地 质 科 学
2015 年 1 月 CHINESE JOURNAL OF GEOLOGY 50(1):140—154

doi:10.3969/j.issn.0563-5020.2015.01.009

新疆北部卡拉麦里蛇绿岩中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义*

方爱民[1,2] 王世刚[3] 张俊敏[1] 藏 梅[1] 方家虎[3] 胡健民[4]

(1. 新疆工程学院 乌鲁木齐 450016; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029;
3. 中国矿业大学 北京 100083; 4. 中国地质科学院地质力学研究所 北京 100081)

摘 要 新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩是一套由以镁铁-超镁铁岩为主的构造岩块和不同岩性的基质组成的蛇绿混杂带,被认为是哈萨克斯坦板块和西伯利亚板块之间的缝合带。由于其特殊的大地构造位置,该蛇绿岩对恢复区域构造演化具有重要意义。然而,在过去 20 多年里,有关其形成及就位时代的争议一直很大,其原因在于不同学者采用来自化石资料和同位素年龄方面的不同证据。本文选择该蛇绿岩套中保存相对完整的辉长岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定,获得了 3 个峰值年龄:406±1.8 Ma,514±5.1 Ma 和 332±6.4 Ma。结合该区野外地质特征和前人资料分析,本文认为除 514±5.1 Ma 的年龄可能来自古老围岩中的残余锆石之外,另外两组年龄分别与蛇绿岩的形成和就位有关,前者代表卡拉麦里蛇绿岩的形成时间,后者则代表卡拉麦里蛇绿岩的构造侵位时间,即卡拉麦里洋盆形成于泥盆纪初期,最终闭合于早石炭世早期。

关键词 卡拉麦里蛇绿岩 辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 构造演化

中图分类号:P588.12, P597 **文献标识码**:A **文章编号**:0563-5020(2015)01-140-15

自 20 世纪 80 年代初有学者将分布于卡拉麦里一带的基性、超基性岩确定为代表“古准噶尔洋”残余洋壳的蛇绿岩以来(任纪舜等, 1980),特别是自李春昱等(1982)把该断裂带作为哈萨克斯坦古板块和西伯利亚古板块的缝合带之后,该蛇绿岩带就被当作中亚古生代构造框架中一个非常重要的大地构造单元而受到广泛关注(蔡文俊, 1986; 成守德等, 1986; 李锦轶等, 1988, 1989, 1990, 2006a, 2006b, 2009; 马瑞士等, 1990, 1993, 1997; 肖序常等, 1990, 1991; 李锦轶, 1991, 1995, 2004; 何国琦等, 1995, 2001; 王宗秀等, 2003; Xiao et. al., 2004, 2008; 董连慧等, 2010; Xiao et al., 2011; 徐学义等, 2014)。有关该洋盆形成和演化的研究不仅关系到准噶尔盆地东北缘沉积大地构造演化历史的恢复,而且也是重建中亚造山带构造演化历史的重要科学问题之一(肖序常等, 1991; Xiao et al., 2012)。正因为如此,前人对该蛇绿岩的组成及其野外地质特征、形成及就位时间、构造性质及侵位过程等做了大量研究和报道(李锦轶等, 1989, 1990; 李锦轶, 1991, 2004; 肖序常等, 1991; 郭召杰等. 1993; 舒良树等, 2003; 卜国民等, 2005;

* 国家自然科学基金项目(编号:40672152)和中石油科技支撑项目资助。
方爱民,男,1968 年 1 月生,博士,构造地质学专业。E-mail:fam@mail.iggcas.ac.cn
2014-07-10 收稿,2014-10-18 改回。

胡霭琴等，2007；刘希军等，2007；唐红峰等，2007；杨梅珍等，2009；陈石等，2010；郭召杰，2012；黄岗等，2012；赵恒乐等，2012；Liu et al.，2013；徐学义等，2014）。时至今日，不同学者对该蛇绿岩带所代表的“古准噶尔洋”的闭合时限一直存在不同看法，其跨度甚至达数亿年（详见后文讨论）。近年来随着年代学数据的积累，这一争议依然存在，甚至有愈演愈烈的趋势，造成这种认识上巨大差异的原因是缺乏有力的年代学证据以及较为深入的综合分析。

从野外地质调查可以看出，卡拉麦里蛇绿岩是一套由同一蛇绿岩组合、不同岩石单元构成的蛇绿混杂带。笔者在前期工作中，在该蛇绿岩带中采集了一些保存相对较好、未经受蚀变的辉长岩，它们作为超基性岩构造岩块无疑是该蛇绿岩的重要组成单元之一，通过从中挑选出单颗粒锆石，利用 LA-ICP-MS 法，获得了一批相对精确的 U-Pb 同位素年龄数据。本文基于这一新资料，结合前人研究成果，探讨卡拉麦里蛇绿岩的形成时代及其就位时间。

1　地质概况与样品采集

卡拉麦里蛇绿岩带位于准噶尔盆地东北缘，呈北西西—南东东向断续出露在卡拉麦里山、塔克扎勒山和莫钦乌拉山一带。其西起卡拉麦里清水泉以西，向东经红柳沟、南明水后延伸到伊吾县的塔克扎勒、伊吾大黑山，再与蒙古南部的佐连、内蒙索伦山、贺根山蛇绿岩相接（图 1）。新疆境内其全长约为 150 km，宽为 5~15 km。蛇绿岩分布区内出露的地层主要为泥盆系和石炭系，岩石组成以陆源碎屑岩、火山碎屑岩和火山熔岩为特征，其代表性的地层单元分别是中泥盆统北塔山组、平顶山组和下石炭统姜巴斯套组。在蛇绿岩带南侧，零星出露少量以浅海相陆源碎屑岩和碳酸盐岩为主要岩性的志留系地层（李锦轶等，1990；何国琦等，1995）。

野外可见该蛇绿岩带由大小不同的构造岩块及不同岩性的基质混杂而成，前者大多由镁铁-超镁铁岩构成，后者主要为变火山碎屑岩、碎屑岩、并伴有基性喷发岩和远洋沉积物组成的新元古界南明水岩组和中泥盆统北塔山岩组（黄岗等，2012；赵恒乐等，2012）。该带受卡拉麦里断裂控制，岩石片理化较强，而且不同岩性的地质单元相互混杂。为了获得卡拉麦里蛇绿岩形成时代的精确同位素年龄，野外选取该蛇绿岩带中蚀变程度较轻的辉长岩构造岩块，从中挑选出单颗粒锆石，利用 LA-ICP-MS 法进行 U-Pb 定年。

样品采自卡拉麦里构造带苦水泉西南侧，采样点地理坐标为北纬 45°02′21.24″，东经 90°04′15.36″（图 1）。该处为卡拉麦里蛇绿岩出露较好的地段，可见北部片理化发育的泥盆系地层白塔山组与南部蛇绿岩混杂带呈断层接触，灰黑色辉长岩呈构造岩块状出露于由基性火山岩为主组成的蛇绿混杂带中，单个岩块出露面积为数至数十平方米不等（图 2a）。辉长岩蚀变较弱，可见自形程度较好的板状斜长石和短柱状辉石晶体构成辉长结构（图 2b）。岩石的主要矿物组分为基性斜长石、普通辉石和角闪石。其中，斜长石呈半自形长板状—自形板状，聚片双晶发育，多具泥化、帘石化，葡萄石化较强烈；单斜辉石多较新鲜，少数发生绿泥石化和葡萄石化。与辉长岩相伴生的岩石还有含铬铁矿变质橄榄岩、蛇纹岩，它们呈更小的块体出露于混杂的基质之中。

