

文章编号: 1000-0550(2012)06-1042-11

# 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统延长组砂质碎屑流沉积特征及其油气勘探意义<sup>①</sup>

陈飞<sup>1</sup> 胡光义<sup>1</sup> 孙立春<sup>1</sup> 樊太亮<sup>2</sup> 高志前<sup>2</sup> 于喜通<sup>2</sup> 庞正炼<sup>4</sup>

(1. 中国海洋石油(中国)有限公司北京研究中心 北京 100027; 2. 中国地质大学(北京) 北京 100083;  
3. 中国海洋石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300452; 4. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

**摘要** 通过岩芯观测、地震解释和测井分析,结合薄片观察、粒度分析以及各种资料的综合分析,对鄂尔多斯盆地南部富县地区上三叠统延长组沉积相类型及特征进行深入研究,提出长9—长6油层组存在砂质碎屑流沉积。结合盆地沉积背景及其演化规律,探讨了砂质碎屑流沉积的成因机制,详细论述了砂质碎屑流沉积的沉积特征,建立了砂质碎屑流的沉积模式。研究表明砂质碎屑流砂体主要由块状粉细砂岩和含泥砾粉细砂岩两种成因相构成,其成因是三角洲前缘砂体在外界触发力作用下,滑动崩塌而形成。分析了砂质碎屑流沉积与油气的分布关系,实践表明砂质碎屑流沉积体是下生上储或下储上生的油藏类型,属于典型的岩性油气藏,构成了该区深水区域的良好岩性圈闭储集体。

**关键词** 富县地区 延长组 砂质碎屑流 沉积特征 油气勘探意义

**第一作者简介** 陈飞 男 1978 出生 博士后 层序地层学与油气开发地质 E-mail: chenfei1126@163.com

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

随着深水油气田发现的比例逐渐提高,深水勘探越来越成为未来勘探的热点<sup>[1~5]</sup>。从1859—2007年全球共发现大油气田(石油可采储量大于0.685亿吨,天然气可采储量大于850亿立方米)共945个,其中属被动陆缘深水环境的油田341个,占总发现量的34%<sup>[5]</sup>。但是长期以来,油气勘探中深水砂岩的划分一直存在争议<sup>[4,6~11]</sup>,在20世纪90年代,由于“鲍玛序列”和“浊积扇”理论在指导深水油气勘探时未能发挥出人们预期的作用,所以遭遇了激烈的抨击<sup>[4]</sup>,深水沉积模式的多解性显得越来越突出<sup>[6,12~15]</sup>。但实际上在多数情况下,深水砂岩是砂质碎屑流的沉积物,而非浊流产物<sup>[11~14]</sup>。依据 Shanmugam G 等(1995)基于北海油田和英国及挪威陆缘上的常规岩芯的分析对比,认为砂质碎屑流沉积物在很大程度上未受重视,常常误解为高密度浊积岩。

鄂尔多斯盆地重力流的研究始于20世纪70年代,已经发现了西峰、镇原及姬塬等油田上亿吨的石油地质储量<sup>[16]</sup>,近年来湖盆中部深水砂岩的认识有效指导了华庆大油田的发现<sup>[17]</sup>,特别是2006年长庆油田在白豹地区三叠系延长组长6油组发现面积为3000 km<sup>2</sup>的大面积深水含油砂岩,形成3~5亿吨级

储量,引起沉积学者对湖盆中部地区砂体成因的广泛关注<sup>[18]</sup>。然而文献大多集中论述及评价浊积岩沉积<sup>[16,19~25]</sup>,很少涉及到砂质碎屑流沉积的研究。国内学者对深水沉积做过综述性论述<sup>[4,26]</sup>,对西秦岭和松潘地体以及西藏地区进行研究,也有学者认为其深水砂体属于砂质碎屑流沉积,研究既涉及到陆相也有对海相的研究<sup>[4,27~29]</sup>。然而在最近,邹才能等在白豹地区长6油组识别出在三角洲前缘前部大规模发育的砂质碎屑流沉积<sup>[5,18,30,31]</sup>,邓秀芹等在环县—合水一线呈北西—南东向方向在湖盆中部长6、长7油组认为有砂质碎屑流沉积<sup>[17]</sup>,王岚等也在白豹—华池地区认为长6油组存在有砂质碎屑流沉积<sup>[32]</sup>,李相博等也在盆地内部的华池—合水地区认为长6油组存在有砂质碎屑流沉积<sup>[33,34]</sup>,从而说明了湖盆中部可以形成大规模深水砂体沉积,形成“满盆富砂”的格局。使勘探从湖盆边部推进到了湖盆中心,突破了湖盆中心主要发育浊流的旧模式和传统观点。

本文通过岩芯观测、测井分析和地震解释,结合薄片观察、粒度分析以及各种资料的综合分析,对鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统延长组沉积相类型及特征进行深入研究,提出长9—长6存在砂质碎屑流

<sup>①</sup>中国石化勘探东北分公司生产科研项目(编号:GBFKT-07YZ-017)资助。  
收稿日期:2011-10-07; 收修改稿日期:2012-01-31

沉积。结合盆地沉积背景及其演化规律,探讨了砂质碎屑流沉积的成因机制,详细论述了砂质碎屑流的沉积特征以及分布规律,建立了本区砂质碎屑流沉积模式,揭示我国陆相湖盆中心砂体分布特征以及形成机制,针对不同沉积相带采取不同的储层预测和精细描述方法及思路,为开拓陆相勘探领域提供理论支撑,进一步指导陆相盆地岩性油藏勘探大突破。

## 1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北地台的西部,是一个多构造体系、多旋回演化、多沉积类型的大型盆地<sup>[24,35-37]</sup>。陆相鄂尔多斯盆地阶段形成于晚三叠世,在晚三叠世早期,气候温暖潮湿,开始下拗,进入了湖盆发育阶段,沉积了一套由湖相—三角洲相约1 000 m的碎屑岩建造,即上三叠系延长组含油层系<sup>[16]</sup>。根据岩性及古生物组合,将延长组分为5段( $T_3y^{1-5}$ ),并根据油层纵向分布规律自上而下划分为长1~长10等10个油层组。长10湖盆初始形成阶段、长9~长7期湖盆扩张阶段、长6~长1湖盆萎缩充填阶段,形成了湖盆从发生、发展到消亡的全过程。

研究区位于鄂尔多斯盆地南部的富县地区(图1)晚三叠世的构造活动造成盆地西陡东缓,东北高

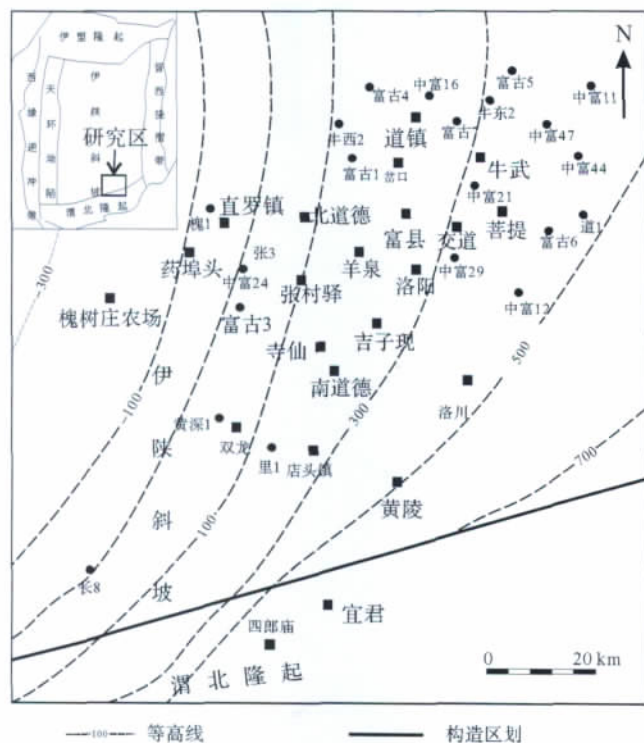


图1 鄂尔多斯盆地研究区构造区划位置

Fig. 1 Tectonic divisions and locations of the study area at Fuxian in Ordos Basin

