新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩的形成和侵位时限
——来自辉绿岩和凝灰岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄的证据

黄 岗,牛广智,王新录,郭 俊,宇 峰
HUANG Gang, NIU Guang-zhi, WANG Xin-lu, GUO Jun, YU Feng

陕西省地勘局区域地质矿产研究院,陕西 咸阳 712000
Regional Institute of Shaanxi Bureau of Geological Exploration, Xianyang 712000, Shaanxi, China

摘要:新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩是中亚造山带中最具代表性的蛇绿岩之一,其所代表的古洋盆的形成和关闭时限一直受到地学界的密切关注。采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素方法,获得卡拉麦里蛇绿岩中辉绿岩的年龄为 416.7Ma±3.2Ma,代表了卡拉麦里蛇绿岩的形成年龄。不整合于蛇绿岩之上的地层凝灰岩的年龄为 343.0Ma±5.0Ma,限定了卡拉麦里蛇绿岩侵位时代的上限,同时也为沉积盖层提供了可靠的年龄依据。即卡拉麦里蛇绿岩所代表的古大洋形成于早泥盆世洛霍考夫期,闭合于早石炭世杜内期前。卡拉麦里蛇绿岩形成和侵位时代的准确限定对研究东准噶尔的构造演化和古生代中亚地区构造格局提供了重要的制约。

关键词:东准噶尔;卡拉麦里蛇绿岩;辉绿岩;凝灰岩;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄
中图分类号:P588.34;P597 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2012)08-1267-12

Huang G, Niu G Z, Wang X L, Guo J, Yu F. Formation and emplacement age of Karamaili ophiolite: LA-ICP-MS zircon U-Pb age evidence from the diabase and tuff in eastern Junggar, Xinjiang. *Geological Bulletin of China,* 2012,31(8):1267-1278

Abstract: The Karamaili ophiolite is one of the representative ophiolites in the Central Asian Orogenic Belt (CAOB). The time limits of the opening and closure of the Karamaili oceanic basin remain a key problem due to the lack of high accuracy isotopic ages. The LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb dating of diabase in Karamaili ophiolite yielded an age of 416.7±3.2 Ma, recording the generation of the oceanic crust. Sedimentary rocks conformably overlies Karamaili ophiolite. The 343.0±5.0Ma zircon U-Pb age from the tuff overlying the strata constrains the upper limit of the emplacement age of the Karamaili ophiolite and suggests that the sedimentary cover is Early Carboniferous in age. Therefore these ages indicate that the Karamaili oceanic basin was opened in the Lochkovian stage during Early Devonian and closed before the Tourmaisian stage during Late Carboniferous. Accurate constraints on the formation and emplacement age of Karamaili ophiolite provide important constraints for the tectonic evolution of the eastern Junggar Orogenic Belt and the tectonic framework of the CAOB during the Palezoic period.

Key words: eastern Junggar; Karamaili ophiolite; diabase; tuff; LA-ICP-MS zircon U-Pb age

蛇绿岩是洋盆闭合后保存于造山带中的洋壳残片,它记录了洋盆生成演化和闭合过程的重要信息,是板块缝合带的主要标志,对于重建古构造格局、恢复造山带构造演化史具有重要地质意义[1-5]。卡拉麦里蛇绿岩带位于新疆准噶尔盆地东北缘,是新疆北部乃至中亚构造框架内一个非常重要的构造单元[6-10]。查明该蛇绿岩所代表的古洋盆形成和闭合时限,是该造山带乃至中亚造山带的演化历史重要的关键地质问题之一,备受地质学家们的关注。目前关于卡拉麦里蛇绿岩的形成时限,有奥陶纪、志留

收稿日期:2012-02-08;**修订日期**:2012-04-19
资助项目:中国地质调查局地质矿产调查专项评价项目《阿尔泰成矿带地质矿产调查》(编号:2010010101)
作者简介:黄岗(1984-),男,助理工程师,从事区域地质调查工作。E-mail: hg1104220@yahoo.cn

纪末期—泥盆纪早期和泥盆纪末期或石炭纪早期3种不同的认识。何国琦等[11]认为该蛇绿岩的形成时代与北部阿尔曼泰蛇绿岩的形成时代相近，从新元古代晚期开始发育，扩张时期为寒武纪，奥陶纪—早志留世为俯冲闭合时期；李锦轶等[10,12-16]则根据地层资料认为是志留纪末期至泥盆纪初期形成的弧后盆地洋壳残片；蛇绿岩带中硅质岩含有泥盆纪末期和早石炭世的放射虫化石[17-18]；另外蛇绿岩中也有496Ma[19]、373Ma[20]、323Ma[21]同位素年龄数据报道，但这些数据得不到认可和野外地质事实的支持。关于洋盆的闭合时间也有早石炭世早期和晚期2种认识，李锦轶等[22-23]在不整合覆盖于蛇绿岩之上的下石炭统姜巴斯套组(原南明水组)陆间残余海盆沉积岩系的灰黑色泥质粉砂岩中发现有晚石炭世早期的菊石化石，认为该洋盆闭合于早石炭世晚期；吴润江等[24]依据后碰撞期形成的巴塔玛依内山组获得早石炭世SHRIMP锆石U-Pb年龄为350Ma±6Ma[25]，该套火山岩地层与下伏磨拉石建造的山梁砾石组以高角度不整合相接触，从而认为该洋盆闭合于早石炭世早期。至今，卡拉麦里蛇绿岩仍缺少高精度的形成年龄和侵位年龄的资料。笔者在卡拉麦里蛇绿岩中的辉绿岩和不整合面之上地层的凝灰岩中采集了样品，对其中的锆石采用LA-ICP-MS技术进行了U-Th-Pb同位素测定，所获得的新年龄数据，对探讨卡拉麦里蛇绿岩的形成和东准噶尔及其邻区区域构造演化具有重要意义。

1 区域地质背景

卡拉麦里蛇绿岩带位于中亚造山带西部的新疆东准噶尔卡拉麦里造山带(图1-a、b)，距新疆维吾尔自治区首府乌鲁木齐市约300km。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、内蒙古索伦山、贺根山蛇绿岩相接，新疆境内走向NNW，全长约150km，宽5~15km[28-29]。

卡拉麦里蛇绿岩主要分布于卡拉麦里大断裂的北侧(图1-c)，蛇绿岩南侧下古生界主要为中—上志留统，缺失下志留统；中—上志留统分别为白山包组和红柳沟组，其中白山包组为一套浅海相陆缘碎屑岩，含有中晚志留世局限于西伯利亚地区南部陆缘海的地方性生物群图瓦贝化石[30-31]，整合其上的红柳沟组为杂色细碎屑岩夹基性火山岩，基性火山岩可能指示在志留纪晚期至泥盆纪初期该区地壳处于伸展状态，卡拉麦里蛇绿岩所代表的洋盆是在那时形成的[10]，但目前未见有该套地层与卡拉麦里蛇绿岩直接接触的报道。整合在红柳沟组之上的泥盆纪卡拉麦里组主要由浅海和滨海相陆源碎屑沉积岩组成。角度不整合覆盖在卡拉麦里组之上的下石炭统黑山头组由陆源碎屑岩、中酸性和中基性火山碎屑岩、火山岩组成，可能为碰撞期的岩浆产物。与黑山头组呈断裂接触的姜巴斯套组主要为陆源碎屑岩、火山碎屑岩，含植物、腕足类等化石；而以角度不整合覆盖于姜巴斯套组之上的下石炭统清水组为一套陆相磨拉石建造，姜巴斯套组和清水组被认为是陆间残余海盆的沉积产物[23,32]。