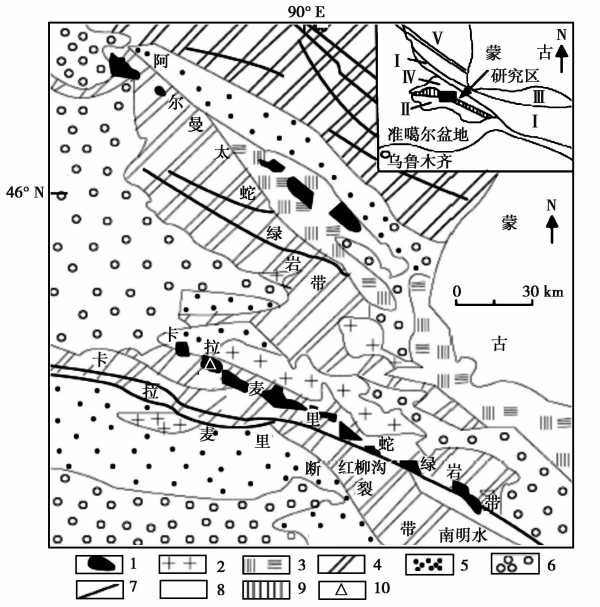


图 1 卡拉麦里蛇绿岩带地质简图及采样位置图(据汪帮耀等, 2009)

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. 采样点; Ⅰ. 库兰卡孜干古生代岛弧, Ⅱ. 将军庙稳定陆源, Ⅲ. 阿尔曼太晚古生代岛弧, Ⅳ. 卡拉麦里古生代弧后盆地, Ⅴ. 加波萨尔古生代岛弧

Fig. 1 Tectonic map and sampling position of Kalamaili ophiolite(after Wang et al., 2009)

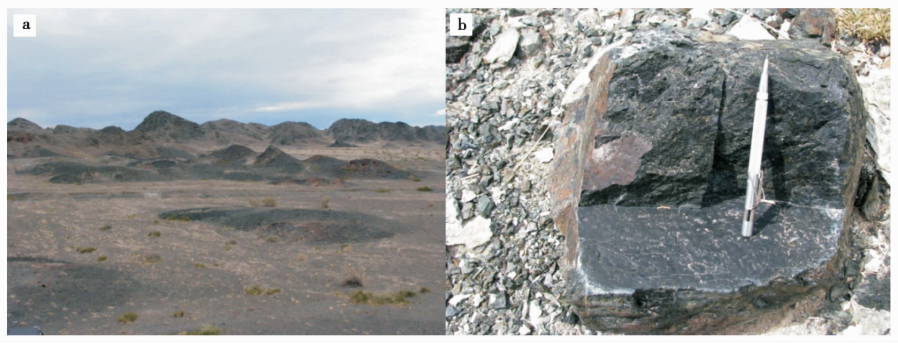


图 2 卡拉麦里蛇绿岩中辉长岩构造岩块野外出露

Fig. 2 The outcrops of the gabbro in the Kalamaili ophiolite at the site of sampling

2 分析和测试

辉长岩中锆石的挑选由河北廊坊分院完成, 即先按常规方法将岩样破碎、分选, 然后在双目镜下挑纯, 共获得 30 余颗锆石。用无色透明环氧树脂对所选取的锆石颗粒进行固定, 然后抛光使其曝露一半晶面, 对锆石进行透射光和反射光显微照相, 在真空下镀金制靶后在中国地质科学院地质研究所利用配有 GATAN 公司 Chroma 阴极发光探头分析仪的扫描电子显微镜(HITACHI S3000-N 型)进行锆石的阴极发光(CL)图像分析

(图 3)，研究锆石的内部结构，确定测点位置。

锆石 U-Pb 定年在中国地质科学院矿产资源研究所完成，测试前使用标样锆石 GJ-1 为外标进行元素间的分馏校正，应用另一标样锆石 M127(U：923×10^{-6}，Th：430×10^{-6}，Th/U：0.475；Nasdala et al., 2008)为外标来标定锆石的 U、Th 和 Pb 的含量。数据处理采用 ICP-MS-Data Cal 程序(Liu et al., 2009)，普通 Pb 采用 Anderson(2002)的方法校正，锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序(Ludwig, 2003)完成。样品分析过程中，选择 Plesovice 标样作为未知样品进行分析，其结果为 337 Ma，对应的年龄推荐值为 337.13±0.37(2σ)(Slama et al., 2008)，两者在误差范围内完全一致，表明测试结果可靠。实验测试过程遵照侯可军等(2009)所提步骤和程序。

3　分析结果

3.1　锆石的结构特征

样品中挑选出来的锆石均较干净、透明，颗粒大小不一，粒径为 30~120 μm，其中多数锆石粒径为 80~100 μm。形态上，除个别颗粒为长柱状(长短轴之比可达 3)之外，大多颗粒均呈短柱状或浑圆状(其长短轴之比多小于 1.5)。大多数颗粒具有完整的晶形，但也有部分颗粒有残缺。阴极发光图像显示所有锆石颗粒均具有不同程度的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构 (图 3)。

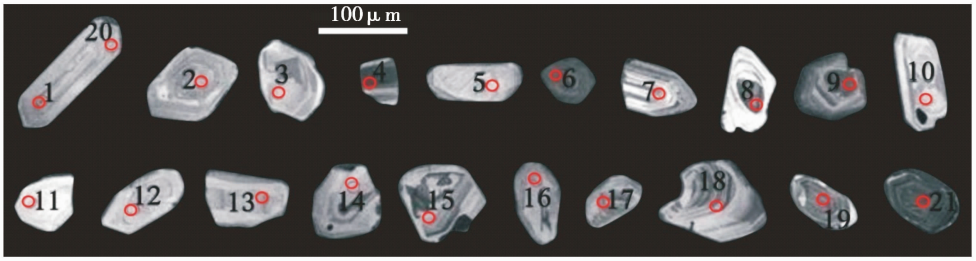


图 3　卡拉麦里蛇绿岩中辉长岩(样品 Zaf-168)的锆石阴极发光照片及测点位置和编号

Fig. 3　CL images and age dating points of tested zircons from the gabbro(sample Zaf-168) in the Kalamaili ophiolite

依据颗粒形状及阴极发光图像，可将样品中的锆石分为 3 类：第 1 类锆石颗粒颜色偏浅，形状较规则，晶形相对完整，内部环带发育，它们应该属于岩浆成因锆石；第 2 类锆石锆石颗粒相对较小，形态为浑圆状或为破碎残体，阴极发光图像显示其颜色偏黑，可能是捕获自早期围岩中的残余锆石颗粒；第 3 类锆石颗粒阴极发光图像明显发黑，环带结构不太发育，内部有退晶质化现象，形态也呈他形不规则状，可能为后期热液改造作用的产物。

