

柴达木东北部晚石炭世盆山格局研究

孙娇鹏¹, 陈世悦¹, 彭渊², 汪峰¹, 高立祥¹, 邵鹏程¹, 马帅¹

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580;

2. 中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037)

摘要:根据地球化学、碎屑锆石测试资料和大地构造学理论,对石灰沟剖面克鲁克组碎屑岩物源区性质及构造属性进行研究。结果表明:柴达木东北部地区晚石炭世盆地类型为被动大陆边缘盆地,物源区岩石组合以中酸性岩浆岩为主,缺少基性物质的加入,也不存在明显的沉积再旋回;克鲁克组碎屑岩物源区主要由古老基底组成,但包含一定加里东期物质,柴北缘构造带依旧是碎屑物质来源之一;晚石炭世海侵及盆地沉降受北侧宗务隆晚古生代裂陷海槽控制,碎屑物质来源于南侧柴北缘加里东造山带,呈“南山-北海”的盆山格局,盆地内部充填海相沉积建造;柴北缘古生代造山带剥蚀开始于约430 Ma前,存在时间下限不晚于晚石炭世,早期主要发生岛弧岩浆岩的剥蚀,晚期则主要发生古老基底的剥蚀。

关键词:柴达木东北部;晚石炭世;盆山格局;地球化学;碎屑锆石

中图分类号:P 731 **文献标志码:**A

引用格式:孙娇鹏,陈世悦,彭渊,等.柴达木东北部晚石炭世盆山格局研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2017,41(4):10-17.

SUN Jiaopeng, CHEN Shiyue, PENG Yuan, et al. Late Carboniferous mountain-basin framework of Northeastern Qaidam area[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(4): 10-17.

Late Carboniferous mountain-basin framework of Northeastern Qaidam area

SUN Jiaopeng¹, CHEN Shiyue¹, PENG Yuan², WANG Feng¹,
GAO Lixiang¹, SHAO Pengcheng¹, MA Shuai¹

(1. School of Geosciences, Qingdao in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The characteristics and structural attribute of the provenance of Keluke Formation clastic rocks from Shihuigou profile were studied according to the geochemistry, test data of detrital zircon and geotectonic theory. It is found that the type of late Carboniferous basin in northeastern Qaidam margin is passive margin basin. And the intermediate-acid magmatic rocks of the rock assemblage are dominant in the provenance. The basic-intermediate acidic rocks are absent, and there is no obvious sedimentary cycle. Provenance of Keluke Formation is mainly composed of antique basement. However, it also involves a certain amount of Caledonian period material, indicating the north Qaidam tectonic belt is still one of the detrital material sources. The Late Carboniferous transgression and basin subsidence are controlled by the Zongwulong late Paleozoic aulacogen in the north. And the detrital material came from the north Qaidam Caledonian orogenic belt, showing the basin-orogen pattern of "southern mountain-northern sea". The internal basin is filled with marine sedimentary. The denudation history of North Qaidam Paleozoic orogen started from ca. 430 Ma, and its existence is no later than Late Carboniferous. The arc magmatic rocks are erased in the earlier stage and the erosion of antique basement happens in the later period.

收稿日期:2016-12-03

基金项目:国土资源地调项目(资[2014]03-025-002,121201104000150007,12120113040000-3)

作者简介:孙娇鹏(1988-),男,博士研究生,研究方向为大地构造与沉积学。E-mail:sunjiaopeng@163.com。

Keywords: Northeastern Qaidam area; Late Carboniferous; mountain-basin framework; geochemistry; detrital zircon

柴达木东北部地区是柴达木地区古生界油气勘探最有希望取得突破的地区,近年来的勘探、钻探结果已证实厚层烃源岩的大面积存在并发生过油气运聚^[1]。上石炭统是柴达木东北部地区古生界含油气系统主力烃源岩发育层段,克鲁克组砂砾岩也是古生界储集性能最好的储层,柴页2井已在克鲁克组泥页岩中发现油气显示。研究人员或者针对上石炭统沉积相类型、沉积演化^[2-3],或者从轻矿物组成、地球化学特征及沉积体系展布等角度推论了晚石炭世的盆山格局^[4-5],对柴北缘构造带古生代构造演化讨论集中在寒武纪-早志留世的洋陆俯冲-陆

陆碰撞阶段^[6-7],笔者着重关注柴北缘洋盆消失后巨大的柴北缘加里东期造山带隆升-剥蚀演化。

1 区域地质概况及样品分析

研究区位于柴达木东北部德令哈以西地区,大地构造位置介于柴北缘早古生代结合带(也即柴北缘构造带)及宗务隆晚古生代-早中生代裂陷带之间(图1),属欧龙布鲁克地块上的稳定盖层沉积^[2-3]。研究区晚石炭世主要发育陆表海陆源碎屑岩-碳酸盐岩混合沉积体系,盆地沉降受北侧宗务隆裂陷槽控制,海侵自北向南进行^[2-3,8-10]。

