极发光照片,选择 9 颗具锆石颗粒进行 U、Th 和 Pb 同位素分析,结果见表 1,谐和图见图 3。由表 1 可见,样品的 U 含量为 $148 \times 10^{-6} \sim 450 \times 10^{-6}$,Th 含量为 $40 \times 10^{-6} \sim 140 \times 10^{-6}$,Th/U 值为 $0.28 \sim 0.94$ (均值为 0.61,大于 0.4),说明 Th/U 值具有较好的正相关性。年龄数据点集中分布于 $330 \sim 340 \text{ Ma}$,且均落于和谐线上,说明 $330 \sim 340 \text{ Ma}$ 代表岩浆结晶时间,9 个点

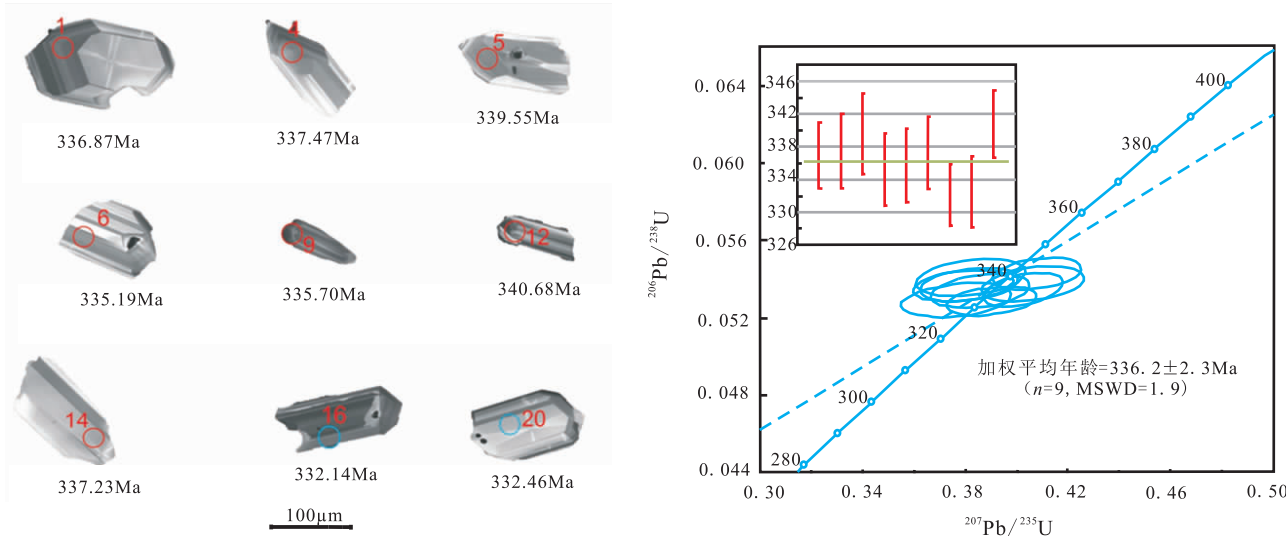


图 3 蛇绿岩中辉长岩锆石阴极发光图像及锆石 U-Pb 谐和年龄图
Fig.3 CL images and a diagram of U-Pb concordia ages for zircons of the gabbro in ophiolite

表 1 北天山拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩辉长岩 (14TWS-PMXXXIV-6) U-Pb 分析结果
Table 1 Analytical data for U-Pb dating of zircons from gabbro of the ophiolite(14TWS-PMXXXIV-6)
in the Baixinde-Jiwuqiayi area in Northern Tianshan

点号	同位素比值						年龄/Ma						比值
	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	
1	0.05365	0.00033	0.37921	0.00799	0.05148	0.00114	336.8	2.0	326.4	5.8	261.2	56.4	0.2309
4	0.05374	0.00037	0.40637	0.00811	0.05474	0.00109	337.4	2.3	346.2	5.8	466.7	44.4	0.2793
5	0.05409	0.00040	0.38225	0.00871	0.05171	0.00123	339.5	2.5	328.6	6.4	272.2	53.6	0.2859
6	0.05337	0.00036	0.38590	0.00796	0.05266	0.00112	335.1	2.2	331.3	5.8	322.2	48.1	0.3740
9	0.05346	0.00037	0.40254	0.00631	0.05454	0.00086	335.7	2.2	343.4	4.5	394.4	30.5	0.3221
12	0.05431	0.00034	0.40803	0.00711	0.05433	0.00093	340.6	2.1	347.4	5.1	383.3	43.5	0.2876
14	0.0537051	0.0003594	0.3815557	0.0077731	0.05179	0.00112	337.2	2.2	328.2	5.7	276.0	45.4	0.2692
16	0.0528734	0.0003062	0.3905053	0.0071921	0.05352	0.00101	332.1	1.8	334.7	5.3	350.1	42.6	0.4036
20	0.05293	0.00035	0.37673	0.00874	0.05174	0.00122	332.4	2.2	324.6	6.4	272.2	53.6	0.2917

