

# 西准达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年\*

辜平阳<sup>1</sup> 李永军<sup>1\*\*</sup> 张兵<sup>2</sup> 佟丽莉<sup>1</sup> 王军年<sup>2</sup>

GU PingYang<sup>1</sup>, LI YongJun<sup>1\*\*</sup>, ZHANG Bing<sup>2</sup>, TONG LiLi<sup>1</sup> and WANG JunNian<sup>2</sup>

1. 长安大学地球科学与资源学院, 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 西安 710054

2. 新疆地质矿产勘查开发局第七地质大队, 乌苏 833000

1. Earth Science & Resources College of Chang'an University, Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, China

2. No.7 Geological Party, BGMRD of Xinjiang, Wusu 833000, China

2009-01-03 收稿, 2009-03-03 改回.

Gu PY, Li YJ, Zhang B, Tong LL and Wang JN. 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Darbut ophiolite, western Junggar, China. *Acta Petrologica Silica*, 25 (6):1364-1372

**Abstract** LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro from Darbut ophiolite, 16 spots of zircon show relatively concentrative zircon group in  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  concordia diagram, and give weighted mean  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of  $391.1 \pm 6.8\text{Ma}$ ,  $\text{MSWD} = 0.97$  (95% confidence), which is the crystallization age of gabbro, indicating a Middle Devonian age of Darbut ophiolite. This discovery is certainly believe that accurately restrict the form of Darbut ophiolite, and provide important evidence of extensional environment for plates in western Junggar.

**Key words** Darbut ophiolite; Gabbro; Zircon U-Pb dating; Middle Devonian; Western Junggar

**摘要** 达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测年, 16 个测点在谐和曲线图  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  中构成比较集中的锆石群, 获得  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄  $391.1 \pm 6.8\text{Ma}$ ,  $\text{MSWD} = 0.97$  (95% 置信度), 代表了辉长岩的结晶年龄, 据此确定达尔布特蛇绿岩形成于中泥盆世, 该年龄的确认准确约束达尔布特蛇绿岩的形成及西准噶尔板块构造演化提供了重要的佐证。

**关键词** 达尔布特蛇绿岩; 辉长岩; 锆石 U-Pb 测年; 中泥盆世; 西准噶尔

中图分类号 P588.124; P597.3

## 1 引言

新疆西准噶尔是中亚古生代俯冲-增生复合造山带的主要组成部分 (Zhu and Ogasawara, 2002; Zhu *et al.*, 2005, 2006; 肖序常等, 1992; 李锦轶, 2004; 李锦轶等, 2006; 肖文交等, 2006; 朱永峰和徐新, 2006), 发育有唐巴勒、玛依勒、达尔布特、克拉玛依等多条蛇绿岩带, 中外学者对其都有较多研究 (Kwon *et al.*, 1989; 朱宝清等, 1987; 张驰和黄莹, 1992;

黄建华等, 1995; 张立飞, 1997; 徐新, 1998; 何国琦等, 2005; 徐新等, 2006; 朱永峰和徐新, 2007; 朱永峰等, 2008)。著名的达尔布特蛇绿岩带即是其中代表之一, 典型蛇绿岩岩石类型在该带均有产出, 其岩石学研究成果较多 (张驰, 1981; 师占义, 1982; 王懿圣和张金生, 1982; 冯益民, 1986; 曹荣龙, 1994; 陈博和朱永峰, 2008), 但其形成时代久存争议: 肖序常等 (1992)、张驰和黄莹 (1992) 依据蛇绿岩上部硅质岩中的放射虫化石, 认定蛇绿岩为早-中泥盆世。西安地质矿产研究所 (1981) 在蛇绿岩带中基性火山岩所夹灰岩透镜体中采到

\* 国家自然科学基金项目 (40534020) 和新疆维吾尔自治区地质矿产调查项目 (XJZBKD2006-3) 资助。

第一作者简介: 辜平阳, 1982 年生, 硕士生, 构造地质专业, E-mail: pingyang-322@163.com

\*\* 通讯作者: 李永军, 1961 年生, 教授, 博导, 主要从事构造地质学、区域地质调查及地球探测信息研究, E-mail: yongjunl@chd.edu.cn

*Squameofavosites* sp. (鳞巢珊瑚), 初定为泥盆纪<sup>①</sup>;但因硅质岩和灰岩透镜体均呈断块状分布于蛇绿岩中,所示时限究竟能否代表蛇绿岩形成时代,加之未见标准带化石,所示时限不确切,准确的地质时代难以定论。张驰和黄莹(1992)在其辉长岩中获得  $395 \pm 12\text{Ma}$  的 Sm-Nd 等时线年龄,确定为中泥盆世。但因 Sm-Nd 等时线年龄在确定蛇绿岩的形成时代中所固有的缺陷性,对这一年龄并没有完全接受。此前,该蛇绿岩未见锆石 U-Pb 年龄报道。作者等近年在本区进行 1:5 万区域地质调查中,于达尔布特蛇绿岩中的辉长岩中获得了可靠的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄数据,为准确约束蛇绿岩形成时限提供了重要佐证。

## 2 区域地质背景

研究区大地构造位于哈萨克斯坦-准噶尔板块唐巴勒-

卡拉麦里古生代复合沟弧带内,东南角与准噶尔中央地块相邻(肖序常等,1992;新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993,1999;成守德和王元龙,1998)。达尔布特蛇绿岩位于克拉玛依市以北的扎依尔山区,东起木哈塔依,向南西至坎土拜克越向达尔布特河谷南侧,经库朗库朵克转向西至苏鲁乔克而被阿克巴斯套花岗岩体所截断,展布方向由东西向转为近南北向,全长约 70km,但大部分地段与达尔布特河谷(断裂带)平行,宽一般为 2~9km,出露面积约 50km<sup>2</sup>(王懿圣和张金生,1982;冯益民,1986),带内各岩块多以断裂为界混杂堆叠,但蛇绿岩的各组成单元出露仍较为齐全,且在东北段发育豆荚状铬铁矿(萨尔托海铬铁矿床目前在开采中)。该蛇绿岩带出露面积最广、最有代表性的当属苏鲁乔克蛇绿混杂岩和阿克巴斯套蛇绿混杂岩(图 1)。苏鲁乔克一带蛇绿岩带被推覆于上石炭统包古图组之上,而在阿克巴斯套一带,这些蛇绿岩呈捕虏体被包裹于早二叠世阿克巴斯套铝质 A 型花岗岩体边部<sup>②</sup>。