西南低的古地理特点,沉降沉积中心位于环县以南,湖岸线大致沿北纬 $38^{\circ}$ 摆动,以北为河流—三角洲相,以南为湖泊相<sup>[16,21]</sup>。延长组是鄂尔多斯盆地最重要的烃源岩发育层位,同时也是中生界主力产油层位之一。以曲流河三角洲和浅湖相—半深湖沉积体系为主体,三角洲前缘的前方发育有大面积的砂质碎屑流沉积,这也与邹才能等人的研究成果具有相似性。

## 2 砂质碎屑流沉积特征

碎屑流是由基质支撑的一种块状流,流变学特征指示它属于宾汉体或塑性流体<sup>[8,11,38]</sup>,从内部流动状态来看,碎屑流属于层流,即碎屑物质在流动体内表现为明显的顺层运移。由于其塑性状态和层流性质,碎屑流的沉积物通常表现为厚层或块状,沉积层底面不具侵蚀性,内部板状、条状砾石一般沿层排列。以块体搬运方式为主,其支撑机制包括基质强度、分散压力和浮力,其特征是层状流,顶部具有或不具有紊流云团<sup>[39]</sup>。颗粒浓度中等至较高,泥质含量低至中等,砂和砾小于 $25\% \sim 30\%$ ,以中、细砂岩为主。这里碎屑流既指沉积过程又指沉积产物,砂质碎屑流这一概念的优点是它既不要求颗粒流所需的陡坡也不要求粘结性碎屑流所需的高基质含量<sup>[6]</sup>。碎屑流沉积物的前方或者顶部发育少量的浊流沉积。砂质碎屑流一般位于流体的底部,以凝结的方式沉积,平面呈不规则舌状,连续块状分布。而浊流则一般处流体的顶部或前端,呈孤立状或透镜状分布。砂质碎屑流不但发育正向粒序,也会发育逆粒序。而鉴别浊积岩的唯一可靠的标准是正递变层。碎屑流沉积最直接的证据则是由漂浮碎屑和板状碎屑组构所揭示的纹层状流动和流动强度<sup>[6,7,9,11,14,15,38]</sup>。

### 2.1 古地貌

砂质碎屑流沉积的形成最主要的是存在一定古坡度,其触发机制包括地震活动、海面下降、陆棚边缘快速堆积、风暴以及气体溶入等<sup>[31,40]</sup>。通过室内物理模拟实验得知,斜坡坡度大致为 $6 \text{ m/km}$ 的斜坡带可以发生砂质碎屑流,然而在坡度较缓、斜坡较长的情况下,坡度小于 $6 \text{ m/km}$ 的情况下依然会有砂质碎屑流重力流的存在<sup>[40]</sup>。鄂尔多斯盆地在晚三叠世长8期湖盆古地形较为平坦,坡降不足 $0.1^{\circ}$ 或 $2 \text{ m/km}$ <sup>[41]</sup>,确保了砂质碎屑流发生的先决条件。经历了长8大幅度沉降后,研究区在长6时存在有一个由东北向西南方向的古坡度,其内部又细分为六个深

水区:中富47、富古6—中富12、富古4—中富13、中富24—中富30、中富9、中富10,其中在西南方向的中富24—中富30规模最大(图2)。虽然坡度较缓但斜坡较长,当三角洲前缘砂体沉积厚度和坡度增大,使其处于一种不稳定的状态,促使沉积界面发生倾斜并超出稳定休止角,随着水体注入,岩层块体破碎,顺坡发生滑移而发生重力滑塌和滑动,在三角洲前缘带形成大面积砂质碎屑流舌状体。

2.2 概率曲线特征

砂质碎屑流沉积的概率曲线,主要表现为两段式(图3),这主要是由于泥砾没有做统计分析,缺少较粗的总体。跳跃总体占整个粒度分布大部分,甚至全

部,跳跃部分占65%~75%,斜率 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ;悬浮总粒度分布体占25%~35%,斜率 $4^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。粒度区间大,可延至中砂和细砂,伴有凝结过程中的泥砾,并且伴有顺层排列板条状碎片,是由于碎屑流内部顺层剪切作用的结果(图4)。砂质碎屑流表现为沉积物的整体凝结沉降,但重力分异对较重的颗粒更有效,线段陡并向着细端逐渐变平(图3)。常成一波折的、向上凸的曲线,以很低的坡度延伸,分选很不好,矿物成熟度和结构成熟度都较低。

2.3 粒度参数散布图特征

粒度参数散布图是从现代沉积着手,求出各种环境沉积物的粒度参数,然后用两两参数组合,做出粒

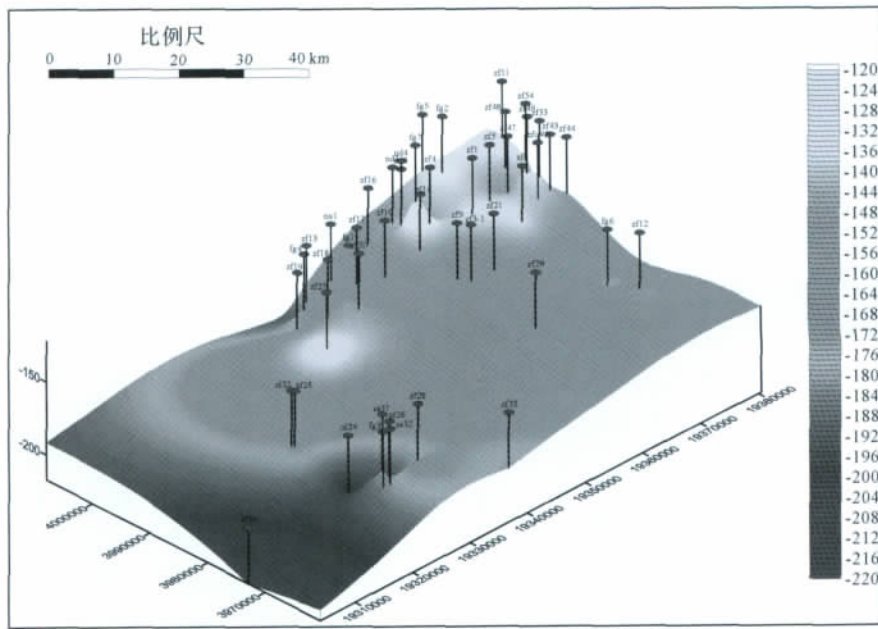


图2 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统延长组长6古地貌

Fig. 2 Paleogeomorphology of the Upper Triassic Yanchang Formation at Fuxian in Ordos Basin

