doi: 10.3969/j.issn.1007-3701.2014.03.002

新疆西准噶尔达尔布特蛇绿岩套柳树沟 镁铁质杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征

李纲^{1,2},杨斌¹,梁恩云²,马铁球²,曹顺红² Li Gang^{1,2}, Yang Bin¹, Liang En-Yun², Ma Tie-Qiu², Cao Shun-Hong²

(1. 中南大学地球科学与信息物理学院,长沙 410083;2. 湖南省地质调查院,长沙 410116)
(1. Earth Science & Geophysics Information College, Central South University, Changsha 410083, China;
2. Hunan Institute of Geology Survey, Changsha 410116, China)

摘要:对新疆西准噶尔达尔布特蛇绿岩套柳树沟镁铁质杂岩中橄榄辉长岩、蛇纹石化橄榄辉长岩、辉长岩和蚀变辉长岩地 球化学分析表明:辉长岩和蚀变辉长岩具有钙碱性和拉斑玄武岩的双重特征,橄榄辉长岩和蛇纹石化橄榄辉长岩属镁铁质堆 积岩,为蛇绿岩组成单元;稀土总量较高,具微弱正 Eu 异常,稀土元素配分模式为略左倾平坦型,与 SSZ 型镁铁质堆晶岩稀土 配分模式相同;微量元素蛛网图上,富集大离子亲石元素 Cs、K、Th、U,相对亏损高场强元素 Nb、Ta,可能代表俯冲板片的流体 交代上覆地幔楔使地幔岩石发生部分熔融。地球化学构造环境判别柳树沟镁铁质岩石岩浆源区为亏损型地幔向富集型地幔 过渡的适度富集型地幔,其形成的最佳模型是在成熟岛弧基础上裂谷化形成的一个不成熟的类似边缘海性质弧后盆地,不具 成熟大洋或盆地那样的洋壳 - 上地幔结构,在盆地扩张初期岩浆具岛弧特征,随着盆地被进一步打开,镁铁质岩石具 N-MORB 特征。对辉长岩采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年龄测试,获得特柳树沟镁铁质岩石的结晶时间为 314.9± 1.7 Ma。 关键词:达尔布特蛇绿岩;柳树沟镁铁质杂岩;锆石 U-Pb 定年;晚石炭世;西准噶尔 中图分类法:P597+.3 文章编号: 1007-3701(2014)03-194-12

Li G, Yang B, Liang E Y, Ma T Q and Cao S H. SHRIMP Zircon U-Pb age and geochemical characteristics of mafic rock from Liushugou-Darbut in western Junggar, Xinjiang, *China. Geology* and Mineral Resources of South China, 2014, 30(3):194-205.

Abstract: Geochemical characteristics of olive gabbro, serpentinizated olive gabbro, gabbro and altered gabbro in the mafic intrusive complex located in Liushugou–Darbut, western Junggar, Xinjiang are reported in this paper. The gabbro and altered gabbro have a dual characteristic of Ca–Alkali and tholeiite. Olive gabbro and serpen–tinizated olive gabbro are mafic accumulated rocks which are the units of ophiolite. The amount of rare element is high which is faint–abnormal in positive–Eu, and distributed mode of rare element is left–leaning and smooth which is the same as SSZ–type mafic cumulate. When normalized to primitive mantle, they are rich in large–ion lithophile element Cs, K, Th and U, and relatively deficient in high field strongth element Nb, Ta, which probably indicate that originate from mantle wedge metasomatized by the liquid of subducted panel make pyrolite partly melt. The geochemical tectonic environment distinguish that mafic rocks in Liushugou Channel is moderately enriched mantle which transits from depleted mantle into enriched mantle. The best model of its formation is that: a mature island are rifting formed on the basis of an immature nature similar to the edge of the sea–arc basin, with–out upper mantle structure of mature oceanic or oceanic basins, and then the early expansion of the magma basin

收稿日期:2014-03-10;修回日期:2014-05-24.

基金项目:新疆自治区托里县柳树沟一带1:5万区域地质矿产调查项目(项目编号:XJODZ2009-04)资助。

第一作者:李纲(1983—),男,工程师,硕士在读,主要从事地质矿产调查与研究工作,E-mail;aligang@126.com.

with arc characteristics, as the basin is further opened, mafic rocks with N-MORB features. SHRIMP Zircon U-Pb dating of gabbro in Liushugou-Darbut mafic complex is yielded ages of 314.9 ± 1.7 Ma.

Key words: Darbut ophiolitic mlange; mafic rock in Liushugou; zircon U-Pb dating ; West Junggar , Xinjiang

西淮噶尔地区作为中亚古生代俯冲 - 增生复 合造山带主要组成部分^[1-8],是我国重要的多金属成 矿带,也是区域构造研究热点,区内出露包括达尔 布特蛇绿岩套在内的多条蛇绿岩带,备受国内外地 质学家关注。其中,达尔布特蛇绿岩即为典型代表, 蛇绿岩岩石组合类型在该带均有产出,著名的萨尔 托海铬铁矿床即产于该蛇绿岩中。关于达尔布特蛇 绿岩套前人做了不同程度的研究,师占义等^[9],朱宝 清等^[10]认为达尔布特蛇绿岩包括了典型蛇绿岩所 有岩石类型,是完整的蛇绿岩组合。但围绕其形成 时代和构造环境存在较大争议。

西安地质矿产研究所师占义等(1981)¹⁹对玄武 岩中碳酸盐岩夹块采到的鳞巢珊瑚化石研究认为 形成于泥盆纪。随后,肖序常等¹⁴、新疆地矿局第七 地质大队吕正¹¹¹、张驰¹²¹分别基于蛇绿岩中硅质岩 放射虫、下伏地层古孢粉、辉长岩 Sm-Nd 等时线年 龄认为其形成时代为中泥盆世。近年来,通过最新 同位素测年获得一批达尔布特蛇绿岩中玄武岩中的 闪长岩脉进行 SHRIMP 测年,获得 423 ±46 Ma~325±6 Ma 的年龄;不整合于蛇绿岩之上的辉石 安山岩年龄集中在 409±9 Ma~336±5 Ma,闪长岩 测得 550 Ma、418 Ma、304 Ma 三组数据,时代跨寒武 纪、志留纪、石炭纪。辜平阳、李永军¹⁴⁴等获得达尔 布特蛇绿岩中辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 391±6 Ma,属于中泥盆世。

