

新疆阿尔泰山南缘玛音鄂博断裂南侧变质基性岩的发现及其地质意义

周刚^{1,2}, 张招崇³, 杨文平², 谷高中², 张小林², 罗世宾², 王祥²

1. 中国地质科学院研究生部, 北京 100037

2. 新疆地矿局第四地质大队, 新疆阿勒泰 836500

3. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

摘要: 位于额尔齐斯—玛音鄂博大断裂带南侧的阿热勒托别变质基性岩产于下石炭统姜巴斯套组一套细碎屑沉积岩中。岩石组成以变质玄武岩为主, 它们具有相对高的 TiO_2 、 MgO 和低 SiO_2 、 K_2O 的特点; 在稀土元素组成上, 显示轻稀土弱富集的配分模式, 无明显 Eu 异常; 微量元素组成显示大离子亲石元素富集, 并具有明显的正 Th 异常和弱的 Nb 负异常、高的 Nb 含量 ($>2 \times 10^{-6}$) 以及 HFSE 基本上和 MORB 相当的特点; 其 Zr/Nb 比值落在 MORB 范围之内, 而 Ti/V 比值略比 MORB 高, 表明其为 MORB 源的亏损地幔在相对较低熔融程度下熔融的产物。其 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 $+7.40 \sim +8.35$, 略低于 MORB, 但高于洋岛以及大陆板内玄武岩。因此该变质基性岩总体上兼有火山弧和洋中脊玄武岩特征, 因而其可能形成于弧后环境, 代表了弧后盆地扩张早期的产物。

关键词: 变质基性岩; 地球化学; 弧后盆地; 额尔齐斯—玛音鄂博缝合带。

中图分类号: P588.3

文章编号: 1000-2383(2005)06-0738-09

收稿日期: 2005-07-02

Metabasic Rock on the South Side of Mayin'ebó Fault in the South Margin of Altay Mountains, Xinjiang, and Its Geological Implications

ZHOU Gang^{1,2}, ZHANG Zhao-chong³, YANG Wen-ping², GU Gao-zhong²,
ZHANG Xiao-lin², LUO Shi-bin², WANG Xiang²

1. Graduate School, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2. No. 4 Geological Team of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Altay 836500, China

3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: The Areltuobie metabasic rocks occur in the Lower Carboniferous Jiangbasitao Formation, which consists of sedimentary fine clastic sequences on the south side of the Ertix-Mayin'ebó deep-large fault that marks the boundary between the Altay and Junggar orogenic belts. The metabasic rocks display relatively high TiO_2 (1.15%–2.20%) and MgO contents (7.03%–9.54%), and relatively low SiO_2 (45.72%–48.31%) and K_2O contents (0.13%–0.41%). They exhibit slight LREE enrichment on the chondrite-normalized REE patterns without Eu anomalies. Their MORB-normalized trace element patterns are characterized by large ion lithophile element (LILE) enrichment with significantly positive Th anomalies, slightly negative Nb anomalies and high Nb concentrations ($2.6 \times 10^{-6} - 8.7 \times 10^{-6}$), whereas their high field strength element (HFSE) contents resemble those of MORB. The Zr/Nb ratios range from 18.9 to 32.7, similar to those of MORB. In contrast, their Ti/V ratios are higher than those of MORB. All of these features suggest that they were generated by relatively low degrees of melting of MORB-like depleted mantle source. Their $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values range from 7.40 to 8.35, lower than those of MORB, but higher than those rocks derived from oceanic island and intracontinental basalts. Consequently, the metabasic rocks have the somewhat transitional features of the volcanic rocks between a volcanic arc and an oceanic island. It is therefore in-

基金项目: 新疆维吾尔自治区 1:5 万区调项目 (No. XJQDW2003-03); 国家“305”项目 (No. 2001BA609A-07-02)。

作者简介: 周刚 (1966—), 男, 高级工程师, 在职博士研究生, 主要研究方向为岩浆作用与成矿。E-mail: xazhougang@126.com

ferred that they were formed from a back-arc basin, and represent the products in the early stage of back-arc basin spreading.

Key words: metabasic rock; geochemistry; back-arc basin; Ertix-Mayin'ebo suture zone.

哈萨克斯坦—准噶尔板块与西伯利亚板块边界问题一直是国内学术界长期争论的焦点。肖序常等(1992)认为西伯利亚板块以达拉布特—卡拉麦里缝合带为界与哈萨克斯坦板块相邻接;何国琦等(1994)以科克森套—阿尔曼泰蛇绿岩带为准噶尔板块与西伯利亚板块的界线;曹荣龙等(1993)以额尔齐斯—玛音鄂博断裂作为准噶尔板块与西伯利亚板块的边界。众所周知,额尔齐斯—玛音鄂博断裂南北两侧在沉积建造、岩浆活动、变质作用及成矿特征等方面均存在明显的差异,该断裂常被作为新疆北部最高一级的构造分界线(张湘炳和杨新岳,1993;王宗秀等,2003),然而至今仍有很多学者不同意将其作为两大板块的边界线,其原因是该带中没有发现蛇绿岩套。前人将部分位于该断裂南北两侧的枕状玄武岩等基性火山岩及相伴产出的硅质岩作为“蛇绿岩”(蔡文俊,1986;曹荣龙,1994),其所指范围宽泛,且未见有与其相关的较详细的报道。许继峰等(2001a)将位于富蕴县西北方向的库尔提一带的一套变质基性岩厘定为产于古弧后盆地系统的蛇绿岩,该套变质基性岩位于额尔齐斯—玛音鄂博断裂以北,随后即有学者将其作为科克森套蛇绿岩带的一部分,称之为科克森套—乔夏哈拉—库尔提蛇绿岩(Wang *et al.*, 2003)。笔者在新疆青河县青格里河下游一带开展 1:5 万区调工作时,在阿热勒托别乡南东紧邻玛音鄂博断裂带南侧的下石炭统姜巴斯套组中发现一套变质基性岩。本文试图通过对这套变质基性岩的产出特征和岩石地球化学特征的研究,为这两大板块的划分提供某些线索和依据。

