

东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山地区两期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义

刘战庆,裴先治,李瑞保,李佐臣,张晓飞,刘智刚,陈国超,陈有炘,丁仁平,郭俊锋

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

内容提要:东昆仑南缘布青山地区是阿尼玛卿蛇绿构造混杂岩带的西延组成部分,由各种不同构造岩片混杂堆积而成。通过对布青山地区得力斯坦沟和哈尔郭勒两处蛇绿岩的详细野外调查、岩石组合研究,对两处蛇绿岩中的辉长岩分别进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年,得到 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $516.4 \pm 6.3 \text{ Ma}$ (MSWD=0.70)和 $332.8 \pm 3.1 \text{ Ma}$ (MSWD=0.75),分别代表了两处蛇绿岩中辉长岩的结晶年龄,表明布青山地区存在早寒武世和早石炭世两期蛇绿岩,这两期蛇绿岩的存在代表了布青山-阿尼玛卿构造带古洋盆两次扩张过程中岩浆活动的产物,表明了原特提斯洋与古特提斯洋的形成及其构造演化。

关键词:东昆仑南缘;阿尼玛卿构造带;布青山地区;蛇绿岩;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

阿尼玛卿构造带位于东昆仑造山带、西秦岭造山带、巴颜喀拉山造山带交接地区,是研究中国大陆构造及其大陆动力学的关键地区,是探索中国大陆多期次、多块体拼合、陆壳增生、消减机制的天然实验室,具有复杂的构造图像和拼合历史。前人研究认为阿尼玛卿构造带属于整个勉略构造带的西延部分(裴先治,2001;张国伟等,2003),位置上从玛曲县向西沿东昆仑南缘的玛沁德尔尼与花石峡,到布青山,再往西可以与东大滩南黑茨沟附近及木孜塔格山北坡的镁铁超镁铁岩块体(Molnar et al., 1987; Burchfiel et al., 1989, 边千韬等, 1999b, 2001)相连,全长约 600 km。因其夹持于西秦岭造山带、共和盆地、东昆仑造山带和南侧巴颜喀拉造山带之间,呈北西西—东西走向,是秦岭、昆仑、松潘、巴颜喀拉诸造山带汇交衔接的部位,是现今青藏高原东北边缘及北部与中央造山系复合的部位,也是东原特提斯和东古特提斯构造体系域复合交织的重要构造部位,在中国大陆的形成演化中占据重要地位(裴先治,2001;张国伟等,2003)。

阿尼玛卿构造带以存在大量的蛇绿岩为特征,因此也被称为阿尼玛卿蛇绿混杂岩带,以往与东昆中蛇绿混杂岩带一起被认为是东昆仑造山带两条时代各异的缝合带。一般认为阿尼玛卿蛇绿混杂岩带主体

代表了晚古生代古特提斯洋最北缘分支洋盆关闭后的洋壳残余体(边千韬等,1999b;陈亮等,2000,2001;裴先治,2001;杨经绥等,2004,2005;郭安林等,2006;Yang et al., 2009),近年在阿尼玛卿蛇绿混杂岩带中发现存在早古生代的岛弧型花岗闪长岩—英云闪长岩(边千韬,1999a,2007;李王晔等,2007)和早古生代的蛇绿岩(边千韬,1999b;Bian et al., 2004),表明阿尼玛卿构造带曾存在早古生代的洋壳,并发生过洋壳俯冲作用。以上论述表明阿尼玛卿蛇绿混杂岩同时存在早古生代和晚古生代两个时代的蛇绿岩带,这说明阿尼玛卿构造带具有复杂的构造演化历史。

尽管已有学者采用 Rb-Sr 等时线年龄和深水沉积岩中的疑源类化石来限定蛇绿岩的时代,并提出阿尼玛卿构造带西段布青山地区存在早古生代和晚古生代两期蛇绿岩(边千韬等,1999b),甚至还有学者提出晚二叠世—中三叠世的第三期蛇绿岩(姜春发等,1992;许志琴等,1996;Yang et al., 1996;王永标,1997;王国灿等,1999)。但该区由于处于构造混杂岩带内,物质组成相对更为复杂多样,因此精确测定该区蛇绿岩的形成时代,对查明该构造带的形成演化具有至关重要的意义。

本文在布青山地区 1:50000 区域地质填图基

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 40972136、40572121),中央高校基本科研业务费专项资金(编号 CHD2009JC053、CHD2009JC046、CHD2009JC070),青海省国土资源厅—中国铝业公司公益性区域地质矿产调查项目(中铝基金 200801)资助的成果。

收稿日期:2010-09-27;改回日期:2010-11-23;责任编辑:周健。

作者简介:刘战庆,男,1975年生。博士研究生,主要从事构造地质和区域地质研究。通讯地址:710054,西安市雁塔路南段126号,长安大学地球科学与环境学院;Email: liu_zq100157@sohu.com。通讯作者:裴先治,Email: peixzh@263.net。

基础上,选择阿尼玛卿构造带西段布青山地区的不同区段的蛇绿岩作为研究对象,试图通过高精度 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年研究,结合前人对该构造带及邻区蛇绿岩的研究成果,综合探讨该区蛇绿岩的形成时代,从而限定区域构造的洋-陆转化时限,恢复构造演化历史。

1 区域地质背景

布青山蛇绿构造混杂岩带位于阿尼玛卿构造带西段,呈 NWW 向延展,长约 60 km,宽约 10~20 km;西起东大滩,东至冬给措纳湖。北侧以东昆仑

断裂与东昆仑造山带分界,南侧以长石头山断裂与巴颜喀拉造山带分界。主要由不同岩石类型、不同时代、大小不一的构造岩块组成,构成典型的构造混杂岩带(图 1)。

该构造混杂岩带内的基质部分是二叠系一下三叠统马尔争组(PT_1m)复理石沉积,岩性主要为砂岩、杂砂岩、岩屑砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩、泥质板岩等碎屑岩组合,夹有硅质灰岩、灰岩和紫红色硅质泥质岩,具有明显的沉积韵律组合,主体为深水浊积岩组合。构造岩块主要包括以下类型:①不同时代的蛇绿岩岩片(块):多呈透镜状断续产出,与围岩呈

