

文章编号: 1000-0550(2013)05-0928-11

# 鄂尔多斯盆地延长组深水岩相发育特征 及其石油地质意义<sup>①</sup>

付金华<sup>1,2</sup> 邓秀芹<sup>1,2</sup> 楚美娟<sup>1,2</sup> 张海峰<sup>1,2</sup> 李士祥<sup>1,2</sup>

(1. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室 西安 710018; 2. 中国石油长庆油田分公司 西安 710018)

**摘要** 鄂尔多斯盆地湖盆中部地区三叠系延长组长7油层组广泛发育深水沉积。沉积物的粒度、沉积结构与构造、有机地球化学等特征研究表明,深水沉积岩可划分为四种岩相类型,分别为油页岩岩相、暗色泥岩岩相、砂质泥岩与泥质砂岩岩相和砂岩岩相。其中,油页岩岩相有机碳含量高,有机质类型好,测井曲线具有高阻、高伽马、低电位和时差跳跃频繁等特征;暗色泥岩岩相具有富含有机质、中低阻、中高伽马、高密度和高时差等特征;砂质泥岩与泥质砂岩岩相具有中电阻、低伽马、高密度、时差跳跃频繁等特征,泥质含量20~70%;砂岩岩相表现出低的电阻、时差和伽马、泥质含量小于20%的特征,并刻画了各种深水岩相的剖面发育特征。深水斜坡带和湖底平原区的岩相组合存在较大的差异。深水岩相对于非常规油气资源意义重大,其中油页岩岩相和暗色泥岩岩相为盆地中生界主力烃源岩,深水砂岩岩相是盆地大规模致密油的重要储集体,砂质泥岩与泥质砂岩岩相、暗色泥岩岩相富含丰富的页岩油资源,也具有潜在经济价值。

**关键词** 深水岩相 鄂尔多斯盆地 延长组 长7油层组 非常规油气资源

**第一作者简介** 付金华 男 1962年出生 博士 教授级高工 油气地质综合研究及勘探管理 E-mail: fjh\_cq@petrochina.com.cn

**中图分类号** P512.2 P618.13 **文献标志码** A

二十世纪六、七十年代,以鲍马序列<sup>[1,2]</sup>和Walker<sup>[3]</sup>综合扇模式为代表的经典浊流理论的建立,促进了全球深水沉积的研究和勘探,并在墨西哥湾、巴西和尼日尔三角洲取得了巨大成功<sup>[4]</sup>。据统计2000~2007年全球在陆源斜坡深水沉积体系共发现33个大型油气田<sup>[5]</sup>,占全球同期发现的大型油气田的42%。近年来,一些学者从沉积模拟、坡折带及湖盆底形、深水沉积机制等方面对深水砂岩成因开展了研究,认为深水区有砂质碎屑流、滑塌、浊流等多种成因砂岩<sup>[6-9]</sup>。我国广泛发育大型内陆湖盆,鄂尔多斯、松辽等盆地深湖—半深湖相沉积广泛发育<sup>[10-14]</sup>,形成了种类多样的深水岩类,有利的生储配置使其成为油气富集的有利场所。

鄂尔多斯盆地湖盆沉积中心深水重力流砂岩已落实数亿吨级石油地质储量,而且深水区的砂泥岩、泥页岩不仅仅是作为生油岩层,同时也是非常规油气藏勘探的重要领域。本文针对鄂尔多斯盆地延长组深水岩相开展了层序演化、岩相特征及识别标志和岩相组合等方面的研究,以期为我国深水油气藏的勘探

研究提供参考。

## 1 深水沉积背景

### 1.1 延长组层序划分

从晚三叠世开始,鄂尔多斯盆地演化进入了大型内陆拗陷盆地的形成和发展时期<sup>[15]</sup>。北部阴山山系、西部阿拉善—陇西古陆、南部的北秦岭向盆地持续供屑,在鄂尔多斯盆地形成了厚度约1000 m的延长组碎屑岩系,自下而上划分长10~长1共10个油层组<sup>[15-17]</sup>,为一个完整的湖盆沉积演化旋回<sup>[18,19]</sup>。通过区域不整合面、沉积环境转换面、河道冲刷面、地层结构转换面以及岩性颜色变化面和湖泛面6种成因界面的识别和沉积旋回分析,可以将延长组划分为1个顶底为构造不整合面限制的超长期旋回,5个长期旋回和16个中期旋回(图1)。其中长7油层组位于延长组第3个长期旋回,深水沉积发育。

### 1.2 深水沉积层序充填特征

晚三叠世,北秦岭发生一系列的逆冲推覆作用,隆起造山作用显著<sup>[20,21]</sup>,造成长7油层组沉积的初

<sup>①</sup> 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05044, 2011ZX05001-004)资助  
收稿日期: 2013-07-31