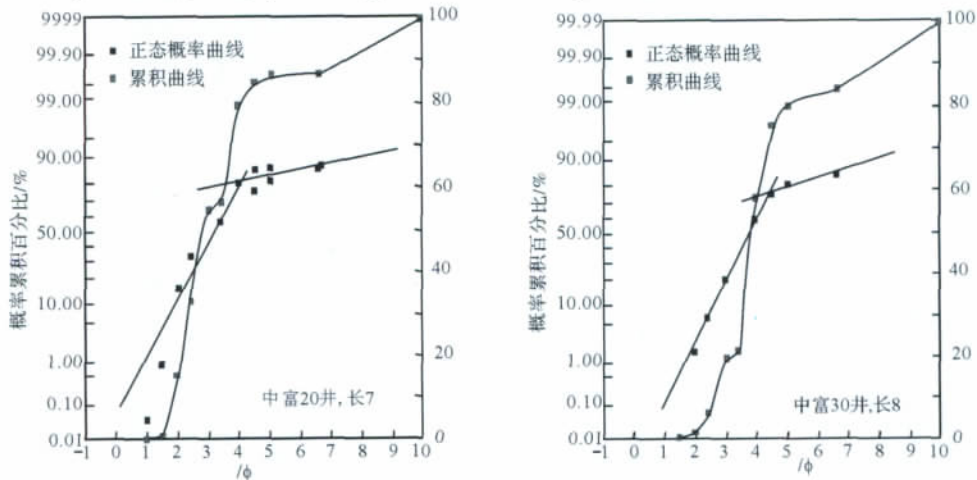


图3 鄂尔多斯盆地富县地区砂质碎屑流砂体粒度累计概率曲线

Fig. 3 Probability cumulation curve of sand debris flows of Fuxian in Ordos Basin





图 4 中富 26 井 687.25 m 长 6<sup>1</sup> 漂浮泥砾  
Fig. 4 Sedimentary structure of Well Zhongfu 26 of Chang 6<sup>1</sup> Member at Fuxian

度参数散布图,在图上得出不同环境的界限,并以此做出沉积物的古沉积环境的依据<sup>[42]</sup>。

标准偏差对平均值散布图可以很好的表明砂质碎屑流沉积特征。不同成因的砂岩具有不同的结构参数特征,通过散布图可以直观地表示粒度分布的离散趋势并进行砂岩沉积环境的判别。格拉斯托尔 1974 年曾对已知的 10 种沉积环境的 100 多个样品,采用薄片点计法分析,做出  $M_z-\sigma_1$  散布图。郑浚茂 1980 年在利用  $M_z-\sigma_1$  散布图进行沉积环境研究时,将图划分为两部分(图 5),浊流与水下冲积扇在左上方区域,三角洲河口坝和滩坝砂沉积位于右下角区域,从左上角向右下角由冲积扇、河流沉积到成熟滩分选逐渐变好,粒度变细,反映出结构成熟度的明显变好,沉积物变细、分选性变好。笔者将长 8、长 6 中样品投图,从图中还可以看到绝大多数样品均落在图的右上部,表明分选性和成熟度相对差的特点。反映了砂质碎屑流沉积和浊流沉积分布范围较广的特征。

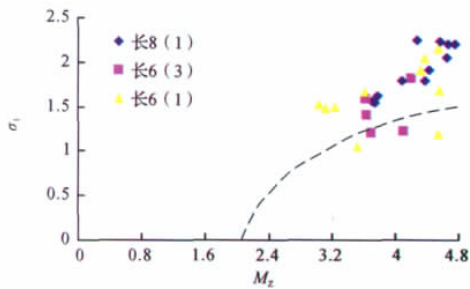


图 5 富县地区中富 32# 主要环境标准偏差  $\sigma_1$  对平均值  $M_z$  散布图

Fig. 5 Structure parameter dispersal map of graphical solution  $\sigma_1-M_z$  in Well Zhongfu 32 in Fuxian

## 2.4 岩芯特征

砂体与上覆和下覆沉积一般呈突变接触,砂岩为块状结构、滑塌变形褶皱、角砾化碎屑、悬浮泥砾碎屑、面状碎屑组构、杂基含量中—高,砂体不连续,有滑移面存在,伴随有一定角度的倾斜地层。一般底部存在剪切带,砂体整体上正粒序为主,逆粒序也有发育。中富 26 井在 766.43 ~ 775.21 m 为灰褐色油斑粉砂岩,浅灰色粉细砂岩夹薄层深灰色泥岩。砂岩发育块状层理,局部夹黑色泥砾呈漂浮碎屑状,被撕裂成条带状,分选差,磨圆差,砾径最大 6 cm,最小 0.5 cm(图 6)。中富 27 井在 1 129 ~ 1 146.93 m 也表现为灰色、深灰色、粉细砂岩,灰褐色油迹粉砂岩局部发育深灰色泥岩。砂岩块状构造发育,顶部略显递变。

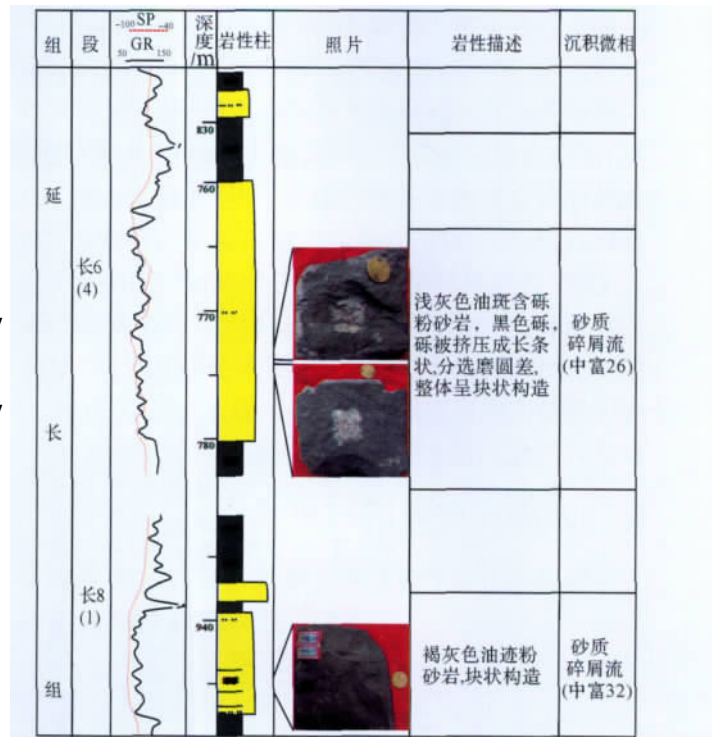


图 6 鄂尔多斯盆地富县地区延长组砂质碎屑流沉积

Fig. 6 Sedimentary characteristics of sand debris flows of Yanchang Formation at Fuxian in Ordos Basin

砂质碎屑流砂体的矿物成熟度和结构成熟度较低,杂基含量相对高。主要由块状粉细砂岩和含泥砾粉细砂岩两种成因相构成。一种为块状粉细砂岩,为灰色、深灰色、灰黑色含油细砂岩,是研究区最发育的砂体类型。其特征是砂体厚度较大,一般单层厚度大于 0.5 m,有的可达数米以上。通常不具有任何沉积构造,呈块状,砂岩层直接被泥岩层覆盖,并且底面平坦。另一种为含泥砾粉细砂岩,灰色细砂岩中夹杂撕

裂状与板状泥砾。泥砾为灰黑色泥岩团块,多为形态多变的泥砾,以棱角状和次棱角状为主,还有的呈三角形、四边形等,大小混杂,直径最大可达10 cm,平均4 cm。较大泥砾中可见泥质岩的水平纹理,在顶部略显递变。研究区这类砂岩很发育,过去把它解释成高密度浊流沉积,现在将它作为砂质碎屑流的一个重要鉴别标志。

