

doi: 10.12029/gc20160612

马帅, 陈世悦, 孙娇鹏, 等. 柴达木盆地北缘欧龙布鲁克微地块早古生代岩相古地理[J]. 中国地质, 2016, 43(6): 2011–2021.

Ma Shuai, Chen Shiyue, Sun Jiaopeng, et al. The early Paleozoic lithofacie-palaeogeography of Olongbluk micro-massif on the northern margin of Qaidam Basin[J]. *Geology in China*, 2016, 43(6): 2011–2021(in Chinese with English abstract).

## 柴达木盆地北缘欧龙布鲁克微地块早古生代 岩相古地理

马 帅<sup>1</sup> 陈世悦<sup>1</sup> 孙娇鹏<sup>2</sup> 邵鹏程<sup>1</sup> 汪 峰<sup>1</sup> 王志金<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555;

2. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

**摘要:**通过对柴达木盆地北缘欧龙布鲁克微地块的野外地质调查及精细观察,根据剖面中发育的岩石组合关系、沉积构造特征以及地层接触关系,对该区早古生代寒武纪—早奥陶世沉积及岩相古地理特征进行了详细研究。认为早古生代欧龙布鲁克微地块处于火山岛弧弧后区域,柴北缘洋俯冲及陆陆碰撞控制了该时期的盆山格局与沉积充填演化。欧龙布鲁克微地块下古生界主要发育一套海相碳酸盐岩建造,仅在寒武系底部以及下奥陶统存在陆源碎屑沉积。从岩石组合来看,沉积相类型大致可划分为蒸发潮坪相、局限台地相、开阔台地相、台地边缘相和复理石盆地沉积 5 大类及相应的亚类。研究区早古生代整体处于海侵状态,欧龙布鲁克微地块早寒武世经历蒸发潮坪沉积,中、晚寒武世海侵范围逐步扩大,研究区接受了一套以浅海碳酸盐岩建造为特点的局限台地—开阔台地沉积。早奥陶世基本继承了寒武纪海侵范围,欧龙布鲁克微地块沉积环境向台地边缘浅滩—前缘斜坡转变,直至早奥陶世晚期台地相向中南方向迁移而形成于高海平面下的台缘斜坡—欠补偿深水陆棚沉积环境。

**关键词:**柴北缘;欧龙布鲁克微地块;早古生代;岩相古地理

中图分类号:P531;P534.41-42 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2016)06-2011-11

## The early Paleozoic lithofacie-palaeogeography of Olongbluk micro-massif on the northern margin of Qaidam Basin

MA Shuai<sup>1</sup>, CHEN Shi-yue<sup>1</sup>, SUN Jiao-peng<sup>2</sup>, SHAO Peng-cheng<sup>1</sup>,  
WANG Feng<sup>1</sup>, WANG Zhi-jin<sup>1</sup>

(1. College of Earth Science and Technology, China University of Petroleum, Qingdao 266555, Shandong, China; 2. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

**Abstract:** Through field geological investigation and elaborate observation of Olongbluk micro-massif on the north margin of Qaidam Basin in combination with the rock, sedimentary structural characteristics and contact relationship of strata in the profiles,

收稿日期:2015-08-11;改回日期:2015-11-07

基金项目:中国地质调查局项目“柴达木盆地东部石炭系油气成藏条件及目标优选”(12120115003301)资助。

作者简介:马帅,男,1990年生,博士生,研究方向为沉积学与层序地层学;E-mail:mas0302@163.com。

the authors studied features of the Early Paleozoic Cambrian to early Ordovician sedimentary and lithofacies palaeogeography in the study area. Olongbluk micro-massif is located in a volcanic island arc back-arc area, and ocean subduction and collision of continental plates control basin-orogen pattern and evolution of sedimentary fillings in North Qaidam. The lower Paleozoic period of Olongbluk micro-massif mainly developed a set of marine carbonatite, with some terrigenous detrital rock in Cambrian bottom and early Ordovician strata. According to lithological association, there are five kinds of sedimentary facies, i.e., evaporated tidal flat facies, restricted platform facies, open platform facies, platform edge facies and flysch sediment. The study area mainly experienced transgression impact in that epoch. In Early Cambrian period, the study area received evaporation tidal flat sediments. In middle and Late Cambrian period, the study area accepted a set of shallow sea carbonatite formation, and the transgression range was enlarged, thus belonging to an area of restricted platform-open platform sediments. In Early Ordovician period, the sedimentary environment shifted into shoal of platform margin facies-foreslope. In the late of Early Ordovician period, the platform migrated southward, and became platform margin or slope under the compensated deep shelf sedimentary environment.

**Key words:** north margin of Qaidam Basin; Olongbluk micro-massif; early Paleozoic; lithofacies palaeogeography

**About the first author:** MA Shuai, male, born in 1990, Ph.D candidate, engages in the study of sedimentology and sequence stratigraphy; E-mail: mas0302@163.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (No. 12120115003301).

柴达木盆地是中国西部重要的含油气盆地之一,位于青海省境内,青藏高原东北部。柴达木盆地周缘分别被阿尔金断裂带、东昆仑构造带以及宗务隆构造带所限,具有独特的大地构造格局以及岩石圈板块动力学背景<sup>[1]</sup>。自1984年塔里木盆地北部沙参2井实现中国古生代海相油气首次重大突破后,在塔里木、华北、扬子及准噶尔等地区也陆续发现一批大中型油气田<sup>[2]</sup>,而在柴达木盆地的海相勘探进展不大。目前柴达木盆地已发现三大含油气系统,分别为位于柴西的古近系—新近系含油气系统、柴北缘中西段侏罗系含油气系统和中部三湖地区第四系含气系统<sup>[3]</sup>,而以古生界海相沉积地层为主的柴东北地区含油气系统属性尚不清楚。随着区域地质调查研究的深入,近年来在柴达木盆地古生界发现了越来越多的油气显示或碳沥青以及油砂资源,表明该区古生界具有一定的油气资源潜力,因此对柴达木盆地早古生代进行岩相古地理工作具有重要的现实意义。冯增昭等对中国西北地区早古生代进行了岩相古地理研究<sup>[4-6]</sup>,但针对欧龙布鲁克微地块缺乏详细描述。作者通过对欧龙布鲁克微地块的野外地质调查及精细观察,以及室内分析等工作基础上,进行了沉积学方面研究,绘制了岩相古地理图,并对其下古生界的生、储条件进行初步分析。

## 1 大地构造背景

柴达木盆地北缘(简称柴北缘)位于中朝构造域

的南祁连地块与柴达木地块的拼合部位。从大地构造角度来看,柴北缘构造带由3个次级构造单元组成,分别称为柴北缘早古生代结合带、欧龙布鲁克微陆块和宗务隆山晚古生代—早中生代裂陷带<sup>[7-8]</sup>(图1),其中柴北缘早古生代结合带作为祁连地块与柴达木地块碰撞造山带的主体,由于高压—超高压变质岩石组合的存在,其大地构造意义尤显突出<sup>[9-11]</sup>。