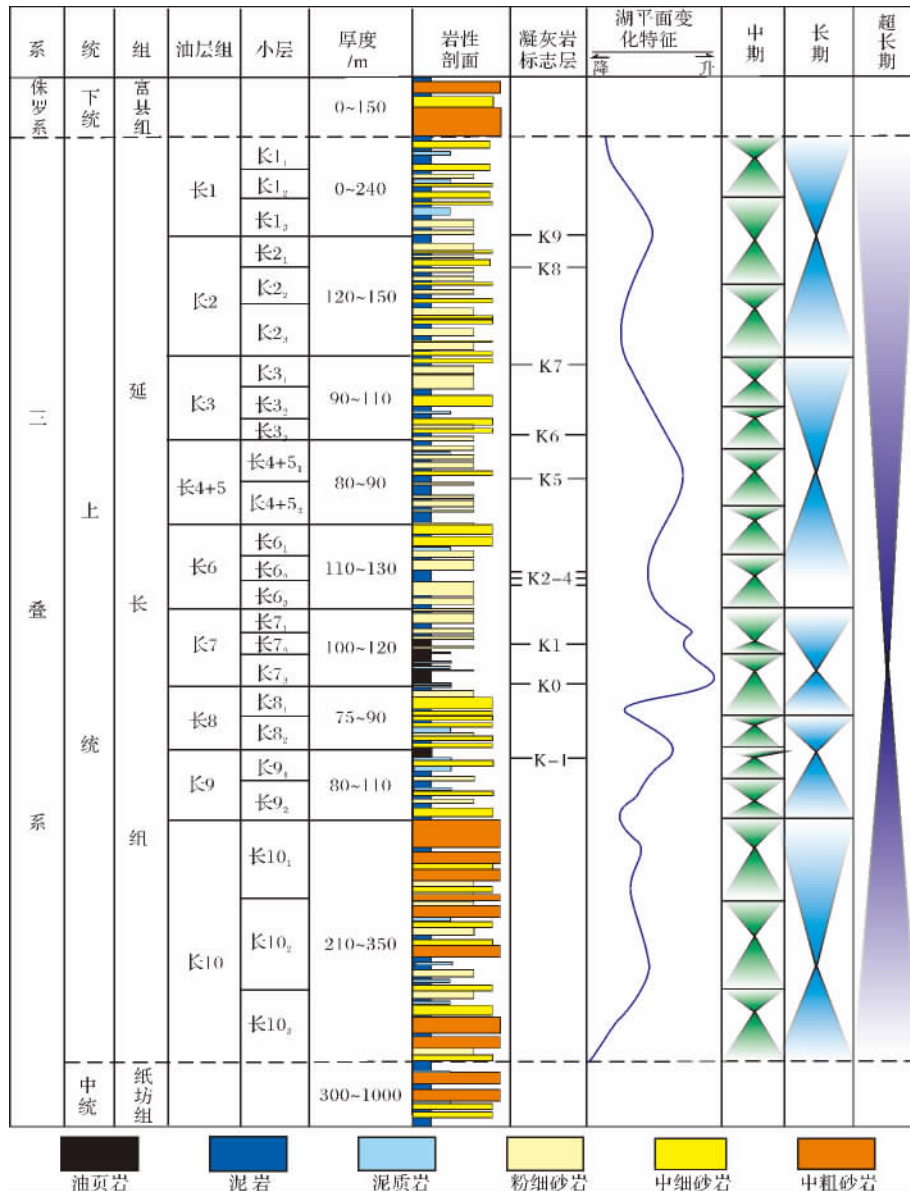


图 1 鄂尔多斯盆地延长组层序地层划分方案

Fig. 1 Stratigraphic sequence of Yanchang Formation in Ordos Basin

期,湖盆整体快速沉降,水体深度达到了最大。油层组下部主要发育一套半深湖、深湖暗色泥岩和油页岩,为延长组最大湖泛面;长7中期开始,构造活动减弱,侵蚀基准面降低,供屑能力增大,周边三角洲不断进积,充填作用加强,湖盆开始逐渐萎缩,并在三角洲前端向湖方向形成斜坡。在持续的进积作用下,斜坡坡度逐渐增大,形成沉积坡折带。在重力和构造活动力的诱导下,沉积物易于顺坡发生整体搬运,形成重力流。在坡脚和湖底平原地带由于水深急剧增大,湖水的顶托作用增强,造成重力流能量骤减,由此导致沉积物快速卸载,长7中晚期在湖盆沉积中心的深水区广泛发育厚层的重力流砂体(图2),即在第3个长周

期旋回的下降半旋回发育重力流成因的厚层块状砂岩。厚层砂岩与其向源方向的三角洲砂体分布不连续,中间存在一个间隔带,该间隔带为斜坡带,以细粒的粉砂质和泥质沉积为主。

### 1.3 长7沉积相平面展布特征

鄂尔多斯盆地延长组长7油层组主要为湖泊、三角洲和重力流沉积相,在盆地西缘局部发育冲积扇<sup>[16]</sup>。深水沉积是指分布在盆地中部的半深湖-深湖、重力流及部分三角洲前缘沉积。长7沉积期早期(长7<sub>3</sub>),盆地急剧沉降,深水区西抵崇信-环县西一带,东部接近子长东一带,湖盆整体上处于饥饿状态,盆地周边三角洲砂体呈指状、朵状,延伸距离有限,河

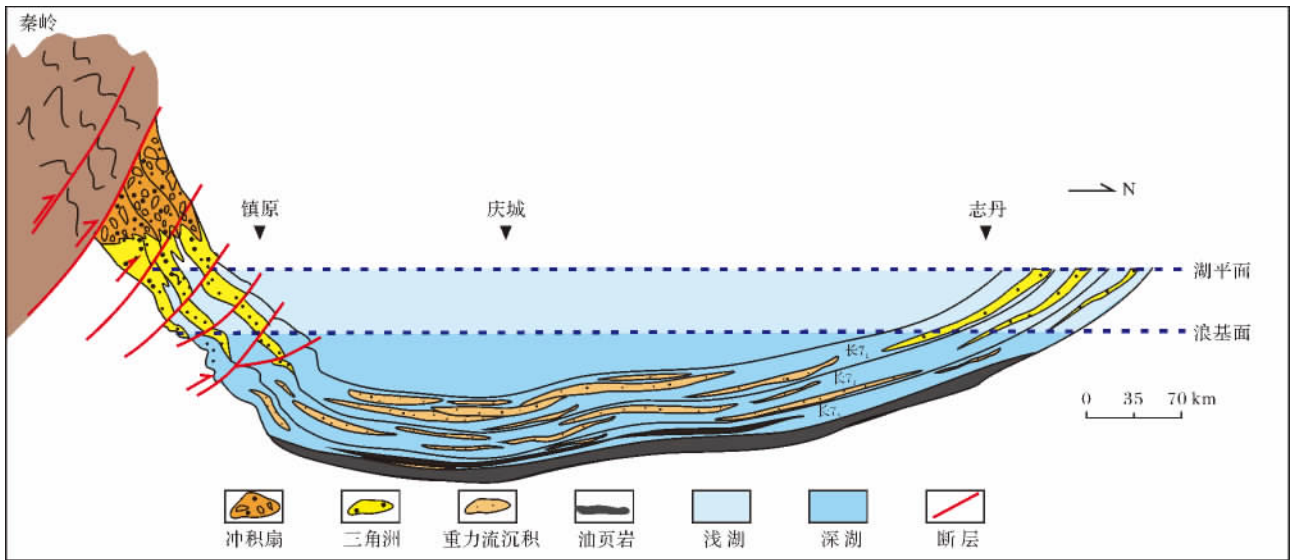
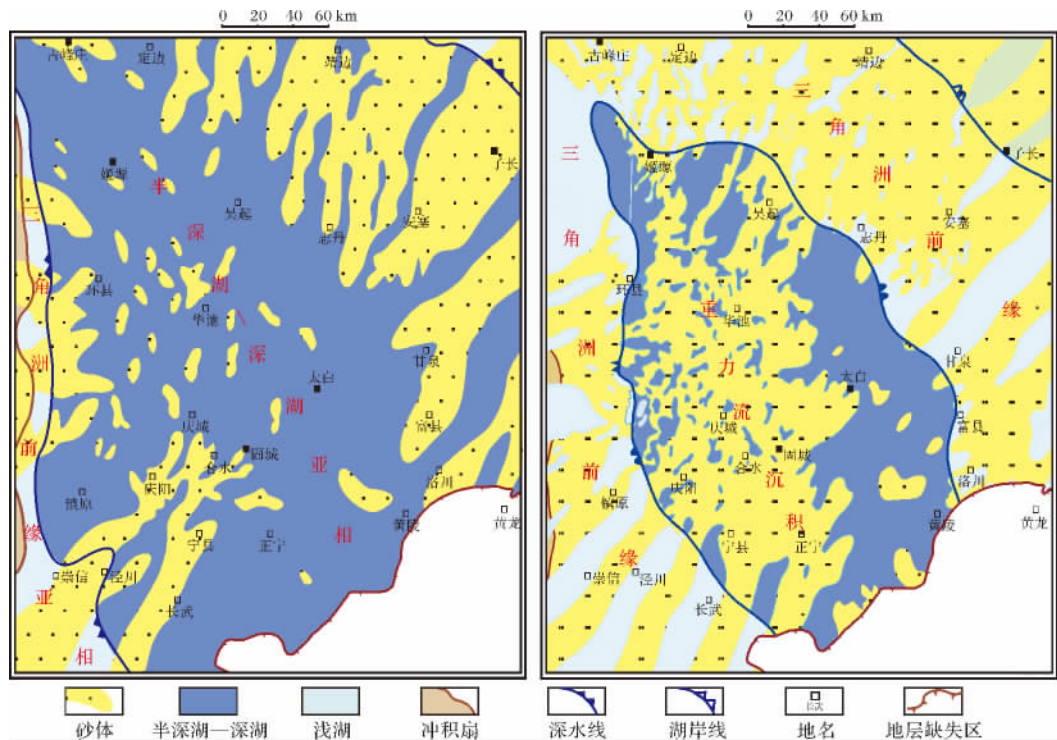