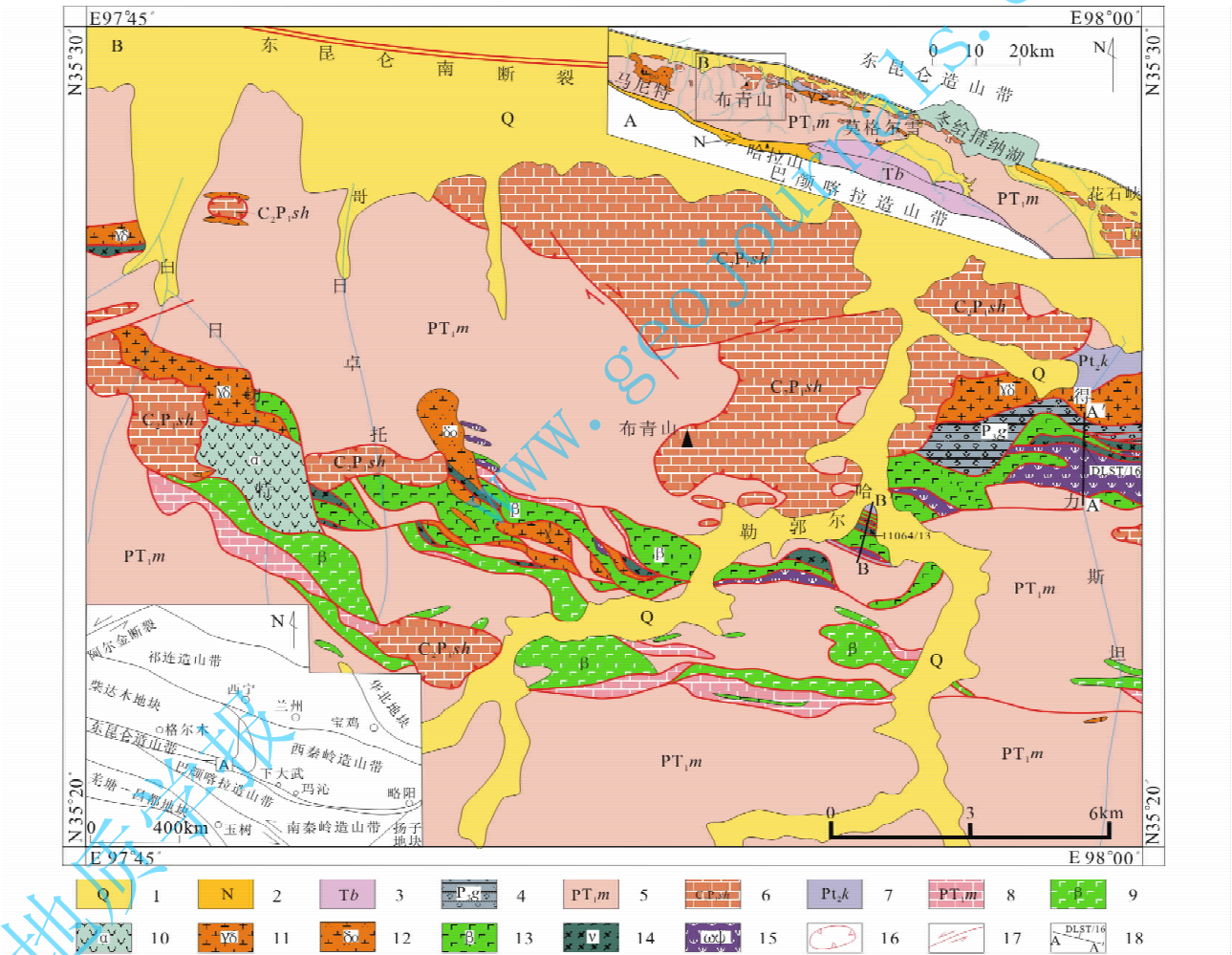


图 1 阿尼玛卿构造带布青山地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Buqingshan area of the A'nyemaqen orogenic belt

1—第四系;2—新近系;3—三叠系巴颜喀拉山群;4—上二叠统格曲组;5—二叠系一下三叠统马尔争组;6—上石炭统一下二叠统树维门科组灰岩;7—中元古代苦海岩群;8—海山/洋岛灰岩;9—海山/洋岛玄武岩;10—加里东期英安岩—安山岩;11—加里东期花岗闪长岩;12—印支期石英闪长岩;13~15—蛇绿岩;13—玄武岩;14—辉长岩;15—蛇纹岩;16—推覆体;17—走滑断层;18—剖面及采样位置

1—Quaternary;2—Neogene;3—Triassic Bayan Har Group;4—Upper Permian Gequ Formation;5—Permian—Lower Triassic Maerzeng Group;6—Upper Carboniferous—Lower Permian Shuweimenke Formation;7—Mesoproterozoic Kuhai Group;8— island limestone;9— island basalt;10—Caledonian dacite—andesite;11—Caledonian granodiorite;12—Indo-Chinese Epoch quartz diorite;13~15—ophiolite;13—basalt;14—gabbro;15—serpentinite;16—nappe;17—strike fault;18—section and sampling location

断层接触,主要由蛇纹岩、块状辉长岩、辉绿岩、变玄武岩等组成;②洋岛型玄武岩:在蛇绿岩南侧地区存在大量填图尺度的洋岛型玄武岩,多呈透镜状断续分布,玄武岩发育枕状、块状、角砾状构造,部分地带上覆灰岩组合,构成洋岛/海山组合,在得力斯坦沟玄武岩与马尔争组红色钙质泥岩整合接触关系可以判断其形成时代为二叠纪—早三叠世;③中元古代中深变质岩块:归属于苦海杂岩(Pt_2k),多位于蛇绿岩带北侧,零星分布,由大理岩、斜长角闪片岩、变粒岩及片麻岩类等组成;④中酸性火成岩类:分布于布青山构造混杂岩的北侧,主要有马尼特花岗岩体、亿可哈拉尔花岗闪长岩体及白日切特的英安岩—安山岩类,花岗岩类主要形成于早古生代,已获得亿可哈拉尔花岗闪长岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 437.5 ± 2.3 Ma (MSWD = 2.0) (裴先治等, 2010^①);⑤格曲组磨拉石沉积(P_3g),主要分布于变质岩片南侧,出露规模较小,为浅灰白色厚层状砾岩,砾石成分主要为燧石、花岗岩、变质岩等,砾径为 0.5~5 cm,磨圆度高,多为椭球状、卵状,基质为粗砂质成分。在该区还有推覆于基质及上述各构造岩块之上的树维门科组(C_2P_1sh)灰岩大型推覆体,岩性主要为灰白色生物礁灰岩,与复理石碎屑岩呈明显的逆冲推覆断层接触关系。

2 蛇绿岩单元的组成与岩石学特征

2.1 得力斯坦蛇绿岩单元的组成与岩石学特征

得力斯坦蛇绿岩分布在得力斯坦沟北段,呈近东西向展布(图 1),出露宽约 1500 m。南北两侧分别与二叠系—下三叠统马尔争组浊积岩和二叠系格曲组砾岩呈断层接触关系。该蛇绿岩岩石组合由南到北分别为变质(强蛇纹石化)橄榄岩(方辉橄榄岩

和二辉橄榄岩)、辉绿玢岩(脉)、块状辉长岩、变玄武岩及黑色硅泥质岩石。蛇绿岩中各个岩石单元之间多呈断层接触关系,剖面上构成自北而南逆冲的叠瓦状构造,从野外分布及岩石组合特征可以判断是一个层序较清楚、岩石组合较完整的蛇绿岩(图 2)。

(1)变质橄榄岩:主要由强蛇纹石化的方辉橄榄岩和二辉橄榄岩组成,呈灰黑—墨绿色,块状构造,岩石表面具有明显的多角度擦痕。其中橄榄石几乎全部蛇纹石化,多呈微细叶片状、鳞片状、束状及网脉状结构;斜方辉石多蚀变为绢石,偶见残余;单斜辉石多蚀变为次闪石及绿泥石。局部有橄榄石和辉石残留,含少量磁铁矿、铬铁矿及尖晶石矿物。

(2)辉长岩:呈灰绿—灰黑色,具细粒—中细粒辉长结构,块状构造。主要矿物为辉石(50%~55%)和斜长石(35%~40%),斜长石半自形板柱状,有不同程度的钠黝帘石化。辉石多已蚀变为次闪石、绿泥石,只保留其短柱状晶形假象,可见残余反应边,局部见少量粒状蛇纹石化橄榄石。

(3)玄武岩:呈灰黑色—墨绿色,风化面为灰褐色,仅在局部可见枕状构造。主要为拉斑玄武岩和粗玄岩。拉斑玄武岩为间隐—间粒结构、嵌晶含长结构,块状构造。主要矿物为斜长石(40%~45%),辉石(30%~35%),还有少量橄榄石(<5%),其余部分为玻璃质(10%~15%)。粗玄岩为块状构造,间粒结构、斑状结构、嵌晶含长结构。斑晶主要为斜长石,斑晶含量为 10%~15%,多为 2~5 mm,表面浑浊,多已钠黝帘石化。基质 85%~90%,不规则间隙中分布有粒状辉石及少量橄榄石。