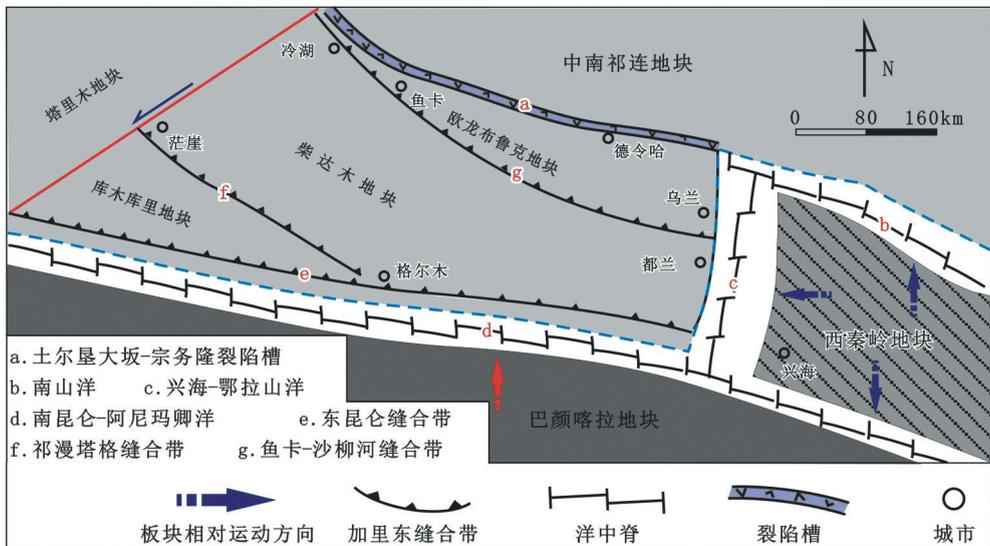


图1 柴达木地区晚石炭世大地构造简图

Fig. 1 Sketch geotectonic map of Qaidam area during Late Carboniferous

选取石灰沟剖面上石炭统克鲁克组及扎布萨尕秀组下段砂岩进行分析测试。克鲁克组采集11件地球化学样品,1件锆石年代学分析样品;扎布萨尕秀组下段采集6件地球化学测试样品。样品露头及镜下典型特征如图2。采样后,削去泥土及风化表面,在河北省地质矿产局廊坊实验室用常规方法破碎研磨粉碎至0.074 mm,碎屑锆石测试样品中分选出1000粒锆石。主、微量元素测试在ALS实验室完成,主量元素采用硼酸锂/偏硼酸锂熔融-X荧光光谱分析法测试,微量元素含量分别采用等离子质谱定量分析法测试。锆石制靶、CL图像拍照及锆石U-Pb同位素测试在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。数据处理采用GLITTER程序计算每个同位素测点净计数时,背景计数采用该点在30 s内气体背景计数的平均值。加权平均年龄计算及谐和图的绘制采用Isoplot(ver2.49)。

2 碎屑岩地球化学特征

从碎屑岩地球化学特征推断物源区岩石组合及沉积期大地构造环境的理论及研究手段由Bhatia^[11-14]基于对现今地壳表层不同构造环境内沉积物地球化学特征的统计结果提出,近二十年来已经成为研究沉积盆地构造环境和物源区岩石组合的重要手段。其理论基础是近似认为沉积岩地球化学组成与物源区岩石地球化学特征无明显差异。事实上,源区风化、沉积物搬运、沉积物-盆内水体交换、成岩改造等均可对沉积岩物质组成以及地球化学特征产生巨大改造^[5],很多大离子亲石元素甚至是沉积盆地水体介质、成岩流体判别的有效参数,以碱金属元素为主的强活动性元素含量及比值并不适宜作为从沉积岩推断物源区岩石组合的判别标准参数。因而,本文中选取 TFe_2O_3 、 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 等化学