卡拉麦里蛇绿岩北侧出露的地层主要有中—上志留统的白山包组，主要为半深海相浊积岩-复理石沉积组合，未见化石产出；下泥盆统卓木巴斯套组为一套厚度较大的浅海—滨海相富含钙质的细碎屑岩；中泥盆统蕴都喀拉组和下石炭统黑山头组可能形成于弧前环境，为富含火山碎屑的碎屑沉积岩系，指示那里发育泥盆纪—早石炭世向北的古洋岩石圈板块俯冲带[12]，并被后碰撞期形成的晚石炭世—早二叠世花岗岩侵入；下石炭统那林卡拉组为弧间或者弧前斜坡底部海底浊积扇沉积岩系，是对早石炭世晚期弧间或者弧前残余海盆的沉积响应[33-35]。

2 蛇绿岩的地质特征和样品岩性特征

卡拉麦里蛇绿岩主要分布于卡拉麦里大断裂的北侧，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蕴都喀拉组和下石炭统姜巴斯套组、黑山头组(图2-a)，并且这3套地层大部分逆冲到蛇绿岩之上，而局部地段可见黑山头组与下伏卡拉麦里蛇绿岩带呈不整合接触关系(图2-b)。其证据如下：①底砾岩在层位上处于蛇绿岩之上，且不整合面清楚，其界面产状为46°∠58°；②在底砾岩中见有蛇纹岩、辉长岩、闪长岩、辉绿岩等砾石，大小不等，一般直径大小在(0.5×0.5)~(5.0×15.0)cm之间，呈角砾状、棱角状、次圆状，含量15%~20%，另外还可见有滚圆状灰岩、火山灰凝灰岩的砾石，胶结物为陆源和火山碎屑物。上述底砾岩特征反映底砾岩砾石成分多为下伏蛇绿岩的砾石，但也有少部分远源搬运来的砾石。

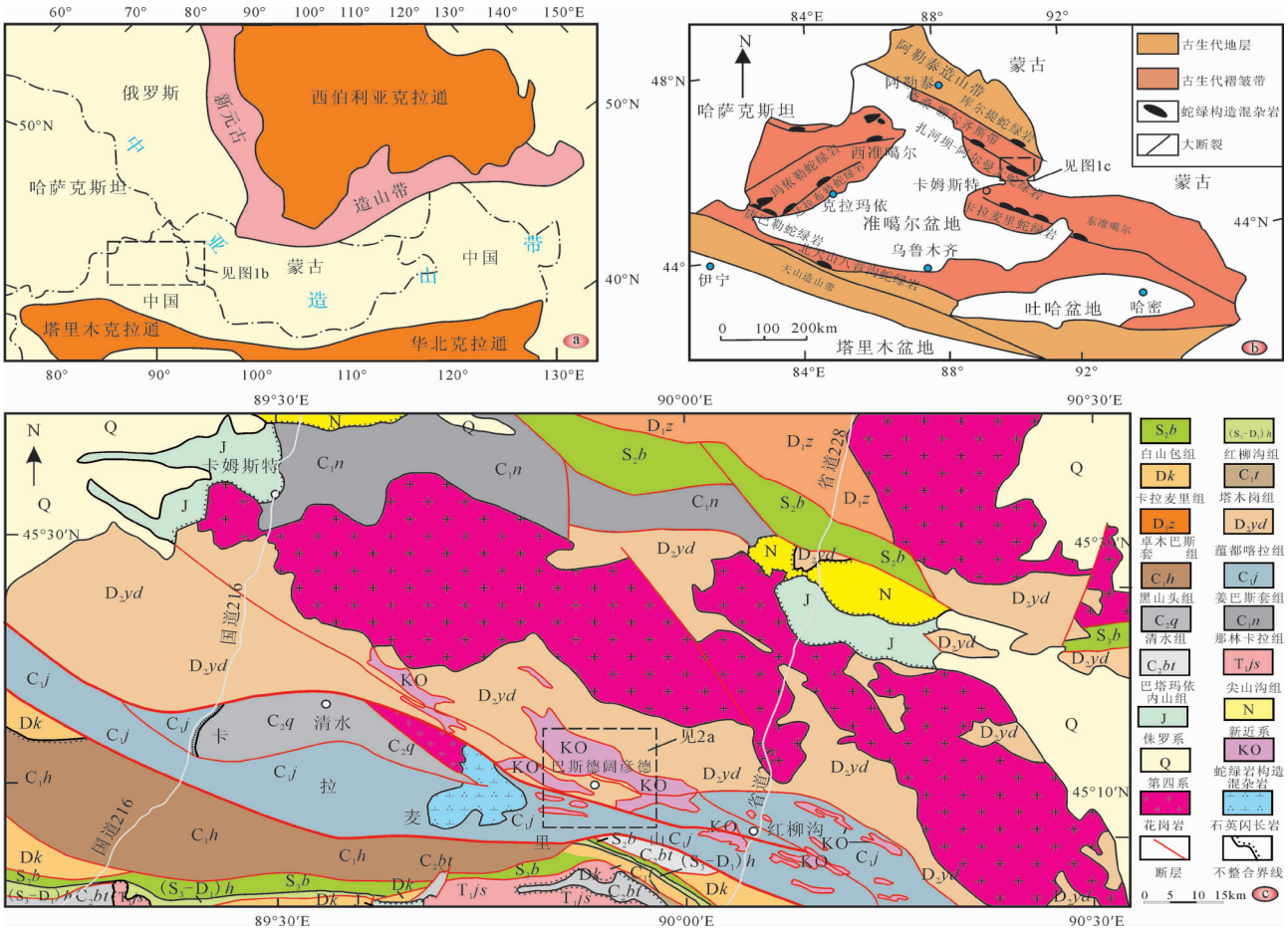


图 1　新疆北部及邻区地质简图

Fig. 1　Simplified geological map of northern Xinjiang and its adjacent areas

a—中亚造山带构造简图(据参考文献[26]修改);b—准噶尔地块地质简图(据参考文献[27]修改);

c—新疆东准噶尔卡拉麦里一带地质简图①

野外地质调查表明，卡拉麦里蛇绿岩带中蛇绿岩组合发育较为完整,不同蚀变程度的方辉橄榄岩、纯橄岩、二辉橄榄岩、辉长岩、辉长辉绿岩、辉绿岩、斜长岩、斜长花岗岩、枕状玄武岩、块状玄武岩、放射虫硅质岩等均有出露,各组分之间多为构造接触(图 2-c)。变质橄榄岩出露面积累计约 80km^2,含有扁豆状铬铁矿和菱镁矿;堆晶岩以条带状辉长岩为主,次为橄榄辉石岩、橄长岩、块状辉长岩和斜长岩,但部分不均;辉绿岩则出露比较少,呈岩墙或岩块产出;基性熔岩分布较广,呈不同大小的岩块与上述各种类型的岩石共生，同时也伴生一些较深水沉积物硅质岩。该蛇绿岩带受卡拉麦里断裂的控制,带内多为冲断片组成的叠瓦构造,导致洋壳残片以构造块体的形式赋存在基质(围岩)中,基质(围岩)有中泥盆统凝灰岩、火山灰凝灰岩、凝灰砂岩和下石炭统黑山头组姜巴斯套组中酸性火山岩、火山碎屑岩。

