

文章编号:0253-9985(2010)05-0602-08

# 渤海湾盆地东营凹陷胜坨地区沙四上亚段物源方向 对储集砂体的控制作用

刘 晖<sup>1</sup>, 王升兰<sup>2</sup>

[1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 中海石油(中国)有限公司 北京研究中心, 北京 100027]

**摘要:**综合地震、测录井及地化分析资料,在古地貌分析的基础上,根据岩屑组合特征、特征元素比值分布模式以及砂砾岩百分含量等参数,对渤海湾盆地东营凹陷胜坨地区沙四上亚段物源方向和砂体类型进行了分析。沙四上亚段沉积时期,胜坨地区存在两个不同的物源体系,即坨94断层上升盘物源和胜北断层上升盘物源。在这两个物源体系的控制下,主要发育近岸水下扇、湖底扇、沟道浊积岩等不同类型的砂砾岩体。其中,近岸水下扇主要发育在陈南断层下降盘,湖底扇主要发育坨94断层和胜北断层下降盘,沟道浊积岩发育在胜北断层形成的断槽中。砂砾岩体以辫状水道和沟道浊积岩储层物性最好,其主要的储集空间为裂缝和溶蚀孔隙形成的孔缝复合系统。因此,辫状水道成为油气富集的有利相带。

**关键词:**物源方向;沉积类型;沙河街组;胜坨地区;东营凹陷;渤海湾盆地

**中图分类号:**TE122.2 **文献标识码:**A

## Provenance systems and their control over sandbodies in the upper Es<sup>4</sup> of the Shengtuo area in the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin

Liu Hui<sup>1</sup> and Wang Shenglan<sup>2</sup>

(1. School of Energy Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. CNOOC Petroleum Research Center, Beijing 100027, China)

**Abstract:** An analysis of the provenances and sandbody types of the upper 4<sup>th</sup> member of Eocene Shahejie Formation (Es<sup>4</sup>) in the Shengtuo area of the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin was carried out based on an integration of seismic, logging and geochemical data, a paleogeomorphologic analysis, and a study of lithic fragment assemblage, ratio of characteristic elements and net-to-gross ratio. The results indicate that there were two different provenance systems during the deposition of the upper Es<sup>4</sup>: one on the upthrow of the Tuo-94 fault and the other on the upthrow of the Shengbei fault. Controlled by these two systems, various types of sandbodies were developed in the area, including nearshore subaqueous fan, sublacustrine fan and channel turbidite. The nearshore subaqueous fans mainly occur on the downthrow of the Chennan fault, the sublacustrine fans mainly occur on the downthrows of the Tuo-94 fault and the Shengbei Fault, while the channel turbidites occur in the trough along the Shengbei fault. It is suggested that the braided channel sandbodies and channel turbidite have the best poroperm characteristics, and their reservoir space is composed of fractures and dissolved pores. Therefore, the braided channel is a favorable facies belt for oil and gas accumulation.

**Keywords:** provenance direction, sedimentary type, Shahejie Formation, Shengtuo area, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

近年来,砂砾岩扇体油气藏已经成为中国东部断陷盆地岩性油气藏勘探的重要领域<sup>[1,2]</sup>,如渤

海湾盆地已探明油气储量中,砂砾岩扇体油气藏探明储量约 $6 \times 10^8$  t,占总探明储量的7.63%<sup>[3]</sup>。

收稿日期:2010-07-01。

第一作者简介:刘晖(1981—),男,博士研究生,沉积学。

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX05009-002);教育部油气沉积地质创新团队(IRT0864)。

沙四上亚段(沙河街组四段上亚段)沉积时期,东营凹陷胜坨地区广泛发育近岸水下扇、湖底扇等成因类型的砂砾岩扇体<sup>[1,2]</sup>,这些砂砾岩扇体已经成为东营凹陷油气勘探的重点目标,因此详细分析这些砂砾岩扇体的物源方向、砂体类型及储层特征,预测有利的储集相带,对于深化断陷盆地陡坡带砂砾岩扇体油藏勘探具有重要意义。