(4)辉绿玢岩:有数十条辉绿玢岩墙产于强蛇纹石化的橄榄岩中,宽 0.5~1.5 m,最宽者达 6 m,产状为 $213^\circ \sim 227^\circ \angle 47^\circ \sim 75^\circ$ 。呈灰—深灰色,斑状

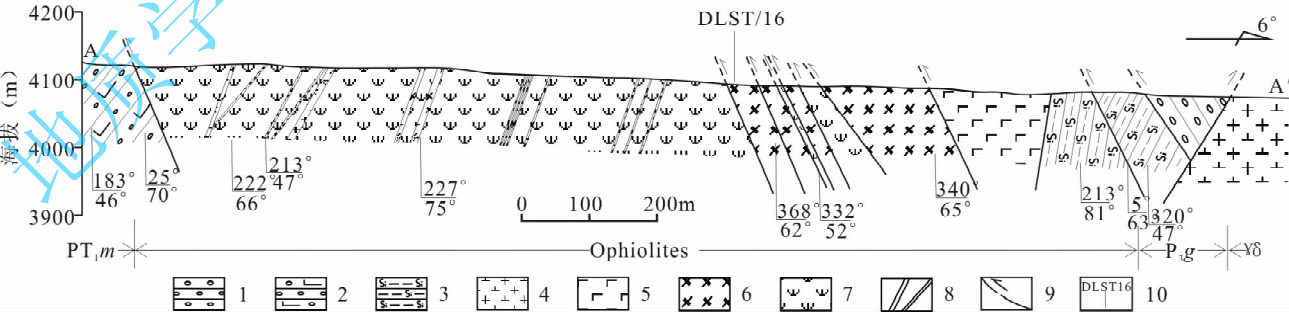


图 2 得力斯坦蛇绿岩剖面图(剖面图位置见图 1)

Fig. 2 Section for the Delistan ophiolite (see Fig. 1 for the section location)

1—砾岩;2—灰质砾岩;3—硅泥质岩;4—花岗闪长岩;5—玄武岩;6—辉长岩;7—蛇纹岩;8—辉绿玢岩脉;9—逆冲断层;10—采样位置
1—Conglomerate;2—lime conglomerate;3—siliceous mudstone;4—granodiorite;5—basalt;6—gabbro;
7—serpentinite;8—diabase porphyrite dike;9—thrust fault;10—sampling location

结构,块状构造。斑晶主要为斜长石,占 20%~30%,粒径为 1~10 mm,自形板柱状,表面浑浊,成云翥状,钠黝帘石化蚀变。基质占 60%~65%,主要由斜长石和辉石组成,具辉绿结构。

还有与蛇绿岩伴生的黑色硅泥质岩,岩石呈灰黑色,粉砂泥质结构、致密块状构造。硅泥质含量 65% 左右,部分泥质重结晶为绢云母、绿泥石,粉砂质含量 30% 左右。

2.2 哈尔郭勒蛇绿岩的组成与岩石学特征

哈尔郭勒蛇绿岩位于得力斯坦沟西南,出露宽约 600 m,与二叠系一下三叠统马尔争组浊积岩和中元古代中深变质岩之间呈断层接触关系,蛇绿岩各个岩石端员之间也呈断层接触关系(图 3)。

蛇纹石化橄榄岩:黑色—墨绿色,网格状结构,微纤维状变晶结构,块状构造。橄榄石几乎全部蛇纹石化,约占 92%,仅残留橄榄石(3%),含少量磁铁矿、绿泥石、滑石、方解石。铁质物呈细条纹状,纵横交错使岩石具网格状构造。

辉长岩:岩石蚀变较为强烈,呈灰—辉绿—深绿色,细粒辉长结构,块状构造。主要矿物为斜长石(60%~70%),辉石(30%~40%),少量磁铁矿。斜长石及辉石均有蚀变,蚀变矿物分别为钠黝帘石、方柱石、绿帘石和绿泥石、次闪石等,还有少量的绢石、高岭土、绢云母、伊丁石等矿物。

玄武岩:灰—灰绿色绿帘石化块状玄武岩,呈隐晶质结构。绿帘石化较强,致使岩石呈灰绿色。其中方解石、石英脉体较发育。

此外,与玄武岩伴生还常常出现黑色薄层状硅

泥质岩。

3 样品分析及测试结果

本次研究在详细的野外地质调研基础上,选择布青山地区得力斯坦蛇绿岩及哈尔郭勒蛇绿岩中的新鲜无脉体贯入的辉长岩作为测年对象,测年样品分别为 DLST/16(采样坐标: $N35^{\circ}24.820'$, $E97^{\circ}59.074'$)和 11064/13(采样坐标: $N35^{\circ}23.554'$, $E97^{\circ}55.992'$)(图 1~3),样品采集重量均大于 15 kg。

3.1 分析方法

所采测年样品采用常规方法粉碎至 80~100 目,用常规浮选和磁选法进行分选,挑选出锆石后,再在双目显微镜下精选出晶型和透明度较好的锆石作为测定对象,将精选的锆石用无色透明的环氧树脂固定制成圆饼状样品靶,使用砂纸和磨料将锆石磨到内部暴露并抛光。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的反射光和透射光及阴极发光 (CL) 显微照相。测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光显微照片进行初选,再通过 CL 照片反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体以及不同成因的区域,以获得较准确的年龄信息。锆石原位 U-Pb 同位素年龄分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室的激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪 (LA-ICP-MS) 上用标准测定程序进行。分析仪器为 Elan 6100 DRC 型四极杆质谱仪和 Geolas200M 型激光剥蚀系统,激光器为 193 nm ArF 准分子激光器。测样方式为单点剥蚀,每完成 5 个测点的样品测试,加测国际标准锆石

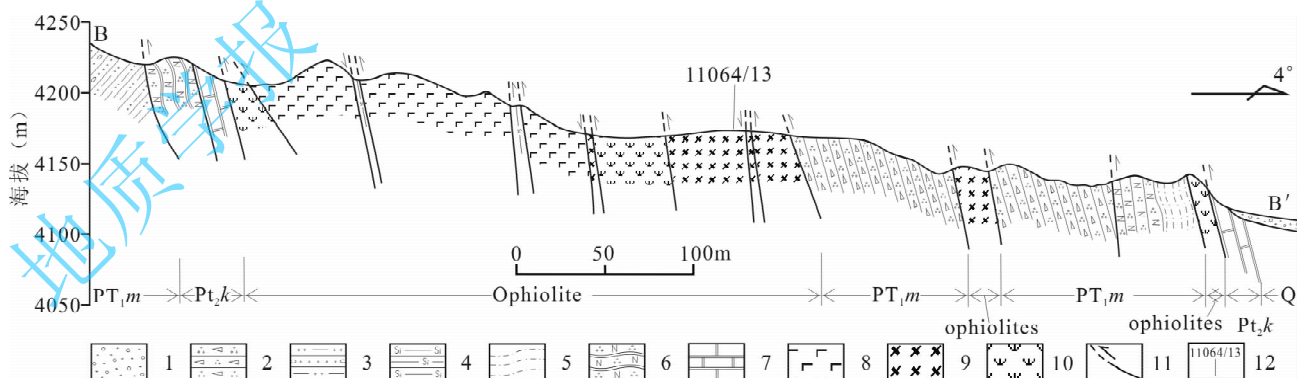


图 3 哈尔郭勒东蛇绿岩剖面图(剖面位置见图 1)