3.2　锆石颗粒 U-Pb 年龄测定结果

根据阴极发光图像分析结果，本次选择 20 颗锆石共测定了 21 个测点的 U-Pb 同位素组成，各项分析结果列于表 1，其中单个数据点的误差均为 1σ，所有样品均采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄，加权平均值为 95%的置信度。

表 1　辉绿岩(样品 Zaf-168)的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分析结果

Table 1　LA-ICP-MS U-Pb analysis of zircon from gabbro in Kalamaili ophiolite

测点序号	Pb/×10^{-6}	Th×10^{-6}	U×10^{-6}	Th/U	^{207}Pb/^{206}Pb	1σ±	^{207}Pb/^{235}U	1σ±	^{206}Pb/^{238}U	1σ±	^{207}Pb/^{206}Pb	1σ±	^{207}Pb/^{235}U	1σ±	^{206}Pb/^{238}U	1σ±
Zaf-168-1	8.77	28.37	105.04	0.3	0.0534	0.0003	0.495	0.006	0.067	0.0007	346	15	409	4	419	5
Zaf-168-2	7.93	81.89	66.18	1.2	0.0531	0.0004	0.478	0.005	0.065	0.0006	332	17	397	3	408	4
Zaf-168-3	19.42	184.85	223.19	0.8	0.0536	0.0003	0.485	0.005	0.066	0.0007	354	13	401	4	409	4
Zaf-168-4	9.68	47.07	93.11	0.5	0.0558	0.0003	0.638	0.006	0.083	0.0007	456	13	501	4	512	4
Zaf-168-5	6.96	44.71	76.23	0.6	0.0545	0.0004	0.488	0.004	0.065	0.0005	394	17	404	3	406	3
Zaf-168-6	10.49	58.24	105.44	0.6	0.0580	0.0005	0.668	0.007	0.084	0.0007	532	20	520	4	517	4
Zaf-168-7	8.59	66.48	95.24	0.7	0.0534	0.0003	0.478	0.005	0.065	0.0006	346	15	397	3	405	3
Zaf-168-8	9.94	63.78	94.98	0.7	0.0542	0.0004	0.485	0.005	0.065	0.0005	376	15	402	3	405	3
Zaf-168-9	11.12	55.04	105.95	0.5	0.0557	0.0004	0.639	0.010	0.083	0.0008	443	12	502	6	513	5
Zaf-168-10	12.41	92.25	144.86	0.6	0.0567	0.0004	0.513	0.006	0.065	0.0006	480	15	421	4	409	4
Zaf-168-11	12.59	91.47	129.19	0.7	0.0526	0.0003	0.471	0.004	0.065	0.0005	309	13	392	3	405	3
Zaf-168-12	77.45	787.40	847.33	0.9	0.0546	0.0002	0.490	0.004	0.065	0.0005	394	40	405	3	406	3
Zaf-168-13	21.92	207.84	219.57	0.9	0.0522	0.0003	0.467	0.003	0.065	0.0004	295	11	389	2	405	3
Zaf-168-14	14.91	100.12	143.86	0.7	0.0523	0.0003	0.472	0.004	0.065	0.0004	298	18	392	2	407	3
Zaf-168-15	19.89	187.49	199.90	0.9	0.0534	0.0003	0.481	0.004	0.065	0.0006	346	11	398	3	407	3
Zaf-168-16	31.34	265.89	345.41	0.8	0.0537	0.0002	0.482	0.004	0.065	0.0005	367	9	399	3	406	3
Zaf-168-17	12.68	61.87	233.12	0.3	0.0538	0.0003	0.483	0.004	0.065	0.0005	365	13	400	3	407	3
Zaf-168-18	15.95	166.42	194.99	0.9	0.0515	0.0003	0.380	0.003	0.054	0.0004	261	10	327	2	336	2
Zaf-168-19	8.49	56.72	138.91	0.4	0.0500	0.0003	0.361	0.003	0.052	0.0003	195	13	313	2	329	2
Zaf-168-20	19.52	219.47	246.02	0.9	0.0531	0.0003	0.386	0.003	0.053	0.0004	345	11	331	2	331	2
Zaf-168-21	17.50	154.16	329.98	0.5	0.0538	0.0003	0.400	0.005	0.054	0.0007	361	11	342	4	338	4

从表 1 可见，21 个分析点的 Th/U 比值变化范围很小，介于 0.3～1.2 之间，多数大于 0.5，Th、U 之间具有良好的正相关关系，显示了锆石是从成分相对均匀的岩浆中结晶分异出来的。

在所获得的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄谐和图中共出现 3 个峰值（图 4），其中 14 个测点的峰值年龄集中在 406.8±1.8 Ma（图 5a），3 个测点峰值为 514.2±5.1 Ma（图 5b）、另有 4 个测点峰值为 332.1±6.4 Ma（图 5c）。

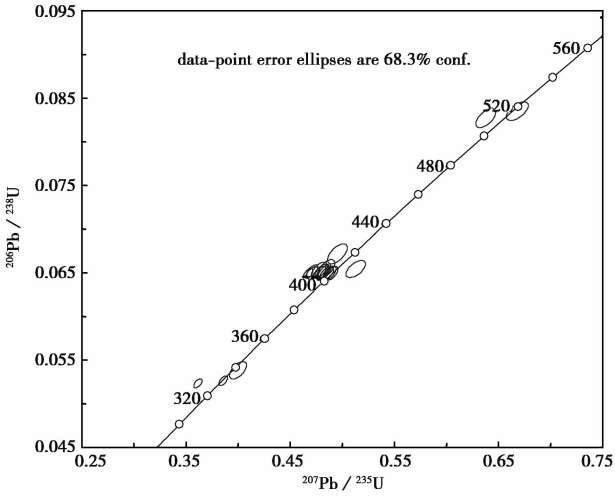


图 4　卡拉麦里蛇绿岩中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4　Concordia plot of U-Pb result of zircons from the gabbro in the Kalamaili ophiolite

从锆石颗粒阴极发光图像上看，U-Pb 年龄峰值集中在 406±1.8 Ma 的 14 个测点，其锆石为前述第 1 类锆石颗粒，而且测点都集中在锆石的核部，因此所获得的这些年龄数据应该代表辉长岩的形成年龄；年龄峰值为 514±5.1 Ma 的 3 个测点（图 3 中编号为 4、6、9），其锆石属第 2 类锆石，颜色偏黑、个体较小、磨圆度也较其他锆石颗粒好，可能是在岩浆喷发过程中捕获的古老地层中的锆石；峰值为 332±6.4 Ma 的 4 个测点（图 3 中编号为 18、19、20、21），除测点 20 之外，其余均为第 3 类锆石，前者是打在了第 1 类锆石的韵律环带边部，这些测点处的锆石可能是在板块碰撞过程中动力变质作用下、由已经结晶的锆石重新熔融再次结晶而成，代表了辉长岩经受区域动力变质作用的时间。