1 变质基性岩产出的地质背景

下石炭统姜巴斯套组在研究区内主要为一套变质砂岩和含炭泥质板岩,局部见有具纹层状构造的硅质泥岩。该岩组呈北西向带状出露于玛音鄂博断裂南侧(图 1a)。岩石变质程度较低,基本上保留了原生层理,变余砂状结构。由于其处于深断裂附近,岩石变形较强,其内紧闭褶皱发育。变质基性岩产出于该地层的变质砂岩中,其中变质玄武岩(角闪片岩)出露宽度几十 m 至几百 m,长度大于 3 km,延伸方向与地层走向基本一致,与变质砂岩呈构造接触。

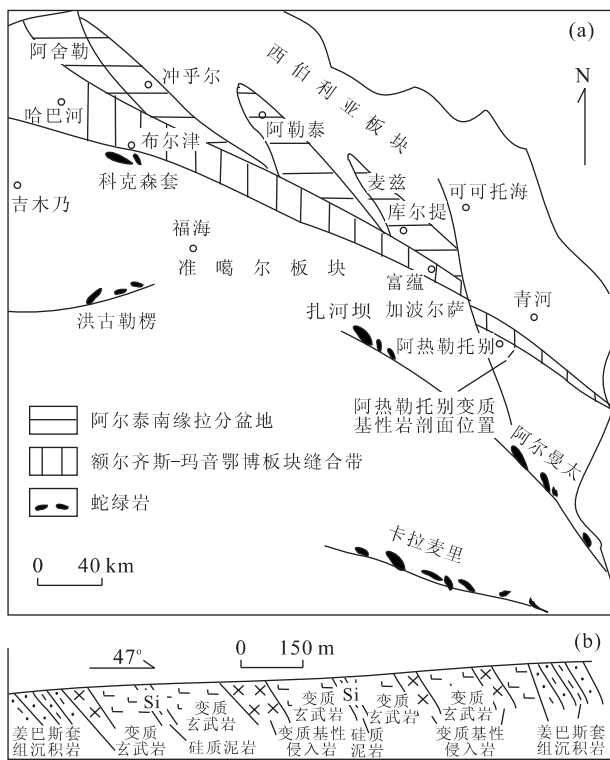


图 1 阿热勒托别变质基性岩的位置及地质剖面
Fig. 1 Simplified geological map and section of the Areltuobie metabasic rocks

变质基性岩中局部见具有水平纹层的硅质泥岩,与变质基性岩呈整合接触。变质辉绿岩、辉长岩主要见于变玄武岩出露地区及附近,规模较小,出露宽度 20~150 m,延伸长几十至几百 m,与变质玄武岩呈侵入接触关系(图 1b)。

变质玄武岩变质程度明显高于姜巴斯套组中的变砂岩及变质泥质岩石,原岩结构已无保留,岩石主要由较细小的他形柱状角闪石定向排列组成,已变为角闪片岩。变质基性侵入岩原岩结构保留不完整,主要由板柱状角闪石和部分斜长石及绿帘石等矿物组成。板柱状角闪石可能为辉石退变质作用的产物。岩石绿帘石化蚀变不均匀,绿帘石呈团块状或脉状分布。

2 样品分析方法

所有分析由宜昌地质矿产研究所中南实验检测中心完成。其中主要元素全分析为湿化学法;稀土元

素及 Nb、Zr、Hf、Sr、Ba、V 等元素采用 ICP-AES 法测定, Cr、Ni、Co 等元素采用原子吸收光谱法, Th 采用光度法, U 采用激光荧光法, Ga 采用粉末发射法。内检样品比例大于 20%, 内检分析原始合格率为 98%, 符合相关质量管理规范要求。全部样品分析完成后, 由质量管理小组抽查 20% 件样品, 送中南冶金地质研究所分析测试室作 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 TiO_2 等 3 个项目的外检分析。按照《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ0130-94) 要求, 质量分数 $F < 1$ 为合格。抽查合格率为 97%, 表明本项目的测试工作质量良好。

钐—钕同位素分析流程为: 称取 2 份已碎至 200 目的全岩样品, 一份用于测定 Sm、Nd 浓度, 一份用于测定 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 值。在氟塑料密封溶样器中用 HF-HClO₄ 将样品分解, 分解前在测定浓度的那份样品中加入 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 混合稀释剂, 总稀土元素分离采用 $\phi 6 \times 100$ mm 的 Dowex50 \times 8 阳离子树脂交换柱, HCl 作淋洗液, 收集含 Sm 和 Nd 的一次解析液。采用 HDEHP 交换柱进一步分离(不加稀释剂测定钐比的那份一次解析液) Nd, 收集含 Nd 部分的解析液。将 2 份解析液进行质谱测定。Rb、Sr、Sm、Nd 化学分离流程均在超净化实验室中进行, Nd 的全流程本底为 20 pg, 质谱分析在 MAT261 多接收质谱计上完成, 计算机自动处理数据, 采用国际标准样 NBS987 和实验室标准 ZkbnNd 控制仪器工作状态, 国家一级标准物质 GBW04419 (Sm-Nd) 监控分析流程。GBW04419 全岩 Sm(10^{-6}) = 3.03 ± 0.04 , Nd(10^{-6}) = 10.10 ± 0.12 , $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.512725 \pm 0.000007$ 。

