

柴北缘构造带泥盆纪构造属性研究

孙娇鹏¹, 陈世悦¹, 彭渊², 刘文平³, 庄毓凯¹

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;
3. 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院, 四川成都 610051)

摘要:根据露头及钻井资料,依据沉积学理论,对柴达木盆地东北部泥盆系地层厚度、碎屑颗粒组成、锆石年龄、超覆关系和沉积体系展布等进行研究。结果表明:柴北缘地区(包括柴北缘构造带与欧龙布鲁克微板块)泥盆纪发育自南向北展布的沉积体系,碎屑物质来源于由多个前泥盆纪构造岩片组成的造山带;该阶段柴北缘构造带构造属性既不是前陆盆地也不是裂陷槽,而是由多个前泥盆纪构造岩片组成的造山带;该造山带隆升开始于距今约 465 Ma,遭受剥蚀开始于距今约 430 Ma,其隆升可能持续到晚石炭世甚至二叠纪早期,初步推断该造山带至少存在了 190 Ma,包括距今 465~430 Ma 的山体隆升与距今 430~275 Ma 的山体剥蚀阶段。

关键词:柴北缘构造带;泥盆纪;碎屑组成;沉积体系展布;构造属性

中图分类号:TE 121.2 **文献标志码:**A

引用格式: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.

Research on Northern Qaidam tectonic attributes during Devonian

SUN Jiaopeng¹, CHEN Shiyue¹, PENG Yuan², LIU Wenping³, ZHUANG Yukai¹

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;
3. PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu 610051, China)

Abstract: Using rock core and outcrop data, a series of studies were conducted under the sedimentology theories to investigate the formation thickness, detrital components, detrital zircon age, stratigraphic onlap, and the distribution of Devonian sedimentary system in the Northeast Qaidam area. The results show that the Devonian sedimentary system developed in the northern Qaidam area (including Northern Qaidam tectonic belt and Oulongbuke microplate) is distributed from south to north; the orogenic belt composed by several pre-Devonian tectonic slices is the main provenance of the northern margin in the Qaidam area. The northern Qaidam Caledonia tectonic belt in this period was neither a rift valley nor a foreland basin, but a orogenic belt consisting of multiple pre-Devonian geological bodies. The uplift of the orogenic belt started from about 465 Ma years ago, its denudation started from 430 Ma years ago, its uplift history perhaps lasted to the Late Carboniferous even to the Early Permian. The orogenic belt had been existing for at least 190 Ma years, including the mountain uplift period (465~430 Ma years ago) and the mountain erosion period (430~275 Ma years ago).

Keywords: Northern Qaidam tectonic belt; Devonian; detrital component; sedimentary system distribution; tectonic attribute

柴北缘构造带一直是地质学界的研究热点^[1-12],但关于该构造带泥盆纪构造属性尚无系统研究,现有的几处论述歧见甚殊,提出的构造属性模式主要存在前陆盆地^[13]、裂陷槽^[14]等争议。笔者根据露

头和钻井资料,依据沉积学理论,从地层与沉积的角度对柴北缘地区泥盆系厚度、碎屑颗粒组成、沉积体系等进行研究,进而对该构造带泥盆纪构造属性进行讨论。

1 区域地质概况

研究区自北向南可分为祁连板块、宗务隆构造带、欧龙布鲁克微板块、滩间山岛弧构造带、鱼卡-沙柳河高压—超高压变质带以及柴达木板块 6 个地质单元^[8],柴北缘构造带则包括柴北缘韧性剪切带、鱼卡河-沙柳河高压—超高压变质带及滩间山岛弧构造带 3 部分(图 1,据文献^[4]、^[8]、^[11-13]修编)。寒武纪初期至志留纪末期,鱼卡-沙柳河洋逐渐俯冲、消减,随后发生陆-陆碰撞,柴北缘造山

带发生裂陷,形成裂陷槽^[15-16],同时柴北缘构造带广泛发育后碰撞伸展阶段岩浆活动^[7-8,13]。晚古生代研究区存在宗务隆及柴北缘两个地层分区,分别发育宗务隆裂陷槽活动型沉积建造及柴北缘稳定陆块型沉积建造。宗务隆活动型沉积建造自下而上发育鱼北沟群(D_{1-3})、土尔垦大坂群与宗务隆群($C-P$);柴北缘稳定陆块台型沉积包括牦牛山组(D_{1-3})、城墙沟组与怀头他拉组(C_1)、克鲁克组和扎布萨尕秀组(C_2-P_1)^[11]。