而欧龙布鲁克微地块是柴达木盆地北缘形成最早的微大陆,分布于大柴旦以东、乌兰断裂以西,北接宗务隆断裂带,南抵锡铁山—乌兰一线,具有古元古代结晶基底和南华纪—震旦纪沉积盖层的双层结构<sup>[12]</sup>,其早古生代构造格局与柴北缘构造带(包括鱼卡—沙柳河变质带与滩涧山岛弧带)演化密切相关。柴北缘构造带中岛弧火山岩形成年龄分布在540~450 Ma,榴辉岩变质年龄也在520~450 Ma<sup>[13-14]</sup>。这意味着寒武纪初期柴北缘洋已经开始俯冲,滩涧山岛弧已经形成,柴东北缘地区自南向北发育滩涧山岛弧、弧后盆地及欧龙布鲁克台地3个地质单元。宗务隆构造带未发现早古生代板块裂解与拼合事件地质记录,推测该阶段欧龙布鲁克地块与祁连地块相连。欧龙布鲁克微地块的变质结晶基底主要由古元古代德令哈片麻岩、达肯大坂岩群和中元古代万洞沟群组成<sup>[15-16]</sup>。晋宁运动之后,柴北缘构造体制发生转变,欧龙布鲁克微地块上开始发育一套裂陷槽性质的沉积地层——全吉群,其与下覆变质结晶基底呈角度不整合接触<sup>[17-18]</sup>。

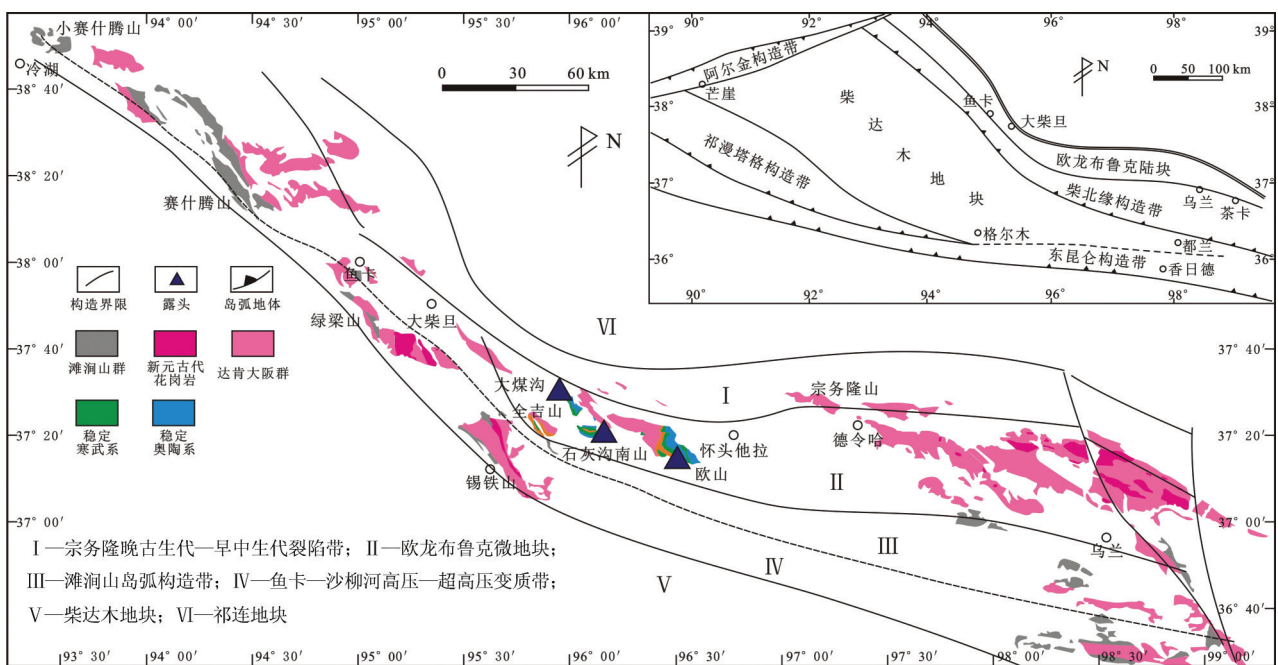


图1 柴达木盆地北缘及邻区构造纲要图(据文献[11]修改)

Fig. 1 Tectonic units of the northern margin of Qaidam and its adjacent areas(modified after reference [11])

## 2 地层特征

早古生代欧龙布鲁克微地块进入稳定克拉通盆地发育时期,沉积了一套被动大陆边缘环境下的碳酸盐岩-碎屑岩建造。关于研究区下古生界地层的划分与对比,前人已有大量的研究,但是意见不甚统一,自20世纪70年代以来又有多家单位先后进行了地层的清理和厘定。综合前人的研究成果以及笔者近年来的研究,认为欧龙布鲁克微地块下古生界地层划分与对比如表1所示。

本文沿袭早期寒武系三分方案,认为下、中、上欧龙布鲁克组分别对应下寒武统、中寒武统以及上寒武统。由于欧龙布鲁克陆块与柴达木地块的逐渐汇聚,以及古洋壳由南向北对欧龙布鲁克地块的俯冲作用<sup>[8,11]</sup>,中、上奥陶统及志留系被剥蚀,仅保存了寒武系欧龙布鲁克群以及下奥陶统多泉山组、石灰沟组地层。欧龙布鲁克微地块下古生界稳定沉积建造仅在石灰沟—欧龙布鲁克山—城墙沟一线连续出露,在大煤沟一带仅出露下奥陶统。

研究区地层下古生界底部与新元古代全吉群呈不整合接触,表现为下寒武统核形石白云岩底部的含磷砾岩层呈漏斗状盖在下伏全吉群红藻山组

含叠层石硅质条带白云岩之上(图2-b)。另外在硅质条带白云岩顶部发育古岩溶,也证实了该期沉积间断并遭受剥蚀事件的存在。寒武系中上部与下奥陶统底部均为一套碳酸盐岩沉积,为连续沉积。下古生界顶部与泥盆系牦牛山组冲积砾岩层呈角度不整合接触。

欧龙布鲁克地块下古生界主要发育海相碳酸盐岩沉积,仅在寒武系底部以及下奥陶统存在细粒陆源碎屑沉积,由于陆源碎屑供给不足而导致的部分碳酸盐岩与碎屑岩混合沉积是研究区寒武纪—早奥陶世主要的沉积特点。从岩石组合来看,沉积相类型大致可划分为蒸发潮坪相、局限台地相、开阔台地相、碳酸盐岩台地边缘相和复理石盆地沉积5大类及相应的亚类。

### 2.1 蒸发潮坪相

蒸发潮坪一般位于碳酸盐岩台地与隆起区之间的部位,特大高潮线至浪基面之间,以潮汐作用为主,同时也是风暴沉积物常常发生卸载的部位。研究区早古生代蒸发潮坪相沉积主要发育在下寒武统,以潮间—潮下带白云岩与潮上带紫红色泥岩互层沉积为主要特点,整体表现为一个海平面较低时的海侵—海退序列。

表 1 欧龙布鲁克微地块下古生界地层划分与对比

Table 1 Stratigraphic division and comparison of the Lower Paleozoic in Oulongbuluck area

青海省地质矿产局, 1978 <sup>①</sup>		青海省区域地质志, 1991 <sup>②</sup>		青海省地质图, 2006 <sup>③</sup>		中科院南京所, 2007 <sup>④</sup>			陈青等, 2013 <sup>[19]</sup>			本文				
下奥陶统	石灰沟组	中奥陶统	大头羊沟组	奥陶系	中	大头羊沟组	奥陶系	上		奥陶系	上	奥陶系	中-上			
	多泉山组	下奥陶统	石灰沟组		下	石灰沟组		中	石灰沟组		中		石灰沟组	下	石灰沟组	
	上欧龙布鲁克统		多泉山组		下	多泉山组		下	多泉山组		下		多泉山组			
寒武系	中欧龙布鲁克统	中寒武统	上欧龙布鲁克统	寒武系	中	欧龙布鲁克组	寒武系	顶	芙蓉统	寒武系	顶	芙蓉统	寒武系	上	上欧龙布鲁克统	欧龙布鲁克群
	下欧龙布鲁克统	中寒武统	下欧龙布鲁克统		下	皱节山组		上	第三统		上	第三统		中	中欧龙布鲁克统	
								中	第二统		中	第二统		下	下欧龙布鲁克统	
								下	纽芬兰统		下	纽芬兰统		下	黑土坡群	