图2 鄂尔多斯盆地晚三叠世长7湖盆充填特征图

Fig. 2 Filling feature of Ch7 member , late Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin



a. 长7<sub>3</sub>沉积相图

b. 长7<sub>2-1</sub>沉积相图

图3 鄂尔多斯盆地延长组长7沉积相平面图

Fig. 3 Sedimentary facies map of Ch7 , Yanchang Formation in Ordos Basin

道宽度窄,湖盆中部只零星发育薄而小的透镜状砂体(一般小于10 m 宽度小于10 km)(图3-a)。长7<sub>2</sub>开始盆地逐渐萎缩,深水区范围减少,西界位于环县—庆阳—宁县南一带,东界退至吴起—志丹—富县一带。三角洲向盆地腹部推进,形成进积序列,由于物

质供给显著增强,深水区广泛发育重力流沉积砂体<sup>[9, 22, 23]</sup>(图3-b)。

## 2 深水岩相类型、特征及识别标志

深水区不同的位置和层段,沉积物的岩性及其组

合特征存在较大的差异。笔者通过对长 7 段的露头、岩心、录井和测井等资料的综合分析, 将延长组长 7 深水岩相划分为四种岩相, 即油页岩岩相、暗色泥岩岩相、砂质泥岩与泥质砂岩岩相和砂岩岩相。

2.1 油页岩岩相

2.1.1 油页岩岩相地质特征

油页岩岩相主要分布在长 7 下部长 7<sub>3</sub> 小层, 俗称“张家滩页岩”。在露头上表现为灰黑色片状, 页理发育(图 4-a b), 钻井岩心为黑色、褐黑色块状, 隐显水

平层理 或呈薄层, 水平层理发育(图 5-a)。由于该沉积期气候温暖、潮湿, 生物繁多, 常见鱼化石、鱼鳞片(图 5-b d)、鱼牙和藻类化石。页岩厚度大、品质好, 成熟度适中, 为鄂尔多斯盆地中生界优质烃源岩。

2.1.2 油页岩岩相地球物理特征

油页岩在测井曲线上表现为高电阻(100 ~ 155 Ω·m)、高自然伽马(>200 API)、高声波时差(260 ~ 285 μs/m)、低密度(2.0 ~ 2.3 g/cm<sup>3</sup>)、泥质含量大于 70%、自然电位负异常等特征(表 1), 尤其在盆

表 1 鄂尔多斯盆地延长组深水岩相判识标准

Table 1 Recognizable standards for deepwater lithofacies of Yanchang Formation in Ordos Basin

岩相类型特征	油页岩岩相	泥岩岩相	砂质泥岩与泥质砂岩岩相	砂岩岩相	
岩性	页岩	泥岩	泥质粉砂、粉砂质泥岩	粉砂岩、细砂岩	
粒度/μm	<4	<4	4~10	>10	
沉积相	深湖	半深湖—深湖	重力流、半深湖—深湖	重力流	
测井划分标准	泥质含量 SH/%	>70	>70	70~20	
	自然电位特征	负异常	接近基线	接近基线	
	自然伽马(API)	>200	150~210	90~150	60~115
	阵列感应(Ω·m)	100~155	52~110	50~80	55~120
	声波时差 AC(μs/m)	260~285	235~270	200~240	215~240
	密度 DEN(g/cm <sup>3</sup> )	2.0~2.3	2.4~2.65	2.5~2.7	2.4~2.6

测井曲线形态	L186井	H3井	G295井	Y180井
SP	60 MV 69.6	50 MV 110	66.7 MV 172	165 MV 179
AC	200 μs/m 300	200 μs/m 300	200 μs/m 300	200 μs/m 300
DEN	2.15 g/cm <sup>3</sup> 2.68	2.15 g/cm <sup>3</sup> 2.68	2.15 g/cm <sup>3</sup> 2.68	2.15 g/cm <sup>3</sup> 2.68
GR	50 API 200	50 API 200	50 API 200	50 API 200
RLLI	0 Ω·m 150	0 Ω·m 150	0 Ω·m 150	0 Ω·m 150

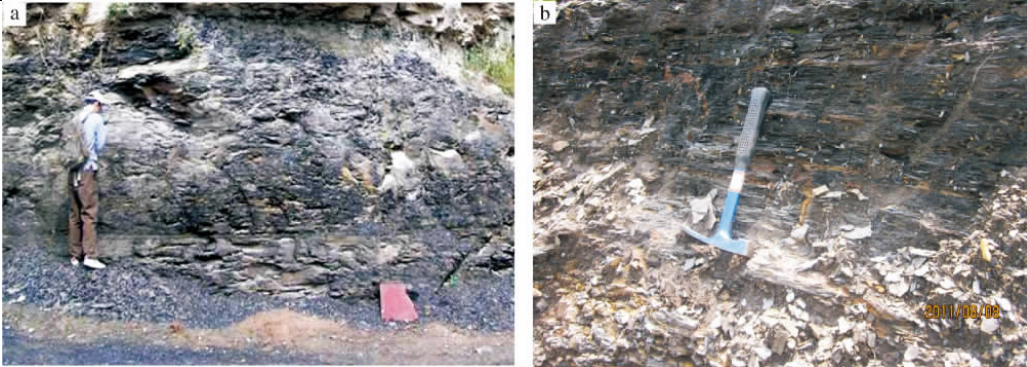
  


图 4 鄂尔多斯盆地延长组长 7 油页岩  
a. 延河剖面, 长 7 油页岩; b. 铜川剖面, 长 7 油页岩

Fig. 4 Oil shale of Ch7, Yanchang Formation in Ordos Basin



图5 鄂尔多斯盆地延长组长7深水沉积特征

(a) 演22井 2 671~2 673 m, 长7 油页岩; (b) 宁36井, 1 665.1 m, 长7<sub>3</sub>, 鱼化石; (c) 庄80井 2 013.3 m, 长7<sub>3</sub>, 方鲕鳞石化石; (d) 正11井, 929.3 m, 长7<sub>1</sub>, 方鲕鳞石化石; (e) 鲜9井, 1 845.4~1 845.9 m, 长7 泥岩; (f) 正40井, 1 463~1 464 m, 长7<sub>3</sub>, 砂泥韵律层; (g) 正40井, 1 436.3 m, 长7<sub>2</sub>, 粉砂质泥岩; (h) 宁33井, 1 671 m, 长7 模槽; (i) 宁42井, 1 493.8 m, 长7<sub>1</sub>, 包卷层理; (j) 镇86井 2 412.1 m, 长7<sub>2</sub>, 泥岩撕裂层; (k) 宁42井, 1 523.6 m, 长7<sub>2</sub>, 块状—平行层理; (l) 镇86井 2 419 m, 长7<sub>2</sub>, 板状交错层理;