本次定年的 2 件样品岩性是辉绿岩和凝灰岩,分别取自卡拉麦里蛇绿岩中和不整合于蛇绿岩之上的下石炭统黑山头组中。其中辉绿岩在野外呈岩墙状产出(图版 Ⅰ-a、b),镜下定名为辉长辉绿岩(图版 Ⅰ-c),岩石呈浅灰—深绿灰色,辉长辉绿结构、嵌晶含长结构,块状构造。岩石主要组成矿物为斜长石和暗色矿物，其中斜长石呈自形—半自形长板条状，大部分钠黝帘石化，但仍可见斜长石的卡式双晶,含量 45%~50%;暗色矿物含量约 50%,大部分次闪石化，局部可见有半自形粒状且发育反应边辉石的残留,反应边为角闪石,推测次闪石大部分由辉石蚀变而成。凝灰岩呈深灰色,火山尘屑结构,块状构

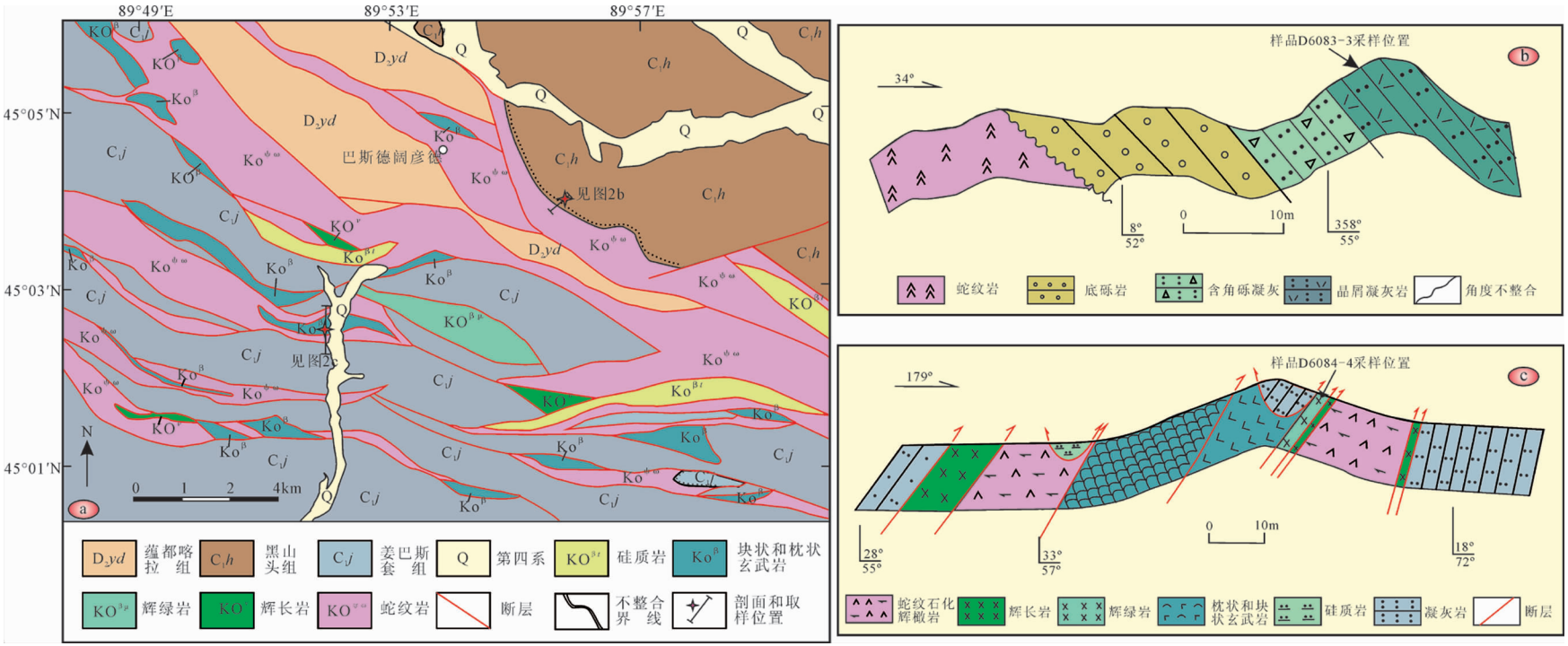


图2 卡拉麦里山巴斯德阔彦一带地质简图和采样剖面

Fig. 2 Simplified geological map of Basidekuoyan area in the Karamailishan and geological cross section of sampling

a—卡拉麦里山巴斯德阔彦一带蛇绿岩分布图(据参考文献②修改);

b—蛇绿岩与黑山头组角度不整合接触关系野外信手剖面;c—卡拉麦里蛇绿岩实测地质剖面

造,其成分由细凝灰碎屑和火山尘屑物组成,且以后者为主,粒级一般小于 0.15mm,其中凝灰碎屑主要为蚀变细玻屑,已脱玻蚀变为隐晶状长英质、绿泥石等集合体,或被石英取代,尚有少量泥化、绿泥石化中酸性斜长石、石英和蚀变岩屑,极细火山灰尘已蚀变为隐晶绿泥石、帘石类矿物集合体(图版Ⅰ-d、e)。

3　分析方法

辉绿岩和凝灰岩的样品在核工业 203 所采用常规方法进行粉碎,并用浮选和电磁选方法进行分选,最后在双目镜下挑选出形态较为完整、无裂痕、无包裹体的锆石作为测定对象。将分选出来的锆石样品置于环氧树脂中,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后抛光使锆石露出一个平面,最后对锆石进行可见光显微照相、阴极发光(CL)显微照相和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素组成测定。

锆石的阴极发光(CL)显微照相在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室的 LEO1450VP 扫描电子显微镜上完成,分析电压为 15kV。锆石 U-Pb 年代学和微量元素含量分析测试工作在中国科学院青藏高原研究所大陆碰撞与高原隆升重点实验室激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)上完成。LA-ICP-MS 激光剥蚀系统为美国 NewWave 公司生产的 UP193FX 型 193nm ArF 准分子系统,激光器来自于德国 ATL 公司,ICP-MS 为 Agilent 7500a。激光器波长为 193nm,脉冲宽度小于 4ns,束斑直径为 10~125μm 可调。采用 Plesovice(年龄为 337Ma±0.37Ma[36])和 Qinghu 标准锆石(TIMS 获得谐和年龄为 159.45Ma±0.16Ma[37])作为外标进行基体校正;成分标样采用 NIST SRM 612,其中 ^{29}Si 作为内标元素。在测试过程中每 5 个未知样品点插入一组标样(锆石标样和成分标样)。样品的同位素比值和元素含量计算采用 GLITTER(ver 4.0,Macquarie University)程序,普通铅校正采用 Anderson[38]提出的 ComPbCorr#3.17 校正程序,U-Pb 谐和图和年龄加权平均值计算采用 Isoplot/Ex_ver 3[39]程序完成,分析结果分别见表 1 和表 2。

