

东昆仑都兰可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩的发现及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

冯建赞¹ 裴先治¹ 于书伦² 丁仁平¹ 李瑞保¹ 孙 雨¹

张亚峰¹ 李佐臣¹ 陈有炘¹ 张晓飞¹ 陈国超¹

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

2.西安地质矿产勘查开发院,陕西 西安 710054)

摘要:东昆仑地区是在经历晋宁、加里东、海西、印支等多期构造旋回之后形成的一个复合大陆造山带,其中包括多条重要的构造缝合带。近来,在东昆仑地区东段清水泉以西约 15 km 的可可沙及其以南地区进行 1:5 万区域地质调查的过程中,发现了一套镁铁-超镁铁质杂岩。对该镁铁-超镁铁质杂岩中的辉长岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年,获得(509.4±6.8)Ma(MSWD=1.4)的同位素年龄。该年龄与东昆中断裂附近的清水泉蛇绿岩的时代可以很好地对应起来,这为清水泉蛇绿岩带向西的延伸方向及东昆仑地区东段早古生代的构造演化提供了新的年代学证据。

关键词:东昆仑;都兰可可沙地区;镁铁-超镁铁质杂岩;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

中图分类号:P543 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)01-0028-11

清水泉蛇绿岩带是东昆仑 4 条蛇绿混杂岩带中出露较为完整、研究程度相对较高的一条。前人对该蛇绿混杂岩从野外产状、岩石组合、微量元素地球化学以及形成时代等方面都做了较为详细的研究,并获得了一定的共识,但也存在不少分歧,尤其在蛇绿岩的形成时代和形成环境上争议较多。高延林^[1]和郑健康等^[2]首次使用全岩 Sm-Nd 等时线法测得清水泉蛇绿混杂岩中变基性火山岩同位素年龄为 1297 Ma;朱云海等^[3]用全岩 Sm-Nd 等时线法获得清水泉蛇绿混杂岩中玄武岩的同位素年龄为(1372±85)Ma;然而,杨经绥等^[4]使用单矿物的 TIMS 法测得清水泉辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为(518±3)Ma;陆松年等^[5]亦用单矿物的 TIMS 法测得清水泉辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为(522.3±4.1)Ma。上述年龄数据表明在清水泉蛇绿混杂岩的形成时代上还存在中元古代和早

古生代两种不同的认识,前人对此虽存有异议,但多数倾向于后者年龄^[7-10]。因此,TIMS 法锆石 U-Pb 同位素年龄表明清水泉蛇绿岩的形成时代为早古生代早—中寒武世(518~522Ma)。

2008 年笔者在东昆仑造山带东段可可沙地区进行 1:5 万区域地质调查的过程中,在清水泉以西 15 km 处的可可沙地区及其南侧的科科可特地区发现了镁铁-超镁铁质杂岩带,这条杂岩带在前人的研究工作中未见报道。在对可可沙地区的镁铁-超镁铁质杂岩中的辉长岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年之后,得到了(509.4±6.8)Ma(MSED=1.4)的加权平均年龄,与杨经绥^[4]和陆松年等^[5]所获得的清水泉蛇绿混杂岩中辉长岩的 TIMS 法锆石 U-Pb 年龄在误差范围内一致。因此可以认为可可沙地区的镁铁-超镁铁质杂岩是清水泉蛇绿

收稿日期:2009-05-06;改回日期:2009-09-18

基金项目:国家自然科学基金项目(40972136、40572121)和青海省国土资源厅-中国铝业公司公益性地质调查基金项目(中铝基金 200801)共同资助。

作者简介:冯建赞,男,1985 年生,硕士生,主要从事构造地质学研究;E-mail:fengjianyun888@163.com。

通讯作者:裴先治,男,1963 年生,教授;E-mail:peixzh@sina.com。

岩带的一部分,二者可归为同一时代的产物,说明清水泉蛇绿岩带在空间上沿南南西方向展布而非前人认为的北西向延伸后与乌妥蛇绿岩带重合。本文将从清水泉蛇绿岩的空间展布和形成时代出发来论述该镁铁-超镁铁质杂岩的发现及其年代学意义。

1 区域地质概况

研究区位于青藏高原东北部,东昆仑造山带东段。东昆仑造山带的形成经历了漫长而复杂的构造演化过程,阿尔金左行走滑断裂将其与西邻的西昆仑造山带隔开,二者合称为昆仑造山带。前人对东昆仑造山带东段曾提出多种不同的构造单元划分方案^[11-13],多数认为东昆仑造山带东段存在 2 条时代各异的蛇绿混杂岩带,北为东昆中蛇绿混杂岩带,南为布青山-阿尼玛卿蛇绿混杂岩带或东昆南蛇绿混杂岩带。基于此,对东昆仑造山带构造单元的划分多

强调以两大缝合带为界将东昆仑划分为三大构造单元。其中以许志琴等的划分最具代表性,由北向南划分为昆北地体、昆南地体及巴颜喀拉地体三大构造单元,其内部分别以昆中缝合带和昆南缝合带分界。根据前人的研究,本文将东昆仑构造带从北至南依次划分为:东昆北构造带、东昆南构造带、布青山-阿尼玛卿构造带、巴颜喀拉造山带,从南向北分别被东昆中断裂、东昆南断裂及布青山-阿尼玛卿构造带南侧的一条构造混杂岩带所分隔(图 1)。不同构造单元的物质组成和结构构造存在很大的差别,反映它们具有不同的构造演化特征。

研究区位于东昆中构造带内,东昆南断裂和东昆中断裂之间。前人认为沿东昆中断裂分布的蛇绿岩具有多期性,是多期次、多旋回裂解拼合作用的综合产物^[14],其时代存在晋宁期、加里东期和海西期等 3 个不同的时代。清水泉蛇绿岩带分布于东昆中断