3 结果

由表 1 可以看出, 变质基性岩中 SiO_2 含量变化在 45.72%~48.31% 之间, 属于基性岩类。除一个侵入岩样品的 $Mg^\#$ 值较高外(70), 其他样品为 55~61, 代表了演化岩浆。由于岩石遭受变质, 为了排除蚀变和变质因素的影响, 用抗蚀变元素的 Nb/Y-Zr/TiO₂ 图解(图 2)进行岩石命名, 大多为亚碱性玄武岩, 与库尔提蛇绿岩及阿尔曼太蛇绿岩中的玄武岩类基本上落在同一区域。在 $FeO^*/MgO-SiO_2$ 图解上, 所有样品落在拉斑玄武岩区(图 3)。与大西洋、东太平洋等现代洋中脊玄武岩及洋岛和岛弧拉斑玄武岩相比(Wilson, 2001), 阿热勒托别变

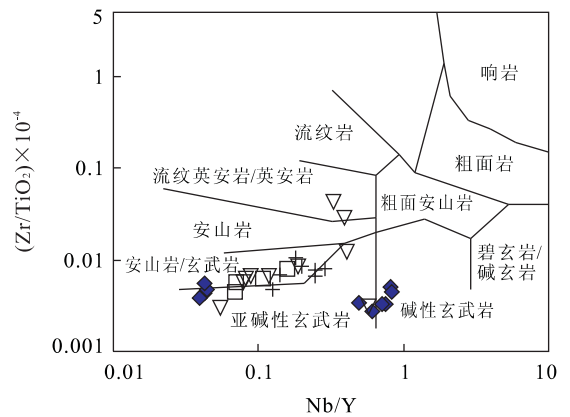


图 2 阿热勒托别变质基性岩岩石的 $(Zr/TiO_2) \times 10^{-4}$ — Nb/Y 定名图(Winchester and Floyd, 1977)

Fig. 2 $(Zr/TiO_2) \times 10^{-4}$ vs. Nb/Y diagram of the Areletuobic metabasic rocks

+、◆、△、□. 阿热勒托别变质基性岩; ◆、卡拉麦里蛇绿岩带中玄武岩; △、阿尔曼太蛇绿岩带中玄武岩; □、库尔提蛇绿岩中玄武岩

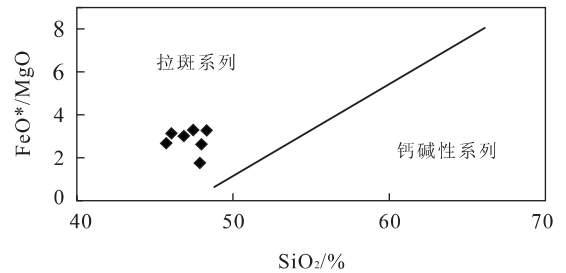


图 3 阿热勒托别变质基性岩岩石的 $(FeO^*/MgO) - SiO_2$ 图解(底图据 Miyashiro, 1974)

Fig. 3 $(FeO^*/MgO) - SiO_2$ diagram of the Areletuobic metabasic rocks

质基性岩 SiO_2 含量偏低; K_2O 含量略高于 MORB, 而略低于洋岛和岛弧拉斑玄武岩(OIT 和 IAT); TiO_2 含量与 MORB 相当, 略低于 OIT, 而明显高于 IAT 和大陆拉斑玄武岩(CFT); MgO 含量略高于 MORB、OIT 等, 明显高于 IAT; Al_2O_3 含量大多与 MORB 接近, 个别样品(YQ-92)接近于 OIT, 低于 IAT 和 CFT(YQ-50 与 IAT 相近)。与 Mariana (Gribble *et al.*, 1996, 1998) 和 Scotia (Wilson, 2001) 等典型的弧后盆地玄武岩相比, 阿热勒托别变质基性岩 SiO_2 、 Al_2O_3 含量略偏低, TiO_2 、 TFe_2O_3 、 MgO 含量略偏高; 与属于弧后盆地的库尔提蛇绿岩(许继峰等, 2001a)中变质基性岩含量基本一致。