## 2.5 地球物理特征

砂质碎屑流沉积体在地震剖面上,沉积体系的终端反射结构清楚,内部反射层次不很清。表现为丘状双向下超、丘状波状、杂乱、水平尖灭不规则、连续平行和无平行或不连续次平行等地震相特征,外形呈丘状、席状和水平尖灭,同相轴为中连—较连续强振幅,它们呈丘状上覆于湖相泥岩(图7)。在测井曲线上表现为上下突变,代表了事件的突发性。Shanmugam G将砂质碎屑流在测井上的反映,划分为以下三种类型:泥质碎屑的均匀分布而呈现出“块状”曲线特征,泥质碎屑含量向上逐渐增加而呈现出“向上变细”的曲线特征;泥质碎屑含量向上逐渐减少而呈现出“向上变粗”的曲线特征<sup>[6,11,12]</sup>,但这三种类型中测井上均在顶底发生突变。研究区电性特征一般表现为低幅—中高幅的锯齿状的近箱形的频繁叠加,这与盆地多以钟型曲线形态出现而形成了明显的区别,反映了砂质碎屑流沉积的发育。

## 3 砂质碎屑流沉积模式

鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组发育曲流河

三角洲和砂质碎屑流沉积,三角洲体系主要发育在东北部和西南部,主要为三角洲前缘亚相。东北部以道镇和菩提为界演化为三支三角洲,地层厚度75~120 m,砂厚30~55 m,砂地比30%~70%;而东南南部黄陵三角洲向西北直达富县南部。在三角洲前缘的前方沉积有砂质碎屑流沉积,平面上主要分布在张家湾—直罗—富古3井以东为深湖区,具体发育在洛阳—富县—岔口—直罗镇—药埠头—张村驿一带(图8)。从纵剖面上来看,由东北向西南逐渐由三角洲前缘渐变到砂质碎屑流和深湖沉积。中富8开始出现湖相沉积,到中富25砂质碎屑流沉积达到最为鼎盛(图9)。

地震属性也对该区的沉积体系有着清晰的显示,尤其对三角洲前缘前方深水区的砂质碎屑流沉积的指示。研究区长8均方根振幅具有很好的规律性,大致可分为2种类型的区域(图10),三角洲沉积和砂质碎屑流沉积。北部富古4—富古1井一带、东北部中富11—中富8井一带、东部富古6—中富29—吉1井一带以及东南部中富28—中富32井一带为强振幅连续反射,钻井揭示为三角洲沉积。中部中富24—张3井一带、吉三井区附近、牛西5—中富27井一带为中弱振幅反射,反映了弱振幅断续反射深水背景下的砂质碎屑流沉积。

砂质碎屑流沉积形成于深湖、半深湖环境,由于盆地的非均衡沉积,造成湖平面的规律性变化,在低水位期和高水位晚期间歇发生洪水泛滥期,河流的流速和流量很大,所携带的大量碎屑物质在三角洲前缘

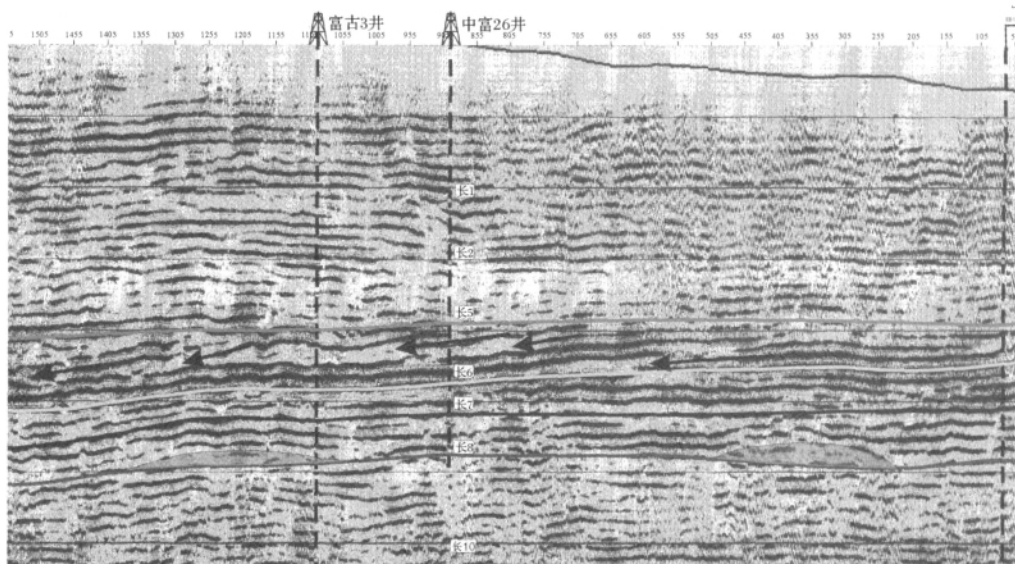
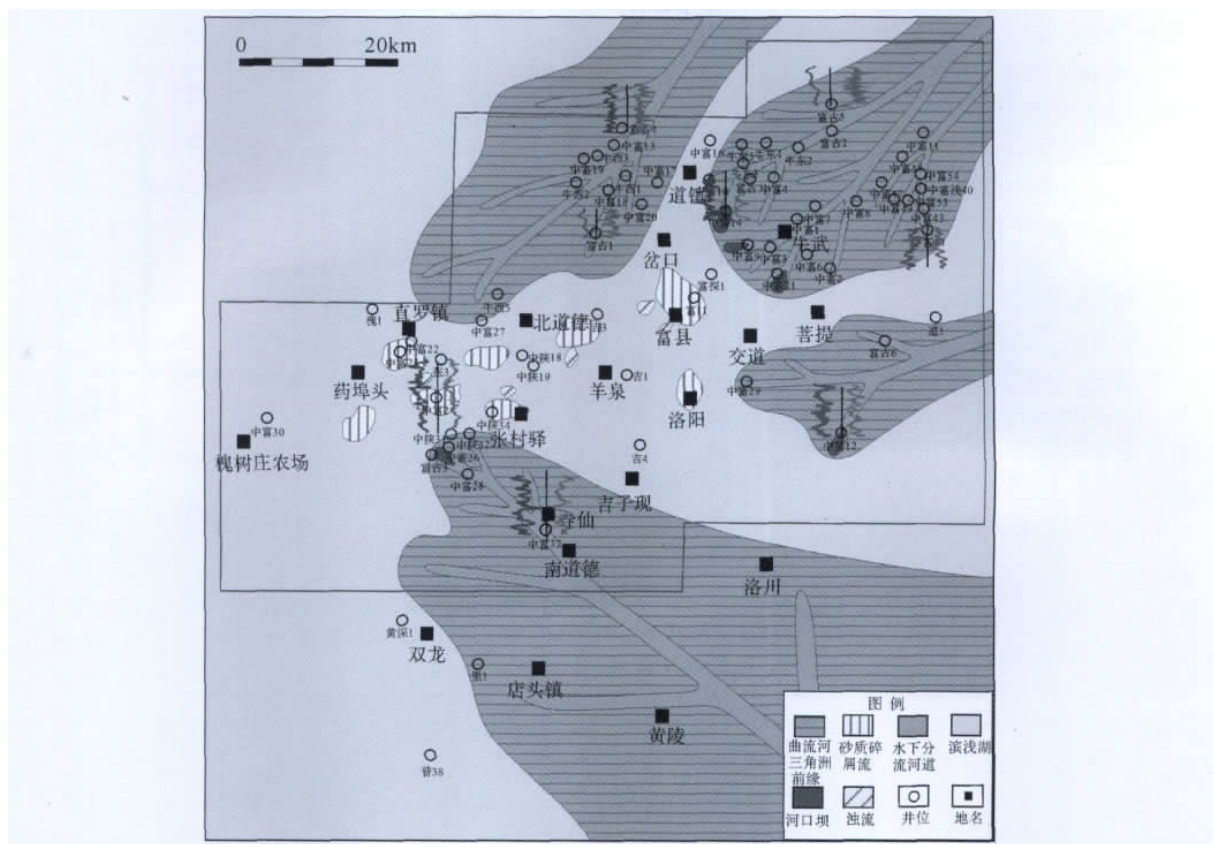


