

东营凹陷沙河街组四段下亚段层序 地层特征与沉积模式

杨勇强 邱隆伟 南金浩

(1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555)

摘要:近年来东营凹陷南坡沙四下亚段逐渐成为重点勘探目标。由于地层的特殊性,针对研究区层序地层与砂体成因等问题的研究相对薄弱。本次研究采用 V-C 地层分析法,通过钻井、测井、地震、古生物等资料,将沙四下亚段划分为 2 个四级层序,根据地层呈叠加样式,将每个层序划分为两个中期旋回。在连井剖面层序对比的基础上建立了研究区沙四段下亚段层序地层格架,受石村断层强烈翘倾的影响,南坡东部地区沙四下顶部大面积剥蚀。该时期主要发育冲积扇和咸水湖等主要相类型,本文首次系统分析了东营凹陷南坡沙四段下亚段沉积相的演化与分布规律,建立了沙四段下亚段的沉积模式,这对于指导研究区的油气勘探具有重要意义。

关键词: 东营凹陷;沙四下亚段;层序地层;沉积体系;沉积模式

中图分类号: 539.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)01-0033-10

1 引 言

胜利油田的主产区是济阳拗陷,主力油气层是古近系的沙河街组^[1-2]。经过近 40 年的努力,已建成中国第二大油气生产基地,累计探明石油储量近 40 亿 t,天然气 300 多亿 m³,累计采出油气逾 10 亿 t。随着油气田的开发和勘探程度的不断提高,在原主力层系内进一步挖潜的空间越来越小,难度越来越大,深层和外围已成为寻找后备储量的主要阵地,在这种情况下,“红层”中的油气勘探逐渐变得越来越重要。

沙四下时期为断陷湖盆发育的断-拗转换时期与拗陷阶段,盆地基底沉降速率明显降低,地形趋于平缓,干旱气候下非稳定性湖盆广泛发育,沙四下亚段以紫红色、灰绿色泥岩为主,夹紫红色砂岩、粉砂岩、含砾砂岩、含膏泥岩及薄层碳酸盐岩,局部形成膏盐聚集区,常被人们称为“红层”。前人对该类地层

进行了很多研究工作^[3-6],但对东营凹陷沙四下亚段的研究相对较少,目前整体研究和认识程度极低,由于缺少有效的对比方法,前人主要以“红泥灰砂”和“红砂红泥”的岩性特征来识别和划分该套地层,导致对区域的地层接触关系不明确,进而制约了对沉积体系、储层分布的研究,以及该层系的油气勘探进程。

本文以层序地层学理论为指导,通过岩心、钻井、测井、地震、古生物等资料首次系统分析了东营凹陷南坡沙四段下亚段的层序地层特征与沉积相的构成、演化与分布规律,明确了各种沉积砂体的相互联系以及共生规律,对于油田实现增储上产的目标具有重要意义。

2 地质概况

东营凹陷是中国东部陆相箕状断陷湖盆的典型代表,具有北断南超(剥)、西断东超(剥)的不对称复

收稿日期:2010-08-02;改回日期:2010-09-01

基金项目:国家重大专项“油气勘探新领域储层地质与油气评价”(2008ZX05009-002)及中国石油大学(华东)优秀博士论文培育项目共同资助。

作者简介:杨勇强,男,1982 年生,博士生,主要从事层序地层学及沉积学研究;E-mail:yangyq_520@163.com。

式半地堑形态,属于渤海湾盆地中的 1 个三级构造单元^[1],是在中、古生界基岩古地形背景上经构造运动发育起来的中、新生代断陷—坳陷湖盆。东营凹陷南斜坡在构造上可以划分为 10 个二级构造带,包括青城凸起、鲁西隆起、广饶凸起、博兴洼陷南坡、纯化草桥断裂鼻状构造带、金家樊家鼻状构造、柳桥鼻状构造、牛庄洼陷南坡、陈官庄—王家岗断裂背斜带、八面河断裂鼻状构造^[1]。受纯化草桥断裂鼻状构造的影响,东营凹陷南斜坡东段和西段地区的沉积环境、构造特征略有不同(图 1)。