变质玄武岩稀土总量 ΣREE 普遍高于变质基性侵入岩, 但二者的配分型式几乎完全相同, 所有岩石均显示轻稀土略富集的特征(图 4), $(La/Yb)_N$ 为

表 1 阿热勒托别变质基性岩的主元素(%)和微量元素(10^{-6})成分

Table 1 Major and trace element data of the Areletuobie metabasic rocks

岩石名称	变质玄武岩				变质基性侵入岩		
样品编号	YQ-30	YQ-31	YQ-32	YQ-33	YQ-47	YQ-50	YQ-92
SiO ₂	46.88	48.31	47.44	47.99	47.88	45.72	46.06
TiO ₂	1.81	2.20	1.75	1.56	1.15	1.17	1.78
Al ₂ O ₃	15.26	14.64	15.37	15.84	15.35	16.94	13.85
TFe ₂ O ₃	12.47	12.99	12.36	11.17	8.40	9.39	11.77
MnO	0.21	0.20	0.16	0.17	0.15	0.13	0.17
MgO	8.28	7.89	7.50	8.52	9.54	7.03	7.53
CaO	9.94	9.21	10.34	9.46	11.38	11.85	10.73
Na ₂ O	2.57	3.14	3.26	3.39	2.91	3.04	2.54
K ₂ O	0.19	0.22	0.36	0.36	0.35	0.41	0.13
P ₂ O ₅	0.22	0.32	0.22	0.24	0.13	0.16	0.16
Loss	1.87	1.48	1.62	1.56	2.90	4.10	4.82
Sum	99.70	100.60	100.38	100.26	100.13	99.94	99.54
Mg#	58	55	55	61	70	61	57
La	9.35	13.3	8.96	9.81	5.99	8.29	5.56
Ce	19.9	28.4	19.2	20.7	12.8	16.4	13.3
Pr	3.75	4.63	3.29	3.38	2.08	2.37	2.45
Nd	15.7	22.4	15.2	15.5	10.1	11.4	12.4
Sm	4.21	5.88	4.24	4.22	2.82	3.12	3.74
Eu	1.53	1.92	1.64	1.45	1.02	1.10	1.36
Gd	4.89	6.62	4.77	4.59	3.50	3.77	4.80
Tb	0.88	1.19	0.85	0.82	0.66	0.65	0.85
Dy	6.15	7.75	5.86	5.76	4.43	4.35	6.47
Ho	1.22	1.47	1.11	1.11	0.87	0.89	1.26
Er	3.42	4.02	3.18	3.17	2.54	2.46	3.82
Tm	0.47	0.57	0.42	0.44	0.37	0.36	0.54
Yb	2.74	3.15	2.32	2.63	1.98	2.09	3.06
Lu	0.35	0.43	0.28	0.34	0.26	0.29	0.38
Y	25.2	30.3	22.6	27.7	18.6	19.3	28.2
∑REE	74.56	101.73	71.32	73.92	49.42	57.54	59.99
δEu	1.03	0.94	1.11	1.00	0.99	0.98	0.98
(La/Yb) _N	2.30	2.85	2.60	2.51	2.04	2.67	1.23
Cr	234	209	236	214	425	223	230
Ni	121	91.5	104	121	88.2	155	81.5
Co	46.6	38.1	41	43.3	38.8	43.9	44.7
Rb	4.9	5.1	13	10.1	7.6	13.8	4.2
Sr	232	278	334	339	326	630	326
Ba	60.3	49	24.9	68.4	30	56.9	19.9
V	366	385	350	305	264	223	345
Nb	6.2	8.74	4.52	5.04	2.63	4.75	3.5
Zr	121	176	147	165	79.8	90	84.2
Hf	3.65	5.01	4.59	5	2.8	3.18	2.7
Ga	30.4	28	27.2	23.5	18.6	22.5	30.9
U	0.92	0.8	0.8	0.8	0.64	0.58	0.8
Th	3.08	3.40	2.09	1.61	1.47	3.61	2.15
Ti/V	27.2	31.4	27.5	28.1	24.0	28.9	28.4
Zr/Nb	19.5	20.1	32.5	32.7	30.3	18.9	24.1
Th/Ce	0.16	0.12	0.11	0.08	0.12	0.22	0.16

1.23~2.85,无明显 Eu 异常,δEu 为 0.94~1.11. 与研究区内的阿尔曼太—扎河坝蛇绿岩中的玄武岩另外,还有明显的 Ce 负异常. 总体上,其稀土曲线(金成伟等,2001)特征相似,而轻稀土富集程度低于

表 2 阿热勒托别变质基性岩 Sm-Nd 同位素及模式年龄

Table 2 Sm-Nd isotopic compositions of the Areletuobie metabasic rocks and their modal ages

样号	样品名称	Sm/ 10^{-6}	Nd/ 10^{-6}	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 1\sigma$	T_{DM}/Ma	$\epsilon_{\text{Nd}}(400 \text{ Ma})$
YQ-30	变质玄武岩	4.03	14.01	0.174 0	$0.512\,985 \pm 0.000\,009$	635	+7.94
YQ-31	变质玄武岩	5.74	21.06	0.164 9	$0.512\,979 \pm 0.000\,010$	535	+8.29
YQ-32	变质玄武岩	4.10	14.01	0.176 9	$0.513\,014 \pm 0.000\,008$	564	+8.35
YQ-33	变质基性侵入岩	4.32	15.81	0.165 3	$0.512\,971 \pm 0.000\,010$	565	+8.11
YQ-47	变质基性侵入岩	2.94	9.80	0.181 8	$0.512\,978 \pm 0.000\,009$	823	+7.40
YQ-50	变质基性侵入岩	3.19	11.31	0.170 7	$0.512\,952 \pm 0.000\,010$	703	+7.46

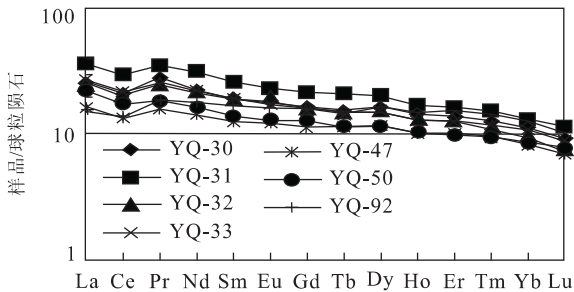


图 4 阿热勒托别变质基性岩稀土元素配分曲线(标准化数据据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of the Areletuobie metabasic rocks

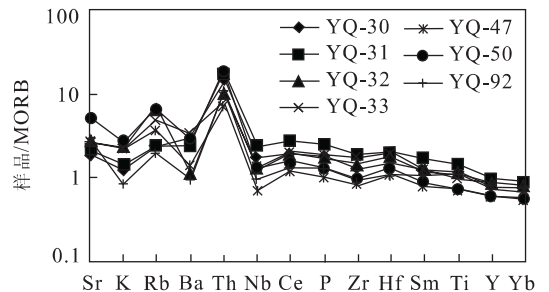


图 5 阿热勒托别变质基性岩微量元素 MORB 标准化曲线(标准化数据据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5 MORB-normalized trace element patterns of the Areletuobie metabasic rocks

卡拉麦里蛇绿岩中的玄武岩(李锦轶, 1995)。这些特征不同于亏损 LREE 的洋脊玄武岩(N-MORB)和 LREE 强烈富集的洋岛玄武岩(OIB), 而有点类似于富集型洋脊玄武岩(E-MORB)(Davidson, 1996; Macdonald *et al.*, 2000), 然而稀土元素总量明显高于 E-MORB, 但比 E-MORB 略平缓; 与 Mariana (Gribble *et al.*, 1996, 1998) 和 Scotia (Wilson, 2001) 等弧后盆地玄武岩特征基本一致。