2 泥盆纪地层特征及平面展布

鱼北沟群活动型沉积建造仅在宗务隆构造带西段鱼卡河下游出露(图 1),是一套浅变质碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩层系,古生物群资料显示其年代包括早—晚泥盆世^[11]。牦牛山组分布于滩间山岛弧带及欧龙布鲁克微板块,底部与下古生界角度不整合接触,顶部与石炭系不整合接触^[11],以陆相、滨海相砂砾岩夹火山岩、火山碎屑岩为主要特点,古生物研究认为其沉积年代为晚泥盆世邵东阶^[11],但火山岩测年结果显示其起始沉积时限不晚于早泥盆世^[17]。牦牛山组厚度变化极大,柴北缘构造带牦牛山、穿山沟、阿姆尼克山、赛什腾山 4 个剖面厚度极大,欧龙布鲁克微板块大煤沟和城墙沟两个剖面厚度小得多,再向北进入宗务隆构造带,则由陆相冲积平原沉积转为海相沉积(图 2)。

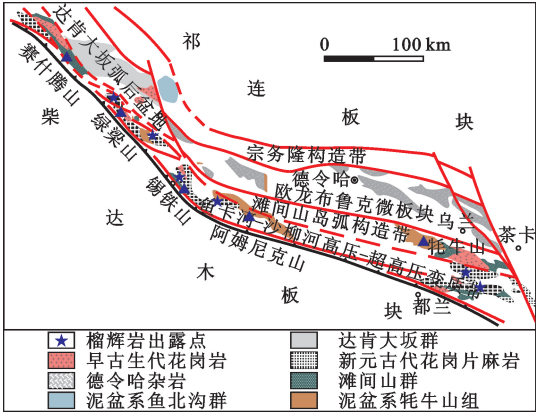


图 1 柴北缘前泥盆纪地层-构造简图

Fig. 1 Sketch stratum-geological map of Northern Qaidam
带形成^[8,15],欧龙布鲁克板块发生反转、遭受剥蚀,缺失奥陶系中上统以及志留系^[15]。志留纪中晚期研究区构造机制由挤压变为伸展,北部宗务隆构造

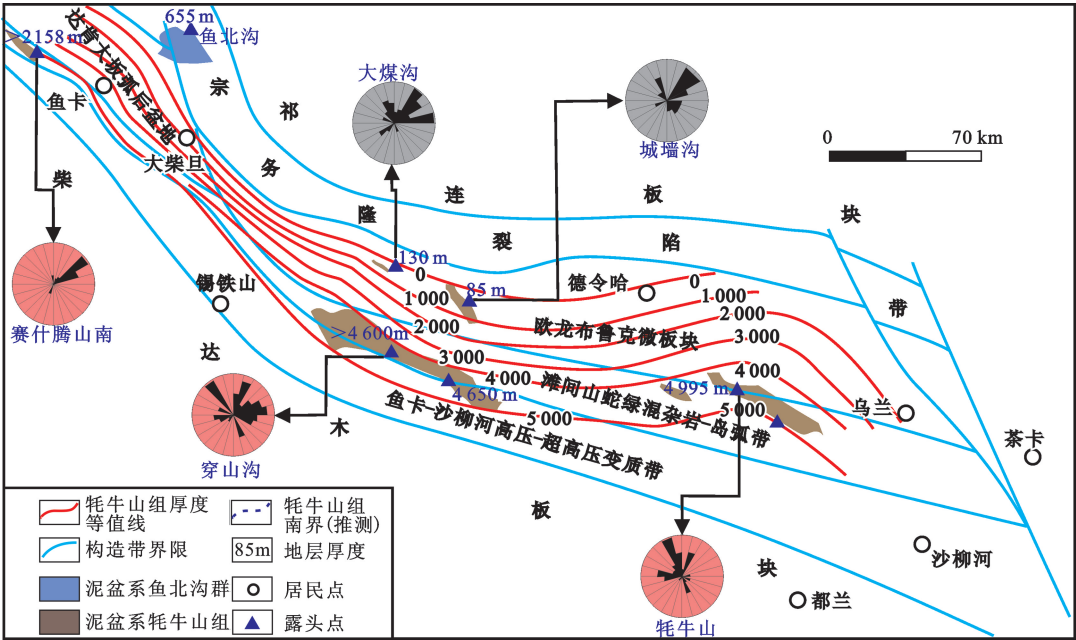


图 2 牦牛山组厚度变化及古流向玫瑰花图

Fig. 2 Thickness variation of Maoniushan formation and paleocurrent direction rose diagram