图7 鄂尔多斯盆地富县地区地震剖面中砂质碎屑流沉积

Fig. 7 Sedimentary characteristics of sand debris flows at seismic profile of Yanchang Formation at Fuxian in Ordos Basin

图8 鄂南富县地区延长组长8<sup>1</sup>砂质碎屑流沉积平面分布图Fig. 8 Depositional systems of sand debris flows of Chang 8<sup>1</sup> Formation at Fuxian in the south of Ordos Basin

快速堆积,形成具有固定前缘斜坡的,并广泛分布的泥岩之上的三角洲进积砂体,在地震和波浪等外界触发机制下沿着古斜坡在重力流驱动下进入湖泊形成<sup>[6,11,16,37]</sup>。松动的岩层首先发生滑动崩塌,沉积物进一步强烈液化,并沿泥质沉积物表面顺坡发生滑移而发生重力滑塌和流动。这时岩层由整体破碎成多个块体,伴随大量的软沉积物变形。随着水体注入,岩层块体破碎搅浑,以碎屑流的形式呈层状流动,在三角洲前缘斜坡上及深湖平原上形成大片的砂质碎屑流舌状或叠置水道状沉积体,纵向延伸不远,横向叠置连片的特征。这也与 Shanmugam G 研究在密西西比扇外缘表现为水道化舌状沉积,主要为碎屑流沉积相吻合<sup>[6,12,13]</sup>。依据生产实践,邹才能等人将其划分为三个带:滑塌根部、中间部位和盆地平原<sup>[5]</sup>。在岩心中可观察到浊积岩与砂质碎屑流砂体形成互层,水下分流河道的滑坡、崩塌下来的沉积物,主要由块状粉细砂岩和含泥砾粉细砂岩构成,主要发育于长6~长9(图11)。

## 5 油气地质意义

鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组油气富集具有一定的规律性,储集层受到沉积相的控制,属于较典型的岩性油藏<sup>[22,25,43~47]</sup>(图12)。李相博等人对盆地中心82口钻井的分析,表明砂质碎屑流沉积为油井产量的主力,直接控制油气藏的规模与分布<sup>[48]</sup>。也有人大胆推测渤海湾、松辽、四川等盆地的中心部位很有可能发育大规模砂质碎屑流沉积,形成“连续型”或准连续大规模油藏。这也为海上勘探的大发现指明了方向,改变了传统认识—湖盆中部只发育规模较小浊流的观点<sup>[5,30,31]</sup>。砂质碎屑流沉积成藏以长8、长6为主,主要分布在直罗镇—药埠头—张村驿—洛阳—岔口—北道德一线。

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组除了接受生油凹陷中侧向运移提供的油气外,还与它发育长7—长6—长4+5的生储盖组合有关(图12)。由于砂质碎屑流沉积体伸入深湖腹地,常形成指状尖灭砂体,与



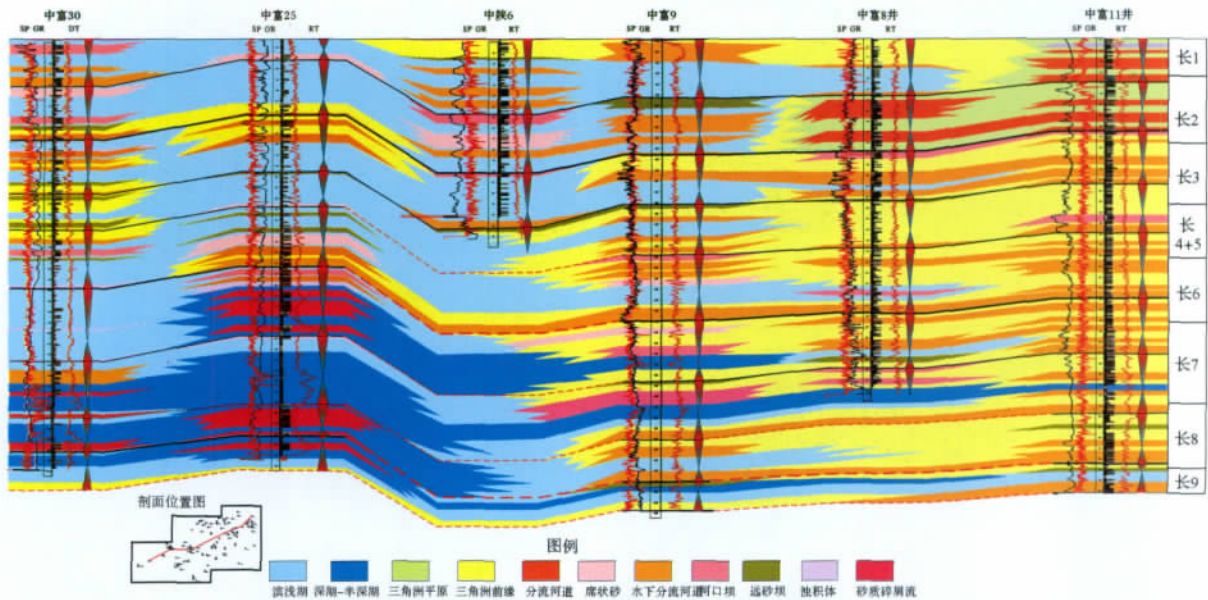


图9 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统延长组中富30—中富11沉积相剖面图  
 Fig.9 Cross section of depositional systems of Well Zhongfu 30—Zhongfu 11 of the Upper Triassic Yanchang Formation at Fuxian in Ordos Basin