1 区域地质概况

胜坨地区位于东营凹陷北部陡坡断裂构造带中段<sup>[4]</sup>,北靠陈家庄凸起,南接中央断裂背斜带,西南为利津洼陷,东南为民丰洼陷,勘探面积230 km<sup>2</sup><sup>[5]</sup>(图1),自20世纪60年代钻探以来,累计石油地质储量为超过5×10<sup>8</sup> t<sup>[6]</sup>。分布在东营凹陷中北部的深大断裂,如陈南断层、胜北断层及其派生的次级断层是控制凹陷沉积发育的重要因素<sup>[7]</sup>。沙河街组四段上亚段,下部主要为灰色砾岩、砂岩夹深灰色、灰褐色泥岩,上部砂砾岩含量减少,主要为灰色、深灰色泥岩夹砂砾岩,局部含油页岩。该时期为半干旱-湿热气候<sup>[8]</sup>,较有利于母岩的机械风化,可提供充沛的物源,同时胜坨地区具有地形高差大<sup>[9]</sup>、近物源、构造活动强烈的古地理特征<sup>[10]</sup>,非常有利于砂砾岩扇体的发育<sup>[11~13]</sup>,这些扇体距油源近,并与湖相沉积呈指状接触,可形成多种类型的油气藏,成为中国东部断陷盆地岩性油气藏勘探的重要领域<sup>[14,15]</sup>。

2 物源体系分析

胜坨地区北部发育一级断层陈南断层和二级断层胜北断层、坨94断层,胜北断层和坨94断层在平面具有侧列式的组合特征(图1),在断层相会的地方形成了断层调节带,两条断层和其之间的断层调节带控制了胜坨地区沙四上亚段的沉积物分布和砂体类型。

2.1 古地貌分析

古地形控制了水流的分散方向及沉积物的堆积中心,通过恢复沉积时期的古地貌特征,可以分析沉积区域可能的物源方向。通过对层拉平地震剖面进行对比研究,可以发现沙四上亚段沉积时期,胜北断层和坨94断层下降盘古地貌存在较大差异(图2)。胜北断层下降盘在北部靠近断层附近的区域,地层明显加厚,表现为“凹槽”状,内部地震反射结构具有沟道充填的特征(图2a,b)。因此可以推测,该时期胜北断层下降盘受地层翘倾的控制,存在一条近东西向延伸的断槽,断槽的西段延伸至胜北断层和坨94断层之间的断层调节带,而构造调节带本身就是水系入湖的主要通道,因此在胜北断层下降盘有可能存在沿断槽形成的近东西向水流。而在坨94断层的下降盘地层增厚不明显,地形较为平坦,不存在类似于胜北断层下降盘的“沟槽”特征(图2c)。

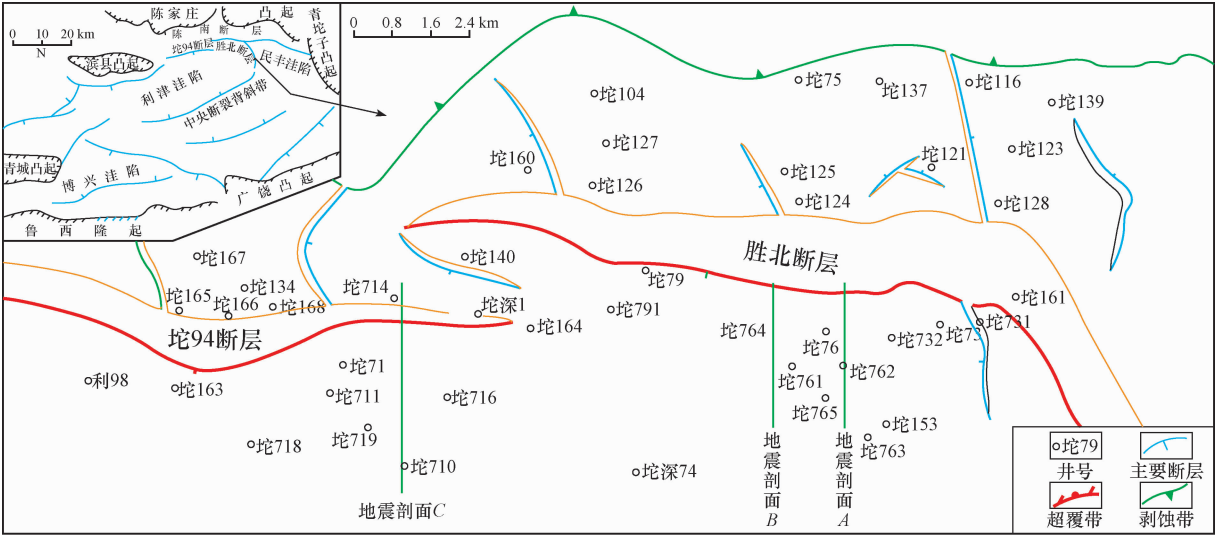


图1 东营凹陷胜坨地区区域位置及构造纲要  
Fig. 1 Map showing regional location and structure outlines of Shengtou area, the Dongying Sag