近年来,多数中外地质学家支持将蛇绿岩分为 MOR(Mid-Ocean Ridge)型和 SSZ (Supra-Subduction Zone)型^[15-17]。关于达尔布特蛇绿岩形成的构造环境 也有较大争议:新疆地矿局^[11]认为达尔布特蛇绿岩 形成于弧后盆地、边缘海盆;何国琦^[18]等认为其构 造环境为弧后盆地;霍有光^[19]认为产于大洋环境; 姜勇等^[20]认为形成于弧后盆地或大陆边缘洋扩张 脊构造环境;辜平阳、李永军等^[14]认为是 SSZ 型蛇 绿岩;刘希军等^[21]对达尔布特蛇绿岩研究认为,异 型洋中脊火成岩类(E-MORB 型)为该蛇绿岩套的 主体岩性。

2009年-2013年,笔者等在新疆托里县柳树

沟一带进行1:5万区域地质矿产调查期间,对图 区出露的达尔布特蛇绿岩进行了较为深人的野外 调查,该套蛇绿岩由地幔橄榄岩、辉长岩、玄武岩、 以及深海沉积物(硅质岩)等组合混杂堆积,具有较 完整的蛇绿岩"三位一体"特征。本文从区域地质、 岩石学、地球化学和同位素年代学研究人手,拟综 合探讨达尔布特蛇绿岩岩石学特征、形成时代、构 造属性及构造演化模式。

1 地质背景

西准噶尔地区大地构造位置位于哈萨克斯坦 - 准噶尔板块(Ⅱ,一级构造单元)、准噶尔微板块 (Ⅱ,二级构造单元)、唐巴勒 - 卡拉麦里古生代复 合沟孤带(Ⅱ,⁵,三级构造单元)内。以达尔布特蛇绿 岩为界划分三个四级构造单元(图1):阿克巴斯陶 残留海盆沉积带(Ⅱ,⁵⁻¹)、达尔布特蛇绿混杂岩带 (Ⅱ,⁵⁻²)和协别克斯套 - 克尔巴依残留海盆沉积带 (Ⅱ,⁵⁻³)^[23]。随着西准噶尔地区研究程度的不断深 入,特别是一些新蛇绿混杂岩块的厘定和一批精确 同位素新资料的获得,对西准地区的大地构造位置 及构造单元划分,认识也不断地深入。

达尔布特蛇绿岩带位于克拉玛依市以西扎依 尔山区,沿达尔布特断裂呈 NE-SW 向展布,北东 起自木哈塔依,向南西经萨尔托海至苏鲁乔克被阿 克巴斯套、庙尔沟花岗岩体截断,全长约 120 km, 最宽处(萨尔托海)为 5~8 km,变窄处只有数十 米,甚至缺失,多呈风化谷地地貌(图 2-a)。

在新疆托里县柳树沟一带,出露地层主要为早 石炭世包古图组和中石炭世太勒古拉组,达尔布特 蛇绿岩受达尔布特断裂控制,与地层间主要为断层 接触,整体以断层推覆体或断层涌出夹块分布于石 炭纪地层之上或之间;其中石炭纪太勒古拉组为一 套凝灰岩 - 安山岩 - 含砾砂岩组合,角度不整合于 早石炭世包古图组含砾砂岩 - 凝灰质岩屑砂岩 -硅质岩之上。蛇绿混杂岩就位后,后期为晚石炭 -早二叠世庙尔沟花岗岩底劈顶出。由于受强烈构造 作用,岩石变质变形强烈,多被构造肢解,原始"基



图1 西准噶尔蛇绿岩分布及大地构造位置略图

Fig. 1 Simplified Geological map of Darbut ophiolite in western Junggar, Xinjiang

1-第四系覆盖区;2-石炭纪地层出露区;3-蛇绿岩;4-花岗岩体;5-断裂;6-地质界线;7-蛇绿岩编号;8-工作区.

I -西伯利亚板块; II -哈萨克斯坦-准噶尔板块; ZQT-查尔斯克-乔夏哈拉缝合带; I ,'-诺尔特晚古生代上叠盆地; I ,²-阿尔泰古生 代深成岩浆弧; I ,³-南阿尔泰晚古生代弧后裂陷槽; I ,⁴-额尔其斯构造杂岩带; I ,⁵-哈巴河晚古生代弧前盆地; II ,'-萨吾尔-二台晚古生 代岛弧带; II ,²-洪古勒楞-阿尔曼太早古生代沟弧带; II ,³-塔城晚古生代弧间盆地; II ,⁴-谢米斯台-库兰卡兹干古生代复合岛弧带; II ,³-唐 巴勒-卡拉麦里古生代复合沟弧带; II ,⁰-准噶尔中央地块.