3 碎屑颗粒组成及碎屑锆石年龄分布

3.1 泥盆系砂砾岩岩石学特征

牦牛山剖面砾石以花岗岩、石英岩、安山岩为主, 少见辉绿片岩、片麻岩、大理岩、片岩、砂岩砾石(图 3(a))。赛什腾山剖面常见安山玄武岩、正长斑岩、石英砂岩砾石, 少见灰岩、页岩、石英岩砾石(图 3(b))。城墙沟与大煤沟剖面砾石成分主要为石灰岩与白云岩, 见少量石英岩、安山岩、辉绿岩、砂岩砾石(图 3(c))。砾石分选极差, 以城墙沟为例, 大者 50 cm×30 cm×30 cm, 小者 5 cm×2 cm×2 cm, 一般为 15 cm×7 cm×7 cm, 牦牛山剖面见 120 cm×

80 cm×80 cm 砾石。砾石磨圆中等, 多为次圆状—次棱角状, 无定向排列、多呈不稳定状态排列、甚至长轴垂直于层面(图 3(c))。砾石多为杂基支撑, 杂基为紫红色含细砾、细砂的泥质。总体上这套碎屑岩结构成熟度极低, 具近源堆积的沉积特征; 成分成熟度最低、化学性质不稳定性最高的砾石多出现在加里东构造带内的剖面中, 具有向北砾石成分成熟度增高的趋势; 牦牛山等位于滩间山岛弧构造带的剖面砾岩中砾石粒径整体大于城墙沟、大煤沟地区, 向北单层砾石层厚度变薄、细粒夹层变多, 分选磨圆变好。

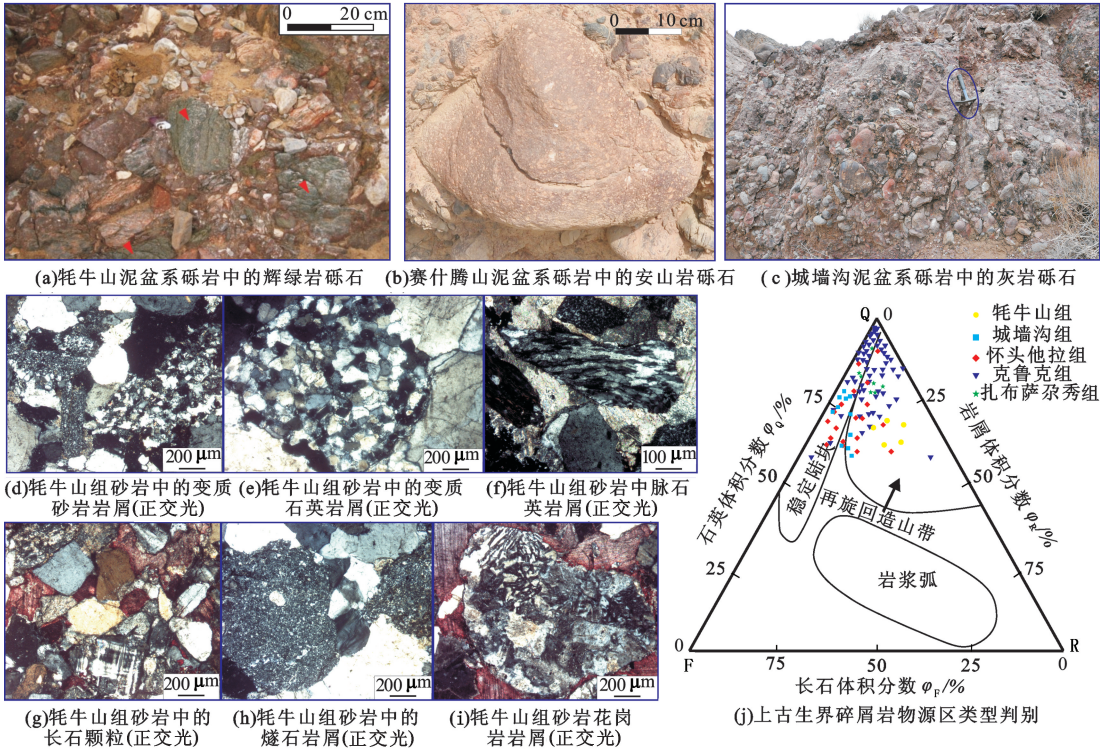


图 3 柴北缘泥盆系碎屑颗粒组成

Fig. 3 Devonian detrital composition in Northern Qaidam

牦牛山组砂岩中含有大量的变质砂岩、变质石英、脉石英、花岗岩、安山岩岩屑以及长石等颗粒(图 3(d)~(i)), 石英、长石、岩屑含量平均值分别为 62.1%、12.5%、20.3%, 岩屑以岩浆岩岩屑为主, 平均值可达 12%, 沉积岩与变质岩岩屑含量平均值分别为 4.7% 和 4.1%, Dickinson 图解显示牦牛山组碎屑物质来源于再旋回造山带(图 3(j))。