4　分析结果

辉绿岩样品中的锆石干净、透明,形态上以长柱状和短板状为主,粒径多为 80~120μm。阴极发光图像显示岩浆韵律环带清晰,为典型的岩浆结晶锆石(图 3)。19 个分析点显示锆石的 U、Th 含量分别为 81×10^{-6}~437×10^{-6} 和 58×10^{-6}~296×10^{-6},Th/U 比值为 0.37~0.85,大多数大于 0.4,因此这些锆石应属于典型的岩浆成因锆石。在锆石的 U-Pb 谐和曲线图(图 4-a)中,辉长岩样品中 19 个数据分析点均位于 U-Pb 谐和线上或其附近的一个很小的区域内,表面年龄变化于 414~419Ma 之间,其年龄值加权平均为416.7Ma±3.2Ma(MSWD=0.034)(图 4-b)。

凝灰岩样品锆石以透明的类型为主,形态上主要为短柱状,粒径多为 90~170μm。阴极发光图像显示岩浆韵律环带清晰,为典型的岩浆结晶锆石(图

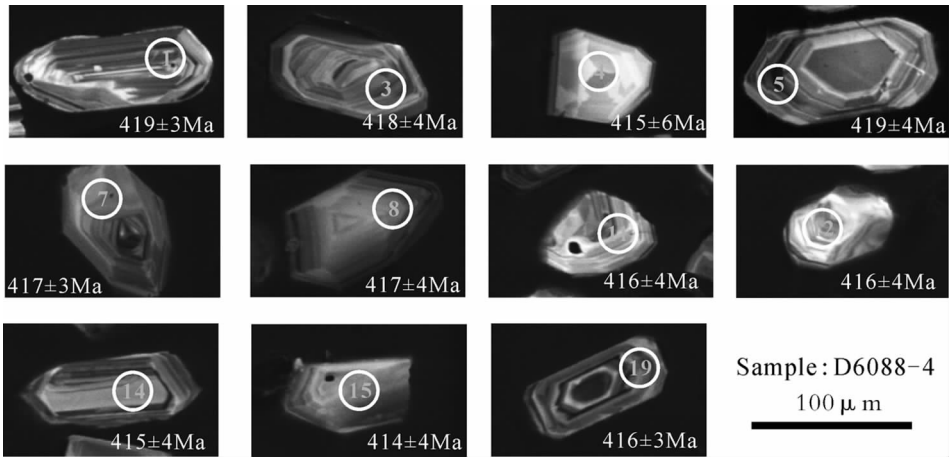
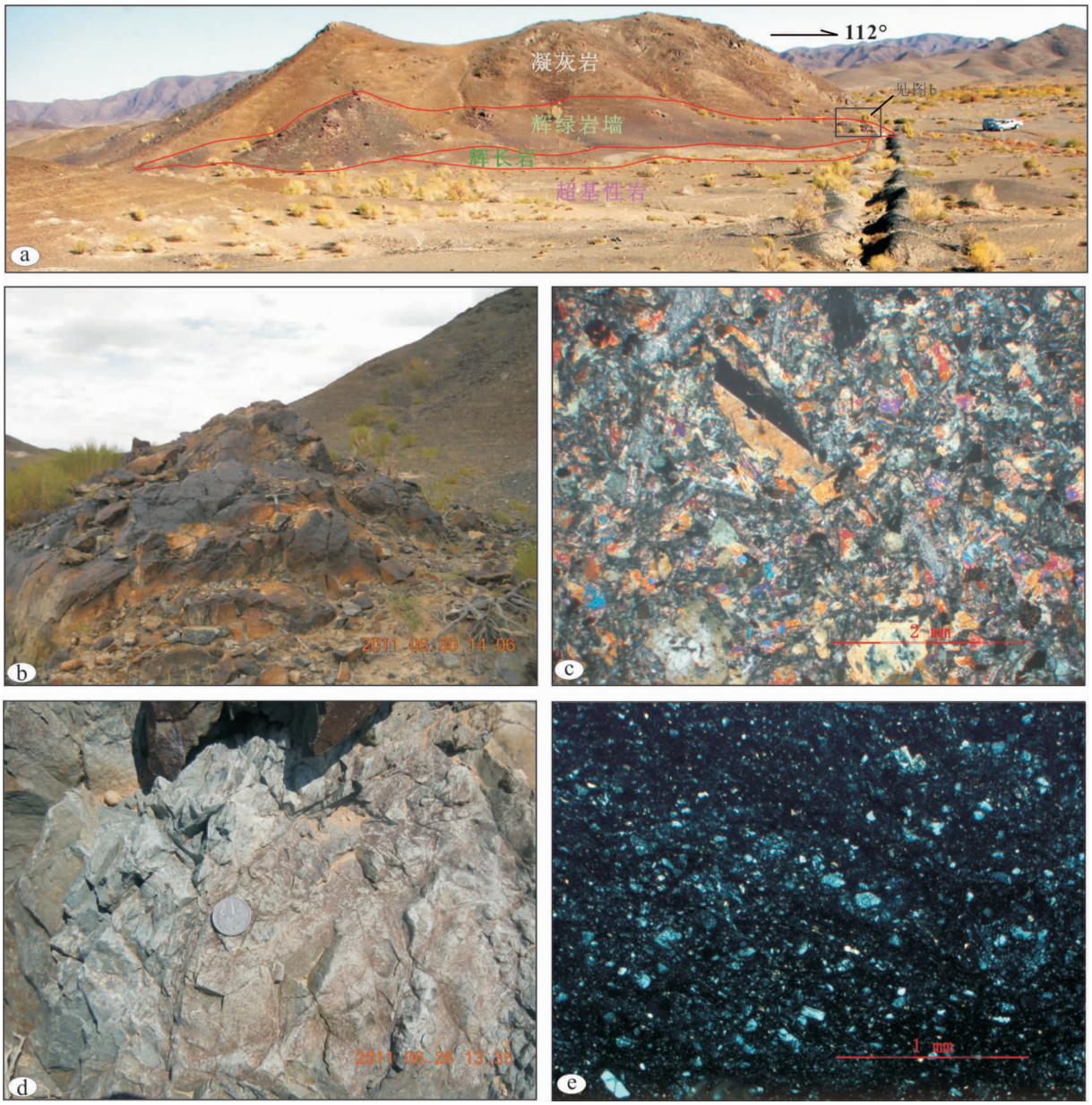


