

文章编号: 1000-0550(2010)01-0140-10

柴达木盆地石炭系沉积相及其与烃源岩的关系^①

牛永斌^{1,2} 钟建华¹ 段宏亮³ 尹成明⁴ 王培俊¹

(1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东东营 257061; 2. 河南省生物遗迹与成矿过程重点实验室 河南焦作 454003; 3. 中国石化江苏油田分公司地质科学研究院 江苏扬州 225009; 4. 中国石油青海油田分公司勘探开发研究院 甘肃敦煌 736202)

摘要 在实地观测柴达木盆地石炭系野外露头剖面岩性和生物特征的基础上,详细研究了柴达木盆地石炭系的沉积相类型及特征,探讨了石炭纪不同阶段的沉积演化以及沉积相对烃源岩发育的控制作用。柴达木盆地石炭系主要发育陆表海,可划分为三大沉积相:滨岸相、碳酸盐岩台地相、浅海陆棚相;六个亚相:浅滩亚相、潮坪亚相、沼泽亚相、开阔台地亚相、局限台地亚相、内陆棚亚相。石炭纪沉积演化经历了早石炭世两次海侵和晚石炭世的持续海侵,沉积环境由滨海向浅海过渡,以海陆交互沉积环境为主,大面积的海进使得北部山前局部地区出现地层超覆现象。沉积相控制了烃源岩的分布:柴达木盆地东北缘石炭系的潮坪亚相、浅海陆棚亚相广泛发育泥岩、炭质泥岩及碳酸盐岩,可作为有利的生烃源岩;柴西南缘下石炭统的局限台地亚相是碳酸盐台地上局部相对闭塞的地带,由于水体相对较深,水动能较低,沉积物中有机质丰富,也是有利的生烃源岩发育区。

关键词 柴达木盆地 石炭系 沉积相 沉积演化 烃源岩

第一作者简介 牛永斌 男 1980年出生 博士研究生 沉积学与地质三维建模 E-mail: niuyongbindoctor@qq.com

中图分类号 TE121.3 文献标识码 A

柴达木盆地位于青藏高原北部,青海省西北部。盆地西高东低,西宽东窄。东西方向长约850 km,南北宽为150~300 km,总面积约12.1万km²,是我国七大内陆含油气盆地之一。经过半个世纪的勘探,目前在柴达木盆地西部古近系^[1,2]、新近系^[3]、北缘侏罗系^[4]发现了油气田,在东部发现了生物气田^[5,6],而石炭系还没发现工业性的油气流^[7]。由于柴达木盆地内中生界沉积厚度较大,特别是新生界地层厚度大^[8],造成石炭系埋藏较深,盆地北缘山前带露头区的下石炭统遭受了动力变质等原因,使石炭系作为柴达木盆地油气勘探的新层系,其研究和认识程度较低。然而随着该区油气勘探程度的不断提高及国民经济发展需要,寻找新的油气勘探领域已成为青海油田增储上产、可持续发展的迫切需要。因此开展柴达木盆地石炭系石油地质特征及油气勘探前景研究,提出石炭系油气勘探的主攻方向^[9-11],对青海油田准备接替领域和勘探新层系、提供勘探部署建议具有重要意义。由于有利于油气成藏的生、储、盖组合受沉积相带的控制,所以对柴达木盆地石炭系沉积相及其沉积演化研究将是柴达木盆地石炭系油气勘探获得突破的关键。前人对柴达木盆地石炭系的研究仅仅

局限于东北缘,对盆地内和盆地南缘石炭系的分布、沉积相及沉积演化涉及很少。本文根据柴达木盆地周缘露头和盆地内钻井信息详细分析了石炭系的沉积特征及沉积演化,并对石炭系沉积相与烃源岩的关系也进行了详细研究。

1 石油地质概况

柴达木盆地石炭系的分布受古地理条件和构造运动的控制^[12],主要出露于盆地周边各山前,地层发育齐全,分布广泛且厚度大^[13]。其中下石炭统主要沿赛什腾山—绿梁山—锡铁山零星出露条带状展布,柴北缘东段的埃姆尼克山、欧龙布鲁克山、扎布萨尔秀山及牦牛山地区石炭系出露良好。在地形上表现为两坳夹一隆的构造格局,基地形态相对简单^[14]。石炭系在沉积时,由于被广阔的海域覆盖,其分布并不是以前认为的仅局限于柴达木盆地边缘裂谷带附近,或零星分布于研究区内,而是一个平面展布较为广泛的沉积盖层(图1)^[15]。

石炭系从层系发育状况、沉积特征、古生物特征等方面主要分为三个地层区:柴北缘和柴东缘分区(柴东北缘)、祁曼塔格山(即柴南缘)分区和布尔汗

^①国家油气专项(批准号:XQ-2004-01)和河南省生物遗迹与成矿过程重点实验室开放基金(编号:OTMP0903)共同资助。
收稿日期:2008-11-27;收修改稿日期:2009-03-20

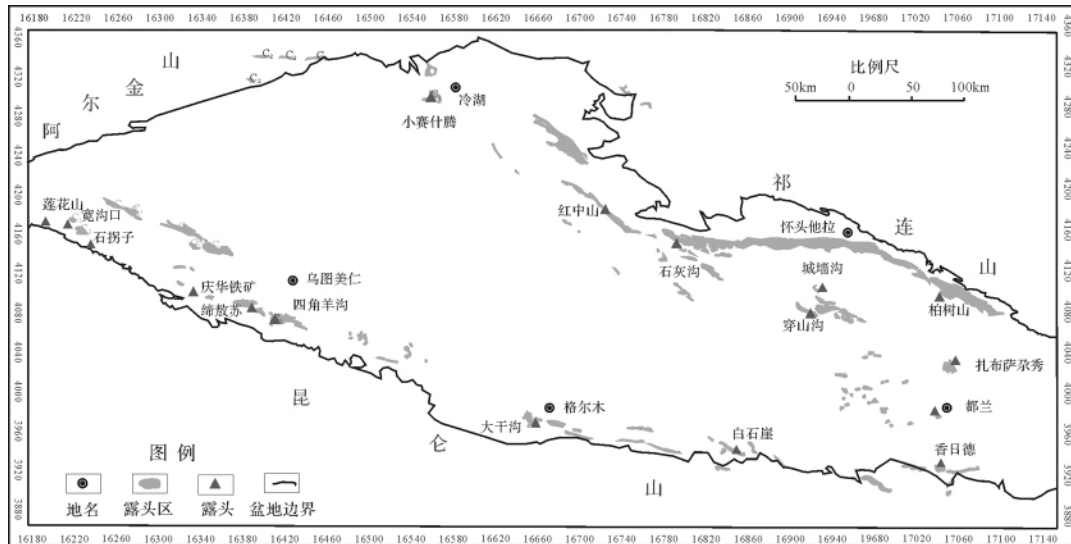


图 1 柴达木盆地位置及石炭系露头分布图

Fig. 1 Map showing the location of Qaidam Basin and Carboniferous outcrops

布达山(即昆仑山南坡)分区。其中东北缘和西南缘的沉积特征有所不同^[16]。经生物与岩性特征综合分析对比,形成国内外统一的地层格架(表 1)。

表 1 柴达木盆地石炭系地层表

Table 1 Carboniferous stratigraphic scale in Qaidam Basin

地层系统		东北缘		南缘	
统	国际阶	国内阶			
下二叠统	亚丁斯克	隆林	未见顶		四角羊沟
	萨克马尔	紫松			
	阿瑟尔		扎布萨秀	上段	下段
上石炭统	格舍尔	逍遥	(未见顶)		褶皱苏
	卜西莫夫	达拉	4 段		
	莫斯科	达拉	3 段		
	巴什基尔	滑石板	2 段		
下石炭统	谢尔普科夫	罗苏	1 段		大干沟
	维宪	大塘	生物灰岩段	灰岩段	
			燧石灰岩段		
			砂页岩夹灰岩段		
	城 墙 沟		石拐子		
杜内	岩关	上段		灰岩段	
		中段	砂砾岩段		
下段					