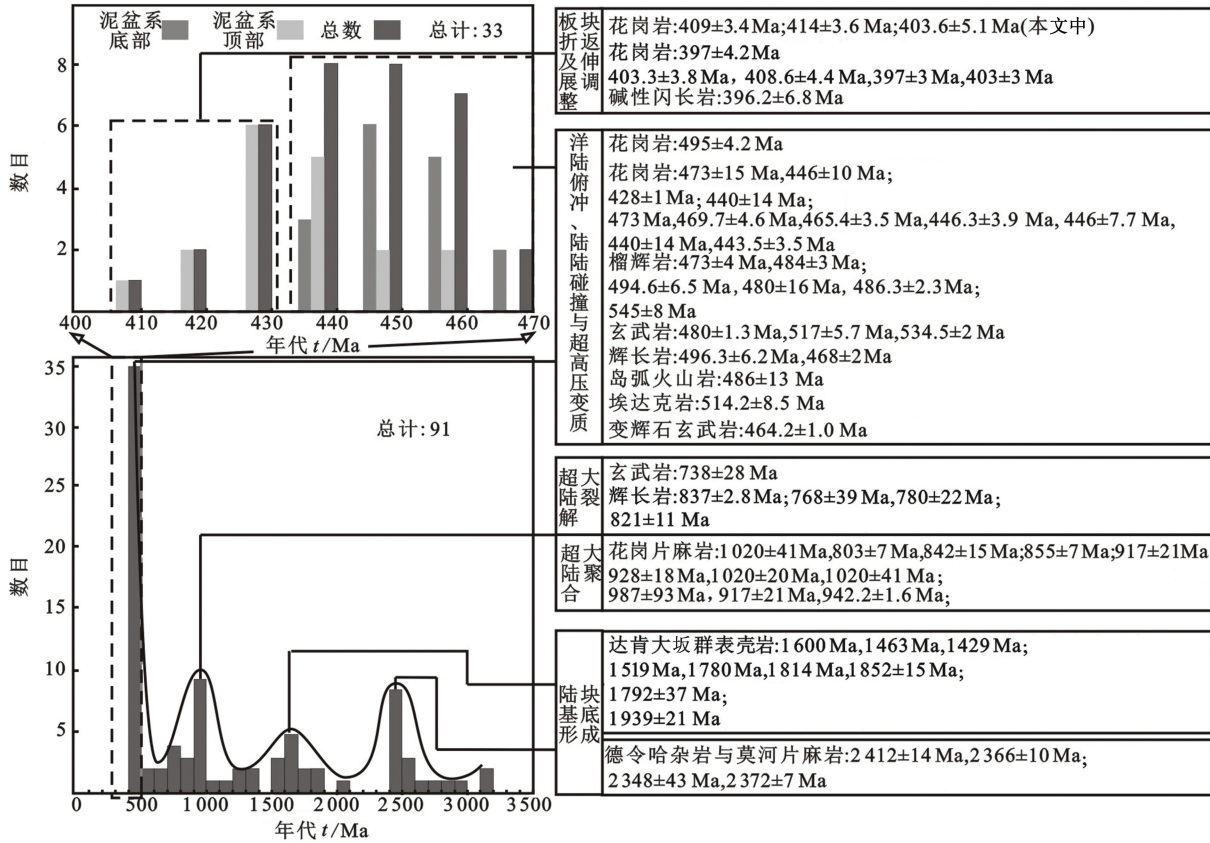
3.2 泥盆系砂砾岩锆石年龄分布

泥盆系碎屑锆石年龄分布存在 1 个主峰以及 3 个次峰(图 4)。距今约 500 Ma± 的锆石最多, 该期锆石的大量存在说明源区地体与加里东运动密切相

关。其余锆石部分可能是加里东期岩浆-变质活动中的继承锆石, 比如距今 900 Ma±、1 600 Ma±、2 500 Ma± 的锆石, 也有来自于德令哈杂岩(距今 2 500 Ma±)、晋宁期花岗片麻岩(距今 900 Ma±)地体中的锆石。另外有两个距今 3 200 Ma± 锆石, 这是研究区所见到的最古老的锆石, 暗示稳定地壳在太古代已经形成。通过对小于 500 Ma 的碎屑锆石年龄分析, 发现泥盆系底部、顶部样品锆石年龄存在明显差异(图 4)。泥盆系底部不存在年龄小于 430 Ma 的锆石, 而泥盆系顶部样品则出现 10 颗距今 430~408 Ma 的锆石。本文中获取的岩浆岩样品经 ²⁰⁴Pb 校正