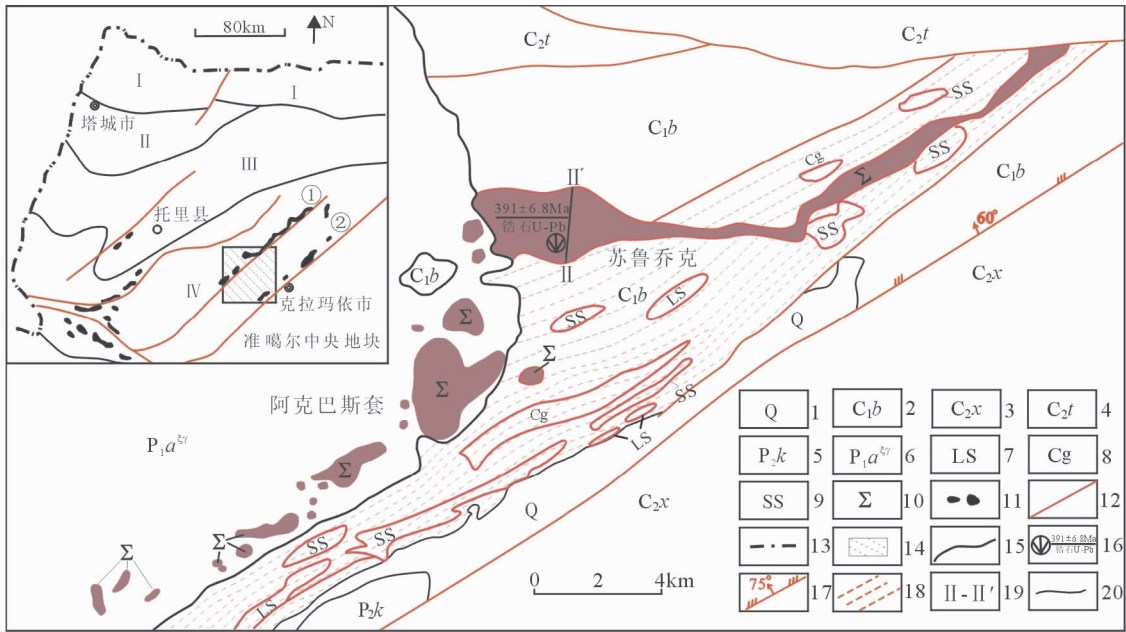


图 1 达尔布特蛇绿岩带分布略图

1-第四系;2-下石炭统包古图组;3-上石炭统太勒古拉组;4-上石炭统希贝库拉斯组;5-中二叠统库吉尔台组;6-早二叠世阿克巴斯套岩体;7-灰岩岩块;8-砾岩岩块;9-粉砂岩岩块;10-达尔布特蛇绿岩;11-蛇绿混杂岩;12-断裂;13-国界;14-研究区;15-侵入接触;16-样品位置及同位素年龄;17-正断裂;18-韧性剪切带;19-剖面位置;20-地质界线; I -洪古勒楞-阿尔曼太早古生代沟弧带; II -塔城晚古生代弧间盆地; III -谢米斯台-库兰卡兹中生代复合沟弧带; IV -唐巴勒-卡拉麦里古生代复合沟弧带; ①-达尔布特蛇绿混杂岩带 ②-克拉玛依蛇绿混杂岩带

Fig. 1 Map showing distribution of ophiolite in Darbut, western Junggar, Xinjiang

1-Quaternary; 2-Lower Carboniferous Baogutu Formation; 3-Upper Carboniferous Tailegula Formation; 4-Upper Carboniferous Xibeikulasi Fomation; 5-Middle Permian Kujiertai Formation; 6-Lower Permian Akebasitao granite; 7-Limestone block; 8-Conglomerate block; 9-Siltstone block; 10-Darbut ophiolitic; 11-ophiolitic m lange; 12-fault; 13-national boundary; 14-study area; 15-intrusive contact; 16-sample site and isotopic ages; 17-normal fault; 18-ductile shear zone; 19-location of section; 20-stratigraphic boundary; I -Hongguleleng-Aermantai early Paleozoic trench-arc belt; II -Tacheng Late Paleozoic interarc basin; III -Xiemisitai-Kulankazi Middle Paleozoic compound trench-arc belt; IV -Tangbale-Kelameili Paleozoic compound trench-arc belt; ①Darbut ophiolitic mélange; ②-Karamay ophiolitic mélange

① 西安地质矿产研究所. 1981. 新疆达尔布特蛇绿岩带研究报告

② 新疆地质矿产勘查开发局第七地质大队, 长安大学地质调查研究院. 2008. 新疆托里科尔巴依-野马井地区 1:5 万区域地质矿产调查报告

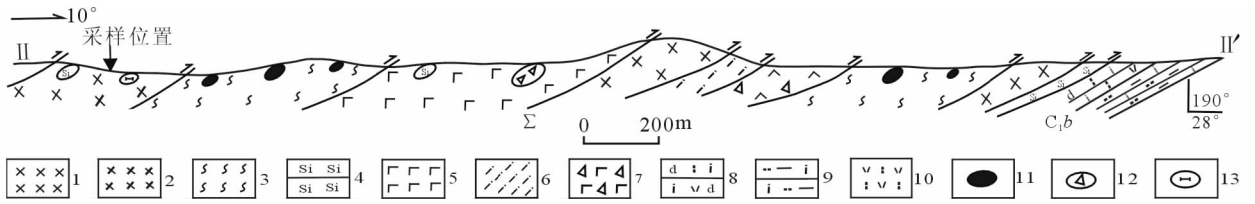


图2 达尔布特蛇绿岩剖面图

1-辉长岩;2-辉绿岩;3-蛇纹岩及其它蚀变岩;4-硅质岩;5-玄武岩;6-糜棱岩;7-碎裂玄武岩;8-糜棱岩化沉凝灰岩;9-糜棱岩化泥质粉砂岩;10-凝灰岩;11-橄榄岩透镜体;12-碎裂岩透镜体;13-透辉石岩透镜体