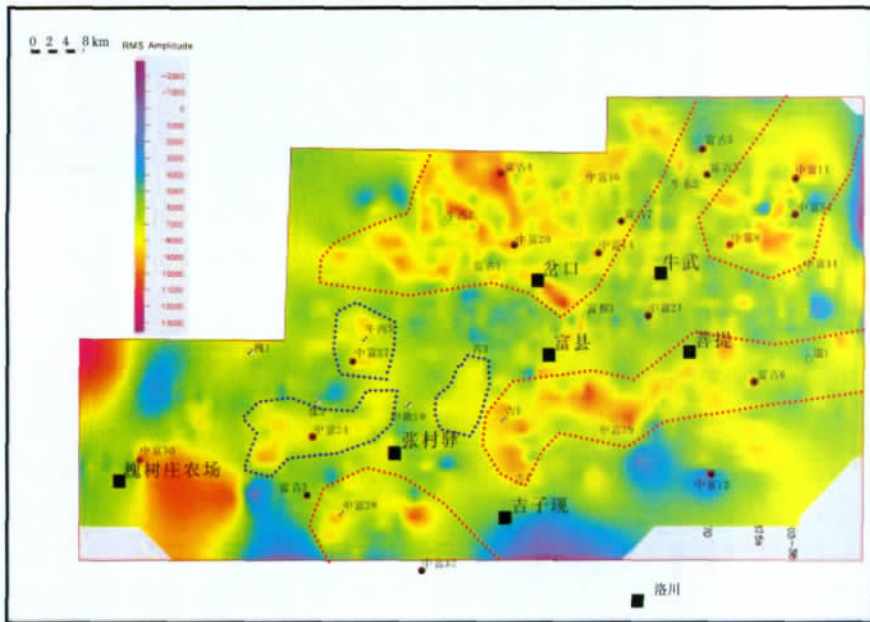


图10 鄂南富县地区延长组长8均方根振幅属性图  
 Fig.10 The RMS map of Chang 8 Formation at Fuxian in the south of Ordos Basin

烃源岩直接接触。一方面,充分吸取烃源岩提供的油气;另一方面,烃源岩又充当良好盖层,因此,砂质碎屑流沉积体常具有良好的生、储、盖组合,形成下生上储或下储上生的岩性圈闭类型。砂质碎屑流砂体埋藏较深,粒度细,沉积速率大,由于这些砂体分布在半深湖—深湖直接与湖相泥页岩相伴生,常形成异常高压地层系统中的欠压实带而有利于部分原生孔隙的

保存<sup>[23-25]</sup>。通过22口井651个物性数据样品分析,长6孔隙度为7.0%~12.8%,平均为9.3%,渗透率为 $0.276 \times 10^{-3} \sim 5.924 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均为 $1.355 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。平面上,孔隙度由由东北向西南的富县、牛武、岔口递减,尤其在张村驿一带有砂质碎屑流砂体分布的区域孔隙度相对较高。由于溶蚀作用产生一部分次生孔隙,砂质碎屑流沉积体具有较好的孔、

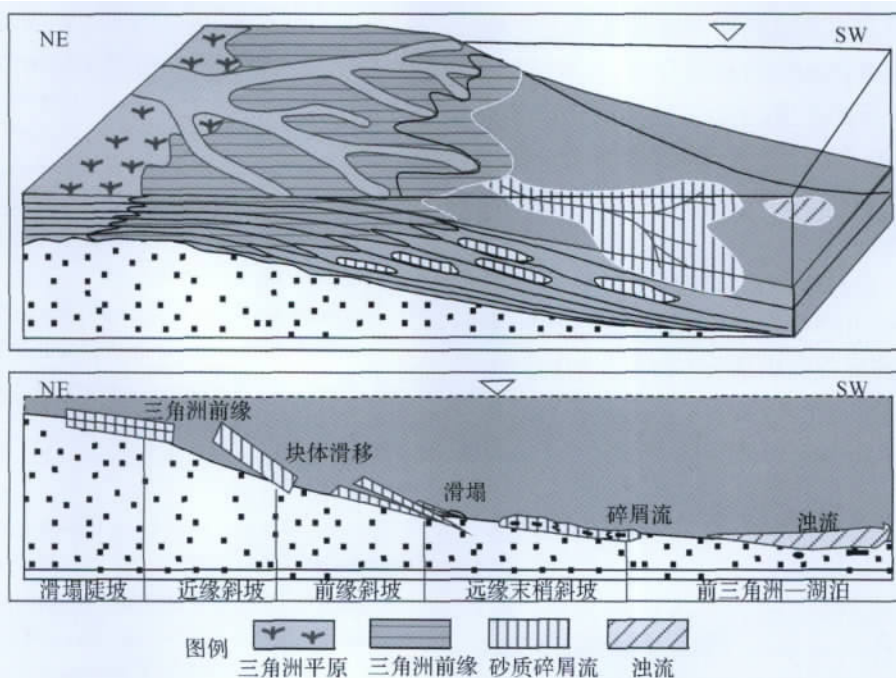


图 11 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统延长组砂质碎屑流沉积模式

Fig. 11 Reconstruction diagram of sand debris flows of the Upper Triassic Yanchang Formation at Fuxian in Ordos Basin

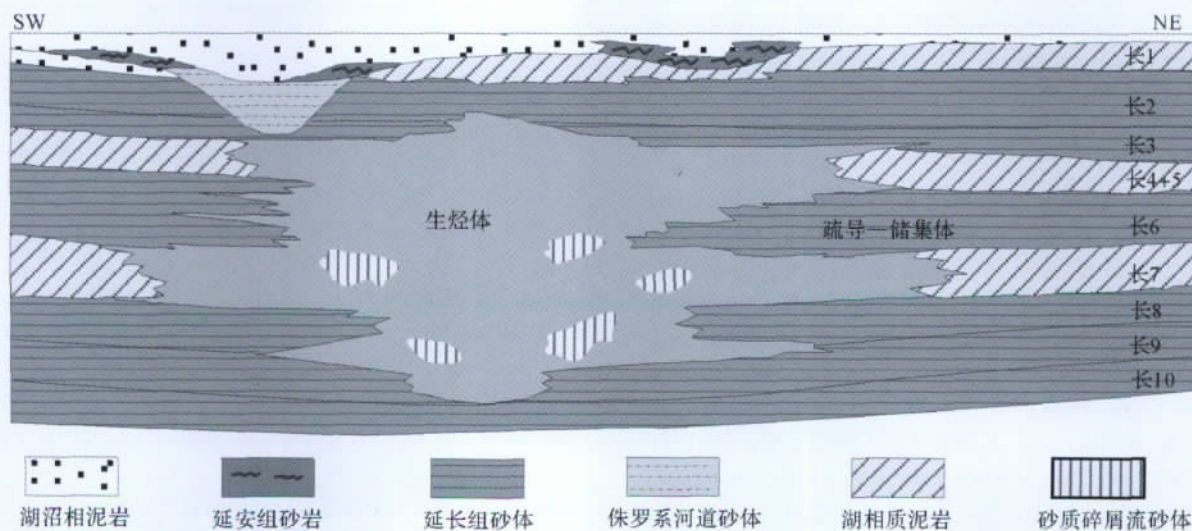


图 12 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统延长组层序格架内油气富集模式

Fig. 12 Litho-stratigraphic reservoirs distribution in sequence stratigraphy at the Upper Triassic Yanchang Formation at Fuxian in Ordos Basin

渗性,因而具备非常优越的以自生、自储、自盖为特色的岩性油藏形成条件。砂质碎屑流沉积体非均质性较强,但在厚度大、物性好的地方是最具勘探前景。根据已发现的油气富集规律看,能构成岩性圈闭的储集体的深水区砂质碎屑流沉积体越来越得到了重视<sup>[5, 22, 30, 31]</sup>。这一认识拓展了湖盆中心部位找油新领域。

## 6 结论

(1) 通过岩芯观察、地震解释和测井分析,结合薄片观察、粒度分析以及各种资料的综合分析,对鄂尔多斯盆地南部富县地区上三叠统延长组沉积相类型及特征进行深入研究,认为长 9~长 6 存在砂质碎屑流沉积。



(2) 通过对鄂尔多斯盆地南部富县地区上三叠统延长组砂质碎屑流沉积的古地貌分析、粒度分析、岩心观察和地震特征的描述 结合盆地沉积背景及其演化规律,详细论述了砂质碎屑流的沉积特征,探讨了砂质碎屑流沉积的成因机制,建立了砂质碎屑流的沉积模式。