在 MORB 标准化图解(图 5)上, 阿热勒托别变质基性岩表现出相对富集大离子亲石元素(LILE)的特征, Th 为明显的正异常, 而绝大多数高场强元素(HFSE)与 MORB 相似, 说明其源区类似于洋脊玄武岩。有轻微的 Nb 负异常, 不存在 Ti 的负异常。LILE (如 Rb, Sr, Ba, K) 展示出不规则的变化, 这可能与后期的蚀变作用有关, 因为这些元素是高度活动的。

阿热勒托别变质基性岩 Sm-Nd 同位素测定结果见表 2, 阿热勒托别变质基性岩的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值较高, 为 $0.522\,95 \sim 0.513\,01$ 。由于 Sm/Nd 比值变化较小, 不能进行等时线拟合, 仅计算了其亏损地幔模式年龄为 $535 \sim 823 \text{ Ma}$ 。陈哲夫等(1997)测得科克森套-乔夏哈拉蛇绿岩带中奥长花岗岩的锆石 U-Pb 同位素年龄值为 390 Ma , 且其中的放射虫硅质岩化石时代为中、晚泥盆世, 因而认为该蛇绿岩形成

于中晚泥盆世。据此, 我们以 400 Ma 作为推测的年龄计算阿热勒托别变质基性岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$, 其值为 $+7.40 \sim +8.35$, 反映其源区为亏损地幔, 具有洋幔的 Nd 同位素特征。略高于东准噶尔阿尔曼太蛇绿岩(刘伟和张湘炳, 1993), 与西准洪古勒楞蛇绿岩基本一致(张驰和翟明国, 1993; 黄建华等, 1999)。

4 讨论和结论

阿热勒托别变质基性岩的形成环境用不同的地球化学图解判别得出不同的结果, 如在 $\text{TiO}_2 - \text{Zr}$ 、 $\text{V} - \text{Ti}$ 等二元图解上, 样品均落在洋中脊玄武岩区; 在 $\text{TiO}_2 - \text{MnO} \times 10 - \text{P}_2\text{O}_5 \times 10$ 图解中, 阿热勒托别变质基性岩样品也主要落在洋中脊玄武岩(MORB)区; 在 $2\text{Nb} - \text{Zr}/4 - \text{Y}$ 图解及 $\text{Hf}/3 - \text{Th} - \text{Nb}/16$ 图解等三角图解上样品均落在火山弧玄武岩和岛弧拉斑玄武岩区; 在 $\text{Ti}/100 - \text{Zr} - \text{Sr}/2$ 图解上, 样品落在洋底玄武岩及低钾拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩的分界线上; 在 $\text{Ti}/100 - \text{Zr} - 3\text{Y}$ 图解上, 样品落在板内玄武岩及其与洋底玄武岩和钙碱性玄武岩的分界线附近; 而在 $\text{Zr}/\text{Y} - \text{Zr}$ 图解上, 样品大多落在板内玄武岩区, 少数样品落在洋中脊

玄武岩区. 东准噶尔卡拉麦里和阿尔曼太蛇绿岩及西准噶尔蛇绿岩中玄武岩样品在利用构造环境判别图解时也存在同样的问题(张驰和翟明国, 1993; 金成伟等, 2001; 张旗和周国庆, 2001), 因而单纯用地球化学图解难以确定玄武岩的形成环境, 有时甚至会得出不同的结论. 造成这种现象的原因可能与其形成于具有一定过渡性特征的环境以及复杂的形成过程有关. 在此我们用地球化学特征分析岩浆的形成过程, 进而推测其构造环境.

稀土元素 Ce 的负异常暗示着岩石形成于海相环境, 因为 Ce 的负异常代表了海水蚀变作用的结果(Elliott *et al.*, 1997). 微量元素图解上, 不活动的 HFSE 元素基本上和 MORB 相当, 表明其源区为类似于 MORB 型的亏损地幔, 这样的岩浆源区通常是洋中脊玄武岩、岛弧和弧后盆地玄武岩(Fretzdorff *et al.*, 2002), 而与洋岛玄武岩以及大陆板内玄武岩存在明显的区别. 另外, 其高 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值也同样支持了其可能形成于洋中脊、岛弧和弧后环境. 另一方面, 微量元素标准化图解又一个明显特点是 LILE 总体上高于 MORB, 并且具有 Nb 的负异常, 这有点类似于岛弧火山岩的特征, 因为 LILE 的富集可能代表了俯冲的洋壳物质带入地幔楔的结果, 而洋壳中并不富集 LILE(Pearce and Peate, 1995). 此外, 明显的正 Th 异常和高的 Th/Ce 比值(除一个样品外, 其他所有样品均 >0.1)也说明了洋壳物质的混入(Hawkesworth *et al.*, 1997). 但是其高的 TiO_2 含量(1.15%~2.20%)以及没有很强的负 Nb 异常排除了岛弧岩石的可能性, 而这一特征与洋脊玄武岩相似. 另外, 其 Zr/Nb 比值(18.5~32.7)也落在 MORB 的范围(10~60, Davidson, 1996; Macdonald *et al.*, 2000). 前已述及, 在地球化学构造环境判别图上, 大多数图解显示出有些点落在洋中脊玄武岩区, 有些落在岛弧玄武岩区, 说明其地球化学特征介于两者之间, 这种介于两者之间的特点正是弧后盆地玄武岩的特点(Hollings and Kerrich, 2004).

Woodhead *et al.* (1993) 和 Gamble *et al.* (1995) 比较了岛弧和弧后玄武岩的特征后认为, 弧后玄武岩比岛弧玄武岩具有高的 Ti、V、Zr 和 Nb 含量, 岛弧玄武岩 Nb 的绝对含量通常 $<2 \times 10^{-6}$ (Pearce *et al.*, 1995, 1999; Elliott *et al.*, 1997; Ewart *et al.*, 1998; Taylor *et al.*, 1992). 由表 1 可知, 所有样品的 Nb 含量均 $>2 \times 10^{-6}$ ($2.6 \times$

$10^{-6} \sim 8.7 \times 10^{-6}$), 表明其不是形成于岛弧环境. 这是因为 Nb 主要富集在金红石和锆石等副矿物中, 当其源区的熔融程度较低时, 残留的这些副矿物形成的岩浆 Nb 的含量就低(岛弧环境), 而在拉张条件下, 熔融程度较高时, 金红石等副矿物也进入熔体相, 这样形成的岩浆就相对富集 Nb(如弧后和洋中脊环境, Hollings and Kerrich, 2004).