Fig. 2 Geological section of Darbut ophiolite

1- gabbro ; 2-diabase ; 3-serpentine and other altered rock ; 4-siliceousrock ; 5-basalt ; 6-mylonite ; 7-cataclastic basalt ; 8-mylonitized tuffite ; 9-mylonitized pelitic siltstone ; 10-tuff ; 11-peridotite lenticule ; 12-cataclasite lenticule ; 13-diopside lenticule

达尔布特蛇绿岩受达尔布特断裂控制,是以蛇纹岩、蛇纹石化橄榄岩为基质,混杂的岩块基本是蛇绿岩的组分,夹糜棱岩化泥质粉砂岩块、凝灰岩块等,岩块呈小逆冲岩片状组成的蛇绿混杂岩带,岩石均发育了强烈的构造蚀变,许多只保留了原矿物的残留和假象,主要岩性有橄榄岩、蛇纹岩、堆晶辉长岩、块状辉长岩、辉绿岩、块状玄武岩及枕状玄武岩、硅质岩等(图2),局部地区见斜长花岗岩侵入其间。橄榄石基本被蛇纹石、滑石和磁铁矿交代。玄武岩覆盖在超镁铁岩之上,局部玄武岩枕状构造明显,且在玄武岩层之上覆盖着薄层硅质岩。受后期构造破坏,岩石变质变形强烈,普遍纤闪石化、强蚀变碎裂岩化、糜棱岩化。

用于 U-Pb 测年和相关研究的样品采自 II-II' 号剖面辉长岩中。辉长岩呈团块状堆积于基质片状蛇纹岩中,团块形状各异,大小差别很大,发育堆晶、正堆晶结构(图3),细粒辉长结构,块状构造。堆晶纹层发育,并有不同程度的层间揉皱。主要矿物粒径 0.2 ~ 1.3mm,其中斜长石含量约为 50%,绝大部分斜长石以具斜长石假象的钙铝榴石 + 黝帘石 + 钠长石组成,分布不均匀。辉石为单斜辉石,普遍出溶棕褐色尖晶石,含量为 20% ~ 25%,呈短柱状,半自形-他形,沿



图4 达尔布特蛇绿混杂岩露头

Fig. 4 The outcrop of the Darbut ophiolitic mélangé

其边缘解理明显地被纤闪石所代替,副矿物有锆石、榍石、黝帘石、磁铁矿等。辉长岩堆积于蛇纹岩之上,与其共生有玄武岩、放射虫硅质岩等,证实辉长岩是蛇绿岩的一部分(图4)。

辉长岩主量元素分析结果扣除烧失量作归一化处理后的表 1 示,  $\text{SiO}_2$  为 44.85% ~ 50.51%,  $\text{TiO}_2$  为 0.12% ~ 0.60%, 高  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 平均 16.98%,  $\text{MgO}$  介于 9.09% ~ 12.13%, 平均 10.81%,  $\text{Mg}^\#$  [ =  $100\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  ] 值为 51.12 ~ 66.56, 介于印度洋辉长岩的  $\text{Mg}^\#$  值范围(32 ~ 88), 属于蛇绿岩中的镁铁质堆晶岩 (Coleman, 1977), 低于原生岩浆范围(68 ~ 75), 表明岩石经历了一定程度的分异演化 (Willson, 1989)。在辉长岩  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CaO-MgO (图 5a) 和  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}-\text{FeO}^T-\text{MgO}$  (图 5b) 上, 样品全部投到了镁铁堆晶岩区域, 说明所采样品属于蛇绿岩的组成部分 (图中编号 1 ~ 6 对应表中 1 ~ 6 号样品, 后同)。

辉长岩稀土元素和微量元素分析结果见表 2、表 3。  $\Sigma\text{REE}$  为  $5.17 \times 10^{-6}$  ~  $19.86 \times 10^{-6}$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  为 0.35 ~ 1.23,  $\delta\text{Eu}$  为 1.14 ~ 2.05, 显示正异常, 可能因分异结晶作用使斜长石堆积的缘故。稀土配分曲线表现为轻稀土相对亏损,

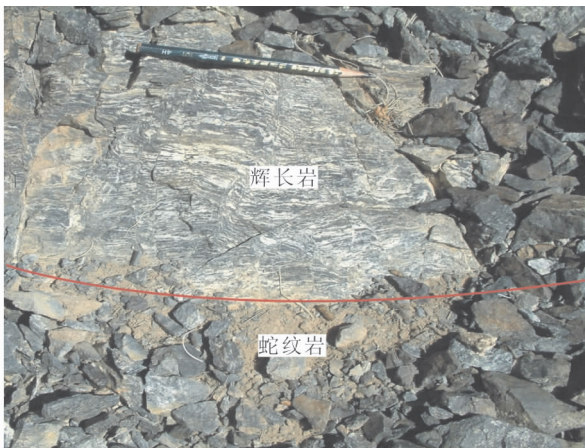


图3 辉长岩的堆晶结构

Fig. 3 Cumulate texture for gabbro

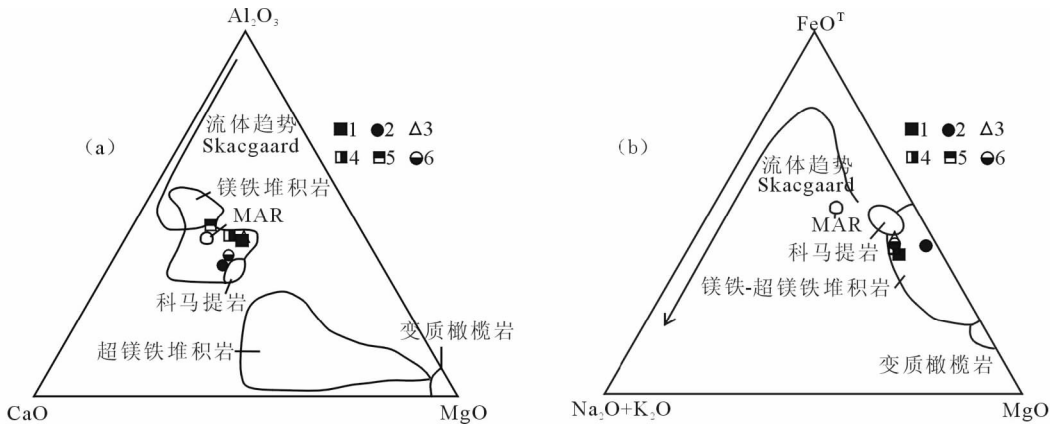


图5 达尔布特蛇绿岩中辉长岩的  $Al_2O_3$ -CaO-MgO(a) 和  $Na_2O + K_2O$ - $FeO^T$ -MgO(b) 图解

Fig. 5  $Al_2O_3$ -CaO-MgO (a) and  $Na_2O + K_2O$ - $FeO^T$ -MgO (b) diagrams of gabbro from Darbut ophiolite