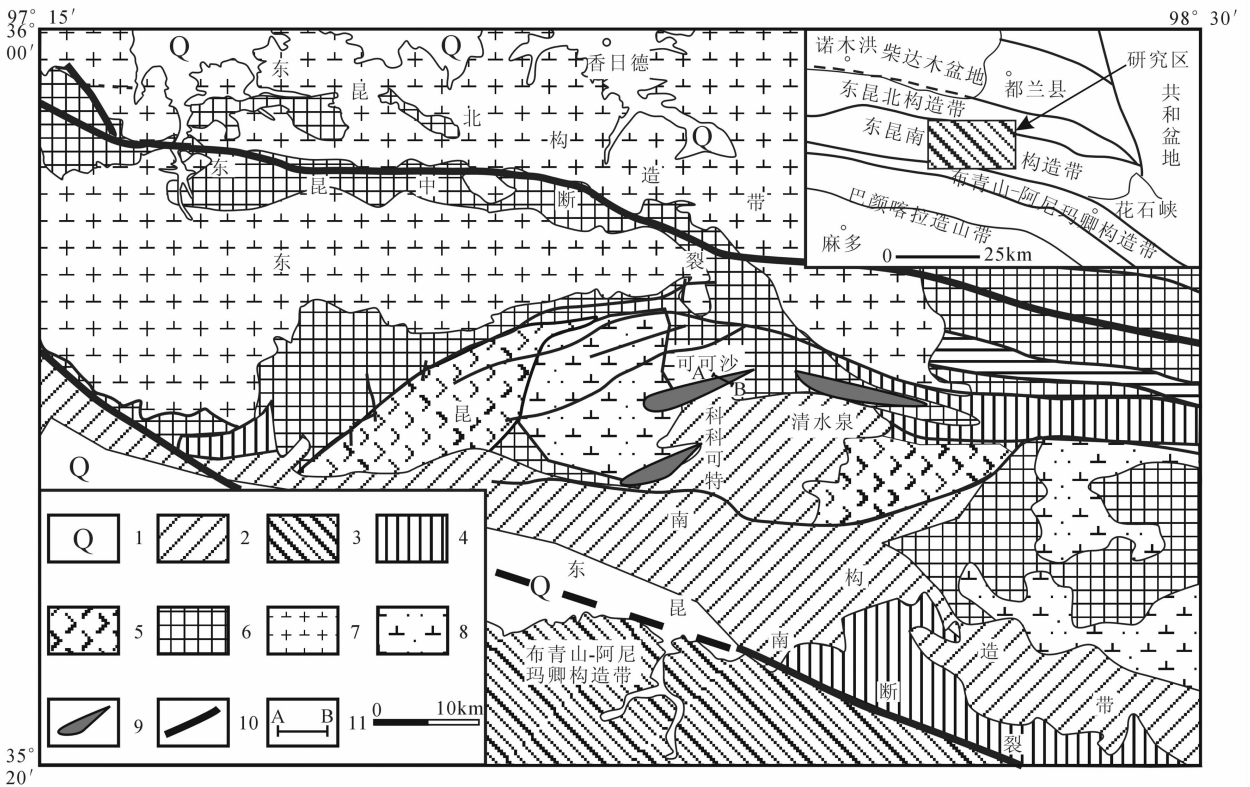


图 1 东昆仑都兰可可沙地区地质简图

1—第四系;2—晚二叠世—早三叠世碎屑岩系(包括格曲组、洪水川组、闹仓坚沟组);3—早二叠世马尔争组;4—石炭纪哈拉郭勒组和浩特洛洼组;5—早古生代纳赤台岩群;6—中元古代金水口岩群小庙岩组及白沙河岩组;7—海西—印支期花岗岩闪长岩;8—加里东期石英闪长岩;9—清水泉及可可沙地区蛇绿混杂岩;10—边界断裂;11—镁铁质杂岩剖面实测地点

Fig.1 Geological sketch map of the Kekesha area of Dulan County in East Kunlun region

1—Quaternary;2—Late Permian—Early Triassic detrital rocks(composed of Gequ Formation, Hongshuichuan Formation and Naocangjiangou Formation);3—Early Permian Ma'erzheng Formation;4—Carboniferous Halaguole Formation and Haoteluowa Formation;5—Early Paleozoic Nachitai Group;6—Xiaomiaomiao Formation and Baishahe Formation of Mesoproterozoic Jinshuikou Group;7—Hercynian—Indosinian granodiorite;8—Caledonian quartz-diorite;9—Ophiolite mélange of Qingshuiquan and Kekesha area; 10—Boundary fault;11—Location of measured mafic complex section

裂带中央,紧邻乌妥蛇绿岩带南侧,在清水泉附近呈近东西向,过加鲁河后转向南西西指向可可沙沟,而可可沙—科科可特地区镁铁—超镁铁质杂岩的发现表明清水泉蛇绿混杂岩带在空间上沿南南西方向延伸并展布,指向东昆南断裂,延伸长度约 100 km。可可沙位于清水泉正西方向约 15 km 处,科科可特位于可可沙以南 10 km 处。

2 镁铁—超镁铁质杂岩体特征

2.1 地质特征

科科可特地区的镁铁—超镁铁质杂岩宏观上主要呈多个岩片或混杂状堆积零散分布在三叠纪闹仓坚沟组灰质砾岩、砂板岩中,二者为构造接触关系,构造混杂带内岩石强烈破碎且相互混杂,整体出露宽度超过 200 m。岩体均为无根构造块体,多呈不规则状或条带状,呈 NE—SW 向展布,与东昆仑东段地区的区域构造线方向基本一致,反映其受到该区后期的构造破坏较为严重。岩石组合主要为蛇纹石化橄榄岩、二辉橄榄岩、中粗粒辉长岩及辉石岩、蚀变玄武岩,为一套较为明显的蛇绿混杂岩组合。

可可沙地区的镁铁—超镁铁质杂岩在宏观露头上表现为一系列宽窄不一的构造残片,总体宽度约 350 m,展布方向为 NE—SW 向,与该区的区域构造线方向基本一致,与科科可特地区镁铁—超镁铁质杂岩可以很好地对应起来,有向南南西向延伸的趋势。岩石组合为辉石岩和辉长岩,其围岩主要为古元古代白沙河岩组(Pt_{1b}),为一套变质程度总体为高角闪岩相、局部达低麻粒岩相的变质地层。其主要岩石组合有浅粒岩—变粒岩、片麻岩、斜长角闪岩—麻粒岩和大理岩—钙硅粒岩类,变质基性岩由玄武岩或与玄武岩相当的基性火成岩变质而来,长英质变粒岩中部

分为正常沉积碎屑岩,部分为酸性火山岩^[15-18]。镁铁质杂岩与围岩均为高角度断层接触(图 2),与围岩相互混杂在一起。在接近断层边界的地方,岩体破碎及风化蚀变较为强烈。

2.2 岩相学特征

科科可特地区镁铁—超镁铁质杂岩体岩石组合较为丰富,主要由次闪石化蛇纹石化橄榄岩、角闪石化二辉橄榄岩、次闪石化中粗粒辉长岩、蚀变玄武岩组成,为一套明显的蛇绿混杂岩组合;而可可沙镁铁质杂岩岩性则较为单一,为一套深灰—灰绿色角闪石化、滑石化和蛇纹石化中细粒辉长岩、辉石岩,蚀变严重,局部为全蚀变基性岩。