目前,柴达木盆地石炭系研究程度比较低,全盆地仅有霍参 1 井、尕丘 1 井、冷科 1 井、深 86 井、乌中 1 井等 5 口井钻遇石炭系^[17,18]。但是对钻遇石炭系的尕丘 1 井、霍参 1 井井下原岩样品分析结果表明,

暗色泥岩有机碳(TOC)含量平均为 1.85%,碳酸盐岩有机碳含量平均为 0.42%,碳酸盐岩母质类型为 II 型干酪根,烃源岩成熟度中等。经与该区不同油田(或油井)原油及烃源岩进行油源对比,发现石炭系烃源岩可能曾经发生过生排烃、运移和聚集成藏过程^[19,20]。

2 沉积相类型及特征

杨平、胡勇、朱如凯等对柴达木盆地石炭系沉积环境与沉积演化进行了研究^[15,21,22],认为柴达木盆地泥盆纪以后沉积环境由滨海向浅海过渡,以海陆交互沉积环境为主。海西运动早期柴达木盆地在南北向挤压的作用下,地块本身发生差异性的升降运动,出现了北西—北西西向且相间分布的布尔汗布达山古陆、柴达木盆地坳陷、牛鼻子梁—达布逊—布赫特古陆,这些古陆和坳陷决定了早石炭世沉积的古地理格局。本文根据区域地质调查资料结合实地观测各露头剖面岩性、生物特征、遗迹化石^[23,24]以及少量钻孔信息分析,柴达木盆地石炭纪主要发育陆表海,划分为滨岸相、碳酸盐岩台地相、浅海陆棚相三大沉积相,浅滩亚相、潮坪亚相、沼泽亚相、开阔台地亚相、局限台地亚相、内陆棚亚相六个亚相。各沉积相在早、晚石炭世的平面展布如图 2,图 3。各沉积相的沉积特征详述如下。