的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $336.2 \pm 2.3 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.9$), 因此将 $336.2 \pm 2.3 \text{ Ma}$ 解释为蛇绿岩形成年龄。

3.2 主要元素地球化学特征

由主要元素数据(表 2)可见,蛇纹石化辉橄岩的 SiO_2 含量为 $39.85\% \sim 40.39\%$ (均值为 40.1%), Al_2O_3 含量为 $1.04\% \sim 1.81\%$ (均值为 1.4%), MgO 含量为 $36.56\% \sim 38.05\%$ (均值为 37.23%), 2 件样品的 Na_2O 含量较低, K_2O 、 TiO_2 含量极低, TiO_2 ($0.026\% \sim 0.028\%$), 由图 4 可以看出蛇纹石化辉橄岩落于变质橄榄岩区域。

由表 2 还可见,辉长岩的 SiO_2 含量为 $48.73\% \sim 51.28\%$, Al_2O_3 含量为 $13.62\% \sim 15.47\%$, MgO 为 $5.6\% \sim 10.3\%$, $\text{Mg}^\#$ 变化范围较大 ($33 \sim 50$), 具有较低的 TiO_2 含量 ($0.55\% \sim 0.89\%$)、 K_2O 含量 (1.16%

$\sim 1.26\%$) 和全碱含量 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3.46\% \sim 5.73\%$)。在 $\text{Zr}/(\text{TiO}_2 \times 0.0001) - \text{Nb}/\text{Y}$ 图解中,所有辉长岩样品具有玄武岩性质。

玄武岩可以分为 2 个亚类:玄武岩和碱性玄武岩(图 4)。玄武岩具有相对低的 TiO_2 含量 ($0.8\% \sim 1.35\%$)、 K_2O 含量 ($0.53\% \sim 0.86\%$) 及 $\text{Mg}^\#$ ($36 \sim 40$)。考虑到该组样品的稀土元素含量和微量元素含量与典型 MORB 样品相似,均表现为大洋中脊玄武岩特征。碱性玄武岩具有相对高的 TiO_2 ($2.05\% \sim 2.14\%$)、 K_2O ($2.74\% \sim 3.46\%$) 和 $\text{Mg}^\#$ ($23 \sim 30$), 表现 OIB 玄武岩特征。

3.3 稀土、微量元素地球化学特征

由样品的稀土元素和微量元素结果(表 3)可见,研究区蛇纹石化辉橄岩样品的 ΣREE 为 $2.32 \times$

表 2 北天山拜辛德-吉吾恰依一带地质体主量元素含量

样品编号	PM33-9	PM33-9/1	PM34-6	PM34-6/1	PM34-6/2	PM33-10	PM32-3	PM33-16	PM33-16/1
样品名称	蛇纹石化辉橄岩	蛇纹石化辉橄岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	蛇绿岩玄武岩	蛇绿岩玄武岩	洋岛玄武岩	洋岛玄武岩
SiO ₂	40.39	39.85	48.73	49.88	51.28	48.66	49.83	49.68	51.44
Al ₂ O ₃	1.81	1.04	13.62	15.36	15.47	14.72	16.53	15.03	14.39
TiO ₂	0.028	0.026	0.53	0.67	0.89	1.35	0.8	2.14	2.05
Fe ₂ O ₃	8.63	7.88	1.98	1.62	1.83	6.4	6.12	2.14	1.53
FeO	2.7	1.93	9.76	9.21	8.98	5.22	5.01	6.52	6.01
MnO	0.12	0.11	0.16	0.15	0.15	0.19	0.2	0.12	0.12
MgO	36.56	38.05	10.3	8.68	5.6	6.96	5.02	3.55	4.34
CaO	0.76	0.38	8.83	7.66	6.89	8.16	11.17	8.68	8.25
Na ₂ O	0.18	0.22	2.2	2.99	4.54	3.95	2.32	4.57	4.27
K ₂ O	0.01	0.01	1.26	1.16	1.19	0.86	0.53	2.74	3.46
P ₂ O ₅	0.023	0.02	0.05	0.081	0.13	0.15	0.11	0.38	0.5
LOI	8.76	10.46	2.6	3.05	3.33	3.56	2.21	5.08	4.32