2.1.1 潮间—潮下带白云岩潮坪亚相

研究区下寒武统下部以发育核形石白云岩、藻团块白云岩、泥晶白云岩以及叠层石白云岩等类型多样的潮间—带潮下带白云岩为特征(图2-a)。核形石以及叠层石均属于微生物碳酸盐岩中的类型,而不同的水动力条件造就了核形石形态类型的多样化<sup>[20]</sup>。在欧龙布鲁克山发现的核形石白云岩层中发育泥晶白云岩夹层,并可见泥质条带,代表着蒸发潮坪环境下的弱水动力条件,属低能潮下带。而叠层石或藻团块白云岩一般发育在潮间带以及潮下带上部。潮间带位于平均高潮线及平均低潮线之间,潮汐流往复作用明显,并且由于潮道的发育,在水深及水动力等方面均适合叠层石及藻类的生长。并且在白云岩中生物钻孔、扰动极为发育,并可见板状交错层理、平行层理等高能波浪与潮汐作用的痕迹。

2.1.2 潮上带紫红色砂质泥岩—白云岩潮坪亚相

该亚相主要发育在下欧龙布鲁克组上部碎屑岩段,岩性主要以紫红色薄层粉砂岩、砂质泥岩、泥岩夹白云岩、砂质白云岩或泥岩与白云岩的互层为主(图2-c)。该碎屑岩段与下部碳酸盐岩段岩性发生明显变化,主要是由于海平面迅速变浅导致海底长期暴露出水面,因此在该碎屑岩段中泥裂、鸟眼、岩盐假晶等暴露构造屡见不鲜,属潮上带(图2-

d)。以上岩性及沉积特征均反映此时的水动力条件极弱,温度及盐度均不适合生物的生活和保存,所以其中未发现生物化石。此外在紫红色泥页岩中还发现了风暴作用形成的竹叶状白云岩透镜体及小型丘状交错层理(图3-b),说明该区还保留了潮坪环境背景下风暴作用影响的痕迹。

2.2 局限台地相

局限台地主要是指位于隆起区向海方向与台地边缘之间的半封闭—封闭环境,在这种受限制地形及水动力条件下,沉积物的类型往往与陆源碎屑供给中的悬浮组分有关,这类沉积相往往与礁滩、潮坪相伴生。目前主要通过沉积层序及相变关系来识别该沉积相。该沉积相主要发育在寒武系中欧龙布鲁克组中下部,岩性以中厚层泥晶灰岩夹中薄层鲕粒灰岩、白云岩为特征,可见薄层泥质条带(图2-e,3-c)。在石灰沟南山剖面中发现大量砂质灰岩及细粉砂岩夹层,反映了陆源碎屑供给有所增加(图2-g)。而其独特的地形环境也导致了海平面的交替变化频繁,波状、压扁层理等沉积构造普遍发育。

2.3 开阔台地相

开阔台地主要是指朝海岸方向与局限台地相邻,朝滨外方向与台缘斜坡和陆棚相邻的一个浅海碳酸盐岩沉积环境。研究区开阔台地相主要发育在中欧龙布鲁克组顶部及上欧龙布鲁克组中下部,

①青海地质矿产局. 大柴旦幅 1: 20 万区域地质调查报告[R]. 1977.

②青海省地质矿产勘查开发局 & 青海省地质调查院. 青海省地质图 1:1000000 说明书[R]. 2006.

③中国科学院南京古生物研究所. 中国海相地层岩石地层单元对地表(暂行方案)及简要说明[R]. 2007.

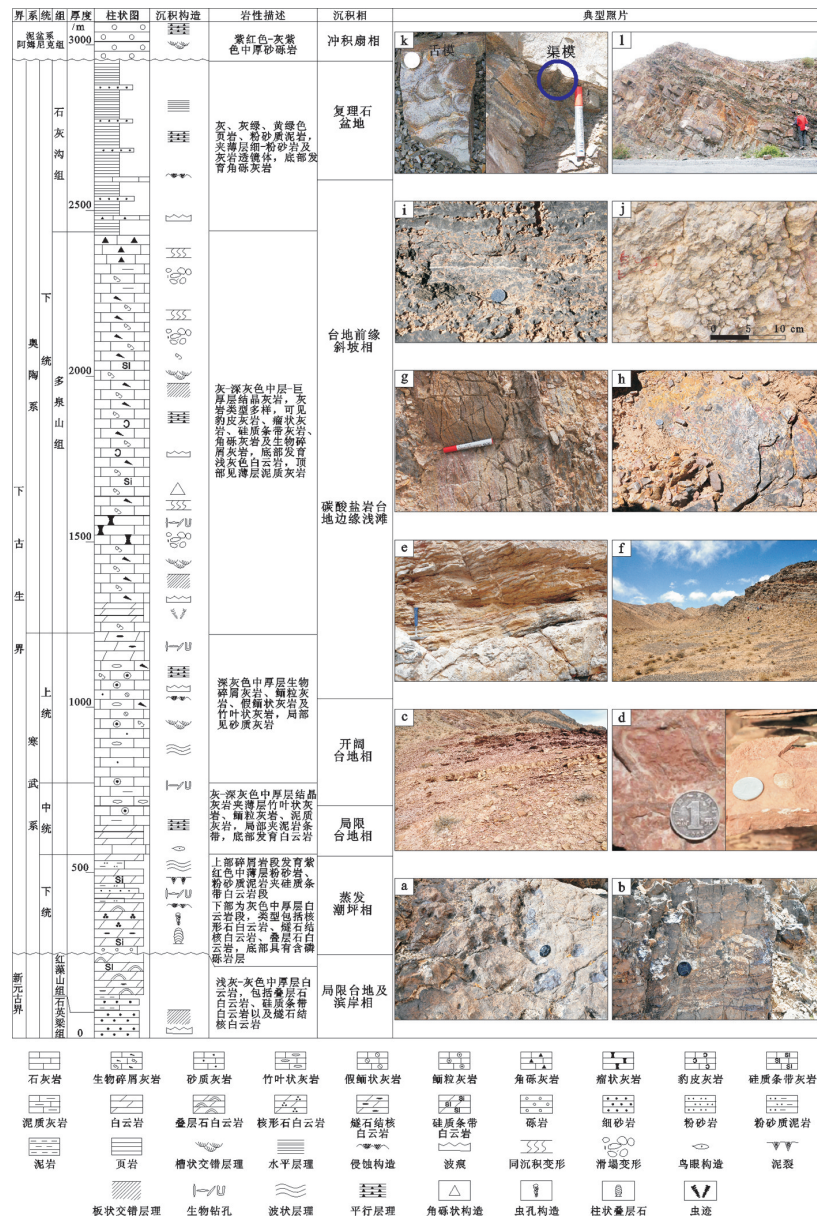


图2 欧龙布鲁克微地块早古生代地层综合柱状图

a—欧龙布鲁克山剖面下寒武统含硅质白云岩;b—欧龙布鲁克山剖面下寒武统一震旦系全吉群之间含磷砾岩层;c—欧龙布鲁克山剖面下寒武统潮上带紫红色泥页岩夹白云岩透镜体;d—欧龙布鲁克山剖面下寒武统碎屑岩段泥裂与岩盐假晶;e—欧龙布鲁克山剖面中寒武统台地相灰泥互层;f—欧龙布鲁克山剖面中—上寒武统台地相灰岩远景;g—石灰沟南山中寒武统砂质灰岩;h—欧龙布鲁克山剖面上寒武统竹叶状灰岩;i—欧龙布鲁克山剖面奥陶系多泉山组颗粒流灰岩;j—大煤沟剖面石灰沟组底部角砾状灰岩;k—大煤沟剖面石灰沟组砂岩底面的舌模和渠模;l—大煤沟剖面石灰沟组砂页岩互层沉积

Fig. 2 Comprehensive columnar section of the Lower Paleozoic strata in Oulongbuluck area

a—Lower Cambrian silicon-bearing dolomite along Oulongbuluck Mountain section; b—Phosphorus conglomerate layer between lower Cambrian and Sinian Quanji Group along Oulongbuluck Mountain section; c—Supratidal zone of lower Cambrian purple clay shale intercalated with dolomite lens along Oulongbuluck Mountain section; d—Lower Cambrian mud crack in clastic rock and halite pseudomorphism along Oulongbuluck Mountain section; e—Middle Cambrian platform facies limestone and mud alternation of beds along Oulongbuluck Mountain section; f— Middle-upper Cambrian platform facies limestone prospects along Oulongbuluck Mountain section; g—Middle Cambrian sandy limestone at lime ditch of Nanshan; h—Upper Cambrian flat-pebble limestone along Oulongbuluck Mountain section; i— Ordovician Duoquanshan Group of sandy limestone along Oulongbuluck Mountain section; j—Lime ditch group bottom breccia shaped limestone at large coal ditch section; k—Lime ditch group sandstone bottom surface tongue die and drainage die at large coal ditch section; l—Lime ditch group sand and mud alternation of beds at large coal ditch section

岩性以大套厚层结晶灰岩夹少量泥晶灰岩、生物碎屑灰岩为特点(图2-f)。该沉积相中岩性特征在广阔海域范围内极为稳定,水流循环条件良好,受陆源碎屑物质影响极弱,一般层理不发育。此时气候温暖湿润,海水深度、温度、含氧量及盐度均适合生物生存,因此野外观察中三叶虫、腕足类化石屡见不鲜。

#### 2.4 台地边缘相

台地边缘主要是指位于碳酸盐岩台地与深水陆棚边缘之间的转折部位,多沿碳酸盐岩台地呈条带状或链状分布。该沉积相主要发育在上欧龙布鲁克组上部及多泉山组,根据野外实地观察可将其进一步分为台地边缘浅滩亚相及台地前缘斜坡亚相,台地边缘生物礁亚相在该区并不发育。

##### 2.4.1 台地边缘浅滩亚相

台地边缘浅滩是台地向外海扩展的重要部分,海水循环良好,氧气充足,盐度正常,沉积物类型主要受到先前地貌、波浪、潮汐、海平面变化等影响。主要发育层段为上欧龙布鲁克组上部,岩性以亮晶颗粒灰岩为主,并可见大量竹叶状灰岩、鲕粒灰岩及蠕虫状灰岩。灰岩表面偶见氧化铁圈,表明当时海水整体深度较浅,由于地壳运动常常露出水面,海底受浪潮作用明显,整体处于台地边缘高能环境(图2-h,3-d)。

##### 2.4.2 台地前缘斜坡亚相

研究区台地前缘斜坡相主要发育在下奥陶统多泉山组以及石灰沟组底部。多泉山组下部以厚层结晶灰岩及角砾状灰岩为特征,各种滑塌构造、颗粒流、角砾状构造沉积现象屡见不鲜,该段主要显示出前缘斜坡的沉积特点(图2-i,j)。多泉山组顶部及石灰沟组底部岩性以颗粒灰岩、滑塌角砾夹薄层泥质灰岩、泥质粉砂岩、黑色泥岩为特点(图3-f,g),且碳酸盐岩与下部暗色泥岩之间存在明显的冲刷界面,属于台地前缘斜坡坡脚的海底扇沉积。该亚相的沉积物整体在向海方向表现为由块状搬运的重力流沉积物向短期重力流引起的角砾灰岩与长期安静的台地边缘原始细粒灰、泥互层过渡。

#### 2.5 深水复理石盆地

复理石建造只限于海相沉积中且具有较大沉积厚度者,其中的碎屑岩具有粒序结构,正是由具有粒序结构的碎屑岩与泥质岩的规律性交替构成复理石韵律<sup>[21]</sup>。研究区早古生代复理石盆地沉积发育

在下奥陶统多泉山组顶部与石灰沟组,整体岩性表现为黑色笔石页岩与薄层细粉砂岩互层,底部夹薄层泥晶灰岩,向上砂岩含量增多,整体可分为多个不同水进沉积旋回(图2-1,3-h)。由于沉积阶段的不同以及极强的侵蚀作用,每个单一旋回发育鲍马序列的单元组合也不同。屡见砂岩底部槽模、沟模及冲刷侵蚀、火焰等沉积构造,对称波痕、粒序层理、块状层理等也普遍发育(图2-k)。

### 3 岩相古地理及演化特征

#### 3.1 寒武纪岩相古地理

自早寒武世早期开始,海水由南向北进入欧龙布鲁克微地块,沉积了一套以潮间带—潮下带白云岩为特点的蒸发潮坪环境下的碳酸盐岩建造,代表了海侵初期的沉积序列。寒武系底部不整合面发育一套含磷砾岩层,反映了一种海侵前的还原环境。到早寒武世晚期,研究区发生短暂的海退,受海平面频繁变化的影响,在水体较浅的背景下形成了寒武纪早期潮下带细碎屑岩—白云岩的混积组合,反映环境转变为滨海燥热气候下的氧化环境。而石灰沟南山地区受陆源碎屑影响较大,所出露的碳酸盐岩中砂质含量较高,碎屑岩层段出现频繁且厚度增大,反应物源区来自于较石灰沟地区近的西边锡铁山—全吉山一带。中寒武世海侵范围逐渐扩大,在石灰沟—欧龙布鲁克山—城墙沟一带开始发育局限台地相沉积,岩性上欧山—城墙沟以颗粒灰岩、泥晶灰岩为特点,石灰沟一带以泥晶灰岩、砂质灰岩夹薄层泥质粉砂岩、泥岩条带,反映石灰沟等地受陆源碎屑物质影响较大。晚寒武世基本继承了中寒武世海侵范围,岩性以结晶灰岩、竹叶状灰岩、鲕粒灰岩为特点,反映当时海水极浅,海底受到浪潮、风暴等事件因素的影响,将刚形成的灰岩层反复冲刷、搅动,整体地块发育开阔台地—台地边缘浅滩相沉积(图4)。综上所述,欧龙布鲁克地块寒武纪整体所发育的潮坪—台地—台地边缘浅滩沉积相组合模式特征,清楚地显示寒武纪早期由还原转为燥热氧化滨海环境,到中、晚期变为温暖、湿润,震荡频繁,浅海环境的古地理条件的发展过程。

#### 3.2 早奥陶世岩相古地理

早奥陶世早期与寒武纪相比海侵范围有所扩大。下奥陶统多泉山组以厚层结晶灰岩、生屑灰岩

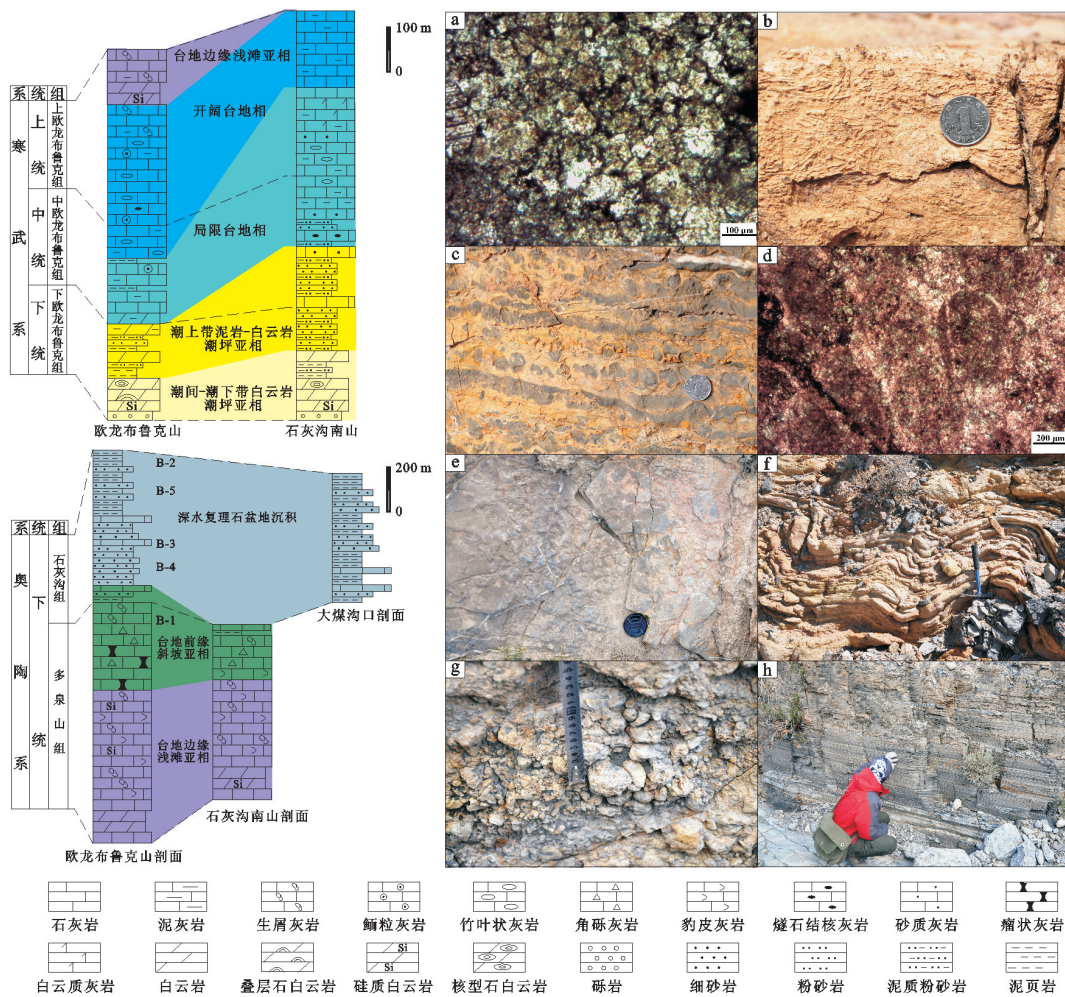


图3 欧龙布鲁克微地块下古生界沉积相对比图

a—欧龙布鲁克山剖面下寒武统潮间带微晶白云岩;b—欧龙布鲁克山剖面下寒武统竹叶状白云岩;c—欧龙布鲁克山剖面中寒武统台地相颗粒泥晶灰岩;d—欧龙布鲁克山剖面上寒武统颗粒滩鲕粒灰岩;e—欧龙布鲁克山剖面奥陶系多泉山组斜坡相角砾状灰岩;f—大煤沟剖面奥陶系石灰沟组碎屑流滑塌变形;g—大煤沟剖面奥陶系石灰沟组斜坡相底部灰岩砾石;h—大煤沟剖面奥陶系石灰沟组复理石盆地砂泥互层沉积

Fig. 3 Sedimentary facies correlation of the Lower Paleozoic in Oulongbuluck area

a—Intertidal zone of lower Cambrian micrite dolomite along Oulongbuluck Mountain section; b—Upper Cambrian flat-pebble dolomite along Oulongbuluck Mountain section; c—Middle Cambrian platform facies granular micrite along Oulongbuluck Mountain section; d—Upper Cambrian oolitic limestone along Oulongbuluck Mountain section; e—Ordovician Duoquanshan Group of slope facies breccia shaped limestone along Oulongbuluck Mountain section; f—Lime ditch group of Ordovician debris flow slump deformation at large coal ditch section; g—Lime ditch group of Ordovician slope facies gray gravel at large coal ditch section; h—Lime ditch group of Ordovician flysch basin sand and mud alternation of beds at large coal ditch section

夹多套角砾状灰岩为主要特点,沉积环境由碳酸盐岩台地边缘浅滩转变为台缘斜坡。而在石灰沟一带,多泉山组岩性序列自下而上整体表现为白云岩-结晶灰岩-豹皮状灰岩,沉积层中由于斜坡重力流引起的滑塌作用发育极少,海水深度较欧龙布鲁克山—城墙沟一带变浅,仍处于台地相环境。

早奥陶世晚期由于地壳上升,海水开始退缩,欧龙布鲁克微地块整体构成一个闭塞海湾的还原

环境。多泉山组顶部发育大量深水陆棚相黑色页岩,其间夹有数套1~2 m厚的碳酸盐岩角砾岩、泥晶灰岩层。石灰沟组灰岩层数及厚度继续变小,逐步变为海退相的粉砂—泥质沉积,该泥晶灰岩、角砾状灰岩与细碎屑岩的互层形成于海平面较高时期台缘斜坡—欠补偿盆地沉积环境。在大煤沟一带石灰沟组中,岩性表现为黑色笔石页岩与薄层细粉砂岩互层,呈鲍马序列沉积旋回出现,属于深水复理

石盆地边缘斜坡坡脚处浊积扇沉积(图4)。

### 3.3 影响因素

从前述地层特征及沉积相类型可以看出,寒武纪一早奥陶世不同时间段欧龙布鲁克微地块在沉积演化规律及古地理环境、碎屑物质供给条件等方面存在显著不同。任何一种沉积环境或沉积机制都必然受到海平面变化、构造沉降、沉积物供给和古气候的影响。

#### 3.3.1 构造运动及碎屑物质供给

构造作用对构造环境的形成以及岩石组合具有很大影响,而所处构造环境或构造分区的差异可导致不同构造带中不同性质的沉积建造类型的发育<sup>[22]</sup>。早古生代岩相古地理综合分析显示,欧龙布鲁克微地块寒武系一下奥陶统发育以碳酸盐岩为主体的稳定型沉积建造。自寒武纪开始,受柴北缘洋俯冲作用的影响,欧南弧后盆地形成,继而弧后扩张造成隆起状态的欧龙布鲁克板块南缘发生沉降,遭受海侵,早寒武世发育蒸发台地相白云岩—紫红色泥岩沉积,寒武纪中晚期随着弧后扩张、沉降及海侵加剧,形成台地—浅滩相碳酸盐岩沉积,至早奥陶世多泉山组沉积期发育台地边缘浅滩—台缘斜坡滑动沉积。整体来看,欧龙布鲁克地块之上的稳定型沉积建造,从寒武纪初期开始,直至石灰沟组沉积期一直处于长周期海平面上升期,稳定的区域性沉降为海相沉积的保存提供了条件。而早奥陶世早期开始的陆—陆碰撞则造成了欧龙布鲁克海盆的抬升—剥蚀,这是欧龙布鲁克地块中奥陶统一志留统缺失的直接原因,也是加里东运动对该地区强烈作用的体现<sup>[23]</sup>。

构造活动的强弱也影响着陆源碎屑物质供给能力。从寒武系一下奥陶统的岩石学类型与地层序列来看,欧龙布鲁克微地块早古生代除早寒武世晚期外几乎不存陆源碎屑岩沉积,这表明寒武纪一早奥陶世,欧龙布鲁克地块缺少陆源碎屑物质的注入,这种极低的陆源碎屑物质的注入也促进了碳酸盐岩的发育。随着柴北缘构造带构造活动的持续加强,早奥陶世晚期开始,来自柴北缘构造带的碎屑物质向北超覆,直接导致了欧龙布鲁克碳酸盐岩海盆的消亡<sup>[24,25]</sup>。

#### 3.3.2 海平面升降及古气候

相较于构造因素的影响,海平面变化以及气候

对研究区早古生代沉积建造影响整体不是很大,但在部分方面仍存在一定影响。虽然寒武纪一早奥陶世整体呈海侵趋势,但部分阶段仍存在一定的海平面频繁升降变化,结晶灰岩—泥晶灰岩—白云岩、白云岩—紫红色泥页岩频繁的互层产出等地层序列即为海平面高频变化的证据。

研究区气候变化与当时欧龙布鲁克微地块所处的位置有关。虽然不同学者给出的古地磁数据略有差异,但均认为研究区早古生代位于赤道附近的低纬度地带<sup>[26,27]</sup>。低纬度温暖湿润的气候背景有利于生物的繁盛,为碳酸盐岩的沉积提供了良好的气候条件;而早寒武世晚期炎热干旱的气候也为其沉积蒸发湖相泥页岩提供必备条件。另外,低纬度也导致风暴作用发生频繁,研究区下古生界地层中发育大量丘状交错层理以及竹叶状、角砾状灰岩等风暴作用证据。

## 4 油气地质意义

古生界是中国西北地区重要的海相油气层位,目前已在多处发现了油气显示及油气藏。处于这一区域的欧龙布鲁克微地块下古生界的生、储条件与当时的岩相古地理演化有着密切的关系。

### 4.1 烃源岩条件

欧龙布鲁克微地块下古生界烃源岩主要发育在下奥陶统石灰沟组,为深水暗色泥岩沉积,主要分布于德令哈一带,以大煤沟、怀头他拉为沉积中心,厚度最大可达300 m。通过对奥陶系石灰沟组样品分析表明,有机碳含量大部分低于0.4%,最大值为1.5%,平均0.4%。平面分布上,研究区内仅大煤沟地区有机碳含量较高,达到有效烃源岩标准,属于较好—好烃源岩,其他地区的烃源岩条件较差。通过干酪根稳定碳同位素分析表明,石灰沟组烃源岩稳定碳同位素值大部分偏低,介于-28‰~-33‰,少量介于-24‰~-26‰。因此,其干酪根大部分为I型,极少数为II<sub>2</sub>型;而Ro值介于1.60%~4.70%,说明其有机质热演化程度大部分已经进入过成熟阶段,少数样品在高成熟阶段。

### 4.2 储层条件

区内寒武系一下奥陶统储层以白云岩与颗粒灰岩为主,厚约1000 m。从物性测试结果来看,孔隙度整体分布在0.4%~5.3%,平均1.5%,其中孔隙度大于



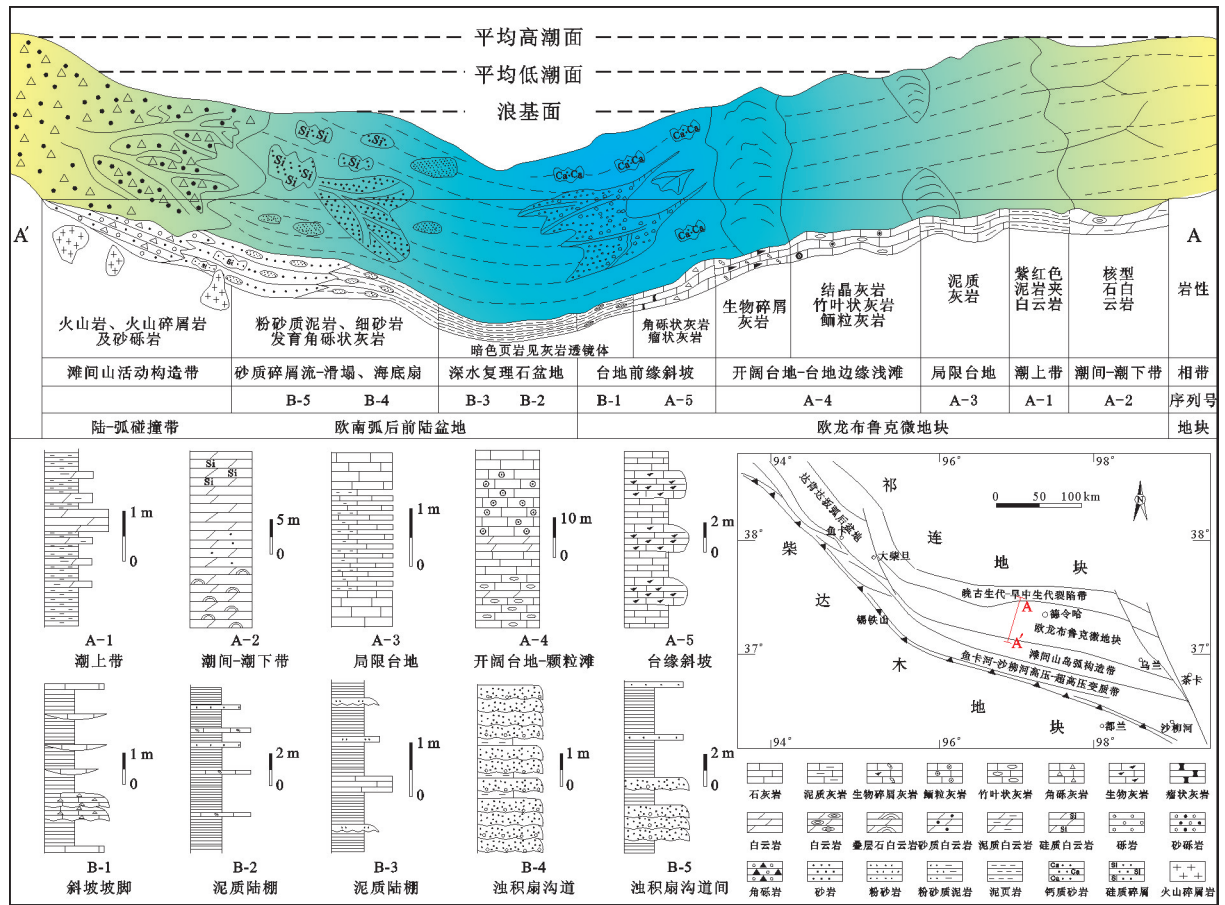


图4 欧龙布鲁克微地块早古生代沉积模式及岩性序列图

Fig.4 Sedimentary model and lithological sequence diagram of the Lower Paleozoic in Oulongbuluck area

2%的储层约占15%;渗透率大都分布在 $0.24 \times 10^{-11} \sim 0.13 \times 10^{-7} \text{m}^2$ ,平均 $0.12 \times 10^{-10} \text{m}^2$ ,总体属于低孔低渗-特低孔特低渗储层。不同层段物性数据差别不明显,但颗粒灰岩物性略好于白云岩。孔隙的极不发育与长期的深埋藏有关,强烈的压实-压溶及碳酸盐岩胶结导致原生孔隙强烈破坏,新生代早期的压实与晚期胶结事件导致溶蚀孔隙几乎全部消耗。压汞资料显示储层排驱压力平均20 MPa左右,平均孔喉半径 $9.89 \mu\text{m}$ ,孔隙组成以小孔、中孔为主。因此,虽然镜下孔隙极为少见,但扫描电镜下可以观察到大量晶间、粒间微孔。另外,野外露头溶洞与裂缝极为发育,总的来说微孔-溶洞-裂缝是下古生界最主要的储集空间。虽然储层物性测试数据偏低,但仍存在部分物性较好的层段,极大的储层厚度以及裂缝及溶洞的发育仍然让欧龙布鲁克微地块下古生界具有一定的油气勘探潜力。

## 5 结论

(1)根据岩性序列及沉积特征,以及对每个沉积相带的详细分析,可将欧龙布鲁克微地块大致可划分为蒸发潮坪相、局限台地相、开阔台地相、碳酸盐岩台地边缘相和复理石盆地沉积5大沉积相类型及相应的亚相。

(2)通过绘制研究区早古生代岩相古地理图(图5),认为欧龙布鲁克微地块自早寒武世早期经历潮间-潮下带白云岩潮坪沉积,至早寒武世晚期发生海退,沉积环境转变为潮上带泥岩-白云岩混积潮坪沉积,中、晚寒武世海侵范围逐步扩大,研究区接受了一套以浅海碳酸盐岩建造为特点的局限台地-开阔台地沉积。早奥陶世基本继承了寒武纪海侵过程,欧龙布鲁克微地块沉积环境向台地边缘浅滩-前缘斜坡转变,直至早奥陶世晚期由于研究区海水退去形成海

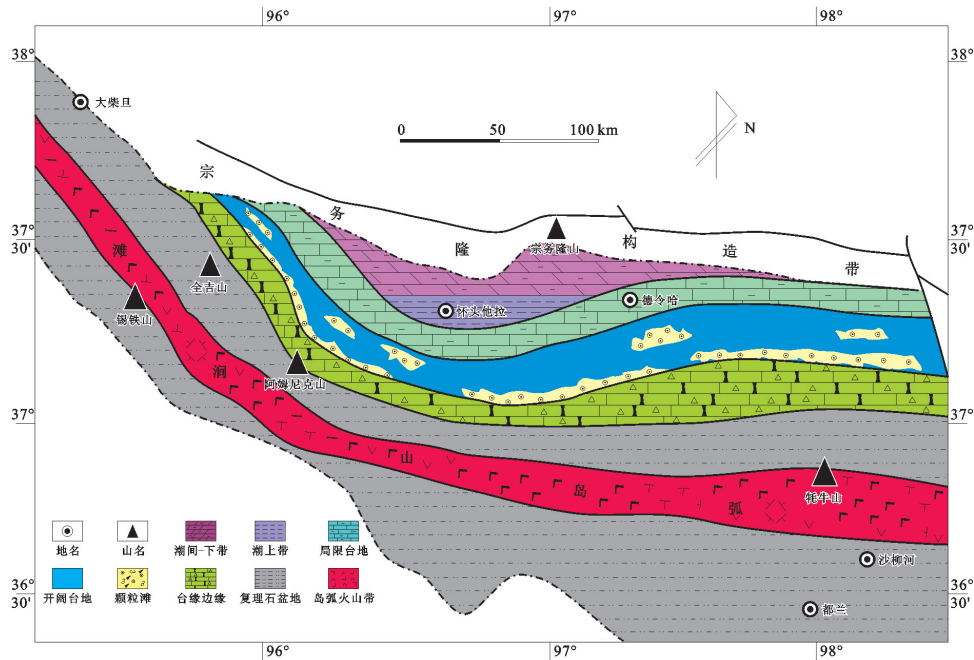


图5 欧龙布鲁克微地块早古生代岩相古地理图(据文献[25]修改)

Fig. 5 Lithofacies-paleogeographic map of the Lower Paleozoic in Oulongbuluck area (modified from reference[25])

湾环境,并接受深水复理石沉积。

(3) 欧龙布鲁克微地块下古生界具备较好的烃源岩及储层条件,其中发现的大量沥青与荧光显示,证实研究区早古生代发生过生排烃及油气聚聚与成藏,具备良好的石油地质条件。

#### 参考文献(References):

- [1] 汤良杰, 金之钧, 张明利, 等. 柴达木盆地构造古地理分析[J]. 地学前缘, 2000, (4):421-429.  
Tang Liangjie, Jin Zhijun, Zhang Mingli, et al. An analysis on tectono-paleogeographic of the Qaidam Basin, northwestern China[J]. Earth Science Frontiers, 2000, (4): 421-429 (in Chinese with English abstract).
- [2] 康玉柱. 中国古生代海相大油气田形成条件及勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2007, (3): 263-265.  
Kang Yuzhu. Conditions and explorative directions of marine giant oil-gas fields of Paleozoic in China[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, (3): 263-265(in Chinese with English abstract).
- [3] 王明儒. 柴达木盆地中-新生界含油气系统演化[J]. 新疆石油地质, 2003, 01:24-26+4.  
Wang Mingru. Formation and evolution of Meso-Cenozoic petroleum systems in Caidam Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 01:24-26+4(in Chinese with English abstract).
- [4] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国早寒武世岩相古地理[J]. 古地理学报, 2002, (1):1-12, 97-98.  
Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies paleogeography of the Early Cambrian in China[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, (1):1-12, 97-98(in Chinese with English

abstract).

- [5] 冯增昭, 张家强, 金振奎, 等. 中国西北地区奥陶纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2000, (3):1-14.  
Feng Zengzhao, Zhang Baoqiang, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies paleogeography of Ordovician in northwest China [J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 03:1-14(in Chinese with English abstract).
- [6] 苏中堂, 陈洪德, 欧阳征健, 等. 鄂尔多斯地区马家沟组层序岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2012, 39(3): 623-633.  
Su Zhongtang, Chen Hongde, OuYang, Zhengjian, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeography of Majiagou Formation in Ordos Basin[J]. Geology in China, 2012, 39(3): 623-633(in Chinese with English abstract).
- [7] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, (11): 701-707.  
Pan Guishang, Li Xingzhen, Wang Liquan, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions [J]. Geological Bulletin of China, 2002, (11): 701-707(in Chinese with English abstract).
- [8] 葛肖虹, 刘永江, 任收麦. 青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂[J]. 中国地质, 2002, (4):346-350.  
Ge Xiaohong, Liu Yongjiang, Ren Shoumai. Uplift dynamics of the Qinghai-Tibet Plateau and Altun fault [J]. Geology of China, 2002, (4): 346-350(in Chinese with English abstract).
- [9] 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: 662.  
Bureau of Geology and mineral Resources in Qinghai. Regional Geology Introduction in Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 662(in Chinese).
- [10] 曹国强, 陈世悦, 徐凤银, 等. 柴达木盆地西部中-新生代沉积构造演化[J]. 中国地质, 2005, (1): 33-40.

- Cao Guoqiang, Chen Shiyue, Xu Fengyin, et al. Ceno-Mesozoic sedimentary and tectonic evolution in the western Qaidam basin [J]. *Geology of China*, 2005, (1): 33-40(in Chinese with English abstract).
- [11] 王惠初, 陆松年, 莫宣学, 等. 柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山系统[J]. *地质通报*, 2005, (7): 603-612.  
Wang Huichu, Lu Songnian, Mo Xuanxue, et al. An Early Paleozoic collisional orogen on the northern margin of the Qaidam basin, northwestern China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, (7): 603-612(in Chinese with English abstract).
- [12] 郝国杰, 陆松年, 李怀坤, 等. 柴北缘沙柳河榴辉岩岩石学及年代学初步研究[J]. *前寒武纪研究进展*, 2001, (3): 154-162.  
Hao Guojie, Lu Songnian, Li Huaikun, et al. Determination and significance of eclogite on Shaliuhe, in the north margin of the Qaidambasin[J]. *Progress in Precambrian Research*, 2001, (3): 154-162(in Chinese with English abstract).
- [13] 王惠初. 柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山及岩浆作用[D]. 中国地质大学(北京), 2006.  
Wang Huichu. Collisionorogenesis and Magmatism in Early Paleozoic in North Margin of Qaidam Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006(in Chinese with English abstract).
- [14] 史仁灯, 杨经绥, 吴才来, 等. 柴达木北缘超高压变质带中的岛弧火山岩[J]. *地质学报*, 2004, 78(1): 52-64.  
Shi Rendeng, Yang Jingsui, Wu Cailai, et al. Island arc volcanic rocks in the north Qaidam UHP metamorphic belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(1): 52-64(in Chinese with English abstract).
- [15] 陆松年, 于海峰, 金巍, 等. 塔里木古大陆东缘的微小陆块体群[J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, (4): 317-326.  
Lu Songnian, Yu Haifeng, Jin Wei, et al. Microcontinents on the eastern margin of Tarim paleocontinent[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2002, (4): 317-326(in Chinese with English abstract).
- [16] 辛后田, 王惠初, 周世军. 柴北缘的大地构造演化及其地质事件群[J]. *地质调查与研究*, 2006, (4): 311-320.  
Xin Houtian, Qang Huichu, Zhou Shijun. Geological events and tectonic evolution of the north margin of the Qaidam basin[J]. *Geological Survey and Research*, 2006, (4): 311-320(in Chinese with English abstract).
- [17] 孙娇鹏, 陈世悦, 彭渊, 等. 全吉地区新元古代滨岸冰川沉积特征及地质意义[J]. *地质学报*, 2014, (7): 1334-1340.  
Sun Jiaopeng, Chen Shiyue, Peng Yuan, et al. Sedimentary characteristic of Neoproterozoic glaciomarine in the Quanji area and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, (7): 1334-1340(in Chinese with English abstract).
- [18] 李怀坤, 陆松年, 王惠初, 等. 青海柴北缘新元古代超大陆裂解的地质记录——全吉群[J]. *地质调查与研究*, 2003, (1): 27-37.  
Li Huaikun, Lu Songnian, Wang Huichu, et al. Geologic record of breakup supercontinent in Neoproterozoic in North Qaidam-Quanji flocks[J]. *Geological Survey and Research*, 2003, (1): 27-37(in Chinese with English abstract).
- [19] 陈青, 李海平, 董云鹏, 等. 柴北缘欧龙布鲁克地块寒武系—奥陶系的重新厘定[J]. *地质与勘探*, 2013, (5): 825-835.  
Chen Qing, Li Haiping, Dong Yunpeng, et al. Redefinition of the Cambrian-Ordovician strata in the Olongbuluck area, northern margin of the Qaidam Basin [J]. *Geology and Prospecting*, 2013, (5): 825-835(in Chinese with English abstract).
- [20] 齐永安, 代明月, 常玉光, 等. 豫西滎池地区寒武系第三统馒头组二段的核形石[J]. *高校地质学报*, 2013, (4): 634-641.  
Qi Yongan, Dai Mingyue, Chang Yuguang, et al. The Oncoids from the second member of Mantou Formation (the Third Series, Cambrian), Mianchi area, Western Henan Province[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2013, (4): 634-64(in Chinese with English abstract).
- [21] 夏邦栋. 我国复理石的研究及其中提出的若干问题[J]. *沉积学报*, 1986, (1): 49-63, 133.  
Xia Bangdong. Some questions about flysch formation researching in China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1986, (1): 49-63, 133(in Chinese with English abstract).
- [22] 柯光明, 郑荣才, 石和. 苏北盆地古近纪构造—层序岩相古地理特征与演化[J]. *中国地质*, 2006, 33(6): 1305-1311.  
Ke Guangming, Zheng Rongcai, Shi He. Lithofacies and paleogeography of Paleogene tectonic sequences in the Subei basin and their evolution[J]. *Geology in China*, 2006, 33(6): 1305-1311(in Chinese with English abstract).
- [23] 孙娇鹏, 陈世悦, 彭渊, 等. 欧龙布鲁克微地块下奥陶统复理石物源和构造背景研究[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2015, (5): 27-35.  
Sun Jiaopeng, Chen Shiyue, Peng Yuan, et al. Provenance and tectonic background of the Lower Ordovician flysch in Oulongbuluke microplate[J]. *Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science)*, 2015, (5): 27-35(in Chinese with English abstract).
- [24] 孙娇鹏, 陈世悦, 马寅生, 等. 柴达木盆地北缘早奥陶世陆—弧碰撞及弧后前陆盆地—来自碎屑岩地球化学的证据[J]. *地质学报*, 2016, 90(1): 80-92.  
Sun Jiaopeng, Chen Shiyue, Ma Yinsheng, et al. Early Ordovician continental-arc collision and retroarc foreland basin on the northern margin of Qaidam basin: Geochemical evidence from clastic rocks[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90(1): 80-92(in Chinese with English abstract).
- [25] 孙娇鹏. 柴达木东北部新元古代—古生代盆格局及构造古地理演化[D]. 青岛: 中国石油大学, 2015.  
Sun Jiaopeng. Neoproterozoic Paleozoic Basin Pattern and Tectonic Paleogeographic Evolution in Northeastern Qaidam [D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2015(in Chinese with English abstract).
- [26] 杨惠心, 禹惠民, 李鹏武. 柴达木地块古地磁研究及其演化[J]. *长春地质学院学报*, 1992, 22(4): 420-426.  
Yang Huixin, Yu Huimin, Li Pengwu. Palaeomagnetic study of Chaidam plate and its evolution[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 1992, 22(4): 420-426(in Chinese with English abstract).
- [27] 吴汉宁, 刘池阳. 用古地磁资料探讨柴达木地块构造演化[J]. *中国科学(D辑)*, 1997, 27(1): 9-14.  
Wu Hanning, Liu Chiyang. Study on the tectonic evolution of the Qaidam block with the data of the geomagnetic field [J]. *Science in China(Series D)*, 1997, 27(1): 9-14(in Chinese with English abstract).