由表 1 可知, 其 Ti/V 比值为 24.0~31.4, 平均值为 27.9, 略高于 MORB 的 Ti/V 比值(平均值为 25, Woodhead *et al.*, 1993; Pearce and Parkinson, 1993). 相对高的 Ti/V 比有 2 种可能原因: 一是源区比 MORB 的源区相对富集 Ti, 另一是其熔融程度比 MORB 低, 因为 Ti 是不相容元素, 而 V 是中等相容元素. 因为 Ti、Nb 等元素在地幔中均富集在金红石、榍石等副矿物中, 而 Zr/Nb 比值均与 MORB 相当, 所以第一种可能性似乎可以排除, 因而其相对高的 Ti/V 比值是由于低的熔融程度的结果. 这种相对于 MORB 低的熔融程度可能与其拉张程度相对低有关, 这也暗示了其构造背景不是洋中脊, 而可能是弧后环境, 因为后者拉张程度不及前者.

Huang *et al.* (2000) 的研究结果表明在 MgO 含量 $>6\%$ 时, FeO 的含量反映了其形成的深度, 即 FeO 的含量越高, 其形成的深度越深. 由表 1 可知, 阿热勒托别变质基性岩的 TFe_2O_3 为 8.4%~13.0%, 低于现代岛弧的 TFe_2O_3 含量(12%~17%, Pearce *et al.*, 1995), 而基本上与弧后盆地的玄武岩的 TFe_2O_3 相当(11%~14%), 说明其构造背景可能为弧后环境.

对于准噶尔盆地北缘晚古生代的构造环境, 大多学者认为其为活动大陆边缘, 属于准噶尔洋(古亚洲洋的一部分)板块北部边缘的岛弧带(王宗秀等, 2003; 梅厚均等, 1993). 刘德权等(1993)认为其在泥盆纪为一洋内弧. 张旗和周国庆(2001)在前人工作基础上, 通过对古亚洲洋蛇绿岩的研究, 认为该区蛇绿岩大多产于岛弧或弧后盆地, 属于 SSZ 环境. 近年来在研究区南西侧和西侧发现的玻安岩、富铈玄武岩、苦橄岩、埃达克岩(许继峰等, 2001b; 张海祥等, 2004; 杨文平等, 2005; 张招崇等, 2005)表明该区在晚古生代存在板块的俯冲消减作用, 因而上述地球化学特征判定其为弧后盆地环境在构造地质上也是很容易解释的. 阿热勒托别变质基性岩应属于这一环境中较早期的产物, 是在板块俯冲、弧后盆地扩张初期, 受俯冲板块产生的流体交代后重新富集的

地幔楔低程度部分熔融(相对于洋中脊玄武岩)所形成的岩浆,因而具有 LILE 和 LREE 弱富集以及轻微的 Nb 负异常的特点,并可能由于俯冲板块上部沉积物的混入,使其具有较明显的正 Th 异常;与之相对照的是,具有轻稀土亏损的库尔特蛇绿岩的形成可能相对较晚,是弧后盆地拉张到一定程度后,在熔融程度相对较高的条件下 MORB 型亏损地幔熔融形成的,这也与库尔特距离代表俯冲作用存在的玻安岩、富铋玄武岩及埃达克岩的产出部位较远,而阿热勒托别变质基性岩距离俯冲带较近一致。

阿热勒托别变质基性岩虽然不具有蛇绿岩套的完整组合(缺乏地幔橄辉岩),但其地球化学特征显示出与蛇绿岩中的基性岩组分具有某些相似性,而且该变质基性岩在岩石组合、地球化学特征以及变质程度上与产于同一地区的泥盆纪地层中的岛弧火山岩明显不同,后者为一套基性—中性及少量中酸性的岛弧火山岩组合,岩石的变质程度较低,一般为葡萄石—绿纤石相。而阿热勒托别变质基性岩单独产出一套轻变质沉积岩当中,变质程度明显高于沉积岩,应为外来岩片。所以该变质基性岩可能为古亚洲洋北部洋内弧系统中弧后盆地中的产物,而且在变质基性岩中见有硅质泥岩与之相伴产出,说明其形成于较深水环境。但其是否为额尔齐斯—玛音鄂博缝合带的蛇绿岩还需进一步工作予以确定。

感谢审稿人提出宝贵的修改意见,在野外工作期间得到长安大学杨志华教授、地科院地质力学所陈柏林研究员、地科院资源所闫升好研究员的指导,在成文过程中与南京地质矿产研究所张传琳研究员进行过有益的探讨,一同参加野外工作的还有夏焱、杜超辉、吴建新、楚海涛等,在此一并致谢!

References

Cai, W. J., 1986. Preliminary study on plate tectonics of northern East Junggar in Xinjiang. Contributions to the project of plate tectonics in northern China. Geological Publishing House, Beijing, 1—26 (in Chinese).

Cao, R. L. 1994. Ophiolite and mafic-ultramafic complex rocks of northern Xinjiang. *Xinjiang Geol.*, 12 (1): 25—31 (in Chinese with English abstract).

Cao, R. L., Zhu, S. H., Zhu, X. K., et al., 1993. Plate and terrain tectonics of northern Xinjiang. In: Tu, G. Z., ed., New improvement of solid geosciences in northern Xinjiang. Science Press, Beijing, 11—26 (in Chinese).