本层序"不复存在,混杂堆积,但蛇绿岩的岩石组合 特征仍然明显。

2 岩石学特征

达尔布特柳树沟蛇绿混杂岩主要岩石类型组 合包括橄榄岩、橄辉岩、(镁铁质堆晶)辉长岩、枕状 玄武岩、杏仁状玄武岩、蛇纹岩、硅质岩及铬铁矿。 橄榄岩、辉长岩、橄辉岩多蛇纹石化、糜棱岩化,玄 武岩蚀变强烈。主要岩石学特征描述如下。

辉长岩、蚀变辉长岩:具辉长、镁铁质堆晶结构 (图 2-b),主要矿物有斜长石、单斜辉石,次要矿物 有角闪石、黑云母,次生矿物有透闪石、阳起石,副 矿物有铬铁矿。斜长石、辉石均为半自形晶,可见斜 长石钠氏双晶及卡钠复合双晶,单斜辉石具黑云母 反应边,Ng' ∧ C=41°左右,角闪石为褐色种属, Ng' A C=15°左右,常被透闪石、阳起石交代。部分 辉长岩受强硅化交代,斜长石被次生石英交代,少 数可见残迹。辉石、角闪石、黑云母保留,也有被石 英交代现象。

橄榄辉长岩:假象交代-残余包橄结构,岩石 多蛇纹石化(图 2-c、f)。主要由蛇纹石、方解石、铬 铁矿组成。蛇纹石化沿斜方辉石解理蚀变充填。辉 石颗粒粗大,假象橄榄石被包裹其中(方解石交代 假象)。辉石被蛇纹石交代,橄榄石被方解石交代, 铬铁矿呈粒状,大小在 0.2~0.9 m。

杏仁状玄武岩:变余斑状结构,基质变余球颗 结构,杏仁状结构,岩石次生蚀变作用强,主要为碳 酸盐化、绿泥石化(图 2-d)。

橄榄岩:变余自形粒状 - 变余包橄结构,由橄 榄石、斜方辉石、蛇纹石、滑石及微量铬尖晶石、铬 铁矿、磁铁矿。橄榄石多被蛇纹石交代并析出磁铁



图2达尔布特蛇绿岩套露头全貌及野外照片

Fig. 2 Photos of Darbut ophiolite in western Junggar, Xinjiang

a-达尔布特蛇绿岩套风化谷地地貌;b-蚀变辉长岩;c-蛇纹石化橄榄辉长岩;d-杏仁状玄武岩;e-蛇纹石化橄榄岩;f-橄榄辉长岩;g-含铬铁矿辉石橄榄岩.

矿,斜方辉石为滑石交代,仅见残留斜方辉石(图 2-e)。

蛇纹岩:岩石具鳞片变晶结构,由蛇纹石、少量 绿泥石、假象斜长石、绿帘石、石英、方解石等组成。 蛇纹石呈浅绿色,少见黄绿色,纤维状集合体、叶片 状。局部见假象长石(绢云母集合体呈斜长石假象 轮廓),偶见绿泥石。微裂隙充填物为方解石、石英、 绿帘石等。

含铬铁矿辉石橄榄岩:具填隙结构,由铬铁矿 (56%~60%)、橄榄石(约15%)、辉石(1%~2%)、 蛇纹石(15%~20%)、方解石(约5%)、滑石(约 2%)构成。铬铁矿颗粒间充填有橄榄石、辉石及它 们的次生矿物蛇纹石、滑石。铬铁矿呈半自形粒状 (图 2-g)。

辉石岩: 自形粒状结构, 原生矿物单斜辉石 (主)、斜方辉石,次生蚀变矿物绿泥石、方解石、滑 石。辉石蚀变可变为绿泥石、滑石,有的变为浑浊的 泥状物。岩石微裂隙充填方解石等。

放射虫硅质岩一般紫红色,呈逆冲岩片状混杂 于蛇绿岩之中。

3 岩石地球化学特征

3.1 分析方法

选择达尔布特柳树沟地区中的镁铁质岩石 样品进行岩石地球化学测试(表 1)。在柳树沟地区 采集 6件样品,其中 2件辉长岩为深灰色中 - 细粒 辉长岩、2件蚀变辉长岩为深灰色中 - 粗粒蚀变辉 长岩、1件蛇纹石化橄榄辉长岩和 1件橄榄辉长 岩。采样点地理坐标为 N45°37′15″,E84°05′30″。 分析测试在湖南省地质测试所实验室进行。主量元 素用常规湿法,容量法分析,其中灼失量用重量法 分析,微量元素和稀土元素用电感耦合等离子发射 光谱法(ICP-AES)分析。主量元素的分析精度一般 小于 1%,微量元素和稀土元素分析精度优于 5%。

3.2 镁铁质岩地球化学特征

3.2.1 主量元素地球化学

据岩石薄片观察结果及地球化学分析数据(表 1),柳树沟镁铁质杂岩岩石类型有橄榄辉长岩、蛇 纹石化橄榄辉长岩、辉长岩和蚀变辉长岩。整体上, 辉长岩和蚀变辉长岩的 SiO₂ 含量变化较大,在 46.58%~51.87%之间,平均为 48.61%,相对富 TiO₂ 和 TFe₂O₃,TiO₂含量变化于 0.14%~2.02%之间,平 均为 0.98%。MgO 变化于 6.39%~11.49%,Mg# 变 化范围较大(62.56~77.46),反映柳树沟镁铁质岩经 历了一定程度分离结晶作用。Al₂O₃含量中等,平均

为 16.60%, 全碱 ALK (Na₂O + K₂O) 为 1.35% ~ 4.44%,且 Na₂O>K₂O,显示出富钠低钾特征。在岩石 化学全碱 -SiO₂(图 3a)和 AFM 图解中(图 3b),辉 长岩和蚀变辉长岩样品落入亚碱性玄武岩中拉斑 玄武岩和钙碱性玄武岩区域,表明具有钙碱性和拉 斑玄武岩的双重特征。



图3 镁铁质岩全碱-SiO₂图解(a)和A-F-M图解(b) Fig. 3 The whole alkaline-SiO₂(a) and FeOt-ALK- MgO diagram(b) for mafic rocks