Fig. 5 Feature of deepwater deposition of Ch7, Yanchang Formation in Ordos Basin

地的西部、南部这种特征表现特别明显。由于油页岩页理发育, 并经过强排烃作用等因素, 造成声波时差和密度测井曲线频繁跳跃。在地震剖面上呈现出双相位、强振幅连续反射的特征, 局部地区为单相位或是三相强振幅连续反射。

### 2.1.3 油页岩岩相平面分布特征

地质录井、测井识别、地震属性、地球化学判识分析相结合, 刻画了长7油页岩岩相平面分布特征。长7油页岩的发育厚度与沉积相的展布密切相关(图6-a), 位于深湖相沉积环境的姬塬—华池、固城等地发

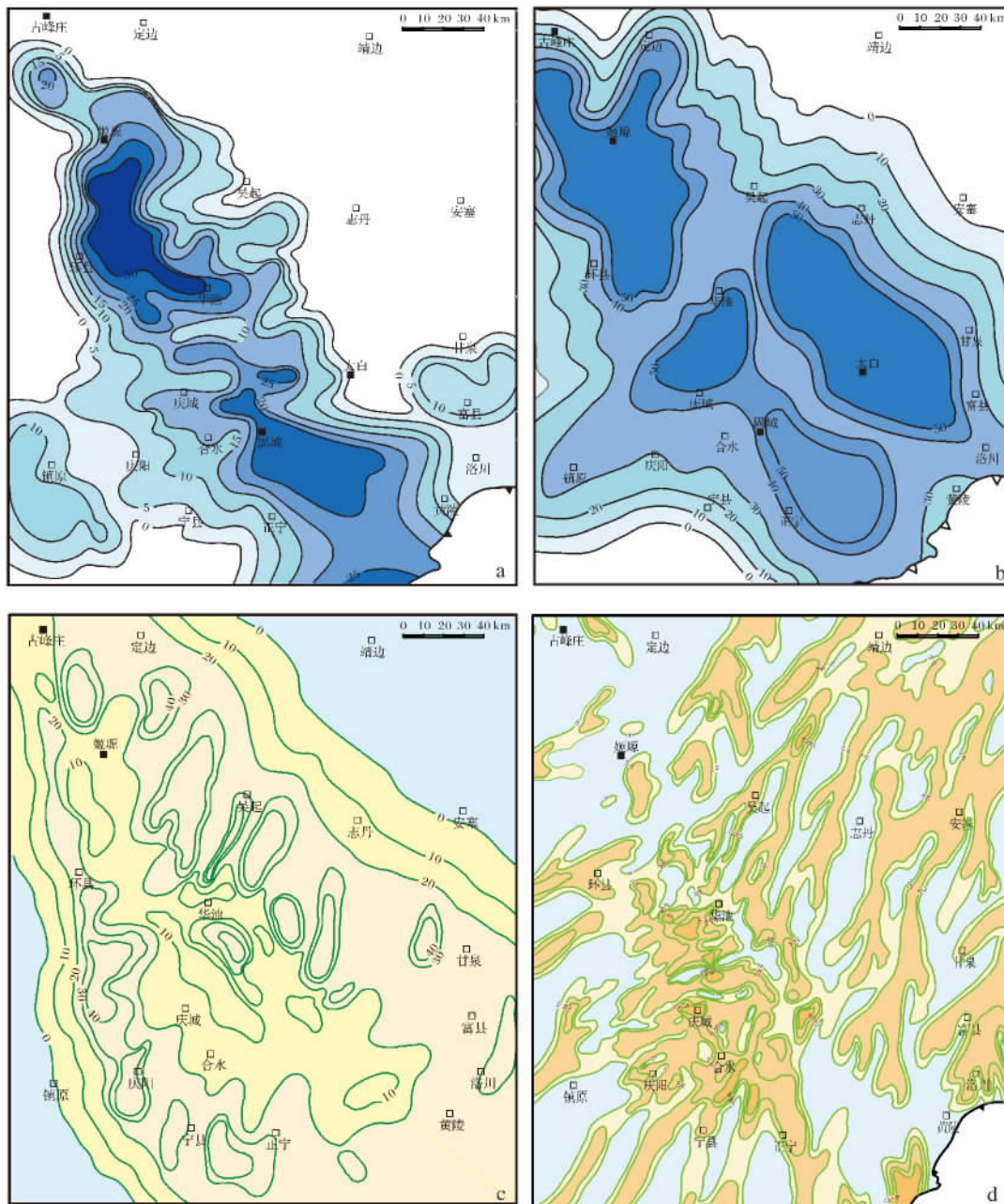


图 6 鄂尔多斯盆地延长组长 7 深水岩相分布特征图

a. 长 7 深水油页岩厚度分布图; b. 长 7 深水暗色泥岩厚度分布图; c. 长 7 深水砂质泥岩与泥质砂岩厚度分布图; d. 长 7<sub>2-1</sub> 深水砂岩厚度分布图

Fig. 6 Distributional feature of lithofacies for Ch7 , Yanchang Formation in Ordos Basin

育的油页岩厚度最大,一般都大于 20 m,局部可达 40 m,油页岩的分布面积约  $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。油页岩的厚度由湖盆中心向周边逐渐减小,呈环带状分布。

### 2.2 暗色泥岩岩相

#### 2.2.1 暗色泥岩岩相地质特征

深湖、半深湖环境中泥岩比较发育并且连续厚度较大,主要为灰黑色、黑色,厚层均质块状,局部层段发育水平层理(图 5-e),本文称之为暗色泥岩。碎屑

颗粒直径一般小于  $4 \mu\text{m}$ ,鱼牙、鱼鳞片、藻类化石常见,有时可发育少量介形虫和叶肢介,厚度大、富含有机质。有机质类型腐殖腐泥型为主,其次为腐泥型、腐泥腐殖型干酪根,有机碳含量平均约 3.0%,  $S_1 + S_2$  平均 9.5 mg/g,氯仿沥青 A 平均 0.62%,总烃含量 3 985.3 ppm,有机质成熟度一般 0.7 ~ 1.0%,各项指标显示长 7 暗色泥岩岩相为一套好的烃源岩。