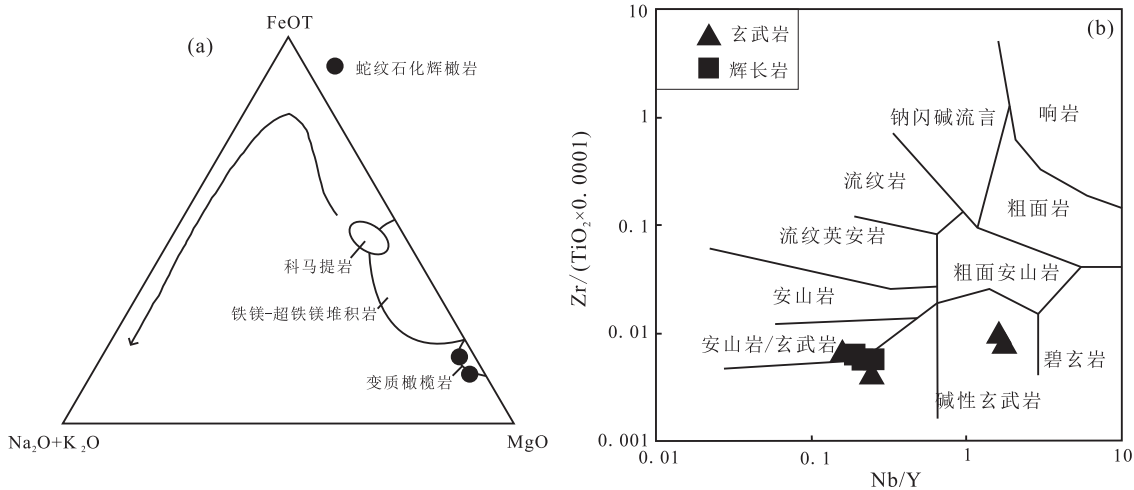


图 4 拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩 FAM 图解和 Zr/(TiO₂×0.0001)-Nb/Y 图解
Fig.4 FAM and Zr/TiO₂-Nb/Y diagrams for ophiolites in the Baixinde-Jiwuqiayi area

$10^{-6} \sim 2.34 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 为 2.09~2.30, La_N/Yb_N 值为 2.65~2.46, δEu 为 1.61~2.12, 有明显 Eu 正异常。在不相容元素的原始地幔标准化图中 Rb、Th 明显富集, Pr、Ti 明显亏损。总体上, 样品的配分曲线形态基本一致(图 5a、5b)。

研究区辉长岩的稀土总量可以分为 2 组: 较低的为 $16.83 \times 10^{-6} \sim 18.37 \times 10^{-6}$, 是球粒陨石的 7~8 倍, 较高的为 34.5×10^{-6} , 为球粒陨石的 11 倍, 总体与 MORB 型相似, 其 LREE/HREE 为 1.54~1.81, LREE 含量略高, Ce_N/Yb_N 为 2.77~3.55 (均值为 3.16), La_N/Sm_N 为 1.43~1.70 (均值为 1.57), 稀土分布曲线呈近平坦型, 轻重稀土分馏不明显, 轻稀土略富集。其 δEu 值为 1.07~1.16, 均大于 1, δCe

为 0.95, 具有不太明显的铈正异常和铈负异常。Eu 的亏损与富集主要取决于含钙造岩矿物的聚集与迁移(赖绍聪和刘池阳, 2003), 由于这类矿物的 Ca^{2+} 的离子半径与 Eu^{2+} 、 Eu^{3+} 的相似, 而与 Eu^{2+} 电价相同, 其晶体化学性质确定了 Eu 可通过类质同象形式进入造岩矿物中。因此, 导致正铈异常的出现是由于分异结晶作用进而使斜长石堆积(密文天等, 2012)。辉长岩的球粒陨石标准化稀土元素配分曲线(图 5c)表明, 辉长岩的总体水平为球粒陨石的 10 倍左右, 与 E-MORB 比较相似。辉长岩的 Ta/Hf 值为 0.08~0.16 (均值为 0.12), Nb/La 值为 0.92~1.74 (均值为 1.33), Ti/Y 值为 0.001~0.002 (均值为 0.0015)。在微量元素原始地幔标准化图