后²⁰⁶Pb/²³⁸U 平均年龄分别为 403.6±5.1 Ma、409.6±3.4 Ma、414.0±3.6 Ma,前人也给出了与本文中一致的后碰撞伸展岩浆事件数据^[2-9](图 4),这说明泥

盆系顶部碎屑岩的源区记录了距今 430~400 Ma 的后碰撞伸展阶段岩浆活动事件。



注:左为上古生界碎屑锆石年龄分布,右为锆石年龄峰值对应构造事件;源数据据文献[1-13]

图 4 泥盆系碎屑颗粒锆石年龄分布及对应构造事件解释

Fig. 4 Distribution of Devonian detrital zircon age and tectonic events interpretation

4 泥盆纪及石炭纪—二叠纪沉积特征

4.1 古流向特征

古流向数据来源于对砾石层内砂岩透镜体走向,砾石优选定向,砂岩中的板状交错层理、波痕,泥岩层前积交错层理等的测量,数据采集层位包括上古生界泥盆系和石炭—二叠系。通过分析发现,泥盆纪与石炭纪古流向变化不大,二者发育相同展布方向的沉积体系,6 个测点数据均指示古流向以 NE 向为主、向北流向为优势流向(图 2)。

4.2 沉积特征及横向对比

研究区上古生界可识别出 4 类沉积相,分别为冲积扇相、滨海碎屑海岸相、碳酸盐岩台地相和浅海陆棚相(图 5、6),其中冲积扇可分为扇根及扇中—扇端,滨海沉积包括扇三角洲与滨岸浅滩两类,以扇三角洲沉积为主。总体来说该区陆源碎屑沉积近物源特征明显,碎屑颗粒普遍堆积杂乱(图 5(c)、(e))。

本文中选取横跨各构造单元的 4 个剖面进行泥盆系沉积相剖面对比研究,牦牛山南、北剖面位于滩间山蛇绿混杂岩—岛弧带(图 6),城墙沟剖面位于欧龙布鲁克微板块,鱼卡北山剖面位于宗务隆裂陷带,地层接触关系以及地层资料引自青海省地质矿产局^[11]。

从剖面对比情况看,不同构造分区泥盆系岩石学类型及沉积相类型存在明显差异;南部滩间山岛弧构造带牦牛山组中下部砾石层厚度大、砾石粒径大、泥质夹层少且薄,属冲积扇扇根沉积(图 3(a)、(b)),欧龙布鲁克微板块城墙沟—大煤沟口一带牦牛山组中下部砾石粒径变小且泥质夹层、砂岩透镜体及筛余沉积发育,属冲积扇扇中沉积(图 3(c));泥盆纪末期,沉积体系向南超覆,牦牛山地区牦牛山组上部主要发育冲积扇扇中—冲积平原、扇三角洲沉积(图 5(a)),而城墙沟—大煤沟口一带牦牛山组上部也发育夹泥灰岩的扇三角洲沉积(图 5(c));