图 3　辉绿岩部分锆石阴极发光图像

Fig. 3　CL images of zircons from the diabase in Karamaili area

图版 I Plate I



a 和 b—辉绿岩呈岩墙产出;c—辉绿岩镜下显微特征;d—凝灰岩野外产出形态;e—凝灰岩镜下显微特征

5)。19 个分析点显示锆石的 U、Th 含量分别为 26×10^{-6}~97×10^{-6} 和 10×10^{-6}~52×10^{-6}，与辉长岩样品比较 U、Th 含量明显少，Th/U 值为 0.34~0.64，大多数大于 0.4，因此这些锆石也属于典型的岩浆成因锆石。在锆石的 U-Pb 谐和曲线图(图 6-a)中，凝灰岩样品中 19 个数据分析点均位于 U-Pb 谐和线上或其附近一个很小的区域内，表面年龄变化于 334~357Ma 之间，其年龄加权平均值为 343.0Ma±5.0Ma (MSWD=0.29)(图 6-b)。

5 讨 论

关于卡拉麦里蛇绿岩的形成时代，目前争议较大，主要表现在化石和同位素测年两个方面。①化石方面：蔡文俊[17]根据硅质岩放射虫化石，认为该蛇绿岩形成时代的上限为早石炭世；李锦轶等[10,12-16]根据地层资料认为是志留纪末期至泥盆纪初期形成的弧后盆地洋壳残片；舒良树等[18]根据南明水上部玄武岩之上的红色硅质岩中放射虫的形成时代为晚泥盆

表 1　卡拉麦里辉绿岩样品(D6088-4)LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 1　U-Th-Pb composition of zircons from diabase (D6088-4) in Karamaili measured by LA-ICP-MS

分析点	^{206}Pb /10^{-6}	^{232}Th /10^{-6}	^{238}U /10^{-6}	Th/U	同位素比值								同位素年龄/Ma					
					$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
1	76	150	295	0.51	0.0546	0.0010	0.5059	0.0083	0.0672	0.0006	0.0233	0.0002	397	22	416	6	419	3
2	94	296	366	0.81	0.0576	0.0011	0.5327	0.0090	0.0671	0.0006	0.0215	0.0002	516	23	434	6	418	3
3	48	92	187	0.49	0.0613	0.0014	0.5651	0.0024	0.0669	0.0006	0.0221	0.0003	649	31	455	8	418	4
4	21	63	81	0.78	0.0539	0.0027	0.4940	0.0040	0.0666	0.0009	0.0217	0.0005	365	85	408	16	415	6
5	32	62	125	0.49	0.0523	0.0011	0.4840	0.0097	0.0671	0.0006	0.0246	0.0003	299	30	401	7	419	4
6	37	122	143	0.85	0.0532	0.0014	0.4902	0.0021	0.0669	0.0006	0.0240	0.0003	338	39	405	8	417	4
7	67	136	262	0.52	0.0541	0.0008	0.4987	0.0069	0.0669	0.0005	0.0238	0.0002	375	17	411	5	417	3
8	30	89	116	0.77	0.0572	0.0015	0.5269	0.0029	0.0668	0.0006	0.0214	0.0003	499	37	430	9	417	4
9	78	179	306	0.59	0.0532	0.0011	0.4894	0.0090	0.0667	0.0006	0.0209	0.0002	337	27	404	6	416	3
10	18	58	71	0.81	0.0554	0.0016	0.5097	0.0138	0.0668	0.0006	0.0208	0.0003	428	43	418	9	417	4
11	48	107	185	0.58	0.0552	0.0014	0.5064	0.0019	0.0666	0.0006	0.0210	0.0003	418	36	416	8	416	4
12	26	58	100	0.58	0.0562	0.0017	0.5164	0.0049	0.0667	0.0007	0.0227	0.0004	460	46	423	10	416	4
13	275	203	276	0.74	0.0580	0.0009	0.5310	0.0071	0.0664	0.0005	0.0227	0.0003	529	16	432	5	415	3
14	82	213	321	0.66	0.0537	0.0013	0.4922	0.0007	0.0665	0.0006	0.0204	0.0003	357	33	406	7	415	4
15	73	160	284	0.56	0.0551	0.0015	0.5035	0.0034	0.0663	0.0007	0.0200	0.0002	414	42	414	9	414	4
16	60	150	235	0.64	0.0586	0.0010	0.5391	0.0082	0.0668	0.0005	0.0234	0.0003	550	19	438	5	417	3
17	60	110	231	0.48	0.0571	0.0010	0.5273	0.0080	0.0670	0.0005	0.0210	0.0002	496	20	430	5	418	3
18	61	87	236	0.37	0.0592	0.0011	0.5434	0.0090	0.0666	0.0005	0.0210	0.0003	574	22	441	6	416	3
19	112	243	437	0.56	0.0585	0.0008	0.5374	0.0062	0.0666	0.0005	0.0214	0.0002	549	13	437	4	416	3

表 2 卡拉麦里凝灰岩样品(D6083-3)LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 2 U-Th-Pb composition of zircons from tuff (D6083-3) in Karamaili measured by LA-ICP-MS

分析点	^{206}Pb /10^{-6}	^{232}Th /10^{-6}	^{238}U /10^{-6}	Th/U	同位素比值								同位素年龄/Ma					
					$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
1	6	12	27	0.46	0.0536	0.0044	0.4044	0.0025	0.0547	0.0011	0.0177	0.0009	356	46	345	24	343	7
2	5	10	26	0.39	0.0589	0.0064	0.4494	0.0078	0.0557	0.0016	0.0128	0.0010	563	83	377	33	349	10
3	7	19	34	0.57	0.0576	0.0050	0.4248	0.0061	0.0536	0.0012	0.0202	0.0008	516	149	360	26	336	7
4	7	12	36	0.34	0.0475	0.0047	0.3555	0.0042	0.0546	0.0013	0.0131	0.0008	373	70	309	26	343	8
5	9	17	45	0.38	0.0534	0.0039	0.3917	0.0082	0.0532	0.0010	0.0174	0.0008	347	131	336	21	334	6
6	9	22	44	0.50	0.0533	0.0040	0.4119	0.0098	0.0561	0.0011	0.0182	0.0008	342	130	350	21	352	6
7	20	52	97	0.54	0.0518	0.0023	0.3829	0.0066	0.0537	0.0007	0.0157	0.0004	375	76	329	12	337	4
8	11	29	52	0.55	0.0543	0.0052	0.4026	0.0078	0.0538	0.0013	0.0167	0.0009	384	68	344	27	338	8
9	9	21	46	0.47	0.0553	0.0036	0.4192	0.0064	0.0551	0.0009	0.0182	0.0007	423	110	355	19	346	6
10	11	22	53	0.42	0.0563	0.0037	0.4265	0.0076	0.0550	0.0010	0.0205	0.0008	463	113	361	20	345	6
11	6	11	29	0.38	0.0596	0.0047	0.4640	0.0056	0.0565	0.0011	0.0190	0.0010	588	132	387	25	354	7
12	7	13	33	0.40	0.0549	0.0045	0.4198	0.0035	0.0555	0.0012	0.0179	0.0010	407	141	356	24	348	7
13	8	18	40	0.45	0.0521	0.0048	0.3846	0.0050	0.0536	0.0012	0.0180	0.0010	388	64	330	26	337	7
14	9	21	45	0.48	0.0539	0.0067	0.4202	0.0007	0.0569	0.0018	0.0138	0.0011	366	55	356	36	357	11
15	15	31	72	0.43	0.0517	0.0042	0.3848	0.0004	0.0540	0.0011	0.0168	0.0009	372	42	331	22	339	7
16	10	26	47	0.55	0.0527	0.0040	0.4004	0.0094	0.0551	0.0010	0.0181	0.0007	316	133	342	21	346	6
17	8	18	38	0.49	0.0632	0.0039	0.4813	0.0091	0.0553	0.0009	0.0189	0.0007	413	100	399	20	347	6
18	17	52	81	0.64	0.0534	0.0039	0.4042	0.0090	0.0549	0.0010	0.0156	0.0006	346	129	345	21	345	6
19	8	21	42	0.51	0.0524	0.0039	0.3947	0.0089	0.0547	0.0010	0.0178	0.0007	303	136	338	21	343	6