表 3 北天山拜辛德-吉吾恰依一带地质体稀土、微量元素含量及参数

Table 3 Contents of trace elements and rare earth elements for geological bodies

in the Baixinde-Jiwuqiayi area in Northern Tianshan (μg/g)

样品编号	PM33-9	PM33-9/1	PM34-6	PM34-6/1	PM34-6/2	PM33-10	PM32-3	PM33-16	PM33-16/1
样品名称	蛇纹石化 辉橄岩	蛇纹石化 辉橄岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	蛇绿岩 玄武岩	蛇绿岩 玄武岩	洋岛 玄武岩	洋岛 玄武岩
Rb	1.60	1.80	26.00	24.29	18.60	13.10	9.60	59.60	46.90
Ba	5.20	0.58	444	350	272	174	58.6	491	717
Th	0.43	0.60	4.60	4.70	4.8	0.76	0.62	3.00	3.60
Ta	0.13	0.09	0.094	0.066	0.36	0.23	0.095	2.32	2.68
Nb	1.32	1.43	2.42	1.93	3.14	3.81	3.26	34.24	35.85
La	0.59	0.48	1.40	1.30	3.40	5.10	3.00	26.60	29.40
Ce	0.37	0.36	4.00	3.50	9.10	12.20	5.80	52.80	58.50
Pr	0.04	0.07	0.60	0.58	1.20	2.10	1.00	7.50	8.50
Sr	7.70	8.90	406	768	1012	665	297	251	185
Nd	0.46	0.50	3.00	3.30	6.10	10.30	5.60	30.30	35.40
Zr	6.45	6.10	31.20	42.86	51.66	87.18	32.20	178	204
Hf	0.16	0.15	1.10	1.50	2.28	2.48	1.12	4.86	5.54
Sm	0.10	0.10	1.00	1.20	2.00	3.40	1.80	6.20	7.10
Eu	0.07	0.06	0.38	0.56	0.83	1.10	0.80	2.30	2.60
Dy	0.13	0.14	1.80	2.30	3.30	4.80	3.20	5.50	6.40
Y	1.40	1.90	9.60	10.40	15.00	23.20	13.60	19.80	22.50
Ho	0.04	0.04	0.38	0.50	0.71	1.00	0.68	0.97	1.20
Yb	0.16	0.14	1.30	1.50	2.30	3.70	2.20	2.30	2.90
Lu	0.03	0.03	0.20	0.24	0.33	0.55	0.38	0.33	0.41
Gd	0.10	0.13	1.20	1.50	2.40	3.30	2.10	5.80	6.70
Tb	0.02	0.03	0.27	0.34	0.48	0.76	0.51	1.00	1.20
Er	0.15	0.16	1.10	1.30	2.00	2.90	2.00	2.60	3.10
Tm	0.08	0.08	0.20	0.25	0.35	0.50	0.32	0.37	0.44
ΣREE	2.34	2.32	16.83	18.37	34.50	51.71	29.39	144.57	163.85
LREE	1.63	1.57	10.38	10.44	22.63	34.20	18.00	125.70	141.50
HREE	0.71	0.75	6.45	7.93	11.87	17.51	11.39	18.87	22.35
LREE/HREE	2.30	2.09	1.61	1.32	1.91	1.95	1.58	6.66	6.33
La _N /Yb _N	2.65	2.46	0.77	0.62	1.06	0.99	0.98	8.30	7.27
δEu	2.12	1.61	1.06	1.28	1.16	0.99	1.25	1.15	1.13
δCe	0.42	0.43	1.07	0.99	1.10	0.91	0.82	0.90	0.90