(3) 鄂尔多斯盆地南部富县地区上三叠统延长组砂质碎屑流沉积与油气形成和储集有着密切的关系 研究表明砂质碎屑流沉积是属于较为典型的岩性油藏。在深化前人研究成果的同时,对该地区岩性油藏的勘探开发提供了新的研究思路。

### 参考文献(References)

- Pettingill H S, Weimer P. World-wide deep water exploration and production: Past, present and future [M]//Fillon R H, Rossen N C, Weimer P, *et al.*, eds. Petroleum Systems of Deep-Water Basins: Global and Gulf of Mexico Experience. Gulf Coast Section-SEPM Special Publication, 2001: 1-22
- 蒋恕, 王华, Paul Weimer. 深水沉积层序特点及构成要素[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2008, 33(6): 825-833 [Jiang Shu, Wang Hua, Paul Weime. Sequence stratigraphy characteristics and sedimentary elements in deepwater[J]. Earth Science-Journal of China University of Geoscience, 2008, 33(6): 825-833]
- 甘克文. 我国海上油气勘探前景及邻国关系问题简析[J]. 石油科技论坛, 2005, 6(3): 27-29 [Gan Kewen. China's offshore oil and gas exploration prospect and analysis on the problems between neighboring countries[J]. Oil Forum, 2005, 6(3): 27-29]
- 李祥辉, 王成善, 金玮, 等. 深海沉积理论发展及其在油气勘探中的意义[J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 77-86 [Li Xianghui, Wang Chengshan, Jin Wei, *et al.* A review on deep-sea sedimentation theory: Significances to oil-gas exploration [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(1): 77-86]
- 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, 12(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, 12(6): 1065-1075]
- Shanmugam G. 50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s) deep-water processes and facies models: a critical perspective [J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17: 285-342
- Bouma A H, Devries M B, Stone C G. Reinterpretation of depositional processes in a classic flysch sequence (Pennsylvanian Jackfork Group), Ouachita Mountains, Arkansas and Oklahoma: discussion [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(3): 470-472
- Coussot P, Meunier M. Recognition, classification and mechanical description of debris flows [J]. Earth-Sci Rev, 1996, 40(3-4): 209-227
- Dasgupta P. Sediment gravity flow—the conceptual problems [J]. Earth Science Review, 2003, 62(3-4): 265-281
- Bouma A H. Sedimentology of Some Flysch Deposits: a Graphic Approach to Facies Interpretation [M]. Amsterdam: Elsevier, 1962
- Shanmugam G. High-density turbidity current: are they sandy debris flows? [J]. Journal of Sedimentary Research, 1996, 66(1): 2-10
- Shanmugam G. Deep-marine tidal bottom currents and their reworked sands in submarine canyons: implications for sand distribution. Denver, Colorado: American Association of Petroleum Geologists Annual Convention Abstracts, 2001: 184
- Shanmugam G, Moiola R J. Reinterpretation of depositional processes in a classic flysch sequence (Pennsylvanian Jackfork Group), Ouachita Mountains, Arkansas and Oklahoma [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79: 672-695
- Shanmugam G. Ten turbidite myths [J]. Earth-Science Reviews, 2002, 58: 311-341
- 张兴阳, 罗顺社, 何幼斌. 沉积物重力流深水牵引流沉积组合——鲍玛序列多解性探讨 [J]. 江汉石油学院学报, 2001, 23(1): 1-4 [Zhang Xingyang, Luo Shunshe, He Youbin. Deposit assemblage of gravity flow and traction current in deep water: A study of the multiple interpretation of the Bouma sequence [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2001, 23(1): 1-4]
- 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: 50-107 [Yang Junjie. Tectonic Evolution and Oil-Gas Distribution Rules in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 50-107]
- 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]
- 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, 12(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, 12(6): 1065-1075]
- 文应初. 陕甘宁盆地晚三叠世的湖相重力流沉积及其含油性 [J]. 西南石油学院学报, 1983, (2): 1-17 [Wen Yingchu. Lacustrine gravity flow sediments of the upper Triassic in Shan-gan-ning basin and its petroliferous probability [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 1983, (2): 1-17]
- 李祯, 温显端, 周慧堂, 等. 鄂尔多斯盆地东缘中生代延长组浊流沉积的发现与意义 [J]. 现代地质, 1995, 9(1): 99-107 [Li Zhen, Wen Xianduan, Zhou Huitang, *et al.* Discovery of turbidity deposit in Yanchang group along eastern margin of Ordos Basin and its significance [J]. Geoscience-Journal of Graduate School, China University of Geosciences, 1995, 9(1): 99-107]
- 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 95-105 [He Zixin. Evolution and Hydrocarbon in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 95-105]
- 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三