4　卡拉麦里蛇绿岩的形成年龄及其大地构造意义

目前，对卡拉麦里蛇绿岩形成时代的确定主要依据三方面的证据，其中，直接证据来自与卡拉麦里蛇绿岩具有密切成因联系的沉积地层及其内古生物化石资料和蛇绿岩各组成单元的同位素年龄资料，此外有些学者还通过区域地质资料分析间接推断了该蛇绿岩带的形成时间。而正是由于研究对象、研究手段的差异，造成了人们对有关该蛇绿岩形成时代认识的不同。

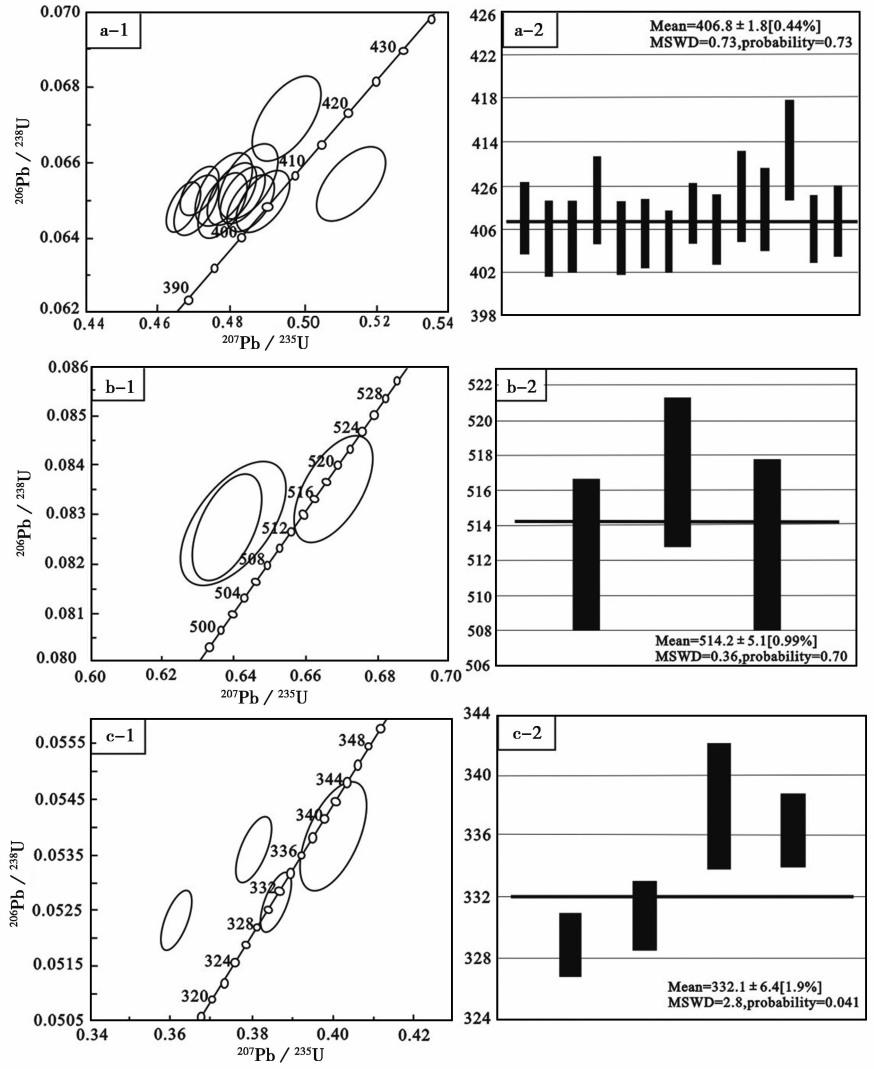


图 5 卡拉麦里蛇绿岩中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄谐和图及频率分布直方图

a. 辉长岩的形成年龄；b. 残余锆石的年龄；c. 动力变质锆石年龄

Fig. 5 Concordia plots and histograms of U-Pb results of zircons from the gabbro in the Kalamaili ophiolite

4.1 古生物化石和地层对比方面的证据和观点

最早限定卡拉麦里蛇绿岩形成时代的证据来自分布于卡拉麦里构造带两侧的志留系地层。早在 20 世纪 70 年代，新疆地质局区测队第二分队在红柳沟一带填图时发现了含图瓦贝动物群的地层，并以红柳峡剖面为标准建立了红柳峡组，将其划归中志留统。随后，张梓歆等(1983)比较系统地研究了该套地层中图瓦贝动物群的分布特征、时代归属、动物地理及其生态地层意义，认为该套地层中的图瓦贝化石属于 *Tuvaella gigantea* 组合，是北方志留纪大区乌拉尔—科迪勒拉区的一个特殊的生态群落，其形成时代为中志留世晚期到晚志留世早期。而苏养正(1981)在总结全球图瓦贝动物群分布的基础上，

发现 *Tuvaella gigantea* 组合产地都集中于蒙古弧的两翼，其古地理位置几乎都在陆地边缘的海槽，或在一些小的海湾，由此提出图瓦贝是在中-晚志留世期间局限于西伯利亚地区南部陆缘海的“图瓦—兴安区”这一地方性生物群落。

从区域上看，卡拉麦里蛇绿岩带南北两侧的中-上志留统地层中都发现属于上述生物群落的图瓦贝化石（苏养正，1981；王宝瑜，1990；李锦轶，1995，2004；何国琦等，2001）。上述作者推断，卡拉麦里蛇绿岩带是发育在中-晚志留世西伯利亚板块陆缘海盆基底上的一个洋盆，由此也限制了该洋盆形成时代的下限。

但是由于目前尚未见到志留纪地层与卡拉麦里蛇绿岩之间直接的、有意义的接触关系，因此该套蛇绿岩所代表的洋盆究竟是在含图瓦贝化石的志留纪基底之上新打开的晚古生代（早-中泥盆世）洋盆，还是被中-上志留统地层不整合覆盖的早古生代洋盆，目前尚存在争议。前者以李锦轶（2004）和李锦轶等（2006a，2006b）为代表，认为卡拉麦里蛇绿岩是在上述早古生代洋盆的基底上重新打开的晚古生代新洋盆。该观点因为受到较多的同位素年龄及与蛇绿岩伴生的硅质岩中放射虫化石时代的支持，目前也是多数学者的观点。后者以何国琦等（2001）为代表，他认为卡拉麦里蛇绿岩带南北两侧含图瓦贝化石的中-上志留统地层具有造山后稳定构造体制下的海相磨拉石组合特点，与下伏地层不整合接触，且二者变质变形明显不同。同时，他还基于克拉麦里—麦钦乌拉一带下志留统地层的普遍缺失、中-上志留系与奥陶系地层间为角度不整合接触等特征（何国琦等，2007）认为卡拉麦里蛇绿岩带为早古生代蛇绿岩带。他的这一观点被马中平（2007）所接受，后者根据卡拉麦里蛇绿岩带南北两侧（即西准噶尔沙尔布尔提山和巴里坤—康古尔塔格等地区）的泥盆纪埃姆斯期底栖类生物腕足动物种群可直接对比（肖世禄等，1992），而否定了该洋盆是在志留纪基底之上新打开的晚古生代洋盆，并推断其形成时代属于晚奥陶世—早-中志留世。