柳树沟橄榄辉长岩和蛇纹石化橄榄辉长岩蚀 变强烈,在 MgO-CaO-Al₂O₃协变图解中全部落入 镁铁质堆积岩区域。橄榄辉长岩和蛇纹石化橄榄辉 长岩的主要氧化物含量集中且稳定,平均含量分别 为:SiO₂=43.92%,TiO₂=1.03%,Al₂O₃=12.91%,Fe₂O₃= 3.75%, FeO=9.94%, MnO=4.73%, MgO=9.15%, CaO= 12.95%, Na₂O=1.26%, K₂O=0.26%, P₂O₅=0.09% MgO 含量稍高于辉长岩中 MgO 的含量。岩石的 Mg# 平 均为 62.79, 介于印度洋辉长岩的 Mg# 范围(32~ 88),属于蛇绿岩中的镁铁质堆晶岩单元,低于原 生岩浆范围(68-75),表明岩浆经历过一定程度的 分异演化。TiO2含量与辉长岩相当,Al2O3含量均 比辉长岩含量低。此外, Na₂O含量高于 K₂O 含量, 与大多数超基性岩不同,岩石碱含量比超基性岩 高,表明其性质更接近于镁铁质岩石。在岩石 ACM 判别图解(图 4)中,橄榄辉长岩和蛇纹石化橄 榄辉长岩全部落入镁铁质堆积蛇绿岩区域,为蛇 绿岩组成单元。

CIPW 标准矿物计算值显示(表 2),均不出现 石英、刚玉、硅酸钠、锥辉石,长石主要为钙长石、钠 长石,极少部分钾长石,各岩石中均含极少量铬铁 矿,含少量的橄榄石。F/F+M 为 0.27~0.58,平均 0.43;DI 从 4.78~39.09,波动范围较大,而 SI 则为 30.14~52.91,相对较稳定。蛇纹石化橄榄辉长岩为 钙碱性(1.8<σ<3.3),其他为钙性(σ<1.8)。AR 为 1.04~1.37,平均 1.19。





3.2.2 稀土和微量元素地球化学

(1) 稀土元素地球化学特征

达尔布特柳树沟地区镁铁质岩稀土元素的分 析结果见表1。柳树沟镁铁质岩稀土总量含量较 高, Σ REE 在 58.21 × 10⁻⁶ ~ 109.03 × 10⁻⁶, 为球粒陨 石的 10 倍以上。LREE 总量为 4.94 × 10-6 ~ 35.24 × 10⁻⁶, HREE 总量为 43.25 × 10⁻⁶ ~ 97.81 × 10⁻⁶, Σ LREE/∑HREE 比值在 0.05~0.48 之间。(La/Yb)_N= $0.35 \sim 1.50$, (La/Sm)_N= $0.11 \sim 2.69$, (Gd/Yb)_N= $0.05 \sim$ 0.63,表明重稀土富集、轻稀土轻微亏损,轻重稀土 分异一般,轻稀土和重稀土内部分异不明显。δEu 主体在 1.05~2.03 之间,集中在 1 附近,表明有微 弱的正 Eu 异常,显示有斜长石的堆晶作用。除一 件样品(PM8-28)分配曲线变化较大外,其他样品 稀土元素配分型式为略左倾的平坦型 (图 5a),且 各样品配分曲线基本平行,只有位置的相对高低, 反映了具有同源岩浆系列的特征。所有样品的平 坦型曲线区别于 N-MORB 的 LREE 亏损型分布型 式,显示出不同于典型 N-MORB、向 E-MORB 讨 渡的性质, 重稀土元素富集的配分型式与现代大 洋地幔橄榄岩轻稀土亏损模式有差别,而与中国 大多数蛇绿岩特别是造山带蛇绿岩镁铁质堆晶岩 单元 LREE 富集的特点相近^[23],呈现出与 SSZ 型镁 铁质堆晶岩相同的稀土配分模式。这可能是由于 上地幔经历部分熔融形成亏损型基性岩浆后又被 俯冲带流体交代作用改造所致。对于样品 PM8-28 的稀土配分曲线也应引起重视,在野外岩石宏观 接触关系上,所有该件和其他岩样品均采自同一

剖面, 二者并无截然的界线, 且两者岩石矿物组 合、变质、变形等具有一致性, 但在镜下薄片中可 观察到样品 PM8-28 次生蚀变较强。无独有偶, 在 岩石地球化学分析结果中(表 1), 样品 PM8-28 中 Fe₂O₃ 含量(4.84%)是最高的, 因此笔者认为该件样 品稀土元素变化大的原因很可能是由后期强烈蚀 变引起的。

(2) 微量元素地球化学特征

微量元素的原始地幔标准化图解如图所示(图 5b)。柳树沟镁铁质岩在微量元素蛛网图上具大致 相同的分布规律,富集大离子亲石元素 Cs、K、Th、 U,在蛛网图左端具明显的突起形态,相对亏损高 场强元素 Nb、Ta,蛛网图右端高场强元素基本未分 异,在原始地幔标准化图解上基本在原始地幔 10 倍线附近。具有这种配分型式的原因是俯冲板片的 流体交代上覆地幔楔使地幔岩石发生部分熔融,由 于 Nb、Ta 等 HFSE 与其它元素(LILE、LREE)相比在 流体中溶解度降低淀留在残留相中。

4 形成时代

本次工作为了获取达尔布特柳树沟镁铁质岩的 形成时代,采用 SHRIMP 法对辉长岩中的岩浆锆石进 行了 U-Pb 同位素年龄测试。测年样品采自柳树沟剖 面中,采样地理坐标为 N45°37′15″,E84°05′30″。

4.1 分析方法及结果

锆石样品采用常规浮选和电磁选,再在双目镜 下挑选出晶形较好和透明度好的锆石颗粒,将其和



图5 柳树沟镁铁质岩稀土元素球粒陨石标准化分配型式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b) (球粒陨石标准化值据Boynton,1984^[24];原始地幔标准化值据Sun and McDonough,1989^[25])

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized spider-gram (b) for Liushugou mafic-ultramafic rocks

表1 达尔布特柳树沟镁铁质杂岩主量元素、微量元素及稀土元素含量

Table 1 Major and trace elements contents of mafic complexes from Liushugou-Darbut