2.1 滨岸相

2.1.1 滨岸浅滩亚相

滨岸浅滩亚相主要发育有砂砾滩相,在盆地石

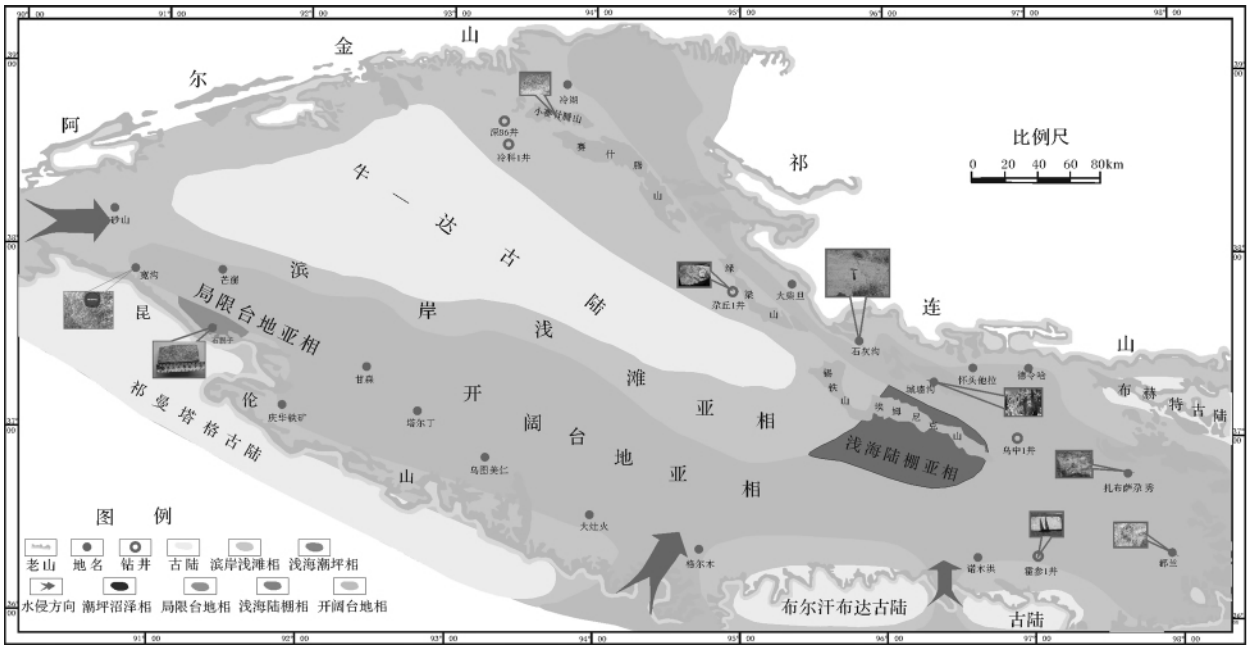


图2 柴达木盆地早石炭世沉积相平面图

Fig. 2 Sedimentary facies of Early Carboniferous in Qaidam Basin

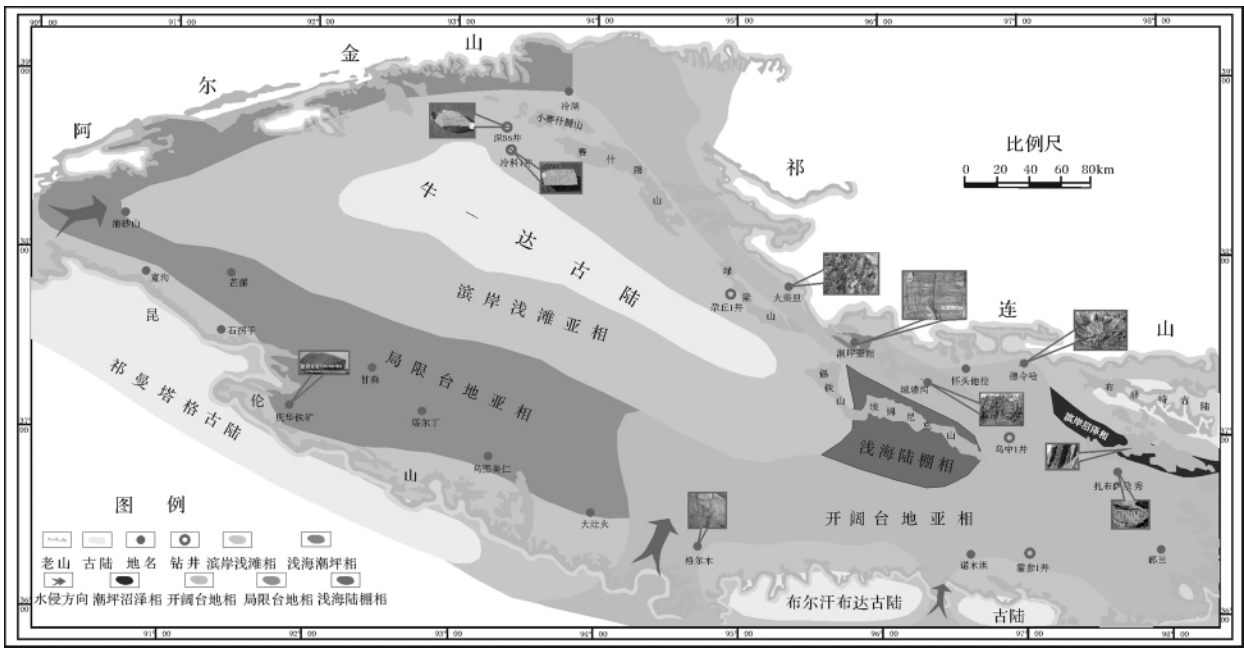
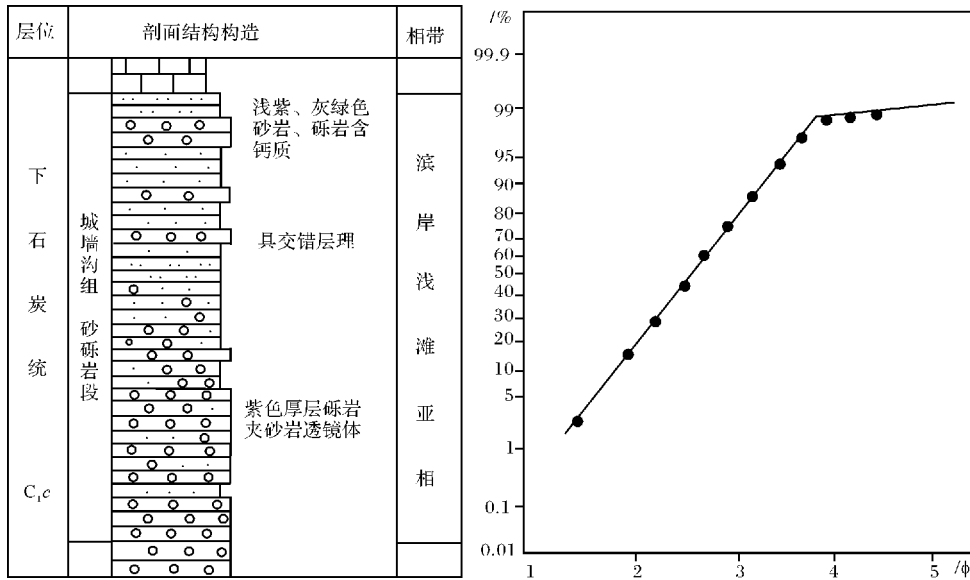


图3 柴达木盆地晚石炭世沉积相分布图

Fig. 3 Sedimentary facies of Late Carboniferous in Qaidam Basin

炭统下部和上石炭统普遍较发育。由浅灰—灰白色、暗紫红色、灰绿色含钙泥质粉、细砂岩、中粒长石砂岩、长石石英岩、含砾砂岩和砾岩组成。分选和磨圆较好，具交错层理和不对称波痕(图4-a)。砂岩粒度概率图主要由跳跃总体和悬浮总体组成的二段式

(图4-b)，说明沉积环境的水动力能量较高。发育剖面主要有下石炭统下部穿山沟组的石灰沟剖面、都兰的角龙牙河北山剖面、扎布萨尔秀剖面，此外城墙沟剖面也有发育。为有利的储油气相带。

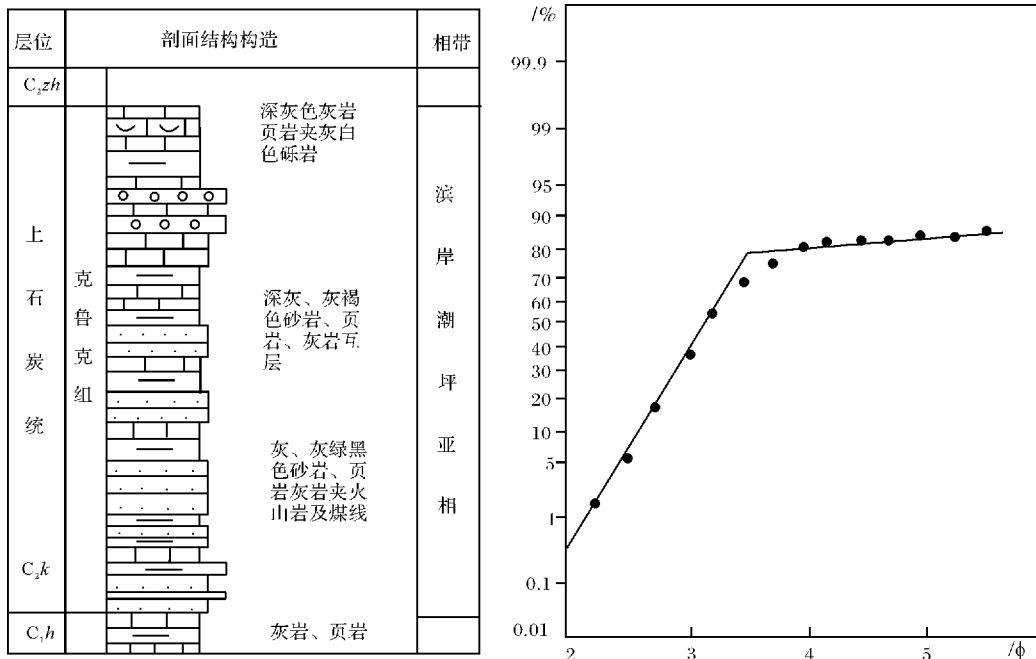


a 滨岸浅滩亚相沉积序列图

b 城墙沟剖面 (C_{1c}h) 砂岩粒度概率曲线

图 4 滨岸浅滩亚相沉积特征

Fig. 4 Sedimentary character of shoreland shallows subfacies



a 滨岸潮坪亚相沉积序列

b 石灰沟剖面 (C_{1c}) 砂岩概率曲线

图 5 滨岸潮坪亚相沉积特征

Fig. 5 Sedimentary characteristic of shoreland tidal flat subfacies

2.1.2 滨岸潮坪亚相

滨岸潮坪亚相沉积物岩性以灰黑色炭质泥岩、泥岩、灰白色砂岩、砾岩及清水沉积的厚层状碳酸盐岩(灰岩为主)互层为特征(图 5-a)。是在水位变化频繁、潮汐流作用及间断性暴露的复杂环境下沉积的产物。水平层理、波状层理、透镜状层理、槽状交错层理