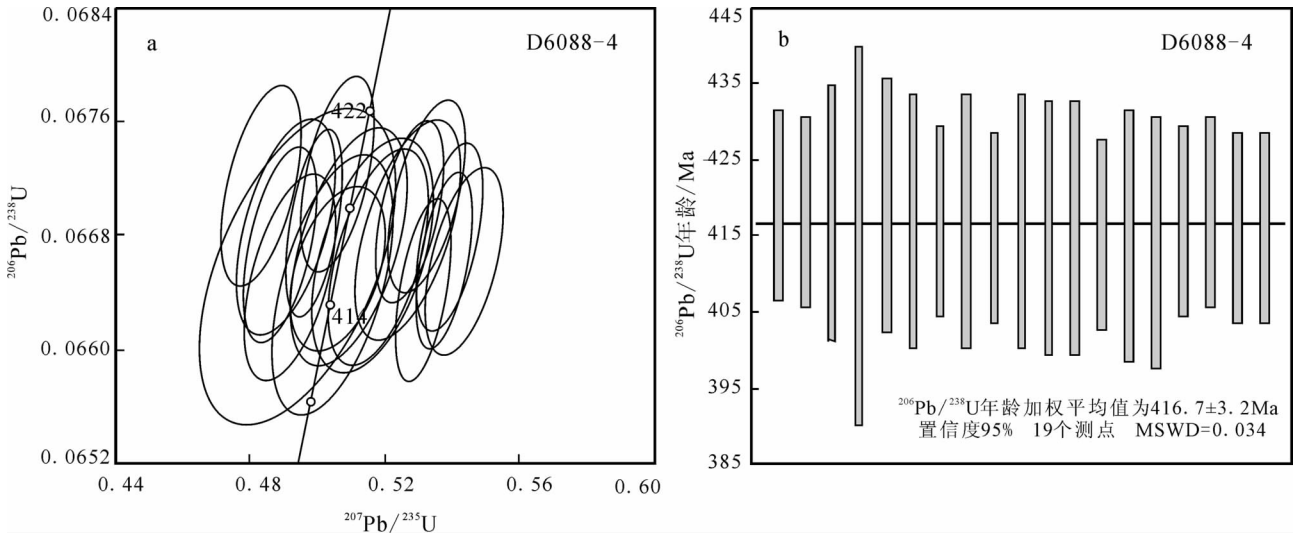


图 4　辉绿岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图(a)和 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值(b)

Fig. 4　Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram (a) and $^{206}Pb/^{238}U$ weighted mean age (b) of the diabase sample

世法门期—早石炭世杜内期，认为代表卡拉麦里蛇绿岩带形成的晚期年龄;②同位素年代学方面:新疆地矿局第一区调队③采自不同位置 3 件的辉长岩样品全岩K-Ar 年龄为 306、388、392Ma;何国琦等[11]报道的卡拉麦里一带辉长岩的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄为 737Ma。上述 2 个方面结果差异很大,K-Ar 定年结果因所分析的样品易发生蚀变引起的 Ar 过剩和测试方法的局限性,可信度不高,能否代表辉长岩的成岩时代存在很大疑问；新疆地矿局第一区调队③揭示,蛇绿岩上部的石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄值分别为 357、375、492Ma;Ping 等[19]报道了卡拉麦里斜长花岗岩的年龄并且获得 2 个年龄值上交点(497±12)Ma(n=5)和下交点(403±9)Ma(n=7);唐红峰等[20]报道克拉麦里蛇绿岩北侧柳树泉地区的斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 373Ma，认为代表蛇绿岩的形成年龄，但是这一年龄不被一些学者认可,李锦轶等[10]认为斜长花岗岩是英云闪长岩，并非是蛇绿岩的组成单元，而是古岛弧的残片;汪帮耀等[21]曾获得直接覆于变质橄榄岩之上的辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(329.9±1.6)

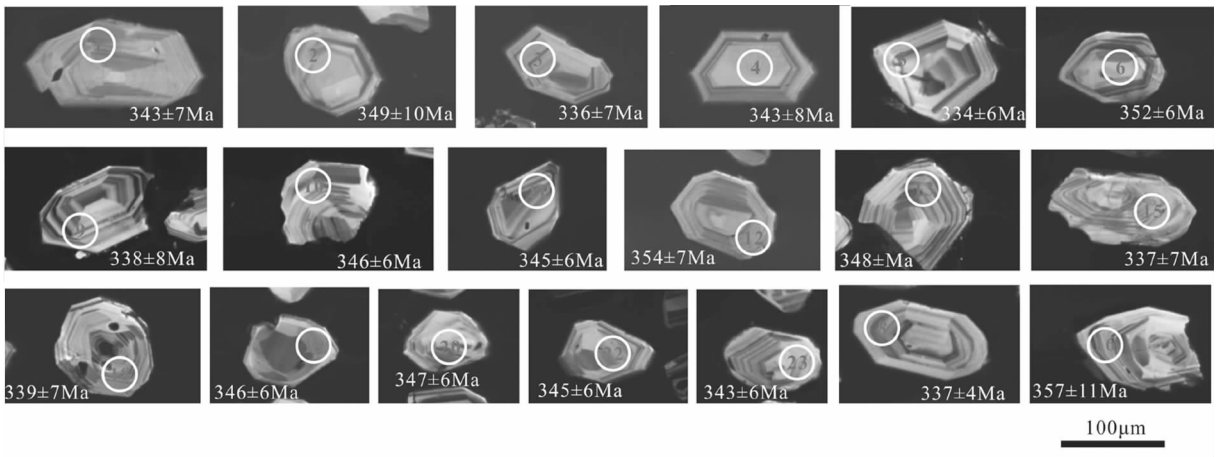


图 5　凝灰岩(D6083-3)锆石阴极发光图像

Fig. 5　CL images of zircons from tuff (D6083-3) in Karamaili area

Ma,属于早石炭世维宪期,认为在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。另外何国琦等[11]认为,该蛇绿岩形成时代与北部阿尔曼泰蛇绿岩的形成时代相近,从新元古代晚期开始发育,扩张时期为寒武纪,奥陶纪—早志留世为俯冲闭合时期。