样号		PM6-44-1	PM6-66-2	PM8-3-1	PM8-10-2	PM8-13	PM8-28	
		蛇纹岩	辉石岩	辉长岩	蛇纹石化橄辉岩	蚀变郑	长岩	
主量元素	SiO ₂	49.28	46.71	51.87	45.78	42.07	46.58	
	TiO ₂	0.51	2.02	0.41	1.55	0.52	1.00	
	Al ₂ O ₃	17.31	13.94	18.55	12.58	13.25	15.13	
	Fe ₂ O ₃	5.09	3.05	1.37	3.88	3.61	4.78	
	FeO	5.43	10.44	4.20	12.61	7.26	4.31	
	MnO	0.21	0.29	0.13	0.33	9.14	0.13	
	MgO	6.39	9.79	8.09	9.16	9.14	11.49	
	CaO	11.23	12.05	11.49	11.49	14.40	14.36	
	Na ₂ O	3.67	1.39	3.51	2.05	0.47	1.19	
	K ₂ O	0.77	0.14	0.35	0.46	0.07	0.17	
	P_2O_5	0.11	0.17	0.03	0.11	0.07	0.02	
	Mg#	67.69	62.56	77.46	56.42	69.15	66.66	
	La	3.81	4.15	0.76	2.61	3.69	0.36	
	Ce	6.60	12.34	1.92	8.10	7.70	0.73	
	Pr	0.49	1.74	0.32	1.10	0.83	0.12	
	Nd	2.79	10.96	0.90	7.67	3.55		
稀	Sm	0.89	4.23	0.60	3.25	1.03	—	
	Eu	0.38	1.82	0.44	1.22	0.43	0.09	
	Gd	1.10	4.77	0.73	3.89	1.25	0.01	
	Tb	0.30	1.08	0.24	0.90	0.32	0.08	
	Dy	2.04	8.66	1.56	7.51	2.24	0.08	
土	Но	0.64	2.10	0.50	1.86	0.67	0.17	
兀	Er	1.63	5.79	1.08	5.24	1.70	0.07	
系	Tm	0.26	0.86	0.17	0.79	0.28	0.02	
	Yb	1 71	5.47	1.05	4.99	1.83	0.17	
	Lu	0.27	0.76	0.18	0.72	0.31	0.06	
	ΣREE	58.21	109.03	102.75	103.65	63.73	79.43	
	LREE	14.96	35.24	4.94	23.95	17.23	8.47	
	HREE	43.25	73.79	97.81	79.70	46.50	70.96	
	L/H	0.35	0.48	0.05	0.30	0.37	0.12	
	δΕυ	1.17	1.23	2.03	1.05	1.16	0.24	
	Cs	2.6	5.5	0.2	4.2	0.2	0.2	
	Rb	15	5	10	7	5	5	
	Sr	171	67	211	214	81	120	
	Ba	54	45	48	53	39	56	
	Ga	14	17	14	17	15	12	
	Nb	7.7	7.6	4	8.3	9.1	4.3	
State.	Ta	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	
微量元素	Zr	17	89	13	38	30	5	
	Hf	1.5	1.6	1.2	0.9	1.1	0.7	
	Th	3.1	3.1	2.1	4.7	4.7	2.3	
	V	236	441	180	524	349	96	
	Cr	618	105	676	238	315	54	
	Co	41.5	42.4	26.3	53	47.3	41.6	
	Ni	129	58.2	126.4	111.2	199.1	126.3	
	Sc	24	34.7	21.4	41.3	29.7	22.2	
		1.55	1.27	0.82	1.53	2.58	0.37	
	I Y	12.27	35.55	8.60	30.32	11.37	3.03	

注:主量元素(%);微量元素及稀土元素含量(×10⁻⁶).

												_
样品号	Q	An	Ab	Or	С	Di	Ну	Ol	Ac	Ns	II	Mt
PM6-44-1	0	28.43	25.93	4.5	0	21.32	23.32	11.59	0	0	0.72	3.24
PM6-66-2	0	31.33	11.77	0.79	0	21.2	20.43	5.41	0	0	3.82	4.42
PM8-3-1	0	33.75	29.63	2.08	0	17.56	3.37	10.34	0	0	0.78	1.99
PM8-10-2	0	23.74	17.31	2.7	0	25.99	2.4	18.72	0	0	2.93	5.61
PM8-13	0	37.12	4.35	0.43	0	32.23	12.98	6.55	0	0	1.09	4.69
PM8-28	0	40.15	10.01	0.99	0	23.93	4.83	15.51	0	0	0.26	3.84
样品号	Ap	Zr	Cm	Ру	Cc	F/F+M	DI	SI	A/CNK	σ	AR	
PM6-44-1	0.16	0	0.13	0	0.56	0.46	39.06	30.14	0.635	5.4	1.37	
PM6-66-2	0.38	0.02	0.02	0.01	0.43	0.52	12.56	39.47	0.573	0.64	1.12	
PM8-3-1	0.08	0	0.15	0.01	0.37	0.34	31.71	46.18	0.686	1.69	1.3	
PM8-10-2	0.27	0.01	0.05	0.01	0.3	0.58	20.01	32.54	0.508	2.31	1.23	
PM8-13	0.18	0.01	0.07	0.02	0.35	0.44	4.78	44.61	0.49	0.11	1.04	
PM8-28	0.05	0	0.01	0.04	0.4	0.27	11	52.91	0.596	0.51	1.09	

表2 达尔布特柳树沟镁铁质杂岩CIPW标准矿物计算及有关参数

Table 2 CIPW standard minerals component and related parameters of mafic complexes from Liushugou-Darbut