及楔状交错层理发育。生物化石丰富。粒度分析主要由跳跃总体和悬浮总体及其间的过渡带组成,亦为二段式的图形。粒度平均为 3.71 φ,分选性较好(图 5-b)。推测沉积时搬运介质的能量不高。此相带在下石炭统中上部和上石炭统均有发育,其中在石灰沟剖面及扎布萨尕秀剖面特别发育,主要发育于底部的城

墙沟组、上部的可鲁克组及扎布萨尔秀组。根据沉积特征反映的潮汐作用,可将其划分为3个微相:潮上带、潮间带和潮下带。

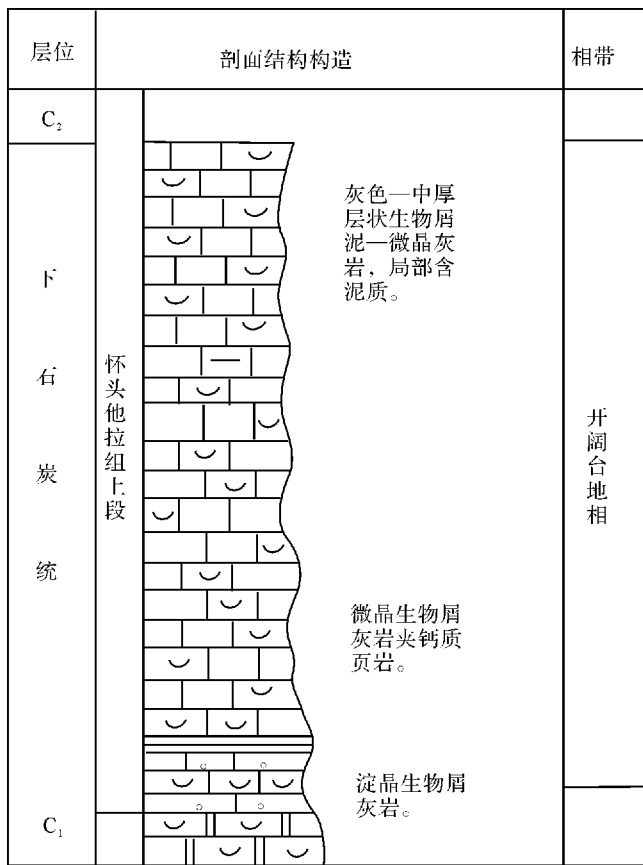


图6 开阔台地亚相沉积序列

Fig. 6 Sedimentary sequence of open platform subfacies

2.1.3 滨岸沼泽亚相

滨岸沼泽亚相主要由炭质页岩夹煤层组成,常见灰黑色粉砂质页岩及砂质页岩,局部含生物灰岩及泥灰岩。砂岩具水平层理、条带状层理,页岩层理发育,常见水平纹层,含黄铁矿和菱铁矿,炭质页岩含较多的植物碎片。此相带主要发育于上石炭统,在石灰沟、欧龙布鲁克、扎布萨尔秀和牦牛山一带的上石炭统下部较发育,石灰沟和扎布萨尔秀剖面均可见到厚层炭质泥岩及煤层。

2.2 碳酸盐岩台地相

2.2.1 开阔台地亚相

开阔台地亚相是海水循环较好、盐度正常且常发育礁滩的浅海碳酸盐岩台地;岩性以中厚层颗粒灰岩、灰泥灰岩为主,常见正常海相化石,生物扰动多。本文研究区主要有灰黑色粉砂质页岩及砂质页岩,有时含生物灰岩及泥灰岩(图6)。化石丰富,有腕足、

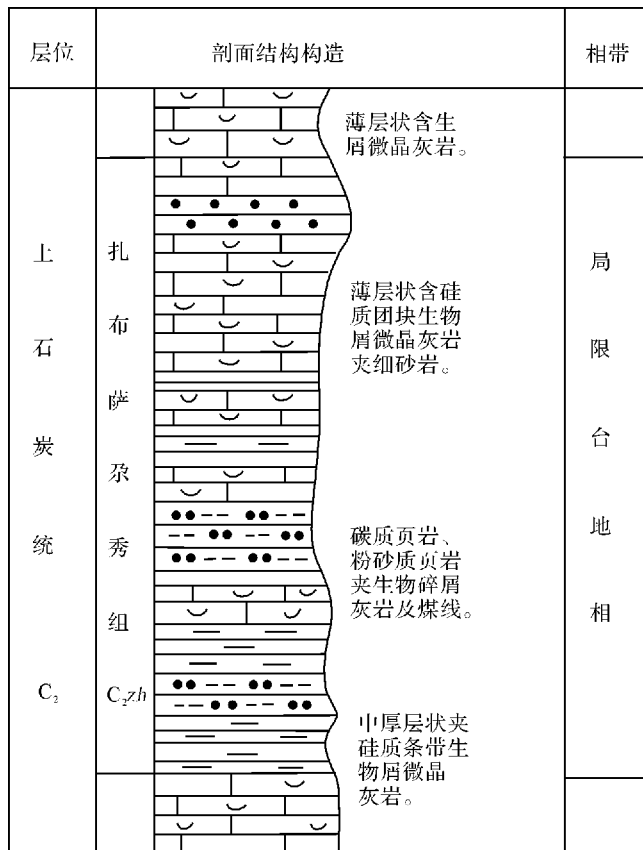


图7 局限台地亚相沉积序列

Fig. 7 Sedimentary sequence of restricted platform subfacies

海百合茎、有孔虫、珊瑚及藻类。常见砂岩具水平层理、条带状层理,页岩层理发育常见水平纹层。含黄铁矿和菱铁矿,炭质页岩含较多的植物碎片。此相带在下石炭统和石灰沟、欧龙布鲁克、扎布萨尔秀一带的上石炭统下部较发育。

2.2.2 局限台地亚相

局限台地亚相是碳酸盐台地上局部相对闭塞的地带,水体相对较深,水动能较低,沉积物为微晶灰岩、泥灰岩夹粉砂岩和泥页岩,见少量生物碎屑。岩石色暗,为深灰—灰黑色,多呈薄层状,具水平层理(图7)。由于环境较为封闭,生物分异度低而丰度高,灰岩有机质丰富,有利于生烃。盆地内露头主要见于下石炭统以及南缘的绵熬苏、乌图美仁庆华铁矿附近上石炭统的部分区域。

2.3 浅海陆棚相

是正常浪基面以下向外海与大陆斜坡相接的广阔的浅海沉积地区。该区域岩石颜色较深,以钙质页岩与厚层灰岩、生物灰岩的交互层为特征,夹粉砂岩、粉砂质灰岩等。介壳类化石丰富,保存完整。见于埃

姆尼克山等地下石炭统上部,可能为烃源岩及盖层的发育区。

3 沉积演化

柴达木盆地石炭纪沉积演化经历了早石炭世两次海侵和晚石炭世的持续海侵,沉积环境由滨海向浅海过渡,以海陆交互沉积环境为主(图 8),同时由于大面积的海进使得北部山前局部地区出现地层超覆现象^[15]。