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表明,该洋盆是在志留纪以后形成的[12]。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,具有弧后被动陆缘沉积岩系的特征[10],均揭示出该洋盆的关闭是向北俯冲消减的,且于早泥盆世晚期开始俯冲消减。因此该洋盆很可能是在泥盆纪初期拉张形成的。

蛇绿岩同位素地质研究表明,蛇绿岩中辉长岩和辉绿岩岩墙通常是用于确定洋壳残片年龄的理想测试对象[40],辉绿岩墙是洋脊扩张的产物,其形成年龄代表扩张事件的时间,也代表蛇绿岩的形成年龄。笔者利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 方法测定的卡拉麦里蛇绿岩中辉绿岩的年龄为 416.7Ma±3.2Ma,这一年龄与笔者所获得的枕状玄武岩年龄(418.5Ma±5.4Ma)较为一致(另文发表),代表卡拉麦里蛇绿岩的形成年龄,指示其古洋盆在早泥盆世洛霍考夫期已经形成。

洋盆闭合的时限对重建古构造格局和恢复造山带构造演化史具有重要的地质意义。可以运用大洋岩石圈消减过程中的沉积作用、岩浆作用和变质作用来限定碰撞下限即洋盆闭合的下限时间,以碰撞后同造山时期的岩浆作用、变质作用和磨拉石沉积作用作为碰撞事件的时代上限[41]。同时也可通过对不整合于蛇绿岩之上最老的地层时代的研究,获得蛇绿岩构造侵位上限时间[3]。笔者获得了不整合于蛇绿岩之上地层中凝灰岩的形成时代为343.0Ma±5.0Ma,给出了蛇绿岩侵位的上限年龄,即卡拉麦里所代表的大洋至少在早石炭世杜内期前就已经闭合,蛇绿岩构造侵位已经完成。卡拉麦里蛇绿岩带南侧下石炭统山梁砾石组具有前陆磨拉石建造的特征,砾石的组构和粒径分析揭示其源区位于卡拉麦里深断裂以北[42],而以高角度不整合于下石炭统山梁砾石组之上的后碰撞期形成的火山岩地层巴塔玛依内山组,最近谭佳奕等[25]获得了 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(350±6)Ma,结合生物化石证据,认为巴塔玛依内山组的时代应为早石炭世。因此,这些特征均指示了卡拉麦里古洋盆闭合的时间应发生在早石炭世杜内期前。

另外 1:20 万卡拉麦里幅④将不整合于蛇绿岩之上的这套地层化为中泥盆统平顶山组,1:5 万巴斯德阔彦幅②将其划分为上泥盆统克安库都克组,1:5 万红柳沟幅⑤将其划分为下石炭统黑山头,而本次获得该地层中凝灰岩的年龄为 343.0Ma±5.0Ma,与杨

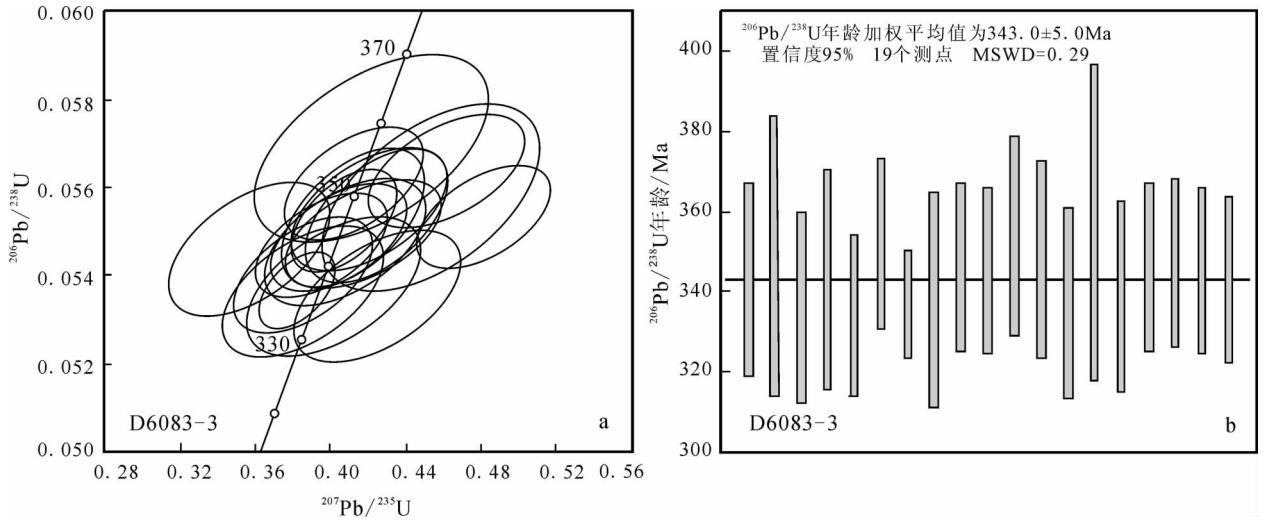


图 6 凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图(a)和 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄(b)

Fig. 6 Zircon LA-ICPMS U-Pb concordia diagram (a) and $^{206}Pb/^{238}U$ weighted mean age (b) of the tuff sample

宝凯等[43]报道的该套地层西延的苏吉泉一带火山岩夹层样品全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 339.0Ma±4.0Ma,在误差范围内一致,指示该地层的时代应该为早石炭世。

综上所述,新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩所代表的洋壳在早泥盆世洛霍考夫期已经形成,至早石炭世杜内期前就已经闭合。这就意味着,该洋盆存在时限相对较短,并且从规模上看,该洋盆应该属于有限洋盆。卡拉麦里蛇绿岩形成和侵位年龄的准确限定,对探讨东准噶尔地区的构造格架和演化具有重要意义,也对研究古生代中亚地区海陆格局演化有重要的启示作用。

6 结　论

(1)卡拉麦里蛇绿岩中辉绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 416.7Ma±3.2Ma,代表了卡拉麦里蛇绿岩的形成年龄,指示其古大洋在早泥盆世洛霍考夫期已经形成。

(2)不整合于蛇绿岩之上地层中的凝灰岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 343.0Ma±5.0Ma,限定了卡拉麦里蛇绿岩侵位年龄的上限,即卡拉麦里古洋盆在早石炭世杜内期前已经闭合。

(3)卡拉麦里蛇绿岩形成和侵位年龄的准确限定,对深入研究东准噶尔的大地构造演化和古生代中亚地区格局具有重要意义。

致谢:野外地质工作过程中得到中国科学院李继亮研究员,西安地质矿产研究所徐学义、陈隽璐、马仲平研究员和中国地质大学(武汉)樊光明、廖群安教授的悉心指导,中国地质科学院李锦轶研究员、中国地质大学(北京)王瑜教授、西安地质矿产研究所陈隽璐研究员和陕西区域地质矿产研究院杨永成高级工程师审阅文稿并提出了宝贵的修改意见,锆石 U-Th-Pb 同位素测试和数据解释得到中国科学院青藏高原研究所岳雅慧副研究员、王厚起博士和李顺博士的热情帮助,在此一并表示感谢。

参考文献

[1]Dietz R S. Alpine serpentinites as oceanic rind fragments[J]. Geol. Soc. Am. Bull., 1963, 74: 947-952.