可可沙地区的辉长岩、辉石岩呈绿—墨绿色,块状构造,暗色矿物含量高,显微镜下主要特征如下:

辉长岩:半自形柱状鳞片变晶结构及变辉长结构,块状构造或弱片理化构造。粒径以 0.5~2 mm 为主,少数达到 2~4 mm。由斜长石 35%~40%和暗色矿物(主要为角闪石、滑石和蛇纹石)60%~65%组成,含少量磷灰石和金属矿物。可见斜长石的钠黝帘石化和暗色矿物的滑石化、角闪石化。其中斜长石多为 0.3~1mm,少数为 1~2 mm,表面浑浊,蚀变强烈,以钠黝帘石化为主,多已分解为绿帘石、黝帘石、绿泥石及绢(白)云母集合体,部分蚀变极强,仅保留其假象,局部见半自形柱状斜长石。角闪石呈浅绿色,表面色调不均匀,见有“角闪石式”解理,以具有鲜艳色彩的阳起石为主,仅少量为无色透闪石,呈粒状、纤柱状单晶,局部见“辉石假象”,粒径以 0.5~1mm 为主。滑石镜下为极淡绿色,鳞片状,以 0.3 mm×0.1 mm~1.5 mm×0.3 mm 为主,多见褶曲及两端尖灭状,且分布略具方向性。其间常混杂绿泥石鳞片,局部有棕色黑云母,并见有绿泥石化,析出铁质物。蛇纹石为暗绿色,呈不规则

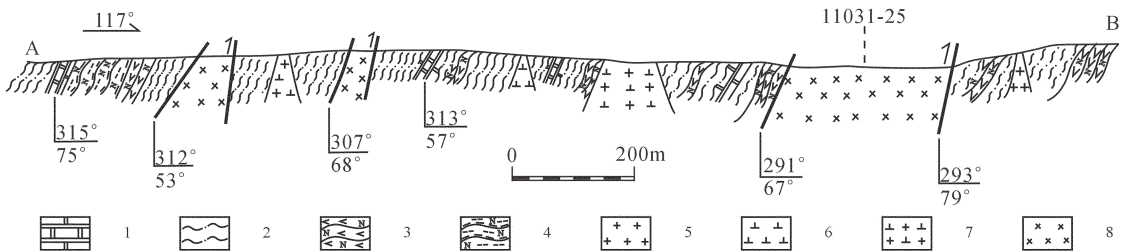


图 2 东昆仑都兰可可沙地区镁铁质杂岩体实测剖面

1—大理岩;2—变粒岩;3—斜长角闪岩;4—黑云斜长片麻岩;5—花岗岩;6—闪长岩;7—花岗闪长岩;8—镁铁质杂岩

Fig.2 Measured mafic complex section in Kekesha area of Dulan County in East Kunlun region

1—Marble;2—Granulite;3—Amphibolite;4—Biotite plagioclase gneiss;5—Granite;6—Diorite;7—Granodiorite;8—Mafic mélange

片状、鳞片状,以 0.3~0.5 mm 为主。

辉石岩:半自形粒状变晶结构粒状,块状构造或弱片理化构造。矿物组成为:斜长石 5%~10%,暗色矿物(主要为滑石和蛇纹石)90%~95%。暗色矿物的变晶以绿帘石为主,多为 0.05~0.3 mm,呈不规则集合体状。斜长石呈脉状展布,局部见有“斜长石假象”,仅见少量斜长石残留,并且在绿帘石晶间或集合体中常见微细鳞片状绿泥石及微晶黝帘石。蛇纹石为暗绿色,呈不规则片状、鳞片状,以 0.3~0.5 mm 为主,局部见“橄榄石假象”。由于岩石蚀变较为严重,矿物多见粒化及变形,局部见少量半自形-他形柱粒状辉石颗粒。岩石矿物组成为典型的镁铁质岩石,其原岩应为辉石岩或橄榄辉长岩。

科科可特地区的辉长岩-辉石岩与可可沙地区岩石特征基本一致。橄榄岩则几乎全部蚀变为蛇纹岩,岩石呈深灰-黑色,具粒状变晶结构,块状构造,镜下见海绵陨铁结构,主要由蛇纹石(>80%)和滑石(10%左右)及金属矿物(10%左右)组成。蛇纹石为主要蚀变矿物,多为鳞片状,常呈集合状产出,粒径为 0.3~0.5mm,形态呈不规则状,可见短柱状,并混杂少量不规则他形粒状集合体,在各种形状蛇纹石集合体间弥漫尘状或他形粒状金属矿物,局部零星散布铬尖晶石晶粒。

3 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄

为了获取可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩的形成时代,采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年法对可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩中的锆石进行了测试。测年样品采自东昆仑都兰可可沙地区,采样点地理坐标为 35°39.697'N, 97°56.879'E, 样品编号为 11031-25,岩性为灰绿-深绿色中细粒辉长岩。

3.1 分析方法

用于测年的锆石样品是按常规重力和磁选方法分选,而后在双目镜下挑选晶型完好的无色透明锆石颗粒制作样靶,用环氧树脂固定,固化后抛光使锆石表面暴露,用于阴极发光(CL)研究和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素组成分析。阴极发光在西北大学大陆动力学国家重点实验室扫描电镜加载阴极发光仪上完成。

锆石 U-Pb 同位素组成分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)仪上完成。分析仪器为配备有

193 nmA Rf-excimer 激光器的 Geo-Las200M 型(Microlas Gottingen Germany)激光剥蚀系统和 Elan6100DRC 型四极杆质谱仪。分析采用激光剥蚀孔径 30 μ m,剥蚀深度 20~40 μ m,激光脉冲为 10 Hz,能量为(32~36) mJ。测试中用人工合成的硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器最佳化。锆石年龄计算采用国际标准锆石 91500 作为外标校正,每测定 5 个分析点后插入一次标样测定,以确保标样和样品的仪器条件完全一致。在所测锆石样品分析前后各测一次 NIST610,同时以 ^{29}Si 作为内标测定锆石的 U、Th、Pb 含量。用锆石 91500 进行外标校正同位素组成。LA-ICP-MS 分析的详细方法和流程见袁洪林等^[19]描述。

样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER(ver4.0,Macquarie University)程序,并采用 Andersen 软件对测试数据进行普通铅校正,年龄计算及谐和图绘制采用 ISOPLOT(2.49 版)软件完成。所有数据点年龄值的误差均为 1σ ,采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,其加权平均值具 95%的置信度^[20-21]。