早石炭世初期,海侵开始,昆仑洋海水大致由南向北侵入柴达木地区,在古陆边缘发育含灰岩夹层的滨海砂砾盐沉积,盆地的主体为碳酸盐沉积。随着海侵的扩大,沉积环境由滨海过渡到岩关晚期一大塘早期的浅海,此时生物群面貌以城墙沟组大个体珊瑚 *Siphonophyllia* 爆发为标志,岩性有一个砂、砾岩—灰岩的海进旋回。盆地西南缘同一时期的珊瑚动物群面貌更接近北方生物大区,说明已形成了开放型较稳定的浅海台型沉积区,直到大塘期稍后短暂海退至滨岸浅滩环境。

早石炭世晚期海侵最大,以灰岩沉积为主,夹碎屑岩沉积,发育碳酸盐台地相,由滨海向浅海过渡,与北祁连的陆表海沟通^[21]。以东北缘怀头他拉组最为

典型。西南缘在广阔的碳酸盐岩沉积区形成浅海高能环境。在具有一定深度、稳定温暖的浅海中,有利于软体动物腕足类碳酸钙壳体的生长, *Giganioprotus* 繁盛。开始于大塘中晚期的第二次海侵与连通着秦祁地槽的华北克拉通边缘的沉积作用时间上基本一致。

晚石炭世早期东、西部均见少量沼泽相泥炭沉积,是海进初期的产物。古地理格局与早石炭世早期变化不大,同时由于大面积的海进使得北部山前局部地区出现地层超覆现象。西南缘主体继承了早石炭世浅海高能沉积环境;东北缘生物群较西南缘发育,出现较丰富的陆生植物组合,逐步海进并发育了海陆交互沉积,两地均保持了较长的海进期。晚石炭世的珊瑚化石明显减少,除水介质动荡的因素外,可能主要与气候变冷有关,直到晚石炭世末期在全球范围内发生冰川作用。晚石炭世珊瑚化石明显减少的现象,在石炭系发育的西北(青海、新疆等)和西南(贵州、四川等)等地区具有普遍性,说明晚石炭世气候变冷是普遍性的。但这时柴达木地块南、北缘却发生海进,是构造沉降速率大于海平面下降速率的表现,证明晚石炭世柴达木地块周缘发生了持续整体沉降作用^[22]。

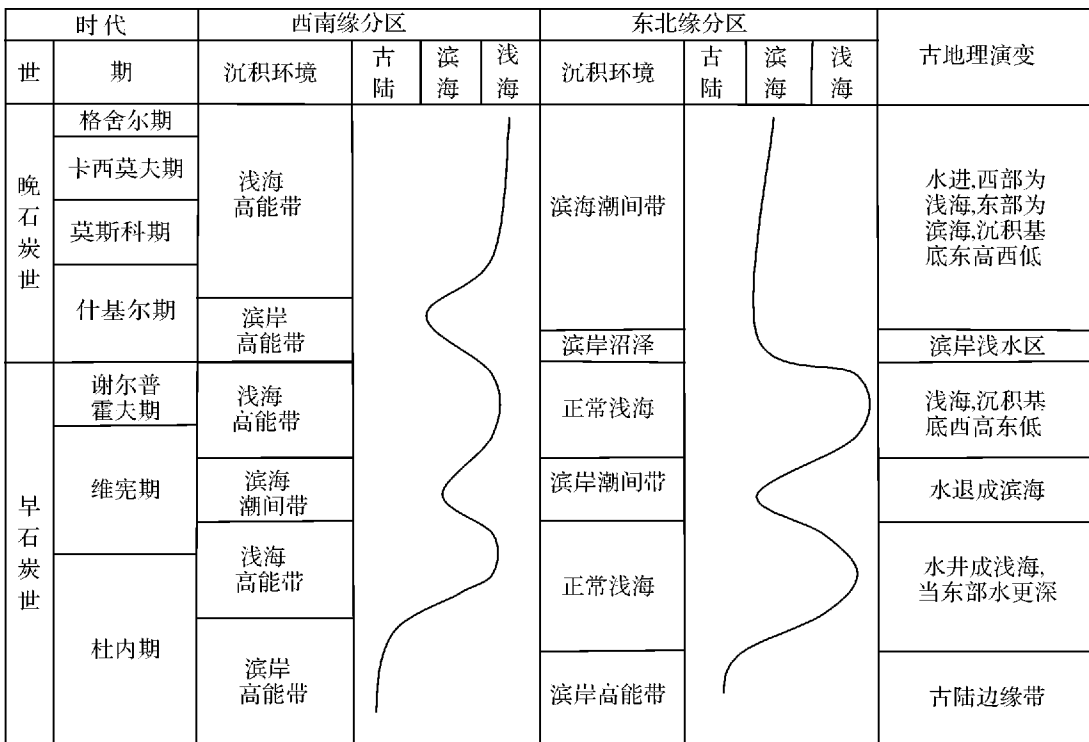


图 8 柴达木盆地石炭系沉积环境演化示意图(据杨平和胡勇,2006 有修改)

Fig. 8 Sedimentary evolution sketch map of Carboniferous in Qaidam Basin (modified from Yang and HU, 2006)

4 与烃源岩的关系

柴达木盆地石炭系暗色泥岩、灰岩、煤及炭质泥岩均较发育。大量区域地质调查及有机质地球化学分析表明(表2),石炭系烃源岩主要以暗色泥岩和灰岩为主,炭质泥岩和煤可能具有生烃能力。暗色泥岩有机碳(TOC)含量平均为1.14%,有机质类型以Ⅲ型和Ⅱ₂型为主,按石炭系烃源岩有机质丰度评价标准(表3)应为中等的一好的烃源岩;灰岩有机碳(TOC)含量平均为0.23%相对较低,有机质类型为Ⅱ₁与Ⅱ₂型,属差—中等的烃源岩。在盆地北缘与南缘山前由于受到构造运动的影响,成熟度较高,局部发生变质,处于过成熟的生干气阶段。在盆地东部内部未发生变质,有机质成熟度中等,正处于生、排烃高峰期,具有良好的油气勘探前景。

柴达木盆地石炭系烃源岩的平面分布受沉积相带的控制,分带比较明显。柴东地区石炭系沉积时发生了广泛海侵,主要发育早石炭世碳酸盐岩台地相和晚石炭世海陆交互相含煤沉积地层,广泛出露在欧龙布鲁克山、石灰沟、埃姆尼克山、怀头他拉、扎布萨秀、牦牛山、旺尔秀等地,柴东南缘见于白石崖、阿尔格勒泰、香日德等地。地层岩性由陆表海的台地相灰岩、泥岩和海陆交互相的泥岩、炭质泥岩及煤组成。

柴达木盆地石炭系受古环境、古地理、古构造的

影响不同层位烃源岩在区域上的分布规律也不同。在柴东北缘的下石炭统以灰岩为主,上石炭统以暗色泥岩夹炭质泥岩、煤线为主;柴东南缘上石炭统灰岩与暗色泥岩、炭质泥岩及煤相;下石炭统城墙沟组烃源岩在柴东北部个剖面较一致,灰岩主要集中于该组上部,厚度在100~450 m左右。下石炭统怀头他拉组烃源岩厚度在各地变化极为显著。在欧龙布鲁克山南坡,该组下部发育214 m厚的灰—深灰色灰岩,中部缺乏烃源岩,上部发育灰—深灰色中厚层状硅质条带灰岩、生物灰岩及暗色泥岩,厚度达300 m。在石灰沟一带,怀头他拉组厚532 m,灰岩发育,间夹少量泥岩及炭质泥岩。与埃姆尼克山南坡该组最厚达750 m,灰岩集中于中下部,厚约490 m,上部以泥岩为主,厚250 m左右。上石炭统可鲁克组中下部主要发育暗色泥岩夹煤线、灰岩、砂岩等,其在石灰沟一带厚400 m,在欧龙布鲁克一带厚约170 m;可鲁克组上部以灰岩为主,在石灰沟和欧龙布鲁克山剖面厚度分别为220 m和65 m。上石炭统扎布萨秀组是柴东中北部石炭纪最晚期烃源岩层位,该组在石灰沟剖面三分性明显:下部与上部以灰岩为主,夹煤、炭质泥岩、泥岩及砂岩等,厚度440 m左右,中部为110 m的暗色泥岩、炭质泥岩及煤线的岩性组合,欧龙布鲁克山北坡可鲁克组厚约730 m,基本上以灰岩为主,夹泥岩、炭质泥岩和煤线。

表2 石炭系露头区烃源岩有机质丰度数据

Table 2 Data of the organic matter abundance of Carboniferous source rocks from ourcrop

地区	岩性	TOC/%	"A" /%
欧龙布鲁克	泥岩	0.13 ~ 1.99 / 0.76(16)	0.0028 ~ 0.010 / 0.0064(8)
穿山沟	泥岩	0.19 ~ 1.00 / 0.61(4)	0.0025 ~ 0.0049 / 0.0036(4)
怀头他拉(西)	泥岩	0.18 ~ 3.25 / 1.14(11)	0.0039 ~ 0.0215 / 0.0091(7)
	灰岩	0.07 ~ 0.54 / 0.21(10)	0.0044 ~ 0.0089 / 0.0062(4)
怀头他拉	灰岩	0.12 ~ 0.88 / 0.26(17)	0.0025 ~ 0.0115 / 0.0063(7)
旺尔秀	泥岩	0.38 ~ 2.63 / 1.31(16)	0.0025 ~ 0.0375 / 0.0172(4)
	灰岩	0.02 ~ 1.26 / 0.27(6)	0.004 ~ 0.051 / 0.0243(4)
莲花山	灰岩	0.16 ~ 0.22 / 0.19(5)	
宽沟	灰岩	0.03 ~ 0.082 / 0.46(21)	0.0019 ~ 0.004 / 0.0030(9)
奶头山	灰岩	0.04 ~ 0.21 / 0.10(3)	
石拐子	灰岩	0.02 ~ 0.03 / 0.02(5)	0.0014 ~ 0.0026 / 0.0020(5)
庆华铁矿	灰岩	0.02 ~ 0.81 / 0.2(17)	0.0014 ~ 0.0040 / 0.0019(18)
格尔木(南)	灰岩	0.03 ~ 0.1 / 0.07(2)	0.0011 ~ 0.0033 / 0.0022(2)

表3 石炭系烃源岩有机质丰度评价标准^[25-28]

Table 3 Evaluation criteria for the organic matter abundance of Carboniferous source rocks

岩性	好		中		差		非	
	TOC/%	氯仿沥青"A" /%	TOC/%	氯仿沥青"A" /%	TOC/%	氯仿沥青"A" /%	TOC/%	氯仿沥青"A" /%
泥岩 /%	>1.0	>0.1	1.0 ~ 0.6	0.1 ~ 0.05	0.6 ~ 0.4	0.05 ~ 0.01	<0.4	<0.01
煤系 /%	>3.0	>0.06	3.0 ~ 1.5	0.06 ~ 0.03	1.5 ~ 0.75	0.03 ~ 0.015	<0.75	<0.015
灰岩 /%	>0.3	>0.03	0.3 ~ 0.2	0.03 ~ 0.02	0.2 ~ 0.1	0.02 ~ 0.01	<0.1	<0.01

同样,受沉积环境和沉积物来源的影响,下石炭统广阔台地相的深灰色、灰黑色、黑色碳酸盐岩(包括中厚层状生物碎屑泥晶灰岩和泥质灰岩)和上石炭统广泛发育的滨海、海陆交互环境中泻湖、沼泽相的黑色泥页岩、炭质页岩和煤层成为了烃源岩的母岩,它们主要分布在下石炭统城墙沟组、怀头他拉组和上石炭统可鲁克组、扎布萨尔秀组,在露头区的各剖面均有不同程度的分布。在城墙沟、穿山沟、扎布萨尔秀剖面下石炭统的厚度分别为 1 350 m、1 311 m、1 045 m,石灰沟上石炭统的厚度为 2 500 m,石炭系地层厚度大,而柴东地区德令哈、霍布逊地区的二维地震资料解释成果表明,石炭系最大残余厚度达 2 600 m,大部分地区为 800 ~ 1 200 m。露头剖面 and 霍参 1 井钻井资料的岩性统计结果表明,下石炭统暗色泥岩(包括炭质泥岩)厚度在 69.1 ~ 324.7 m 之间,占地层厚度的 5.3% ~ 24%,平均为 17% 左右;灰岩厚度在 634.6 ~ 828.8 m 之间,占地层厚度的 60.7% ~ 70.3%,平均为 64% 左右;表明下石炭统主要以灰岩为主。石灰沟剖面上石炭统暗色泥岩厚度为 968.5 m,占地层厚度的 34.6%,灰岩厚度为 1 082.5 m,占地层厚度的 43.3%。霍参 1 井钻井资料(未见底)揭示盆地内部烃源岩厚度在 104.5 m 以上(表 4)。根据暗色泥岩、灰岩所占的百分比计算,盆地内烃源岩的厚度在 450 ~ 700 m 左右。

表 4 柴达木盆地东部地区石炭系暗色泥岩厚度统计表

Table 4 The Carboniferous dark mudstone rock thickness statistics in the east of Qaidam Basin

剖面名称	层位	剖面厚度	暗色泥岩	百分比	灰岩	百分比
		/m	/m	%	/m	%
石灰沟	C ₂	2500	968.5	34.6	1082.5	43.3
城墙沟	C ₁	1350	324.7	24.0	828.8	61.4
穿山沟	C ₁	1311.0	69.1	5.3	921	70.3
扎布萨尔秀	C ₁	1045.4	229.8	22.0	634.6	60.7
霍参 1 井	C ₁	264	104.5	39.6	101.4	38.4

表 5 柴达木盆地南缘石炭系碳酸盐岩厚度统计表

Table 5 The Carboniferous carbonate rock thickness statistics in the south margin of Qaidam Basin

剖面名称	层位	剖面厚度/m	岩性
莲花山	C ₁	600	泥晶灰岩,大理岩化
宽沟口	C ₁	850	黑色灰岩,疙瘩状灰岩
石拐子	C ₁	720	鲕粒灰岩,生物碎屑灰岩
庆华铁矿	C ₂	760	变晶灰岩夹白云岩

柴达木盆地南缘石炭系露头主要出露在祁曼塔

格山前往东到格尔木一线。沉积环境主要以浅海高能环境的台滩和能量较低的台坪交互发育为特征。早石炭世的两度海侵加上晚石炭世的持续海进,在西南缘发育了有利于储油的碳酸盐台滩相。烃源岩主要以碳酸盐岩为主,厚度也比较大(表 5)。

5 结 论

(1) 柴达木盆地石炭纪沉积环境明显受区域构造演化及古地理格局的控制,古陆的变迁与走向控制着沉积相带的展布,构造的差异性升降运动造成了石炭纪不同沉积时期基底在横向上的不同变化。石炭纪早期海侵范围小,古陆边缘沉积相较发育。随着海侵的扩大,早石炭世晚期已演变为广阔的浅海碳酸盐岩沉积,沉积基底北西高东底,南区东高西低。晚石炭世时,东部抬升为较大面积滨海潮间带,发育了海陆交互沉积,从而形成了由早石炭世初期的古陆边缘带演变为早石炭世晚期的滨浅海沉积区,再到晚石炭世又演变为沉积基底东高西低的这样一种动态古地理格局。

(2) 柴达木盆地石炭纪南、北缘滨浅海高能与正常浅海环境交替变化的基本步调是一致的,但变化的程度有所不同:西南缘总体由滨海向浅海演化;东北缘则是一个滨海—浅海—滨海的沉积旋回;整个石炭系均为滨浅海沉积组合。海陆交互煤系主要发育在东北缘晚石炭世。

(3) 受沉积相带的控制,柴东地区石炭纪海水的频繁进退使得碳酸盐岩与泥岩、炭质泥岩和煤层交互发育,决定了其烃源岩有机质具有混合型母质的特征。烃源岩中的有机质有两种来源:海洋环境的浮游生物和陆生植物。由于当时陆生植物很发育,输入到其中的有机质数量可能很多,使烃源岩的有机质含量较高,但质量较差。烃源岩主要发育两种类型:台地相深灰色、灰黑色碳酸盐岩及暗色泥页岩。其中暗色泥岩和碳酸盐岩有机质丰度较高,分别达到中等烃源岩和好烃源岩的标准(风化校正以后);有机质类型以 II 型和 III 型为主;除宗务隆山前及都兰地区有机质热演化程度较高外,其它地区烃源岩成熟度中等(R_o 值平均为 1.17%),正处于生、排烃高峰期;具有较强的生烃能力。纵向上于城墙沟组、怀头他拉组、可鲁克组以及扎布萨尔秀组均有发育。平面上下石炭统可能的烃源岩分布于怀头他拉、欧龙布鲁克山、埃姆尼克山、扎布萨尔秀和牦牛山等地;上石炭统烃源岩则主要分布诺木洪以东及德令哈—欧龙布鲁克山—

大柴旦一带。德令哈坳陷石炭系残留厚度大, 烃源岩条件好, 为有利生油区。

参考文献(References)

- 左胜杰, 潘雄奇, 李建青, 等. 柴达木盆地第三系泥质烃源岩初次运移烃量研究与远景评价[J]. 石油勘探与开发, 2008, 27(4): 55-58 [Zuo Shengjie, Pang Xiongqi, Li Jianqing, et al. Quantification of expelled hydrocarbons from Tertiary mudstone source rocks in Qaidam basin and its prospective evaluation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 27(4): 55-58]
- 刘海涛, 马立祥, 王兆云, 等. 柴西地区含油气系统动态演化研究[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 16-22 [Liu Haitao, Ma Lixiang, Wang Zhaoyun, et al. Study on dynamic evolution of petroleum system in the western Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(1): 16-22]
- 王金鹏, 彭仕宓, 姜桂凤, 等. 柴达木盆地第四系生物气资源量预测[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 27-30 [Wang Jinpeng, Peng Shimi, Jiang Guifeng, et al. Assessment of biogas resource in Quaternary in Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(2): 27-30]
- 谢庆宾, 管守锐. 从岩相古地理看柴达木盆地侏罗系的油气前景[J]. 古地理学报, 2003, 5(4): 475-485 [Xie Qingbin, Guan Shourui. Hydrocarbon potential of the Jurassic in Qaidam Basin from the viewpoint of lithofacies palaeogeography[J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(4): 475-485]
- 管志强, 党玉琪, 王金鹏, 等. 柴达木盆地第四系生物气勘探现状与前景分析[J]. 中国石油勘探, 2002, 7(1): 67-73 [Guan Zhiqiang, Dang Yuqi, Wang Jinpeng, et al. Analysis of present situation and prospect of Quaternary biological gas exploration in Qaidam Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2002, 7(1): 67-73]
- Yuqi Dang, Wenzhi Zhao, Aiguo Su, et al. Biogenic gas systems in eastern Qaidam Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25: 344-356.
- 邵文斌, 彭立才, 汪立群, 等. 柴达木盆地北缘井下石炭系烃源岩的发现及其地质意义[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 36-39 [Shao Wenbin, Peng Licai, Wang Liqun, et al. Discovery of Carboniferous source rocks in the north margin of Qaidam Basin and its geological significance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(4): 36-39]
- 徐凤银, 彭德华, 侯恩科. 柴达木盆地油气聚集规律及勘探前景[J]. 石油学报, 2003, 24(4): 1-6 [Xu Fengyin, Peng Dehua, Hou Enke. Hydrocarbon accumulation and exploration potential in Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(4): 1-6]
- 翟光明, 徐凤银, 李建青. 重新认识柴达木盆地力争油气勘探获得新突破[J]. 石油学报, 1997, 18(2): 1-7 [Zhai Guangming, Xu Fengyin, Li Jianqing. A reconsideration of Qaidam Basin for a great breakthrough in oil and natural gas exploration[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(2): 1-7.
- 黄立功, 党玉琪, 徐凤银, 等. 柴达木盆地油气勘探现状和突破方向[J]. 中国石油勘探, 2006, 6: 1-8 [Huang Ligong, Dang Yuqi, Xu Fengyin et al. Present situation and breakthrough direction of oil and gas exploration in Qaidam Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 6: 1-8]
- 袁剑英, 陈启林, 陈迎宾, 等. 柴达木盆地油气地质特征与有利勘探领域[J]. 天然气地质, 2006, 17(5): 640-644 [Yuan Jianying, Chen Qilin, Chen Yingbin et al. Petroleum geological character and favorable exploration domains of Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 640-644]
- 汤良杰, 金之钧, 戴俊生, 等. 柴达木盆地及相邻造山带区域断裂系统[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2002, 27(6): 676-682 [Tang Liangjie, Jin Zhijun, Dai Junsheng, et al. Regional fault systems of Qaidam Basin and adjacent orogenic belts[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(6): 676-682]
- 李守军, 张洪. 柴达木盆地石炭系地层特征与分布[J]. 地质科技情报, 2000, 19(1): 1-5 [Li Shoujun, Zhang Hong. Characteristics and distribution of the Carboniferous strata in the Qaidam Basin, China[J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(1): 1-5]
- 万传治, 乐幸福, 陈迎宾. 柴达木盆地东部地区石炭系分布规律与生烃潜力评价[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 663-667 [Wan Chuangzhi, Le Xingfu, Chen Yingbin. Distribution laws and evaluation of hydrocarbon potential on Carboniferous in the east of Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 663-667]
- 杨平, 胡勇. 柴达木盆地石炭纪古生态与沉积环境[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(3): 280-284 [Yang Ping, Hu Yong. Paleocology and sedimentary environment of Carboniferous in Qaidam Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(3): 280-284]
- 王训练, 高金汉, 张海军, 等. 柴达木盆地北缘石炭系顶、底界限再认识[J]. 地学前缘, 2002, 9(3): 65-72 [Wang Xunlian, Gao Jinhuan, Zhang Haijun, et al. Recognition of the top and base boundaries of the Carboniferous system in the northern margin of the Qaidam Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(3): 65-72]
- 段宏亮, 钟建华, 王志坤, 等. 柴达木盆地东部石炭系烃源岩评价[J]. 地质通报, 2006, 25(9-10): 1135-1142 [Duan Hongliang, Zhong Jianhua, Wang Zhikun, et al. Evaluation of Carboniferous hydrocarbon source rocks in the eastern Qaidam Basin, China[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(9-10): 1135-1142]
- 甘贵元, 严晓兰, 赵东升, 等. 柴达木盆地德令哈断陷石油地质特征及勘探前景[J]. 石油实验地质, 2006, 28(5): 499-503 [Gan Guiyuan, Yan Xiaolan, Zhao Dongsheng, et al. Petroleum geologic characteristics and exploration prospect of the Delingha fault-depression in the Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(5): 499-503]
- 孟祥祥, 房嫫, 许永昌, 等. 柴达木盆地石炭系烃源岩和煤岩生物标志特征及其地球化学意义[J]. 沉积学报, 2004, 22(4): 729-736 [Meng Qianxiang, Fang Xuan, Xu Yongchang, et al. Biomarkers and geochemical significance of Carboniferous source rocks and coals from Qaidam Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(4): 729-736]
- 文志刚, 王正允, 何幼斌, 等. 柴达木盆地北缘上石炭统烃源岩评价[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(2): 125-127 [Wen Zhigang, Wang Zhengyun, He Youbin, et al. Evaluation on Upper Carboniferous