Fig. 3 Section for the Haerguole ophiolite (see Fig. 1 for the section location)

- 1—第四系;2—岩屑石英砂岩;3—泥质砂砾岩;4—硅泥质岩;5—含粉砂质泥板岩;6—长石石英岩;
7—大理岩;8—玄武岩;9—辉长岩;10—蛇纹岩;11—逆冲断层;12—采样位置

- 1—Quaternary; 2—lithic quartzose sandstone; 3—pelitic sandy conglomerate; 4—siliceous mudstone; 5—silty argillite;
6—arkose; 7—marble; 8—basalt; 9—gabbro; 10—serpentinite; 11—thrust fault; 12—sampling location

91500 标样一次,样品分析点开始和结束均测一次 NIST SRM 610,激光剥蚀斑束直径为 $30\text{ }\mu\text{m}$,激光剥蚀样品的深度为 $20\sim 40\text{ }\mu\text{m}$ 。锆石年龄计算采用国际标准锆石 91500 作为外标(Wiedenbeck, 1995),元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 作为外标,选择 ^{29}Si 作为内标元素进行校正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER(4.0 版本,Macquarie University)软件,并采用 Andersen(2002)软件对测试数据进行普通铅校正,年龄计算及协和图绘制采用 ISOPLOT(2.49 版)软件(Ludwig, 2003)完成。详细的实验原理和流程及仪器参见袁洪林等(2003)、Yuan 等(2003,2004)。

3.2 锆石 CL 图像特征

得力斯坦辉长岩测年样品 DLST/16 中,锆石晶粒为无色透明至浅黄色,呈短柱状、正方双锥状、半截锥状和不规则状晶体。多数锆石颗粒自形程度较好,晶体长介于 $100\sim 300\text{ }\mu\text{m}$ 之间,宽介于 $80\sim 180\text{ }\mu\text{m}$ 之间,晶体长宽比介于 $2:1\sim 3:1$ 之间。阴极发光(CL)图像显示大多数锆石具有典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构(图 4),表明为岩浆结晶产物(简平等,2001;吴元保等,2004),其中部分锆石(DLST/16-05、DLST/16-06、DLST/16-16)具有明显的残留核,可能为继承核或捕获核,为了避免继承锆石对测年的干扰,所选择的测点均位于明显的岩浆环带上,这就基本保证了定年研究的准确性。

哈尔郭勒辉长岩测年样品 11064/13 中,锆石晶粒为无色透明至浅黄色,呈短柱状、正方双锥状、半截锥状和不规则状晶体。多数锆石颗粒自形程度较好,晶体长介于 $80\sim 200\text{ }\mu\text{m}$ 之间,宽介于 $50\sim 80\text{ }\mu\text{m}$ 之间,晶体长宽比介于 $2:1\sim 3:1$ 之间。阴极发光(CL)图像显示大多数锆石具有典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构(图 5),表明为岩浆结晶产物,而且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(如 11064/13-1、11064/13-6、11064/13-8、11064/13-18),为了避免继承锆石对测年的干扰,保证定年研究的准确性,选择的测点尽可能的位于明显的岩浆环带上。

3.3 锆石年龄分析结果

3.3.1 得力斯坦蛇绿岩中辉长岩锆石年龄

从样品(DLST/16)测试得到的同位素比值和年龄数据(表 1)可见,锆石具有较高的 Th/U 值(大

部分介于 $0.32\sim 0.79$ 之间),表明了岩浆成因锆石的特征(Pidgeon et al., 1998; Claesson et al., 2000)。辉长岩样品 DLST/16 的 14 个测点的 Th 含量变化为 $59.29\times 10^{-6}\sim 628.13\times 10^{-6}$,U 含量变化为 $123.20\times 10^{-6}\sim 943.63\times 10^{-6}$,且 Th、U 均呈现出较好的正相关关系,与典型的岩浆锆石特征一致。

由于锆石数量较少,锆石 U-Pb 分析共测试了 17 个点,其中 DLST/16-07、DLST/16-14、DLST/16-17 明显偏离谐和线,表明其形成后的地质历史时期内锆石系统不封闭,发生了铅丢失,故将其剔除,有效数据点共有 14 个(表 1),这 14 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好。在谐和图上,这 14 个分析点都集中于一致线及其附近很小的区域内(图 6a),表明锆石在形成后其 U-Pb 体系一直保持封闭状态,基本上没有 Pb 的丢失,得到的下交点年龄为 $512\pm 6\text{ Ma}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $516.4\pm 6.3\text{ Ma}$ (MSWD=0.70)(图 6a),两者在误差范围内一致,代表了辉长岩的结晶年龄,笔者将得力斯坦蛇绿岩的形成年龄确定为 $516.4\pm 6.3\text{ Ma}$,其形成时代为早寒武世。

3.3.2 哈尔郭勒东蛇绿岩中辉长岩锆石年龄

从样品(11064/13)测试得到的同位素比值和年龄数据(表 2)可见,锆石均具有较高的 Th/U 值,均大于 0.4,最大可达 1.28,反映锆石为典型的岩浆成因(Pidgeon et al., 1998; Claesson et al., 2000)。辉长岩样品 11064/13 的 22 个测点的 Th 含量变化为 $102.14\times 10^{-6}\sim 418.73\times 10^{-6}$,U 含量变化为 $147.30\times 10^{-6}\sim 540.09\times 10^{-6}$,与典型的岩浆锆石特征一致。

哈尔郭勒东蛇绿岩中辉长岩样品(11064/13)锆石 U-Pb 分析共测试了 22 个点,其中 11064/13-13、11064/13-21 明显偏离谐和线,可能与铅丢失有关。有效数据点共有 20 个(表 2),这 20 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好。在谐和图上,较为集中于两个较小的区域内(图 6b),没有明显的 Pb 丢失,分别求得两组锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $332.8\pm 3.1\text{ Ma}$ (MSWD=0.75)和 $447.6\pm 5.6\text{ Ma}$ (MSWD=0.45)。 $447.6\pm 5.6\text{ Ma}$ (MSWD=0.45)可能为捕获锆石年龄, $332.8\pm 3.1\text{ Ma}$ (MSWD=0.75)代表了辉长岩的结晶年龄,因此哈尔郭勒东蛇绿岩的形成年龄确定为 $332.8\pm 3.1\text{ Ma}$,其形成时代为早石炭世。