#### 2.2.2 暗色泥岩岩相地球物理特征

暗色泥岩岩相在测井上表现为中低电阻(52~110  $\Omega \cdot m$ )、中高自然伽马(150~210 API)、高密度(2.4~2.65  $g/cm^3$ )、高声波时差(235~270  $\mu s/m$ )的特征,泥质含量大于70%(表1)。主要呈块状,页理不发育,声波时差和密度跳跃的现象不突出。

### 2.2.3 暗色泥岩岩相平面分布特征

综合各种方法可以得到泥岩岩相的平面展布图(图6b),总体上泥岩岩相分布范围广,面积约 $5.5 \times 10^4 km^2$ ,而且沉积厚度与沉积相也显示出较好的匹配关系,由盆地腹部向边缘厚度呈逐渐减薄的趋势。在湖盆中部地区形成四个厚度中心,从西北向东南分别为姬塬、华池、固城、太白,这几个地区累计泥岩厚度大于50 m,面积超过 $1 \times 10^4 km^2$ 。

## 2.3 砂质泥岩与泥质砂岩岩相

### 2.3.1 砂质泥岩与泥质砂岩岩相地质特征

在野外地质剖面及钻井岩心剖面上,深水泥岩中常常发育灰绿色的细砂岩、粉砂岩与深灰色泥岩薄互层、韵律层及粉砂质泥岩和泥质粉砂岩(图5f,g)。这些沉积物既不是烃源岩,也不是正常情况下碎屑岩油气储层,而且测井和地震识别难度大,本文将这类岩相称之为砂质泥岩与泥质砂岩岩相。该岩相沉积物颗粒较细,粒径一般4~10  $\mu m$ ,砂质沉积中常常可见丰富的变形层理、沙纹层理、平行层理和水平层理。沉积类型多样,一些砂泥岩薄互层或韵律层中的砂质岩不发育层理或显示正粒序,而且砂泥岩的界面常常发育各种底模构造(图5h),这类沉积为浊积岩;还有些砂质沉积物中平行层理、沙纹层理等层理类型发育,具有牵引流作用的特征,为湖底底流改造的沉积。

### 2.3.2 砂质泥岩与泥质砂岩岩相地球物理特征

在测井曲线上表现为低电阻(一般50~80  $\Omega \cdot m$ )、中自然伽马(一般90~150 API)、低声波时差(一般200~240  $\mu s/m$ )、高密度(一般2.5~2.7  $g/cm^3$ )、电位曲线靠近泥岩基线,泥质含量一般20~70%等特征(表1)。由于砂、泥岩互层频繁变化,造成声波时差和密度曲线跳跃现象也比较显著,伽马曲线呈锯齿状。

### 2.3.3 砂质泥岩与泥质砂岩岩相平面分布特征

从长7砂质泥岩与泥质砂岩厚度等值线图可以看出(图6c),深水砂质泥岩与泥质砂岩岩相主要发育在斜坡地带,一般厚度大于20 m。该岩相在西南斜坡带的环县—庆阳—宁县一带厚度分布较为稳定,一般20~40 m,北西—南东向展布,岩相带一般10~40 km,表现出西部陡窄,西南宽缓的特征。在东北深

水斜坡带定边—吴起—甘泉一带,厚度一般超过20 m,该带相对较宽缓,宽约40~50 km,而且厚带与薄带相间分布。湖盆中部油页岩岩相、泥岩岩相和砂岩岩相均较发育,而砂质泥岩与泥质砂岩较薄,一般厚度小于20 m,局部地区小于10 m。

## 2.4 砂岩岩相

### 2.4.1 砂岩岩相地质特征

湖盆中部地区除了泥岩岩相和油页岩岩相发育外,砂岩岩相亦广泛分布,主要为灰绿色细砂岩和粉砂岩。砂岩岩相存在多种成因类型的组合:一是滑塌岩,该类砂岩中变形、包卷层理(图5i)、砂岩岩脉以及砂包泥、泥包砂等现象发育,存在滑动面;二是砂质碎屑岩,细砂岩为主,并常常或多或少携带角砾状泥岩撕裂屑(图5j),变形层理发育;三是浊积岩,缺少泥岩段的多个正粒序浊积岩的叠加也可以形成厚度较大的砂岩,粒度细,主要为粉细砂岩(图5k),四是水下分流河道砂体,粒度相对较粗,以细砂岩为主,夹少量中砂岩和粉砂岩,交错层理发育(图5l)。在华池以北的地区,厚层砂体常常由滑塌岩、砂质碎屑岩和三角洲砂体组成,砂岩成分具高长石(平均38.7%)、低石英(平均31.9%)、低填隙物(平均14.2%)的特点;在华池、庆阳、合水、正宁一带厚层的深水砂岩主要为砂质碎屑岩、浊积岩、滑塌岩构成,砂岩成分具有高石英(平均44.1%)、低长石(平均23.3%)、高填隙物(平均17.0%)的特征。总体上,长7深水砂岩储层致密,孔隙度一般小于10%,渗透率一般小于 $0.3 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。

### 2.4.2 砂岩岩相地球物理特征

在测井曲线上表现为低电阻(55~120  $\Omega \cdot m$ )、低自然伽马(60~115 API)、低声波时差(215~240  $\mu s/m$ )、较高密度(2.4~2.6  $g/cm^3$ )、泥质含量小于20%(表1)、自然电位低幅度负异常等特征。根据砂岩组合的不同伽马曲线呈现不同的形态,均质的厚层砂体常常表现为箱型,多个砂岩的叠加时伽马曲线往往呈齿状箱形、钟形等形态。声波时差和密度曲线变化的幅度不大。

### 2.4.3 砂岩岩相平面分布特征

长7期,多个物源在湖盆沉积中心深水区汇聚,重力流沉积砂体大面积复合连片,呈北西—南东向沿环县—合水一线大致平行于相带界线(湖盆轴向)分布,砂带延展约150 km,表现为西北窄(约30 km)、西南宽的特征(约85 km),面积超过 $1 \times 10^4 km^2$ 。砂岩厚度大,单砂层厚度一般5~40 m,累计厚度一般

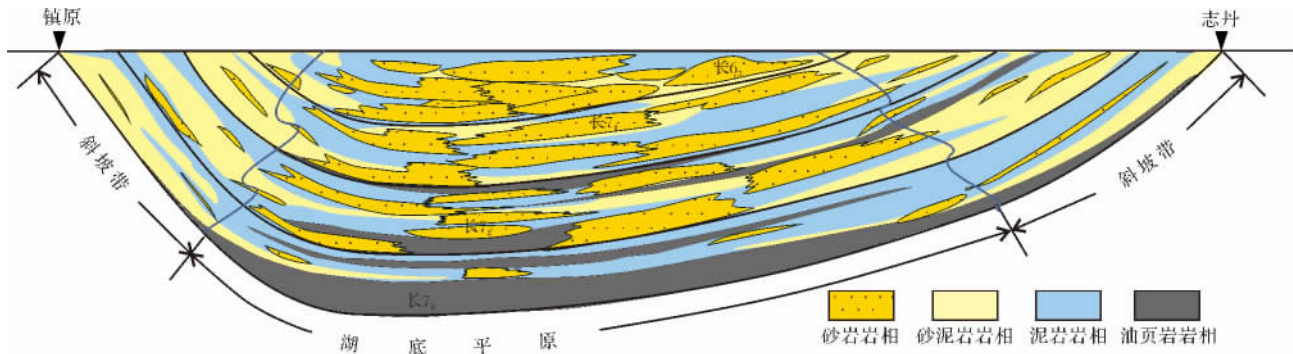


图 7 鄂尔多斯盆地延长组长 7 深水岩相沉积模式

Fig. 7 Sedimentary pattern of deepwater lithofacies of Ch7, Yanchang Formation in Ordos Basin