表1 达尔布特蛇绿岩中辉长岩主量元素含量 (wt%) 分析结果

Table 1 Major element compositions (wt%) of gabbro from Darbut ophiolite

样品号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Mg <sup>#</sup>
1	48.34	0.60	16.48	1.65	7.77	0.14	10.65	11.10	2.87	0.36	0.04	100	51.15
2	50.51	0.32	15.41	0.85	4.11	0.10	10.73	15.44	2.44	0.07	0.00	100	66.56
3	48.20	0.22	19.45	1.01	5.00	0.10	11.19	12.76	1.90	0.17	0.00	100	63.09
4	44.85	0.12	16.47	1.73	7.22	0.16	12.13	16.67	0.52	0.13	0.00	100	56.21
5	46.71	0.18	18.26	2.01	8.07	0.10	11.05	11.54	1.93	0.14	0.01	100	51.12
6	48.36	0.30	15.85	1.56	6.14	0.10	9.09	16.52	1.90	0.16	0.02	100	53.08

注:由新疆矿产实验研究所采用 XRF 分析

表2 达尔布特蛇绿岩中辉长岩稀土元素含量 ( $\times 10^{-6}$ ) 分析结果

Table 2 REE element compositions ( $\times 10^{-6}$ ) of gabbro from Darbut ophiolite

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\Sigma$ REE	$\delta Eu$	(La/Yb) <sub>N</sub>
1	1.20	2.50	0.73	4.20	1.40	0.66	1.90	0.41	2.50	0.52	1.70	0.22	1.70	0.22	19.86	1.24	0.48
2	0.44	1.07	0.15	0.90	0.32	0.24	0.40	0.08	0.65	0.12	0.40	0.05	0.30	0.05	5.17	2.05	1.00
3	0.69	1.61	0.22	1.30	0.43	0.28	0.66	0.10	0.82	0.15	0.51	0.06	0.38	0.06	7.28	1.60	1.23
4	0.40	1.14	0.18	1.27	0.53	0.26	0.87	0.14	1.09	0.20	0.68	0.09	0.52	0.08	7.42	1.15	0.52
5	0.32	0.93	0.16	1.22	0.59	0.31	1.03	0.17	1.36	0.25	0.86	0.10	0.63	0.10	8.02	1.18	0.35
6	0.39	1.08	0.17	1.25	0.55	0.28	0.97	0.15	1.24	0.23	0.78	0.09	0.54	0.09	7.79	1.14	0.49

注:由长安大学教育部国土资源作用及其动力学重点实验室采用 ICP-MS 分析

表3 达尔布特蛇绿岩中辉长岩微量元素含量 ( $\times 10^{-6}$ ) 分析结果

Table 3 Trace element compositions ( $\times 10^{-6}$ ) of gabbro from Darbut ophiolite

样品号	Sc	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Y	Cs	Ba	Th	U	Zr	Nb	Hf	Ta
1	35.10	589	54.00	283	12.40	108	16.70	0.70	21.00	0.38	0.87	35.10	1.40	0.92	0.14
2	29.60	913	55.47	251	2.19	139	3.31	0.10	20.93	0.12	0.04	9.78	0.18	0.27	0.01
3	21.40	861	49.26	250	4.15	148	4.40	0.18	19.14	0.17	0.10	22.59	0.31	0.57	0.05
4	28.07	1030	34.70	187	7.60	262	5.53	0.18	22.74	0.05	0.15	14.55	0.22	0.43	0.02
5	42.41	1735	33.04	164	3.05	207	6.73	0.18	14.20	0.05	0.13	12.97	0.12	0.42	0.01
6	38.27	1488	47.24	226	1.94	166	6.03	0.11	13.64	0.07	0.11	11.19	0.17	0.36	0.03

注:由长安大学教育部国土资源作用及其动力学重点实验室采用 ICP-MS 分析

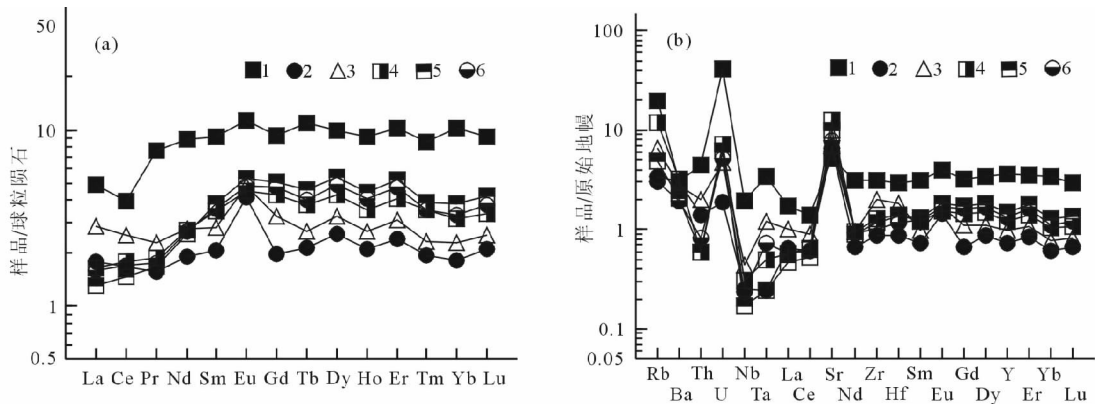


图6 稀土元素球粒陨石标准化配分图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b) (标准化值据 Sun and McDonough, 1989)  
Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive-mantle normalised spidergram (b) for the gabbro from Darbut ophiolite (normalized data from Sun and McDonough, 1989)

