

新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩的地球 化学特征及大地构造意义

汪帮耀¹, 姜常义^{1,2}, 李永军^{1,2}, 吴宏恩³, 夏昭德¹, 卢荣辉¹

1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;
2. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054;
3. 新疆维吾尔自治区有色地质矿产勘查院, 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】 新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿混杂岩的岩石组合为变质橄榄岩、辉长岩、辉绿岩和基性熔岩等。该蛇绿岩中辉长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄($329.9 \text{ Ma} \pm 1.6 \text{ Ma}$)证明卡拉麦里蛇绿岩的形成时间为早石炭世维宪期。蛇绿岩中辉长岩和基性熔岩 REE 球粒陨石标准化和微量元素原始地幔标准化分配型式呈平坦型分布, 大离子亲石元素丰度低, 成分上非常类似于正常的 MORB, 同时无岛弧及洋岛岩石的地球化学特征, 表明该蛇绿岩很可能形成于大洋中脊。结合该区野外地质特征、岩石地球化学和高精度年代学等方面的研究, 认为卡拉麦里洋盆形成于泥盆纪初期, 最终闭合于早石炭世谢尔普霍夫期。

【关键词】 新疆东准噶尔; 卡拉麦里; 蛇绿岩; 洋盆时限; 洋中脊

中图分类号: P595

文献标识码: A

文章编号: 1001-6872(2009)03-0074-09

0 引言

卡拉麦里蛇绿岩带位于准噶尔盆地东北缘^[1](图 1), 为新疆北部的重要蛇绿岩带。在卡拉麦里蛇绿岩形成的大地构造环境方面, 一些学者认为, 卡拉麦里蛇绿岩带代表中亚一级构造缝合带^[2]; 也有认为卡拉麦里蛇绿岩代表存在有泥盆纪期间的弧后盆地和边缘海盆^[3,4]; 还有的则认为卡拉麦里蛇绿

岩并没有弧后盆地特征, 应为弧前环境^[5]; 刘希军等认为其形成于受俯冲洋脊影响的岛弧或弧前扩张环境^[6]。这些争议一直存在, 而该带北侧的古火山弧带佐证该洋盆的存在, 并且其形成时代代表了该洋盆闭合时限的上限。研究希望通过该蛇绿岩的岩石学、岩相学和地球化学特征, 了解该蛇绿岩的大地构造环境, 同时结合蛇绿岩中辉长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄, 以准确厘定卡拉麦里蛇绿岩形成时代, 并确定其所代表洋盆的开合时限。

收稿日期: 2009-04-01; 改回日期: 2009-06-09

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(QD200508)

作者简介: 汪帮耀, 男, 25 岁, 博士生, 岩石学专业, 研究方向: 岩石学及矿床地球化学. E-mail: banyeo@163.com

1 地质背景及岩石学特征

卡拉麦里蛇绿岩分布于新疆准噶尔盆地东北缘(图 1),该带西起克拉麦里清水泉,南明水以东,经巴里坤塔克札勒、伊吾大黑山与蒙古南部的佐连、内蒙索伦山、贺根山蛇绿岩相接,新疆境内,走向 NNW,全长约 150 km,宽 5 km~15 km。蛇绿岩分布区内出露的地层主要是泥盆系和石炭系,岩石组合以陆源碎屑岩、火山碎屑岩和熔岩为特征,其代表性的地层单元分别是中泥盆统平顶山组和下石炭统姜巴斯套组,并且姜巴斯套组逆冲到蛇绿岩套之上。

野外地质调查研究表明,蛇绿岩由不同的岩块组成的,主要包括强蛇纹石化变质橄榄岩、辉长岩、辉绿岩和基性熔岩等。蛇绿岩中的岩块局部呈透镜状产出(照片 1A)。几处见辉长岩直接覆于变质橄榄岩之上(照片 1B)。野外未见完整的蛇绿岩剖面,蛇绿岩带中也未发现堆晶的超镁铁岩。该带受卡拉麦里断裂的控制,岩石片理化较为发育,可见,卡拉麦里蛇绿岩带不是完整的蛇绿岩套,而是蛇绿混杂岩带。

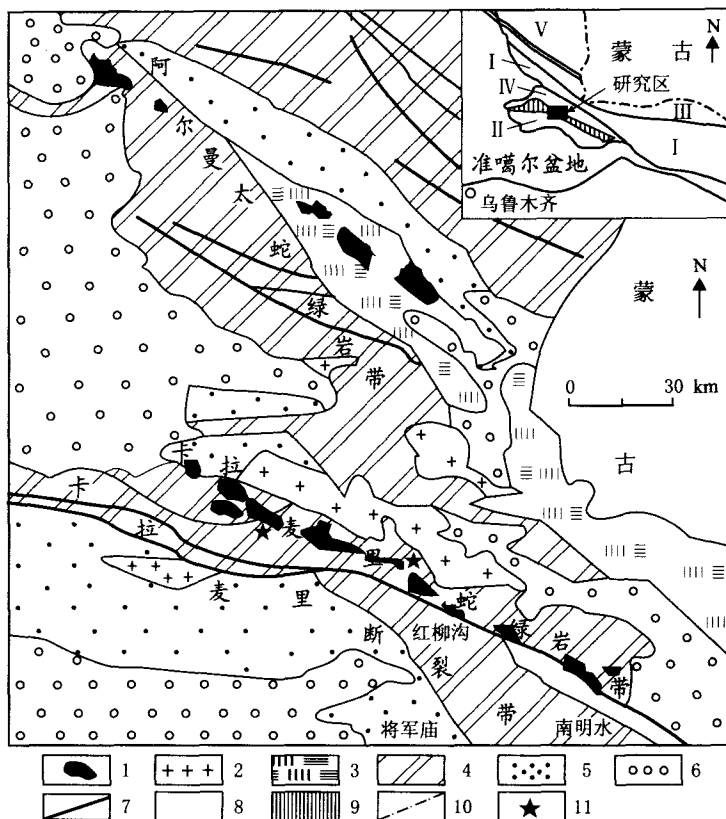
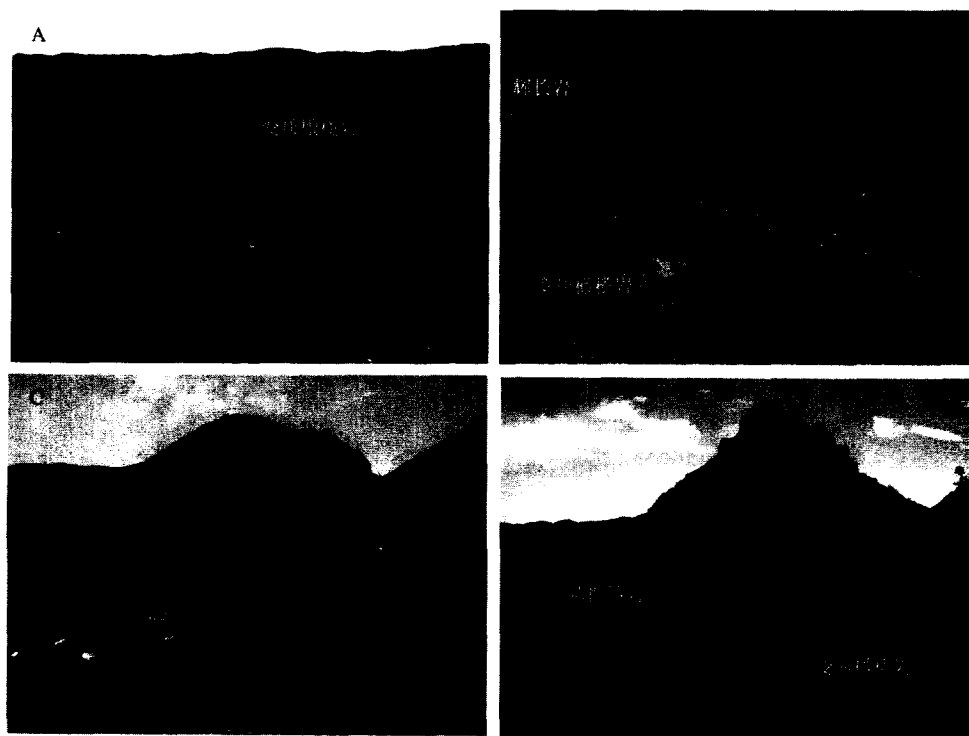