以上测定结果表明东昆仑南缘阿尼玛卿构造带

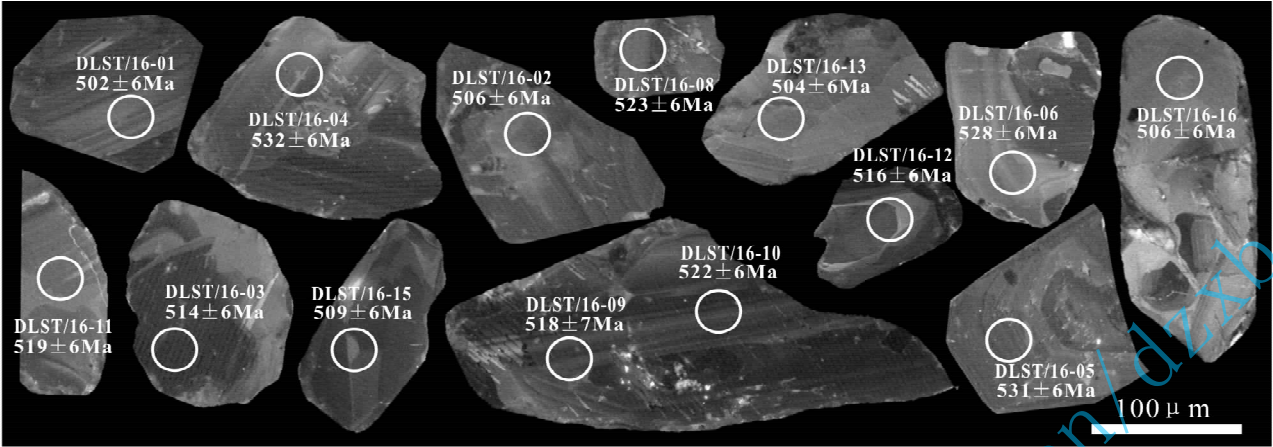


图 4 得力斯坦蛇绿岩中辉长岩(DLST/16)代表性锆石的阴极发光(CL)图像和年龄
Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) images and ages of representative analyzed zircons from the gabbro of the Delistan ophiolite (DLST/16)

圈和数字分别表示 U-Pb 年龄测定位置、测定编号和²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄

The circle and number denote the analyzed location and sample number respectively; other numbers are ²⁰⁶Pb/²³⁸U apparent ages

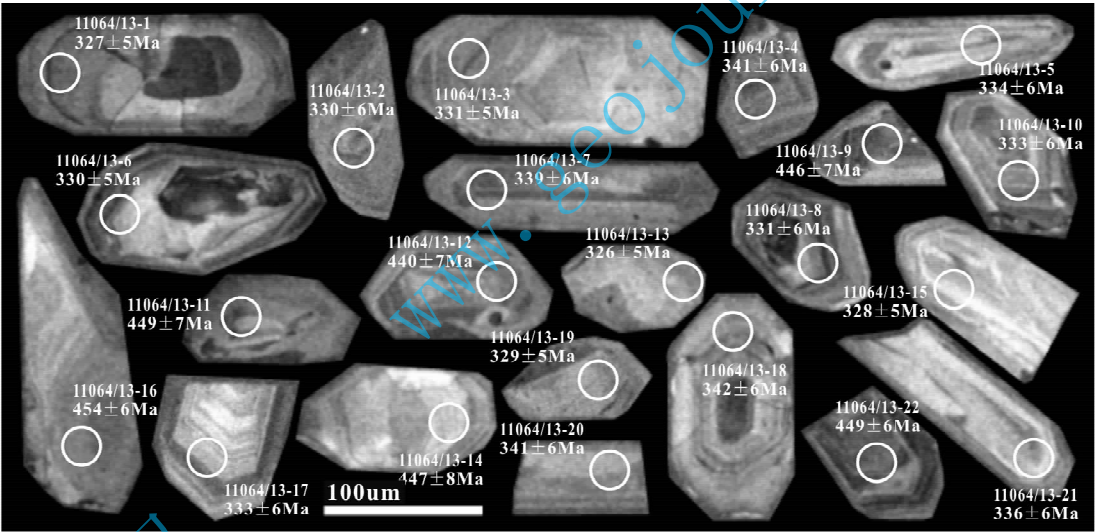


图 5 哈尔郭勒蛇绿岩中辉长岩(11064/13)代表性锆石的阴极发光(CL)图像和年龄

Fig. 5 Cathodoluminescence (CL) images and ages of analyzed zircons from the gabbro of the Haerguole ophiolite (DLST/16)

圈和数字分别表示 U-Pb 年龄测定位置、测定编号和²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄

The circle and number denote the analyzed location and sample number respectively; other numbers are ²⁰⁶Pb/²³⁸U apparent ages

西段布青山地区存在早寒武世(516.4 ± 6.3 Ma)和早石炭世(332.8 ± 3.1 Ma)两期蛇绿岩。

4 讨论

布青山蛇绿混杂岩带属于阿尼玛卿构造带西段,是东特提斯构造域的组成部分,其中存在的早寒武世(516.4 ± 6.3 Ma)和早石炭世(332.8 ± 3.1 Ma)两期蛇绿岩,与东特提斯洋的发展演化密切相关。这两期蛇绿岩是东特提斯演化发展中两次洋壳扩张而形成的洋壳残余,由于处在东昆仑、西秦岭及

巴颜喀拉 3 条造山带接合的特殊构造部位,在各个地质时期均受到来自周围不同构造单元构造活动的破坏、拼合、堆积等作用,形成具有复杂组成和结构的构造混杂岩带,使得阿尼玛卿构造带的构造演化以及蛇绿混杂岩的物质组成具有多期性和复杂性。以下结合区域上出露的相关蛇绿岩与布青山蛇绿岩进行联系,探讨研究区构造与东特提斯演化关系。

4.1 布青山早寒武世蛇绿岩与区域上同时代蛇绿岩的关系

本文所确定的布青山早寒武世(516.4 ± 6.3 Ma)

地质学报

www.geojournals.cn/dzxb

表 1 得力斯坦蛇绿岩中辉长岩(DLST/16)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analysis of the gabbro in the Delistan ophiolite(DLST/16)

测试 点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值								表面年龄(Ma)					
	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
01	105.84	90.02	352.91	0.26	0.05831	0.00129	0.65076	0.01445	0.08093	0.00100	0.02649	0.00051	541	28	509	9	502	6
02	89.45	87.40	294.24	0.30	0.06210	0.00147	0.69956	0.01658	0.08169	0.00103	0.02945	0.00058	678	30	539	10	506	6
03	292.76	329.64	943.63	0.35	0.05764	0.00114	0.65991	0.01314	0.08302	0.00101	0.02783	0.00047	516	23	515	8	514	6
04	282.75	434.22	875.72	0.50	0.05769	0.00116	0.68453	0.01388	0.08605	0.00104	0.02787	0.00047	518	24	530	8	532	6
05	185.48	175.65	573.03	0.31	0.05608	0.00124	0.66441	0.01470	0.08591	0.00106	0.02842	0.00053	456	28	517	9	531	6
06	138.23	145.17	426.31	0.34	0.05766	0.00125	0.67877	0.01474	0.08536	0.00105	0.02758	0.00051	517	27	526	9	528	6
08	253.44	317.70	784.02	0.41	0.06157	0.00131	0.71681	0.01515	0.08443	0.00103	0.02895	0.00052	659	25	549	9	523	6
09	129.20	115.46	378.67	0.30	0.06035	0.00324	0.69570	0.03617	0.08360	0.00110	0.02580	0.00044	616	19	536	22	518	7
10	271.55	628.13	835.16	0.75	0.05883	0.00130	0.68358	0.01494	0.08426	0.00103	0.02557	0.00047	561	27	529	9	522	6
11	44.65	74.20	136.92	0.54	0.05977	0.00172	0.69114	0.01945	0.08386	0.00109	0.02706	0.00059	595	39	533	12	519	6
12	118.33	226.23	363.41	0.62	0.05793	0.00145	0.66629	0.01634	0.08340	0.00105	0.02555	0.00052	527	32	518	10	516	6
13	52.25	71.71	163.21	0.44	0.05736	0.00241	0.64375	0.02568	0.08139	0.00107	0.02527	0.00028	506	95	505	16	504	6
15	165.64	433.70	510.19	0.85	0.05893	0.00154	0.66819	0.01697	0.08222	0.00104	0.02535	0.00053	565	34	520	10	509	6
16	40.00	59.29	123.20	0.48	0.06086	0.00190	0.68504	0.02066	0.08162	0.00109	0.02745	0.00066	634	42	530	12	506	6