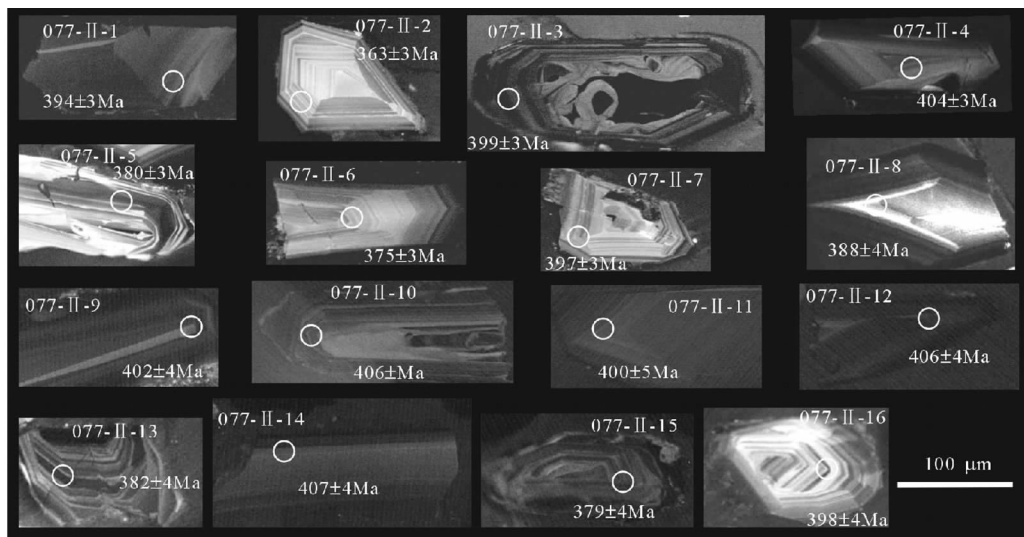


图7 辉长岩中典型锆石的 CL 图象和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄值  
Fig. 7 Representative zircon CL images and  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages of gabbro

重稀土平坦型分布(图 6a),非常类似于来自亏损地幔的洋中脊玄武岩(Hedge, 1978),这与典型蛇绿岩中堆晶辉长岩 LREE 亏损和正 Eu 的分配形式基本相同(Coleman, 1977)。在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图 6b)中,大离子亲石元素 Rb、Ba、U 和 Sr 富集, Nb、Ta 相对亏损。具有这种配分型式主要因为俯冲板片的流体交代上覆地幔楔使地幔岩石发生部分熔融,由于 Nb、Ta 等 HFSE 与其它元素(LILE、LREE)相比在流体中溶解度降低,发生沉淀留在残留相中(Ionov and Hofmann, 1995; Kelemen *et al.*, 2003),说明该蛇绿岩的形成与板块俯冲有关。

### 3 锆石特征、制样、分析方法及结果

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年的锆石采样编号为 077-TW-

II, 分析点号为 II-1 ~ II-16, 采样点公里网坐标 X = 5073473, Y = 15301198。

采用重液浮选和电磁分离方法挑选出的锆石, 锆石为无色透明-浅黄色, 呈短柱状、正方双锥状、钮柱状及半截锥状, 颗粒晶形比较完整, 晶体长 0.03 ~ 0.18mm, 宽 0.03 ~ 0.06mm, 柱状长宽比为 3 : 1 ~ 6 : 1, 在阴极发光图像上部分表现出典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构(图 7), 属于岩浆结晶产物(吴元保和郑永飞, 2004), 图 7 显示部分锆石内部结构相对均匀, 环带结构特征不明显, 锆石主体中心部位为黑色, 边部小面积为浅色, 反映结晶环境相对稳定, 如 077-TW-II-1、12、14 号锆石。

制样及分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。将具有代表性的锆石样品用双面胶粘在载玻片上, 放上 PVC 环, 然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC

表 4 达尔布特蛇绿岩中锆石 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果  
Table 4 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analysis of gabbro in Darbut ophiolite

样品号 (点号)	同位素比值						同位素年龄 (Ma)						元素含量 ( $\times 10^{-6}$ ) 及比值								
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}$	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	Th/U		
	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	年龄	1 $\sigma$	年龄	1 $\sigma$	年龄	1 $\sigma$	年龄	1 $\sigma$	年龄	1 $\sigma$	年龄		
077-II-1	0.058	0.001	0.505	0.012	0.063	0.000	0.020	0.000	532	57	415	8	394	3	392	3	52.1	7.1	181.4	269.0	0.7
077-II-2	0.061	0.002	0.485	0.015	0.058	0.000	0.018	0.000	631	71	401	10	363	3	358	3	58.5	4.8	89.8	208.8	0.4
077-II-3	0.078	0.003	0.686	0.027	0.064	0.001	0.019	0.000	1143	83	530	17	399	3	384	6	112.7	13.9	229.5	472.6	0.5
077-II-4	0.067	0.002	0.600	0.013	0.065	0.001	0.020	0.000	850	29	477	8	404	3	403	5	57.9	2.9	25.4	72.7	0.4
077-II-5	0.072	0.005	0.603	0.039	0.061	0.001	0.018	0.000	990	137	479	25	380	3	367	8	148.3	89.0	125.6	245.3	0.5
077-II-6	0.057	0.001	0.472	0.008	0.060	0.000	0.018	0.000	501	24	393	6	375	3	356	4	153.8	25.6	246.6	489.3	0.5
077-II-7	0.059	0.001	0.513	0.007	0.063	0.000	0.019	0.000	553	18	420	5	397	3	389	4	64.3	8.1	292.6	364.0	0.8
077-II-8	0.047	0.001	0.401	0.010	0.062	0.001	0.014	0.000	45	36	342	7	388	4	280	4	45.4	3.9	89.6	188.7	0.5
077-II-9	0.049	0.001	0.433	0.009	0.064	0.001	0.015	0.000	148	29	366	7	402	4	304	4	56.3	6.1	168.8	236.3	0.7
077-II-10	0.063	0.001	0.562	0.008	0.065	0.001	0.020	0.000	705	14	453	5	406	4	400	4	119.2	16.5	199.8	502.9	0.4
077-II-11	0.053	0.002	0.467	0.012	0.064	0.001	0.019	0.000	330	35	389	8	400	5	376	6	36.9	2.9	55.9	154.1	0.4
077-II-12	0.054	0.001	0.478	0.008	0.065	0.001	0.017	0.000	350	21	397	6	406	4	341	3	110.6	15.2	372.5	466.3	0.8
077-II-13	0.067	0.003	0.568	0.021	0.061	0.001	0.019	0.000	852	82	457	14	382	4	373	6	118.8	27.0	159.3	413.2	0.4
077-II-14	0.067	0.002	0.602	0.011	0.065	0.001	0.019	0.000	840	21	478	7	407	4	386	4	47.2	8.2	201.2	191.1	1.1
077-II-15	0.063	0.002	0.523	0.018	0.061	0.001	0.019	0.000	693	79	427	12	379	4	373	5	111.0	15.1	209.8	456.3	0.5
077-II-16	0.047	0.002	0.416	0.011	0.064	0.001	0.019	0.000	68	41	353	8	398	4	372	5	45.5	3.5	101.6	189.7	0.5