15~40 m,局部地区砂岩累计厚度超过 20 m。总体上,重力流成因砂体与三角洲砂体之间往往存在一个泥质岩分隔带(图 6-d)。

### 3 深水岩相组合

#### 3.1 深水斜坡带

深水斜坡带基本不发育油页岩岩相。西部深水斜坡带位于环县—庆阳—宁县一带,带宽一般 10~30 km,主要为砂质泥岩与泥质砂岩岩相和暗色泥岩岩相组合,厚度分别为 20~40 m 和 10~30 m,而且从长 7<sub>2</sub>至长 6 期,随着三角洲进积,沉积造成的斜坡向东迁移;东部深水斜坡带位于定边—吴起—甘泉一带,带宽一般 30~40 km,主要为砂质泥岩与泥质砂岩岩相、暗色泥岩岩相与砂岩岩相组合,厚度分别为 20~40 m,10~50 m 和 5~20 m,且随着湖盆的萎缩,斜坡带向西迁移(图 7)。斜坡带油页岩一般小于 10 m(表 2)。

表 2 鄂尔多斯盆地延长组长 7 深水岩相组合特征

Table 2 Deepwater lithofacies assemblages of Ch7, Yanchang Formation in Ordos Basin

位置	宽度 (km)	油页岩 (m)	暗色泥岩 (m)	砂质泥岩 与泥质砂岩 (m)	砂岩 (m)	砂地比 (%)
西南斜坡带	10~30	<10	10~30	20~40	<10	<10%
东北斜坡带	30~40	<10	10~50	20~40	5~20	<20%
湖底平原区	30~85	10~40	30~60	<20	15~40	10~50%

#### 3.2 湖底平原

在湖底平原地区长 7 主要发育油页岩岩相、暗色泥岩岩相和砂岩岩相,其厚度一般分别为 10~40 m,30~60 m 和 15~40 m。其中下部主要发育油页岩岩

相,中上部主要为砂岩岩相和暗色泥岩岩相,局部夹少量薄层油页岩岩相和砂质泥岩与泥质砂岩岩相。即随着湖盆逐渐充填,湖盆水体变浅,岩相组合的变化趋势为油页岩岩相→暗色泥岩岩相、砂岩岩相夹砂质泥岩与泥质砂岩岩相和薄层油页岩岩相→砂岩岩相、暗色泥岩岩相夹砂质泥岩与泥质砂岩岩相转变(图 7)。

### 4 深水岩相的石油地质意义

(1) 长 7 高富集有机质的油页岩和暗色泥岩为鄂尔多斯盆地中生界主力烃源岩

长 7 油页岩和暗色泥岩富有机质,有机质类型好<sup>[24,25]</sup>,以腐泥型和腐殖腐泥型干酪根为主(图 8),有机碳含量平均约 5.4%,其中油页岩有机碳含量平均 13.1%(图 9),S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>平均 41.4 mg/g,氯仿沥青“A”平均 0.79%,总烃含量 3 837.0 ppm,有机质成熟度一般 0.7~1.0%,热模拟表明油页岩热模拟液态烃生烃率超过 400 kg/t·TOC,平均生烃强度 270 × 10<sup>4</sup> t/km<sup>2</sup>,长 7 油页岩和暗色泥岩生烃量约 1 989 × 10<sup>8</sup> t,占盆地中生界烃源岩总生烃量的 80% 以上,为鄂尔多斯盆地延长组大型低渗透岩性油藏和非常规油藏的形成奠定了油源基础。

(2) 大面积分布的重力流和三角洲厚层砂体形成大面积细粒储层

长 7 中晚期,随着三角洲进积作用加强,多个物源在湖盆沉积中心深水区汇聚,受构造活动影响,诱发大规模的重力流事件沉积,砂质碎屑岩、浊积岩、滑塌岩等砂体大面积复合连片,沿环县—合水一线大致平行于湖盆轴向分布,砂带分布宽,延伸远,厚度大。在东北物源区发育三角洲砂体。以粉细砂岩为主,塑性颗粒含量较高,压实作用强烈,损失的孔隙度平均



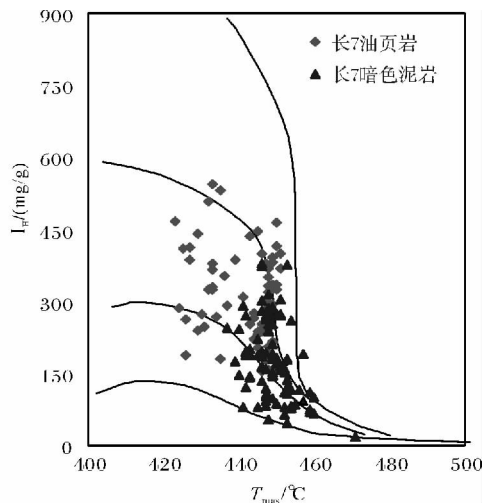


图8 长7 烃源岩干酪根类型

Fig.8 Kerogen types of Ch7 source rock

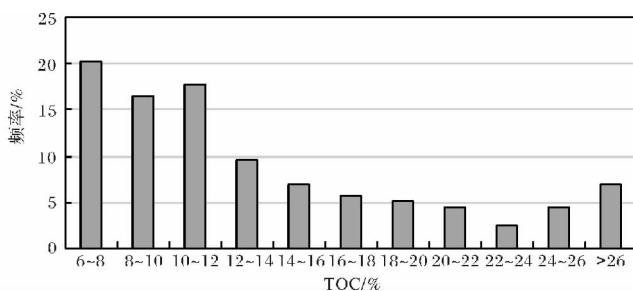


图9 长7 油页岩有机碳含量统计直方图

Fig.9 TOC content of Ch7 oil-shale

约15% ,胶结孔隙度约5.1%。现今储层孔隙度一般小于10% ,渗透率一般小于 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  ,为典型的致密储层。