关于卡拉麦里蛇绿岩形成时代的另一证据来自与该蛇绿岩伴生的远洋硅质岩中放射虫化石时代的研究成果。众所周知，自从蛇绿岩“三位一体”的概念被提出以来（Hess，1955），与蛇绿岩相伴生的深海沉积岩对确定蛇绿岩形成上限时代的作用越来越得到人们的重视，与卡拉麦里蛇绿岩相伴生的硅质岩自然也就成为人们关注的热点之一。最早蔡文俊（1986）根据卡拉麦里蛇绿岩带硅质岩中的放射虫化石组合，认为该蛇绿岩形成时代的上限为早石炭世。随后，李锦轶等（1988，1990）和李锦轶（1995）也先后在卡拉麦里蛇绿岩带的碧玉岩中发现有泥盆纪—早石炭世的放射虫及疑源类等微体化石。此外，新疆地质调查院也曾在蛇绿混杂带基质中的硅质岩中发现中泥盆世放射虫化石（新疆地矿局第一区调大队，1987）。近年来，舒良树等（2003）对卡拉麦里蛇绿混杂带中硅质岩的放射虫化石进行了更为细致的研究，他们在卡拉麦里构造带中蛇绿岩出露较好的南明水地区开展了地质填图时，从蛇绿岩套上部单元的红色硅质岩中发现了丰富的放射虫化石，进一步确定其时代为晚泥盆世法门期—早石炭世杜内期。可以看出，以上硅质岩中放射虫化石及其他微体化石方面的资料几乎一致表明卡拉麦里蛇绿岩形成的上限时代应该是泥盆纪—早石炭世，从某种程度上来说，也增强了上述第一种观点的可靠性。

除此之外，限定卡拉麦里蛇绿岩上限时代的证据还有来自蛇绿岩上覆最老地层的时

代限制。李锦轶等(1988)与肖序常等(1991)发现卡拉麦里蛇绿岩上被含有晚石炭世早期维宪期—纳缪尔期 G 带菊石化石 *Gastrioceras* sp.和 *Eoasianites* sp.菊石化石的残余海盆沉积南明水组不整合覆盖，推断卡拉麦里蛇绿岩的形成年龄为晚泥盆世至早石炭世。韩宝福等(2010)根据侵入卡拉麦里蛇绿混杂岩带的老鸭泉后碰撞花岗岩的同位素年龄(300 Ma 左右)，确定该蛇绿岩带所代表的古洋盆是在晚石炭世期间关闭的。赵恒乐等(2012)发现卡拉麦里蛇绿岩西段红柳沟和东段南明水地区分别被上泥盆统和早石炭世中-晚期地层不整合覆盖，从而认为卡拉麦里岩所代表的洋盆闭合于不同的时代，自中泥盆世延至早石炭世甚至更晚结束。

以上这些地层及古生物化石证据无疑为限定卡拉麦里蛇绿岩的形成时代的下限及上限年龄提供了很好的证据，但正如某些学者所言，它们与蛇绿岩的关系尚存在不确定性，对它们的解释也存在一定的疑问。因此，尚需要比较确切的同位素年龄来解决卡拉麦里蛇绿岩形成时代的争议问题。

4.2 同位素年龄方面的证据和观点

20 世纪 90 年代中期以后，人们开始用传统的同位素方法对蛇绿岩进行定年，由此积累了不少有关卡拉麦里蛇绿岩形成年代的数据。

斜长花岗岩是大洋基性岩浆最终的分异产物，它的年龄代表了蛇绿岩(洋壳)的形成年龄，而其内锆石丰富，易于进行同位素测年，因此很多学者将蛇绿岩中浅色斜长花岗岩作为测年对象来研究蛇绿岩的形成时代。唐红峰等(2007)对卡拉麦里蛇绿岩伴生的斜长花岗岩柳树泉岩体进行锆石 U-Pb 测年，得出了 373 Ma 的年龄。但最近李锦轶等(2009)认为这两个地区的英云闪长岩可能都是古岛弧的残片，是卡拉麦里断裂带以北晚泥盆世发育的岛弧岩浆侵入活动的产物，而不能代表蛇绿岩的形成年龄。秦彪(2012)对阿勒吞昆多蛇绿混杂岩中斜长花岗岩进行了锆石 SHRIMP 测年，获得了 351 Ma 的 U-Pb 年龄，得出阿勒吞昆多蛇绿混杂岩形成时代为早石炭世的结论。最近，Liu et al.(2013)对东准噶尔地区出露的 20 多个花岗岩体进行了锆石测年，获得的同位素年龄大多数在 325~301 Ma，认为这些岩体的侵入于早-晚石炭世。另外，新疆地质调查院最近对蛇绿岩中浅色岩石英闪长岩采用锆石 U-Pb 法测定其年龄值，分别为 357 Ma、375 Ma、492 Ma(赵恒乐等，2012)。

此外，卡拉麦里蛇绿岩混杂带中还发现大量基性岩(辉长岩构造岩块)，它们作为该蛇绿岩的重要组成成分，是研究该蛇绿岩形成时代的重要对象。最早新疆地矿局第一区调大队(1987)对其中的辉长岩进行全岩 K-Ar 测年，分别获得 388 Ma、306 Ma、392 Ma 的年龄数据；何国琦(1995，2001)测定的卡拉麦里一带辉长岩的长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄为 737 Ma。最近，汪帮耀等(2009)测定蛇绿岩套中辉长岩中的锆石 U-Pb 年龄为 329 Ma，他们还对姜巴斯套组中粗面岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年，得到的谐和年龄为 319 Ma。此外，黄冈等(2012)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形成年龄为 416.7±3.2 Ma 以及不整合于蛇绿岩之上沉积地层中的凝灰岩年龄为 343.0±5.0 Ma，从而为蛇绿岩沉积盖层提供了可靠的年龄资料，这两组年龄不仅很好地限定了卡拉麦里蛇绿岩的形成时代，而且也限定了卡拉麦里蛇绿岩侵位

时代的上限。吴琪等(2012)通过对红柳峡韧性剪切带中卷入韧性变形的阿克喀巴克闪长岩与博尔羌吉花岗岩 SIMS 锆石 U-Pb 定年，结果显示博尔羌吉花岗岩和花岗质超糜棱岩形成年龄分别为 348.1±2.8 Ma 和 343.2±2.6 Ma，后者代表了韧性变形变质的时间，因此很好地约束了以卡拉麦里蛇绿岩带为代表的准噶尔洋的关闭时间。

可以看出以上这些同位素年龄数据，多数在 416~306 Ma 之间，本文所获得的蛇绿岩形成年龄数据 406±1.8 Ma 也落在此区间，从而说明卡拉麦里蛇绿岩的形成时代为泥盆世—石炭世期间。

4.3　卡拉麦里蛇绿岩的形成时代及其构造意义

由于卡拉麦里蛇绿岩带分布广、牵涉的地质单元多、而且经受了后期改造而变得更加复杂，上述资料只能从不同侧面反映了卡拉麦里蛇绿岩的形成演化情况，而且所反映的该蛇绿岩带形成与演化方面的情况并非完全一致，有必要结合各种不同的年龄资料和区域地质进行综合分析，如此才能得出真正有关其形成年龄的正确结论。