解(图 5d)中,Ba、Th、Sr、Hf 处于正异常,Ti 处于负异常,而不相容元素 La、Ce……Y、Yb 等形成一个比较平缓的区间。

由玄武岩稀土元素特征球粒陨石标准化配分曲线(图 5e)可以看出,4 件玄武岩样品可以明显分为 2 类:第一类为洋中脊玄武岩,第二类为洋岛玄武岩。

第一类玄武岩的 Ce_N/Yb_N 值为 3.34,La_N/Sm_N 值为 1.65,δEu 为 0.99~1.25,δCe 为 0.82~0.91,Th/Ta 值为 3.31,Ta/Hf 值为 0.10,Nb/La 值为 0.75。ΣREE 为 29.39~51.71,其含量较低,LREE/

HREE 为 1.58~1.95,2 件玄武岩均具有相对平坦的 REE 配分模式(图 5e),其轻重稀土分馏不明显,同时各个样品 REE 配分曲线相互平行,显示了其稀土分异程度相近,具有同源岩浆的特征。在原始地幔标准化(图 5f)中,富集 Ba、Sr,其他元素几乎不存在分异现象,Nb、La 和 Ce 配分曲线明显向左倾斜,排除大离子亲石元素遭受后期改造进而上升的因素,其他元素的地球化学特征近似于大洋中脊型玄武岩的岩石化学特征,说明此类玄武岩为大洋中脊玄武岩(MORB)。