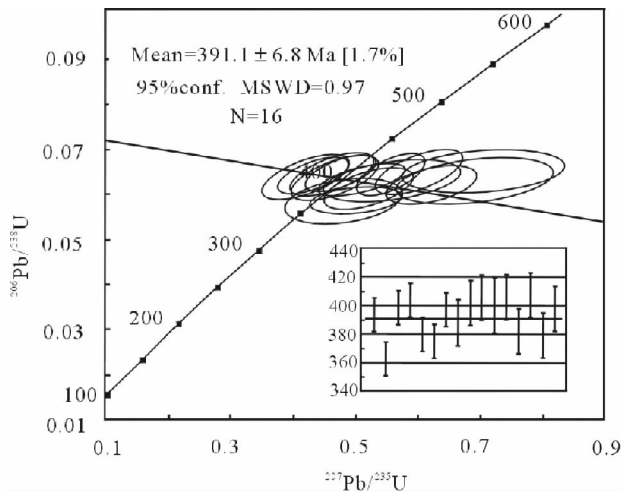


图8 辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 8 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams of gabbro

环中,待树脂充分固化后将样品座从载玻片上剥离,并对其进行抛光,完成后进行锆石显微(反射光和透射光)照相。最后用体积百分比为3%的 $\text{HNO}_3$ 清洗并镀金做成样品靶。锆石原位 U-Pb 同位素年龄分析在 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行。主要仪器、操作过程与方法、质量监控步骤、分析中使用的标样与误差校正等参见文献 (Horn *et al.*, 2000; Ballard *et al.*, 2001; Kosler *et al.*, 2002; 袁洪林等, 2003), 采用 Glitter (ver4.0, Macquarie University) 软件对锆石的同位素比值及元素含量进行计算 (Yuan *et al.*, 2004), 用 LAM-ICP-MS Common Lead Correction (ver3.15) 程序进行普通铅校正 (Andersen, 2002), 年龄采用 Isoplot 程序计算及谐和图采用 Isoplot (ver3.0) 完成 (Ludwig, 1991, 2003; Yuan *et al.*, 2004)。从样品测得的同位素比值和年龄数据 (表 4) 可见, 锆石中  $^{232}\text{Th}$  含量变化为  $25.4 \times 10^{-6} \sim 372.5 \times 10^{-6}$ ,  $^{238}\text{U}$  含量变化为  $72.7 \times 10^{-6} \sim 502.9 \times 10^{-6}$ , 变化幅度较大, Th、U 含量呈现出较好的正相关关系, 且具有较高的 Th/U 比值, 介于 0.4 ~ 0.8 (一个测点比值为 1.1 除外), 显示典型岩浆成因锆石特征 (Pidgeon *et al.*, 1998; Claesson *et al.*, 2000) 以上特征进一步说明测年锆石是岩浆结晶形成的。由于  $^{235}\text{U}$  的衰变比  $^{238}\text{U}$  快 6.3 倍, 放射成因的  $^{207}\text{Pb}$  在地球早期历史中更为丰富, 而显生宙以来  $^{207}\text{Pb}$  生成率很低, 这种变化是显生宙锆石的  $^{207}\text{Pb}$  计数速率低, 而造成  $^{207}\text{Pb}$  测定的误差较大, 使得  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  和  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  比值可信度降低。因此, 对于显生宙锆石, 一般采用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄 (Compston *et al.*, 1992) 锆石微区测试数据 16 个, 所有数据点集中分布在谐和曲线附近, 分析测试的锆石在 U-Pb 年龄一致曲线图上构成比较集中的锆石群, 最大的年龄误差 5Ma, 样品的加权平均  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄  $391.1 \pm 6\text{Ma}$ ,  $\text{MSWD} = 0.97$  (95% 置信度) (图 8)。

## 4 讨论与结论

本文获得辉长岩锆石 U-Pb 年龄 391.1Ma, 标定蛇绿岩

形成时代的下限时代应为中泥盆世。锆石对 U-Pb 放射性同位素体系具有很高的封闭温度 (可高达  $1000^\circ\text{C}$ ), 具有很好的热稳定性和化学稳定性, 不易受后期热事件的干扰或热液流体作用影响。即使受到了后期热事件的干扰或热液流体作用, 亦可以通过 3 个年龄 ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) 的差异确定同位素体系, 以平衡体系受到的干扰程度, 从而可以进行体系内部的自检和校正 (Cliff, 1985; 陆松年等, 2001), 所以这一年龄数据可靠性、置信度高, 与辉长岩中  $395 \pm 12\text{Ma}$  的 Sm-Nd 等时线年龄 (张驰和黄萱, 1992) 十分接近, 因而肯定了达尔布特蛇绿岩形成于中泥盆世。

达尔布特蛇绿岩的确切地质时代为准确约束西准噶尔的板块构造演化提供了重要佐证。近年来, 围绕西伯利亚与哈萨克斯坦-准噶尔板块之间的古生代古亚洲洋研究有许多新发现和重要进展, 西伯利亚板块南缘的新发现有: 东准噶尔扎河坝地区托让格库都克组泥盆系中有埃达克岩、富铋玄武岩 (许继峰等, 2001a, b) 和钾质玄武岩 (袁超等, 2006), 在阿舍勒地区下-中泥盆统中发现高镁安山岩和富镁英安岩 (肖序常等, 1992; 牛贺才等, 1999), 库尔提蛇绿岩已被确认形成于与俯冲有关的弧后盆地环境 (许继峰等, 2001a) 等; 哈萨克斯坦-准噶尔板块北缘的主要新进展有: 早-中泥盆世埃达克岩、富铋玄武岩 (张海祥等, 2004), 西准噶尔西南早泥盆世与板块俯冲作用有关的克拉玛依蛇绿混杂岩 (徐新等, 2006; 朱永峰等, 2008), 本文对达尔布特蛇绿岩中辉长岩形成年代及地球化学的研究, 进一步证实了早-中泥盆世古亚洲洋向准噶尔板块的俯冲, 而达尔布特蛇绿混杂岩是其俯冲的产物和重要证据。