注:DI- 分异指数;SI- 固结指数;A/NCK- 铝质指数;σ- 组合指数;AR- 碱度率;F/F+M=(FeO/FeO+MgO)。

标准锆石 TEM(年龄为 417 Ma)在玻璃板上用树脂 固定、抛光,然后进行反射光和透射光照相,以及阴 极发光扫描电镜图像分析。锆石的阴极发光图像及 其锆石微区 U-Pb 定年测试均在北京离子探针中 心完成,分析原理和流程见 Compston 等^[24]、Willians (1998)^[25]。实验分多次完成,但测定过程和条件类 似。一次离子流 10⁻²强度为 5~8 nA。一次离子流 束斑直径为 25~30 µm。样品点清洗时间为 120~ 180 s。每个数据点测定为 5 组扫描。标准为澳大利 亚国立大学的 SL13 和 TEM。数据处理采用 Squid 1.0 及 Isoplot 程序^[26-27]。单个分析值误差为 1 σ, 图 和文中年龄平均值误差为(95%置信度)。

从测年样品(RZ8)中选取的锆石均为透明 – 半透明的长柱状、半状及不规则状晶体,自形程度 中等或较好,矿物粒度多为100~300μm,锆石中 的裂隙较为发育,多为无规律交切,多数锆石已成 残片状,晶体长宽比介于1:1~4:1之间,以2:1为 主体。在阴极发光图像(CL)上(图6),锆石显示较强 的发光性,多为白色 – 灰色。大部分锆石可见到岩 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、颜色稍暗晶核,个 别锆石呈半截柱状,少部分锆石有港湾状的溶蚀 边,为后期岩浆热溶蚀的结果。

其 U-Pb 年龄分析结果见表 3 和图 7。20个测点

的 ²⁰⁵Pb/²³⁸U 年龄值变化于 308 ~ 322 Ma 之间,但 MSWD 值较大,说明有些数据为离群值(RZ8-1, RZ8-2)。其中 18 个点年龄较接近(RZ8-3~20),这 18 个点的 ²⁰⁵Pb/²³⁸U 年龄给出的加权平均年龄为 314.9±1.7 Ma(2σ,MSWD=3.2),表明达尔布特柳树 沟镁铁质岩石的侵位时代为为晚石炭世莫斯科期。

4.2 形成时代探讨

多位学者以不同方法对达尔布特蛇绿岩形成 时代进行了研究。肖序常等一、张驰四认为达尔布特 上部洋壳中所夹硅质岩的放射虫时代主要是中泥盆 世。西安地质矿产研究所(1981)¹⁹在蛇绿岩带火山岩 所夹碳酸盐凸镜体中采到鳞巢珊瑚化石(Squameofavosites sp.),初定为泥盆纪。此后,新疆地矿局第七 地质大队吕正凹在萨尔托海超镁铁岩体下伏地层中 采到古孢子样品, 分离出 Granula tisporites sp., Reticulatisporites sp., Horstisporites sp., Leiotriletes sp.等分子,将蛇绿岩形成时代定为中泥盆统。混杂 在蛇绿岩中呈残片状的硅质岩和灰岩所含化石,以 及蛇绿岩下伏地层中的古孢粉指示的时代只能部 分说明达尔布特蛇绿岩活动时期可以往前推至泥 盆世。张弛等印》依据达尔布特堆晶岩中辉长岩和橄 长岩及个别萨尔托海辉长岩拟合成 Sm-Nd 等时线 年龄为 395 ± 12 Ma,时代为中泥盆世。

近年来,通过 SHRIMP 测年等方法获得一批达

	总 Pb	²³² Th	²³⁸ U	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	
测点号		(×10 ⁻⁶)		比值	比值	1σ	比值	lσ	比值	1σ	比值	1σ	年龄 Ma	lσ	年龄 Ma	lσ	年龄 Ma	lσ	年龄 Ma	1σ
RZ8-1	7.7	48.3	71.2	0.68	0.052	0.001	0.354	0.007	0.049	0.000	0.010	0.001	305.6	38.9	308.1	5.3	308.3	1.9	203.6	19.7
RZ8-2	8.1	51.9	84.9	0.61	0.050	0.001	0.341	0.003	0.049	0.000	0.008	0.001	216.7	24.1	298.2	2.6	309.3	1.4	161.9	12.5
RZ8-3	6.5	29.6	48.0	0.62	0.053	0.001	0.364	0.005	0.050	0.000	0.011	0.001	322.3	33.3	314.9	3.7	316.2	1.9	226.4	19.5
RZ8-4	6.4	38.9	57.1	0.68	0.051	0.001	0.351	0.005	0.050	0.000	0.010	0.001	239.0	33.3	305.5	3.4	315.5	1.9	198.6	17.0
RZ8-5	6.4	19.0	32.8	0.58	0.054	0.001	0.377	0.007	0.051	0.000	0.017	0.002	383.4	43.5	325.1	4.8	318.6	2.5	348.5	30.6
RZ8-6	9.5	76.6	126.5	0.61	0.051	0.000	0.347	0.003	0.049	0.000	0.006	0.000	239.0	12.0	302.2	2.4	310.8	1.9	115.8	8.2
RZ8-7	7.9	42.6	67.1	0.63	0.052	0.001	0.364	0.004	0.051	0.000	0.009	0.001	298.2	-2.8	315.5	3.1	319.4	2.1	187.4	16.8
RZ8-8	7.4	45.3	66.5	0.68	0.053	0.001	0.362	0.006	0.050	0.000	0.008	0.001	322.3	37.0	313.7	4.3	315.2	2.1	168.6	15.7
RZ8-9	6.1	33.8	52.4	0.65	0.054	0.001	0.376	0.006	0.051	0.000	0.011	0.001	372.3	33.3	324.1	4.2	318.7	2.4	216.9	19.9
RZ8-10	7.9	39.4	82.8	0.48	0.053	0.001	0.362	0.004	0.050	0.000	0.008	0.001	322.3	29.6	313.6	3.2	315.1	2.2	164.5	16.6
RZ8-11	8.9	48.7	76.9	0.63	0.053	0.001	0.362	0.004	0.050	0.000	0.008	0.001	309.3	24.1	313.4	3.0	315.8	2.5	160.9	13.1
RZ8-12	8.6	46.6	71.6	0.65	0.054	0.001	0.373	0.006	0.050	0.000	0.008	0.001	372.3	38.9	322.2	4.7	316.7	2.5	169.2	14.7
RZ8-13	8.5	38.1	77.8	0.49	0.053	0.001	0.368	0.004	0.051	0.000	0.010	0.001	324.1	25.9	317.9	3.3	317.6	2.3	205.1	17.4
RZ8-14	9.8	44.6	71.0	0.63	0.053	0.001	0.367	0.005	0.050	0.000	0.010	0.001	344.5	31.5	317.5	4.0	316.3	2.5	200.4	16.4
RZ8-15	8.6	47.0	74.0	0.64	0.053	0.001	0.366	0.005	0.050	0.000	0.009	0.001	331.5	29.6	317.0	3.6	315.4	1.9	178.5	13.7
RZ8-16	9.4	46.8	73.4	0.64	0.053	0.001	0.363	0.005	0.050	0.000	0.009	0.001	316.7	29.6	314.8	3.7	315.2	2.0	188.0	14.6
RZ8-17	7.6	30.7	64.0	0.48	0.054	0.001	0.378	0.005	0.051	0.000	0.012	0.001	350.1	34.3	325.5	4.0	322.2	2.0	232.1	20.6
RZ8-18	8.8	36.9	57.2	0.65	0.053	0.001	0.368	0.006	0.050	0.000	0.011	0.001	344.5	37.0	318.3	4.4	317.3	2.1	220.7	16.8
RZ8-19	9.0	39.7	85.3	0.47	0.052	0.001	0.362	0.006	0.050	0.000	0.010	0.001	301.9	29.6	313.5	4.3	314.6	2.0	203.4	15.9
RZ8-20	8.5	39.3	60.5	0.65	0.053	0.001	0.360	0.005	0.050	0.000	0.011	0.001	316.7	33.3	312.3	3.8	312.7	2.2	212.5	17.1