郭召杰(2012)基于卡拉麦里地区地质图分析并结合最新的碎屑锆石定年资料，认为东准噶尔卡拉麦里造山带的碰撞时限不晚于早石炭世(370~340 Ma)，晚泥盆世之前就已经出现的卡拉麦里古洋盆经过洋壳俯冲消减，最终在早石炭世(340 Ma)之前完全闭合，进入陆陆碰撞造山阶段，其大致时限为 370~340 Ma。汪帮耀等(2009)通过地质特征、岩石地球化学及高精度年代学等研究认为卡拉麦里蛇绿岩可能形成于泥盆纪初期，侵位于早石炭世谢尔普霍夫期。

上述资料和证据基本表明晚泥盆世之前已经存在卡拉麦里洋盆，而该洋盆的最终闭合的时限可能延续至早石炭世甚至更晚。本文所获得的年龄与上述结论相一致，再次说明卡拉麦里蛇绿岩的形成时代为早泥盆世洛霍考夫期，而这一构造侵位时间标志着哈萨克斯坦—准噶尔联合古板块和西伯利亚古板块的碰撞以及二者之间古洋盆的关闭。

5　结　论

卡拉麦里蛇绿混杂岩的岩石组合以超镁铁质岩和镁铁质岩为主，并伴有基性喷发岩和远洋沉积物。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。

通过对该蛇绿岩套中辉长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的研究获得的一组年龄(406±1.8 Ma)表明卡拉麦里蛇绿岩的形成时间为早泥盆世早期；另外一组年龄(332±6.4 Ma)则是卡拉麦里蛇绿岩构造就位过程中由动力变质作用导致的锆石重新熔融重结晶的产物，说明卡拉麦里有限洋盆最终闭合时间为早石炭世早期。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早期，这一构造侵位时间标志着哈萨克斯坦—准噶尔联合古板块和西伯利亚古板块的碰撞以及两者之间古洋盆的关闭。

致谢　野外工作得到朱志新、渠洪杰和万联海等人的帮助，数据分析和处理得到高

俊峰的帮助，在此表示感谢。感谢闫臻研究员提出宝贵的修改意见！

参 考 文 献

卜国民，李华启，李文铅等. 2005. 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. 大地构造与成矿学，**29**(2)：252—261.

Bu Guomin, Li Huaqi, Li Wenqian et al. 2005. Geochemical characteristics and tectonic settings for basalts in Takezhale ophiolite in Xinjiang. *Geotectonica et Metallogenia*, **29**(2): 252—261.

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(1). 北京：地质出版社. 1—26.

Cai Wenjun. 1986. Northeastern margin of Junggar preliminary study of plate tectonics. In: Technology Plate Tectonics in North China(1). Beijing: Geological Publishing House. 1—26.

陈 石，郭召杰. 2010. 达拉布特蛇绿岩带的时限和属性以及对西准噶尔晚古生代构造演化的讨论. 岩石学报，**26**(8)：2338—2340.

Chen Shi and Guo Zhaojie. 2010. Time constraints tectonic setting of Dalabute ophiolitic complex and its significance for Late Paleozoic evolution in West Junggar. *Acta Petrologica Sinica*, **26**(8): 2338—2340.

成守德，王广瑞，杨树德等. 1986. 新疆古板块构造. 新疆地质，**4**(2)：1—26.

Chen Shoude, Wang Guangrui, Yang Shude et al. 1986. The paleoplate tectonic of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, **4**(2): 1—26.

董连慧，朱志新，屈 迅等. 2010. 新疆蛇绿岩带的分布、特征及研究新进展. 岩石学报，**26**(10)：2894—2094.

Dong Lianhui, Zhu Zhixin, Qu Xun et al. 2010. Spatial distribution geological features and latest research progress of the main ophiolite zones in Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, **26**(10): 2894—2904.

郭召杰，王 超. 1993. 新疆东准噶尔塔克扎勒—麦钦乌拉古缝合带的确定. 矿物岩石，**13**(1)：100—102.

Guo Zhaojie and Wang Chao. 1993. The determination of Takezale-Maiqinwula fossil collision suture in East Zhungaer, Xinjiang. *Journal of Mineralogy and Petrology*, **13**(1): 100—102.

郭召杰. 2012. 新疆北部大地构造研究中几个问题的评述——兼论地质图在区域构造研究中的重要意义. 地质通报，**31**(7)：1054—1060.

Guo Zhaojie. 2012. A review on the Paleozoic tectonic evolution of northern Xinjiang and a discussion on the important role of geological maps in tectonic study. *Geological Bulletin of China*, **31**(7): 1054—1060.

韩宝福，郭召杰，何国琦. 2010. “钉合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限. 岩石学报，**26**(8)：2233—2246.

Han Baofu, Guo Zhaojie and He Guoqi. 2010. Timing of major suture zones in North Xingjiang constraints from stitching plutons. *Acta Petrologica Sinic*, **26**(8): 2233—2246.

何国琦，陆书宁. 1995. 大型断裂系统在古板块研究中的意义——以中亚地区为例. 高校地质学报，**1**(1)：1—10.

He Guoqi and Lu Shuning. 1995. Tectonic significance of large fault systems to the study of paleo-plates. *Geological Journal of Universities*, **1**(1): 1—10.

何国琦，李茂松，贾进斗等. 2001. 论新疆东准噶尔蛇绿岩的时代及其意义. 北京大学学报(自然科学版)，**37**(6)：852—858.

He Guoqi, Li Maosong, Jia Jindou et al. 2001. A discussion on age and tectonic significance of ophiolitein eastern Junggar, Xinjiang. *Acta Scicentiarum Naturalum Universitis Pekinesis*, **37**(6): 852—858.

何国琦，刘建波，张越迁等. 2007. 准噶尔盆地西缘克拉玛依早古生代蛇绿混杂岩带的厘定. 岩石学报，**23**(7)：1573—1576.

He Guoqi, Liu Jianbo, Zhang Yueqian et al. 2007. Keramaly ophiolitic mélange formed during Early Paleozoic in western Junggar Basin. *Acta Petrologica Sinica*, **23**(7): 1573—1576.

侯可军，李延河，田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. 矿床地质，**28**(4)：481—492.

Hou Kejun, Li Yanhe and Tian Yourong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS. *Mineral Deposits*, **28**(4): 481—492.

胡霭琴，韦刚健，张积斌等. 2007. 天山东段天湖东片麻状花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和构造演化意义. 岩石学

报，**23**(8)：1795—1802.

Hu Aiqin, Wei Gangjian, Zhang Jibin et al. 2007. SHRIMP U-Pb age for zircons of East Tianhu granitic gneiss and tectonic evolution significance from the eastern Tianshan Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, **23**(8): 1795—1802.

黄　岗，牛广智，王新录等. 2012. 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. 地质通报，**31**(8)：1267—1278.

Huang Gang, Niu Guangzhi, Wang Xinlu et al. 2012. 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*, **31**(8): 1267—1278.