## References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ . *Chemical Geology*, 192: 59–79
- Ballard JR, Palin JM, Williams IS *et al.* 2001. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquibambata copper deposit of northern Chile by ELA-ICPMS and SHRIMP. *Geology*, 9: 383–386
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1999. *Multiple Classification and Correlation of the Stratigraphy of China (65) Stratigraphy (lithostratic) of Xinjiang Uygur Autonomous Region*. Beijing: China University of Geosciences Press (in Chinese)
- Cao RL. 1994. Ophiolitic and mafic-ultramafic complex, northern Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 12(1): 25–31 (in Chinese)
- Chen B and Zhu YF. 2008. Petrology of ultramafic rock in Darbut ophiolite (Xinjiang): Evidence from Cr-spinel. *Earth Science Frontiers*, 16(6): 312–322 (in Chinese with English abstract)
- Cheng SD and Wang YL. 1998. Basic characteristics of geotectonic evolution of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 16(2): 97–107 (in Chinese with English abstract)
- Claesson S, Vetrin V, Bayanova T *et al.* 2000. U-Pb zircon age from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: A record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic. *Lithos*, 51: 95–108
- Cliff RA. 1985. Isotopic dating in metamorphic belts. *Geological Society*

- of London, 142:97 – 110
- Coleman RG. 1977. Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere. Berlin: Springer Verlag, 1 – 140
- Compston W, Williams IS, Kirschvink JL *et al.* 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. *Journal of Geological Society of London*, 149:171 – 184
- Feng YM. 1986. Genetic environments and original types of ophiolites in West Junggar. *Bulletin of the Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, the Chinese Academy of Geological Sciences*, No. 13: 37 – 44 (in Chinese with English abstract)
- He GQ, Cheng SD and Xu X. 2005. An Introduction to the Explanatory Text of the Map of Tectonics of Xinjiang and its Neighbouring Area 1:1500000. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Hedge CE. 1978. Strontium isotopes in basalts from the Pacific ocean basin. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38:88 – 94
- Horn I, Rudnick RL and McDonough WF. 2000. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICPMS: Application to U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 167:405 – 425
- Huang JH, Lu XC, Zhu XN *et al.* 1995. Advance in research of the ophiolites in Honggulege of North Junggar, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 13(1):20 – 30 (in Chinese with English abstract)
- Ionov DA and Hofmann AW. 1995. Nb-Ta-rich mantle amphiboles and micas: Implication for subduction-related metasomatic trace element fractionation. *Earth and Planetary Science Letters*, 71:241 – 262
- Kelemen PB, Høghøj K and Greene AR. 2003. One view of the geochemical of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust. *Treatise on Geochemistry*. Elsevier, 3:593 – 659
- Kosler J, Fonneland H, Sylvester P *et al.* 2002. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies—a comparison of laser ablation LCPMS and SIMS techniques. *Chemical Geology*, 182:605 – 618
- Kwon ST, Tilton CR, Coleman *et al.* 1989. Isotopic investigations on the tectonic of the West Junggar region, Xinjiang, China. *Tectonics*, 8: 719 – 727
- Li JY. 2004. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China. *Geological Review*, 50 (3):304 – 322 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, He GQ, Xu X *et al.* 2006. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation. *Acta Geologica Sinica*, 80(1):148 – 168 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 1991. Isoplot-A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. *US Geological Survey Open-File Report*, 39:91 – 445
- Ludwig KR. 2003. Isoplot 3.0-A geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center, Spec. Pub.*: (4):1 – 70
- Lu SN, Li HK and Yu HF. 2001. Geological events, event sequence and event group. *Geological Review*, 47(5):521 – 526 (in Chinese with English abstract)
- Niu HC, Xu JF and Yu XY *et al.* 1999. Discovery of Mg – rich volcanic rock series and its geological implication. *Chinese Science Bulletin*, 44(9):1002 – 1004 (in Chinese)
- Pidgeon RT, Nemchin AA and Hitchen GJ. 1998. Internal structures of zircons from Archaean granites from the Darling Range batholith: Implications for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 132:288 – 299
- Shi ZY, Li JM and Li ZX. 1982. Genetic types and geological features of lherzolite nodules in Darbut ultrabasic rocks zone, Xinjiang. *Bulletin of the Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, the Chinese Academy of Geological Sciences*, No. 4:21 – 25 (in Chinese with English abstract)
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in Oceanic Basins*. Geological Society Special Publication, 42:313 – 345
- Wang YS, Zhang JS and Wang LS. 1982. Discussion on the basic geological features and genetic model of Darbut ophiolite zone, Xinjiang. *Bulletin of the Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, the Chinese Academy of Geological Sciences*, No. 4:42 – 55 (in Chinese with English abstract)
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. London: Unwin Hyman, 21 – 22
- Wu YB and Zhen YF. 2004. Study on zircon minerageny and its constraints on the interpretation of U-Pb ages. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589 – 1604 (in Chinese)
- Xiao WJ, Han CM, Yuan C *et al.* 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paleasian Domain. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5):1062 – 1076 (in Chinese with English abstract)
- Xiao XC, Tang YQ, Li JY *et al.* 1992. *Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Xu JF, Chen FR, Yu XG *et al.* 2001a. Kuerti ophiolite in Altay area of North Xinjiang: Magmatism of an ancient back arc basin. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3):344 – 352 (in Chinese with English abstract)
- Xu JF, Mei HJ, Yu XY *et al.* 2001b. Adakites related to subduction in the northern margin of Junggar are for the Late Paleozoic: Products of slab melting. *Chinese Science Bulletin*, 46:684 – 688 (in Chinese)
- Xu X. 1998. On opening-closing tectonics of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 16(1):1 – 12 (in Chinese with English abstract)
- Xu X, He GQ, Li HQ *et al.* 2006. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélange, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating. *Geology in China*, 33(3):470 – 475 (in Chinese with English abstract)
- Yuan C, Xiao WJ, Chen HL *et al.* 2006. Zhaheba potassic basalt, eastern Junggar (NW China): Geochemical characteristics and tectonic implications. *Acta Geologica Sinica*, 80(2):254 – 263 (in Chinese with English abstract)
- Yuan HL, Wu FY, Gao S *et al.* 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentration of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 48(22):2411 – 2421 (in Chinese)
- Yuan HL, Gao S, Liu XM, Li HM, Günther D and Wu FY. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3):353 – 370
- Zhang C. 1981. Some geological characters of the ophiolite of Xinjiang. *Geological Review*, 7(4): 307 – 314 (in Chinese with English abstract)
- Zhang C and Huang X. 1992. The ages and tectonics of ophiolites in West Junggar, Xinjiang. *Geological Review*, 38:509 – 524 (in Chinese with English abstract)
- Zhang HX, Niu HC, 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 LF. 1997. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages of blueschist in western Junggar, Xinjiang and its geological significance. *Chinese Science Bulletin*, 42:2178 – 2181 (in Chinese)
- Zhu BQ, Wang LS and Wang LX. 1987. Paleozoic Ear ophiolite of southwest part in western Junggar, Xinjiang, China. *Bulletin of the Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, the Chinese Academy of Geological Sciences*, No. 17:3 – 64 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF and Ogasawara Y. 2002. Carbon recycled into the deep Earth: Evidenced by dolomite in subduction-zone rocks. *Geology*, 30: 947 – 950
- Zhu YF, Zhang LF, Gu LB, Guo X and Zhou J. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 50:2201 – 2212
- Zhu YF and Xu X. 2006. The discovery of Early Ordovician ophiolite mélange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China. *Acta*