活动性稳定的氧化物以及 Sc、Co、Th、La、Zr、Hf 等难迁移微量元素进行分析。

孙娇鹏等^[5]已经基于石灰沟地区石浅1井克鲁克组-扎布萨尕秀组钻井岩心砂砾岩样品主微量元素对研究区晚石炭世盆地构造环境及物源区岩石组

合特征进行了系统探讨。在此基础上结合最新取得的露头砂砾岩样品地球化学测试结果,对柴东东北部地区晚石炭世物源区岩石地球化学特征以及沉积盆地构造环境进行进一步分析。

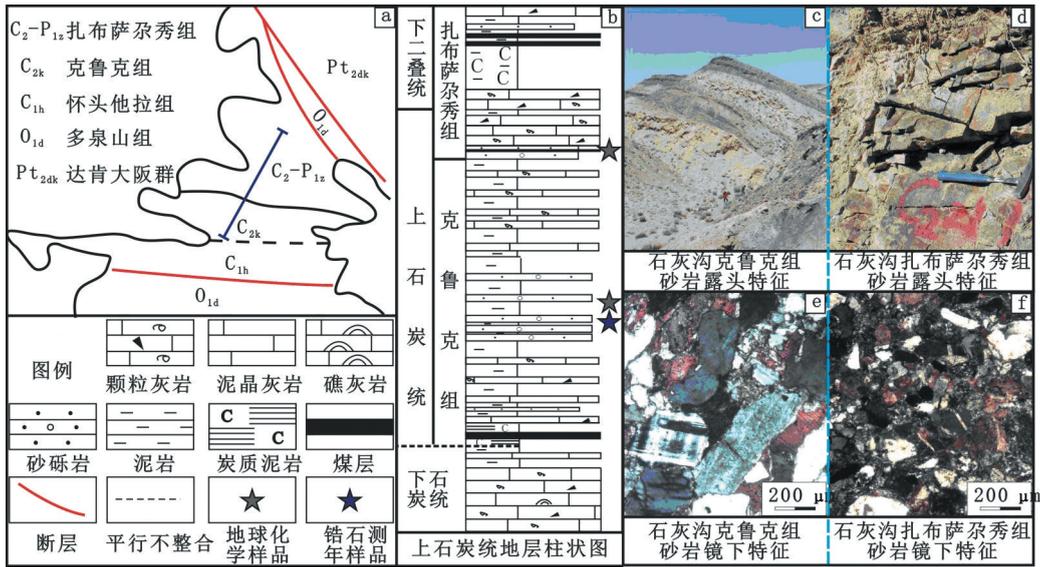


图2 石灰沟剖面地质简图及采集样品岩性特征

Fig. 2 Generalized geologic map of Shihuigou outcrop and lithologic characteristic of selected example

2.1 晚石炭世沉积盆地大地构造环境

上石炭统碎屑岩样品 $TFe_2O_3 + MgO$ 、 Al_2O_3/SiO_2 均较低,测试样品 $TFe_2O_3 + MgO$ 及 Al_2O_3/SiO_2 与被动大陆边缘盆地碎屑岩相关指标极为接近,明显不同于其他3类构造环境碎屑岩的含量,在 $TFe_2O_3 + MgO - Al_2O_3/SiO_2$ ^[14] 图解中,绝大多数测试结果落入被动大陆边缘范围内(图3(a))。上石炭统碎屑岩 δCe 分布在 0.80 ~ 1.10,处于 Murry^[10] 总结的被动大陆边缘区(陆块 1000 km 内)Ce 异常(Ce 异常值

为 0.90 ~ 1.30)。同样,在 Bhatia^[11-14] 构建的强化学稳定性元素构造环境判别图解中,除个别样品之外,几乎全部的测试结果落在被动大陆边缘盆地范围内,同时体现出与其他构造背景不一致的特征(图3(b)、(c))。综合上石炭统碎屑岩测试样品主微量元素含量、比值及相关图解判别结论,认为柴达木东北部地区晚石炭世发育盆地类型为被动大陆边缘盆地,具有较为稳定的构造背景。

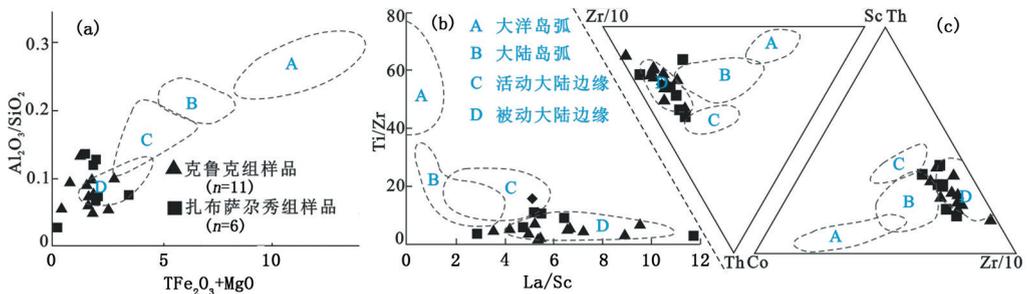


图3 上石炭统砂岩构造背景判别

Fig. 3 Discrimination maps of tectonic setting for Upper Carboniferous sandstones