- ous hydrocarbon source rock in the northern margin of Qaidam Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(2): 125-127]
- 21 朱如凯, 郭宏莉, 何东博, 等. 祁连—柴达木盆地北缘地区石炭系泥岩沉积地球化学特征 [J]. *地质地球化学*, 2002, 30(3): 45-52 [Zhu Rukai, Guo hongli, He Dongbo, *et al.* Geochemical characteristics of Carboniferous mudstones in Qilian Mountain and Northern Qaidam Basin [J]. *Geology-Geochemistry*, 2002, 30(3): 45-52]
- 22 朱如凯, 许怀先, 邓胜徽, 等. 中国北方地区石炭纪岩相古地理 [J]. *古地理学报*, 2007, 9(1): 13-24 [Zhu Rukai, Xu Huaixian, Deng Shenghui, *et al.* Lithofacies palaeogeography of the Carboniferous in northern China [J]. *Journal of Paleogeography*, 2007, 9(1): 13-24]
- 23 牛永斌, 钟建华, 胡斌. 小尺度地质体三维建模研究——以遗迹化石 Chondrites 和岩心三维建模为例 [J]. *古地理学报*, 2008, 10(2): 207-214 [Niu Yongbin, Zhong Jianhua, Hu Bin. Research of 3D modeling on small-scale geologic body: Taking 3D modeling on trace fossil Chondrites and drilling core as an example [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(2): 207-214]
- 24 牛永斌, 钟建华, 钟福平, 等. 2008. 柴达木盆地南缘石炭系 Chondrites 遗迹化石的发现及其地质意义 [J]. *古地理学报*, 10(5): 529-535 [Niu Yongbin, Zhong Jianhua, Zhong Fuping, *et al.* Discovery of trace fossil Chondrites in the Carboniferous in south margin of Qaidam Basin and its geological significance [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(5): 529-535]
- 25 Jian Cao, Kai Hu, Kun Wang, *et al.* Possible origin of 25-norhopanes in Jurassic organic-poor mudstones from the northern Qaidam Basin (NW China) [J]. *Organic Geochemistry* 2008, 39: 1058-1065
- 26 许怀先, 陈丽华, 万玉金, 等. 石油地质实验测试技术与应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 63-66 [Xu Huaixian, Chen Lihua, Wang Yujin, *et al.* *Petroleum Geological Experiment Technology and Application* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 63-66]
- 27 陈建平, 赵长毅, 何忠华. 煤系有机质生烃潜力评价标准探讨 [J]. *石油勘探与开发*, 1997, 24(1): 1-5 [Chen Jianping, Zhao Changyi, He Zhonghua. Criteria for evaluating the hydrocarbon generating potential of organic matter in coal measures [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1997, 24(1): 1-5]
- 28 夏新宇, 戴金星. 碳酸盐岩生烃指标及生烃量评价的新认识 [J]. *石油学报*, 2000, 21(4): 36-41 [Xia Xinyu, Dai Jinxing. A critical review on the evaluation of hydrocarbon potential of marine carbonate rocks in China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(4): 36-41]

Relationship Between Carboniferous Sedimentary Facies and Source Rock in Qaidam Basin

NIU Yong-bin^{1, 2} ZHONG Jian-hua¹ DUAN Hong-liang³ YIN Cheng-ming⁴ WANG Pei-jun¹

(1. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum (East China), Dongying Shandong 257061;

2. Key Laboratory of Biology Trace and Mining Process, Henan Province, Jiaozuo Henan 454003;

3. Research Institute of Geoscience, Jiangsu Oil Fields Company, Yangzhou Jiangsu 225009;

4. Research Institute of Exploration and Development, Qinghai Oil Fields Company, Dunhuang Gansu 736202)

Abstract This paper researched sedimentary styles and characteristics and discussed about Carboniferous sedimentary evolution of different stages as well as relationship between Carboniferous sedimentary facies and source rock. It is epicontinental sea in Carboniferous of Qaidam. Sedimentary environment can be divided into three sedimentary facies: shore facies, carbonate plateau facies, neritic marine basin facies and six subfacies: shallows subfacies, tidal flat subfacies, swamp subfacies, open platform facies, restricted platform subfacies and inner shelf subfacies. There are two marine ingression in Early Carboniferous and everlasting transgression in Late Carboniferous. Sedimentary environment evolves from offshore to epeiric sea and mainly develops paralic sedimentary environment. The overlapping phenomenon arose in the north foreland because of wide area transgression. The distribution of source rock is controlled by sedimentary facies: mudstone, carbargilite and carbonate are favourable source rocks, which develop in swamp subfacies or inner shelf subfacies of carboniferous in the northeast of Qaidam basin; restricted platform subfacies is also a favourable source rock distributed area because of deeper water, smaller kinetic energy, abundant organic material, which develop in relatively restricted area of Lower Carboniferous in the southwestern margin of Qaidam basin.

Key words Qaidam Basin; Carboniferous; sedimentary facies; sedimentary evolution; hydrocarbon rocks