3.2 锆石特征

从样品 11031-25 中挑选出的锆石均为透明-半透明长柱状、半截锥状及板柱状晶体,自形程度一般,颗粒的粒径为 100~300 μ m,裂隙较为发育,多为无规律交切,多数锆石已成残片,晶体长宽比为 1:1~4:1。在阴极发光图像(CL)上,锆石显示较强的发光性,多呈白色-灰色。大部分锆石发育较窄的增生边,部分锆石可见到岩浆锆石典型的生长韵律环带及黑白相间的条带结构,少数锆石内部出现不规则状、颜色不均一的暗色区,可能为暗色包裹体或较老的捕获锆石残留体(图 3)。

锆石 U-Pb 分析测试数据见表 1,共分析测试了 25 个点。锆石 ^{232}Th 和 ^{238}U 含量分别为 42.15×10^{-6} ~ 1365.56×10^{-6} (多数在 121.47×10^{-6} ~ 530.92×10^{-6})和 102.87×10^{-6} ~ 2003.82×10^{-6} (多数在 302.07×10^{-6} ~ 986.02×10^{-6}),具有较为明显的正相关性(图 4)。其值变化范围较大,11031-25-22、11031-25-23、11031-25-25 这 3 个点的 ^{232}Th 和 ^{238}U 含量有些偏高。Th/U 比值,绝大多数点都大于 0.4,最高达到 1.4,反映锆石为典型的岩浆成因。

3.3 锆石 U-Pb 年龄

所有的样品点在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图上均表现为较好的谐和性(图 5),年龄值较为集中,除

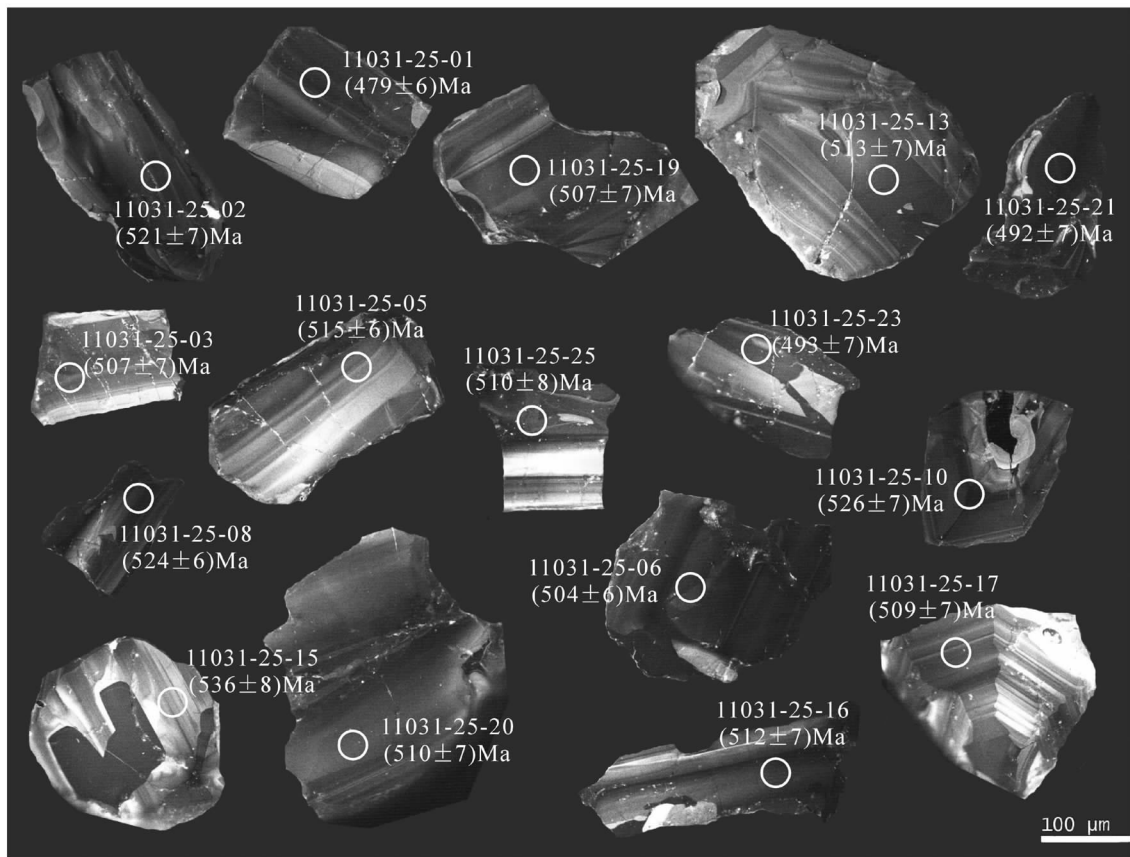


图 3 东昆仑都兰可可沙地区辉长岩(11031-25)中锆石的阴极发光(CL)图像
 Fig.3 Cathodoluminescence(CL) images of selected zircons in gabbro(sample 11031-25) from Kekesha area of Dulan County in East Kunlun region

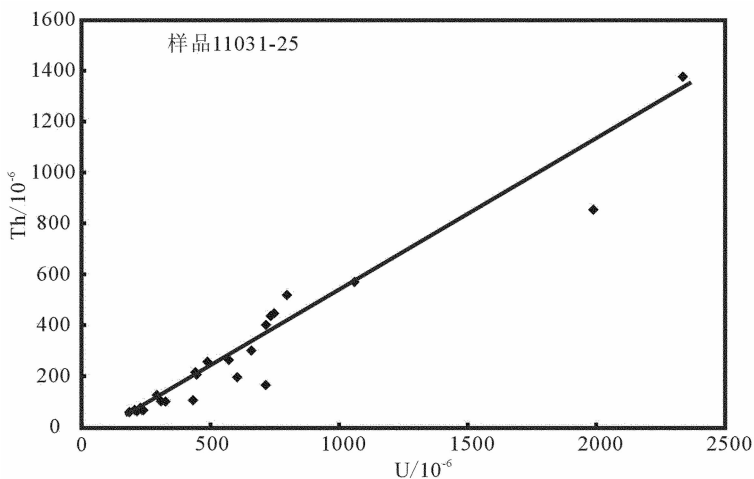


图 4 东昆仑都兰可可沙地区镁铁质杂岩(11031-25)中锆石 Th-U 图解
 Fig.4 Zircon Th-U diagram of mafic complex(11031-25)from Kekesha area of Dulan County in East Kunlun region

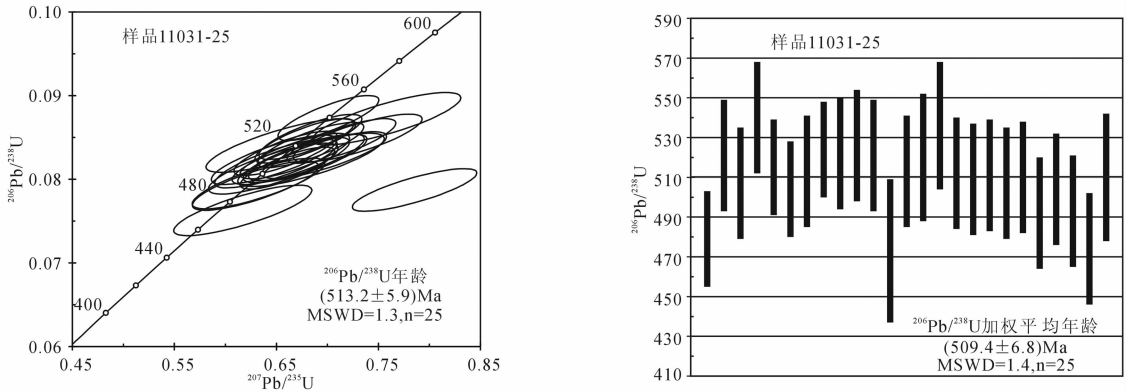


图 5 东昆仑都兰可可沙地区辉长岩(11031-25)锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig.5 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams and histograms of weighted average ages of gabbro (sample 11031-25) from Kekesha area of Dulan County in East Kunlun area

一个点偏离谐和线,存在一定的 Pb 丢失外,其余点均集中分布在谐和线上,其下交点年龄为 $(513.2 \pm 5.9)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.3$), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(509.4 \pm 6.8)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.4$)。样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄在误差范围内是可信的,代表了东昆仑可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩的结晶年龄。因此,笔者认为东昆仑可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩的结晶年龄为 509 Ma,形成时代为中寒武世。

4 讨论

清水泉蛇绿岩带是东昆仑地区一条较为重要的构造混杂岩带,前人对其年龄做了许多重要的限定,时代从中元古代至早古生代不等。笔者对清水泉西侧可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩中的辉长岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年后,获得了 $(509.4 \pm 6.8)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.4$) 的 U-Pb 同位素年龄。由于单矿物锆石 U-Pb 同位素定年法较火山岩的全岩 Sm-Nd 等时线定年法精确,后者获得的年龄误差较大且普遍偏老。因此,清水泉蛇绿岩的形成年龄为 $(509 \sim 522)\text{Ma}$,属于早古生代早—中寒武世。

东昆仑可可沙—科科可特地区镁铁-超镁铁质杂岩的发现表明清水泉蛇绿岩带空间上向西沿南南西方向展布而非前人认为的北西向延伸后与乌妥蛇绿岩带近于重合。该镁铁-超镁铁质杂岩的空间展布方向及构造线方向与东昆仑可可沙地区的区域构造线 NNE-SSW 方向基本一致,有向南侧东昆南断裂上延伸并交切的趋势,与前人认为的清水泉蛇绿

岩带向西呈 NWW 走向且与该区区域构造线方向斜交的认识完全不同。

通过对东昆仑可可沙地区镁铁质杂岩及科科可特地区镁铁-超镁铁质岩石研究,不论是从岩相学还是从清水泉—可可沙—科科可特蛇绿混杂岩带的空间展布、延伸方向及形成时代上看,可可沙—科科可特地区的镁铁-超镁铁质杂岩都可与清水泉蛇绿岩很好地联系起来。因此,东昆仑可可沙—科科可特地区的镁铁-超镁铁质岩石是清水泉蛇绿岩的一部分,后期构造活动才将其分开成彼此孤立的残片。结合可可沙地区镁铁-超镁铁质混杂岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果,笔者认为东昆仑造山带在早古生代早期存在一期明显的洋壳扩张事件。在整个中央造山带(昆仑造山带、柴北缘构造带、祁连造山带和秦岭造山带)中,寒武纪岩浆-变质事件的年代学证据已被陆续发现,表明寒武纪的构造热事件具有区域性。该构造热事件可能是东昆仑地区对前寒武纪的 Rodinia 超大陆裂解之后大陆重新汇聚碰撞的一次区域上的响应。越来越多的资料显示,中国西部地区 1000 Ma 左右的新元古代板块或陆块聚合的构造热事件广泛存在,种种迹象还显示,中元古代末的聚合事件使得西部地区众多的微陆块(或微板块)聚合,包括整个华南、松潘、柴达木—中祁连—阿拉善、塔里木、中天山、中昆仑等地块都拼合成统一的块体,并统一到全球系统的 Rodinia 超大陆体系中。目前,已经有大量的证据支持西部地区曾发生 Rodinia 超大陆的聚合事件^[22-25],而早古生代早期的

表 1 东昆仑都兰可可沙地区辉长岩 (11031-25) 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analyses of gabbro from Kekesha area of Dulan County in East Kunlun region

测试点号	元素含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值及误差										表面年龄/Ma				
	^{206}Pb	^{232}Th		^{238}U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
11031-25-01	101	95	302	0.31	0.05711	0.0029	0.6077	0.0298	0.07718	0.00104	0.02397	0.00028	496	115	482	19	479	6
11031-25-02	114	123	324	0.38	0.05793	0.00252	0.6727	0.0280	0.08422	0.00110	0.02612	0.00028	527	98	522	17	521	7
11031-25-03	138	121	373	0.33	0.06279	0.00385	0.708	0.0423	0.08179	0.00113	0.02513	0.00038	701	134	544	25	507	7
11031-25-04	211	204	583	0.35	0.05821	0.00172	0.701	0.0202	0.08732	0.00110	0.02789	0.00069	538	41	539	12	540	7
11031-25-05	128	178	373	0.48	0.05749	0.00184	0.6588	0.0206	0.0831	0.00108	0.02547	0.00065	510	46	514	13	515	6
11031-25-06	325	531	967	0.55	0.05891	0.00173	0.6608	0.0190	0.08134	0.00103	0.02540	0.00061	564	40	515	12	504	6
11031-25-07	106	108	310	0.35	0.06097	0.00224	0.6969	0.0250	0.08289	0.00114	0.02654	0.00078	638	53	537	15	513	7
11031-25-08	340	561	975	0.58	0.05809	0.00175	0.6777	0.0199	0.0846	0.00108	0.02615	0.00065	533	42	525	12	524	6
11031-25-09	97	42	279	0.15	0.0574	0.00244	0.6678	0.0270	0.08438	0.00115	0.02620	0.00031	507	96	519	16	522	7
11031-25-10	345	442	986	0.45	0.05826	0.0018	0.6834	0.0206	0.08506	0.00110	0.02666	0.00068	540	43	529	12	526	7
11031-25-11	336	423	974	0.43	0.05895	0.00189	0.6836	0.0213	0.0841	0.00110	0.02571	0.00068	565	45	529	13	521	7
11031-25-12	62	244	173	1.41	0.06185	0.00801	0.6494	0.0832	0.07615	0.00142	0.02343	0.00027	669	290	508	51	473	9
11031-25-13	234	470	691	0.68	0.05854	0.00198	0.6681	0.0220	0.08276	0.00111	0.02556	0.00069	550	48	520	13	513	7
11031-25-14	35	43	103	0.42	0.05648	0.00266	0.6545	0.0300	0.08403	0.00131	0.02674	0.00093	471	74	511	18	520	8
11031-25-15	137	187	403	0.47	0.05887	0.0034	0.7044	0.0393	0.08678	0.00130	0.02686	0.00032	562	129	541	23	536	8
11031-25-16	468	813	1396	0.58	0.05965	0.0021	0.6795	0.0232	0.08261	0.00114	0.02519	0.00072	591	50	509	14	512	7
11031-25-17	305	463	916	0.51	0.0586	0.00214	0.6642	0.0235	0.0822	0.00115	0.02496	0.00074	552	53	517	14	509	7
11031-25-18	240	223	720	0.31	0.05962	0.00225	0.6782	0.0248	0.08248	0.00118	0.02515	0.00078	590	54	526	15	511	7
11031-25-19	195	240	589	0.41	0.05754	0.00225	0.6496	0.0246	0.08188	0.00119	0.02534	0.00080	512	57	508	15	507	7
11031-25-20	183	177	551	0.32	0.05706	0.00229	0.6478	0.0252	0.08232	0.00121	0.02466	0.00080	494	60	507	16	510	7
11031-25-21	400	132	1262	0.1	0.05762	0.0024	0.6296	0.0253	0.07923	0.00120	0.02487	0.00089	515	62	496	16	492	7
11031-25-22	752	1366	2317	0.59	0.05772	0.0024	0.6469	0.0260	0.08127	0.00124	0.02481	0.00083	519	61	507	16	504	7
11031-25-23	440	1178	1392	0.85	0.05769	0.00251	0.6324	0.0266	0.07949	0.00124	0.02448	0.00084	518	65	498	17	493	7
11031-25-24	331	502	1093	0.46	0.05866	0.00273	0.6171	0.0277	0.07628	0.00123	0.02400	0.00088	555	70	488	17	474	7
11031-25-25	655	1072	2004	0.54	0.06025	0.00268	0.6841	0.0293	0.08232	0.00130	0.02604	0.00093	613	65	529	18	510	8

注:测试点中 25 个点均为有效点。

寒武纪正是 Rodinia 超大陆裂解后昆仑地区处于整体离散、局部碰撞的时期。中国西部的东昆仑构造域东段表现出自北而南变年轻的时空演化规律,且中央造山带北部出露的早古生代蛇绿岩代表了前人所指的原特提斯构造域,从而说明中央造山带的动力学过程也应纳入冈瓦纳大陆裂解和亚洲大陆增生的总动力学系统之中^[26-28]。由于东昆仑地区夹持在南部冈瓦纳大陆与北部华北板块之间,因此构造演化在一定程度上受到来自冈瓦纳和两大板块的影响。早古生代时,中国诸陆块位于古亚洲洋与原特提斯洋之间,构成更为接近冈瓦纳大陆北侧的多岛-弧盆系的东端^[29-32]。而前人还认为东昆仑地区早古生代时属于多个洋岛共同发育的地区,造山作用并不完全遵循威尔逊旋回的经典理论,而是一个多期次的复杂的造山过程^[33-34],这也表明东昆仑清水泉-可可沙地区在早古生代时很有可能处于洋壳扩张阶段。

东昆仑东段的早古生代古洋壳在 Rodinia 超大陆裂解后不断扩张,可能于寒武纪达到巅峰,可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩的发现为它提供了直接的证据。从清水泉-可可沙-科科可特一带蛇绿岩的延伸方向和空间展布上看,东昆仑东段洋在早古生代的展布方向应该是 NW-SE 向展布,受到整个东昆仑地区后期区域构造的影响,形成一条与区域构造线方向基本一致的向北西方向凸出的断续排列的蛇绿混杂岩带。此外,清水泉蛇绿混杂岩带向东昆南断裂的延伸还进一步表明东昆仑东段的早古生代古洋壳的形成演化与南部原特提斯洋东缘的扩张演化有一定的相关性,很有可能在早古生代的时候与后者连通在一起。因此,东昆仑可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩的发现为原特提斯洋东缘以及东昆仑东段的构造演化提供了新的年代学证据。

由于东昆仑地区处在东昆仑造山带、西秦岭造山带及松潘-甘孜造山带三者结合的特殊构造部位,在各个地质时期均受到来自其周围不同构造单元较大的构造活动影响,不能简单地从某一方面的构造影响来讨论其演化过程,而应该综合其他方面的资料和成果来探讨其运动学过程与机制。因此,笔者认为,对于整个东昆仑地区及原特提斯洋东缘的演化,还需要做大量的研究工作,只有将整个东昆仑地区周边的构造演化及动力学背景研究清楚才能真正从根源上解决东昆仑地区的大地构造背景和动力

学机制问题。

5 结论

(1)东昆仑都兰可可沙地区发现了一套前人未见报道的镁铁-超镁铁质杂岩带,其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $(509.4 \pm 6.8)\text{Ma}$ (MSWD=1.4),表明其形成时代为早古生代中寒武世。

(2)该杂岩带在岩相学及形成时代上与其东侧清水泉蛇绿岩中的镁铁质岩极为相似,因此,前者应属于后者的一部分,同属清水泉蛇绿混杂岩带,并有向南西延伸至东昆南断裂的趋势,说明清水泉蛇绿岩带在空间上沿 SSW 方向展布而非前人认为的 NW 向延伸后与乌妥蛇绿岩带重合。

(3)清水泉-可可沙蛇绿混杂岩带代表了东昆仑东段地区在早古生代早期中寒武世正在扩张的一个古洋盆,很有可能是 Rodinia 超大陆裂解后东昆仑地区受到东特提斯洋东缘扩张的结果。

致谢:LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分析测试及数据的处理得到西北大学大陆动力学国家重点实验室弓虎军博士、柳小明博士和第五春荣博士的大力支持,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- [1] 高延林, 吴向农, 左国权. 东昆仑山清水泉蛇绿岩特征及其大地构造意义 [J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1988, (21): 17-28.
Gao Yanlin, Wu Xiangnong, Zuo Guoquan. Characteristic of the Qingshuiquan ophiolite and its tectonic significance in East Kunlun Mountains [J]. The Journal of Xi'an Institute of Geology and Minerals Resources of Chinese Academy of Geological Sciences, 1988, (21): 17-28(in Chinese).
- [2] 郑健康. 东昆仑区域构造的发展演化[J]. 青海地质, 1992, (1): 15-25.
Zheng Jiankang. Tectonic development and evolution in Eastern Kunlun area [J]. Qinghai Geology, 1992, (1): 15-25(in Chinese).
- [3] 朱云海, 张克信, Pan Yuanming, 等. 东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(2): 134-137.
Zhu Yunhai, Zhang Kexin, Pan Yuanming, et al. Determination of different ophiolitic belts in eastern Kunlun orogenic zone and their tectonic significance[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24 (2): 134-137 (in Chinese with English abstract).
- [4] 朱云海, 张克信, 王国灿, 等. 东昆仑复合造山带蛇绿岩、岩浆岩及构造岩浆演化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002: 5, 104-105.

- Zhu Yunhai, Zhang Kexin, Wang Guocan, et al. Evolution of Ophiolite, Magma and Tectonic Magma in Eastern Kunlun Compound Orogenic Belt [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press,2002;5, 104 -105 (in Chinese with English abstract).
- [5] Yang Jingsui, Robinson P T, Jiang Chunfa, et al. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications [J]. Tectonophysics, 1996, 258:299-305.
- [6] 陆松年, 于海峰, 赵凤清, 等. 青藏高原北部前寒武纪地质初探 [M]. 北京:地质出版社, 2002:1-125.
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Zhao Fengqing, et al. A Preliminary Study of Pre-Cambrian Geology in the North Part of Qinghai-Tibetan Plateau [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2002; 1-125(in Chinese with English abstract).
- [7] 王国灿, 张天平, 梁斌, 等. 东昆仑造山带东段昆中复合蛇绿混杂岩带及“东昆中断裂带”地质涵义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(2):129-133.
- Wang Guocan, Zhang Tianping, Liang Bin, et al. Composite ophiolitic melange zone in central part of eastern section of Eastern Kunlun orogenic zone and geological significance of “Fault Belt in central part of eastern section of Eastern Kunlun orogenic zone” [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(2):129-133(in Chinese with English abstract).
- [8] 李怀坤, 陆松年, 相振群, 等. 东昆仑中部缝合带清水泉麻粒岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(6):311-321.
- Li Huaikun, Lu Songnian, Xiang Zhenqun, et al. SHRIMP U-Pb zircon age of the granulite from the Qingshuiquan area, central eastern Kunlun suture zone [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13 (6):311-321.
- [9] 解玉月. 昆中断裂东段不同时代蛇绿岩特征及形成环境 [J]. 青海地质, 1998, (1):27-35.
- Xie Yuyue. Features of ophiolite with different period in the eastern sector of middle Kunlun fault and its original environment [J]. Qinghai Geology, 1998, (1):27 -35 (in Chinese with English abstract).
- [10] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造[M]. 北京:地质出版社, 1992.
- Jiang Chunfa, Yang Jingsui, Feng Binggui, et al. Opening-Closing Tectonics in Kunlun Area [M]. Beijing:Geological Publishing House,1992(in Chinese with English abstract).
- [11] 边千韬, 罗小全, 李涤徽, 等. 青海省阿尼玛卿带布青山蛇绿混杂岩的地球化学性质及形成环境[J]. 地质学报, 2001, 75(1):45-55.
- Bian Qiantao, Luo Xiaoquan, Li Dihui, et al. Geochemistry and formation environment of the Buqingshan ophiolite complex, Qinghai Province, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(1): 45-55(in Chinese with English abstract).
- [12] 边千韬, 罗小全, 李红生, 等. 阿尼玛卿山早古生代和早石炭-早二叠世蛇绿岩的发现[J]. 地质科学, 1999, 34(4):523-524.
- Bian Qiantao, Luo Xiaoquan, Li Hongsheng, et al. Discovery of Early Paleozoic and Early Carboniferous-early Permian ophiolites in the A'nyemaqen, Qinghai Province, China [J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34(4):523-524(in Chinese with English abstract).
- [13] 许志琴, 杨经绥, 陈方远. 阿尼玛卿缝合带及“俯冲-碰撞”动力学[C]//张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京:地质出版社, 1996:185-189.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Chen Fangyuan. The A'nyemaqen suture belt and the dynamics in subduction and Collision [C]// Zhang Qi (ed.). Study of Ophiolite and Geodynamics. Beijing: Geological Publishing House, 1996:185 -189 (in Chinese with English abstract).
- [14] 殷鸿福, 张克信. 东昆仑造山带的一些特点[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22(4):339-342.
- Yin Hongfu, Zhang Kexin. Characteristics of the eastern Kunlun orogenic belt [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1997, 22 (4):339 -342 (in Chinese with English abstract).
- [15] 王国灿, 张克信, 梁斌, 等. 东昆仑造山带结构及构造岩片组合 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22(4):352-356.
- Wang Guocan, Zhang Kexin, Liang Bin, et al. Texture and tectonic slices of the Eastern Kunlun orogenic belt [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1997, 22 (4):352-356(in Chinese with English abstract).
- [16] 青海省地质矿产局. 青海省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997.
- Bureau of Geology and Minerals Resources of Qinghai Province. Strata of Rocks in Qinghai Province [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1997 (in Chinese with English abstract).
- [17] 陈能松, 朱杰, 王国灿, 等. 东昆仑造山带东段清水泉高级变质岩片的变质岩石学研究 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(2):116-120.
- Chen Nengsong, Zhu Jie, Wang Guocan, et al. Metamorphic petrological features of high-grade metamorphic microlithons in Qingshuiquan region, eastern section of Eastern Kunlun orogenic zone [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24 (2):116 -120 (in Chinese with English abstract).
- [18] 陈能松, 李晓彦, 张克信, 等. 东昆仑山香日德南部白沙河岩组的岩石组合特征和形成年代的锆石 Pb-Pb 定年启示[J]. 地质科技情报, 2006, 25(6):1-7.
- Chen Nengsong, Li Xiaoyan, Zhang Kexin, et al. Lithological characteristics of the Baishahe formation to the south of Xiangride town, eastern Kunlun mountains and its age constrained from zircon Pb-Pb dating [J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(6):1-7(in Chinese with English abstract).
- [19] Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Geostandards and Geoanalytical Research,2004, 28(3):353-370.