2.2 晚石炭世物源区岩石地球化学特征

在 F1-F2 图解(图4(a))^[15-16]上,17个样品绝大多数落于酸性火山岩与中性火山岩界限附近,考虑到 F1、F2 参数计算方程中存在 K_2O 、 Na_2O 、 CaO

等3个碱金属氧化物参量,计算结果对区分酸性火山岩与中性火山岩物源区存在多解性,但可以肯定的是碎屑物质主要来源于大陆上地壳中酸性物质的剥蚀。高场强元素 Zr、Hf 比值介于 31.56 ~ 39.33,

均值 35.56,与锆石 Zr/Hf 比值(39)^[17]极为接近,同样表明碎屑岩源区主要为酸性岩浆岩类^[17]。在 Hf-La/Hf^[14]图解中 17 个测试结果均投在长英质物源或长英质/基性岩混合物源区范围内,高场强元素 Hf 并无富集,暗示物源区不存在强烈的沉积再旋回(图 4(b))。Co/Th 比值均<1,这种相容元素 Co 较

不相容元素 Th 的相对亏损暗示物源区缺少中基性物质(图 4(c)),La/Sc-Co/Th^[14]图解显示上石炭统碎屑岩地球化学成分大多介于长英质火山岩与花岗岩之间,这说明这套该碎屑岩物源区主要为酸性岩浆岩。总体而言,柴达木东北部上石炭统碎屑物质来自于以新鲜酸性岩浆岩为主的大陆上地壳。

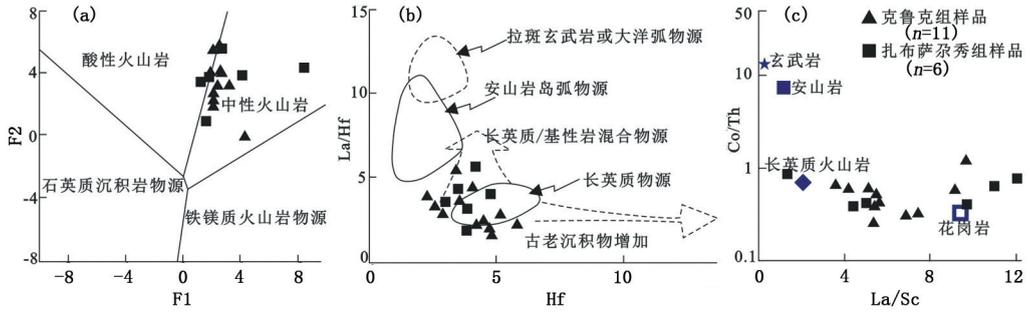


图 4 上石炭统砂岩物源区性质判别

Fig. 4 Provenance discrimination diagrams for Upper Carboniferous sandstones

3 锆石年代学特征

对采集到的砂岩样品中挑选出来的 72 颗锆石进行了 72 次分析测试。所测试的锆石阴极发光图像见图 5(a)。CL 图像显示,测试的锆石颜色呈烟灰色-灰黑色,随 U 的含量增高颜色加深,绝大多数锆石发育明显的振荡环带;单颗粒锆石长轴长度多数介于 60 ~ 220 μm、短轴长度多数介于 60 ~ 140 μm;宽长比 1 : 1 至 1 : 3 不等,多数为 1 : 2(图 5

(a))。测试结果表明单颗粒锆石的 Th 含量最低为 16.88×10^{-6} ,最高为 5162.95×10^{-6} ,均值为 230.02×10^{-6} ;U 含量最低值为 20.1×10^{-6} ,最高 2360.99×10^{-6} ,平均 141.68×10^{-6} ;Th、U 具有极强的正相关关系。计算结果表明,Th/U 均值为 0.85,除个别点 Th/U 在 0.1 ~ 0.5,绝大多数测点 Th/U 大于 0.5(图 5(b)),锆石 CL 图像以及 Th/U 比值综合表明绝大多数测试锆石为岩浆成因锆石^[13-15]。