Chen, Z. F., Cheng, S. D., Liang, Y. H., 1997. Opening-

closing tectonics of Xinjiang and mineralization. Xinjiang Technol. and Sanitation Press, Urumchi (in Chinese).

Davidson, J. P., 1996. Deciphering mantle and crustal signatures in subduction zone magmatism. Subduction top to bottom. Geophysical Monograph 96. American Geophysical Union, Washington, DC, 251—262.

Elliott, T., Plank, T., Zindler, A., et al., 1997. Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc. *J. Geophys. Res.*, 102(14):991;102(15):19.

Ewart, A., Collerson, K. D., Regelous, M., et al., 1998. Geochemical evolution within the Tonga-Kermadec-Lau arc-back-arc systems; the role of varying mantle wedge composition in space and time. *J. Petrol.*, 39(3):331—368.

Fretzdorff, S., Livermore, R. A., Devey, C. W., et al., 2002. Petrogenesis of the back-arc east Scotia ridge, south Atlantic Ocean. *J. Petrol.*, 43(8):1435—1467.

Gamble, J. A., Wright, I. C., Woodhead, J. D., et al., 1995. Arc and back-arc geochemistry in the southern Kermadec arc-Ngatoro basin and offshore Taupo volcanic zone, SW Pacific. In: Smellie, J. L., ed., Volcanism associated with extension at consuming plate margins. *Geol. Soc., Special Publication*, 193—212.

Gribble, R. F., Stern, R. J., Bloomer, S. H., et al., 1996. MORB mantle and subduction components interact to generate basalts in the southern Mariana trough back-arc basin. *Geochimica et Cosmochimica*, 60: 2153—2166.

Gribble, R. F., Stern, R. J., Newman, S. et al., 1998. Chemical and isotopic composition of lavas from the northern Mariana trough; Implications for magma genesis in back-arc basins. *J. Petrol.*, 39(1):125—154.

Hawkesworth, C. J., Gallagher, K., Hergt, J. M., et al., 1993. Mantle and slab contributions in arc magmas. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 21:175—204.

He, G. Q., Li, M. S., Liu, D. Q., et al., 1994. Paleozoic crustal evolution and mineralization in Xinjiang of China. Xinjiang People's Publishing House, Urumchi (in Chinese).

Hollings, P., Kerrich, R., 2004. Geochemical systematics of tholeiites from the 2.86 Ga Pickle Crow assemblage, northwestern Ontario; Arc basalts with positive and negative Nb-Hf anomalies. *Precambrian Research*, 134: 1—20.

Huang, J. H., Jin, Z. D., Li, F. C., 1999. Sm-Nd isotopes and age of the Hongguleng ophiolite. *Chinese Sci. Bull.*, 44(9):1004—1006 (in Chinese).

- Huang, Y., Hawkesworth, C., Smith, I., et al., 2000. Geochemistry of Late Cenozoic basaltic volcanism in Northland and Coromandel, New Zealand; Implications for mantle enrichment processes. *Chem. Geol.*, 164: 219—238.
- Jin, C. W., Huang, X., Xu, Y. S., et al. 2001. Hongguleleng-Aermantai ophiolite and its relationship with mineralization. The basic studies of metallic mineral resources in Xinjiang. Science Press, Beijing, 27—51 (in Chinese).
- Li, J. Y., 1995. Main characteristics and emplacement processes of the East Junggar ophiolite. *Acta Petrologica Sinica*, 11(Suppl.): 73—84 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D. Q., Tang, Y. L., Zhou, R. H., 1993. Devonian intra-oceanic arc and bonite in North Junggar, Xinjiang. *Xinjiang Geol.*, 11(1): 1—12 (in Chinese with English abstract).
- Liu, W., Zhang, X. B., 1993. The characteristics and geological significance of Ulungar-Zhaisangpo tectonic mélange belt. In: Tu, G. Z., ed., New improvement of solid geosciences in northern Xinjiang. Science Press, Beijing, 217—228 (in Chinese).
- Macdonald, R., Hawkesworth, C. J., Heath, E., 2000. The Lesser Antilles volcanic chain; A study in arc magmatism. *Earth Sci. Rev.*, 49(1—4): 1—76.
- Mei, H. J., Yang, X. C., Wang, J. D., et al., 1993. The trace element geochemistry of Late Paleozoic volcanic rocks on the southern side of Ertix River and the evolutionary history of tectonic setting. In: Tu, G. Z., ed., New improvement of solid geosciences in northern Xinjiang. Science Press, Beijing, 199—216 (in Chinese with English abstract).
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.*, 274: 317—327.
- Pearce, J. A., Ernewein, M., Bloomer, S. H., et al., 1995. Geochemistry of Lau basin volcanic rocks. In: Smellie, J., ed., Volcanism associated with extension at consuming plate margins. *Geol. Soc. London Special Publication*, 53—75.
- Pearce, J. A., Kempton, P. D., Nowell, G. M. et al., 1999. Hf-Nd element and isotope perspective on the nature and provenance of mantle and subduction components in western Pacific arc-basin systems. *J. Petrol.*, 40(11): 1579—1611.
- Pearce, J. A., Parkinson, I. J., 1993. Trace-element models for mantle melting: Application to volcanic arc petrogenesis. *Geol. Soc. London Special Publication*, 76: 373—403.
- Pearce, J. A., Peate, D. W., 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 23: 251—285.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; Implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds., Magmatism in the ocean basins. *Geological Society London Special Publication*, 42: 313—345.
- Taylor, R. N., Lapiierre, H., Vidal, P., et al., 1992. Igneous geochemistry and petrogenesis of the Izu-Bonin forearc basin. In: Maddox, E. M., ed., Proceedings of the ocean drilling program, Bonin arc-trench system, scientific results, 126: 405—430.
- Wang, Z. H., Sun, S., Li, J. L., et al., 2003. Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang, China; Geochemical and geochronological constraints from the ophiolites. *Tectonics*, 22(2): 1014.
- Wang, Z. X., Zhou, G. Z., Li, T., 2003. The consideration on ophiolite and interrelated issue in northern Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 683—691 (in Chinese with English abstract).
- Wilson, M. 2001. Igneous petrogenesis. Chapman and Hall, London, 133.
- Winchester, J. A., Floyd, P. A., 1977. Geological discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325—343.
- Woodhead, J. D., Eggins, S. M., Gamble, J., 1993. High field strength and transition element systematics in island arc and back-arc basin basalts; Evidence for multi-phase melt extraction and a depleted mantle wedge. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 114: 491—504.
- Xiao, X. C., Tang, Y. Q., Feng, Y. M., et al., 1992. Tectonics evolution of the northern Xinjiang and its adjacent region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Xu, J. F., Chen, F. R., Yu, X. Y., et al., 2001a. Kuerti ophiolite in Altay area of northern Xinjiang; Magmatism of an ancient back-arc basin. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 344—352 (in Chinese with English abstract).
- Xu, J. F., Mei, H. J., Yu, X. Y., et al., 2001b. Late Paleozoic subduction-related adakites in the northern margin of Junggar; Partial melting products of subducting slab. *Chinese Sci. Bull.*, 46(8): 684—688 (in Chinese).
- Yang, W. P., Zhou, G., Zhang, Z. C., et al., 2005. Discovery