整个泥盆纪,宗务隆地区均发育滨浅海沉积(鱼北沟群)。泥盆系沉积相类型、不同构造分区剖面对比、结合向北的古流向综合表明,柴北缘地区泥盆纪

发育自南向北展布的冲积扇扇根-扇中、扇端-滨浅海沉积体系(图 6)。



图 5 沉积相标志

Fig. 5 Sedimentary facies indicators

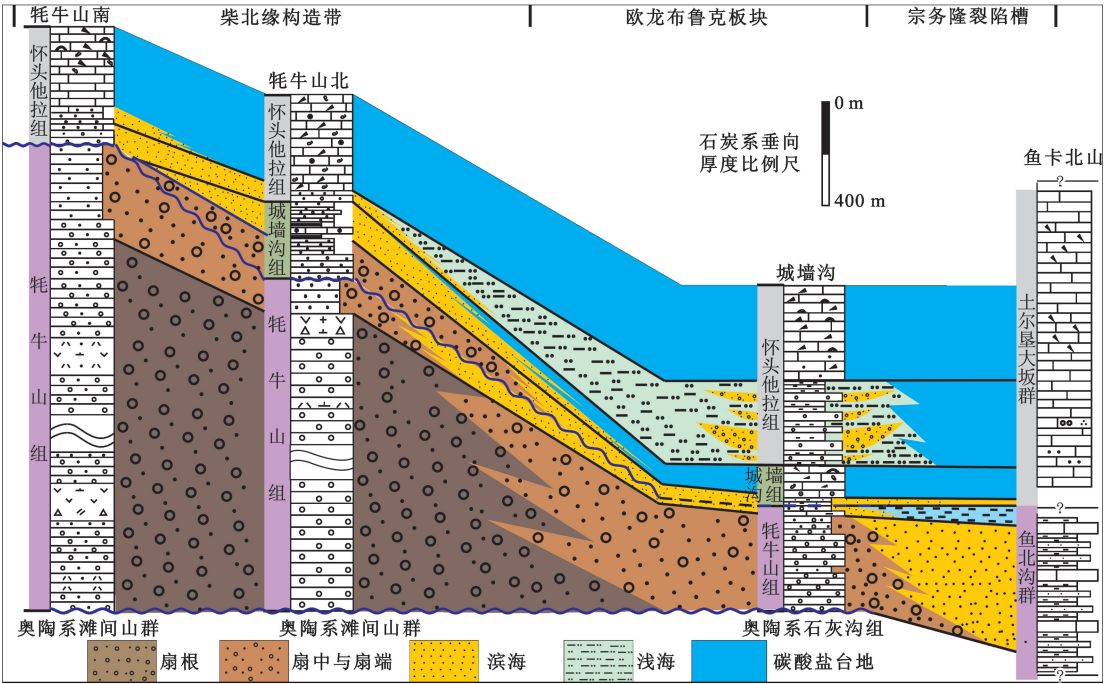


图 6 柴北缘上古生界沉积相剖面对比

Fig. 6 Upper Paleozoic stratigraphic correlation in Northern Qaidam margin

早石炭世,研究区主要发育海相沉积,仅南侧柴北缘构造带内牦牛山一带存在陆相沉积,可细分为城墙沟组、怀头他拉组两个“砂砾岩-碳酸盐岩”沉积旋回(图 6)。城墙沟组沉积时期,最南端牦牛山南剖面不发育城墙沟组沉积,属隆起区;牦牛山北剖面城墙沟组下部以紫红色砂砾岩沉积为主,上部砂

砾岩粒度变小且出现泥灰岩夹层(图 5(a)、图(6));城墙沟剖面城墙沟组底部发育灰白色滨浅海环境细砂岩沉积,上部发育大套鲕粒灰岩、生屑灰岩、礁灰岩(图 5(b)、(d));宗务隆地区主要发育厚层碳酸盐岩沉积,局部夹黑色泥页岩(图 6)。怀头他拉组沉积期早期,海侵已到达牦牛山南部,开始发

育杂色砂砾岩夹灰岩沉积,牦牛山北坡虽也发育砂砾岩沉积,但厚度及粒度均小于牦牛山南坡且多为灰白色、灰绿色砂岩;同期城墙沟地区发育厚层扇三角洲沉积(图5(e)、图6);怀头他拉组沉积期晚期整个柴北缘地区大面积发育巨厚层的碳酸盐岩台地、颗粒滩沉积(图6)。

5 讨论

5.1 柴北缘构造带泥盆纪构造属性

欧龙布鲁克微板块以及滩间山岛弧混杂岩带泥盆系主要发育近物源的冲积扇沉积,表明物源区距离研究区不远。泥盆系地层厚度、古流向、沉积相类型及沉积体系展布等证据表明,柴东北缘地区泥盆纪古地形南高北低、沉积体系自南向北展布。宗务隆构造带的伸展导致地壳大幅度沉降,使得数千米的磨拉石建造得以保存;南部靠近柴北缘构造带周边主要发育冲积扇沉积,砾石粒径大、地层厚度大;位于欧龙布鲁克微板块的大煤沟与城墙沟剖面主要发育扇中、扇端沉积,砾石粒径小、地层厚度薄;泥盆系巨大的地层厚度差异是冲积扇自南向北由扇根转变为扇中、扇端的体现(图3、5、6)。

牦牛山组砂砾岩复杂的碎屑颗粒成分、碎屑锆石年龄指示研究区泥盆系碎屑物质来源于年代组

成、物质组成均极为复杂的地质单元,而整个研究区仅有柴北缘加里东造山带能提供物质组成如此复杂的碎屑物质。综合泥盆系碎屑岩成分特征以及泥盆纪沉积体系展布等的分析结论认为,欧龙布鲁克微板块以及滩间山岛弧混杂岩带内的牦牛山组砂砾岩的碎屑物质来源于柴北缘加里东期造山带,这与夏文静^[17]的研究结论完全一致,从沉积学角度证实了柴北缘加里东期造山带在泥盆纪依然存在。泥盆纪柴北缘构造带主体部分处于隆起状态,隆升幅度最大的位置位于南侧靠近韧性剪切带的区域,北部滩间山岛弧构造带则主要发育近物源的冲积扇扇根沉积,位于隆起边缘。