Petrologica Sinica, 22 (12):2833 – 2842 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF and Xu X. 2007. Exsolution texture of two-pyroxenes in Iherzolite from Baijiangtan ophiolitic mélange, western Junggar, China. Acta Petrologica Sinica 23 (5): 1075 – 1086 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF, Xu X, Chen B *et al.* 2008. Dolomite marble and garnet amphibolite in the ophiolitic mélange in western Junggar: Relics of the Early Paleozoic oceanic crust and its deep subduction. Acta Petrologica Sinica, 24(12):2767 – 2777 (in Chinese with English abstract)

## 附中文参考文献

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

陈博, 朱永峰. 2008. 新疆达拉布特超镁铁成因——来自铬尖晶石的证据. 地学前缘, 15(6):312 – 322

成守德, 王元龙. 1998. 新疆大地构造演化基本特征. 新疆地质, 16 (2): 97 – 107

冯益民. 1986. 西准噶尔蛇绿岩生成环境及其成因类型. 中国科学院西安地质矿产研究所所刊, 13: 37 – 44

何国琦, 成守德, 徐新. 2005. 中国新疆及邻区大地构造图 1: 1500000. 北京:地质出版社

黄建华, 吕喜朝, 朱星南等. 1995. 北疆准噶尔洪古勒楞蛇绿岩研究新进展. 新疆地质, 13(1): 20 – 30

李锦轶. 2004. 新疆东部古元古代晚期和古生代构造格架及其演变. 地质评论, 50(3):304 – 322

李锦轶, 何国琦, 徐新等. 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

陆松年, 李怀坤, 于海峰. 2001. 地质事件、序列和事件群. 地质论评, 47(5):521 – 526

牛贺才, 许继峰, 于学元等. 1999. 新疆阿勒泰富镁火山岩系的发现及其地质意义. 科学通报, 44(9):1002 – 1004

师占义. 1982. 新疆达尔布特二辉橄榄岩团块的成因类型及其地质特征. 中国科学院西安地质矿产研究所所刊, 4:21 – 25

王懿圣, 张金生. 1982. 达尔布特蛇绿岩带基本地质特征及成因模式讨论. 中国科学院西安地质矿产研究所所刊, 4:42 – 55

吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16):1589 – 1604

肖文交, 韩春明, 袁超等. 2006. 新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-

成矿作用:对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约. 岩石学报, (22)5:1062 – 1076

肖序常, 汤耀庆, 李锦轶等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京:地质出版社

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆区域地质志. 北京:地质出版社

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1999. 新疆维吾尔自治区石地层. 北京:中国地质大学出版社

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, 梅厚钧, 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, 46:684 – 688

徐新. 1998. 概论新疆开合构造. 新疆地质, 16(1):1 – 12

徐新, 何国琦, 李华芹等. 2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息. 中国地质, 33(3):470 – 475

袁超, 肖文交, 陈汉林等. 2006. 新疆东准噶尔扎河坝钾质玄武岩的地球化学特征及其构造意义. 地质学报, 80(2):254 – 263

袁洪林, 吴福元, 高山等. 2003. 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. 科学通报, 48 (22):2411 – 2421

张驰. 1981. 新疆蛇绿岩某些地质特征. 地质评论, 7(4):304 – 314

张驰, 黄萱. 1992. 新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境讨论. 地质论评, 38:509 – 524

张海洋, 牛贺才, Hiroaki SATO 等. 2004. 新疆北部晚古生代埃达克岩、富铯玄武岩组合:古亚洲板块南向俯冲的证据. 高校地质学报, 10(1):106 – 113

张立飞. 1997. 新疆西准噶尔唐巴勒蓝片岩<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄及其地质意义. 科学通报, 42:2187 – 2181

朱宝清, 王来生, 王连晓. 1987. 西准噶尔西南地区古生代蛇绿岩. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, No. 17: 3 – 64

朱永峰, 徐新. 2006. 新疆塔尔巴哈台发现早奥陶世蛇绿岩. 岩石学报, 22(12):2833 – 2842

朱永峰, 徐新. 2007. 西准噶尔白碱滩二辉橄榄岩中两种辉石的出溶结构及其地质意义. 岩石学报, 23(5):1075 – 1086

朱永峰, 徐新, 陈博等. 2008. 西准噶尔蛇绿混杂岩中的白云岩大理岩和石榴角闪岩:早古生代残余洋壳深俯冲的证据. 岩石学报, 24(12):2767 – 2777