李春昱，王　荃，刘雪亚等. 1982. 亚洲大地构造图说明书. 北京：地质出版社. 1—82.

Li Chunyu, Wang Quan, Liu Xueya et al. 1982. Explanation of Tectonic Map of Asian. Beijing: Geological Publishing House. 1—82.

李锦轶，肖序常，汤耀庆等. 1988. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区古板块构造研究的新进展. 科学通报，**33**(10)：762—764.

Li Jinyi, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing et al. 1988. The headway research of the plate-tectonics in the southern part of East Junggar, Xinjiang. *Chinese Science Bulletin*, **33**(10): 762—764.

李锦轶，朱宝清，冯益民. 1989. 南明水组和蛇绿岩之间不整合关系的确认及其意义. 中国区域地质，**8**(3)：250—255.

Li Jinyi, Zhu Baoqing and Feng Yimin. 1989. Confirmation of the unconformable relationships between the Nanmingshui Formation and ophiolites and their significance. *Regional Geology of China*, **8**(3): 250—256.

李锦轶，肖序常，汤耀庆等. 1990. 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. 地质论评，**36**(4)：305—316.

Li Jinyi, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing et al. 1990. Main characteristics of Late Paleozoic plate tectonics in the southern part of East Junggar, Xinjiang. *Geological Review*, **36**(4): 305—316.

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

Li Jinyi. 1991. Early Paleozoic evolution of lithosphere plate, East Junggar, Xinjiang. *Bulletin of the Chinese Academy of Gelogical Sciences*, (23): 1—12.

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.

Li Jinyi. 1995. Main characteristics and emplacement processes of the East Junggar ophiolites, Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, **11**(suppl.): 73—84.

李锦轶. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评，**50**(3)：304—322.

Li Jinyi. 2004. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China. *Geological Review*, **50**(3): 304—322.

李锦轶，何国琦，徐　新等. 2006a. 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.

Li Jinyi, He Guoqi, Xu Xin et al. 2006a. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation. *Acta Geologica Sinica*, **80**(1): 148—168.

李锦轶，王克卓，孙桂华等. 2006b. 东天山吐哈盆地南缘古生代活动陆缘残片：中亚地区古亚洲洋板块俯冲的地质记录. 岩石学报，**22**(5)：1087—1102.

Li Jinyi, Wang Kezhuo, Sun Guihua et al. 2006b. Paleozoic active margin slices in the southern Turfan-Hami Basin: Geological records of subduction of the paleo-Asian ocean plate in central Asian regions. *Acta Petrologica Sinica*, **22**(5): 1087—1102.

李锦轶，杨天南，李亚萍等. 2009. 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. 地质通报，**28**(12)：1817—1826.

Li Jinyi, Yang Tiannan, Li Yaping et al. 2009. Geological features of the Karamaili faulting belt, eastern Junggar region, Xinjiang, China and its constraints on the reconstruction of Late Paleozoic ocean-continental framework of the central

Asian region. *Geological Bulletin of China*, **28**(12): 1817—1826.

刘希军, 许继峰, 侯青叶等. 2007. 新疆东准噶尔克拉麦里蛇绿岩地球化学: 洋脊俯冲的产物. 岩石学报, **23**(7): 1591—1602.

Liu Xijun, Xu Jifeng, Hou Qingye et al. 2007. Geochemical characteristics of Karamaili ophiolite in East Junggar, Xinjiang: Products of ridge subduction. *Acta Petrologica Sinica*, **23**(7): 1591—1602.

马瑞士, 叶尚夫, 王赐银等. 1990. 东天山造山带构造格架和演化. 见: 新疆地质科学(第二辑). 北京: 地质出版社. 21—36.

Ma Ruishi, Ye Shangfu, Wang Ciyin et al. 1990. Structural frame work and evolution of eastern Tianshan orgenic belt. In: Xinjiang Geolgical Science(No.2). Beijing: Geological Publishing House. 21—36.

马瑞士, 王赐银, 叶尚夫等. 1993. 东天山构造格架及地壳演化. 南京: 南京大学出版社. 1—124.

Ma Ruishi, Wang Ciyin and Ye Shangfu. 1993. The Crustal Evolution and Structural Frame Work of Eastern Tianshan. Nanjing: Nanjing University Press. 1—124.

马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿. 北京: 地质出版社. 1—202.

Ma Ruishi, Shu Liangshu and Sun Jiaqi. 1997. Tectonic Evolution and Metallogeny of Eastern Tianshan Mountains. Beijing: Geological Publishing House. 1—202.

马中平. 2007. 天山及其邻区蛇绿岩研究与古生代洋盆演化(博士学位论文). 西安: 西北大学. 1—137.

Ma Zhongping. 2007. The Studies upon the Ophiolite and the Evolutionary Processes of Paleozoic Oceans in Tianshan and Its Adjacent Areas(PhD Thesis). Xi′an: Northwest University. 1—137.

新疆地矿局第一区调大队. 1987. 新疆同位素地质年龄数据汇编. 新疆地质, **5**(4): 16—106.

No.1 Regional Geological Surveying Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang. 1987. Assemblage of data of isotope geologic age, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, **5**(4): 16—106.

秦 彪. 2012. 阿勒吞昆多蛇绿混杂岩斜长花岗岩锆石 SHRIMP 测年及时限. 西北地质, **45**(3): 20—25.

Qin Biao. 2012. Time constraints and SHRIMP of zircon from plagioclase granite of ophiolite in Aletunkunduo. *Northwestern Geology*, **45**(3): 20—25.

任纪舜, 姜春发, 张正坤等. 1980. 中国大地构造及其演化. 北京: 科学出版社. 1—118.

Ren Jishun, Jiang Chunfa, Zhang Zhengkun et al. 1980. The Geotectonic Evolution of China. Beijing: Science Press. 1—118.

舒良树, 王玉净. 2003. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石. 地质论评, **49**(4): 408—412.

Shu Liangshu and Wang Yujing. 2003. Late Devonian-Early Carboniferous radiolarian fossils from siliceous rocks of the Kelameili ophiolite, Xinjiang. *Geological Review*, **49**(4): 408—412.

苏养正. 1981. 论图瓦贝的时空分布和生态环境. 古生物学报, **20**(6): 567—575.

Su Yangzheng. 1981. On the geological and geographical distribution of *Tuvaella* with reference to its habitat. *Acta Palaeontologica Sinica*, **20**(6): 567—575.

唐红峰, 苏玉平, 刘丛强等. 2007. 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. 大地构造与成矿学, **31**(1): 110—117.

Tang Hongfeng, Su Yuping, Liu Congqiang et al. 2007. Zircon U-Pb age of the plagiogranite in Kalamaili belt, northern Xinjiang and its tectonic implications. *Geotectonica et Metallogenia*, **31**(1): 110—117.

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和认识. 岩石学报, **19**(4): 683—691.

Wang Zongxiu, Zhou Gaozhi and Li Tao. 2003. The consideration on ophiolite and interrelated issue in northern Xinjiang, northwestern China. *Acta Petrologica Sinica*, **19**(4): 683—691.