图 1 卡拉麦里蛇绿岩带地质简图(据何国琦等,2001 修改^[7])

1. 蛇绿岩; 2. 花岗岩类; 3. 早古生界; 4. 晚古生界; 5. 中生界; 6. 新生界; 7. 断层; 8. 蒙古; 9. 卡拉麦里蛇绿岩带; 10. 国界; 11. 采样点; I. 库兰卡孜古生代岛弧; II. 将军庙古稳定陆缘; III. 阿尔曼特晚古生代岛弧; IV. 卡拉麦里古生代弧后盆地; V. 加波萨尔古生代岛弧

Fig. 1 Simplified geological map of Karamaili ophiolite



照片 1 卡拉麦里蛇绿岩野外照片

A. 蛇绿混杂岩野外露头; B. 辉长岩覆于变质橄榄岩之上; C. 辉长岩露头; D. 基性熔岩和变质橄榄岩的接触界线

Photo 1 Photographs showing Karamaili ophiolite

蛇绿岩中变质橄榄岩主要为蛇纹石化纯橄岩, 并有少量蛇纹石化二辉橄榄岩。蛇纹石化纯橄岩为纤维变晶结构, 块状构造。橄榄石绝大部分已经蛇纹石化, 仅在颗粒较大的中心有橄榄石残留(照片 2A)。由橄榄石蚀变的纤维状蛇纹石, 呈纤维状集合体网状、环状分布, 蛇纹石化过程中析出大量粉末状磁铁矿。蛇纹石化二辉橄榄岩也为纤维变晶结构, 块状构造。岩石主要由橄榄石和残留辉石(斜方辉石和单斜辉石)组成。橄榄石绝大部分已经蛇纹石化, 蛇纹石呈纤维状集合体网状、环状分布。斜方辉石呈粒状分布, 局部蛇纹石化。单斜辉石也呈粒状分布, 且部分蚀变为绿泥石, 但是仍保留辉石假象。

辉长岩为细粒辉长结构, 块状构造(照片 2B, 照片 2C)。主要矿物为单斜辉石、斜长石和褐色普通角闪石, 次要矿物为斜方辉石。辉石为半自形粒状, 且辉石强烈透闪石化。褐色普通角闪石为他形填隙状, 其结晶晚于斜长石和辉石, 并有轻-中度的阳起石化和绿帘石化。岩石中斜长石主要呈半自形板柱状, 局部有钠黝帘石化。磁铁矿分布于辉石和斜长石粒间。