- and the significance of the Xileketehalasu porphyry copper deposit in the south margin of the Altay copper deposit belt. *Geology of China*, 32:107–114 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C., Zhai, M. G., 1993. Ophiolitic belts and their genetic environment in western Junggar. In: Tu, G. Z., ed., *New improvement of solid geosciences in northern Xinjiang*. Science Press, Beijing, 53–78 (in Chinese).
- Zhang, H. X., Niu, H. C., Hiroaki, S., et al., 2004. Late Paleozoic adakite and Nb-enriched basalt from northern Xinjiang: Evidence for the southward subduction of the paleo-Asian Ocean. *Geological Journal of China Universities*, 10(1):106–113 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Zhou, G. Q., 2001. *Ophiolites of China*. Science Press, Beijing.
- Zhang, X. B., Yang, X. Y., 1993. The evolutionary and genetic mechanism of tectonics of Altay area. In: Tu, G. Z., ed., *New improvement of solid geosciences in northern Xinjiang*. Science Press, Beijing, 173–184 (in Chinese).
- Zhang, Z. C., Yan, S. H., Chen, B. L., et al., 2005. Middle Dovenian picrites of the south margin of Altay orogenic belt and implications for the tectonic setting and petrogenesis. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(3):289–297 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 蔡文俊, 1986. 新疆准噶尔东北缘板块构造初步研究. 见: 中国北方板块构造论文集. 北京: 地质出版社, 1–26.
- 曹荣龙, 1994. 新疆北部蛇绿岩及基性—超基性杂岩. *新疆地质*, 12(1): 25–31.
- 曹荣龙, 朱寿华, 朱祥坤, 等, 1993. 新疆北部板块与地体构造格局. 见: 涂光炽主编, 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社, 11–26.
- 陈哲夫, 成守德, 梁云海, 1997. 新疆开合构造与成矿. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社.
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等, 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.
- 黄建华, 金章东, 李福春, 1999. 洪古勒楞蛇绿岩 Sm-Nd 同位素特征及时代界定. *科学通报*, 44(9): 1004–1006.
- 金成伟, 黄萱, 徐永生, 等, 2001. 洪古勒楞—阿尔曼太蛇绿岩及其与成矿关系. 见: 新疆金属矿产资源的基础研究. 北京: 科学出版社, 27–51.
- 李锦轶, 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史. *岩石学报*, 11(增刊): 73–84.
- 刘德权, 唐延龄, 周汝洪, 1993. 新疆北准噶尔泥盆纪洋内弧及博宁岩. *新疆地质*, 11(1): 1–12.
- 刘伟, 张湘炳, 1993. 乌伦古—斋桑泊构造杂岩带特征及其地质意义. 见: 涂光炽主编, 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社, 217–228.
- 梅厚均, 杨学昌, 王俊达, 等, 1993. 额尔齐斯河南侧晚古生代火山岩的微量元素地球化学与构造环境的变迁史. 见: 涂光炽主编, 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社, 199–216.
- 王宗秀, 周高志, 李涛, 2003. 对新疆北部蛇绿岩及相关问题的思考. *岩石学报*, 19(4): 683–691.
- 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.
- 许继峰, 陈繁荣, 于学元, 等, 2001a. 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. *岩石矿物学杂志*, 20(3): 344–352.
- 许继峰, 梅厚均, 于学元, 等, 2001b. 准噶尔北缘晚古生代岛弧中与俯冲作用有关的 adakite 火山岩: 消减板片部分熔融的产物. *科学通报*, 46(8): 684–687.
- 杨文平, 周刚, 张招崇, 等, 2005. 阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义. *中国地质*, 32: 107–114.
- 张弛, 翟明国, 1993. 西准噶尔蛇绿岩带及形成环境. 见: 涂光炽主编, 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社, 53–78.
- 张海祥, 牛贺才, Hiroaki Sato, 等, 2004. 新疆北部晚古生代埃达克岩、富铌玄武岩组合: 古亚洲洋板块南向俯冲的证据. *高校地质学报*, 10(1): 106–113.
- 张旗, 周国庆, 2001. *中国蛇绿岩*. 北京: 科学出版社.
- 张湘炳, 杨新岳, 1993. 阿尔泰地区大地构造演化体制及其形成机理. 见: 涂光炽主编, 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社, 173–184.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 等, 2005. 阿尔泰造山带南缘中泥盆世苦橄岩及其大地构造和岩石学意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(3): 289–297.