第二类玄武岩的 Ce_N/Yb_N 值为 21.24~22.79,

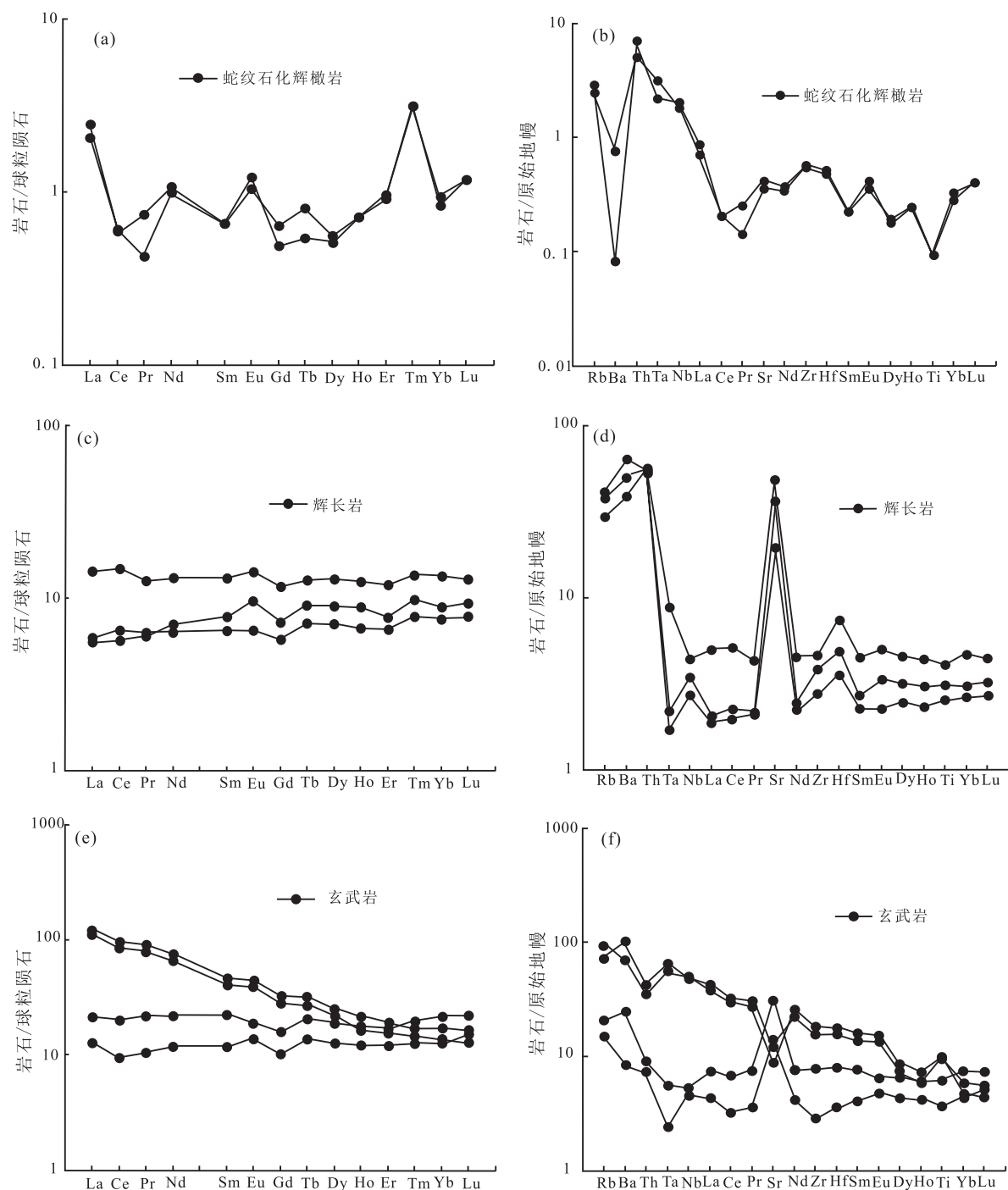


图5 拜辛德-吉吾恰依蛇纹岩球粒陨石标准化和原始地幔标准化多元素配分曲线图

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns and PM-normalized trace elements spider diagram of ophiolites in the Baixinde-Jiwuqiayi area

La_N/Sm_N 值为 $3.87 \sim 4.09$, δEu 为 $1.13 \sim 1.15$, $\delta Ce = 0.90$ 。 ΣREE 为 $144.57 \times 10^{-6} \sim 163.85 \times 10^{-6}$, 明显高于 N-MORB, La/Yb 值为 $10.03 \sim 11.08$, 轻稀土富集, 在稀土配分图上呈明显的负倾斜。 Th/Ta 值为 $1.29 \sim 1.3$ (均值为 1.32), Ta/Hf 值为 0.48 , Nb/La 值为 $1.22 \sim 1.29$ (均值为 1.25)。这些特征都与洋岛玄武岩相似而不同于 N-MORB。通过微量元素蛛网图可以看出第二类玄武岩 Sr 元素有明显亏损, 存

在 Ta 正异常, 与典型的 OIB 具有相同的分布型式, 说明此类玄武岩为洋岛玄武岩 (OIB)。

4 构造环境讨论

前人对天山石炭纪-二叠纪火山岩的研究表明, 早石炭世火山岩与下伏地层呈广泛角度不整合接触, 在不整合面之下普遍存在磨拉石建造的砾岩层, 且该砾岩应是天山古生代洋盆闭合后由于板块

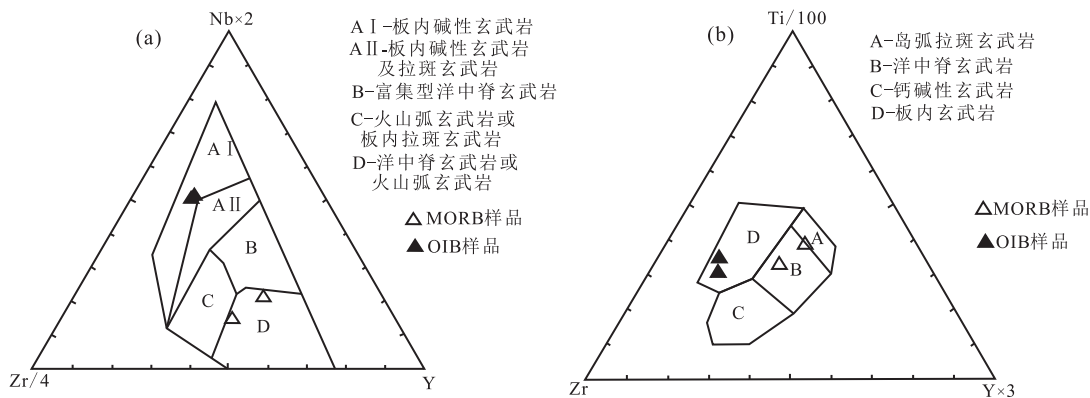


图6 拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩环境判别图

Fig.6 The tectonic setting discrimination diagram for ophiolites in the Baixinde-Jiwuqiayi area

拼贴-碰撞挤压造山作用所产生的磨拉石建造,早石炭世天山古生代洋盆已经闭合(夏林圻等,2002)。研究区内蛇绿岩中辉长岩的锆石年龄为 336.2 ± 2.3 Ma,也表明北天山蛇绿岩带形成于早石炭世。