由前人研究成果来看,板块俯冲-碰撞中晚期(中奥陶世—早志留世)^[8]柴北缘构造带反转形成NW—SEE向展布的巨大山链^[15],该阶段整个柴达木东北缘处于隆升状态,缺失中奥陶统一志留系^[15]。随后,研究区构造机制由挤压转为伸展^[15]、发生负反转、重新接受沉积,以柴北缘加里东期造山带为物源区沉积了巨厚层的后碰撞伸展磨拉石建造^[8,15]。泥盆纪柴北缘构造带的构造属性为后碰撞伸展阶段的隆起区(韧性剪切带与高压—超高压变质带)及隆起边缘的克拉通盆地(滩间山岛弧混杂岩带)(图7,岩石圈地质结构据王惠初等^[8])。

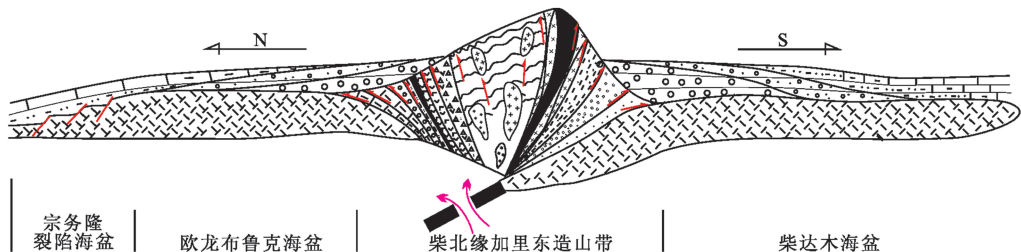


图7 柴北缘地区泥盆纪构造-古地理剖面简图

Fig. 7 Sketch geological map of Devonian structure-geography in Northern Qaidam area

5.2 柴北缘构造带石炭纪—二叠纪构造属性

石炭系—下二叠统碎屑岩骨架颗粒 $Q/(R+F)$ 为 1.89 ~ 3.74, 体现出低成分成熟度的特点。岩屑含量平均为 22.1%, 岩浆岩岩屑约为 4.1%、变质岩岩屑约为 15.3%、沉积岩岩屑约为 2.7%。依据 Dickinson 碎屑骨架三角图, 测试样品的颗粒组成结果指示物源区类型主要为再旋回造山带(图3(j))。

从沉积相类型来看, 石炭系—下二叠统碎屑岩段大量存在重力流沉积标志(图5(c)、(e)、(f))、具明显近物源沉积特点, 说明源区不是很远^[15]。南北向沉积剖面对比结果表明(图6), 早石炭世初期(城墙沟组沉积期), 海盆分布在滩间山岛弧构造带

北部、欧龙布鲁克板块与宗务隆裂陷槽, 毗邻高压—超高压变质带的滩间山岛弧构造带南部地区处于隆起状态(图6), 直至怀头他拉组沉积期早期, 滩间山岛弧构造带南部的牦牛山南剖面一带才开始接受沉积。

怀头他拉组上部灰岩厚度大, 且覆盖整个滩间山岛弧构造带与欧龙布鲁克板块, 说明该阶段滩间山岛弧带及欧龙布鲁克板块全部转为欧龙布鲁克海盆一部分(图5、6)。全区上石炭统克鲁克组依然普遍发育扇三角洲沉积(图5(f)), 石炭系克鲁克组及二叠系扎布萨尕秀组上部砂砾岩源区仍为再旋回造山带, 暗示该阶段南部鱼卡—沙流河高压—超高

压变质带及韧性剪切带附近可能依然处于隆起状态。滩间山岛弧混杂带在怀头他拉组沉积的中后期(早石炭世末期)已全部沉降到海平面之下,成为“消失了的加里东造山带”。南部鱼卡-沙流河高压-超高压变质带及韧性剪切带虽然没有上古生界露头出露,但根据克鲁克组及扎布萨尕秀组中的碎屑物质来源于再旋回造山带,并结合区域构造背景及沉积演化推测,鱼卡-沙流河高压-超高压变质带及韧性剪切带一带在晚石炭世与早二叠世依旧存在隆起,但规模可能大大缩小,横向上可能并不连续,呈“岛链”状存在。

6 结 论

(1) 泥盆纪柴北缘地区(包括柴北缘构造带与欧龙布鲁克微板块)发育自南向北展布的沉积体系,其物源区年代组成、物质组成均极为复杂。柴北缘地区泥盆系牦牛山组碎屑物质来源于由多个前泥盆纪构造岩片组成的柴北缘加里东期造山带。该时期柴北缘构造带的构造属性为后碰撞伸展阶段的隆起区(韧性剪切带与高压-超高压变质带)及隆起边缘的克拉通盆地(滩间山岛弧混杂岩带)。