王宝瑜. 1990. 关于图瓦贝动物群的时代及古地理意义. 科学通报, (18): 1413—1415.

Wang Baoyu. 1990. The time and paleogeographic significance of the *Tuvaella*. *Chinese Science Bulletin*, (18): 1413—1415.

汪帮耀, 姜常义, 李永军等. 2009. 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. 矿物岩石, **29**(3): 74—82.

Wang Bangyao, Jiang Changyi, Li Yongjun et al. 2009. Kalamaili East Junggar ophiolites geochemical characteristics and tectonic significance. *Acta Petrological et Mineralogica*, **29**(3): 74—82.

吴　琪，屈　迅，常国虎等. 2012. 红柳峡韧性剪切带形成时代及其对准噶尔洋盆闭合时限的约束. 岩石学报，**28**(8)：2331—2339.

Wu Qi, Qu Xun, Chang Guohu et al. 2012. Geochronology of the Hongliuxia ductile shear zone and its constraint on the closure time of the Junggar ocean. *Acta Petrologica Sinica*, **28**(8): 2331—2339.

肖世禄，侯鸿飞，吴绍祖. 1992. 新疆北部泥盆系研究. 乌鲁木齐：新疆科技卫生出版社. 1—257.

Xiao Shilu, Hou Hongfei and Wu Shaozu. 1992. The Researches of Devonian System in North Xinjiang. Ürümqi: Health Science and Technology Publishing House in Xinjiang. 1—257.

肖序常，汤耀庆，李锦轶等. 1990. 试论新疆北部大地构造演化. 北京：地质出版社. 47—68.

Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Li Jinyi et al. 1990. Geotectonic Evolution of Northern Xinjiang. Beijing: Geological Publishing House. 47—68.

肖序常，汤耀庆，李锦轶等. 1991. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 北京：北京科学技术出版社. 1—150.

Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Li Jinyi et al. 1991. On the Tectonic Evolution of the Southern Margin of the Paleoasian Composite Megasuture Zone. Beijing: Beijing Science & Technology Press. 1—150.

徐学义，李荣社，陈隽璐等. 2014. 新疆北部古生代构造演化的几点认识. 岩石学报，**30**(6)：1521—1534.

Xu Xueyi, Li Rongshe, Chen Juanlu et al. 2014. New constrains on the Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang area. *Acta Petrologica Sinica*, **30**(6): 1521—1534.

杨梅珍，吴宏恩，杨高学. 2009. 东准噶尔卡拉麦里 SSZ 型蛇绿岩地球化学及其构造意义. 岩石矿物学杂志，**28**(3)：251—263.

Yang Meizhen, Wu Hong'en and Yang Gaoxue. 2009. Geochemical characteristics and tectonic significance of Kalamaili SSZ ophiolite from eastern Junggar. *Acta Petrologica et Mineralogica*, **28**(3): 251—263.

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

Zhang Zixin, Rong Jiayu and Di Qiaoling. 1983. Silurian *Tuvaella gigantea* faunule (brachiopoda) of the Barkol area, northeastern Xinjiang. *Acta Palaeontologica Sinica*, **22**(3): 278—294.

赵恒乐，许　凡，张　冀等. 2012，东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩形成时代、地质特征及构造意义. 新疆地质，**30**(2)：161—164.

Zhao Hengle, Xu Fan, Zhang Ji et al. 2012. The Kalamaili ophiolites: Age, geological characteristics and tectonic significance. *Xinjiang Geology*, **30**(2): 161—164.

Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb. *Chemical Geology*, **192**(1—2): 59—79.

Hess H H. 1955. Serpentines, orogeny and epeirogeny. *GSA Special Papers*, **62**: 391—407.

Liu Y S, Gao S, Hu Z C et al. 2009. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths. *Journal of Petrology*, **54**(1—2): 537—571.

Liu W, Liu X J and Liu L J. 2013. Underplating generated A- and Ⅰ-type granitoids of the East Junggar from the lower and the upper oceanic crust with mixing of mafic magma: Insights from integrated zircon U-Pb ages, petrography, geochemistry and Nd-Sr-Hf isotopes. *Lithos*, **179**: 293—319.

Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.0: Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeiey Geochronology Center Special Publication No.4. 1—70.

Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N et al. 2008. Zircon M257: A homogeneous natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **32**(3): 247—265.

Slama J, Kosler J, Condon D J et al. 2008. Plesovice zircon: A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, **249**(1—2): 1—35.

Xiao W J, Zhang L C, Qin K Z et al. 2004. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the eastern Tianshan(China): Implications for the continental growth of central Asia. *American Journal of Science*, **304**(4): 370—395.

Xiao W J, Han C M, Yuan C et al. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of northern

Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, **32**(2—4): 102—117.

Xiao W J, Li S Z, Santosh M et al. 2012. Orogenic belts in central Asia: Correlations and connections. *Journal of Asian Earth Sciences*, **49**: 1—6.

Xiao Y, Zhang H F, Shi J A et al. 2011. Late Paleozoic magmatic record of East Junggar, NW China and its significance: Implication from zircon U-Pb dating and Hf isotope. *Gondwana Research*, **20**(2—3): 532—542.

The U-Pb ages of zircons from the gabbro in the Kalamaili ophiolite, North Xinjiang and its tectonic significances

Fang Aimin[1, 2] Wang Shigang[3] Zhang Junmin[1] Zang Mei[1] Fang Jiahu[3] Hu Jianmin[4]

(1. *Xinjiang Institute of Engineering*, *Ürümqi* 450016; 2. *Institute of Geology and Geophysics*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100029; 3. *China University of Mining & Technology*, *Beijing* 100083; 4. *Institute of Geomechanics*, *Chinese Academy of Geological Science*, *Beijing* 100081)

Abstract

The Kalamaili ophiolite in North Xinjiang, composed mainly of structurally blocks of ultramafic rocks and mafic rocks mixed with some matrix components of basic eruptive rocks and ocean-floor sediments, is one of the most important tectonic units in reconstruction of regional tectonic evolution since it was considered as the suture-zone between Sibiria plate and Hasakestain plate. However, quite different opinions upon its formation time were proposed based on different types of evidence of fossil assemblages in the sedimentary strata and chronological data of the volcanic units in the past two decays, which greatly influenced the understanding of the formation of central Asian orogenic belt. In this paper, zircons from the gabbro which is relatively well preserved in the ophiolite were picked out for LA-ICP-MS age dating, and three groups of U-Pb ages were obtained, namely, 406±1.8 Ma, 332±6.4 Ma and 514±5.1 Ma, respectively. Among these data, the age of 406±1.8 Ma indicated the formation time of the Kalamaili ophiolite, the age of 332±6.4 Ma is correspondent to the regional re-crystallization during the dynamic metamorphism in this area after the plate collision in the later stages, while the age of 514±5.1 Ma might represent the residual zircons captured from the old strata. By further discussion, the formation time and emplacements of the Kalamai ophiolite was concluded that, the Kalamaili oceanic basin was formed in the Early Devonian and finally closed in the Early Carboniferous.

Key Words Kalamaili ophiolite, Gabbro, LA-ICP-MS, Zircon U-Pb ages, Tectonic evolution