- 角洲沉积及演化[J]. 古地理学报, 2004, 6(3): 307-315 [Wu Fulli, Li Wenhou, Li Yuhong, *et al.* Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(3): 307-315]
- 23 郑荣才, 文华国, 韩永林, 等. 鄂尔多斯盆地白豹地区长6油层组湖底滑塌浊积扇沉积特征及其研究意义[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2006, 33(6): 566-575 [Zheng Rongcai, Wen Huaguo, Han Yonglin, *et al.* Discovery and significance of sub-lacustrine slump turbidite fans in Chang 6 oil-bearing formation of Baibao region in Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2006, 33(6): 566-575]
- 24 陈飞, 罗平, 张兴阳, 等. 鄂尔多斯盆地东缘上三叠统延长组层序地层格架内砂体结构[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 330-338 [Chen Fei, Luo Ping, Zhang Xingyang, *et al.* Stratigraphic architecture and sequence stratigraphy of Yanchang Formation Upper Triassic in the eastern margin of Ordos Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(1): 330-338]
- 25 赵俊兴, 李凤杰, 申晓莉, 等. 鄂尔多斯盆地南部长6和长7油层浊流事件的沉积特征及发育模式[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 389-394 [Zhao Junxing, Li Fengjie, Shen Xiaoli, *et al.* Sedimentary characteristics and development pattern of turbidity event of Chang 6 and Chang 7 oil reservoirs in the southern Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(3): 389-394]
- 26 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]
- 27 孟庆任, 渠洪杰, 胡健民. 西秦岭和松潘地体三叠系深水沉积[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(增刊 I): 209-223 [Meng Qingren, Qu Hongjie, Hu Jianmin. Deep water depositional system in Songpan-Ganzi complex[J]. Science in China: Series D, 2007, 37(Supplement): 209-223]
- 28 李祥辉, 王成善, 胡修棉. 深海相中的砂质碎屑流沉积——以西藏特提斯喜马拉雅侏罗—白垩系为例[J]. 矿物岩石, 2000, 20(1): 45-51 [Li Xianghui, Wang Chengshan, Hu Xiu mian. Sedimentation of sandy debris-flow in deep-sea environment: Verification from massive sandstone of the Upper Jurassic Lower Cretaceous in Tibetan Tethys Himalayas[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2000, 20(1): 45-51]
- 29 黄子齐. 有关海底扇的新观点及其勘探意义[J]. 海洋地质动态, 1998, 188(7): 7-9 [Huang Ziqi. The new viewpoint about submarine fan and its significance in exploration[J]. Marine Geology Letters, 1998, (7): 7-9]
- 30 邹才能, 陶士振, 袁选俊, 等. “连续型”油气藏及其在全球的重要性: 成藏、分布与评价[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(6): 669-682 [Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, *et al.* Global importance of “continuous” petroleum reservoirs: Accumulation, distribution and evaluation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(6): 669-682]
- 31 邹才能, 陶士振, 袁选俊, 等. 连续型油气藏形成条件与分布特征[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 324-331 [Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, *et al.* The formation conditions and distribution characteristics of continuous petroleum accumulations[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 324-331]
- 32 王岚, 邹才能, 林潼, 等. 鄂尔多斯盆地白豹—华池地区延长组长6油层组沉积环境及成岩相分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 796-806 [Wang Lan, Zou Caineng, Lin Tong, *et al.* Sedimentary environment and diagenesis facies of Chang 6 Yanchang Formation in Baibao-Huachi, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(5): 796-806]
- 33 李相博, 刘化清, 陈启林, 等. 大型坳陷湖盆沉积坡折带特征及其对砂体与油气的控制作用——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组为例[J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 717-729 [Li Xiangbo, Liu Huaqing, Chen Qilin, *et al.* Characteristics of slope break belt in large depression lacustrine basin and its controlling effect on sandbody and petroleum: Taking the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin as an example[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(4): 717-729]
- 34 李相博, 付金华, 陈启林, 等. 砂质碎屑流概念及其在鄂尔多斯盆地延长组深水沉积研究中的应用[J]. 地球科学进展, 2011, 26(3): 286-294 [Li Xiangbo, Fu Jinhua, Chen Qilin, *et al.* The concept of sandy debris flow and its application in the Yanchang Formation deep water sedimentation of the Ordos Basin[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(3): 286-294]
- 35 李德生. 重新认识鄂尔多斯盆地油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 1-7 [Li Desheng. Return to petroleum geology of Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(6): 1-7]
- 36 杨明慧, 刘池洋, 郑孟林, 等. 鄂尔多斯盆地中晚三叠世两种不同类型边缘层序构成及对构造活动响应[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(增刊 I): 173-184 [Yang Minghui, Liu Chiyang, Zheng Menglin, *et al.* Sequence architecture margins of two different types response to tectonic movement, Middle-later Triassic, Ordos Basin[J]. Science in China: Series D, 2007, 37(Suppl. I): 173-184]
- 37 刘池洋. 叠合盆地特征及油气赋存条件[J]. 石油学报, 2007, 28(1): 1-7 [Liu Chiyang. Geologic characteristics and petroleum accumulation conditions of superimposed basins[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(1): 1-7]
- 38 Shanmugam G. Perception vs reality in deep-water exploration[J]. World Oil, 1996, 217: 37-41
- 39 王英民, 王海荣, 邱燕, 等. 深水沉积的动力学机制和响应[J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 495-504 [Wang Yingmin, Wang Hairong, Qiu Ya, *et al.* Process of dynamics and its response of deep-water sedimentation[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4): 495-504]
- 40 王颖, 王晓州, 王英民, 等. 沉积物理模拟实验在确定重力流临界坡度中的应用[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2010, 37(4): 463-468 [Wang Ying, Wang Xiaozhou, Wang Yingmin, *et al.* Determination of the gravity flow critical gradient using sedimentary simulation experiment[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2010, 37(4): 463-468]

- 41 魏永佩,陈会鑫. 沉积盆地碎屑岩原始厚度恢复经验图版——一种快速实用的方法[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 90-93 [Wei Yongpei, Chen Huixin. Recovering plate on initial thickness of clastic rocks in sedimentary basins: A quick and practical method [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 90-93]
- 42 成都地质学院陕北队. 沉积岩(粒度)分析及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 1-147 [Shanbei Term of Chengdu College of Geology. Analysis and application of grain size in sedimentary rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 1-147]
- 43 罗平,裘怿楠,贾爱林,等. 中国油气储层地质研究面临的挑战和发展方向[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 142-147 [Luo Ping, Qiu Yinan, Jia Ailin, et al. The present challenges of Chinese petroleum reservoir geology and research direction [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 142-147]
- 44 喻建,宋江海,向惠. 鄂尔多斯盆地中生界隐蔽性油气藏成藏规律[J]. 天然气工业, 2004, 24(12): 35-37 [Yu Jian, Song Jianghai, Xiang Hui. Subtle reservoir formation law of Mesozoic in Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(12): 35-37]
- 45 杨华,刘显阳,张才利,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组低渗透岩性油藏主控因素及其分布规律[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 1-6 [Yang Hua, Liu Xianyang, Zhang Caili, et al. The main controlling factors and distribution of low permeability lithologic reservoirs of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 1-6]
- 46 陈飞,王训练,罗平,等. 陕北地区上三叠统延长组层序地层格架内岩性油气藏分析[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2009, 40(4): 1146-1153 [Chen Fei, Wang Xunlian, Luo Ping, et al. Analysis of litho-stratigraphic reservoirs distribution in sequence stratigraphy at the upper Triassic Yanchang formation in northern Shaanxi [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2009, 40(4): 1-9]
- 47 武富礼,王变阳,赵靖舟,等. 鄂尔多斯盆地油藏序列特征及成因[J]. 石油学报, 2008, 29(5): 639-642 [Wu Fuli, Wang Bianyang, Zhao Jingzhou, et al. Origin and characteristics of oil pool sequence in Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(5): 639-642]
- 48 李相博,陈启林,刘化清,等. 鄂尔多斯盆地延长组3种沉积物重力流及其含油气性[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(3): 16-21 [Li Xiangbo, Chen Qilin, Liu Huaqing, et al. Three types of sediment gravity flows and their petroliferous features of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(3): 16-21]

## Sedimentary Characteristics and the Significance of Petroleum Exploration of Sandy Debris Flows of Yanchang Formation of the Upper Triassic, Fuxian Area, Ordos Basin

CHEN Fei<sup>1</sup> HU Guang-yi<sup>1</sup> SUN Li-chun<sup>1</sup> FAN Tai-liang<sup>2</sup>  
GAO Zhi-qian<sup>2</sup> YU Xi-tong<sup>3</sup> PANG Zheng-lian<sup>4</sup>

(1. Research Center, CNOOC, Beijing 100027; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083;

3. Tianjin Branch of CNOOC, Tianjin 300452;

4. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083)

**Abstract:** According to the analysis for cores, seismic interpretation and well-logging, the authors have thoroughly studied the sedimentary facies types and characters of Yanchang Formation of the Upper Triassic in the south Ordos Basin with thin sections and grain size analysis and a great deal of indoor testing data. The authors have proposed that the sedimentary facies type of Chang 9 to Chang 6 of Yanchang Formation is sandy debris flows. With basin sedimentary and evolutionary background, the genetic mechanism of the sand debris flows have been discussed, and detailed studies have been made on the rock types and sedimentary structures of the sandy debris flows, build up relevant sedimentary models. The results indicate that the sandy debris flows deposit is composed of two genetic facies of massive-bedded siltsand and packsand and mud pebble siltsand and packsand, which indicate deposition from delta-front sand during slip and slump under outside function of energy. Relationship between sandy debris flow depositional systems and distribution of oil and gas are elaborated in detail. It is considered that sandy debris flow deposits are injection migration oil-gas accumulation types and classic lithologic hydrocarbon reservoir, which are the most favorable sedimentary facies belt for the generation of Yanchang Formation reservoirs.

**Key words:** Fuxian area; Yanchang Formation; sandy debris flows; sedimentary characteristics; significance of petroleum exploration