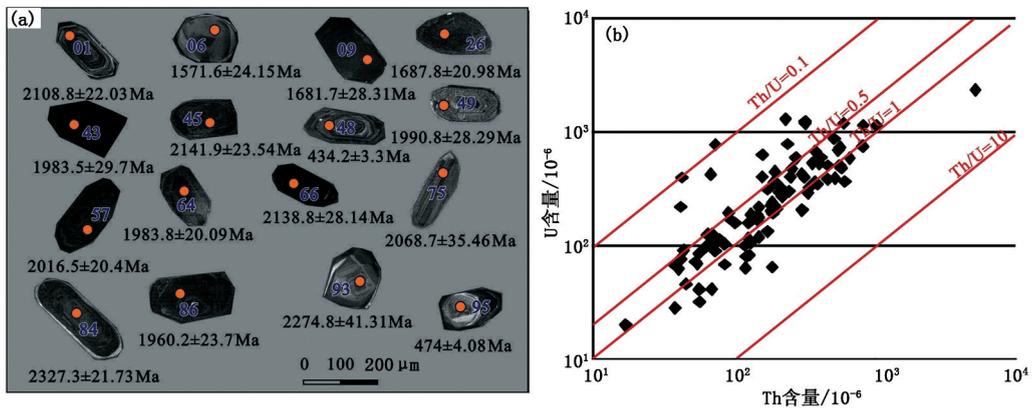


图 5 测试样品典型锆石阴极发光图像及 Th-U 关系

Fig. 5 CL images of typical zircons for testing and Th versus U diagram

单颗粒锆石年龄结果选用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄(<1000 Ma 样品)或²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄(>1000 Ma 样品)。从测试结果来看,96 颗锆石年龄结果具有很宽的分布范围,从 344 ± 3.87 Ma(点 79)到 2584.5 ± 22.59 Ma(点 96)(图 6(a))。绝大多数样品年龄值分布在 2600 ~ 1300 Ma,说明克鲁克组碎

屑物质主要来源于古老基底的剥蚀,<500 Ma 的锆石有 6 颗,分别为 384.8 ± 2.49 Ma(点 21)、 434.2 ± 3.3 Ma(点 48)、 429.7 ± 2.67 Ma(点 83)、 344 ± 3.87 Ma(点 84)、 471 ± 4.77 Ma(点 94)、 474 ± 4.08 Ma(点 100),这表明物源区存在加里东期物质的加入(图 6(b))。

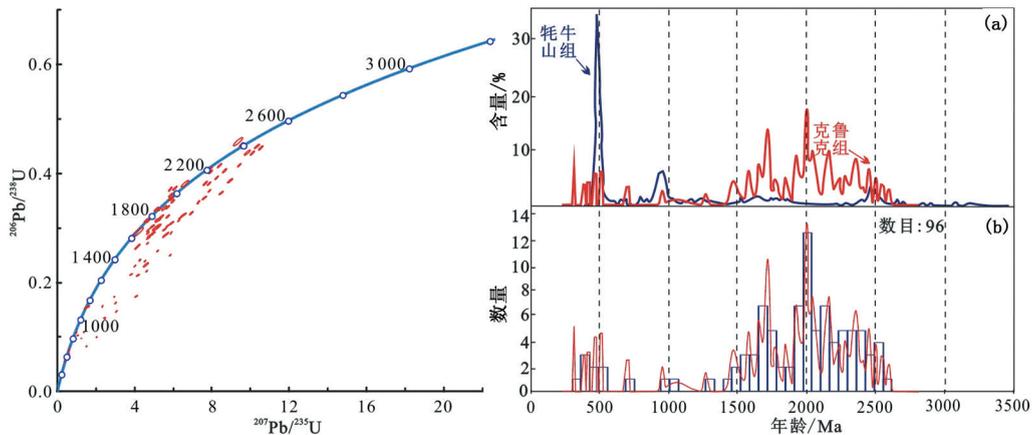


图6 克鲁克组砂岩锆石 U-Pb 谐和及年龄分布直方图

Fig. 6 U-Pb concordia diagram and histogram for zircons from Keluke Formation sandstone

4 讨论

4.1 柴达木东北部地区晚石炭世盆山格局

宗务隆构造带不晚于早泥盆世即发生裂陷,形成裂陷海槽^[2-3,9],泥盆系鱼北沟群、下石炭统土尔垦大阪群-上石炭统宗务隆山群夹中基性火山岩的海相沉积建造即为晚古生代宗务隆裂陷槽典型充填序列^[2-3,9]。笔者对宗务隆构造带内采集的晚石炭世陆内裂谷玄武岩测试、分析结果也指示晚石炭世宗务隆裂陷海槽的存在,柴达木东北部地区晚古生代海侵自北向南进行、盆地沉降受控于宗务隆裂陷槽扩张并无争议^[2-3]。整个柴达木周缘东昆仑、西秦岭、宗务隆等主要构造带在晚石炭世均处于整体的扩张状态^[9](图1),因而柴达木东北部地区430~270 Ma整体处于伸展状态、盆地类型应为裂陷海槽南侧的被动大陆边缘盆地,这与本文中依据碎屑岩地球化学数据得出的柴达木东北部地区晚石炭世发育被动大陆边缘盆地结论是一致的。