•

鈌

圉 푌 颅 गा 可

٦ŧ

万方数据

2014 年



图6 锆石阴极发光照片 Fig. 6 Cathodoluminescence images of zircons of mafic complexes from Liushugou-Darbut

尔布特蛇绿岩同位素年龄。徐新等(2006)^[13]对达尔 布特蛇绿岩玄武岩中的闪长岩脉 SHRIMP 测年结 果集中在 423 ± 46 Ma 和 325 ± 6 Ma 两组年龄,不整 合于蛇绿岩之上的辉石安山岩集中在 409 ± 9 Ma 和 336 ± 5 Ma 两组年龄,达尔布特蛇绿岩带内闪长岩 测得 550 Ma、418 Ma、304 Ma 三组数据,时代跨寒 武纪、志留纪、石炭纪。辜平阳、李永军等^[14]对达尔 布特蛇绿岩中的辉长岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年,获得年龄为 391 ± 6 Ma,其时代属于中 泥盆世。

本文研究的达尔布特柳树沟镁铁质岩石作为达 尔布特蛇绿岩的一个重要组成单元,获得柳树沟镁 铁质岩石中辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 314.9±1.7 Ma(MSWD = 3.2),与刘希军等^[21]获得的 达尔布特阿克巴斯套蛇绿岩片中辉长岩锆石 U-Pb 年龄(302±1.7 Ma)较为接近,表明达尔布特蛇绿岩 所在的不成熟弧后盆地直到晚石炭世尚未关闭。





5 构造环境判别

现代研究表明,镁铁质岩形成环境多种多样, 不同构造环境下形成的镁铁质岩具有不同的地球 化学类型。蛇绿岩产生的构造环境大体可分为洋中 脊型(MORB)和俯冲型(SSZ)两大类,而且二者之间 可连续过渡[28]。换言之,镁铁质 - 超镁铁质岩产生 的构造环境至少包括以上两类及其间的过渡类型 在内的更多类型。由于本区镁铁质岩遭受到海水蚀 变影响,常量元素难免有带入、带出现象。一些微量 元素(如 Zr、Y、Nb、Ta、Hf、Ti 等)在蚀变和低级变质 条件下相当稳定,用它们进行镁铁质岩岩石成因和 源区性质示踪研究最为可靠。对柳树沟地区的6件 辉长岩和橄榄辉长岩样品进行了地球化学特征的 构造环境判别,结果如图所示 (图 8)。在 TiO₂-10MnO-10P₂O₅图解中, 辉长和橄榄辉长岩样 品数据点分散在洋岛弧钙碱性玄武岩(CAB)和岛 弧拉斑玄岩(IAT)区域;在Ti/100-Zr-Sr/2图解中, 辉长岩样品数据点落入岛弧玄武岩区域及边部 (IAB)区域;在Hf/3-Th-Ta图解中,所有样品数据点 落入岛弧钙碱性玄武岩(CAB)及其邻区;在TiO2-Zr 图解中,样品数据点主体落入洋 VAB 区域,有一件 样品落入 MORB 和 WPB 重叠区域。以上地球化学 属性暗示其构造属性与岛弧关系密切,很可能就是 早期岛弧裂谷化形成的次级扩张构造环境,与稀土 元素地球化学(图 5a)反演的结果具有一致性。

在球粒陨石标准化的稀土元素配分曲线图上, 所有样品的平坦型曲线区别于 N-MORB 的 LREE 亏损型分布型式,显示出不同于典型 N-MORB、向 E-MORB 过渡的性质。在原始地幔标准化的镁铁质



图8 柳树沟镁铁质岩构造环境判别图 Fig. 8 Tectonic discrimination diagrams for mafic rocks from Liushugou-Darbut