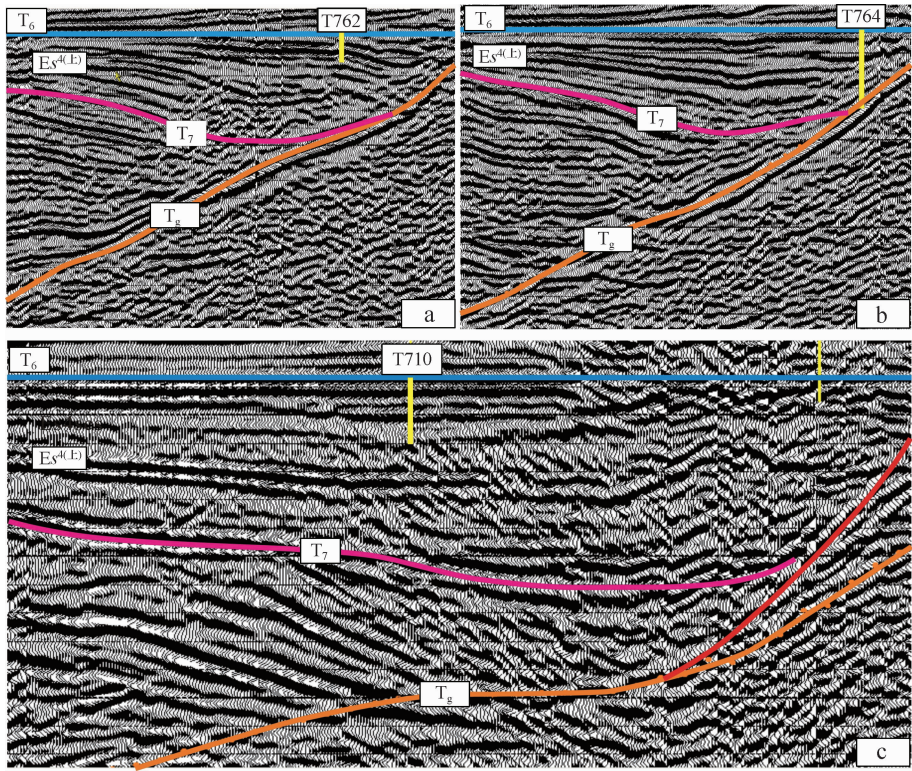


图 2 东营凹陷胜坨地区沙四上亚段地震反射特征

Fig. 2 Seismic reflectance signatures of the upper Es<sup>4</sup> in Shengtuo area, the Dongying Sag  
T<sub>6</sub>. 沙四上亚段顶界; T<sub>7</sub>. 沙四上亚段底界; T<sub>8</sub>. 基底断层界面; Es<sup>4</sup>(上). 沙四上亚段

2.2 岩屑类型对比

岩屑类型组合特征对比研究表明,胜北断层上升盘,岩屑类型组合表现为两种类型,一种为双峰型,岩屑类型主要是岩浆岩和变质岩,两者含量均较高,沉积岩含量较少,表现为岩浆岩和变质岩两个峰值;另一种类型为单峰型,岩屑类型主要是变质岩,岩浆岩和沉积岩岩屑比较低,表现为变质岩高含量的单峰型;这两种类型的共同点是岩浆岩含量高于沉积岩岩屑。在坨 94 断层上升盘,岩屑类型主要是变质岩岩屑,一般含量大于 50%,沉积岩岩屑次之,含量在 10%~40%之间,岩浆岩含量最小,一般小于 10%,表现为变质岩高峰的单峰型。

坨 94 断层下降盘,坨 710 井区表现为变质岩岩屑含量最高,沉积岩岩屑次之,岩浆岩岩屑最少,与坨 94 断层上升盘岩屑类型组合特征类似,表明坨 94 断层下降盘沉积物直接来源于其上升盘。胜北断层下降盘东段,坨 73 井区表现为变质岩岩屑最高,岩浆岩与沉积岩岩屑较少,并且岩浆

岩岩屑高于沉积岩岩屑或与之相近,与上升盘岩屑岩屑组合特征相近,表明其沉积物直接来自胜北断层上升盘。胜北断层下降盘西段,坨 761 井区表现为变质岩岩屑含量最高,沉积岩岩屑略高于岩浆岩岩屑,总体上与坨 94 断层上升盘的特征相似;而坨 76 井,坨 764 井岩浆岩岩屑含量高于沉积岩岩屑,具有和胜北断层上升盘近似的特征,表明胜北断层下降盘西段沉积物具有混源特征,既有直接来自胜北断层上升盘的沉积物,又有沿胜北断层下降盘“断槽”来自坨 94 断层上升盘的沉积物(图 3)。