碎屑岩地球化学结果表明晚石炭世柴达木东北部地区碎屑物质主要来源于以中酸性岩浆岩为主的大陆上地壳物质剥蚀,物源区缺少基性物质的加入。克鲁克组碎屑锆石 U-Pb 年龄分布直方图表明研究区晚石炭世源区存在加里东期(~500 Ma)的碎屑锆石(图6(b)),~500 Ma、~900 Ma的构造-岩浆事件仅在柴北缘构造带内存在,欧龙布鲁克地块并不发育这两期与板块离散-聚合有关的构造-岩浆事件的地质记录^[3],这意味着柴北缘构造带是柴达木东北部地区晚石炭世碎屑物质来源。克鲁克组碎屑锆石 U-Pb 年龄分布直方图中较老的峰值约在1900 Ma(图6(b)),与前人给出的欧龙布鲁克地块~1900 Ma地壳生长事件年龄峰值极为一致^[21],这

意味着欧龙布鲁克地块基底部分也是晚石炭世研究区碎屑物质主要来源。在 Dickinson 碎屑骨架三角图解上,克鲁克组以及扎布萨尕秀组砂砾岩的颗粒组成结果指示物源区类型也是再旋回造山带及稳定陆块混合物源^[3]。总体而言,柴北缘构造带内的加里东期形成的岩片及卷入的欧龙布鲁克地块稳定基底中的早元古代-中元古代中酸性片麻岩类等的剥蚀是该时期碎屑物质的主要来源。

牦牛山组碎屑锆石年龄以加里东期为主,其次为晋宁期,表明牦牛山组碎屑物质来源于柴北缘构造带(图6(c)),这与前人认为柴北缘构造带是研究区泥盆系牦牛山组碎屑物质主要来源结论一致^[2-3]。相较于牦牛山组样品的碎屑锆石年龄分布,测试的克鲁克组样品的锆石年龄中缺少晋宁期锆石年龄,加里东期锆石年龄也不多,绝大多数样品年龄值分布在2600~1300 Ma(图6(b)),表明柴北缘构造带加里东期物质并不是该阶段柴达木东北部地区的主要物质来源。牦牛山组与克鲁克组碎屑锆石年龄组成的巨大差异存在两种解释:一是经历了约130 Ma(430~300 Ma)的风化剥蚀之后,位于柴北缘造山带表层的加里东期物质大部分已经被剥蚀,该阶段遭受剥蚀的主要是造山带的基底部分;二是晚石炭世开始,柴达木东北部地区碎屑物质存在多个物源区,柴北缘加里东期造山带已转化为次要物源,柴达木盆地内部的牛鼻子梁克拉通隆起(牛鼻子梁位置见图1)已经成为主要物源。笔者倾向第一种解释,沉积学研究结果表明柴达木东北部地区上石炭统砂砾岩中依然存在重力流沉积证据,这表明物源区距离研究区不是很远^[2-3];马寅生等^[1]通过重磁电联合反演给出的柴达木盆地石炭系残余地层展布图显示整个柴达木盆地内部广泛发育石炭

系,原先认为位于柴达木盆地腹地的牛鼻子梁古陆并不存在;因此多物源、远物源的解释缺少依据。

综上所述,柴北缘构造带(即柴北缘加里东缝合带)是柴达木东北部地区晚石炭世物源区,这合理地解释了该时期研究区晚石炭世碎屑岩沉积中普遍存在的重力流标志的问题。然而,柴北缘构造带内多个地区石炭系并不发育边缘相,晚石炭世更是表现为以滨浅海沉积发育为主要特点,因此晚石炭世时期的柴北缘造山带可能是不连续的,可能呈岛链状甚至孤岛状存在^[3]。在现阶段缺少露头且地层剥蚀强烈的情况下,柴北缘构造带是否整体隆升、

隆起区分布范围并不十分确定,虽然仍有待继续探讨。

从周边主要构造带构造属性、盆地类型、物源区等分析结论综合来看,柴达木东北部地区晚石炭世发育裂陷槽边缘的被动大陆边缘盆地,碎屑物质来源于南侧的柴北缘加里东造山带,整体呈“南陆-北海”的盆山格局(图7)。结合早期沉积学研究结论,研究区晚石炭世自南向北依次发育冲积平原-扇三角洲-碳酸盐岩台地、斜坡-泥质陆棚沉积体系(盆山格局格架内的沉积充填模式见图7)。

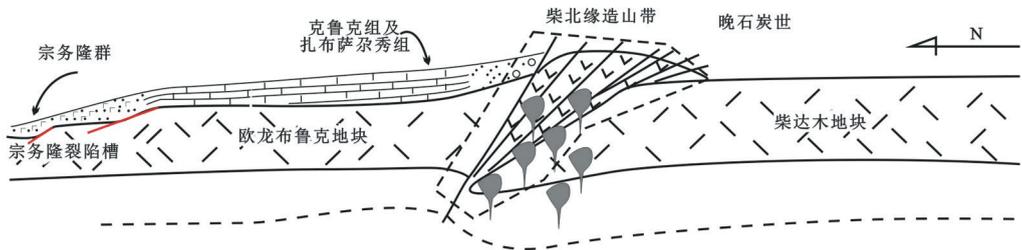


图7 柴达木东北部晚石炭世构造沉积模式

Fig.7 Late Carboniferous tectonic sedimentary model of Northeastern Qaidam margin