该时期除了陈南断层东段、石村断层等北西向断层继承性活动外,陈南断层西段、滨南—林南断层、高青—平南断层、博兴断层等东北(北东东)向断层开始活动,且强度较大。大量 NEE(或 EW)向断裂发育,东营凹陷内部盆地结构发生分化,形成各次级构造带。

3 层序地层特征

运用经典层序地层学的研究方法在研究此类湖盆层序地层的过程中,往往缺乏明显的低水位体系域沉积,而只发育湖进和湖退体系域,且湖平面的升降变化较难识别。因此仅利用经典的层序地层学理论很难有效地进行地层划分。cross 为代表的高分辨

率层序地层学方法则从地层基准面升降变化的转换点的识别和追踪为出发点,对于整合地层内层序格架的建立更具优势,其二分体系域或相域的观点也解决了低位体系域难以识别的情况下研究地层分布规律带来的问题。因此将两种理论体系结合起来,应该是建立陆相冲积—咸水湖体系层序地层格架和研究地层与沉积体系分布、演化的有效途径。

笔者在研究区详细沉积特征研究的基础上,建立了研究区的地质模型,在探讨了各层序地层学理论优缺点的基础上,通过采用 V(vail)-C(cross)地层对比法,建立了适合研究区的地质格架。

3.1 层序界面特征

3.1.1 地震识别标志

在地震剖面中反映地层不协调的地震反射终止有削蚀、削截与上超,可代表区域性的侵蚀间断或无沉积型的间断。削截、削蚀是指原始倾斜的地层在水平方向上的角度交切,其成因与构造升降、周期性暴露有关^[7]。

研究区沙四上亚段与沙四下亚段之间存在一个不整合面,在地震上对应 T7x 标准层。本次研究首次发现沙四下亚段与孔店组之间存在一个区域的不整合面,本次定义为 Tk,如在梁 120 地区可以发现明显的削截现象(图 2)。根据层序地层学原理,东营