岩石微量元素蛛网图上,大部分样品表现出一致的 地球化学属性, 左端强不相容元素呈突起状, 右端 相容元素基本未分异呈水平状(图 4b)。若以大离 子亲石元素为判据,则辉长岩样品以富集 Cs、K、 Th、U 等大离子亲石元素为特征,这种特征的地球 化学性质在一定程度上反映了地幔源区含有岛弧 火山岩的成份,显示出与俯冲带构造环境相关。若 以 HFSE 为线索,所有辉长岩样品从 La 到 Lu 基本 上未发生分馏为共同特征,不同于板内玄武岩"大 隆起"型配分型式, 而是显示出类 N-MORB 的性 质。以上地球化学属性显示柳树沟镁铁质岩石形成 的构造环境既非典型的 N-MORB, 也并不是简单 意义上的 IAB。放眼全球现今已知的大地构造环 境,只有消减带之上与弧后盆地次级扩张相关的 "俯冲岩石圈地幔+新生洋壳"组合才兼具这样复 杂的地球化学属性。因此,综合以上岩石学、岩石主 量、微量及稀土元素地球化学特征,达尔布特柳树 沟镁铁质岩石源区可能为亏损型地幔(N-MORB)向 富集型地幔(E-MORB)过渡的适度富集型地幔,其

形成的最佳模型是类似边缘海性质的在成熟岛弧 基础上裂谷化形成的一个不成熟的弧后盆地,不具 有现今成熟大洋或成熟盆地那样的洋壳 - 上地幔 结构,在盆地扩张初期形成的岩浆具岛弧岩浆的特 征,随着盆地被进一步打开镁铁质岩石具 N-MORB特征。

本文 SHRIMP分析样品制备、分析测试得到 了北京离子探针中心工作人员及刘敦一、董春艳等 研究员的支持和具体指导,杨斌教授及马铁球高工 对论文悉心指导,深表谢忱。

参考文献:

- Zhu Y F and Ogasawara Y. Carbon recycled into the deep Earth: Evidenced by dolomite in subduction-zone rocks [J]. Geology, 2002,30:947-950.
- [2] Zhu Y F, Zhang L F, Gu L B, Guo X and Zhou J. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50:2201-2212.

- [3] Zhu Y F and Xu X. The discovery of Early Ordovician ophiolite melange in Taerbahatai Mts, Xinjiang, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(12):2833-2842.
- [4] 肖序常,汤耀庆,李锦轶,等.新疆北部及其邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992.
- [5] 李锦轶. 新疆东部古元古代晚期和古生代构造格架及其 演变[J].地质论评,2004,50(3):304-322.
- [6] 李锦轶,何国琦,徐新,李华芹,孙桂华,杨天南,高立明,朱 志新. 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.
- [7] 肖文交,韩春明,袁超,陈汉林,孙敏,林寿发,厉子龙,毛启贵,张继恩,孙枢,李继亮.新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-成矿作用:对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约[J]. 岩石学报,2006,(22)5:1062-1076.
- [8] 朱永峰,徐新.新疆塔尔巴哈台发现早奥陶世蛇绿岩[J]. 岩石学报,2006,22(12):2833-2842.
- [9]师占义.新疆达尔布特二辉橄榄岩团块的成因类型及其 地质特征[J].中国科学院西安地质矿产研究所所刊,1982, (4):21-25.
- [10]朱宝清,王来生,王连晓.西准噶尔西南地区古生代蛇 绿岩
 [J].中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1987, (17): 3-64.
- [11]新疆维吾尔自治区地质矿产局,新疆维吾尔自治区区域 地质志.北京:地质出版社,1993.
- [12] 张驰,黄 萱.新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境讨论[J].地质论评, 1992, 38:509-524.
- [13] 徐新,何国琦,李华芹,丁天府,刘兴义,梅绍武.克拉玛依 蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石SHRIMP年龄信息[J]. 中国地质,2006,33(3):470-475.
- [14] 辜平阳,李永军,张 兵,佟丽莉,王军年.西准达尔布特 蛇绿岩中辉长岩LA-ICP-MS锆石U-Pb测年[J].岩石学 报,2009,25(6):1364-1372.
- [15] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites
 [A]. //In:Kokelaar B P, Howells M E eds. Marginal Basin Geology. Geological Society of London Special Publication, 1984, 16:77-94.
- [16] Pearce J A. Supra-subduction zone ophiolitcs: The search for modem analogues [A].//Ophiolite concept and the evolution of geological thought (eds. Dilek Y anf Newcomb S)[C]. Geological Society of American Special Paper, 2003,

373:269-293.

- [17] Robertson A H E. Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region [J]. Lithos, 2002, 65: 1–67.
- [18]何国琦,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,1994:130-147.
- [19] 霍有光.西准噶尔达拉布特蛇绿岩稀土元素岩石化学特征及地质意义 [J]. 西安地质矿产研究所所刊,1985, (10):53-66.
- [20]姜勇,李少贞,郑启之,李松龄,冯新昌,董富荣.西准噶尔达拉布特超镁铁岩岩石化学特征及形成环境[J].新 疆地质,2003,21(2):260-261.
- [21] 刘希军,许继峰,王树庆,侯青叶,白正华,雷敏.新疆西 准噶尔达拉布特蛇绿岩E-MORB型镁铁质岩的地球化 学、年代学及其地质意义 [J]. 岩石学报,2009,25(6): 1373-1389.
- [22] Coleman R G.Ophiolites [M]. Beijing: Geological Publishing, 1982.
- [23] 王希斌, 鲍佩声, 戎合. 中国蛇绿岩中变质橄榄岩的稀 土元素地球化学[J]. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 24-41.
- [24] Sun and McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society of London, Special Publication, 1989, 42: 331-345.
- [25] Boynton W V, Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A]. //In: Henderson, P. (ed.) Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984:63-114.
- [26] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, Zhang Z C. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale [J]. Journal of Geology Society, London,1992,149:171-184.
- [27] Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microporpe zircon U-Th-Pb[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 97:205-217.
- [28] Ludwig K R. Using Isoplot/EX, version 2, a Geolocronolgical Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronolobical Center Special Publication, 1999;47.
- [29] Ludwig K R.Squid 1.02: A User Manual [M]. Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2001.
- [30] 张旗,周国庆.中国蛇绿岩[M]. 北京:科学出版社,2001.