注:有效测点 14 个。

表 2 哈尔郭勒东蛇绿岩中辉长岩(11064/13)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果

Table 2 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotopic analysis of the gabbro in the Haerguole ophiolite(11064/13)

测试 点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值								表面年龄(Ma)					
	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
1	45.34	165.47	152.34	1.09	0.05302	0.00215	0.38341	0.01381	0.05225	0.00193	0.01413	0.00034	335	86	340	10	327	5
2	40.65	179.68	164.53	1.09	0.05308	0.00205	0.38365	0.01385	0.05248	0.00091	0.01403	0.00035	332	85	330	10	330	6
3	41.43	165.45	151.24	1.09	0.05113	0.00212	0.37976	0.01386	0.05259	0.00081	0.01424	0.00036	337	88	329	10	331	5
4	65.86	105.62	235.26	0.45	0.05313	0.00267	0.38045	0.01899	0.05298	0.00124	0.01529	0.00054	325	101	336	13	341	6
5	62.53	105.42	253.36	0.42	0.05469	0.00246	0.39164	0.01899	0.05312	0.00113	0.01613	0.00053	325	107	333	13	334	6
6	46.51	153.74	163.65	0.94	0.06537	0.00254	0.38187	0.01327	0.05123	0.00097	0.01442	0.00037	332	90	339	10	330	5
7	62.78	112.37	205.16	0.55	0.07325	0.00316	0.38458	0.01807	0.05343	0.00132	0.01487	0.00049	333	103	337	13	339	6
8	49.36	152.62	161.44	0.95	0.05673	0.00208	0.38763	0.01321	0.05428	0.00105	0.01528	0.00042	330	96	329	15	331	6
9	47.08	116.14	192.89	0.60	0.05776	0.00209	0.57072	0.01911	0.07162	0.00121	0.02038	0.00049	521	78	459	12	446	7
10	62.15	136.71	234.62	0.59	0.05954	0.00236	0.38578	0.01982	0.05337	0.00098	0.01539	0.00025	325	121	331	13	333	6
11	150.84	235.53	378.99	0.62	0.05613	0.00138	0.55848	0.01187	0.07206	0.00109	0.01990	0.00033	457	54	451	8	449	7
12	47.86	146.18	182.88	0.80	0.05602	0.00189	0.54675	0.01683	0.07067	0.00115	0.02040	0.00043	453	73	443	11	440	7
13	34.41	102.14	145.20	0.70	0.06787	0.00278	0.50207	0.01784	0.05286	0.00101	0.01812	0.00051	427	76	321	14	326	5
14	43.71	107.13	153.54	0.70	0.05767	0.00275	0.57177	0.02568	0.07177	0.00134	0.02148	0.00058	517	102	459	17	447	8
15	53.96	145.57	147.73	0.99	0.05136	0.00284	0.39023	0.01405	0.05126	0.00186	0.01425	0.00042	333	91	342	11	328	5
16	72.66	349.69	272.73	1.28	0.05645	0.00136	0.56912	0.01150	0.07297	0.00108	0.01921	0.00031	469	53	457	7	454	6
17	67.95	116.60	264.27	0.44	0.05290	0.00276	0.38767	0.01911	0.05304	0.00100	0.01532	0.00055	325	114	333	14	333	6
18	64.74	115.28	229.17	0.50	0.06361	0.00365	0.38984	0.01797	0.05301	0.00131	0.01517	0.00057	326	108	337	13	342	6
19	51.12	146.26	158.13	0.92	0.05352	0.00298	0.38309	0.01401	0.05253	0.00178	0.01481	0.00046	336	88	341	11	329	5
20	61.81	129.73	211.54	0.61	0.05918	0.00301	0.38205	0.01873	0.05275	0.00151	0.01526	0.00049	327	97	335	14	341	6
21	32.45	104.13	147.39	0.71	0.06805	0.00330	0.50188	0.02259	0.05345	0.00098	0.01785	0.00049	870	97	413	15	336	6
22	166.15	418.73	540.09	0.78	0.05529	0.00150	0.55022	0.01263	0.07208	0.00107	0.02026	0.00040	424	59	445	8	449	6

注:有效测点 22 个。

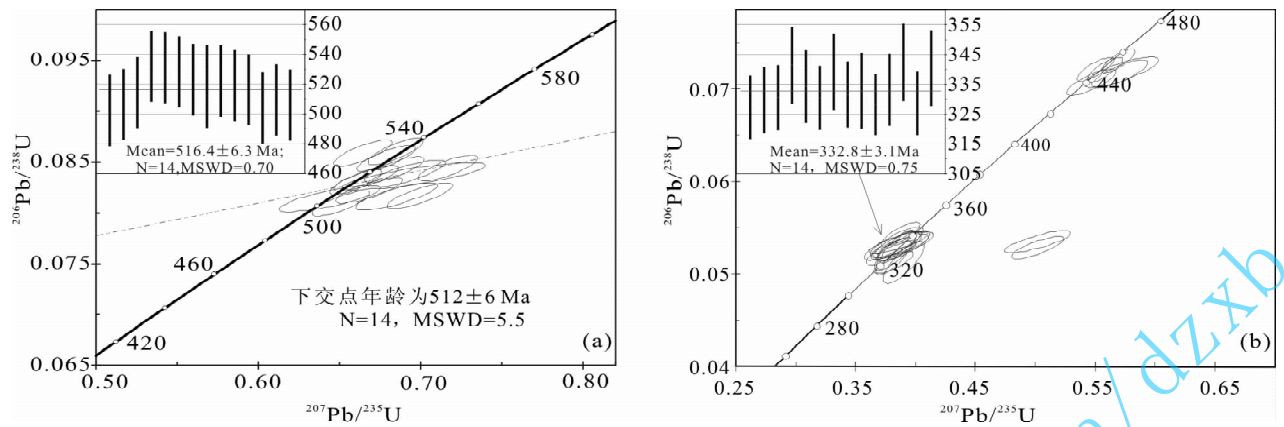


图 6 得力斯坦和哈尔郭勒蛇绿岩中辉长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图与直方图

Fig. 6 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams and histogrames of gabbro of Delistan and Haerguole ophiolites

蛇绿岩与阿尼玛卿构造带中段的玛积雪山洋中脊型辉长岩以及苦海洋岛型辉长岩(555±9 Ma)(Li et al., 2007; 李王晔等, 2007; 李王晔, 2008)均代表了早古生代洋盆的残迹, 表明了寒武纪为洋壳扩张期。布青山蛇绿岩与东昆中清水泉蛇绿岩(522~518 Ma)(Yang et al., 1996; 陆松年等, 2002)及其向南西方向延伸的可可沙—可可科特一带可能属于蛇绿岩的一套镁铁—超镁铁质岩组合(509.4±6.8 Ma)(冯建赞等, 2010)形成时代相当, 可能同属于原特提斯洋盆打开同一时代的产物。根据清水泉蛇绿混杂岩带向阿尼玛卿构造带的延伸方向, 显示了阿尼玛卿构造带原特提斯洋东缘扩张演化与东昆中早古生代古洋壳的形成演化有一定的相关性, 很可能在早古生代阿尼玛卿构造带蛇绿岩代表的古洋壳与北部东昆中清水泉蛇绿岩所代表的古洋壳连通在一起(冯建赞等, 2010)。