(3) 砂岩与暗色泥岩和油页岩互邻共生形成了良好的生储盖组合

延长组长7 深水砂岩岩相是鄂尔多斯盆地大规模致密油的重要储层。深水砂岩岩相分布范围广 ,平面上位于生烃中心 ,纵向上夹于湖盆中部生油岩层之间 ,或与之紧邻 ,因此形成了良好的源储配置关系 (图7)。在埋藏过程中长7 烃源岩演化经历了强烈的欠压实和生烃增压作用 ,形成显著的过剩压力<sup>[26-27]</sup> ,因此尽管长7 深水砂岩储层致密 ,渗透率一般小于 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  ,但高的过剩压力为石油向致密储层强充注提供了强大的动力 ,有利于大规模致密油的形成。由于深水细粒沉积物中 ,砂、泥岩互层发育 ,岩相变化较频繁 ,有利于油藏后期保存。

(4) 广泛发育的细粒沉积是下一步非常规油气藏勘探的重要领域

目前 ,在鄂尔多斯盆地长7 致密砂岩储层勘探中 ,约400 口井已获得工业油流 ,落实致密油有利含油面积1 400  $\text{km}^2$  ,估算储量约 $5 \times 10^8$  t。此外 ,砂泥岩岩相、泥岩岩相和油页岩岩相为页岩油的重要赋存岩体 ,针对延长组长7 页岩油试油也取得了重要的进展 ,目前已有3 口井获得工业油流 ,其中最高的试油产量达到20 t/d 以上的高产工业油流 ,展示了页岩油具有较大的发展前景。因此 ,不同类型的深水岩相形成了不同类型的非常规油藏。这一认识打破了以往对碎屑岩储层的认识 ,油气勘探开发对象将探索非常规油藏勘探开发的新思路 ,勘探开发将不仅仅局限于砂岩储层 ,泥岩、油页岩、砂泥岩等岩相也将成为近期或未来油气勘探的重要领域。

## 5 结论

(1) 长7 早期为最大湖侵期 ,中晚期处于湖退初期阶段 ,湖盆中部地区大面积发育延长组长7 深水沉积。

(2) 深水沉积岩可划分四种岩相 ,分别是油页岩岩相、暗色泥岩岩相、砂泥岩岩相和砂岩岩相。不同深水岩相的地质、测井和地球化学特征存在明显的差异。根据差异性建立了相应的深水岩相的判识标准。

(3) 西部深水斜坡带主要为砂泥岩岩相和泥岩岩相组合 ,东部深水斜坡发育砂泥岩岩相、暗色泥岩岩相与砂岩岩相组合 ,且随着湖盆的萎缩 ,斜坡带发生迁移。湖底平原区自下而上岩相组合的变化趋势为油页岩岩相→暗色泥岩岩相、砂岩岩相夹砂泥岩岩相和薄层油页岩岩相→砂岩岩相、暗色泥岩岩相夹砂泥岩岩相。

(4) 长7 高富集有机质的油页岩和暗色泥岩为鄂尔多斯盆地中生界主力烃源岩 ,大面积分布的重力流和三角洲厚层砂体形成大面积细粒储层 ,砂岩与暗色泥岩和油页岩互邻共生形成了良好的生储盖组合 ,广泛发育的细粒沉积是下一步致密油、页岩油等非常规油气藏的勘探领域。

## 参考文献 (References)

- 1 Bouma A H. Sedimentology of Some Flysch Deposits: a Graphic Approach to Facies Interpretation [M]. Amsterdam: Elsevier Pub. Co. 1962 ,88-1233
- 2 Bouma A H. Recent and ancient turbidites and contourites [J]. Transactions-Gulf Coast Association of Geological Societies ,1962 ,22: 205-221
- 3 Walker R G. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans:

- models for exploration for stratigraphic traps[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1978, 62: 932-966
- 4 庞雄 陈长民 朱明,等. 深水沉积研究前缘问题[J]. 地质论评, 2007, 53(1): 36-43 [Pang Xiong, Chen Changmin, Zhu Ming, et al. Frontier of the deep-water deposition study [J]. Geological Review, 2007, 53(1): 36-43]
  - 5 Mann P, Horn M, Cross I. Tectonic setting of 79 giant oil and gas fields discovered from 2000-2007: Implications for future discovery trends [R]. AAPG 2007 Annual Convention 2007
  - 6 Shanmugam G. 50 Years of the turbidite paradigm: deep-water processes and facies models a critical perspective [J]. Marine and Petroleum Geology 2000, 17: 285-342
  - 7 邹才能 赵政璋 杨华,等. 陆相湖盆深水砂质碎屑流成因机制与分布特征:以鄂尔多斯盆地为例[J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1065-1075 [Zou Caineng, Zhao Zhengzhang, Yang Hua, et al. Genetic mechanism and distribution of sandy debris flows in Terrestrial lacustrine Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2009, 27(6): 1065-1075]
  - 8 郭彦如 刘化清 李相博,等. 大型拗陷湖盆层序地层格架的研究方法体系——以鄂尔多斯盆地中生界延长组为例[J]. 沉积学报, 2008, 26(3): 384-391 [Guo Yanru, Liu Huaqing, Li Xiangbo, et al. Method system on studying sequence stratigraphic framework of large sagged lacustrine basin: a case study from Mesozoic Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(3): 384-391]
  - 9 付金华 高振中 牛小兵,等. 鄂尔多斯盆地环县地区上三叠统延长组长 6<sub>3</sub> 砂层组沉积微相特征及新认识[J]. 古地理学报, 2012, 14(6): 695-706 [Fu Jinhua, Gao Zhenzhong, Niu Xiaobing, et al. Sedimentary microfacies characteristics and new understandings of the Upper Triassic Yanchang Formation Chang 6<sub>3</sub> interval in Huanxian area in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 14(6): 695-706]
  - 10 杨华 龔伟坦 刘显阳,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长 7 沉积相分析[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 254-263 [Yang Hua, Dou Weitai, Liu Xianyang, et al. Analysis on sedimentary facies of member 7 in Yanchang Formation of Triassic in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(2): 254-263]
  - 11 邓秀芹 付金华 姚泾利,等. 鄂尔多斯盆地中及上三叠统延长组沉积相与油气勘探的突破[J]. 古地理学报, 2011, 13(4): 443-455 [Deng Xiuqin, Fu Jinhua, Yao Jingli, et al. Sedimentary facies of the Middle-Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin and breakthrough in petroleum exploration [J]. Journal of Palaeogeography 2011, 13(4): 443-455]
  - 12 邓秀芹 李文厚 刘新社,等. 鄂尔多斯盆地中三叠统与上三叠统地层界线讨论[J]. 地质学报, 2009, 83(8): 1089-1096 [Deng Xiuqin, Li Wenhou, Liu Xinshe, et al. Discussion on the stratigraphic boundary between Middle Triassic and Upper Triassic [J]. Geologica Sinica, 2009, 83(8): 1089-1096]
  - 13 辛仁臣 蔡希源 王英民. 松辽拗陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 387-392 [Xin Renchen, Cai Xiyuan, Wang Yingmin. Depositional model of lowstand and characteristics of sequence boundary in deep-water lake, Songliao Depression Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 387-392]
  - 14 卓弘春 林春明 李艳丽,等. 松辽盆地北部上白垩统青山口—姚家组沉积相及层序地层界面特征[J]. 沉积学报, 2007, 25(11): 30-38 [Zhuo Hongchun, Lin Chunming, Li Yanli, et al. Characteristics of sedimentary facies and sequence boundary in Upper Cretaceous-Qingshankou-Yaojia Formation of Northern Songliao Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(11): 30-38]
  - 15 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002 [Yang Junjie. Tectonic evolution and distribution of oil and gas in Erdos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press 2002]
  - 16 付金华 郭正权 邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. 古地理学报, 2005, 7(11): 34-44 [Fu Jinhua, Guo Zhengquan, Deng Xiuqin. Sedimentary facies of the Yanchang Formation of Upper Triassic and petroleum geological implication in southwestern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(11): 34-44]
  - 17 付金华 李士祥 刘显阳,等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组长 9 油层组沉积相及其演化[J]. 古地理学报, 2012, 14(3): 269-285 [Fu Jinhua, Li Shixiang, Liu Xianyang, et al. Sedimentary facies and its evolution of the Chang 9 interval of Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 14(3): 269-285]
  - 18 楚美娟 郭正权 白嫦娥. 鄂尔多斯盆地延长组长 8 油层组沉积及其演化特征[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(2): 13-18 [Chu Meijuan, Guo Zhengquan, Bai Chang'er. Sedimentation and evolution features in Chang 8 reservoir of Yanchang Formation in Ordos basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(2): 13-18]
  - 19 刘自亮 朱筱敏 廖纪佳,等. 鄂尔多斯盆地西南缘上三叠统延长组层序地层学与砂体成因研究[J]. 地学前缘, 2013, 20(2): 1-9 [Liu Ziliang, Zhu Xiaomin, Liao Jijia, et al. Sequence stratigraphy and genesis of sand bodies of the Upper Triassic Yanchang Formation in the southwestern margin of Ordos Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(2): 1-9]
  - 20 周鼎武主编. 区域综合研究的方法与实践——鄂尔多斯盆地—秦岭造山带地质野外指导书[M]. 北京: 科学出版社, 2002 [Edited by Zhou Dingwu. Methods and practice of regional comprehensive research-geologic field instructor for Ordos Basin-Qinling Orogenic Belt [M]. Beijing: Science Press 2002]
  - 21 邓秀芹 蔺昉晓 刘显阳,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积演化及其与早印支运动关系的探讨[J]. 古地理学报, 2008, 10(2): 159-166 [Deng Xiuqin, Lin Fangxiao, Liu Xianyang, et al. Discussion on relationship between sedimentary evolution of the Triassic Yanchang Formation and the Early Indosinian Movement in Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography 2008, 10(2): 159-166]
  - 22 邓秀芹 李文厚 李士祥,等. 鄂尔多斯盆地华庆油田延长组长 6 油层组深水沉积组合特征[J]. 地质科学, 2010, 45(3): 745-756 [Deng Xiuqin, Li Wenhou, Li Shixiang, et al. Deepwater sedimentary association of Chang 6 oil bearing formation, Yanchang Formation of Huaqing Oilfield in Ordos Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2010, 45(3): 745-756]