对蛇绿岩的微量元素进行分析,在 Nb-Zr-Y 图解(图6)中,样品均落入 N-MORB 或火山弧玄武岩的 D 区。由于 Th、Ta 等元素在地幔软流圈和 MORB 中含量很低,并且在熔体与矿物之间分异很小,因此这些元素在 MORB 中保持一致。将研究区蛇绿岩中的玄武岩与洋中脊型玄武岩对比可见,其 LREE 相对 HREE 亏损不明显。根据以往研究,形成这种现象的情况有 2 种:一是少量 OIB 与 N-MORB 的混合作用形成 LREE 略富集的 E-MORB。这与研究区玄武岩的地球化学特征不相符,拜辛德-吉吾恰依蛇绿岩中的玄武岩很少出现 LREE 富集。二是由于在原始地幔标准化图上呈平坦分布型式,岩石稀土元素和微量元素的分布特征接近原始地幔,可能是由于略亏损的源区岩石发生部分熔融而形成。稀土元素特征和微量元素特征与原始地幔十分相近,说明其原岩为近于原始地幔组分的源区,而不是像一般的 N-MORB 那样形成于强烈亏损的地幔源区。据此可以推断拜辛德-吉吾恰依蛇绿岩中的玄武岩形成于大洋形成初期。

研究区还存在一套 OIB 玄武岩,该套玄武岩具有较高的 TiO_2 含量,在微量元素原始地幔标准化图上有明显的 Nb、Ta 正异常,在 Nb-Zr-Y、Ti-Zr-Y(图6)图解上,这些样品均投在板内玄武岩区,由于板内玄武岩成因与洋岛玄武岩相似,因此可以说明该套玄武岩为洋岛玄武岩。在 Ta/Yb-Th/Yb图解中这些玄武岩靠近 OIB 区,而远离 E-MORB 和 N-MORB 区域,元素的比值特征显示岩石未受俯冲带流体交代的影响(陈根文等,2012)。

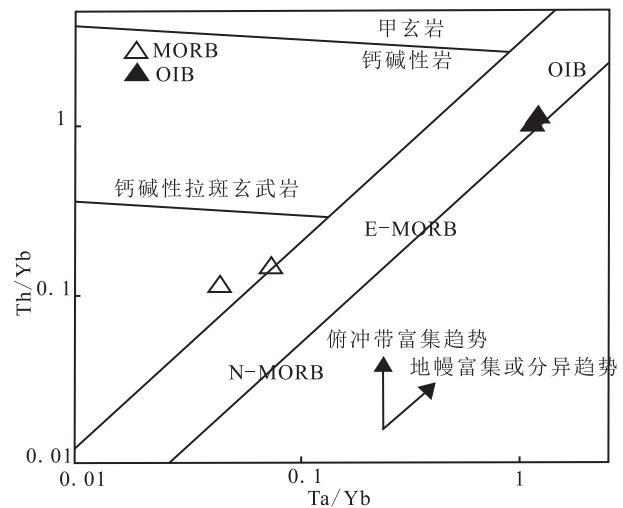


图7 玄武岩的Th/Yb-Ta/Yb图

Fig.7 A diagram of Th/Yb-Ta/Yb for basalts

综上所述,北天山拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩的形成时间是早石炭世,早石炭世基底火山单元是在大陆裂谷环境中形成的,其源区近似于 OIB 源区的地幔软流圈源,且未受俯冲作用影响。推测研究区蛇绿岩应形成于强烈的大陆扩展作用,导致大陆裂谷向大洋裂谷转变,近似于红海型,因此拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩可以称为“红海型”蛇绿岩。

5 结论

(1) 北天山拜辛德-吉吾恰依一带蛇绿岩铁镁质火山杂岩呈 MORB 的地球化学特征,同时还存在一套由地幔源形成的 OIB 型玄武岩。

(2) 蛇绿岩带内辉长岩锆石年龄为 336.2 ± 2.3 Ma。

(3) 鉴于早石炭世晚古生代洋盆已经闭合且在研究区与蛇绿岩有关的断层均为南倾的逆冲断层,同时存在洋中脊型玄武岩伴生的洋岛玄武岩,推测

有软流圈物质上涌导致天山北部出现裂谷拉张,而形成“红海型”蛇绿岩。

致谢:感谢维吾尔自治区地质调查院薛晓峰及项目组成员对野外工作的大力支持!

参考文献 (References):

- Kröner A, Windley B F, Tomurtogoo O, Hegner E, Jahn B M, Gruschka S, Khain E V, Demoux A, Wingate M T D. 2007. Accretionary growth and crust formation in the Central Asian Orogenic Belt and comparison with the Arabian-Nubian shield. *GSA Memoirs* January, 200: 181-209
- Xiao W J, Windley B F, Badarch G, Sun S, Qin K, Wang Z. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: Implications for the growth of Central Asia. *Journal of the Geological Society*, 161: 339-342
- Xiao W J, Han C M, Yuan C, Sun M, Lin S F, Chen H L, Li Z L, Li J L, Sun S. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2-4): 102-117
- Xiao W J, Huang B C, Han C M, Sun S, Li J L. 2010. A review of the western part of the Altaids: A key to understanding the architecture of accretionary orogens. *Gondwana Research*, 18(2-3): 253-273
- 陈根文, 邓腾, 夏换, 刘群. 2012. 新疆西天山巴音沟与蛇绿岩伴生的洋岛玄武岩: 主微量元素证据. *岩石矿物学杂志*, 31(6): 831-842
- 高长林, 崔可锐, 钱一雄, 刘斌, 丁道桂, 殷勇. 1995. 天山微板块构造与塔北盆地. 北京: 地质出版社

- 高俊, 汤耀庆, 赵民, 王军. 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(S1): 85-97
- 郝杰, 刘小汉. 1993. 南天山造山带蛇绿混杂岩形成的时代及大地构造意义. *地质科学*, 28(1): 93-95
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社
- 赖绍聪, 刘池阳. 2003. 青藏高原安多岛弧型蛇绿岩地球化学及成因. *岩石学报*, 19(4): 675-682
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 2006. 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
- 卢华复, 贾承造, 贾东, 陈楚铭, 刘志宏, 王国强, 王胜利. 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
- 密文天, 朱利东, 李智武, 杨文光, 曾江, 董昱. 2012. 西藏舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩及辉绿岩地球化学特征. *新疆地质*, 30(4): 465-470
- 王作勋, 邹继易, 吕喜朝, 张经国, 刘成德. 1990. 天山多旋回构造与成矿. 北京: 科学出版社
- 夏林圻, 夏春祖, 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思考. *西北地质*, 53(4): 9-20
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 朱宝清, 李锦轶, 赵民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社
- 周国庆. 2008. 蛇绿岩研究新进展及其定义和分类的再讨论. *南京大学学报: 自然科学*, 44(1): 1-24
- 邹继易, 刘成德. 1989. 新疆北天山巴音沟蛇绿岩的地质特征. *岩石学报*, 5(2): 76-87

(本文责任编辑: 刘莹; 英文审校: 张兴泰)

·亮点速读·

德干大火成岩省的形成与2个地幔热点有关

大火成岩省(LIPs)指的是短时(<1~3 Ma)喷发形成的巨量(百万立方千米量级)岩浆岩,其主体是玄武质岩浆,这是地幔岩浆活动在地表最宏伟的展现,具有极其重要的环境(气候变化、生物灭绝等)和资源(超大型金属矿床等)效应。位于印度中西部的德干玄武岩(Deccan Traps)是世界上最大的LIPs之一,其喷发时代(~65 Ma)与白垩纪-古近纪生物灭绝时间一致,指示了两者之间的联系。虽然德干玄

武岩的形成通常都被认为与印度洋Réunion地幔热点活动有关,但是由于喷发时印度洋的地幔结构未知,因此其深部成因也就无法得到确认。

加拿大科学家Petar GlišC和Alessandro Forte利用反复迭代的方法进行了时间反演的对流模拟,把地幔浮力的变化与地表的地质和地球物理过程联系了起来,重现了自德干玄武岩喷发以来印度洋深部地幔的结构变化。方法的核心是将地震学、地球动力学

和矿物物理学联合反演得到的现今地幔的三维结构容纳在对流模型里。模拟显示在德干玄武岩喷发时,Réunion热点下方的确存在低密度的、源自深部地幔的上升流,这就明确了德干大火成岩省的深部成因。模拟结果还发现,在Comores热点下方也存在上升流,也就是说:德干大火成岩省的形成不仅与深部热点有关,而且是2个热点同时起了作用。这些结果为认识大火成岩省的形成过程提供了全新的视野。

[以上成果发表在《Science》上: Petar GlišC, Alessandro M Forte. 2017. On the deep-mantle origin of the Deccan Traps. *Science*, 355: 613-616]

(夏群科 编译)