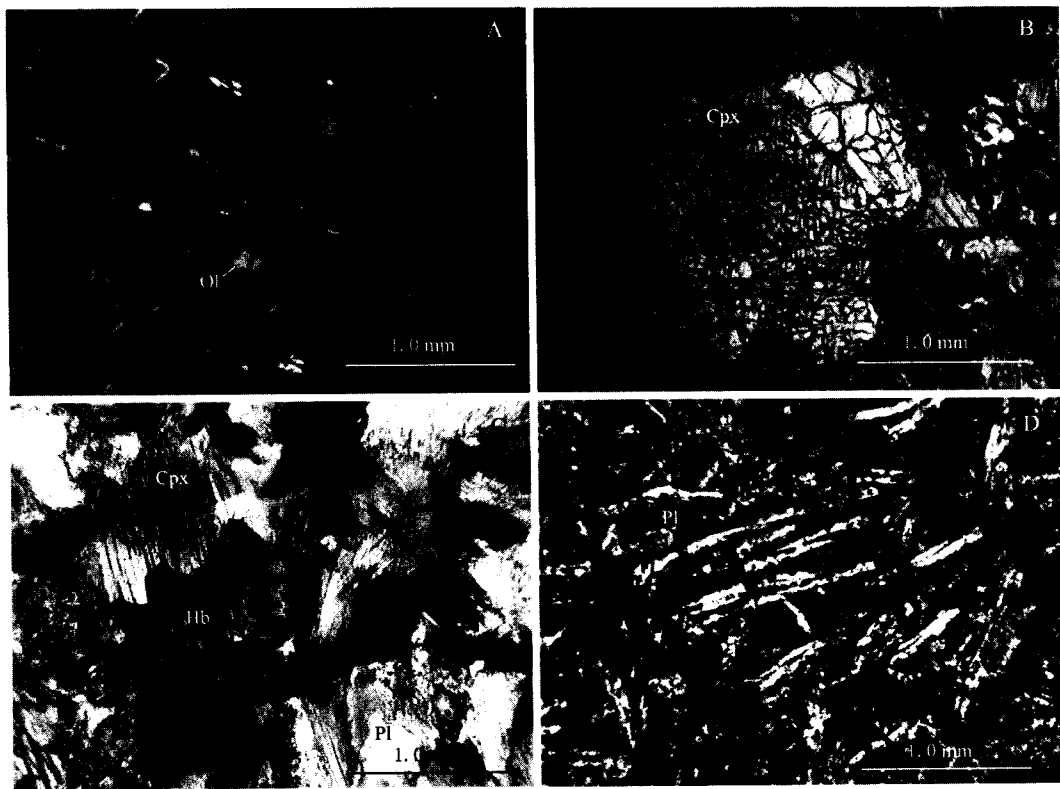
基性熔岩为间粒间隐结构, 块状构造(照片

2D)。主要矿物为斜长石和单斜辉石。斜长石呈细长柱状分布, 镜下可见到中空结构。辉石呈他形不均匀分布, 绝大部分辉石绿帘石化和绿泥石化。磁铁矿局部充填于斜长石和辉石粒间。

2 卡拉麦里蛇绿岩的年代学

为了获得卡拉麦里蛇绿岩的形成时代, 选取蛇绿岩带中的辉长岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 定年。该辉长岩采自卡拉麦里构造带红柳沟西侧(图 1), 在采样点处, 辉长岩均直接覆于变质橄榄岩之上(照片 1B)。

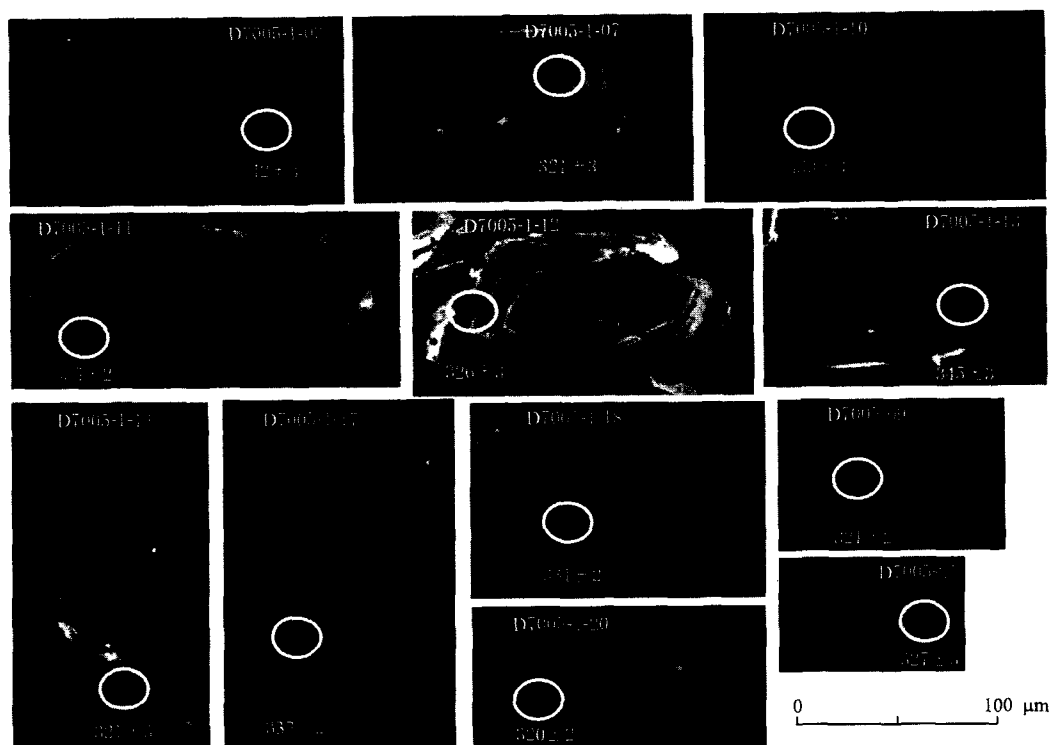
从辉长岩中选出的锆石为浅黄色一无色透明的正方双锥状、中长柱状、浑圆状、短柱状及半截锥状自形晶体, 粒径多为 $70\ \mu\text{m} \sim 160\ \mu\text{m}$ 。阴极发光图像表现出典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构, 属于岩浆结晶产物(照片 3)。锆石的 12 个测点 Th/U 比值为 $0.35 \sim 0.98$, 多数大于 0.4, Th 质量分数变化范围是 $72.21 \times 10^{-6} \sim 260.18 \times 10^{-6}$, U 质量分数变化范围为 $198.71 \times 10^{-6} \sim 670.61 \times 10^{-6}$ (表 1)。且 Th, U 质量分数呈现较好的正相关关系, 故获得的年龄可以代表蛇绿岩的形成年龄。



照片 2 卡拉麦里蛇绿岩岩石的显微结构特征

A. 正交偏光下变质橄榄岩; B. 单偏光下辉长岩; C. 单偏光下辉长岩; D. 单偏光下基性熔岩; Ol. 橄榄石; Cpx. 单斜辉石; Hb. 角闪石; Pl. 斜长石

Photo 2 Texture character of the Karamaili ophiolite rocks



照片3 卡拉麦里蛇绿岩辉长岩中单颗粒锆石的阴极发光图

Photo 3 Cathodoluminescence (CL) images of zircons from the gabbro in Karamaili ophiolite

锆石 SHRIMP 测定结果的数据处理方法据宋彪等^[8]。卡拉麦里蛇绿混杂岩中辉长岩的锆石的谐和年龄为 $329.9 \text{ Ma} \pm 1.6 \text{ Ma}$, $\text{MSWD}=0.8$ (图2)。证明该蛇绿岩的形成时间为早石炭世维宪期。