- 2010, 45(3): 745-756]
- 23 付锁堂, 邓秀芹, 庞锦莲. 晚三叠世鄂尔多斯盆地湖盆沉积中心厚层砂体特征及形成机制分析[J]. 沉积学报, 2010, 28(6): 1081-1085 [Fu Suotang, Deng Xiuqin, Pang Jinlian. Characteristics and mechanism of thick sandbody of Yanchang Formation at the centre of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(6): 1081-1085]
- 24 张文正, 杨华, 李剑锋, 等. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用——强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293 [Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Jianfeng, et al. Leading effect of high-class source rock of Chang7 in Ordos Basin on enrichment of low permeability oil-gas accumulation—Hydrocarbon generation and expulsion mechanism [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 289-293]
- 25 杨华, 张文正. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用: 地质地球化学特征[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 147-154 [Yang Hua, Zhang Wenzheng. Leading effect of the Seventh member high-quality source rock of Yanchang Formation in Ordos Basin during the enrichment of low-permeability oil-gas accumulation: geology and geochemistry [J]. Geochimica, 2005, 34(2): 147-154]
- 26 邓秀芹, 姚泾利, 胡喜锋, 等. 鄂尔多斯盆地延长组超低渗透岩性油藏成藏流体动力系统特征及其意义[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2011, 41(6): 1044-1050 [Deng Xiuqin, Yao Jingli, Hu Xifeng, et al. Characteristics and geological significance of hydrodynamic system on ultra-low permeability reservoir of Yanchang formation in Ordos Basin [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2011, 41(6): 1044-1050]
- 27 段毅, 吴保祥, 郑朝阳, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田油气成藏动力学特征[J]. 石油学报, 2005, 26(4): 29-33 [Duan Yi, Wu Baoxiang, Zheng Chaoyang, et al. Pool-forming dynamic properties of Xifeng Oilfield in Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(4): 29-33]

## Features of Deepwater Lithofacies, Yanchang Formation in Ordos Basin and Its Petroleum Significance

FU Jin-hua<sup>1,2</sup> DENG Xiu-qin<sup>1,2</sup> CHU Mei-juan<sup>1,2</sup> ZHANG Hai-feng<sup>1,2</sup> LI Shi-xiang<sup>1,2</sup>

(1. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields, Xi'an 710018;

2. Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018)

**Abstract:** Deep-water deposit of Ch7 member, in Trassic Yanchang Formation, is widely distributed in the center of Ordos basin. Study on particle size, sedimentary textures and structures and organic geochemistry shows that sedimentary rock in deep water can be summed up as four types, i. e. oil-shale lithofacies, dark-mudstone lithofacies, siltstone-mudstone lithofacies and sandstone lithofacies. The oil-shale lithofacies is characterized by high organic carbon content and good type of organic matter, with higher value of resistivity and natural gamma, clear negative anomalies of SP curves, and the curves of acoustic interval transit times varies sharply; dark-mudstone lithofacies characterized by being rich with organic carbon, mid-low value of resistivity, mid-high value of natural gamma and high value of density and acoustic interval transit times; siltstone-mudstone lithofacies by mid value of resistivity, low natural gamma, high density and sharply varied curves of acoustic interval transit time, with mud content ranges about 20~70%; and sandstone lithofacies by low value of resistivity and acoustic interval transit time, and natural gamma, with mud content lower than 20%. The shape of different lithofacies are defined and configuration difference of lithofacies at deepwater slope and lake bottom plain is illustrated in detail. It is pointed out that deep-water rock has great significance for unconventional oil and gas resources. For example oil shale lithofacies and dark-mudstone lithofacies, as the main source rock of Mesozoic, contribute greatly for the formation of large scale reservoirs in Ordos basin; the deepwater sandstone lithofacies provides extensive spaces for large-scale tight oil; and deepwater siltstone-mudstone and oil shale lithofacies is the important accommodation for shale oil and has the potential of economic value.

**Key words:** deepwater lithofacies; Ordos Basin; Yanchang Formation; Ch7 member; conventional oil and gas resources