4.2 布青山早石炭世蛇绿岩与区域上相当时代蛇绿岩的关系

本文在阿尼玛卿构造带西段布青山地区研究获得哈尔郭勒蛇绿岩中的辉长岩 LA-ICP-MS 锆石年龄为 332.8±3.1 Ma(早石炭世), 说明该区存在晚古生代的洋壳残留物。已有区域资料(边千韬等, 1999b; 陈亮等, 2000, 2001; 裴先治, 2001; Bian et al, 2004; 杨经绥等, 2004, 2005; 郭安林等, 2006; Yang et al., 2009)表明阿尼玛卿构造带主要存在晚古生代蛇绿岩, 因此, 阿尼玛卿构造带被认为属于勉略带的西延部分。还有学者提出第三期晚二叠世—中三叠世蛇绿岩(姜春发等, 1992; 许志琴等, 1996; Yang et al., 1996; 王永标等, 1997; 王国灿等, 1999)。尽管边千韬等(1999b)以采自深水沉积的硅质岩中发现早石炭世—早二叠世的放射虫类化石

为依据, 并结合在布青山地区得力斯坦沟南段的枕状玄武岩的普通 Pb 等时线年龄 310±150 Ma 作为主要证据, 提出阿尼玛卿构造带西段布青山地区存在晚古生代的蛇绿岩。笔者认为存在晚古生代的蛇绿岩证据不足, 因为在最近调研过程中发现该处枕状玄武岩与二叠系一下三叠统马尔争组浊积岩呈整合接触关系, 而且从该段玄武岩在布青山地区与灰岩的关系上可以判断, 应归属于海山/洋岛玄武岩, 显然不属于蛇绿岩的端员岩片, 但足以说明存在过晚古生代的古洋壳。这些蛇绿岩及其海山/洋岛玄武岩的形成时代与东古特提斯洋的发育时间一致。

4.3 布青山两期蛇绿岩与东特提斯演化的关系

以上论述的早古生代蛇绿岩很可能与新元古代晚期到早寒武世 Rodinia 超大陆的裂解有关, 在早古生代东特提斯域, 东昆仑地体、西秦岭地体等地体处于离散状态。其中布青山-阿尼玛卿构造带中存在一些岛弧型花岗岩类侵位, 如德尔尼岛弧型闪长岩(493±6 Ma)和布青山地区岛弧型花岗闪长岩(LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 437.5±2.3 Ma (MSWD=2.0)(裴先治等, 2010[●]))等形成了一条东西向与南侧的早古生代蛇绿岩近平行的岩浆弧, 表明晚寒武世—晚志留世洋壳开始向北俯冲削减。同时东昆仑清水泉—可可沙—科科可特地区北侧也发育有加里东期的岛弧型中酸性岩浆杂岩体(515.2±4.4 Ma)(张亚峰等, 2010), 也是该次俯冲事件的响应。区域上变质作用(张建新等, 2003; 殷鸿福等, 2003; 陈能松等, 2002, 2007)表明至志留纪末, 东昆仑地块和松潘-巴颜喀拉地块最终发生碰撞拼合, 原特提斯洋完全闭合。泥盆纪托牛山组磨拉石组合不整合堆积的开始发育的沉积信息, 暗示了早古生代原东特提斯构造旋回的结束和古东特提斯洋演化阶

段的开始(杨经绥等,2004;陈能松等,2008)。布青山-阿尼玛卿构造带晚古生代的蛇绿岩与古特提斯有限洋盆的存在有密切的关系,于晚古生代泥盆纪-石炭纪东特提斯洋在东昆仑南缘地区再次强烈拉张裂解,二叠纪时形成较宽阔的大洋,该洋可能就是古特提斯洋域北缘的分支洋盆。晚二叠世格曲组磨拉石组合显示,该洋壳向北俯冲消减形成了布青山-阿尼玛卿蛇绿混杂岩,同时在区域挤压应力作用下发生幔源岩浆底侵作用,壳幔物质相互混合,在东昆仑地区形成以哈拉杂吐花岗岩岩体(253~255 Ma)(孙雨等,2009)和香加南山花岗岩体为代表的大规模岩浆混合型花岗岩岩体,随后进入了碰撞及后碰撞造山时代。

5 结论

(1)锆石 U-Pb 年龄时代测试结果表明阿尼玛卿构造带西段布青山地区存在早寒武世(516.4 ± 6.3 Ma)和早石炭世(332.8 ± 3.1 Ma)两期蛇绿岩,两期蛇绿岩均具有较为完整的岩石类型组合。

(2)布青山地区两期蛇绿岩表明阿尼玛卿构造带,其曾经在东昆仑地块与巴颜喀拉地块之间存在过两次洋盆的扩张、俯冲、消亡的演化过程,即原特提斯洋和古特提斯洋的存在。从而揭示了东昆仑造山带是经历多旋回活动的复合造山带,至少经历了两次板块的裂解与拼合、洋陆的相互转化。

致谢:LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试工作中得到西北大学大陆动力学国家重点实验室柳小明博士、第五春荣博士的指导和帮助,参加野外工作的还有冯建赞、孙雨、张亚峰等硕士,在此深表谢意。