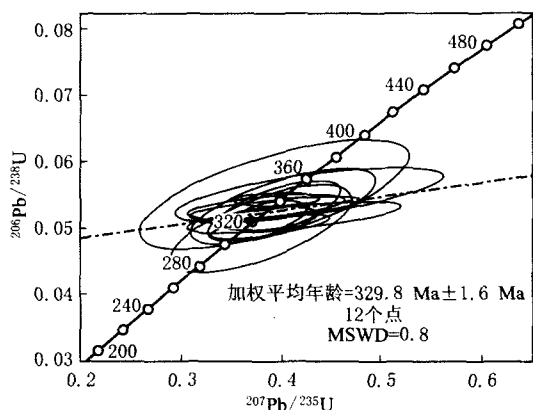


图2 卡拉麦里蛇绿岩辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 协和年龄图

Fig. 2 LA-ICP-MS Zircon U-Pb concordia diagram of gabbro in Karamaili ophiolite

3 岩石地球化学

3.1 主量元素地球化学

卡拉麦里蛇绿混杂岩的岩石地球化学数据见表2, 其中变质橄榄岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 在 $44.76\% \sim$

46.48% 之间, 高 MgO ($42.27\% \sim 44.40\%$)、 FeOt (平均为 8.55)。岩石的 M/F 值均大于 8 , 属镁质超基性岩。

辉长岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 在 $54.03\% \sim 55.02\%$ 之间变化, $w(\text{TiO}_2)$ 介于 $0.89\% \sim 1.11\%$ 之间, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 介于 $14.66\% \sim 16.27\%$, $w(\text{MgO})$ 为 $4.64\% \sim 5.73\%$, FeOt 平均为 12.71 , 低 $w(\text{K}_2\text{O})$ ($0.03\% \sim 0.71\%$)。

基性熔岩 $w(\text{SiO}_2)$ 在 $50.44\% \sim 55.18\%$ 之间, $w(\text{TiO}_2)$ 平均值为 1.10% , 中 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ ($13.52\% \sim 14.50\%$), $w(\text{MgO})$ ($4.40\% \sim 7.50\%$), 低 $w(\text{K}_2\text{O})$ ($0.29\% \sim 0.80\%$)。其 $\text{Mg}^\#$ 值为 $52.83 \sim 67.17$ 。在 TAS 图中 (图3), 基性熔岩落入了玄武岩区域, 并且基性熔岩样品在 AFM 图 (图3) 中落点的演化趋势明显体现拉斑玄武岩系列的特征。

3.2 稀土元素与微量元素地球化学

卡拉麦里蛇绿岩变质橄榄岩的4个样品的 ΣREE 为 $0.61 \times 10^{-6} \sim 1.13 \times 10^{-6}$ 。(La/Yb)_N 值为 $1.58 \sim 2.8$, (La/Sm)_N 为 $3.15 \sim 5.04$, (Gd/Yb)_N 值为 $0.41 \sim 1.15$, 说明轻重稀土元素之间、重稀土元素内部的分馏程度弱, 轻稀土元素内部的分馏程度中等。 δEu 为 $0.72 \sim 1.57$, 无明显 Eu 异常。稀土元素配分曲线大体上呈“V”型 (图4A)。在不相容元素原始地幔标准化图 (图4B) 上, U, Ta, Hf

表 1 卡拉麦里辉长岩锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotopic analysis of the Karamaili gabbro

点号	w(U) /10 ⁻⁶	w(Th) /10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* /%	²⁰⁶ Pb _c /%	同位素比值				表面年龄/Ma			
						²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±%
D7005-1-03	198.52	95.28	0.48	18.13	0.52	0.065 72	0.004 27	0.393 18	0.031 7	0.054 42	0.000 51	0.016 63	0.000 35
D7005-1-07	199.71	71.21	0.36	12.29	0.55	0.057 92	0.002 31	0.408 35	0.015 57	0.051 12	0.000 57	0.018 65	0.000 48
D7005-1-10	323.99	143.81	0.44	25.62	0.50	0.059 09	0.002 49	0.377 99	0.017 71	0.052 53	0.000 39	0.016 25	0.000 2
D7005-1-11	670.61	260.18	0.39	45.50	0.78	0.063 07	0.001 19	0.363 48	0.007 65	0.053 29	0.000 36	0.020 47	0.000 23
D7005-1-12	275.51	135.18	0.49	17.73	1.95	0.069 32	0.002 81	0.396 56	0.019 55	0.051 95	0.000 51	0.015 78	0.000 14
D7005-1-13	402.56	202.65	0.50	23.93	0.81	0.115 97	0.002 53	0.409 34	0.017 04	0.054 98	0.000 48	0.032 33	0.000 42
D7005-1-14	377.20	188.11	0.50	24.68	0.47	0.129 98	0.003 69	0.401 566	0.023 7	0.051 08	0.000 57	0.033 19	0.000 56
D7005-1-17	431.90	193.64	0.45	31.49	0.85	0.060 45	0.001 17	0.375 95	0.007 58	0.051 1	0.000 4	0.015 77	0.000 11
D7005-1-18	258.42	85.15	0.33	16.42	0.85	0.060 45	0.001 17	0.375 95	0.007 58	0.051 1	0.000 4	0.015 77	0.000 11
D7005-1-20	968.98	377.79	0.39	123.53	0.49	0.060 45	0.001 17	0.375 95	0.007 58	0.051 1	0.000 4	0.015 77	0.000 11
D7005-09	186.81	78.01	0.42	14.86	0.86	0.060 45	0.001 17	0.375 95	0.007 58	0.051 1	0.000 4	0.015 77	0.000 11
D7005-21	306.38	135.38	0.44	26.89	0.30	0.065 27	0.001 99	0.368 12	0.013 64	0.052 02	0.000 47	0.015 91	0.000 14

注: ²⁰⁶Pb/²³⁸U 指普通铅中的 ²⁰⁶Pb 占全铅 ²⁰⁶Pb 的百分数; ²⁰⁶Pb*/²³⁸U 指放射性的 ²⁰⁶Pb 占全铅 ²⁰⁶Pb 的百分数, 应用实测 ²⁰⁶Pb 校正普通铅, 分析误差为 1σ

显著富集, Nb, Zr 适度富集, Rb, Nd, Sm 显著亏损。总体上, 样品的配分曲线形态基本一致。

辉长岩的 ΣREE 为 $31.04 \times 10^{-6} \sim 41.36 \times 10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 $0.87 \sim 0.90$, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 为 $0.83 \sim 0.90$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 $0.90 \sim 0.97$, 说明轻重稀土元素之间、轻稀土元素和重稀土元素内部分馏程度弱。 δEu 为 $0.93 \sim 1.13$, 无明显的 Eu 异常。REE 球粒陨石标准化图上(图 4C), 稀土元素配分曲线属于平坦型。原始地幔标准化多元素配分图(图 4D)上可以看出, Sr, U 适度富集, 而 Th 和 Nb 相对亏损。总体上, 配分曲线相对平滑并且曲线形态一致。

基性熔岩的 ΣREE 为 $27.66 \sim 62.83$, 样品的 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 $0.76 \sim 1.04$, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 为 $0.70 \sim 0.81$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 $0.97 \sim 1.35$, 即轻重稀土元素之间、轻稀土元素和重稀土元素内部分馏程度弱。 δEu 值为 $0.89 \sim 0.98$, 无明显的 Eu 异常。在 REE 球粒陨石标准化图上(图 4E), 稀土元素配分曲线属于平坦型。另外, 基性熔岩样品具有较高的相容元素含量, 如 $w(\text{Sc}) 42.3 \times 10^{-6} \sim 51.7 \times 10^{-6}$, $w(\text{N}) 29.9 \times 10^{-6} \sim 116 \times 10^{-6}$, $w(\text{Cr}) 25.3 \times 10^{-6} \sim 294 \times 10^{-6}$, 大离子亲石元素(Rb, Sr)丰度偏低。原始地幔标准化多元素配分图(图 4F)上, U, Ba 和 Ta 显著富集; 而 Nb 和 Th 适度亏损, 其中一个样品相对富集 Sr。除活动性元素 Ba, U, Ta 外, 其余元素整体在图上的分布较为平坦, 整体分布近似 N-MORB^[9]。

4 讨论

4.1 卡拉麦里洋盆的时限

在蛇绿岩形成时代方面, 目前认为: 1) 其形成于志留纪末期至泥盆纪早期^[10]; 2) 根据与蛇绿岩伴生的斜长花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄, 认为蛇绿岩的形成年龄为 $373 \text{ Ma}^{[11]}$; 3) 一些学者依据古生物化石和地层对比, 认为其时代为晚泥盆世法门期-早石炭世杜内期^[12]。另外, 同位素年代学方面的相关报道有: (1) 新疆地矿局第一区调队(1987)采自 3 件不同位置辉长岩全岩 K-Ar 年龄为 306 Ma , 388 Ma , 392 Ma ; (2) 卡拉麦里一带辉长岩的长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 $737 \text{ Ma}^{[7]}$ 。上述两方面结果差异很大, K-Ar 定年结果因所分析样品易发生蚀变和测试方法的局限性导致可信度不高, 3 个年龄值的不一致特别是 306 Ma 较之另外两件样品的年龄明显偏低正是其不可靠的体现。而 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年结果

因所用同位素体系的封闭温度问题,使得该年龄值能否代表辉长岩的成岩时代存在很大疑问。

卡拉麦里蛇绿岩带两侧相同的晚志留世地层及其中所含的图瓦贝和珊瑚化石^[13],表明该洋盆是在志留纪以后形成的。该带北侧野马泉南缘的古火山弧带主要由早泥盆世晚期至中泥盆世的中酸性火山岩和碎屑岩构成;其南侧整合覆盖在志留系之上的

泥盆系和下石炭统主要为陆源碎屑岩,具有被动陆缘沉积岩系的特征^[3],均揭示出该洋盆的关闭是向北俯冲消减,也表明该洋盆在早泥盆世晚期开始俯冲消减^[14]。因此,该洋盆很可能在泥盆纪初期拉张形成。

本研究所得到的辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 $329.9 \text{ Ma} \pm 1.6 \text{ Ma}$,属于早石炭世维宪期,表明在

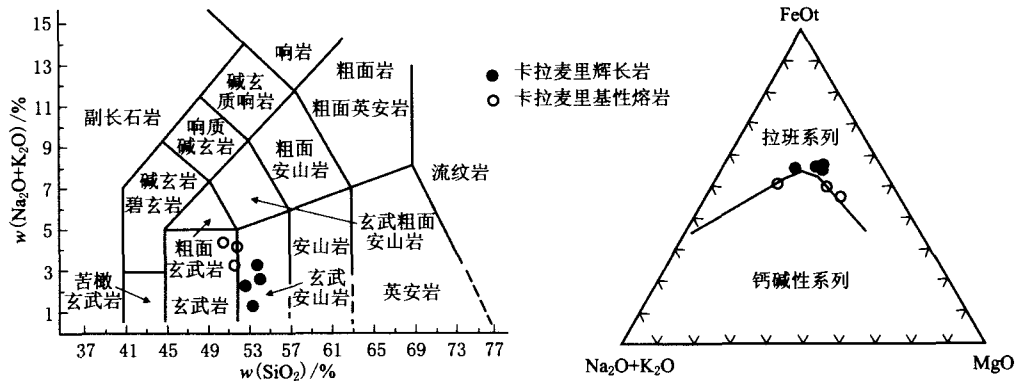


图 3 卡拉麦里蛇绿岩 TAS 图和 AFM 图
Fig. 3 TAS and AFM diagrams for Karamaili ophiolite

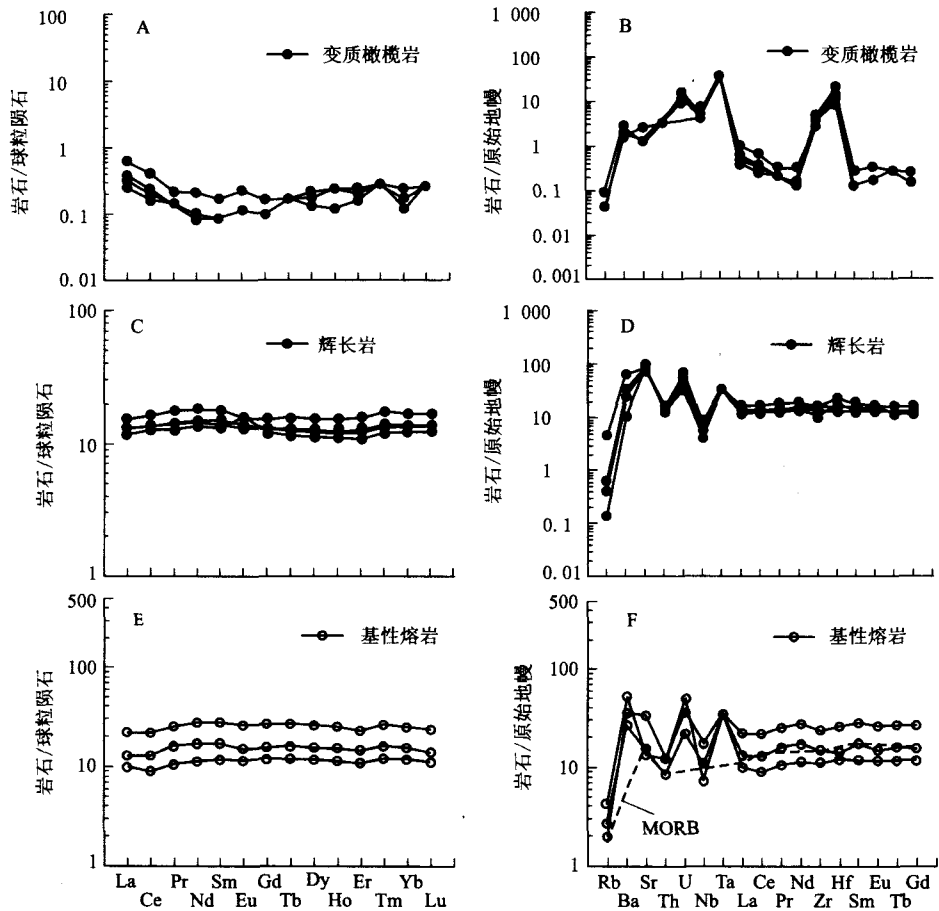


图 4 卡拉麦里蛇绿岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线和原始地幔标准化的多元素配分曲线图
(标准化数据引自 Sun and McDonough, 1989; MORB 引自 Saunders, 1984)(图中 MORB 为正常洋中脊玄武岩)
Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns and PM-normalized trace elements spider diagram (normalized values after Sun and McDonough, 1989)

表 2 卡拉麦里蛇绿岩主量元素. $w(B)/\%$ 、微量元素和稀土元素. $w(B)/\times 10^{-6}$ 丰度
Table 2 Data of major elements, rare earth and trace elements abundances for the Karamaili ophiolite
(in percentage, [$\times 10^{-6}$])

岩性 样品	变质橄榄岩				辉长岩				基性熔岩		
	D7001-1	D7001-2	XI-34-2	XI-50-2	XI-69-1	D7002-4	D7003-1	D7008-1	D7008-2	D7008-4	D7005-1
SiO ₂	46.48	44.59	50.44	51.85	55.18	45.23	44.76	54.69	55.02	54.03	53.74
TiO ₂	0.02	0.01	1.71	0.76	0.85	0.02	0.02	0.90	0.93	1.11	0.89
Al ₂ O ₃	1.47	2.12	14.50	13.52	14.41	1.91	2.02	15.44	15.89	16.27	14.66
Fe ₂ O ₃	1.42	1.93	4.63	3.83	5.53	1.97	1.82	3.53	3.25	3.74	2.58
FeO	5.77	8.02	7.61	6.87	7.07	8.19	7.57	9.68	10.38	10.90	11.04
MnO	0.11	0.11	0.19	0.18	0.16	0.10	0.10	0.21	0.21	0.23	0.22
MgO	44.27	42.50	7.50	7.81	4.40	42.00	43.00	5.47	5.73	5.67	4.64
CaO	0.05	0.09	8.88	11.85	5.61	0.08	0.19	6.47	4.68	6.10	6.65
Na ₂ O	0.09	0.07	4.09	2.80	5.88	0.04	0.08	3.45	3.72	3.78	4.76
K ₂ O	0.04	0.02	0.29	0.39	0.80	0.01	0.01	0.06	0.06	0.03	0.71
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.16	0.07	0.12	0.01	0.01	0.12	0.12	0.11	0.11
LOI	12.46	12.16	2.58	2.84	0.917	11.76	12.14	2.00	2.16	2.35	1.22
Total	99.72	99.47	99.99	99.92	100.01	99.54	99.56	100.05	100.01	99.96	100.05
La	0.23	0.12	5.18	2.34	3.00	0.10	0.14	3.08	3.06	2.8	3.64
Ce	0.40	0.20	13.20	5.50	8.03	0.16	0.22	7.65	7.37	6.84	9.29
Pr	0.03	0.02	2.42	1.02	1.53	0.02	0.02	1.35	1.34	1.22	1.67
Nd	0.15	0.07	12.80	5.32	8.07	0.07	0.06	6.88	6.78	6.34	8.55
Sm	0.04	0.02	4.36	1.80	2.67	0.02	0.02	2.24	2.12	2.02	2.73
Eu	0.02	0.01	1.55	0.68	0.86	0.01	0.01	0.8	0.76	0.94	0.9
Gd	0.05	0.03	5.60	2.50	3.20	0.03	0.03	2.6	2.7	2.5	3.15
Tb	0.01	0.01	1.01	0.44	0.60	0.01	0.01	0.48	0.47	0.43	0.59
Dy	0.07	0.05	6.79	3.01	3.98	0.08	0.07	3.17	3.07	2.86	3.9
Ho	0.02	0.01	1.43	0.64	0.86	0.02	0.02	0.68	0.67	0.62	0.85
Er	0.05	0.04	3.87	1.80	2.41	0.06	0.06	1.94	1.87	1.77	2.4
Tm	0.01	0.01	0.68	0.31	0.41	0.01	0.01	0.35	0.34	0.31	0.44
Yb	0.04	0.03	3.34	2.02	2.64	0.06	0.06	2.3	2.28	2.08	2.83
Lu	0.01	0.01	0.60	0.28	0.36	0.01	0.01	0.34	0.34	0.31	0.42
ΣREE	1.13	0.61	62.83	27.66	38.62	0.64	0.173	33.86	33.17	31.04	41.36
(La/Yb) _N	4.08	2.70	1.05	0.78	0.77	1.18	1.57	0.89	0.87	0.95	0.93
(La/Sm) _N	3.62	5.03	0.75	0.82	0.71	6.29	8.81	0.86	0.90	0.874	0.84
(Gd/Yb) _N	1.15	0.81	1.35	1.00	0.98	0.28	0.20	0.92	0.96	0.97	0.90
Cr	2 740	2 640	115.00	294.00	25.30	2 510	2 960	56.5	73.1	43.5	8.32
Ni	2 120	2 160	64.80	116.00	29.90	2 030	2 230	23.7	23.1	19.2	16.1
Co	122	150	57.50	50.40	48.80	129	146	48.8	50.2	54.5	51.6
Rb	0.21	0.1	4.51	6.14	9.61	0.1	0.1	0.94	1.25	0.32	10.4
Cs	0.1	0.1	0.60	0.28	0.63	0.1	0.1	0.25	0.22	0.12	0.36
Sr	9.3	18.7	488.00	108.00	99.60	9.79	9.54	591	590	704	636
Ba	6.37	3.92	87.00	65.00	126.00	6.58	4.78	59.1	76.2	26.2	160
V	39.8	47.2	355.00	298.00	368.00	47	54.2	487	531	541	428
Sc	10.1	11.4	51.70	49.00	42.30	10.6	12.8	46.4	47.3	47.5	45.1
Nb	1.66	1.07	4.20	2.57	1.74	1	1.14	1.36	1.9	1	1
Ta	0.5	0.5	0.50	0.50	0.50	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Zr	11.4	16.5	92.30	42.80	56.80	15.3	18.4	61.5	39.3	55	60.9
Hf	1.92	2.2	2.83	1.30	1.52	1.01	1.5	1.7	1.85	1.34	2.31
U	0.08	0.09	0.30	0.18	0.41	0.1	0.12	0.36	0.54	0.28	0.48
Th	0.11	0.1	0.35	0.24	0.35	0.1	0.1	0.43	0.4	0.37	0.46
Ti	0.008	0.007	0.99	0.44	0.50	0.009	0.008	0.504	0.517	0.605	0.521

注:样品由西北大学大陆动力学重点实验室分析测试,主量元素除 Fe₂O₃ 用比值法、FeO 用重量法外,其余成份用 X 荧光光谱分析。微量及稀土元素用(ICP-MS)方法分析,质量符合 DZ-013094 标准

这一时期,该蛇绿岩所对应的洋中脊是活动的,正在产生新洋壳。虽然目前蛇绿岩套中最晚期的化石属于早石炭世杜内期^[15],但这并不意味着卡拉麦里洋盆闭合的最后时限,对姜巴斯套组中的粗面岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 定年,得到的谐和年龄为 319 Ma±2 Ma。所以,卡拉麦里洋盆闭合的最终时限应为早石炭世谢尔普霍夫期。该粗面岩作为双峰式火山岩成员之一,表明了该洋盆在俯冲消减后,进入

了碰撞后裂谷拉伸阶段。据此推论卡拉麦里洋盆最初形成于早泥盆世,最终闭合于早石炭世晚期。

4.2 构造环境判别

自 Dietz(1963)最先提出蛇绿岩代表古洋壳的论点后,蛇绿岩就成了重建古洋盆的直接证据和恢复区域构造格局的关键。近年来,多数学者认为大陆造山带内的蛇绿岩很少产自开阔的洋中脊环境,而更多的是与岛弧、弧前、弧后、边缘海以及陆间裂

谷等小洋盆环境相联系^[9,16]。

张旗等(2001)将蛇绿岩中基性火山岩的地球化学类型归结为岛弧拉斑玄武岩(IAT)和洋脊玄武岩(MORB)两种,认为产于消减带之上的岛弧和弧前环境蛇绿岩中基性熔岩具 IAT 特征,产于不成熟弧后盆地蛇绿岩的基性熔岩兼具 IAT 和 MORB 的特征,产于成熟弧后盆地蛇绿岩的玄武岩为 MORB 特征^[17]。蛇绿岩中基性熔岩亦可能具 E-MORB 特征,它们是 N-MORB 源和 OIB 源混合的结果。卡拉麦里蛇绿岩中基性熔岩样品的稀土元素丰度大约 10 倍~12 倍于球粒陨石,如前所述,球粒陨石标准化配分曲线为平坦型,基本无 Eu 异常,具典型的 N-

MORB 稀土元素地球化学特征,表明岩浆来自亏损的软流圈地幔。样品的大离子亲石元素丰度低,Rb 强烈亏损,Sr,Nb 适度亏损,Ba 和 U 显著富集,在原始地幔标准化多元素配分图上,该组样品同样表现为总体分布平坦的特点,显示出和 N-MORB^[18]相似的特点,用玄武岩的构造环境判别图解对样品进行投图(图 5),样品点均落入正常的 MORB 区域,具有这种地球化学特征的蛇绿岩形成可能有 3 种构造环境:一种是成熟的弧后盆地;第二种是正常的洋中脊;第三种是大陆裂谷向大洋裂谷转化的环境,类似于现今的“红海”^[19],依据如下:

(1)产于成熟的弧后盆地玄武岩类,兼具洋中脊

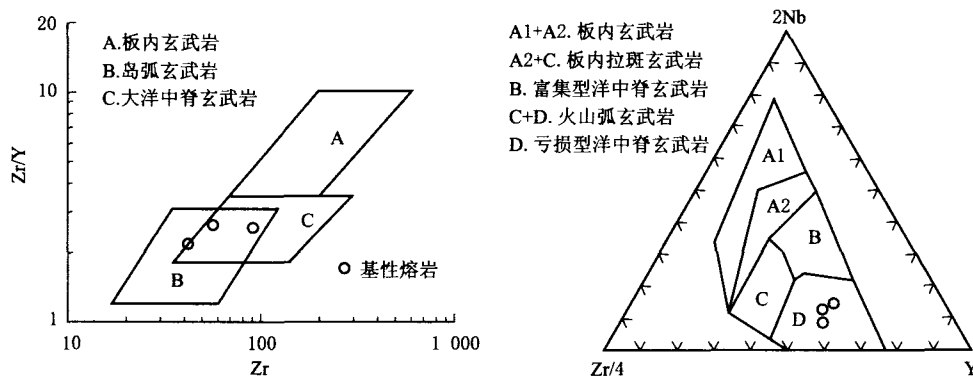


图 5 卡拉麦里蛇绿岩的构造环境判别图

Fig. 5 The tectonic setting discrimination diagram for the Karamaili ophiolite

玄武岩和岛弧玄武岩的地球化学特征(张旗等, 2001)。卡拉麦里蛇绿岩带中的基性熔岩大离子亲石元素丰度不高,Nb 不同程度亏损,无 Ta,Ti 负异常。这就意味着该组样品不具岛弧玄武岩的地球化学特征。故该蛇绿岩带不大可能产于弧后盆地。

(2)产于大陆裂谷向大洋裂谷转化环境的玄武岩类,兼具洋中脊玄武岩和洋岛玄武岩的地球化学特征^[20]。卡拉麦里蛇绿岩基性熔岩仅表现出典型的 N-MORB 的特征,并无洋岛玄武岩的地球化学特征。