[2]Dewey J F. Origin and emplacement of the ophiolite suite: Appalachian ophiolites in Newfoundland[J]. Journal of Geophysical Research, 1971, 76: 3179-3206.

[3]Coleman R G. Ophiolites, Ancient Oceanic Lithosphere?[M].Berlin: Springers Verlag, 1977: 78-123.

[4]张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 科学出版社, 2001:1-15.

[5]Robinson P T,Zhou M F. The origin and tectonic setting of ophiolites in China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32(5/6): 301-307.

[6]肖序常, 汤耀庆, 李锦轶, 等.试论新疆北部大地构造演化[M]//305项目《新疆地质科学》编委会. 新疆地质科学(1). 北京: 地质出版社, 1990:47-68.

[7]何国琪, 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.

[8]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: 1-202.

[9]舒良树, 卢华复, 印栋浩, 等. 新疆北部古生代大陆增生构造[J]. 新疆地质, 2001, 19(1): 59-63.

[10]李锦轶, 杨天南, 李亚萍, 等. 东准噶尔卡拉麦里断裂带的地质特征及其对中亚地区晚古生代洋陆格局重建的约束[J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1817-1826.

[11]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.

[12]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.

[13]李锦轶. 试论新疆东准噶尔早古生代岩石圈板块构造演化[J]. 中国地质科学院院报, 1991, 23: 1-12.

[14]李锦轶. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J]. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 73-84.

[15]李锦轶. 新疆东部古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.

[16]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.

[17]蔡文俊. 新疆准噶尔东北缘板块构造初步研究[M]//唐克东. 中国北方板块构造论文集(第一集). 北京: 地质出版社, 1986: 1-26.

[18]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.

[19]Ping J, Dunyi L, Yuruo S,et al. SHRIMP dating of SSZ ophiolites from northern Xinjiang Province, China: implications for generation of oceanic crust in the Central Asian Orogenic Belt[C]//Sklyarov E V. Structural and Tectonic Correlation across the Central Asia Orogenic Collage: North-Eastern Segment. Guidebook and abstract volume of the Siberian Workshop IGCP-480, IEC SB RAS, Irkutsk, 2005: 246.

[20]唐红峰, 苏玉平, 刘丛强, 等. 新疆北部卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J].大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 110-117.

[21]汪帮耀, 姜常义, 李永军, 等. 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[J]. 矿物岩石, 2009, 29(3): 74-82.

[22]李锦轶, 朱宝清, 冯益民. 南明水组和蛇绿岩之间不整合关系的确认及其意义[J]. 中国区域地质, 1989,(3): 250-255.

[23]李锦轶, 朱宝清, 冯益民. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区南明水组研究的新进展[M]. 新疆地质科学(2). 北京: 地质出版社, 1990: 1-8.

[24]吴润江, 张元元, 谭佳奕, 等. 新疆卡拉麦里地区晚古生代以来不

同构造层特征及大地构造意义[J]. 地学前缘, 2009, 16(3): 102−109.

[25]谭佳奕, 吴润江, 张元元, 等. 东准噶尔卡拉麦里地区巴塔玛依内山组火山岩特征和年代确定[J]. 岩石学报, 2009,25(3): 539−546.

[26]Şengör A M C, Natal′in B. Turkic−type orogeny and its role in the making of the continental crust[J]. Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, 1996, 24: 263−337.

[27]Chen B, Jahn B M. Genesis of post−collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd−Sr isotope and trace element evidence[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 23: 691−703.

[28]李嵩龄, 冯新昌, 董富荣, 等. 克拉麦里−塔克札勒大黑山蛇绿岩建造稀土元素特征[J]. 新疆地质, 1999, 17(4): 356−364.

[29]李嵩龄, 董富荣, 冯新昌, 等. 克拉麦里−塔克札勒大黑山超镁铁岩岩石化学特征及其形成环境[J]. 新疆地质, 2001, 19(2): 155−156.

[30]苏养正. 论图瓦贝 *Tuvaella* 的时空分布和生态环境[J]. 古生物学报, 1981, 20(6): 567−576.

[31]张梓歆, 戎嘉余, 邸巧玲. 新疆巴里坤地区志留纪的大型图瓦贝组合[J]. 古生物学报, 1983, 22(3): 278−294.

[32]张旺生, 高怀忠. 新疆东准卡拉麦里造山带的陆间残余海盆[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 294.

[33]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.

[34]张晓晖, 李铁胜, 张福勤. 新疆东准噶尔喀姆斯特地区晚古生代浊积岩沉积构造环境分析[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(7): 591−600.

[35]张晓晖, 李铁胜, 胡能高, 等. 新疆东准噶尔喀姆斯特晚古生代沉积记录:物源和沉积作用研究[J]. 地质科学, 2002, 37(1): 13−26.

[36]Jiří Sláma, Jan Košler, Daniel J Condon, et al. Plešovice zircon—A new natural reference material for U−Pb and Hf isotopic microanalysis[J]. Chemical Geology, 2008, 249:1−359.

[37]Li X H, Liu Y, Li Q L,et al. Precise determination of Phanerozoic zircon Pb/Pb age by multicollector SIMS without external standardization, Geochem [J]. Geophys. Geosyst., 2009, 10: Q04010, doi: 10.1029/2009GC002400.

[38]Andersen T. Correction of common Pb in U−Pb analyses that do not report ^{204}Pb[J]. Chem. Geol., 2002, 192: 59−79.

[39]Ludwig K R. User′s Manual for isoplot 3.00[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4: 46.

[40]黄萱,孙宝山,潘均,等. 蛇绿岩的同位素地质研究问题[M]//张旗. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 1996:84−88.

[41]李继亮,孙枢,郝杰,等. 碰撞造山带的碰撞事件时限的确定[J]. 岩石学报, 1999, 15(2): 315−320.

[42]郭召杰,张元元,王淑芳,等. 新疆东准噶尔卡拉麦里石炭系磨拉石建造解剖及对造山事件的限定[C]//2010 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要. 2010:467.

[43]杨宝凯, 李永军, 闫存兴, 等.东准卡拉麦里地区苏吉泉一带黑山头组的厘定[J].新疆地质,2011,29(1): 13−16.

① 陕西省区域地质矿产研究院.新疆 1:25 万北塔山幅、滴水泉幅区域地质图(修编).2012.

② 新疆地质调查院.1:5 万巴斯德阔彦幅区域地质调查报告.2003.

③ 新疆地矿局第一区调队. 新疆东准噶尔卡拉麦里清水地区 1:5 万区域地质调查报告. 1987.

④ 新疆维吾尔自治区地质局区域地质测量大队.新疆 1:20 万卡拉麦里幅区域地质矿产调查报告. 1964.

⑤ 长安大学地质调查研究院.新疆青河−奇台县红柳沟−苏吉泉一带 1:5 万区域地质矿产调查报告. 2008.