被动大陆边缘盆地具有较为稳定构造环境,利于烃源岩发育,陆表海沉积建造横向分布较为稳定,促使晚石炭世主力烃源岩在研究区“广覆式”发育,为研究区前中生界海相油气勘探提供了充足的物质基础。

4.2 对柴北缘构造带古生代地质演化启示

柴北缘构造带古生代造山隆升结束于430 Ma,受俯冲洋壳、加厚岩石圈拆沉的影响,自430 Ma开始研究区构造机制由碰撞-挤压转为裂陷-伸展^[6-7]。前人对柴北缘构造带古生代地质事件的研究大多集中在对540~430 Ma的造山隆升史的讨论^[6-7],巨大的柴北缘古生代山链剥蚀过程鲜有论述。从笔者早期给出的牦牛山组碎屑锆石年龄组成来看,430~370 Ma沉积的碎屑岩中加里东期的锆石年龄约占40%(图6(c)),这意味着柴北缘构造带内形成于430~370 Ma早古生代岛弧火山岩、岩浆岩首先遭受剥蚀。本文中给出的克鲁克组砂岩碎屑锆石年龄数据表明,晚石炭世柴北缘古生代造山带的已经剥蚀至基底部分,碎屑物质主要来源于古老基底的剥蚀,古生代岩浆岩已转为次要物源,但柴北缘造山带依旧存在,虽然横向上可能不连续。以465 Ma陆-弧碰撞开始时间^[6-7]作为该造山带隆升起始时限,该造山带至少存在了190 Ma,包括465~430 Ma的山体隆升以及430~275 Ma的山体剥蚀

阶段。

现阶段在柴北缘构造带内发现的年龄最年轻的古生代岩浆活动事件约发生在370 Ma。本次给出的碎屑锆石数据中<500 Ma的锆石有6颗,分别为384.8±2.49 Ma(点21)、434.2±3.3 Ma(点48)、429.7±2.67 Ma(点83)、344±3.87 Ma(点84)、471±4.77 Ma(点94)、474±4.08 Ma(点100),最晚的岩浆成因锆石年龄为344±3.87 Ma(点84),这可能意味着柴北缘构造带内古生代最晚的岩浆活动事件发生在早石炭世。其余5颗锆石可大致分为~380、~430、~470 Ma等3期,与吴才来^[6]给出的柴北缘构造带内~470、~420、~400及~380 Ma等4期花岗岩活动事件中的第1、2、4期极为吻合,暗示柴北缘构造带内古生代的主要岩浆活动事件可能是幕式的。但这都需要更多数据的支撑。

5 结论

(1)研究区晚石炭世盆地类型为被动大陆边缘盆地,物源区岩石组合以中酸性岩浆岩为主,缺少基性物质的加入,也不存在明显的沉积再旋回。碎屑锆石分析结论表明,克鲁克组碎屑岩物源区主要由古老基底组成,但包含一定加里东期物质,这表明柴北缘构造带依旧是碎屑物质来源之一。

(2)柴达木东北部地区晚石炭世海侵及盆地沉

降受北侧宗务隆晚古生代裂陷海槽控制,碎屑物质来源于南侧柴北缘加里东造山带,呈“南山-北海”的盆山格局,盆地内部充填海相沉积建造。

(3)柴北缘古生代造山带剥蚀约开始于430 Ma,存在时间下限不晚于晚石炭世,早期主要发生岛弧火山岩、岩浆岩的剥蚀,晚期则主要发生古老基底的剥蚀。

参考文献:

- [1] 马寅生,尹成明,刘成林,等.柴达木盆地石炭系油气资源调查评价进展[J].地球学报,2012,33(2):135-144.
MA Yinsheng, YIN Chengming, LIU Chenglin, et al. The progress of carboniferous oil and gas investigation and assessment in Qaidam Basin[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2012,33(2):135-144.
- [2] 孙娇鹏,陈世悦,胡忠亚,等.柴东北缘古生代碎屑岩:碳酸盐岩混积相发育特征及组合模式研究[J].天然气地球科学,2014,25(10):1586-1593.
SUN Jiaopeng, CHEN Shiyue, HU Zhongya, et al. Research on the mixed model and developmental characteristic of the clastic-carbonate diamictite facies in the Northern Qaidam[J]. Natural Gas Geoscience,2014,25(10):1586-1593.
- [3] 孙娇鹏,陈世悦,彭渊,等.柴北缘构造带泥盆纪构造属性研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(2):23-30.
SUN Jiaopeng, CHEN Shiyue, PENG Yuan, et al. Research on Northern Qaidam tectonic attributes during Devonian[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015,39(2):23-30.
- [4] 陈世悦,毕明威,孙娇鹏,等.柴北缘上古生界混合沉积特征及控制因素[J].地质通报,2016,35(2/3):282-292.
CHEN Shiyue, BI Mingwei, SUN Jiaopeng, et al. Mixed sedimentary characteristics and controlling factors of Upper Paleozoic Group in Northern Qaidam Basin[J]. Geological Bulletin of China,2016,35(2/3):282-292.
- [5] 孙娇鹏,尹成明,陈世悦,等.柴达木盆地北缘晚石炭世构造环境及物源:以石浅1井为例[J].地质通报,2016,35(2/3):302-311.
SUN Jiaopeng, YIN Chengming, CHEN Shiyue, et al. An analysis of Late Carboniferous sedimentary tectonic setting and provenance of North Qaidam area: evidence from well Shiqian 1 [J]. Geological Bulletin of China, 2016,35(2/3):302-311.
- [6] 吴才来,杨经绥,许志琴,等.柴达木盆地北缘古生代

超高压带中花岗质岩浆作用[J].地质学报,2004,78(5):658-674.

WU Cailai, YANG Jingsui, XU Zhiqin, et al. Granitic magmatism on the Early Paleozoic UHP Belt of Northern Qaidam, NW China[J]. Acta Geologica Sinica, 2004,78(5):658-674.

- [7] 王惠初.柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山带及岩浆作用[D].北京:中国地质大学,2006.
WANG Huichu. Early Paleozoic collisional orogeny and magmatism on northern margin of the Qaidam Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006.
- [8] 陆松年.青藏高原北部前寒武纪地质初探[M].北京:地质出版社,2002.
- [9] 郭安林,张国伟,强娟,等.青藏高原东北缘印支期宗务隆造山带[J].岩石学报,2009,25(1):1-12.
GUO Anlin, ZHANG Guowei, QIANG Juan, et al. Indosinian Zongwulong orogenic belt on the northeastern margin of the Qinghai-Tibet plateau[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009,25(1):1-12.
- [10] 杨超,陈清华,王冠民,等.柴达木地区晚古生代沉积构造演化[J].中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(5):38-43,49.
YANG Chao, CHEN Qinghua, WANG Guanmin, et al. Sedimentary and tectonic evolution of Qaidam areas in Late Paleozoic[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010,34(5):38-43,49.
- [11] BHATIA M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: a reply [J]. Journal of Geology, 1985,93(1):85-87.
- [12] BHATIA M R, CROOK K A W. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. Contributions to Mineralogy & Petrology, 1986,92(2):181-193.
- [13] BHATIA M R, TAYLOR S R. Trace-element geochemistry and sedimentary provinces: a study from the Tasman Geosyncline, Australia [J]. Chemical Geology, 1981,33(1):115-125.
- [14] BHATIA M R, CROOK K W. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1986,92:181-193.
- [15] MURRY R W. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale [J]. Geology, 1990,18:268-271.
- [16] ROSER B P, KORSCH R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio [J]. Journal of Geology, 1986,94:

- 635-650.
- [17] MURALI A V, PARTHASARATHY R, MAHADEVAN T M, et al. Trace element characteristics, ree patterns and partition coefficients of zircons from different geological environment a case study on indian zircons [J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 1983, 47: 2047-2052.
- [18] LIATI A, GEBAUER D. Constraining the prograde and retrograde PTt path of Eocene HP rocks by SHRIMP dating of different zircon domains; inferred rates of heating, burial, cooling and exhumation for central Rhodope, northern Greece [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1999, 135(4): 340-354.
- [19] PIDGEON R T, NEMCHIN A A, HITCHEN G J. Internal structures of zircons from Archaean granites from the Darling Range batholith; implications for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1998, 132(3): 288-299.
- [20] CLAEISSON S, VETRIN V, BAYANOVA T, et al. U—Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia; a record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic [J]. *Lithos*, 2000, 51(1): 95-108.
- [21] 张璐,巴金,陈能松,等. 全吉群碎屑锆石的 U-Pb 年龄谱和微量元素: 基底热事件信息和早期演化启示 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2012(s1): 28-42.
- ZHANG Lu, BA Jin, CHEN Nengsong, et al. U-Pb age spectra and trace elements of detrital zircon from quanji group; implications for thermal events and early evolution in the basement [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2012(s1): 28-42.

(编辑 刘为清)