

文章编号: 1000-0550(2011)02-0255-13

济阳坳陷民丰洼陷古近系沙河街组三段中亚段沉积相展布与演化^①

赵伟¹ 邱隆伟² 姜在兴¹ 陈妍³ 刘军锸⁴ 杨勇强²

(1. 中国地质大学能源学院 北京 100083; 2. 中国石油大学地球资源与信息学院 山东青岛 266555;

3. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司物探研究院 山东东营 257022;

4. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院 山东东营 257015)

摘要 在地震、测井、录井及岩芯沉积特征研究的基础上,采用单因素分析多因素综合作图法,划分了民丰洼陷沙三段中亚段各个时期沉积体系的展布范围并分析了各沉积体系之间的相互关系。从沉积体系类型来看,研究区主要发育三角洲、扇三角洲和近岸水下扇沉积体系。其中三角洲沉积体系是沉积的主体,包括永安镇三角洲和东营三角洲的一个分支,纵向上可以分为 6 个期次,从早期到晚期自东向西推进,同时两者之间由于物源供应强度的变化发生侧向的迁移,并最终交汇在一起。扇三角洲和近岸水下扇沉积仅在洼陷北部靠近陈家庄凸起的地区发育,且主要发育在沙三段中亚段的早期。在洼陷的沉积体系中发现了三种不同类型的可容空间转换现象,并对其成因模式进行了总结。

关键词 民丰洼陷 永安镇三角洲 东营三角洲 沉积体系 可容空间转换

第一作者简介 赵伟 男 1982 年出生 博士研究生 沉积学和层序地层学 E-mail: upc_wei@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

民丰洼陷具有优越的生油条件^[1]和良好的物源条件,但目前对民丰洼陷针对性的研究仍然相对较少,认识程度也比较低,因此具有比较大的勘探潜力。对于民丰洼陷的沉积体系,过去一般认为主要受北部陡坡带的砂砾岩体、东营三角洲和永安镇三角洲共同影响,沉积环境比较复杂^[2,3]。对于东营三角洲研究目前已相对成熟^[4,5],对沙三段中亚段地层也进行了比较精细的划分,通常是将其划分为 6 个砂组^[6-8],而对于永安镇三角洲由于其东部靠近凸起的地区构造复杂,部分地层缺失,造成对各沉积体的发育规模、物源方向、沉积展布和相互之间关系等方面的问题认识不够清晰或存在争议,这些都制约了民丰洼陷的进一步油气勘探。

庄丽将永安镇三角洲划分出了长期和中期的基准面旋回,并将其物源分为几个主要的方向,主要来自青坨子凸起及青坨子凸起和陈家庄凸起之间的沟道^[2]。胜利油田在以往的勘探中也把青坨子凸起和陈家庄凸起之间的沟道作为一个重要的物源方向,并

认为物源方向由北往南,主要形成了一套“沟道砂”。^②刘军锸等通过重矿物、特征元素等方法认为永安镇三角洲的物源主要来自青坨子凸起^[9]。

本文在大量的地震、测井及岩芯研究的基础上,主要从沉积特征分析、沉积体系的展布、三角洲演化过程和相互影响等几个方面对民丰洼陷沙三段中亚段进行了深入研究,圈定了各时期各沉积体系的发育范围和演化模式,对该地区岩性油气藏的勘探具有一定的指导意义。

1 基本地质概况

民丰洼陷位于东营凹陷东北部,是东营凹陷的 4 个次级洼陷之一。北为陈家庄凸起,南靠中央隆起带,西靠胜北断层,东临青坨子凸起(图 1)。民丰洼陷构造背景复杂,主要发育三组断裂体系。一组为陈家庄凸起南侧的陈南断裂带,这是东营凹陷的控盆边界断层,其产状陡倾,主断面大都呈铲形,倾角约 30°~40°;一组为凹陷内的永北断裂带,断面倾角在 15°~25°;另一组为民丰洼陷南界断层,即营 8 断层,该断层是东营凹陷中央隆起带的北界断层,并且对洼陷

^① 国家科技重大专项(编号:2009ZX05009-002)资助。

^② 据胜利油田内部资料(2007)

收稿日期:2009-11-05;收修改稿日期:2010-01-15

的形成和演化起到了明显的控制作用^[10]。

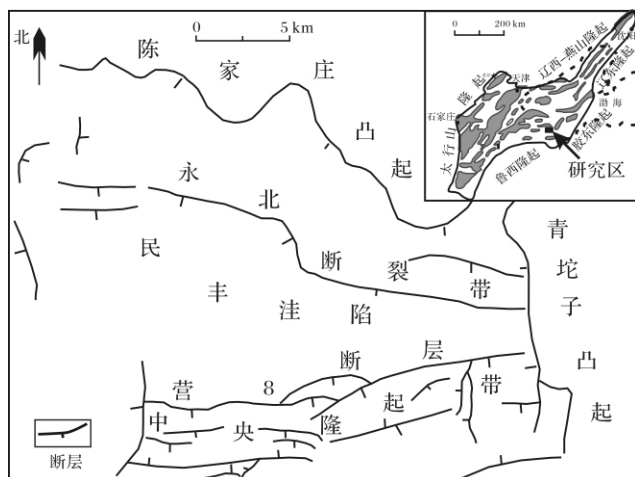


图1 民丰洼陷位置及构造图

Fig. 1 Location and structural map of Minfeng sub-sag

2 地层格架

沙河街组属于新生界古近系,岩性以砂泥岩互层为主,可分为四段,每段地层又可分为若干个亚段,其中沙三段可以分为上、中、下三个亚段,本文研究的目的层段即为沙三段中亚段。在民丰洼陷内部,沙三段中亚段沉积较厚,全区发育比较完整。对于该层段体系域的划分已经有了比较统一的认识,即认为沙三段中亚段是一个二分的三级层序单元,包含湖进和湖退两个体系域。

进一步的精细地层划分是进行精细沉积体系研究的基础,目前针对东营三角洲沙三中亚段已成熟划分为6个砂组,对比发现同期沉积的永安镇三角洲也可以借鉴该成果划分为6个砂组,自上而下依次命名为S1—S6(图2)。在三角洲发育区,每一个砂组在测井和岩性上均表现为反旋回的特征,代表三角洲的前积过程。从地震剖面上看,在洼陷内部三角洲前积现象也非常明显,根据地震剖面上同相轴的相互终止关系,也可以直接识别出三角洲的6个前积期次(图3),与单井上划分出的6个砂组可以相互对应。其中S1—S3砂组在部分地区有缺失,其可能是受三角洲前积影响或受后期构造运动抬升遭受剥蚀造成的,其余3个砂组在全区发育比较完整。北部砂砾岩体由于地震反射相对比较杂乱、岩性变化快等原因,单纯对其进行砂组划分难度较大,目前也没有形成比较一致的方案。本文为了研究的需要,尝试将三角洲的6个砂组划分方案进行进一步推广,将砂砾岩体也对

照进行了6个砂组的划分。具体方法是更多的依靠电阻率测井曲线进行邻井相互对比、多条连井剖面相互闭合反复修正,得到最终的划分结果。划分出的结果在测井和岩性上也有相应的响应,分层界面以下多为泥岩夹层或粒度变细的特点,并出现高阻特征,反映了有机质含量的增加。每个砂组的旋回特征都比较明显,可以代表一个沉积阶段。

3 沉积特征

将上述划分方案在全区进行推广,并对6个砂组的地层特征进行统计。从统计结果看,整个民丰洼陷6个砂组的平均厚度都大于70 m,其中S6砂组厚度最大,平均厚度约为140 m。从砂岩厚度来看,S1—S4砂组的砂岩厚度较大,其中S1砂组砂岩最厚,平均厚度为38 m,砂岩在整个地层中所占的比例超过50%。这也反映了在民丰洼陷沙三段中亚段地层沉积时期永安镇三角洲和东营三角洲是一个不断进积的过程,三角洲给洼陷带来了较多的砂质沉积。

通过对该地区多口取芯井的岩芯观察,可以发现多种具有典型特征的沉积构造。较常见的有槽状交错层理、递变层理、水平层理、冲刷充填构造、液化变形等。此外在砂泥岩地层中有生物潜穴发育,洼陷中心的泥岩中可见保存比较完整的鱼化石(图5)。上述沉积构造及沉积构造的组合,可以反映出当时的沉积环境主要包括三角洲相、近岸水下扇相以及滨浅湖和半深湖—深湖相,下文将分别予以详述。

该地区砂岩的粒度概率曲线有多种类型,主要为一段式、两段式和三段式(图4)。其中一段式主要出现在洼陷北部,反映典型浊流沉积和扇三角洲以及近岸水下扇等沉积体有密切的关系。两段式由跳跃、悬浮两个次总体构成,以跳跃次总体为主,跳跃次总体含量为50%~70%,反映较强的牵引流沉积,一般代表三角洲平原水上分流河道微相和三角洲前缘水下分流河道微相等。三段式反映波浪和河流的共同作用,多出现在受波浪改造的三角洲前缘分流河口砂坝及前三角洲席状砂等沉积微相中。四段式和多段式出现较少,是多种水动力共同作用的结果。

4 沉积相类型及特征

根据以上各种沉积相标志的研究,并结合前人的研究成果^[11~16],认为民丰洼陷沙三段中亚段主要发育四种沉积相类型,即三角洲、扇三角洲、近岸水下扇、半深湖—深湖相等。

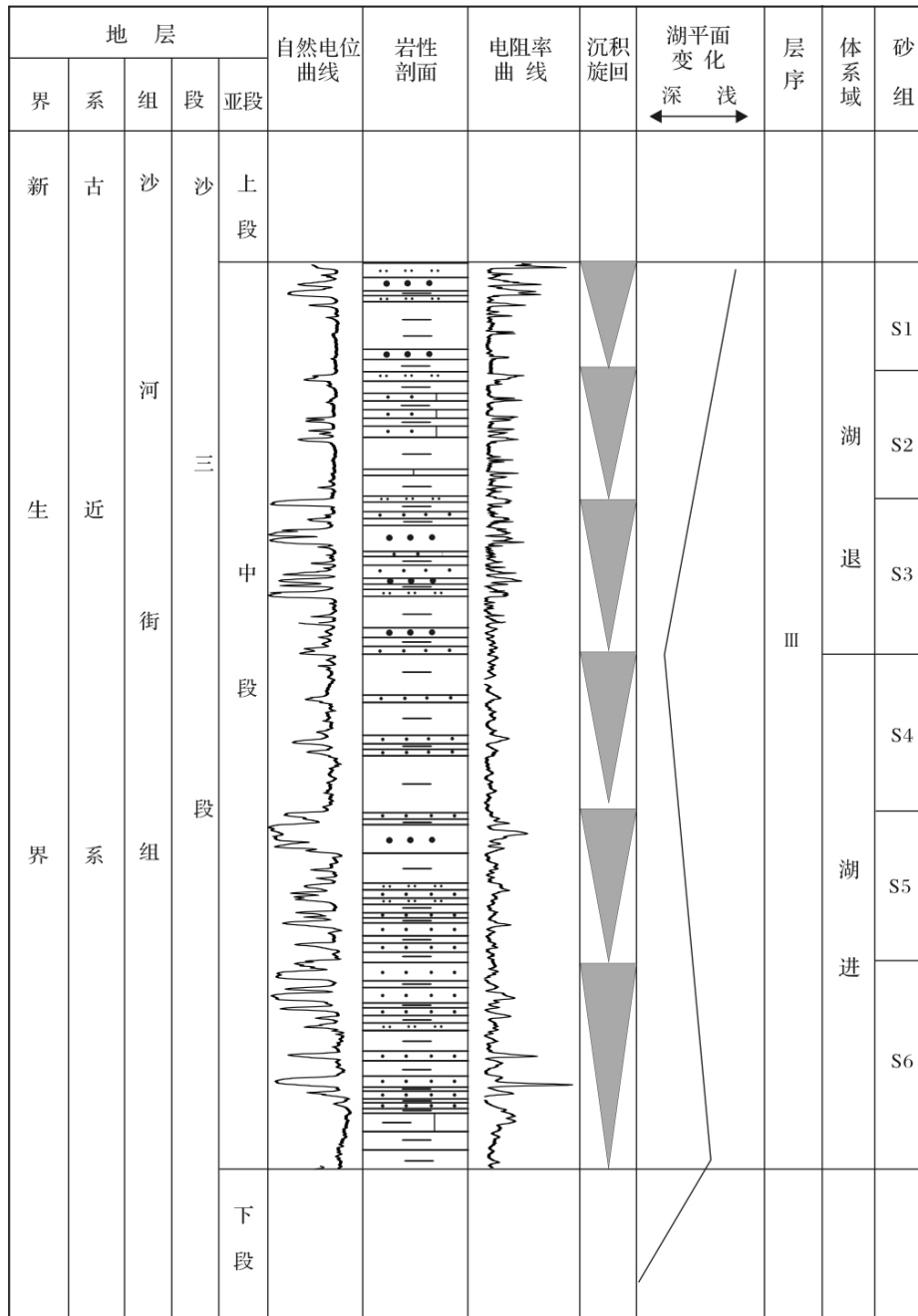


图 2 东营凹陷沙河街组三段中亚段地层划分与湖平面变化曲线

Fig. 2 Division of the middle of the third member of Shahejie Formation and curve of lake level fluctuation in the Dongying Sag

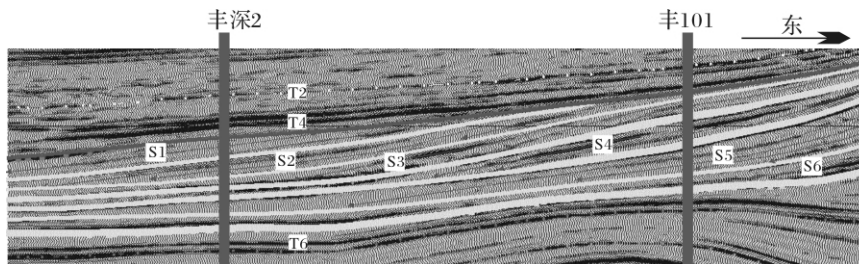


图 3 永安镇三角洲前积及期次划分

Fig. 3 Seismic progradation reflection characteristics and episodes division of Yonganzhen delta

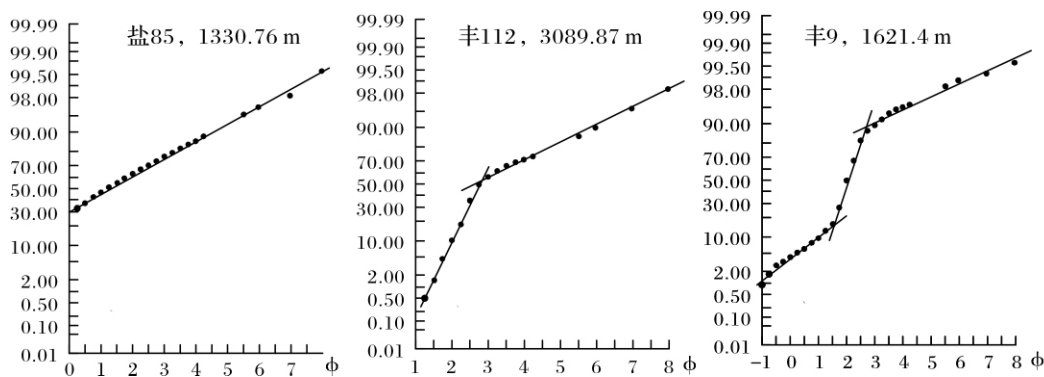


图4 典型粒度概率曲线

Fig. 4 Typical grain size probability plot

4.1 三角洲相

三角洲相是民丰洼陷沙三段中亚段最主要的沉积相类型,主要可见三角洲前缘和前三角洲亚相沉积,包含多种微相类型。岩石类型主要有中细砂岩、粉砂岩以及暗色泥岩等,并具有较多的碳质页岩煤化层夹层。三角洲沉积在6个砂组均发育,分布范围广,洼陷中部、南部取心井的岩心均以三角洲沉积特征为主。

三角洲前缘水下分流河道微相可见槽状、楔状交错层理、波状层理及冲刷—充填构造(图5A、B),反映了较强的水动力特征。支流间湾以粘土沉积为主,含少量粉砂和细砂,具水平层理和透镜状层理,并可见浪成波痕及生物介壳和植物残体等。水下分流河道沉积微相在测井曲线上表现为向上变细的正旋回,分流河口砂坝微相则表现为向上变粗的反旋回。沿三角洲前积方向的地震剖面上有比较明显的同相轴前积特征。

前三角洲亚相位于三角洲前缘外侧,是三角洲体系中分布广、沉积厚的地区。砂体主要为滑塌浊积体,岩心中有比较明显的变形构造和液化特征,测井曲线表现为刺刀状或指状,地震剖面上可见透镜状反射或同相轴的不连续,与典型滑塌浊积扇的特征一致。

4.2 扇三角洲相

扇三角洲相主要发育在洼陷北部靠近陈家庄凸起一侧,永923以东、永77以北的区域,层位上主要发育在S5砂组和S6砂组。陈家庄凸起出露的中生界酸性喷出岩、碎屑岩和下古生界花岗片麻岩为其提供了丰富的物质基础。扇三角洲的根部,受古构造和古地形的共同影响,冲积扇直接进入浅湖区形成靠山型扇三角洲砂砾岩体系,岩心中可见直立的大块砾

石,测井曲线上表现为箱型特征,地震剖面上,具有明显的丘状前积反射结构。虽然砂砾岩体是在北部陡坡带碎屑物质供应充足的条件下所形成的,但其沉积过程受后退型盆地边界条件的控制,当盆地可容空间增长速率大于沉积物供给速率时,砂砾岩体向源区方向退积,因此,多个砂砾岩体会形成下粗上细的退积型沉积层序。

由于距物源近,地处湖湾陡坡,扇三角洲的发育范围受到一定限制,扇三角洲平原及前扇三角洲亚相均分布较窄,扇三角洲前缘亚相的沉积特征与三角洲前缘较为接近,但粒度更粗,在测井和地震反射上特征也比较类似。

4.3 近岸水下扇相

在民丰洼陷沙三段中亚段沉积地层中,近岸水下扇分布比较局限,仅在陈家庄凸起根部位置局部发育。由岸向湖可见内扇、中扇和外扇亚相,其中内扇沉积物粒径最大,重力流特征显著,以砂砾岩地层为主,并可见大型砾石。中扇亚相主要为灰色、杂色中—厚层砾状砂岩、含砾砂岩及细—粗粒长石质杂砂岩;发育块状构造、冲刷—充填构造、正粒序层理、重荷及变形构造等。外扇亚相砂质减少,泥质增多。靠近边界断层的地震反射表现出杂乱反射特征,总体形态上表现为楔形或扇形。以上沉积特征反映出典型的近源的粗碎屑物质水下快速沉积,单个砂砾岩体往往有正序特征。

4.4 半深湖—深湖相

民丰洼陷地形坡度相对较大,在洼陷内部存在半深湖—深湖相的沉积,以大段泥岩和页岩为主,偶尔存在砂质薄层或透镜体,可以见到保存比较完整的生物化石。



图 5 岩芯中典型沉积构造

A. 冲刷面 永 925 井 2 546. 5 m; B. 楔状交错层理 永 925 井 2 504. 3 m; C. 滑塌构造 永 93 井 1 705. 3 m; D. 搅混构造 永 93 井 1 709. 4 m; E. 液化变形 丰 112 井 2 887 m; F. 鱼化石 丰 111 井 3 225. 16 m

Fig. 5 Typical sedimentary structures in the core

5 沉积体系平面展布

随着勘探程度的深入 资料的种类和丰度都有所

增加 对永安镇三角洲的物源也有了新的认识^[9,17]。有些特征元素的比值可以反映物源的方向 本文在前人研究的基础上 将沙三中亚段永安镇三角洲部分样

品中的特征元素比值与南部东营三角洲的特征元素比值进行了对比,可以发现其特征有明显差别:永安镇三角洲有三个比较明显的峰值出现,而东营三角洲的样品为单峰式(图6)。这也进一步证明了永安镇三角洲和东营三角洲来自不同的物源体系,永安镇三角洲主要来自青坨子凸起物源区。

根据研究区钻遇探井的分层统计结果,完成了各个砂组的地层厚度等值线图。下面以S6砂组为例进行说明:从S6砂组地层厚度等值线图上可以看出,在研究区内地层的厚度分布不均,出现了三个地层厚度较大的区域,分别位于盐16井区、盐18—盐17井区

和永23—永24井区,其中永23—永24井区沉积范围和厚度均最大,并呈东西向延伸,因此上述区域是S6砂组沉积的主体。

此外,对钻遇探井的砂岩、砾岩厚度进行了统计,并计算了砂砾岩在地层中的含量,将上述结果进行平面成图,完成了砂砾岩厚度等值线和砂砾岩含量等值线图(图7—图9)。可以看出砂砾岩的分布与地层的分布趋势比较一致,靠近物源的地方砂砾岩含量较高,因此陆源碎屑是该地区主要的沉积物来源。洼陷不同位置的沉积物粒度相差较大,北部靠近陈家庄凸起的位置出现较多的中—粗砂岩及砂砾岩,洼陷东部

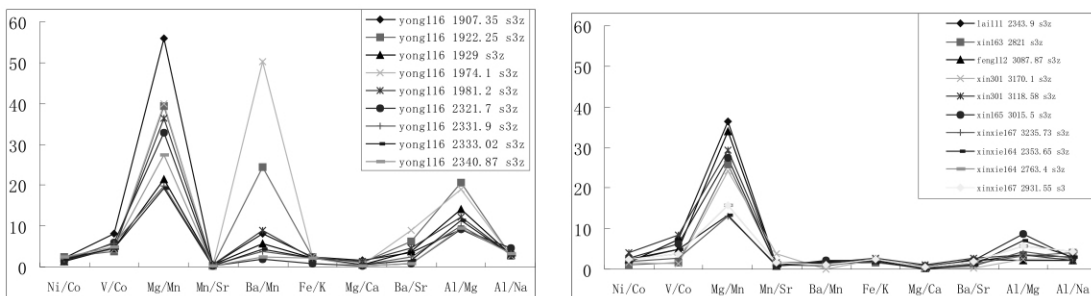


图6 特征元素比值(左:永安镇三角洲;右:东营三角洲)

Fig. 6 The ratio of characteristic elements(Left: Yonganzhen Delta , Right: Dongying Delta)

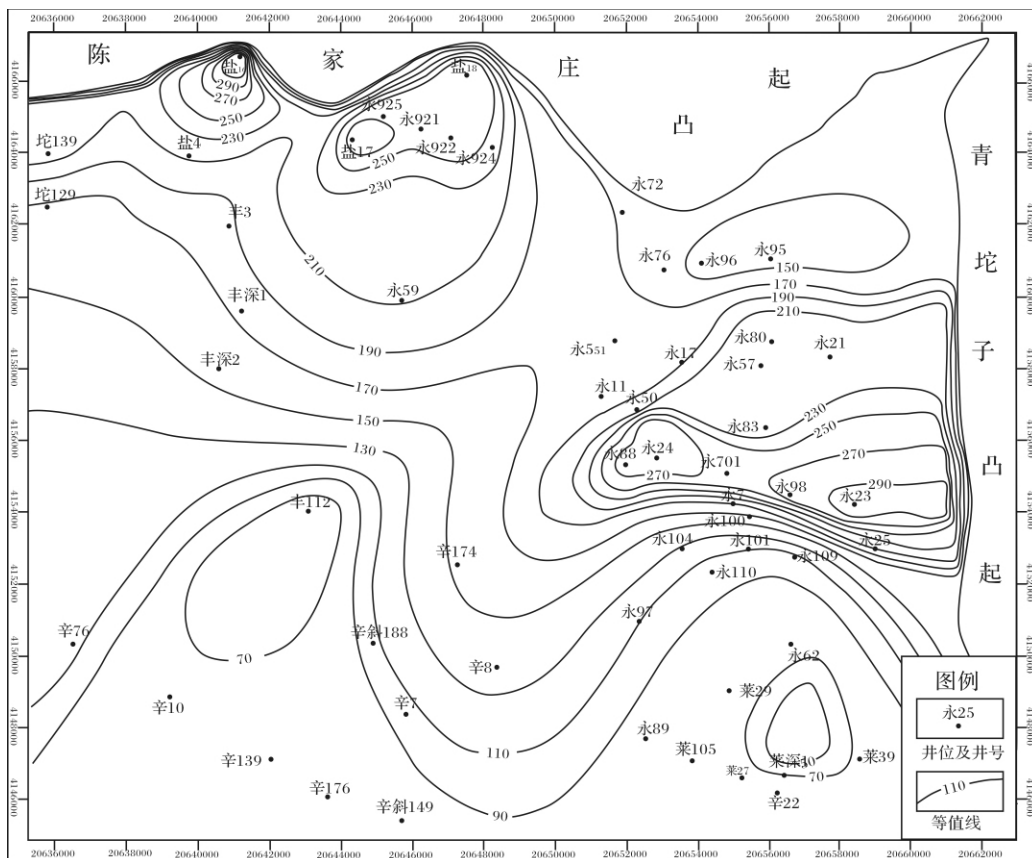


图7 民丰洼陷沙三段中段S6砂组地层厚度(m)等值线

Fig. 7 Isoline map of thickness(m) of the S6 sands group of the middle of the 3rd member of Shahejie Formation in Minfeng Sub-sag

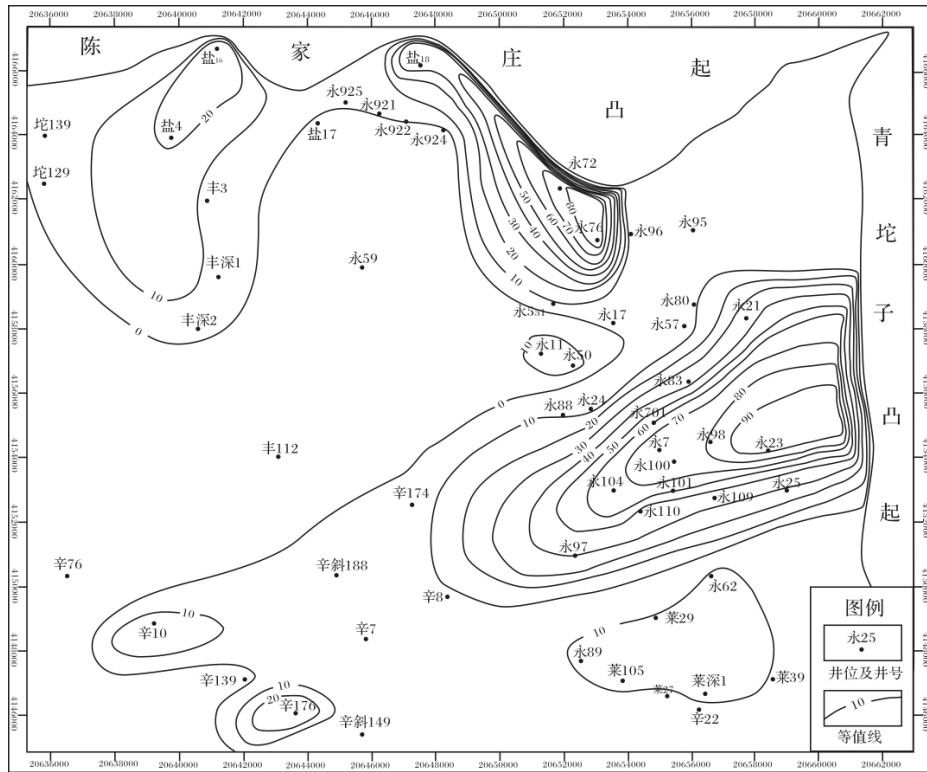


图 8 民丰洼陷沙三段中亚段 S6 砂组砂砾岩厚度 (m) 等值线图

Fig. 8 Isoline map of thickness (m) of sandstone and conglomerate of the S6 sands group of the middle of the 3rd member of Shahejie Formation in Minfeng Sub-sag

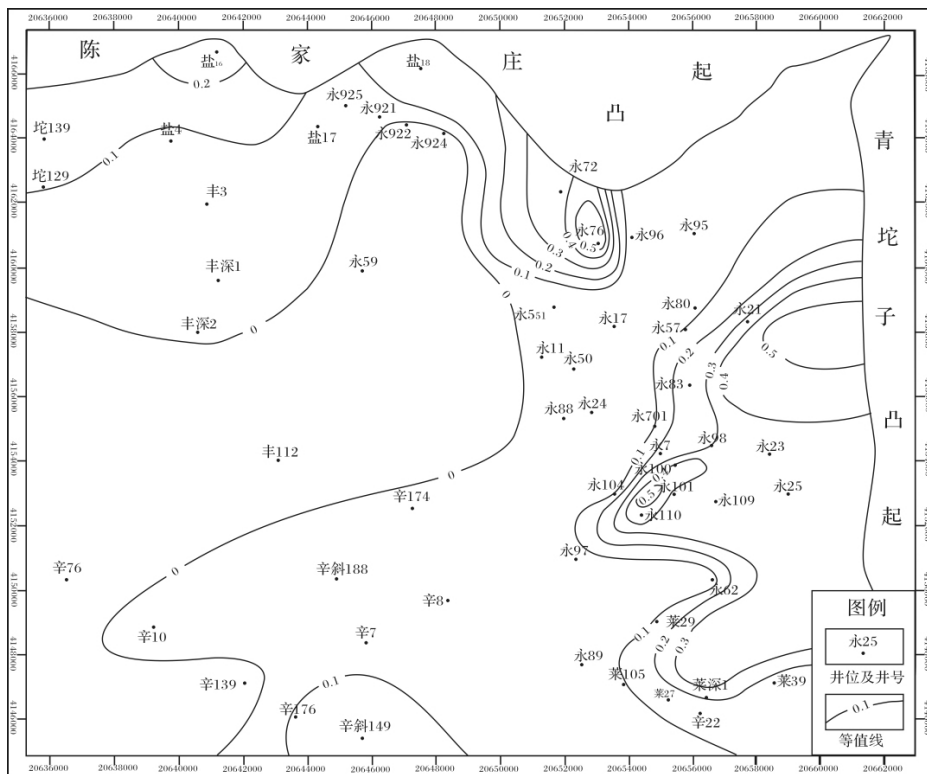


图 9 民丰洼陷沙三段中亚段 S6 砂组砂地比等值线图

Fig. 9 Isoline map of content of sandstone and conglomerate of the S6 sands group of the middle of the 3rd member of Shahejie Formation in Minfeng Sub-sag

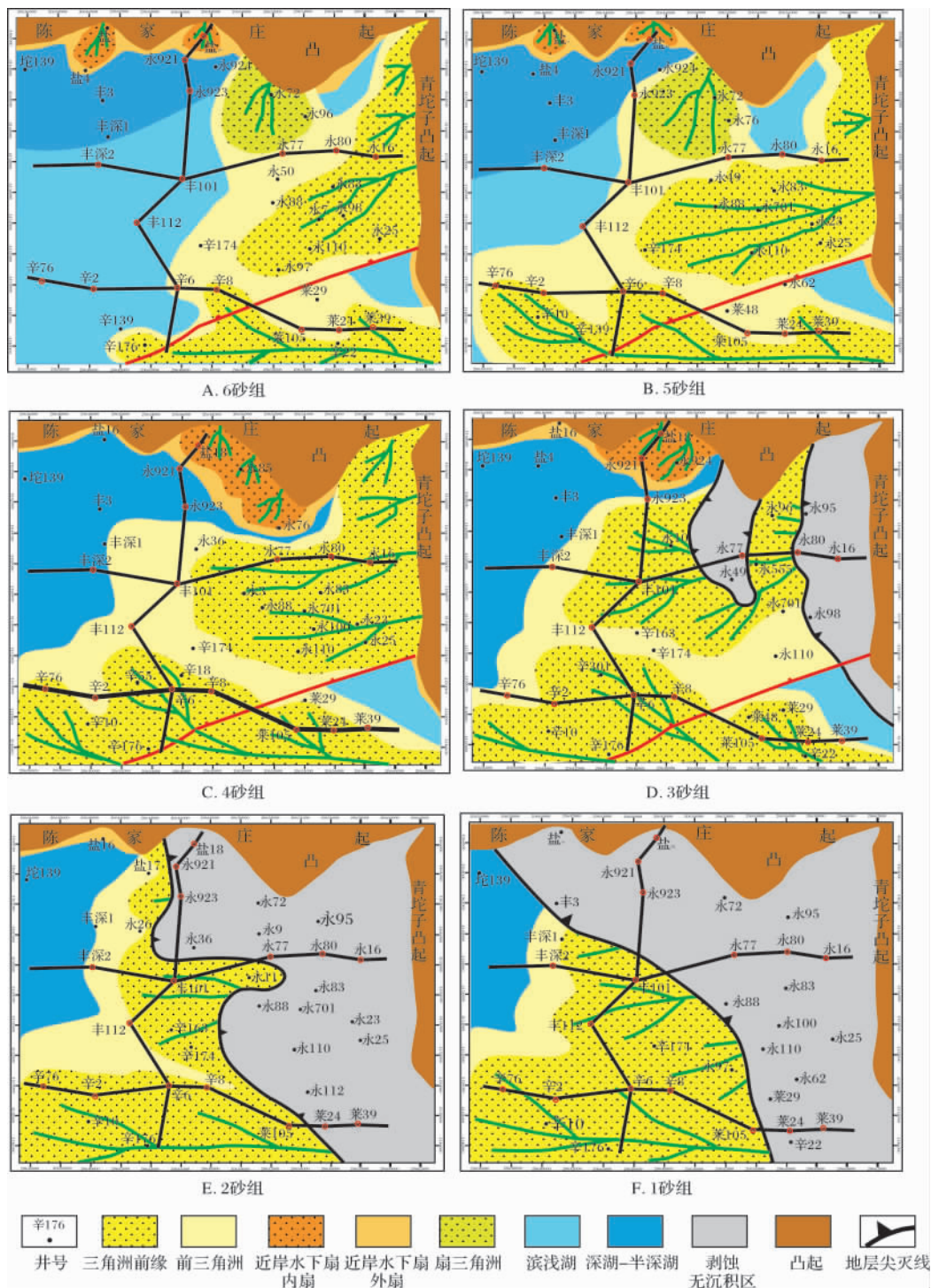


图 10 民丰洼陷沙三段中亚段各砂组沉积体系展布图

Fig. 10 Map of depositional systems of the 6 sandstone groups in the middle of Es₃ Member of Minfeng sub-sag

以砂泥岩互层为主,而洼陷中心位置出现较厚的泥岩及页岩。

利用民丰洼陷沙三段中亚段 6 个砂组的地层厚度等值线图、砂砾岩厚度等值线图和砂地比等值线图,采用单因素分析多因素综合作图

法^[18, 19]对民丰洼陷沙三段中亚段 6 个砂组的沉积体系平面展布进行了划分(图 10)。从沉积体系展布图上可以看出,民丰洼陷沙三段中亚段沉积体系主要发育有:北部以陈家庄凸起为物源的近岸水下扇沉积体系、扇三角洲沉积体系,东部以青坨子凸起为物源

的永安镇三角洲沉积体系以及南部东营三角洲沉积体系的一个分支。下面按照砂组的发育顺序,对每个砂组的沉积体系展布特征进行介绍:

S6 砂组内主要为三角洲相、扇三角洲相、近岸水下扇相、深湖一半深湖相。东部和东南部靠近青坨子凸起发育有三角洲相,其中以前缘亚相和前三角洲亚相为特征;北部紧邻陈家庄凸起部分地区发育近岸水下扇相和扇三角洲相,其中近岸水下扇相直接与深湖一半深湖相相接(图 10A);南部的一条活动断层对沉积体系的展布有一定影响,其中永安镇三角洲主要发育在青坨子凸起南部断层以北,东营三角洲主要在断层以南,三角洲前段有少量砂体越过断层。

S5 砂组内主要为三角洲相、扇三角洲相、近岸水下扇相、深湖一半深湖相。三角洲相是最主要的相类型,受河道延伸的控制,三角洲向湖盆中推进,分布范围较 6 砂组变大;东营三角洲有更多的砂体越过断层向洼陷内沉积,如辛 139 等井在该砂组演变为三角洲前缘亚相沉积;前三角洲亚相沉积分布范围变大(图 10B)。

S4 砂组内主要发育三角洲相、深湖一半深湖相、近岸水下扇相;三角洲在该砂组继续向湖盆中推进,成为研究区内最为发育的相类型;北部紧邻陈家庄凸起近岸水下扇相展布明显向东迁移,取代了 S5 砂组时期的扇三角洲相沉积(图 10C)。

S3 砂组内主要发育三角洲相、深湖一半深湖相、近岸水下扇相;陈家庄与青坨子凸起之间的三角洲前缘亚相直接与剥蚀(无沉积区)相接,受河道延伸方向变化的控制,较 S4 砂组其展布范围也发生了明显变化;深湖一半深湖相变化不明显(图 10D)。

S2 砂组内主要发育三角洲相、近岸水下扇相、深湖一半深湖相。东北部靠近陈家庄和青坨子凸起的地层缺失;深湖一半深湖相较 3 砂组范围变小;近岸水下扇相仅仅在研究区北部发育一小块(图 10E)。

S1 砂组内主要发育三角洲相、深湖一半深湖相。东北部靠近陈家庄与青坨子凸起剥蚀(无沉积区)范围变大;三角洲前缘亚相最为发育,分布范围大;近岸水下扇相消失,深湖一半深湖相继承了 S2 砂组的特点范围继续减小,但其变化不大(图 10F)。

从三角洲的形态上看,早期三角洲沉积时期水体较浅,三角洲沿优势方向快速推进,三角洲延伸距离较远,但分布范围不大;到了后期,水体加深,三角洲推进距离变化不大,但前缘砂体分布范围增大。

6 沉积体系纵向演化

从平面的沉积体系展布图上可以看出,民丰洼陷周围物源众多、沉积类型多样,各种沉积体系在整个沙三中的沉积时期内经历了复杂的演化过程。为了进一步研究整个洼陷的各沉积体系展布、演化和相互关系,本文列举三条骨干连井剖面进行详细分析和说明(图 11)。

剖面 AA' 是一条南北向剖面,穿过东营三角洲、永安镇三角洲和北带近岸水下扇等多个沉积体系,可以比较清楚的反映沉积体系之间的关系。在该剖面 S6 砂组,主要在北部发育近岸水下扇砂体,且呈退积特征,反映水体逐渐变深,永安镇三角洲不发育,东营三角洲有薄层砂体出现;到了 S5 砂组,剖面上基本只能见到东营三角洲的部分砂体,其范围略有增大;S4 砂组的顶部,近岸水下扇砂体再次出现,东营三角洲进一步扩大,永安镇三角洲在这条剖面上仍然没有出现;S3 砂组各个沉积体系发育范围均增大,永安镇三角洲在丰 101—永 923 井区出现,以三角洲前缘沉积为主;S2 砂组在北部部分地区出现了缺失,近岸水下扇沉积体系消失,永安镇三角洲快速推进,东营三角洲沉积在该方向上有所减弱;S1 砂组的沉积范围进一步减小,东营三角洲和永安镇三角洲都有所扩大并连成一片,形成大面积的三角洲前缘沉积砂体。

剖面 BB' 位于民丰洼陷中部,是一条东西向连井剖面,沿永安镇三角洲的前积方向,从这条剖面上可以看到典型的三角洲前积特征,主要发育三角洲前缘亚相、半深湖相。三角洲前缘亚相主要发育在研究区的东部,且延伸范围大,S5—S6 砂组发育范围较小,到 S4 砂组发育范围明显增大,S1—S3 砂组显示三角洲继续往前推进,在东部地区有缺失。半深湖亚相在研究区内分布较广,剖面的西部滑塌浊积岩在多处发育。反映出永安镇三角洲自东往西不断进积的沉积过程。

剖面 CC' 位于工区南部,近东西向,与东营三角洲前积方向斜交,在 S5—S6 砂组分别在莱 39 井和辛 8 井附近发育两个三角洲朵叶体,到了 S3—S4 砂组两个朵叶体均由东往西推进,范围也逐渐增大,并有部分相连,S1—S2 砂组在东部部分地区有缺失,主要在洼陷西部发育。可以看出东营三角洲主要向西向北两个方向发生进积,但后期受永安镇三角洲发育的影响,向北推进的动力有所减弱。最终随着三角洲的持续推进两个三角洲的前缘砂体连为一片。

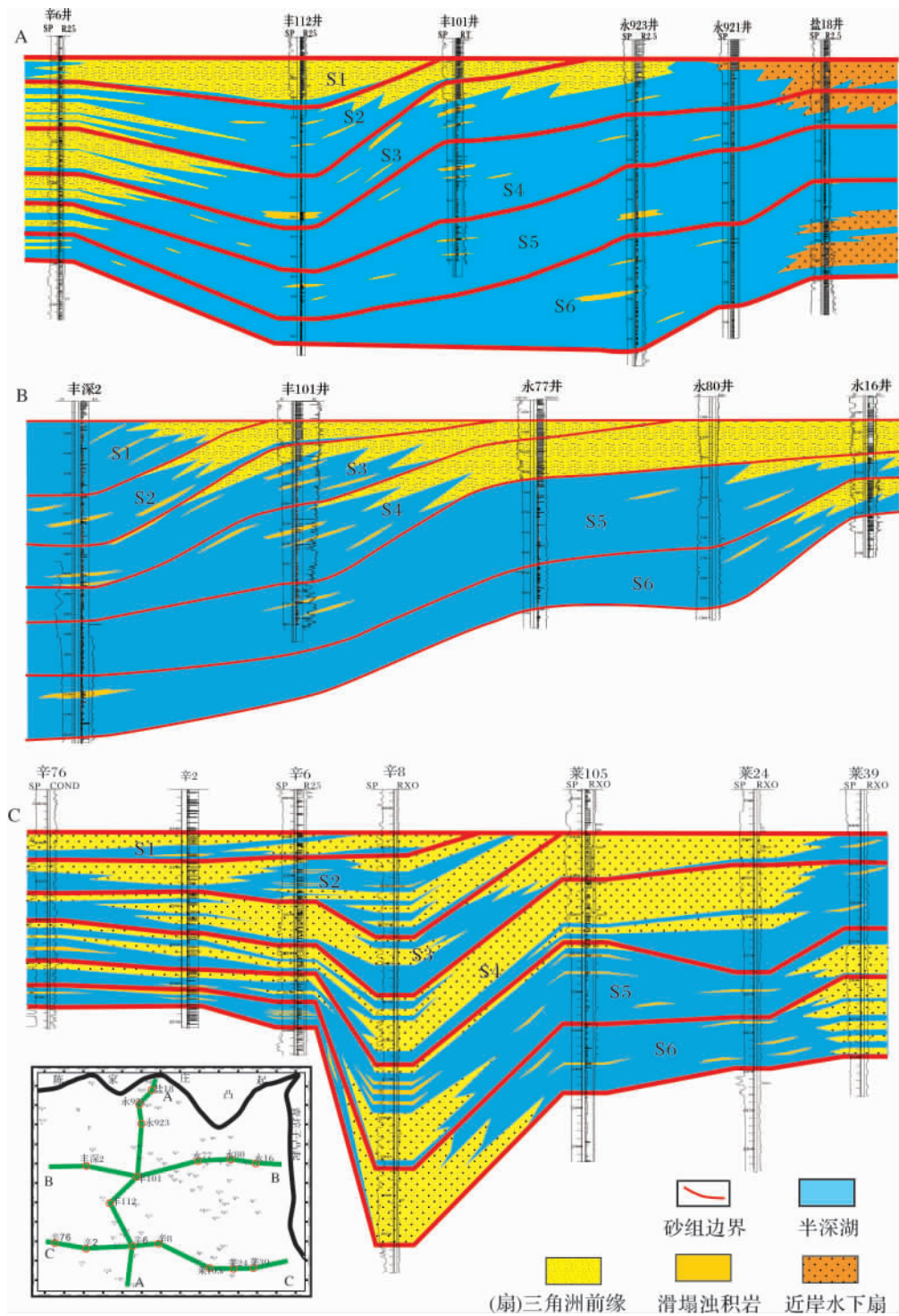


图 11 沉积体系剖面演化特征及剖面位置

Fig. 11 Cross-section showing the drawing of evolution of depositional systems

7 可容空间转换特征

根据以上连井剖面的分析,并结合沉积体系的平面展布特征可以看出,在民丰洼陷沙三段中亚段,永

安镇三角洲和东营三角洲沉积范围均在不断的扩大,自东向西推进。同时,在几条剖面上可以发现几处可容空间的不均衡变化,即可容空间转换现象的存在。这种不均衡变化在不同地区不同类型的盆地中已经

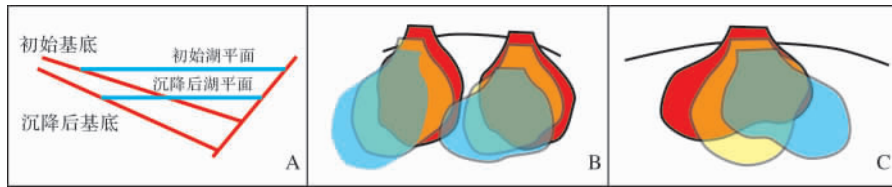


图12 三种不同类型可容空间转换成因模式

Fig 12 Genetic models of three types of accommodation transition

引起了部分学者的注意^[20~23]。总体来看在研究区出现的可容空间转换主要有三种类型:

第一种比较典型的可容空间变化出现在剖面AA'在S6到S5砂组中,南部三角洲砂体不断进积,沉积范围逐渐扩大,而与此同时北部近岸水下扇出现明显的退积,这属于盆地中两个不同构造位置的两个不同沉积体系之间的可容空间转换,这是由单断盆地中控盆断层活动造成基底不均衡沉积所引起的(图12A)。

同样在AA'剖面中S2砂组中,永安镇三角洲往南部进积的同时,东营三角洲往南退积,这是在盆地相似的构造位置出现的相同类型的不同沉积体系之间的可容空间转换。当永安镇三角洲的物源供给增强时,会使其周围的水流动力增强,改变湖盆内沉积物的搬运方向,受其影响东营三角洲往北推进的动力受到较大的削弱,从而因动力不足发生退积(图12B)。

此外,在剖面CC'中S3砂组中永安镇三角洲两个不同的朵叶体进积和退积也同时出现,这是湖盆相同构造位置同一沉积体系的不同朵叶体发生的可容空间转换。这是由于三角洲在推进过程中往往先沿着某个优势方向形成朵叶体,随着沉积物的堆积在该位置可容空间迅速减小,而相邻位置由于水深的增大可容空间增大,形成了可容空间的不均衡变化。到了下一阶段,三角洲会迁移到相邻的可容空间较大的位置继续堆积,形成横向的摆动(图12C)。

8 结论

(1) 根据三角洲在岩芯、录井和测井上的相标志和地震上表现出的前积特征,可以将民丰洼陷沙三段中亚段地层划分为6个砂组,其中上面三个砂组由于受构造和沉积的共同影响在部分地区有缺失。

(2) 在单井分析和连井对比的基础上,根据平面单因素沉积特征的分析综合划分出了整个洼陷各砂组的沉积体系展布。永安镇三角洲和东营三角洲是

民丰洼陷沙三段中亚段发育的主要沉积体系,而近岸水下扇和扇三角洲沉积只在沙三段中早期、靠近陈家庄凸起一侧出现。

(3) 在研究区的沉积体系中可以发现三种不同类型的可容空间转换现象,包括①盆地中两个不同构造位置的两个不同沉积体系之间的可容空间转换,②在盆地相似的构造位置出现的相同类型的不同沉积体系之间的可容空间转换,③湖盆相同构造位置同一沉积体系的不同朵叶体发生的可容空间转换,三种类型的成因模式各不相同。

参考文献(References)

- 辛也, 王伟锋. 东营凹陷民丰洼陷烃源岩评价[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(4): 473-475 [Xin Ye, Wang Weifeng. Evaluation of source rocks in Minfeng Sub-Sag, Dongying Sag [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(4): 473-475]
- 庄丽. 东营凹陷永安镇三角洲层序地层与沉积体系[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 544-548 [Zhuang Li. Research on the sequence stratigraphy and depositional system in Yonganzhen delta, the Dongying Sag [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(6): 544-548]
- 王居峰. 陆相断陷盆地陡坡带沉积相类型与沉积演化特征——以东营凹陷民丰地区沙三段、沙四段为例[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(5): 611-617 [Wang Jufeng. Sedimentary facies types and evolution features on steep slope belt in terrestrial fault-depressed basin: A case in Sha3 and 4 Member of Minfeng area in Dongying Depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(5): 611-617]
- 范代读, 邱桂强, 李从先, 等. 东营三角洲的古流向研究[J]. 石油学报, 2000, 21(1): 29-33 [Fan Daidu, Qiu Guiqiang, Li Congxian et al. Paleocurrent properties of Dongying delta in Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(1): 29-33]
- 王居峰. 东营三角洲——浊积扇高频层序叠加样式与岩性圈闭[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 303-309 [Wang Jufeng. High frequency sequence stacking mode of Dongying delta-turbidite fans and lithological trap [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(2): 303-309]
- 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]

- 7 王化爱, 张建中, 张宇, 等. 陆相断陷盆地三角洲地层划分与对比——以济阳凹陷东营三角洲为例[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(3): 1-3 [Wang Huaai, Zhang Jianzhong, Zhang Yu, *et al.* Stratigraphic classification and correlation on delta in terrestrial rift basin: Taking Dongying delta in Jiyang Depression as an example[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(3): 1-3]
- 8 Zhang Shanwen. The application of an integrated approach in exploration of lacustrine turbidites in Jiyang Sub-basin, Bohai Bay Basin, China[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2004, 41: 67-77
- 9 刘军钊, 王天正, 许淑芳, 等. 民丰洼陷沙三中亚段永安镇三角洲沉积特点[J]. 中国石油大学胜利学院学报, 2008, 22(2): 9-11 [Liu Jun, Wang Tianzheng, Xu Shufang, *et al.* Sedimentary characters of Yonganzhen delta in the middle of the third member of Shahejie Formation in Minfeng sub-sag[J]. Journal of Shengli College China University of Petroleum, 2008, 22(2): 9-11]
- 10 陈清华, 吴孔友, 王绍兰. 永安镇油田构造特征[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1998, 22(5): 23-25 [Chen Qinghua, Wu Kongyou, Wang Shaolan. Structural features and oil-gas accumulation in Yonganzhen oilfield[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1998, 22(5): 23-25]
- 11 蔡进功, 姜秀芳, 范存堂. 东营盆地始新统沉积体系及盆地演化[J]. 沉积学报, 1995, 13(增刊): 27-37 [Cai Jingong, Jiang Xiufang, Fan Cuntang. Basin evolution and distribution of lacustrine systems in the middle and Upper Eocene, Dongying Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(Supp.): 27-37]
- 12 武法东, 陈建渝, 刘从印, 等. 东营凹陷第三纪层序地层格架及沉积体系类型[J]. 现代地质, 1998, 12(4): 559-566 [Wu Fadong, Chen Jianyu, Liu Congyin, *et al.* Tertiary sequence stratigraphy framework and sedimentary system types in Dongying Depression[J]. Geoscience, 1998, 12(4): 559-566]
- 13 冯友良. 东营凹陷下第三系层序地层格架及盆地充填模式[J]. 地质科学, 1999, 24(6): 634-643 [Feng Youliang. Lower Tertiary sequence stratigraphy framework and basin filling model in Dongying depression[J]. Earth Science, 1999, 24(6): 634-643]
- 14 康仁华, 刘魁元, 赵翠霞, 等. 济阳凹陷渤南洼陷古近系沙河街组沉积相[J]. 古地理学报, 2002, 4(4): 19-28 [Kang Renhua, Liu Kuiyuan, Zhao Cuixia, *et al.* Sedimentary facies of the Shahejie Formation of Paleogene in Bonan sag of Jiyang depression[J]. Journal of Paleogeography, 2002, 4(4): 19-28]
- 15 王居峰. 济阳凹陷东营凹陷古近系沙河街组沉积相[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 45-58 [Wang Jufeng. Sedimentary facies of the Shahejie Formation of Paleogene in Dongying Sag, Jiyang Depression[J]. Journal of Paleogeography, 2005, 7(1): 45-58]
- 16 Li Sumei, Pang Xiongqi, Li Maowen, *et al.* Geochemistry of petroleum systems in the Niuzhuang South Slope of Bohai Bay Basin: Part 4. Evidence for new exploration horizons in a maturely explored petroleum province[J]. Organic Geochemistry, 2005, 36: 1135-1150
- 17 杨勇强, 邱隆伟, 张博明, 等. 民丰洼陷古近系沙三中亚段物源体系研究[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(3): 307-310 [Yang Yongqiang, Qiu Longwei, Zhang Boming, *et al.* The Es₃ provenance system of Eocene Shahejie Formation in Minfeng Sub-sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(3): 307-310]
- 18 冯增昭. 单因素分析综合作图法——岩相古地理学方法论[J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 70-77 [Feng Zengzhao. Single factor analysis and comprehensive mapping method: Methodology of lithofacies paleogeography[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 70-77]
- 19 冯增昭. 单因素分析多因素综合作图法——定量岩相古地理重建[J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 3-19 [Feng Zengzhao. Single factor analysis and multifactor comprehensive mapping method—Reconstruction of quantitative lithofacies paleogeography[J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(1): 3-19]
- 20 Jiang Zaixing, Lu Hongbo, Yu Wenquan, *et al.* Transformation of accommodation space of the Cretaceous Qingshankou Formation, the Songliao Basin, NE China[J]. Basin Research, 2005, 17: 569-582
- 21 刘震, 曾宪斌, 张万选. 构造掀斜对单断湖盆湖平面变化的影响[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 64-67 [Liu Zhen, Zeng Xianbin, Zhang Wanxuan. Profile in sediments in estuaries and its application to sedimentology[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 64-67]
- 22 胡受权. 泌阳断陷陡坡带陆相层序发育的可容空间图解探讨[J]. 高校地质学报, 1998, 4(3): 85-94 [Hu Shouquan. On accommodation diagram of developing mechanics of terrigenous sequence in the steep slope zone of Biyang fault-depression[J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 4(3): 85-94]
- 23 杨伟利, 姜在兴, 操应长, 等. 陆相断陷盆地可容空间转换特征[J]. 沉积学报, 2009, 27(2): 299-305 [Yang Weili, Jiang Zaixing, Cao Yingchang, *et al.* The accommodation transition in faulted lake basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(2): 299-305]

Distribution and Evolution of Sedimentary Facies of the Middle of the Third Member of Shahejie Formation , Paleogene System in Minfeng Sub-sag , Jiyang Depression

ZHAO Wei¹ QIU Long-wei² JIANG Zai-xing³ CHEN Yan³ LIU Jun-e⁴ YANG Yong-qiang²

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

2. College of Earth resources and Information , China University of Petroleum , Qingdao Shandong 266555;

3. Institute of Geophysical Exploration , Shengli Oilfield Company Ltd. , SINOPEC , Dongying , Shandong 257022;

4. Institute of Geological Science , Shengli Oilfield Company Ltd. , SINOPEC , Dongying , Shandong 257015)

Abstract Minfeng sub-sag lies in the southeast of Jiyang Depression , and has super oil-generative and depositional conditions. At present , the degree of lithologic hydrocarbon reservoir exploration is low , so the exploration potential is great. Delta , fan delta and near shore subaqueous fan depositional systems can be found in this area according to the research of seismic , logs and core. Distribution and interaction of depositional systems has been researched based on the identification and analysis of sedimentary feature in the middle of the third Member of Shahejie Formation , Paleogene System (Es₃) in Minfeng sub-sag , using single factor analysis and multifactor comprehensive mapping method. Delta depositional system is the most important one , which can cover the most part of the sub-sag , including Yong'anzen delta and a part of Dongying delta. It mainly contains delta front and fore-delta sub-facies , and the main rocks are in the fine sandstone , siltstone , and dark mudstone , etc. Underwater distributary channel facies visible trough cross bedding , wedge-shaped cross bedding , wavy bedding and washing-filling sedimentary structure. Lithology cycles generally show the upward fining cycles , logging curve shapes are the bell-shaped and box-shaped. In distributary stream mouth bar , the sandstone are sorted well and tabular cross-bedding , wavy bedding and bimodal cross-bedding can be found. Lithology cycles generally show the backward fining cycles , logging curve shapes are the funnel-shaped or dentelated funnel-shaped. In distributary bay , horizontal beddings and lenticular beddings are the most popular sedimentary structure , also , wave-generated ripples , shell deposition and phytoclasts can be found. The slump turbidity sandstone interlining in the thin mudstone can be found in fore-delta sub-facies. There are some typical deformation structure and liquefaction structure in the core and finger-shaped and bayonet-shaped in the log curves. The delta can be divided into 6 units which means 6 depositional phases according to the lithological changes in the single well and the forward characters of events in the seismic profiles. Three of them on the top partly omission in the east of the sub-sag. The fan delta and near shore subaqueous fan only deposited in the north of sub-sag closed to Chenjiazhuang uplift during earlier stage of Es₃. Looking at the sedimentary evolution from building several profiles in different location , we can found a typical phenomenal that the forward and backward occurred in the same time sometimes. There are three different types: in the early stage , delta in the south continually forward while the near shore subaqueous fan in the north backward; in the middle stage , one lobe of Yong'anzen delta's forward while another backward; in the latter stage , the Yong'anzen delta forward to the south while the Dongying delta backward to the south. These can be summarized into three kinds of transformation of accommodation space according to the genesis: ① the transformation of accommodation space caused by tectonic movement between two different sedimentary systems in different structure layers; ② the transformation of accommodation space caused by deposition between two different sedimentary systems in same structure layer; ③ the transformation of accommodation space caused by deposition between two different parts of a sedimentary system in same structure layer.

Key words Minfeng sub-sag; Yong'anzen delta; Dongying delta; depositional system; transformation of accommodation space