2.3 特征元素含量比值

2.3.1 样品来源及特征元素含量比值的选取

样品资料来自胜利油田地质院用 ICP-AES (电感耦合等离子炬-原子发射光谱分析)法所测得的 Zn, Co, Ni, Mn, Fe, Mg, V, Al, Sr, Ca, Ba, Na 和 K 等 13 种元素的含量,选取胜坨地区 19 口井 111 个样品的分析化验结果,根据文献[16]所提供的

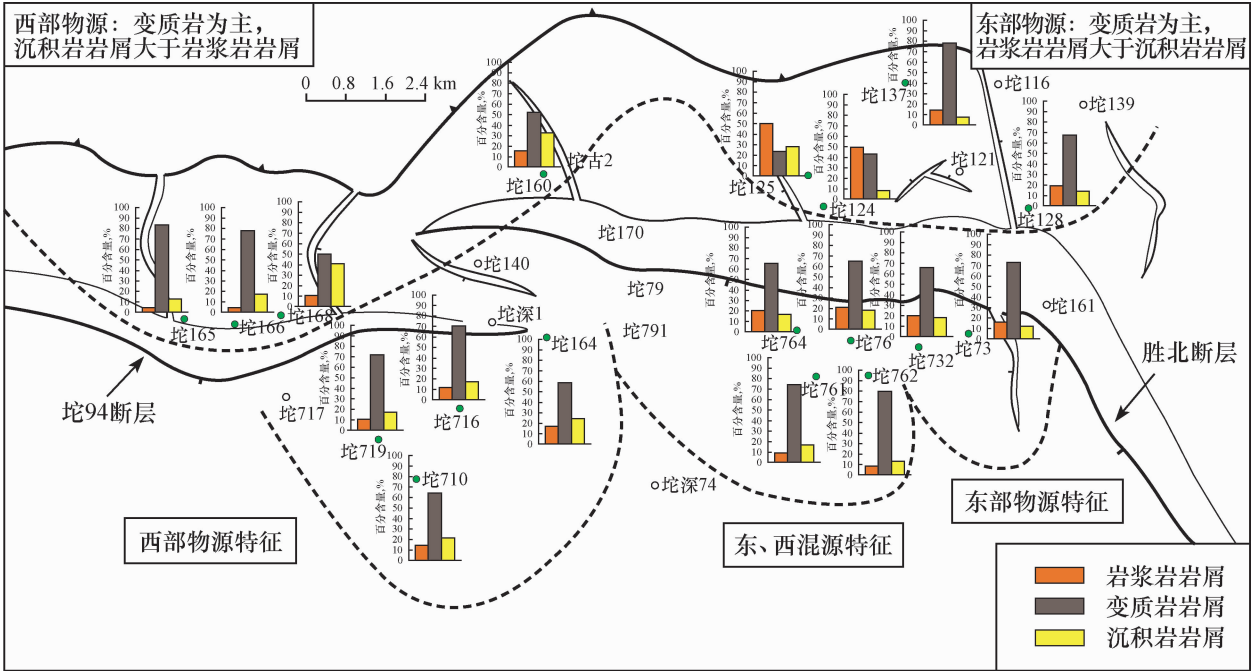


图3 东营凹陷胜坨地区沙四上亚段岩屑类型组合特征

Fig.3 Characteristics of lithic fragment assemblages of the upper Es<sup>4</sup> in Shengtuo area,the Dongying Sag

理论依据<sup>[16]</sup>,结合研究区的实际情况,选取了 Ni/Co、V/Co、Mg/Mn、Mn/Sr、Ba/Mn、Fe/K、Mg/Ca、Ba/Sr、Al/Mg、Al/Na 10 个特征元素比值作为物源示踪指标。

2.3.2 特征元素含量比值分布模式

该方法是指通过选取多个可靠的特征元素含量比值作为物源示踪指标,绘制特征元素比值分布模式图,根据沉积区与物源区特征元素比值分布模式的相似程度,判断沉积物物源方向。对取得的样品分别计算 Ni/Co、V/Co、Mg/Mn、Mn/Sr、Ba/Mn、Fe/K、Mg/Ca、Al/Na、Ba/Sr、Al/Mg 含量比值,绘制每块样品的特征元素比值分布模式(图4),其特征如下。

1) 东部物源特征元素比值分布模式表现为单峰型,Mg/Mn 值较高,一般大于 20,最高可到 120,其他比值均小于 5;西部物源特征元素比值分布模式表现为弱双峰型,Mg/Mn 相对较高,一般大于 10 但小于 40,Al/Mg 值(5~10)较东部物源有所上升,使模式图表现为“翘尾”的特征。

2) 坨 94 断层下降盘坨 719 井等 5 口井特征元素比值分布模式总体表现为 Mg/Mn 值(10~40)相对较高,模式图尾部轻微上翘,与西部物源特征相近。

3) 胜北断层下降盘东段坨 73 井区特征元素比值分布模式总体表现为 Mg/Mn 高值(大于 20)单峰特征,与东部物源特征相近。

4) 胜北断层下降盘西段,坨 761 等 4 口井特征元素含量比值分布模式特征表现为 Mg/Mn 值(15~60)介于西部和东部物源之间,Al/Mg 值升高造成模式图尾部上翘,因此其物源表现为东西混源的特征。

2.4 砂砾岩分布

一个沉积盆地中,正常沉积作用下沿着水流方向沉积地层中砂砾岩百分含量逐渐降低。因此,利用沉积地层中砂砾岩含量平面变化可判断物源和古水流方向。根据砂砾岩百分含量等值线图(图5),胜坨地区胜北断层下降盘和坨 94 断层下降盘沙四上亚段段沉积时期存在多个物源方向。坨 94 断层下降盘物源主要来自断层上升盘;胜北断层下降盘物源主要来自两个方向,一个来自上升盘的南北向物源,一个是基本上沿断层走向的近东西向物源。

综合以上多方面的信息,胜坨地区沙四上亚段沉积时期,由于坨 94 断层和胜北断层的控制,进入断层上升盘的沉积物在搬运过程中存在多个物源分散方向(图5),从而使下降盘沉积物具有



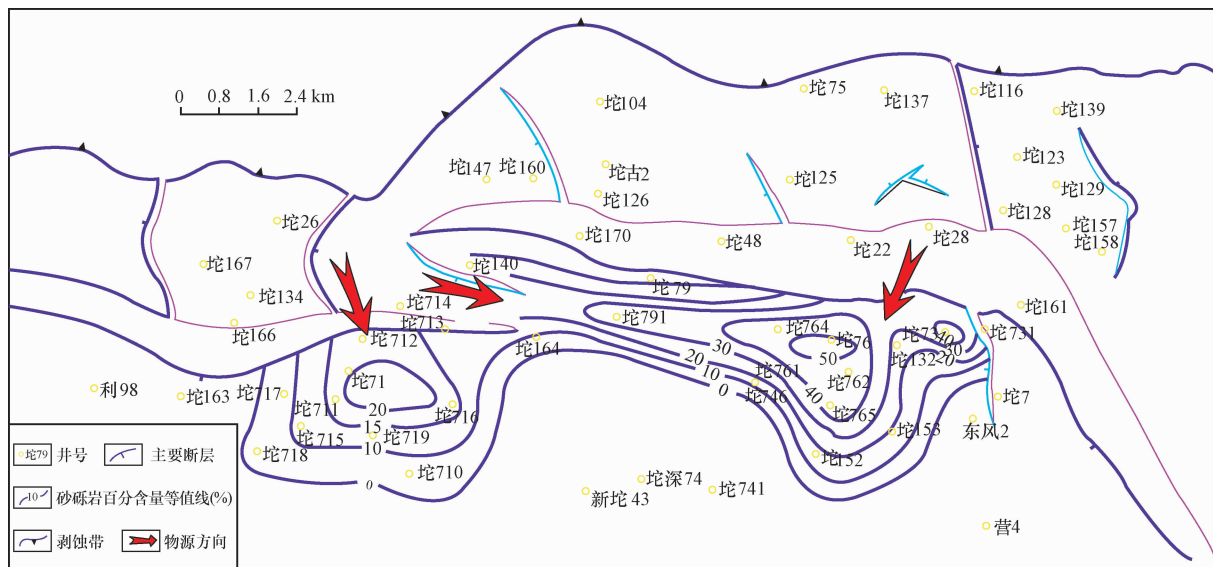


图5 东营凹陷胜坨地区下降盘沙四上亚段砂砾岩百分含量

Fig. 5 Contour map of net-to-gross ratio of the upper Es<sup>4</sup> on the downthrown of Shengtuo area, the Dongying Sag

不同的来源。坨 94 断层下降盘物源简单,沉积物直接来自于坨 94 断层上升盘。胜北断层下降盘东段沉积物直接来自胜北断层上升盘,物源单一;下降盘西段既有来自胜北上升盘的南北向物源,又有沿断槽来自坨 94 断层上升盘的近东西向物源,两个方向的物源在坨 764 井区产生混源沉积,物源复杂。

### 3 砂体类型及储层特征

### 3.1 砂体类型

在物源体系的控制下,胜坨地区沙四上亚段沉积时期主要发育近岸水下扇、湖底扇、沟道浊积岩等类型的砂砾岩体(图6)。

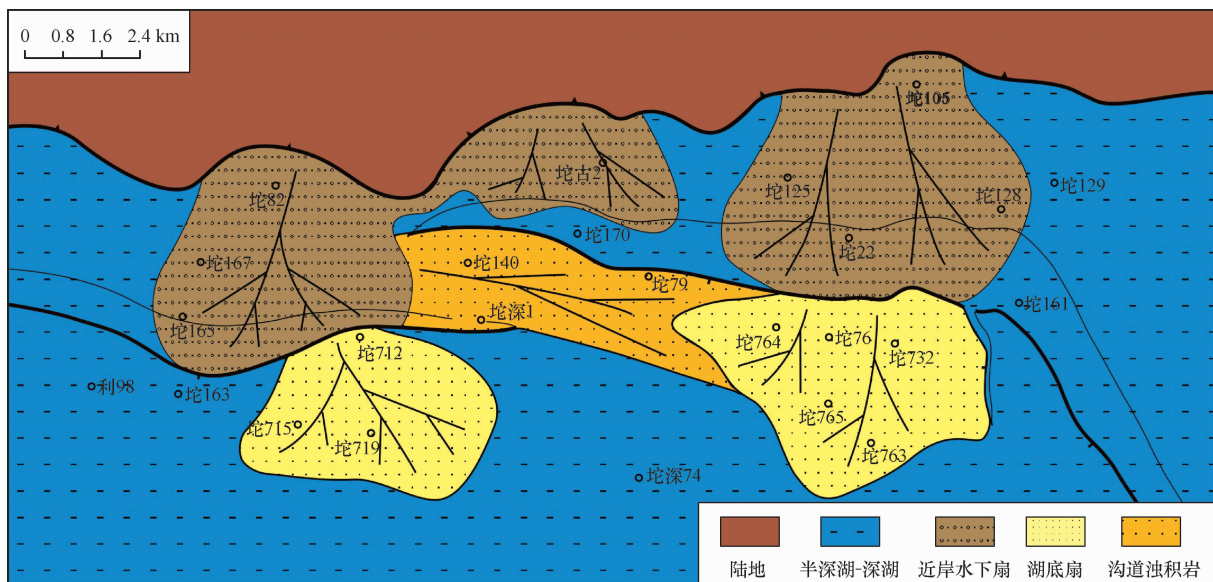


图6 东营凹陷胜坨地区沙四上亚段沉积相平面分布特征

Fig. 6 Map showing sedimentary facies of the upper Es<sup>4</sup> in Shengtuo area, the Dongying Sag

近岸水下扇在盆地边缘陈南断层下降盘连片展布。内扇主水道发育,以厚层块状的砂砾岩、砾质砂岩为主,基本不发育沉积构造;扇中以发育辫状水道为特征,由含砾粗-中砂岩组成,常见粒序层理、平行层理及底冲刷构造;扇端主要为泥岩夹薄层粉砂岩、粉细砂岩,发育球枕、砂岩脉等变形构造。在垂向上,由下向上一般依次发育内扇、中扇和外扇,显示正旋回沉积层序。

湖底扇在坨 94 断层和胜北断层下降盘广泛发育。湖底扇内扇一般不发育,岩性主要为一套杂基支撑的混杂砾岩,分选性差,发育块状混杂结构;中扇辫状水道是扇体的主体部分<sup>[17]</sup>,主要由含砾砂岩、块状砂岩夹薄层泥岩组成,递变层理和变形层理发育,底部具冲刷面,水道间较细粒沉积物中多见不完整的鲍玛序列、砂纹交错层理、同生变形构造;外扇主要为暗色泥岩夹薄层粉砂岩、细砂岩,泥质沉积物中沉积构造以平行层理居多。总体上自下而上内扇、中扇、外扇依次叠加,多表现为由粗变细的正旋回特征。

沟道浊积岩主要发育在胜北断层下降盘控制的断槽中。沟道浊积岩以砂岩、含砾砂岩夹薄层泥岩为主,沉积特征与湖底扇辫状水道相似,递变层理、叠覆递变层理、滑塌变形构造和泥岩撕裂屑等典型重力流成因特征的沉积构造非常发育。沟道浊积岩在断槽东段与湖底扇沉积交汇,形成沟道浊积岩与湖底扇复合沉积。

3.2 储层特征

近岸水下扇、湖底扇和沟道浊积岩等沉积砂体,由于沉积环境、岩性组合及粒度结构等存在差异,各微相储集物性也存在明显不同(图 7)。近岸水下扇各微相中,中扇辫状水道物性最好,水道间次之,内扇主水道物性最差;湖底扇各微相中中扇辫状水道物性最好,内扇主水道次之,中扇水道间物性最差,总体来看,湖底扇物性好于近岸水下扇物性。在近岸水下扇、湖底扇各微相砂体以及沟道浊积岩砂体中,近岸水下扇和湖底扇中扇辫状水道砂体、沟道浊积岩砂体储层物性最好,成为油气赋存的主要砂体类型。同时,勘探实践也证实辫状水道砂体和沟道浊积岩砂体具有良好的含油气性,例如坨 764 井 3 947.5~3 970.0 m 湖底扇辫状水道砂体日产油 15.21 t,日产气 1 043 m<sup>3</sup>,坨 165 井 3 385.1~3 397.1 m 近岸水下扇辫状水道砂体日产油 99.4 t,日产气 2.359 m<sup>3</sup>。

辫状水道和沟道浊积岩砂体之所以能够成为有利的储油相带,主要是因为辫状水道和沟道浊积岩岩性主要为含砾砂岩、叠覆冲刷粗砂岩、典型浊积岩等,砂砾岩杂基含量较低、颗粒支撑、分选中等偏差、厚度中等,原始物性条件优越,同时利于后期成岩流体的改造;烃源岩中有机质热演化成熟过程中产生的大量有机酸能够有效地进入这些砂体中,形成大量次生孔隙<sup>[18]</sup>;沙四上

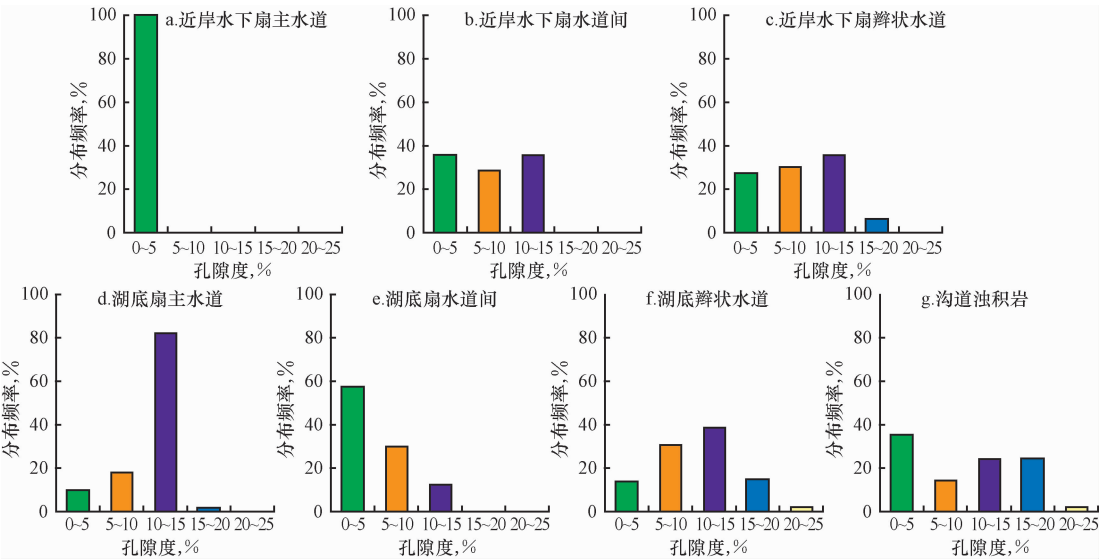


图 7 东营凹陷胜坨地区沙四上亚段不同砂体孔隙度分布频率

Fig. 7 Porosity frequency distribution of various sandbodies in the upper Es<sup>4</sup> in Shengtuo area, the Dongying Sag

亚段地层普遍存在超压现象<sup>[19]</sup>,抑制了压实作用和胶结作用的进行,使砂砾岩中储集空间得以良好地保存<sup>[20]</sup>;此外,超压还可以使砂砾岩中形成一系列的超压微裂缝,极大地改善了砂砾岩体的孔渗性。因此,辫状水道和沟道浊积岩砂体具有良好的储层物性,成为有利的油气储集砂体。

4 结论

1) 胜坨地区沙四上亚段段沉积时期存在两大物源体系,即坨 94 断层上升盘物源和胜北断层上升盘物源,坨 716 井等井区物源主要来自坨 94 断层上升盘;胜北断层下降盘东段坨 73 井区物源主要来自胜北断层上升盘,西段坨 764 井区及以西区块既有来自胜北上升盘的南北向物源,又有沿沟道来自坨 94 断层上升盘的近东西向物源。

2) 近岸水下扇、湖底扇、沟道浊积岩是研究区主要的砂砾岩类型。近岸水下扇主要发育在陈南断层下降盘,湖底扇主要发育坨 94 断层、胜北断层下降盘,沟道浊积岩发育在胜北断层形成的断槽中;砂砾岩体以辫状水道和沟道浊积岩储层物性最好,是油气富集的有利相带。

致谢:文章在写作过程中得到了中国石油大学(华东)地球资源与信息学院操应长教授的指导帮助,在此致以最诚挚的感谢!

参 考 文 献

1 林松辉,王华,王兴谋,等. 断陷盆地陡坡带砂砾岩扇体地震反射特征——以东营凹陷为例[J]. 地质科技情报, 2005, 24(4):55~59,66

2 孙龙德. 东营凹陷北部斜坡带沙三—四段砂砾岩体与油气聚集[J]. 沉积学报,2003,21(2):278~282

3 袁选俊,谯汉生. 渤海湾盆地富油气凹陷隐蔽油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质,2002,23(2):130~133

4 黄文科,戴俊生,窦之林,等. 胜坨油田储层砂体建筑结构分析[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2007,29(3):32~35

5 孙永壮. 东营凹陷胜坨地区沙河街组沉积体系及其油气源特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(6):24~30

6 李春华,祝传林,王风华. 东营凹陷胜坨地区沙三沙四段扇体特征与岩性油气藏[J]. 石油大学学报(自然科学版),2003,27(3):14~21

7 朱光有,金强,周建林,等. 济阳坳陷胜坨油田原油物性及其成因探讨[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):9~13

8 卓勤功,蒋有录,隋风贵. 渤海湾盆地东营凹陷砂岩透镜体油藏成藏动力学模式[J]. 石油与天然气地质,2006,27(5):620~629

9 姜在兴,杨伟利,于雯泉,等. 湖缘峡谷及其含油性[J]. 地学前缘,2005,12(3):186~193

10 鄢继华,陈世悦,姜在兴. 东营凹陷北部陡坡带近岸水下扇沉积特征[J]. 石油大学学报(自然科学版),2005,29(1):12~16

11 Kneller B C, Branney M J. Sustained high-density turbidity currents and the deposition of thick massive sands [J]. Sedimentology,1995,42:607~616

12 Dasgupta P. Architecture and facies pattern of a sublacustrine fan, Jharia Basin, India [J]. Sedimentary Geology,2002,148:373~387

13 Jiang Z X, Chen D Z, Qiu L W, et al. Source-controlled carbonates in a small Eocene half-graben lake basin (Shulu Sag) in central Hebei Province, North China [J]. Sedimentology,2007,54:265~292

14 袁选俊,谯汉生. 渤海湾盆地富油气凹陷隐蔽油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质,2002,23(2):130~133

15 张晶,王伟锋,荣启宏,等. 东营凹陷民丰洼陷沙河街组三段岩性油藏控制因素[J]. 石油与天然气地质,2007,28(2):235~239,249

16 操应长,王艳忠,徐涛玉,等. 特征元素比值在沉积物物源分析中的应用[J]. 沉积学报,2007,25(2):230~238

17 盛文波,操应长,刘晖,等. 东营凹陷古近纪控盆断层演化特征及盆地结构类型[J]. 石油与天然气地质,2008,29(3):290~296

18 Meng Y L, Li B, Wang Z G, et al. Overpressure retardation of organic acid generation and clastic reservoirs dissolution in central Huanghua Depression [J]. Petroleum Exploration and Development,2008,35(1):40~43

19 刘晖,操应长,姜在兴,等. 渤海湾盆地东营凹陷沙河街组四段膏盐岩及地层压力分布特征[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):287~293

20 Wilkinson M, Darby D, Haszeldine R S, et al. Secondary porosity generation during deep burial associated with overpressure leak-off, Fulmar Formation, UK Central Graben [J]. AAPG Bulletin, 1997,81:803~813

(编辑 董 立)