- [20] Anderson T. Correction of common Pb in U-Pb analyses that donot report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1/2):59-79.
- [21] Ludwig K R. Isoplot/Ex, Version 2.49. A Geochronological Tool-kit it for Microsoft Excel [M]. Berkeley:Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1999:47.
- [22] 拜永山, 常革红, 谈生祥. 东昆仑东段加里东造山旋回侵入岩特征研究[J]. 青海地质, 2001:28-35.
Bai Yongshan, Chang Gehong, Tan Shengxiang. Study on the features of Caledonian intrusive rocks in the eastern sector of East Kunlun [J]. Qinghai Geology, 2001:28-35 (in Chinese with English abstract).
- [23] 陈能松, 孙敏, 王勤燕, 等. 东昆仑造山带中带的锆石 U-Pb 定年与构造演化启示[J]. 中国科学(D 辑), 2008, 38(6):657-666.
Chen Nengsong, Sun Min, Wang Qinyan, et al. The implication of zircon U-Pb dating and tectonic evolution in the middle section of East Kunlun orogenic belt [J]. Science in China(series D), 2008, 38(6):657-666(in Chinese).
- [24] 姜春发, 王宗起, 李锦轶, 等. 中央造山带开合构造[M]. 北京:地质出版社, 2000:1-107.
Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jinyi, et al. Opening-Closing Tectonics of the Central Orogenic Belt [M]. Beijing:Geological Publishing House,2000:1-107(in Chinese with English abstract).
- [25] 王国灿, 魏启荣, 贾春兴, 等. 关于东昆仑地区前寒武纪地质的几点认识[J]. 地质通报, 2007, 26(8):929-937.
Wang Guocan, Wei Qirong, Jia Chunxing, et al. Some ideas of Precambrian geology in the East Kunlun,China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (8):929-937 (in Chinese with English abstract).
- [26] Sengor A M C. Tectonics of the Tethysides, Orogenic collision development in a collisional setting [J]. Annual Review of Earth and Planet Sciences, 1987, 15:213-224.
- [27] Chen B W, Wang Y B. Some characteristics of orogenic belts in Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Southeastern Asian Earth Sciences,1996, 13:237-242.
- [28] 闫全人, 王宗起, 刘树文, 等. 青藏高原东缘构造演化的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学框架 [J]. 地质学报, 2006, 80(9): 1285-1294.
Yan Quanren, Wang Zongqi, Liu Shuwen, et al. Eastern margin of the Tibetan Plateau;a window to probe the complex geological history from the Proterozoic to the Cenozoic revealed by SHRIMP analyses [J].Acta Geological Sinica, 2006, 80 (9):1285-1294(in Chinese with English abstract).
- [29] 张旗, 周国庆, 王焰. 中国蛇绿岩的分布、时代及其形成环境[J]. 岩石学报, 2003, 19(1):1-8.
Zhang Qi, Zhou Guoqing, Wang Yan. The distribution of time and space of Chinese ophiolites, and their tectonic settings [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19 (1):1-8 (in Chinese with English abstract).
- [30] 尹福光, 潘桂棠, 李兴振, 等. 昆仑造山带中段蛇绿混杂岩的地质地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(2):194-200.
Yin Fuguang, Pan Guitang, Li Xingzhen, et al. Geological and geochemical characteristics of the ophiolite complex in the central section of the Kunlun Mountains [J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2004, 28(2):194-200(in Chinese with English abstract).
- [31] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成 [J]. 地质学报, 2006, 80 (12):1793-1806.
Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, et al. The early Palaeozoic terrene framework and the formation of the High-Pressure (HP) and Ultra-High Pressure (UHP) metamorphic belts at the Central Orogenic Belt (COB) [J]. Acta Geological Sinica, 2006, 80(12): 1793-1806(in Chinese with English abstract).
- [32] 边千韬, 赵大升, 叶正仁, 等. 初论昆祁秦缝合系 [J]. 地质学报, 2002, 23(6):501-508.
Bian Qiantao, Zhao Dasheng, Ye Zhengren, et al. A preliminary study of the Kunlun-Qilian-Qinling suture system [J]. Acta Geologica Sinica,2002, 23 (6):501-508 (in Chinese with English abstract).
- [33] 兰朝利, 李继亮, 何顺利. 古特提斯多岛洋洋-陆俯冲:木孜塔格蛇绿岩的矿物学证据 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(5):322-328.
Lan Chaoli, Li Jiliang, He Shunli. Ocean-continent subduction within the paleothethyan archiipelagic ocean from Muztag ophiolite [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 2007, 32(5):322-328(in Chinese with English abstract).
- [34] Yin A, Mark H T. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28:211-280.

The discovery of the mafic-ultramafic melange in Kekesha area of Dulan County, East Kunlun region, and its LA-ICP-MS zircon U-Pb age

FENG Jian-yun, PEI Xian-zhi, YU Shu-lun, DING Sa-ping, LI Rui-bao, SUN Yu, ZHANG Ya-feng, LI Zuo-chen, CHEN You-xin, ZHANG Xiao-fei, CHEN Guo-chao

(1. Key Laboratory of Western China Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Faculty of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources Exploration, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The East Kunlun region is a compound continental orogenic belt formed through Jinningian, Caledonian, Hercynian and Indosinian multi-stage cycles and contains quite a few important tectonic boundaries. Recently a suite of mafic-ultramafic melange was found in Kekesha area, 15 km west of Qingshuiquan area, during the 1:50000 regional geological survey. The LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic age of the gabbro from the mafic-ultramafic melange is about (509.4 ± 6.8) Ma (MSED = 1.4), corresponding well to the age of the Qingshuiquan ophiolite near the Mid-Kunlun fault. This result thus provides new chronological evidence for the western extension of the Qingshuiquan ophiolite zone and the evolution of the eastern part of the East Kunlun region in Early Paleozoic.

Key words: East Kunlun region; Kekesha area of Dulan County; mafic-ultramafic melange; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating

About the first author: FENG Jian-yun, male, born in 1985, master candidate, engages in the study of tectonics; E-mail: fengjianyun888@163.com.

About the corresponding author: PEI Xian-zhi, male, born in 1963, professor; E-mail: peixzh@sina.com.