(2) 柴北缘加里东造山带遭受剥蚀开始于距今约430 Ma(后碰撞伸展阶段的开始),随后陆表海沉积逐渐向南超覆,怀头他拉组沉积期中期滩间山岛弧混杂岩带已经完全沉没于海平面之下,但高压-超高压变质带及韧性剪切带的隆升可能一直持续到晚石炭世甚至二叠纪早期。约距今以465 Ma陆-弧碰撞开始时间作为该造山带隆升起始时限,该造山带至少存在了190 Ma,包括距今465~430 Ma的山体隆升与距今430~275 Ma的山体剥蚀阶段。

参考文献:

- [1] 史仁灯,杨经绥,吴才来. 柴北缘早古生代岛弧火山岩中埃达克质英安岩的发现及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(3): 229-236.
- SHI Rendeng, YANG Jingsui, WU Cailai. The discovery of adakitic dacite in Early Palaeozoic island arc volcanic rocks on the northern margin of Qaidam Basin and its geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2003, 22(3): 229-236.
- [2] 朱小辉. 柴达木盆地北缘滩间山群火山岩地球化学及年代学研究[D]. 西安:西北大学地质学系, 2011.
- ZHU Xiaohui. Geochemical and zircon U-Pb dating studies of the volcanics of Tanjianshan Group in the north Qaidam[D]. Xi'an: Department of Geology, Northwest University, 2011.
- [3] 吴锁平. 柴北缘古生代花岗岩类成因及其造山响应[D]. 北京:中国地质科学院, 2008.
- WU Suoping. The petrogenesis of Paleozoic granitoids in the north margin of Qaidam Basin and their orogenic response[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2008.
- [4] 郝国杰,陆松年,王惠初,等. 柴达木盆地北缘前泥盆纪构造格架及欧龙布鲁克古陆块地质演化[J]. 地质前缘, 2004, 11(3): 115-122.
- HAO Guojie, LU Songnian, WANG Huichu, et al. The Pre-Devonian tectonic framework in the northern margin of Qaidam Basin and geological evolution of Olongbuluck Palaeo-block[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 115-122.
- [5] 孟繁聰,张建新,杨经绥. 柴北缘锡铁山早古生代 HP/UHP 变质作用后的构造热事件——花岗岩和片麻岩的同位素与岩石地球化学证据[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 45-56.
- MENG Fancong, ZHANG Jianxin, YANG Jingsui. Tectono-thermal event of post-HP/UHP metamorphism in the Xitieshan area of the North Qaidam Mountains, western China: isotopic and geochemical evidence of granite and gneiss[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(1): 45-56.
- [6] 卢欣祥,孙延贵,张雪亭,等. 柴达木盆地北缘塔塔楞河环斑花岗岩的 SHRIMP 年龄[J]. 地质学报, 2007, 81(5): 626-633.
- LU Xinxiang, SUN Yangui, ZHANG Xueting, et al. The SHRIMP age of Tatalin Rapakivi granite at the North Margin of Qaidam Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(5): 626-633.
- [7] 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.
- [8] 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:中国地质大学地球科学与资源学院, 2006.
- WANG Huichu. Early Paleozoic collisional orogeny and magmatism on northern margin of the Qaidam Basin[D]. Beijing: School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, 2006.
- [9] 张建新,万渝生,许志琴,等. 柴达木北缘德令哈地区基性麻粒岩的发现及其形成时代[J]. 岩石学报,

- 2001,17(3):453-458.
- ZHANG Jianxin, WAN Yusheng, XU Zhiqin, et al. Discovery of basic granulite and its formation age in Delingha area, North Qaidam Mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(3):453-458.
- [10] 赵凤清, 郭进京, 李怀坤. 青海锡铁山地区滩间山群的地质特征及同位素年代学[J]. *地质通报*, 2003, 22(1):28-31.
- ZHAO Fengqing, GUO Jinjing, LI Huaikun. Geological characteristics and isotopic age of Tanjianshan Group along northern margin of Qaidam Basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(1):28-31.
- [11] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991:1-841.
- [12] 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, 2002:1-125.
- [13] 任军虎. 柴达木盆地南北缘南华—泥盆纪构造演化[D]. 西安:西北大学地质学系, 2010.
- REN Junhu. A study on tectonic evolution during the period of Nanhua to Devonian at the north and south of Qaidam Basin[D]. Xi'an: Department of Geology, Northwest University, 2010.
- [14] 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 Sciences)*, 2010, 34(5):38-43, 49.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 夏文静. 柴北缘牦牛山组沉积环境形成时代和形成大地构造背景[D]. 合肥:合肥工业大学资源与环境工程学院, 2014.
- XIA Wenjing. Sedimentary facies, formation age and tectonic setting of Maoniushan Formation along the north margin of Qaidam terrane[D]. Hefei: School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, 2014.

(编辑 徐会永)