(3)舒良树等(2003)在南明水组上部玄武岩之上的红色硅质岩中找到早石炭世的放射虫化石;赵玉锁等(2008)根据硅质岩的地球化学特征,将卡拉麦里蛇绿岩上部的硅质岩分为具有大陆边缘-半深海沉积元素组合特征的放射虫硅质岩和具有洋脊-深海沉积元素组合特征的放射虫硅质岩^[21]。这无疑佐证了该区洋中脊、深海盆地存在的事实。

综上所述,卡拉麦里蛇绿岩不大可能形成于陆

间裂谷或者弧后盆地,而很可能形成于正常的洋中脊,前已述及卡拉麦里洋盆形成于泥盆纪初期,并于早泥盆世末期开始俯冲消减,至早石炭世晚期最终闭合。这就意味着,该洋盆存在时限相对较短,而且从规模上讲,该洋盆应该属于有限洋盆。

5 结 论

麦里蛇绿混杂岩的岩石组合为变质橄榄岩、辉长岩、辉绿岩和基性熔岩等。蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $329.9 \text{ Ma} \pm 1.6 \text{ Ma}$,这一年龄代表了卡拉麦里蛇绿岩的形成年龄。岩石地球化学特征表现为典型的 MORB,同时无岛弧及洋岛岩石的地球化学特征,表明卡拉麦里蛇绿岩很可能形成于大洋中脊。通过对该区野外地质特征、岩石地球化学和高精度年代学等方面的研究,证实卡拉麦里洋盆形成于泥盆纪初期,很可能最终闭合于早石炭世谢尔普霍夫期。

参考文献

- [1] 卜国民,李华启,李文铅,等.新疆塔克札勒蛇绿混杂岩中玄武质熔岩地球化学特征及其成因讨论[J].大地构造与成矿学,2005,29(2):

- 252-261.
- [2] 马瑞士,舒良树,孙家齐. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京:地质出版社,1997,72-74.
- [3] 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. 地质论评,2004,50(3):304-322.
- [4] 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.
- [5] Wang Z H, Sun S, Li J L, *et al.* Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang, China: Geochemical and geochronological constraints from the ophiolites [J]. *Tectonics*, 2003, 22(2): 1 014-1 029.
- [6] 刘希军,许继峰,侯青叶,等. 新疆东准噶尔克拉麦里蛇绿岩地球化学:洋脊俯冲的产物[J]. 岩石学报,2007,23(7):1 591-1 602.
- [7] 何国琦,李茂松,贾进斗,等. 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.
- [8] 宋彪,张拴宏,王颜斌,等. 锆石 SHRIMP 年龄测定数据处理时系统偏差的避免-标准锆石分段校正的必要性[J]. 岩矿测试,2006,25(1):9-14.
- [9] 和钟铎,杨德明,王天武,等. 西藏嘉黎断裂带凯蒙蛇绿岩的地球化学特征及构造意义[J]. 矿物岩石,2006,26(1):69-74.
- [10] Li J Y. Late Proterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of Eastern Xinjiang, NW China[J]. *Geological Review*, 2004, 50, 304-322.
- [11] 马瑞士,舒良树,孙家齐. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京:地质出版社,1997,72-74.
- [12] 杨品荣,杨文强,蒙有言,等. 新疆克拉麦里造山带下石炭统地层系统及其沉积构造背景[J]. 地质科技情报,2007,26(5):6-10.
- [13] 肖序常,汤耀庆,李锦轶,等. 试论新疆北部大地构造演化[M]. 北京:地质出版社,1990,1-100.
- [14] 李锦轶,肖序常,汤耀庆,等. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J]. 地质论评,1990,36(4):305-316.
- [15] 舒良树,王玉净. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石[J]. 地质论评,2003,49(4):408-412.
- [16] 钟立峰,夏斌,周国庆,等. 藏南罗布莎蛇绿岩成因:壳层熔岩的 Sr-Nd-Pb 同位素制约[J]. 矿物岩石,2006,26(1):57-63.
- [17] 张旗,周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京:科学出版社,2001,1-15.
- [18] Saunders A D, Storey M, Kent R W, *et al.* Consequences of plume lithosphere interactions[M]. London: Geological Society Special Publication, 1992, 68: 41-60.
- [19] 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.
- [20] Wilson M. *Igneous petrogenesis*[M]. London: Unwin Hyman, 1989, 1-464.
- [21] 赵玉锁,路彦明,马德锡. 东准卡拉麦里地区放射虫硅质岩地球化学特征[J]. 西北地质,2008,41(3):64-70.

GEOCHEMISTRY AND TECTONIC IMPLICATIONS OF KARAMAILI OPHIOLITE IN EAST JUNGGAR OF XINJIANG*

WANG Bang-yao¹, JIANG Chang-yi^{1,2}, LI Yong-jun^{1,2},
WU Hong-en³, XIA Zhao-de¹, LU Rong-hui¹

1. College of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;
2. Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering;
Ministry of Education, Xi'an 710054, China;
3. Xinjiang Institute of Geological Exploration for Nonferrous
Resources, Urumqi 830000, China

Abstract: The Karamaili ophiolite complex in East Junggar of Xinjiang province was composed of metamorphic peridotite, gabbro, diabase and basic lava. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro from the Karamaili ophiolite revealed an isotopic age of $329.9 \text{ Ma} \pm 1.6 \text{ Ma}$, indicated that the Karamaili ophiolite occurred in the Visean of Early Carboniferous. The basic lava and gabbro in Karamaili ophiolite fragment showed flat patterns in chondrite-normalized REE diagram and primitive mantle-normalized trace elements diagram with low LILE abundance and no characteristics of IAT and OIB. These geochemical characteristics were similar to MORB and different from IAT and OIB, indicating that the ophiolite may be formed in middle ocean ridge. Combination of field geological feature of Karamaili region, with petrogeochemistry and high-precision geochronology, it was concluded that Karamaili ocean basin opened in early stage of Devonian and closed in the Serpukhovian during late Carboniferous.

Key words: East Junggar of Xinjiang; Karamaili; ophiolite; period of ocean basin; middle ocean ridge

ISSN 1001-6872(2009)03-0074-09; CODEN: KUYAE2

Synopsis of the first author: Wang Bangyao, male, 25 years old, a doctoral student of petrology. Now he is engaged in the research of rock geochemistry and geochemistry of ore deposit.