注 释

① 裴先治,等.2010.青海省国土资源厅-中国铝业公司公益性区域地质矿产调查基金项目(中铝基金200801)未刊资料。

参 考 文 献

- 边千韬, Pospelo I I, 李惠民, 常承法, 李继亮. 2007. 青海省布青山早古生代末期埃达克岩的发现及其构造意义. 岩石学报, 23(5): 925~934.
- 边千韬, 罗小全, 陈海泓, 赵大升. 1999a. 阿尼玛卿蛇绿岩带花岗岩-英云闪长岩锆石 U-Pb 同位素定年及大地构造意义. 地质科学, 34(4): 420~426.
- 边千韬, 罗小全, 李红生, 陈海泓, 赵大升, 李涤微. 1999b. 阿尼玛卿山早古生代和早石炭-一早二叠世蛇绿岩的发现. 地质科学, 34(4): 523~524.
- 边千韬, 罗小全, 李涤微, 赵大升, 陈海泓, 徐贵忠, 常承法, 高延林. 2001. 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. 地质学报, 75(1): 45~55.
- 陈亮, 孙勇, 柳小明. 2000. 青海省德尔尼蛇绿岩的地球化学特征及其大地构造意义. 岩石学报, 16(1): 106~110.
- 陈亮, 孙勇, 裴先治. 2001. 德尔尼蛇绿岩 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄: 青藏最北端古特提斯洋盆存在和延展的证据. 科学通报, 46(45): 424~426.
- 陈能松, 何蕾, 孙敏. 2002. 东昆仑造山带早古生代变质峰期和逆冲构造变形年代的精确限定. 科学通报, 47(8): 628~632.
- 陈能松, 孙敏, 王勤燕, 赵国春, 陈强, 舒桂明. 2007. 东昆仑造山带昆中的独居石电子探针化学年龄: 多期构造变质事件记录. 科学通报, 52(11): 1297~1306.
- 陈能松, 孙敏, 王勤燕, 张克信, 万渝生, 陈海红. 2008. 东昆仑造山带中的锆石 U-Pb 定年与构造演化启示. 中国科学(D辑), 38(6): 657~666.
- 冯建赞, 裴先治, 于书伦, 丁仁平, 李瑞保, 孙雨, 张亚峰, 李佐臣, 陈有妍, 张晓飞, 陈国超. 2010. 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. 中国地质, 37(1): 28~38.
- 郭安林, 张国伟, 孙延贵, 郑健康, 刘晔, 王建军. 2006. 阿尼玛卿蛇绿岩带 OIB 和 MORB 的地球化学及空间分布特征: 玛积雪山古洋脊热点构造证据. 中国科学(D辑), 36(7): 618~629.
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 朱志直, 赵民, 柴耀楚, 施希德, 王怀达, 胡金庆. 1992. 昆仑开合构造. 北京: 地质出版社, 125~171.
- 简平, 程裕淇, 刘敦一. 2001. 变质锆石成因的岩相学研究——高级变质岩 U-Pb 年龄解释的依据. 地质学前沿, 8(3): 183~191.
- 陆松年, 于海峰, 赵凤清, 金巍, 李怀坤, 李铨, 杨春亮, 李惠民, 郑健康, 张梅生, 蒋明媚, 葛肖虹, 修群业, 张文治, 郭进京, 刘永江. 2002. 青藏高原北部前寒武纪地质初探. 北京: 地质出版社, 1~125.
- 李玉晔, 李曙光, 郭安林, 孙延贵, 张国伟. 2007. 青海东昆南构造带苦海辉长岩和德尔尼闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及痕量元素地球化学——对“祁-柴-昆”晚新元古代—早奥陶世多岛洋南界的制约. 中国科学(D辑), 37(增刊 I): 288~294.
- 李玉晔. 2008. 西秦岭—东昆仑造山带蛇绿岩及岛弧型岩浆岩的年代学和地球化学研究. 合肥: 中国科学技术大学.
- 裴先治. 2001. 勉略—阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征. 西安: 西北大学, 1~155.
- 孙雨, 裴先治, 丁仁平, 李瑞保, 冯建赞, 张亚峰, 李佐臣, 陈有妍, 张晓飞, 陈国超. 2009. 东昆仑哈拉杂吐岩浆混合花岗岩: 来自锆石 U-Pb 年代学的证据. 地质学报, 83(7): 1000~1010.
- 王永标, 黄继春, 骆满生, 田军, 拜永山. 1997. 海西—印支早期东昆仑造山带南侧古海洋盆地的演化. 地球科学—中国地质大学学报, 22(4): 369~372.
- 王国灿, 张天平, 梁斌, 陈能松, 朱云海, 朱杰. 1999. 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. 地球科学, 24(2): 130~133.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589~1604.
- 杨经绥, 王希斌, 史仁灯, 许志琴, 吴才来. 2004. 青藏高原北部东昆仑南缘德尔尼蛇绿岩: 一个被肢解了的古特提斯洋壳. 中国地质, 31(3): 225~238.
- 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 史仁灯. 2005. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系. 岩石矿物学杂志, 24(5): 369~380.
- 殷鸿福, 张克信. 2003. 冬给错拉纳湖幅 I47C001002 1: 25 万中华人民共和国区域地质调查报告. 中国地质大学.
- 许志琴, 杨经绥, 陈方远. 1996. 阿尼玛卿缝合带及“俯冲—碰撞”动力学. 见: 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 185~189.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代

- 侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报, 48(14):1511~1520.
- 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 郭安林, 孟庆任, 刘少峰, 程顺有, 姚安平, 张宗清, 裴先治, 李三忠. 2003. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带. 中国科学(D辑), (12):1121~1135.
- 张建新, 孟繁聪, 万渝生, 杨经绥, 董国安. 2003. 柴达木盆地南缘金水口群的早古生代构造热事件: 锆石 U-Pb SHRIMP 年龄证据. 地质通报, 22(6):397~404.
- 张亚峰, 裴先治, 丁仁平, 李瑞保, 冯建赞, 孙雨, 李佐臣, 陈有忻. 2010. 东昆仑都兰县可可沙地区加里东期石英闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其意义. 地质通报, 29(1):79~85.
- Anderson T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . Chem. Geol., 192(1~2):59~79.
- Bian Q T, Li D H, Pospelov I, Yin L M, Li H S, Zhao D S, Chang C F, Luo X Q, Gao S L, Astrakhsantsev O, Chamov N. 2004. Age, geochemistry and tectonic setting of Buqingshan ophiolites, North Qinghai-Tibet Plateau, China. Journal of Asian Earth Sciences, 23:577~596.
- Burchfiel B C, Molnar P, Zhao Z Y, Liang K Y, Wang S J, Huang M M, Sutter J. 1989. Geology of the Ulugh Muztagh area, northern Tibet. Earth and Planetary Science Letters, 94(1/2):57~70.
- Claesson S, Vetrin V, Bayanova T, Downes H. 2000. U-Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: a record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic. Lithos, 51(1/2):95~108.
- Li W Y, Li S G, Guo A L, Sun Y G, Zhang G W. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb ages and trace element geochemistry of the Kuhai gabbro and the Dur'ngoi diorite in the southern east Kunlun tectonic belt and their geological implications. Science in China (Ser. D), 50 (Supp.):331~338.
- Ludwig K R. 2003. Isoplot/Exversion 2. 49. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication. No. 1a, 1~56.
- Molnar P, Burchfiel B C, Zhao Z Y, et al. 1987. Geologic evolution of northern Tibet: Results of an expedition to Ulugh Muztagh. Science, 235:299~305.
- Pidgeon R T, Wilde S A. 1998. The interpretation of complex zircon U-Pb systems in Archaean granitoids and gneisses from the Jack Hills, Narryer Gneiss Terrane, Western Australia. Precambrian Research, 91(3/4):309~332.
- Wiedenbeck M. 1995. An example of reverse discordance during ion microprobe zircon dating: an artifact of enhanced ion yields from a radiogenic labile Pb. Chemical Geology, 125(3/4):197~218.
- Yuan H L, Wu F Y, Gao S, Liu X M, Xu P, Sun D Y. 2003. Determination of U—Pb age and rare earth element concentration of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS. Chinese Science Bulletin, 48(32):2411~2421.
- Yuan H L, Gao S, Liu X M, Gunther D, Wu F Y. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry. Geostandards and Geoanalytical Research, 28(3):353~370.
- Yang J S, Robinson P T, Jiang C F, Xu Z Q. 1996. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications. Tectonophysics, 258:215~231.
- Yang J S, Shi R D, Wu C L, Wang X B. 2009. Dur'ngoi ophiolite in East Kunlun, Northeast Tibetan Plateau: evidence for paleo-Tethyan suture in Northwest China. Journal of Earth Science, 20(2):303~331.

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology of the Two Suites of Ophiolites at the Buqingshan Area of the A'nyemaqen Orogenic Belt in the Southern Margin of East Kunlun and Its Tectonic Implication

LIU Zhanqing, PEI Xianzhi, LI Ruibao, LI Zuochen, ZHANG Xiaofei,

LIU Zhigang, CHEN Guochao, CHEN Youxin, DING Saping, Guo Junfeng

Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering of Ministry of Education,

School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, 710054

Abstract

The Buqingshan area in the southern margin of the East Kunlun is the western extension of the A'nyemaqen ophiolite mélangé belt, which is made up of different tectonic rocks. After detailed field investigation and petrology studies on the ophiolites at Delisitan and Haerguole trenches in the Buqingshan area, the LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the gabbro samples from two suites of ophiolite yielded the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average ages of 516.4 ± 6.3 Ma (MSWD=0.70) and 332.8 ± 3.1 Ma (MSWD=0.75) respectively, both of which can represent their crystallization ages. The results reveal that two suites of ophiolite formed in early Cambrian and early Carboniferous might be the products of the magmatism resulting from two expansions of an ancient oceanic basin in the Buqingshan-A'nyemaqen orogenic belt, indicating the formation of the Proto-Tethys and Paleo-Tethys and their tectonic development.

Key words: southern margin of East Kunlun; A'nyemaqen orogenic belt; Buqingshan area; ophiolite; LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology