

刘杰, 操应长, 樊太亮, 等. 东营凹陷民丰地区沙三段中下亚段物源体系及其控储作用[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1399-1410.  
Liu Jie, Cao Yingchang, Fan Tailiang, et al. An analysis of the source system and its effect on the reservoir of the middle-lower submember of 3<sup>rd</sup> Member of Shahejie Formation in Minfeng area, Dongying depression[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1399-1410(in Chinese with English abstract).

# 东营凹陷民丰地区沙三段中下亚段物源体系及其控储作用

刘 杰<sup>1,2</sup> 操应长<sup>3</sup> 樊太亮<sup>1,2</sup> 刘惠民<sup>4</sup>

(1. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 4. 中国石化胜利油田分公司地质科学研究院, 山东 东营 257015)

**摘要:** 民丰地区是东营凹陷油气勘探中的重要部分, 其中物源体系分析对沉积体系研究及储层评价工作的开展具有重要意义。古地貌控制了沉积体系展布的基本格局, 陈南断层下降盘、民丰洼陷腹部以及辛镇地区为砂体沉积提供了所需的可容纳空间。特征元素分析以及砂分散体系研究表明, 沙三段中下亚段沉积时期, 民丰地区发育了三大物源体系, 沉积原始组分的供给主要来自北部陈家庄凸起、东部青坨子凸起以及南部盆外水系的注入。在该时期, 辛镇地区 F1、F2 主断裂形成的构造调节带可作为南北向物源输送通道, 东部物源体系控制下的沉积体系南端与南部盆外水系的北部分支于辛镇地区发生交汇。由于沉积原始组分是储层发育的基础, 因此, 不同物源体系控制下的沉积原始组分造成了储层储集空间及物性特征的差异性。混源区与东部物源控制下的储集体为三角洲前缘相带, 弱压实, 粒间原生孔发育, 孔、渗性良好, 优于南部以及北部物源体系控制下的储层物性, 但南部储层含油性高于东部, 混源区储层含油性最好。

**关键词:** 东营凹陷; 民丰地区; 沙三段中下亚段; 物源分析; 储集特征

中图分类号: TE121.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2014)04-1399-12

东营凹陷民丰洼陷沉积体系紧邻沙三段下亚段油页岩分布, 具有非常优越的油源条件, 可形成良好的生储盖配置和有利的圈闭构造条件, 具备形成隐蔽性岩性油气藏的潜力和可能性<sup>[1]</sup>。经勘探证实, 自 20 世纪 60 年代以来, 该区沙三中亚段储层中见到良好的油气显示, 1995 年丰 11 块上报探明储量  $74 \times 10^4 \text{t}$ , 民丰洼陷北斜坡区的永安镇油田已发现储量超过  $5000 \times 10^4 \text{t}$ <sup>[2]</sup>, 但由于物源体系发育规律及沉积体系展布认识不清, 严重阻碍了该区岩性油气藏的识别和预测<sup>[1]</sup>。

## 1 地质背景

民丰洼陷位于东营凹陷东北部, 北以坨一胜一永断裂带为界, 与陈家庄凸起相邻, 东经青坨子凸起, 南至中央隆起带东段辛镇构造带<sup>[3-4]</sup>。区内北部主要发育坨一胜一永断裂带东段<sup>[5]</sup>的永安镇断裂带(图 1), 近 NWW 向展布<sup>[6]</sup>。辛镇构造位于中央隆起带东部, 是一个轴向近 EW 不对称的狭长背斜, 主要由北翼的营 8 断层控制<sup>[7]</sup>。沙三段整合于沙四段之上, 主要处于湖盆的断陷发育期<sup>[8]</sup>。

收稿日期: 2013-08-09; 改回日期: 2014-04-21

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05006-003; 2011ZX05051-001)资助。

作者简介: 刘杰, 女, 1987 年生, 博士生, 主要研究方向为沉积学和层序地层学; E-mail: liujie\_cugb@aliyun.com。

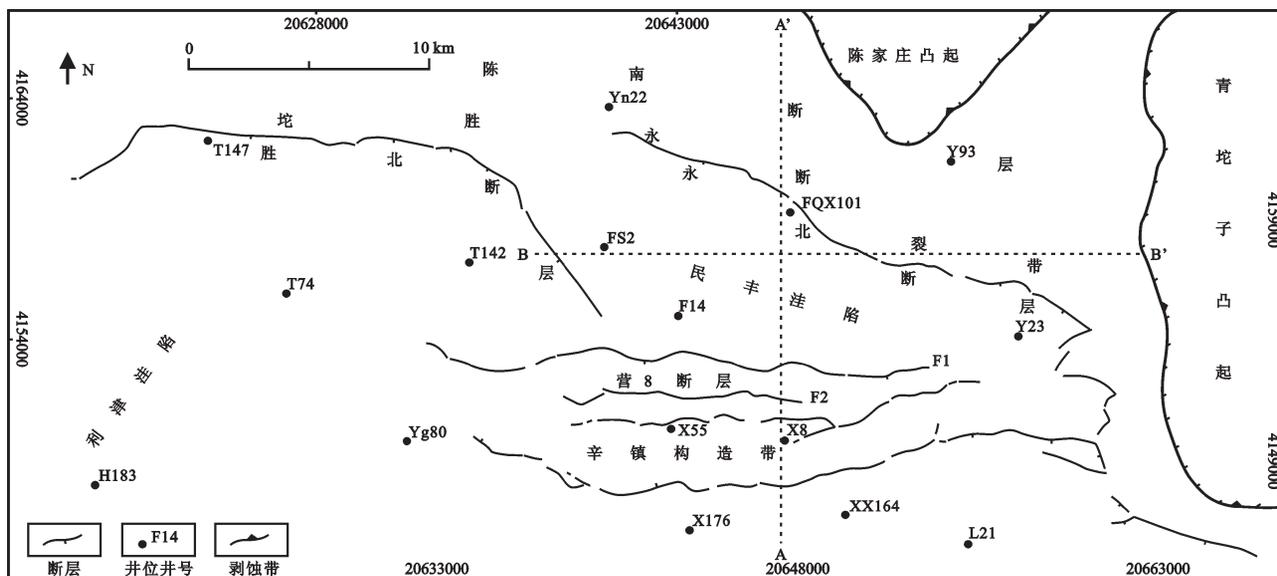


图1 东营凹陷民丰地区区域概况图

AA'—南北向区域地震剖面;BB'—东西向区域地震剖面;F1、F2—营8断裂发育早期形成的南倾断层

Fig.1 Sketch map of Minfeng area in Dongying depression

AA'-NS-trending seismic reflection section; BB'-EW-trending seismic reflection section; F1, F2-south-dipping faults of early stage of Ying 8 fault zone

## 2 物源体系识别及其特征

### 2.1 古地貌分析

古地貌形态是物源输送通道形成的基础,在空间上控制着砂体沉积所需的可容纳空间。沙三段中下亚段( $E_3^{1-2}$ )沉积时期,民丰洼陷北部陈南断层下降盘在靠近盆地边部地层厚度较大,向湖盆中央收敛。图2-A(剖面位置见图1中A-A')为顺倾向纵剖面,T4~T6地震反射层之间地层整体呈楔形,其间多为斜交-前积反射结构,可见强反射。这表明,北部陈家庄凸起向陈南断层下降盘提供了物源供给,发育了一定规模的砂砾岩体沉积,但沉积展布范围有限。图2-B东西向地震剖面(剖面位置见图1中B-B')显示,自东向西,为明显的三角洲斜交-S型前积反射结构。平衡剖面恢复结果表明<sup>[9]</sup>,青坨子凸起在沙三段沉积时期,持续处于抬升剥蚀状态,因此推测东部青坨子凸起可向民丰洼陷提供物源。现今研究区南部的辛镇构造带为一个复杂的负花状断裂系统,下部塑性层发育为盐底辟构造<sup>[7,10-11]</sup>。辛镇构造带演化历史表明,营8断层F1和F2主断裂(图1)形成于沙三段上部地层开始沉积之前<sup>[7]</sup>,但直至沙二段上部地层沉积前,才产生两条反向断层<sup>[7,10]</sup>。同时,前人研究认为东营凹

陷的中央背斜式底辟构造带在沙三段沉积以后开始发育<sup>[12]</sup>。这表明在沙三段中下亚段沉积时期,辛镇地区地层发育较为齐全,基本未受到盐底辟拱升作用影响(图2-A),其主断裂F1、F2所形成的构造调节带,可作为辛镇地区南北向的物源输送通道。研究区南部北西向地震前积反射结构特征明显<sup>[13]</sup>,这表明南部盆外水系经广饶凸起,向东营凹陷盆内注入,其北部分支水系与东部物源体系的南部于辛镇地区F1、F2主断裂带附近发生混源沉积。

### 2.2 特征元素分析

基于古构造格局分析的基础上,选取典型特征元素比值,作为示踪指标,据相似性就可以确定研究区目的层段地层的物源方向<sup>[14-16]</sup>。采用Ni/Co、V/Co、Mg/Mn、Mn/Sr、Ba/Mn、Fe/K、Mg/Ca、Ba/Sr、Al/Mg、Al/Na等10个常用的特征元素比值作为物源示踪指标。通过分析研究区24口井154个样品点特征元素比值的分布模式,进行该区物源体系的分析。研究区主要存在3种类型的特征元素比值分布类型(图3):

研究区北部Yn100、Y92和YnX183井,基本反映了北部物源体系特征元素分布特征。特征元素谱图为三峰型,Mg/Mn、Ba/Mn和Al/Mg均为高值,



其中Ba/Mn值最高,一般大于20,最高可达140左右,Mg/Mn值相对较高,一般为20~80,Al/Mg值一般为15~50;其他比值变化不大,一般小于10。

研究区东部Y31和Y101井,特征元素谱图为单峰型,Mg/Mn值为高值,其范围一般为20~50,相比于北部物源体系,其值相对较低;其他比值也较低,一般小于10。向盆地内部,X163与Yg544井等仍保持Mg/Mn高值,北部至T158,南部至X165井,单峰型特征明显,均受到东部物源体系的控制。

研究区南部地区Y116、X301及XX167井,特征元素谱图与北部物源体系一样,为三峰型,并且同样为Mg/Mn、Ba/Mn和Al/Mg高值,但是比值相对较低,Mg/Mn值一般为20~50,Ba/Mn值一般小于30,Al/Mg值一般为10~30,其余比值一般小于10。

由此可见,研究区内存在三大物源体系,分别为北部物源、东部物源和南部物源体系,并且在研究区中部X301井区附近特征元素谱图南北两侧差异性较大,该位置恰处于民丰洼陷南缘辛镇构造F1、F2断裂带,推测东部物源体系控制下的沉积体系南端与南部向北西进积的沉积体系在此处发生混源沉积(图3)。

### 2.3 砂分散体系分析

为进一步论证三大物源体系控制下的砂分散体系展布特征并精细刻画东部和南部混源沉积的演化过程,采用高精度层序格架约束下的砂分散体系重建物源—沉积体系<sup>[17]</sup>,并精细刻画物源推进方向、完善物源体系<sup>[18]</sup>。对于同一个沉积体系而言,一般的规律是距离物源区越近,砂体厚度越大、含砂率值越高<sup>[19-21]</sup>。在高精度层序格架建立的基础上<sup>[22]</sup>(图1),绘制了研究区沙三段中下亚段10个五级层序的砂砾岩百分含量等值线图,对研究区物源体系特征进行精细分析。

X2和X1五级层序发育时期,砂砾岩百分含量等值线分布范围小,主要集中在研究区东部和北部,向盆地中心砂砾岩百分含量逐渐降低,反映了该时期沉积物物源主要来自东部和北部,但规模小(图4-A、B)。

Z8和Z7五级层序发育时期,砂砾岩百分含量等值线仍然主要分布在研究区东部,北部分布范围小,南部开始发育小规模砂砾岩,但百分含量低,分布范围小,表明该时期沉积物物源仍然以东部为

主,南部物源开始发育(图4-C、D)。

Z6五级层序发育时期,砂砾岩百分含量等值线主要分布在研究区东部、南部和北部,东部和南部等值线分布范围均明显增大,砂砾岩含量明显增高,北部等值线分布范围有所扩大,东部和南部砂砾岩百分含量等值线在研究区中部开始发生交汇,反映了研究区北部、东部和南部物源并存,并且东部和南部物源规模明显增大,在辛镇构造带开始发生混源沉积(图4-E)。

Z5和Z4五级层序发育时期,砂砾岩百分含量等值线主要分布在研究区东部和南部地区,分布范围广,砂砾岩百分含量高。至Z4期东部、南部和北部砂砾岩分布范围进一步扩大,东部和南部等值线仍在研究区中部发生交汇,表明研究区主要发育东部和南部物源,物源体系规模呈现继承发育特征,在辛镇构造F1、F2断裂带附近形成混源区(图4-F、G)。

Z3五级层序发育时期,砂砾岩百分含量等值线主要分布在研究区东部和南部,但分布范围明显向盆内迁移,砂砾岩含量较高。这表明东部物源供给的砂体受到胜北断层东段构造调节带控制,主要沿北西向断槽展布。北部砂砾岩百分含量等值线分布范围减小(图4-H)。

Z2和Z1五级层序发育时期,砂砾岩百分含量等值线主要分布在研究区东部和南部,分布范围广,砂砾岩百分含量高,北部砂砾岩分布范围小。至Z1期,东部砂砾岩沉积范围整体扩大,同时其北部边界进一步向北迁移,而南部砂砾岩逐渐向研究区南部退积,两者仍在研究区中部交汇,反映了该时期研究区东部物源体系强度持续增强,而南部物源体系强度减弱,两者在研究区中部混源,北部物源体系强度减弱,并渐趋消亡(图4-I、J)。

### 2.4 砂岩碎屑组分分析

碎屑颗粒受成岩作用影响较小,在最大程度上保持了母岩的性质<sup>[23-24]</sup>,可直观反映物源区和沉积盆地的构造环境<sup>[25]</sup>。同时,沉积原始组分又是储层发育的基础,一定程度上控制着储层发育特征。因此,在砂分散体系分析的基础上,针对不同物源体系下及混源区的砂质碎屑颗粒组分和结构进行分析。

通过对研究区38口井404块样品的石英、长石、岩屑(沉积岩岩屑、变质岩岩屑和岩浆岩岩屑)的相对含量进行统计发现(表1),北部Yn18井区碎屑颗

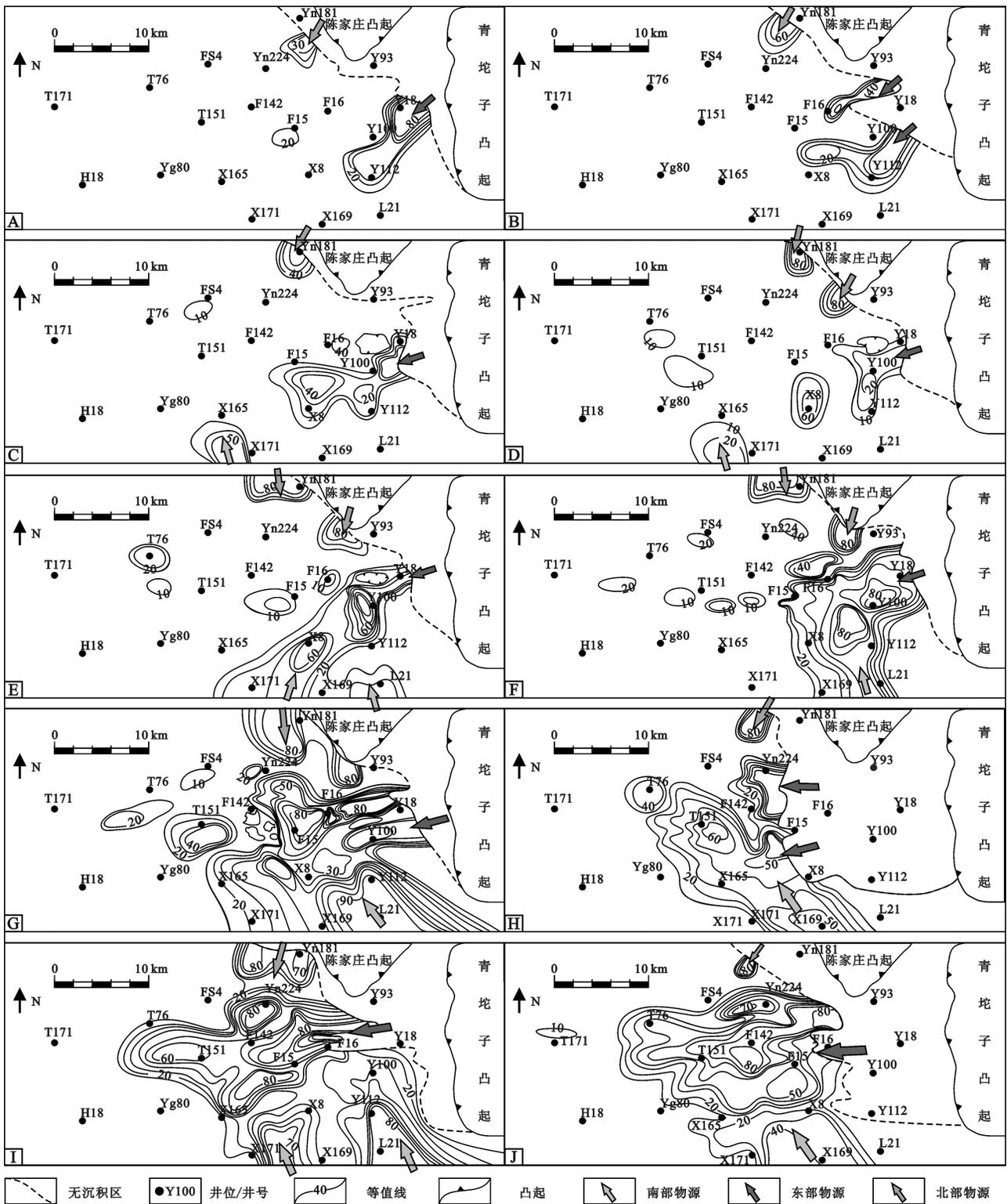


图4 民丰地区沙三段中下亚段砂砾岩百分含量等值线图  
 Fig.4 Map of sandy disperse system in Minfeng area

粒组分特征明显,石英含量相对较低,多为30%~40%,长石含量相对较高,含量多为40%~50%,岩屑含量相对较高(20%~80%),其中变质岩岩屑含量最高,其含量变化范围为20%~80%,沉积岩岩屑和岩浆岩岩屑含量少。同时薄片鉴定资料显示,石英、长石、岩屑的磨圆度为次棱角状。东部和南部碎屑颗粒组分特征基本相似。东部Y211井区和南部X139井区碎屑颗粒组分中石英含量相对较高(35%~60%),长石含量次之(25%~40%),岩屑含量最低(5%~35%),其中变质岩岩屑含量较高(5%~25%),同时含一定量的岩浆岩岩屑(0~5%),几乎不含沉积岩岩屑。然而,薄片鉴定表明Y211井区碎屑颗粒粒度整体偏粗,由盆地边部向中央碎屑颗粒磨圆度依次由棱角-次棱角到次圆状,而X139井区碎屑颗粒粒度偏细,颗粒磨圆

度主要为次棱角状。

由此进一步统计北部、东部和南部碎屑颗粒中值(M)与岩性特征(图5),北部Yn18井区碎屑颗粒粒度较粗,M范围变化较大,主要集中在-1~2Φ,分选较差,主要以含砾砂岩、砾岩为主,同时含少量中-粗砂岩及粉细砂岩;东部Y211井区碎屑颗粒粒度较北部略细,M范围变化较大,主要集中在1~5Φ,分选较差,岩性主要以粉-细砂岩为主,含有一定的含砾砂岩及少量的中-粗砂岩;南部X139井区碎屑颗粒粒度较细,M范围变化不大,主要集中在2~4Φ,分选较好,岩性仍以粉-细砂岩为主,有一定的含砾砂岩,几乎不发育中-粗砂岩。

北部、东部、南部Qt/(F+L)比值依次为0.51、0.76、0.90(表1),这表明北部物源体系碎屑成分成

表1 民丰地区沙三段中下亚段砂岩碎屑组分(%)特征  
Table 1 Characteristics of sandy clastic compositions (%) in Minfeng area

| 物源方向  | Qt    | F     | P     | K     | L     | Lv    | Lm    | Ls    | Qt/(F+L) | F/L  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------|
| 北部最大值 | 48.00 | 52.00 | 32.00 | 32.00 | 86.50 | 8.00  | 80.00 | 15.00 |          |      |
| 北部最小值 | 9.00  | 5.00  | 2.00  | 3.00  | 13.00 | 0.00  | 4.00  | 0.00  |          |      |
| 北部平均值 | 32.74 | 38.06 | 19.22 | 18.86 | 27.94 | 2.18  | 24.13 | 2.24  | 0.51     | 1.52 |
| 东部最大值 | 57.00 | 41.00 | 22.00 | 22.00 | 32.00 | 20.00 | 21.00 | 4.00  |          |      |
| 东部最小值 | 37.00 | 27.00 | 12.00 | 13.00 | 7.00  | 0.00  | 3.00  | 0.50  |          |      |
| 东部平均值 | 42.38 | 35.11 | 18.20 | 17.00 | 22.21 | 8.76  | 11.38 | 2.14  | 0.76     | 1.74 |
| 南部最大值 | 55.00 | 40.00 | 19.00 | 25.00 | 28.00 | 12.00 | 21.00 | 3.00  |          |      |
| 南部最小值 | 42.00 | 28.00 | 13.00 | 12.00 | 10.00 | 2.00  | 4.00  | 0.00  |          |      |
| 南部平均值 | 46.78 | 34.11 | 16.00 | 18.19 | 18.39 | 4.67  | 11.74 | 1.98  |          |      |

注:Qt—稳定的石英颗粒;F—单晶长石颗粒(F=P+K);P—斜长石;K—钾长石;L—不稳定的多晶岩屑总量(L=Lv+Lm+Ls);Lv—火山岩岩屑;Lm—变质岩岩屑;Ls—沉积岩岩屑。

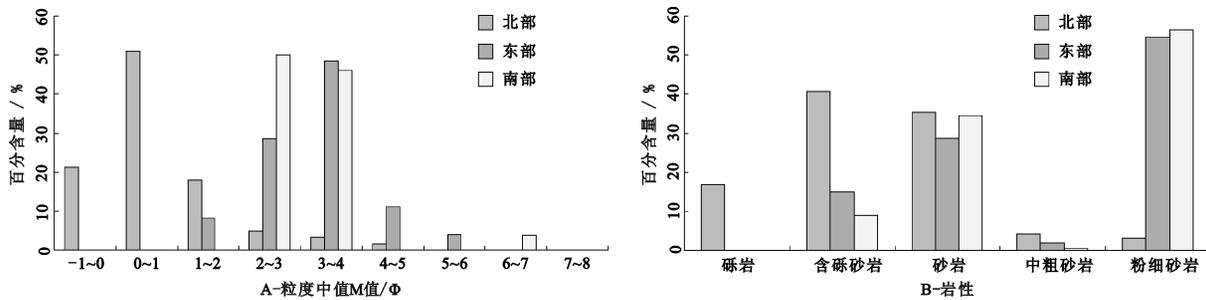


图5 民丰地区沙三段中下亚段粒度中值(A)及岩性(B)特征  
Fig.5 Characteristics of median grain size(A)and lithology(B)in Minfeng area

熟度最低,而东部和南部物源体系经历了相对较长的搬运历史。F/L 比值也显示,三大物源体系均发育了岩屑质长石砂岩,这表明砂岩的成熟度均不高,并且由北部、东部到南部物源,其源岩依次受到地形切割程度加深。

研究区北部陡坡带碎屑颗粒组成熟度低,粒度较粗,反映为近源、粗碎屑沉积;东部物源经历了一定距离的搬运,以粉细砂为主,粒度整体偏粗,分选较差,向盆内磨圆度逐渐变好;南部物源经历了相对较长的搬运历史,形成了岩性以粉-细砂为主的沉积,分选较好。

综合上述信息,民丰地区于沙三段中下亚段沉积时期,分别发育了三大物源体系,受到古构造格局的控制,砂体主要沉积在北部陈南断层下盘、民丰洼陷腹部及南部辛镇地区。砂分散体系较特征元素更进一步表明,南部与东部物源体系控制下的沉积体系于辛镇构造F1、F2主断裂带附近发生混源沉积。同时,不同物源体系及混源沉积控制下的砂质碎屑组分及结构也具有显著特征,而沉积原始组分是储层发育的基础,控制着储层的物性及含油性。

### 3 物源体系控制下的储层发育特征

#### 3.1 砂体成因类型

受北部物源体系的控制,研究区北部主要发育扇三角洲沉积,其沉积构造类型多样,主要发育块状层理、平行层理及冲刷充填构造,局部发育泥砾及泥岩撕裂屑等沉积构造。研究区扇三角洲沉积水动力较强,兼具重力流和牵引流特征。扇三角洲主要发育前缘水下分流河道沉积,其沉积相序一般表现为正序特征,底部发育冲刷充填构造,一个单一相序底部一般发育含砾粗砂岩,向上逐渐演变为含砾细砂岩、粗砂岩、中砂岩及细砂岩等,垂向上常呈现为多个正序叠加的特征。在水下分流河道间湾中,相序特征不明显,一般表现为粉砂岩与泥岩互层沉积。

三角洲沉积广泛发育于研究区东部和南部,在沙三段中下亚段沉积时期,是该区最主要的沉积相类型,如前所述,地震剖面中前积反射特征十分明显(图2),研究区现今保存的主要为三角洲前缘沉积,主要包括水下分流河道、河口坝、席状砂等沉积微相,其中水下分流河道及河口坝沉积是研究区三

角洲前缘沉积的主体。水下分流河道沉积垂向上常表现为明显的正序,常见冲刷充填构造,向上发育大型的平行层理或交错层理。河口坝沉积垂向上表现为明显的反序特征,常发育平行层理及沙纹交错层理,可见生物化石及生物扰动构造。

滑塌浊积岩沉积构造类型多样,主要发育反映浊流沉积的粒序层理、鲍马序列“AAA”序、鲍马序列“ABAB”序及多种类型的同沉积变形构造等,垂向上一般呈现多个正序旋回叠加的特征。岩石中常见泥砾、泥岩撕裂屑等,反映了滑塌浊积岩形成时期的强水动力条件。

#### 3.2 储层储集特征

北部物源体系控制的沉积相类型主要为扇三角洲沉积,并以扇三角洲前缘为主,扇体厚度较大,胶结作用较弱,且刚性颗粒长石含量相对较高,抗压能力较强,早期原生孔隙得以保存。由于扇三角洲同时具有重力流性质,分选较差,磨圆度多为次棱角状,导致后期的压实效果显著。长石颗粒为溶蚀作用的进行提供了物质基础,受成岩过程中有机酸的影响,可形成次生孔隙。扇三角洲储层颗粒呈线接触或凹凸接触,压实作用较强,储集空间以原生粒间孔隙为主(图6-A),可见长石溶解孔隙(图6-B)。扇三角洲储集体孔隙度较高,主要分布在20%~25%,渗透率范围多为 $10 \times 10^{-3} \sim 1000 \times 10^{-3} \mu \text{m}^2$ (图7-A),平均孔隙度为18.7%,平均渗透率为 $351.39 \times 10^{-3} \mu \text{m}^2$ 。北部物源体系控制下的储层多为含油水层,平均日产油量为1.4 t,平均日产液量为14.6 t,最高日产油量在Yn18井2221~2236 m层段为5.59 t。

东部物源控制的永安镇三角洲沉积以三角洲前缘为主,靠近盆地边部的储层中刚性石英颗粒含量高,抗压能力强,原生粒间孔隙发育,同时由于埋藏较浅、有机质热演化程度不高,受成岩过程中有机酸影响较小,溶蚀作用较弱。永安镇三角洲储层储集空间以粒间原生孔隙为主(图6-C)、伴随充填有自生高岭石,铁白云石、铁方解石强烈胶结,裂缝中充填沥青质,生物介壳发育。永安镇三角洲储集体以原生粒间孔隙为主,孔隙度多高于30%,渗透率范围为 $100 \times 10^{-3} \sim 1000 \times 10^{-3} \mu \text{m}^2$ (图7-B)。向盆地腹部方向,三角洲前缘之前发育的滑塌浊积岩沉积,多为细粒沉积,杂基含量高,胶结作用强烈。

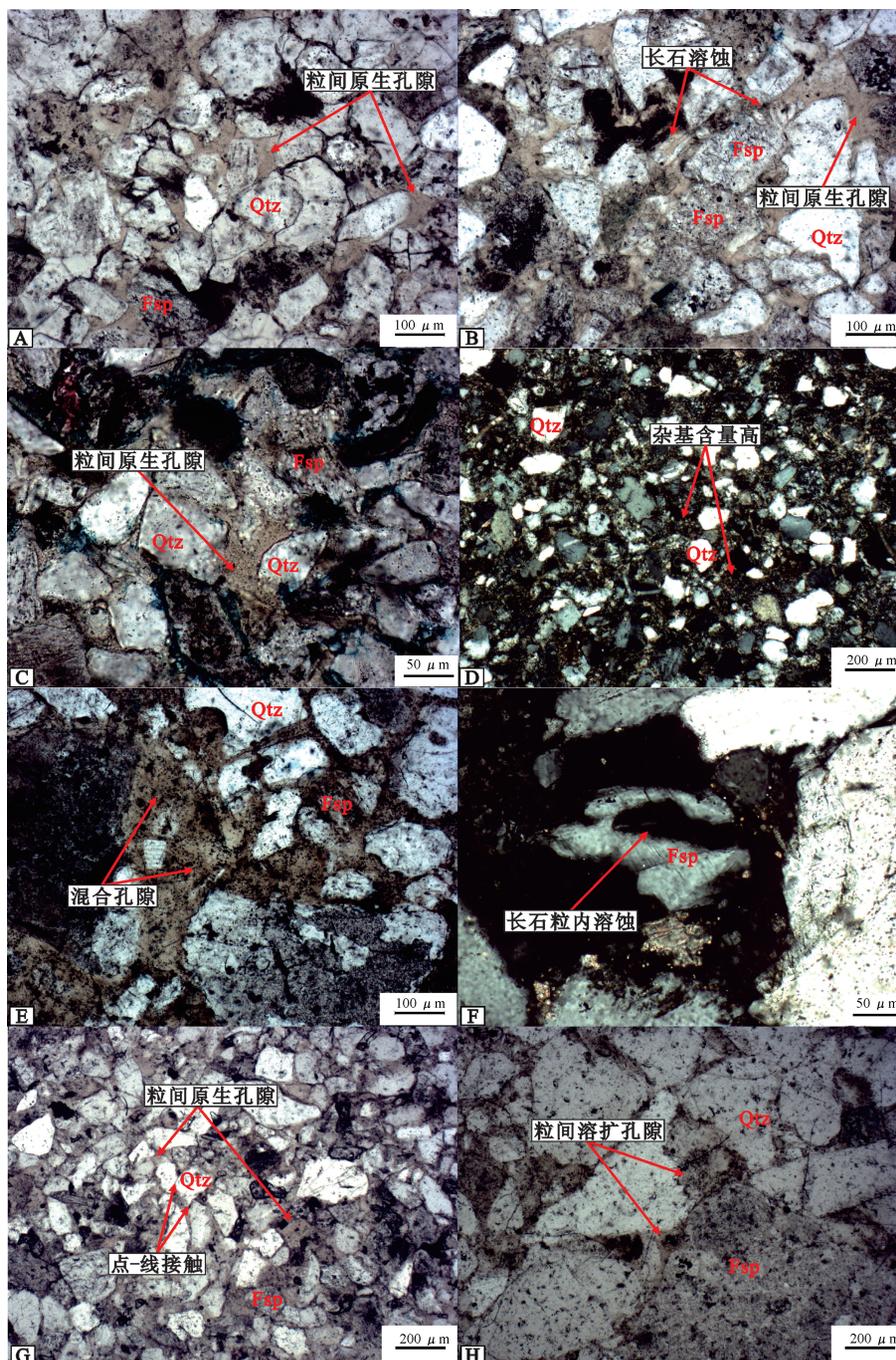


图6 多物源体系控制下储层空间发育特征

A—细砂岩中的粒间原生孔隙(-), Y928井, 2006.4 m; B—细砂岩中的粒间孔, 并可见长石溶解(-), Y928井, 2022.9 m; C—粗粉砂岩中的粒间原生孔隙(-), YX115井, 1803.7 m; D—细粉砂岩粒度细、杂基含量高(+), F112井, 2893.35 m; E—细砂岩中的混合孔, 以原生孔隙为主(-), Y116井, 1914.5 m; F—粉细砂岩中的长石粒内溶孔(+), XX164井, 2763.45 m; G—粉细砂岩中的粒间原生孔隙、弱压实(-), X55井, 2495.1 m; H—中砂岩中的粒内溶扩孔(+), Y97井, 2404.7 m

Fig. 6 Characteristics of reservoir space controlled by multi-source systems

A—Y928 well, 2006.4 m, intergranular pore in fine sandstone (-); B—Y928 well, 2022.9 m, inter-granular pore and feldspar corrosion in fine sandstone (-); C—YX115 well, 1803.7 m, intergranular pore in siltstone (-); D—F112 well, 2893.35 m, fine size and high content of matrix (+); E—Y116 well, 1914.5 m, fine sandstone with mixed pore and mainly with intergranular pore (-); F—XX164 well, 2763.45 m, intra-granular pore of feldspar in silty-fine sandstone (+); G—X55 well, 2495.1 m, intergranular pore and weak compaction in silt-fine sandstone (-); H—Y97 well, 2404.7 m, intra-granular dissolved pore in medium sandstone (+)

镜下鉴定表明,粒度整体偏细,灰质杂基含量高(图6-D)。滑塌浊积岩储集体孔隙度较小(10%~15%),渗透率范围为 $0\sim 1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。东部物源控制下的储集体整体平均孔隙度为21.8%,平均渗透率为 $407.86\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。储层多为油层或含水层,平均日产油量为5.3 t,平均日产液量为10.2 t,最高日产油量在Y3-4井2047.3~2117.8 m层段为38.4 t, F112井主要为滑塌浊积岩沉积,孔渗较低、含油性较差,2887.4~2906 m层段内日产油量为3.17 t。

南部物源控制下的东营三角洲的北部分支水系所携带的多为粉-细砂沉积,分选较好,磨圆度为次棱,成分多以石英为主,含一定量的长石颗粒。研究区东营三角洲储层储集空间发育,颗粒之间为线接触,以粒间原生孔隙(图6-E)及粒内溶蚀孔隙(图6-F)为主,可见沥青质、自生高岭石充填以及云母压实变形等。因搬运历史较长,所经历的成岩作用较为复杂,储集体孔隙度范围变化较大,多为20%~25%,渗透率范围主要为 $10\times 10^{-3}\sim 100\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (图7-C),平均孔隙度为19%,平均渗透率为 $68.35\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。南部物源体系控制下的储层多为油层或油水同层,平均日产油量为15.4 t,平均日产液量为9.2 t, X158井中2946.9~2950.9 m层段日产油量最高可达到90.7 t。

东部和南部物源体系控制下的沉积体系混源区,为席状砂沉积,岩性以粉砂岩为主,成岩演化程度较低。混源区储集空间以粒间原生孔隙为主(图6-H)、可见粒间溶扩孔(图6-G)以及长石颗粒的压

实裂缝,长石颗粒强烈溶蚀,并可见泥砾的压实变形。混源区储集体孔隙度较高(25%~30%),渗透率高于 $1000\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (图7-D),平均孔隙度为23.4%,平均渗透率为 $2102.49\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。东部、南部混源沉积体系控制下的储层多为油层或油水同层,平均日产油量为17.9 t,平均日产液量为9 t,最高日产油量在X55井2220.4~2383.2 m层段为34.4 t。

不同来源的沉积原始组分是造成储层储集特征差异性的根本原因。北部物源体系控制下的扇三角洲多发育粒间原生孔、溶扩孔,杂基含量低,无生物碎屑颗粒。东部和南部物源体系控制下的三角洲沉积,储集空间发育,孔隙间充填有自生粘土矿物,碳酸盐胶结物较为发育,并可见塑性颗粒压实变形等。滑塌浊积岩的储层空间发育以粒度细、杂基含量高为主要特征。同时,不同物源体系控制下的储层发育特征,在一定程度上影响含油性。抗压实能力强、后期有机酸影响少,原始物性较好的储层含油性较好,相比较而言,混源区以及东部物源体系控制下的三角洲前缘发育的储层平均物性较好,但南部较东部储层含油性更高,混源区储层含油性最好。

## 4 结论

(1)民丰地区沙三段中下亚段沉积时期,发育了三大物源体系,沉积原始组分主要来自北部陈家庄凸起、东部青坨子凸起以及南部盆外水系注入。古地貌控制了沉积体系展布的基本格局,砂体主要

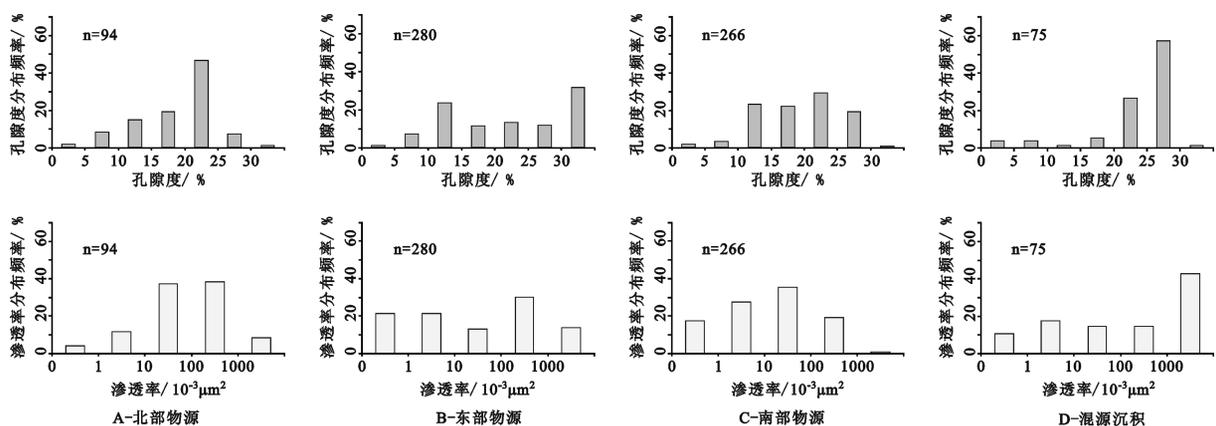


图7 多物源体系控制下储层物性特征

Fig.7 Characteristics of physical properties of reservoir controlled by multi-source systems

分布在陈南断层下盘、民丰洼陷腹部及辛镇地区，东部和南部物源在辛镇构造F1、F2断裂带附近发生混源沉积。

(2)不同物源体系控制下的沉积原始组分是储层发育的基础，一定程度上控制着储层的物性和含油性。混源区的席状砂沉积以及东部永安镇三角洲前缘的储集体为弱压实，溶蚀、胶结作用较弱，原始物性较好，孔、渗性高，但南部储层含油性较东部更高，混源区含油性最好。

### 参考文献(References):

- [1] 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.  
Zhang Jing, Wang Weifeng, Rong Qihong, et al. Factors controlling the Es3 lithologic oil reservoir in Minfeng sag, Dongying depression[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 235-239 (in Chinese with English abstract).
- [2] 卢浩, 蒋有录, 薄冬梅, 等. 东营凹陷永安镇-盐家地区油源特征分析[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(6): 39-42.  
Lu Hao, Jiang Youlu, Bo Dongmei, et al. Oil and source rock correlation of Yong'anzen- Yanjia region in Dongying Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(6): 39-42 (in Chinese with English abstract).
- [3] 蒋有录, 刘振. 永安镇油气田成藏地质条件与油气富集规律[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1995, 19(6): 16-20.  
Jiang Youlu, Liu Zhen. Geological conditions for the formation of oil-gas pools and oil and gas distribution in Yonganzhen fault-block oil and gas field[J]. Journal of the University of Petroleum, 1995, 19(6): 16-20 (in Chinese with English abstract).
- [4] 杨勇. 东营凹陷永安镇油田永3断块沙二段进积三角洲沉积体系[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(2): 27-29.  
Yang Yong. The representative prograded delta depositional system in Yong 3 Fault-Block, Yonganzhen Oilfield, Dongying Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery, 2009, 16(2): 27-29 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘利. 东营凹陷永安镇断裂带气藏成藏规律研究[J]. 特种油气藏, 2006, 13(2): 29-32.  
Liu Li. Study of gas reservoir forming law in Yonganzhen faulted belt of Dongying Sag[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2006, 13(2): 29-32 (in Chinese with English abstract).
- [6] 杨显成, 刘利. 东营凹陷坨-胜-永断裂带天然气成藏条件及富集规律[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(2): 85-88.  
Yang Xiancheng, Liu Li. Geological condition of gas accumulation and its distribution in Tuo-Sheng-Yong fault belt, Dongying Sag[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(2): 85-88 (in Chinese with English abstract).
- [7] 云金表, 赵利华. 东营凹陷中央隆起带构造特征、沙箱模拟与形成机制研究[J]. 地质力学学报, 2003, 9(2): 113-121.  
Yun Jinbiao, Zhao Lihua. Research on molding, structural feature and formation mechanism of the Central Uplift Belt in Dongying Depression, Jiyang[J]. Journal of Geomechanics, 2003, 9(2): 113-121 (in Chinese with English abstract).
- [8] 谭先锋, 田景春, 白建平, 等. 陆相断陷湖盆陡坡断裂带沉积响应及充填过程——以东营断陷湖盆北部陡坡断裂带古近系为例[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 298-310.  
Tan Xianfeng, Tian Jingchun, Bai Jianping, et al. Depositional response and filling process of the steep slope rift belt in the terrestrial fault basin: a case study of Paleogene in Dongying terrestrial fault basin[J]. Geology in China, 2010, 37(2): 298-310 (in Chinese with English abstract).
- [9] 郭新安. 青东地区新生代盆地的发育与演化[D]. 青岛: 中国石油大学, 2010.  
Guo Xin'an. Cenozoic Basin Development and Evolution in Qingdong Area[J]. Qindao: China University of Petroleum, 2010 (in Chinese with English abstract).
- [10] 于建国, 李三忠, 王金铎, 等. 东营凹陷盐底辟作用与中央隆起带断裂构造成因[J]. 地质科学, 2005, 40(1): 55-68.  
Yu Jianguo, Li Sanzhong, Wang Jinduo, et al. Salt diapirism and faulting of the central uplift belt in the Dongying Sag, Bohai Bay basin, North China[J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(1): 55-68 (in Chinese with English abstract).
- [11] 马丽娟, 郑和荣, 解习农. 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 246-251.  
Ma Lijuan, Zheng Herong, Xie Xinong. Faulted structures and hydrocarbon migration in central uplift belt of Dongying Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 246-251 (in Chinese with English abstract).
- [12] 漆家福, 肖焕钦, 张卫刚. 东营凹陷主干边界断层(带)构造几何学、运动学特征及成因解释[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 8-12.  
Qi Jiafu, Xiao Huanqin, Zhang Weigang. Geometry, kinematics and mechanism interpretation of the major boundary faults in Dongying Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 8-12 (in Chinese with English abstract).
- [13] 邱桂强, 王居峰, 李从先. 东营凹陷沙三中东营三角洲地层格架与油气勘探[J]. 同济大学学报, 2001, 29(10): 1195-1199.  
Qiu Guiqiang, Wang Jufeng, Li Congxian. Preliminary study on stratigraphy architecture of Middle-shasan Dongying delta and its significance to hydrocarbon exploration[J]. Journal of Tongji University, 2001, 29(10): 1195-1199 (in Chinese with English abstract).
- [14] 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——以东营凹陷王58井区沙四上亚段研究为例[J]. 沉积学报, 2007, 25(2): 230-238.  
Cao Yingchang, Wang Yanzhong, Xu Taoyu, et al. Application of the ratio of characteristic elements in provenance analysis: a case

- study from the upper part of the fourth member of the Shahejie Fm. in the W58 area, Dongying Depression[J]. *Acta Sedimentology Sinica*, 2007, 25(2): 230–238 (in Chinese with English abstract).
- [15] 杨守业, 李从先, 张家强. 苏北滨海平原全新世沉积物物源研究——元素地球化学与重矿物方法比较[J]. *沉积学报*, 1999, 17(3): 458–463.
- Yang Shouye, Li Congxian, Zhang Jiaqiang. Provenance study of Holocene sediments in Subei coastal plain—comparison between elemental geochemistry and heavy mineral methods[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(3): 458–463 (in Chinese with English abstract).
- [16] 崔永北, 王风华, 谭滨田, 等. 胜坨地区沙四上亚段物源体系分析[J]. *中国地质*, 2011, 38(5): 1324–1333.
- Cui Yongbei, Wang Fenghua, Tan Bintian, et al. Research on the source direction in Upper 4th Member of Shahejie Formation in Shengtuo area[J]. *Geology in China*, 2011, 38(5): 1324–1333 (in Chinese with English abstract).
- [17] 吕琳, 焦养泉, 吴立群, 等. 渤海湾盆地歧口凹陷古近系沙一段物源—沉积体系重建[J]. *沉积学报*, 2012, 30(4): 629–638.
- Lv Lin, Jiao Yangchuan, Wu Liqun, et al. Reconstruction of provenance—sedimentary system of the First Member of the Paleogene Shahejie Formation in the Qikou Sag, Bohai Bay Basin[J]. *Acta Sedimentology Sinica*, 2012, 30(4): 629–638 (in Chinese with English abstract).
- [18] 黄传炎, 王华, 周立宏, 等. 北塘凹陷古近系沙河街组三段物源体系分析[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2009, 34(6): 975–982.
- Huang Chuanyan, Wang Hua, Zhou Lihong, et al. Provenance system characters of the Third Member of Shahejie Formation in the Paleogene in Beitang Sag[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2009, 34(6): 975–982 (in Chinese with English abstract).
- [19] Dickinson W R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones[J]. *Provenance of Arenites*, 1985, 148: 333–361.
- [20] 焦养泉, 李珍, 周海民. 沉积盆地物质来源综合研究——以南堡老第三纪亚断陷盆地为例[J]. *沉积与特提斯地质*, 1998, 18(5): 16–20.
- Jiao Yangquan, Li Zhen, Zhou Haimin, et al. The integrated study of sediment sources in sedimentary basins: an example from the Eogene Nanpu rift subbasin[J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1998, 18(5): 16–20 (in Chinese with English abstract).
- [21] 曹全斌, 李昌, 孟祥超, 等. 准噶尔盆地南缘中段紫泥泉子组三段物源体系分析[J]. *中国地质*, 2010, 37(2): 367–373.
- Cao Quanbin, Li Chang, Meng Xiangchao, et al. A material source system analysis of the 3rd Member of Ziniquanzi Formation in the central part of southern margin of Junggar Basin[J]. *Geology in China*, 2010, 37(2): 367–373 (in Chinese with English abstract).
- [22] 刘杰, 操应长, 樊太亮, 等. 东营凹陷永安镇三角洲层序地层及其控砂模式[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(6): 23–28.
- Liu Jie, Cao Yingchang, Fan Taiyang, et al. Sequence stratigraphy and modeling of sandbodies distribution of the Yonganzhen delta in Dongying Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(6): 23–28 (in Chinese with English abstract).
- [23] 刘惠民. 东营凹陷滨南—利津地区古近系沙四上亚段物源分析与沉积特征[J]. *现代地质*, 2010, 24(2): 321–328.
- Liu Huimin. Source provenance and depositional characteristics of the upper part of the Fourth Member of Shahejie Formation in Binnan–Lijin Area, Dongying Depression[J]. *Geoscience*, 2010, 24(2): 321–328 (in Chinese with English abstract).
- [24] 白振华, 李胜利, 苏燕, 等. 琼东南盆地崖城13–1气田渐新统陵三段沉积物源综合分析[J]. *中国地质*, 2011, 38(2): 384–392.
- Bai Zhenhua, Li Shengli, Su Yan, et al. Provenance analysis of 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation in the Yacheng 13–1 gasfield, Qiongdongnan Basin[J]. *Geology in China*, 2011, 38(2): 384–392 (in Chinese with English abstract).
- [25] 申延平, 吴朝东, 岳来群, 等. 库车坳陷侏罗系砂岩碎屑组分及物源分析[J]. *地球学报*, 2005, 26(3): 235–240.
- Shen Yanping, Wu Chaodong, Yue Laiqun, et al. An analysis of Jurassic sandstone fragment components and their provenance in Kuqa Depression[J]. *Geoscientia Sinica*, 2005, 26(3): 235–240 (in Chinese with English abstract).

## An analysis of the source system and its effect on the reservoir of the middle-lower submember of 3<sup>rd</sup> Member of Shahejie Formation in Minfeng area, Dongying depression

LIU Jie<sup>1,2</sup>, CAO Ying-chang<sup>3</sup>, FAN Tai-liang<sup>1,2</sup>, LIU Hui-min<sup>4</sup>

(1. School of Energy Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, Shandong, China; 4. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257015, Shandong, China)

**Abstract:** The Minfeng area is a vital part in oil and gas exploration of Dongying depression, and the analysis of source system has much significance in the study of sedimentary system and reservoir evaluation. Ancient landscape controlled the fundamental pattern of the distribution of the sedimentary system, whereas the downthrow side of Chennan fault, the interior of Minfeng sag and the Xinzhen area provided the accommodation space for the deposition of sand bodies. Characteristic elements and sandy disperse system suggest that, during the period of the generation of middle-lower 3<sup>rd</sup> Member of Shahejie Formation ( $E_{s_3}^{1-2}$ ), there were three source systems around the Minfeng area, and the sedimentary primitive components came from Chenjiazhuang salient in the north, Qingtuozi salient in the east and the external basin water system through Guangrao salient, and the main fractures of F1 and F2 of Xinzhen structure might have served as the main source channels in southward direction. The southern part of the sedimentary system controlled by the eastern source system met the northern branch of the southern source system. The primitive sedimentary components constituted the foundation of the reservoir, which caused the differences in the reservoir space and physical properties. The reservoirs in the facies belt of the delta front in the east and the mixed resource area are characterized by weak compaction with well-developed primary intergranular pores and have favorable porosity and permeability with high oiliness, thus superior to the physical properties of reservoirs in the south and north, with the reservoirs in the mixed-resources area having the best oiliness.

**Key words:** Dongying depression; Minfeng sag;  $E_{s_3}^{1-2}$ ; analysis of source system; physical properties of reservoir

---

**About the first author:** LIU Jie, female, born in 1987, doctor candidate, engages in research on sedimentology and sequence stratigraphy; E-mail: liujie\_cugb@aliyun.com.