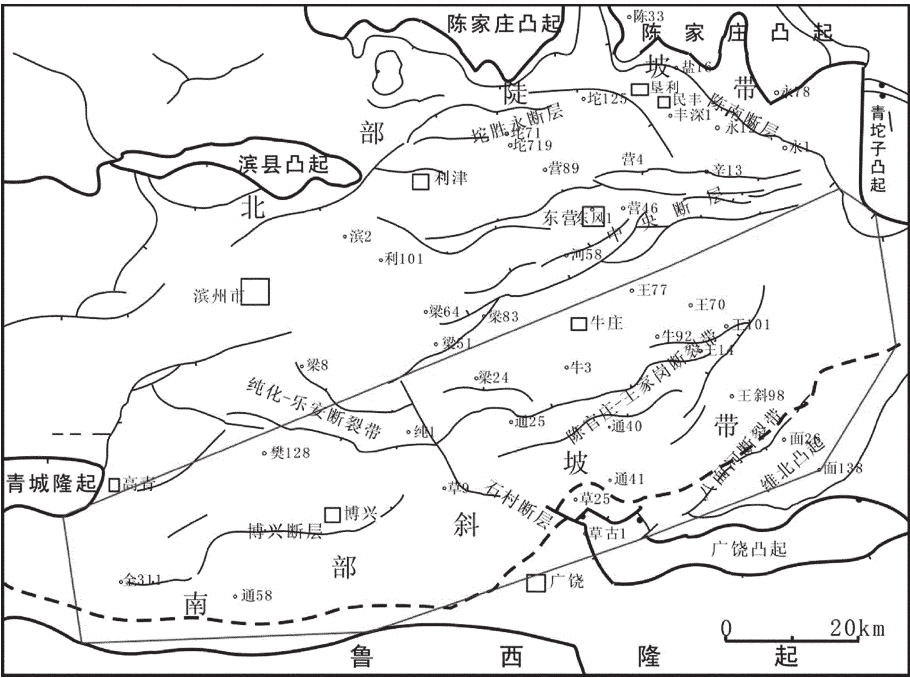


图 1 东营凹陷区域构造图
Fig.1 Tectonic map of the Dongying depression

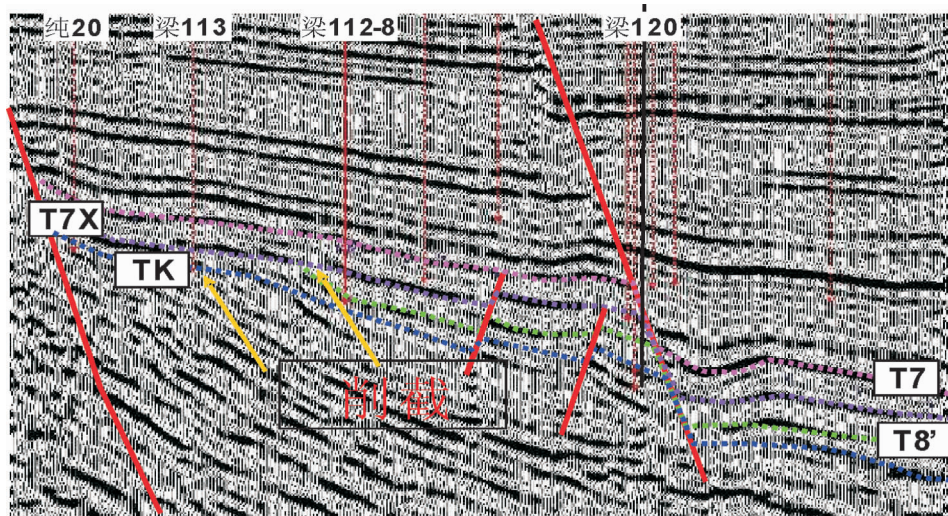


图 2 东营南坡过纯 20—梁 113—梁 112-8—梁 120 地震剖面图

Fig.2 Seismic cross section on the south slope of Dongying depression
(across well C20—well L113—well L112-8—well L120)

凹陷下第三系沙四下亚段为一个完整的三级层序。

3.1.2 古生物识别标志

由于层序界面上下气候变化以及由此所导致的湖水深浅等因素的影响,古生物组合会相应地存在明显变化,反映生物演化的阶段性和环境突变。不同的层序,具有不同的代表性化石组合。由于沙四下亚段常缺少化石,以致于产生所谓的“哑层”,因此对古生物标志的认识不是很明确。本次研究通过对东营凹陷 8 口古生物井的面貌特征分析,结合其他相关资料认为沙四下与孔一段分界的主要标志有:在界面处,麻黄粉属含量为最高峰,干旱性植物孢粉含量最高峰值处,栎粉属、榆粉属开始显著减少。

以梁 120 井为例,2896~2998 m 井段,蕨类稀少,仅见个别三角孢属。裸子类中单/双束松粉属、雪松粉属和杉粉属含量高,麻黄粉属有较高含量。被子类榆粉属和栎粉属含量高,前者高于后者。该井段层位为沙河街组四段上亚段,环境为亚热带干旱气候下的浅湖沉积。3024~3158 m 井段,杉粉属、单/双束松粉属和麻黄粉属含量高,麻黄粉属连续出现;榆粉属含量也较高,含量大于栎粉属,异常桉木粉属含量较低;藻类分异度较低,该井段以粒面渤海藻小型亚种和粒面副渤海藻为主,其他分子较少。见有微小德弗兰藻(1 粒)、黄骅五边藻、古囊藻属(未定种)等特征分子,还有多刺甲藻属(未定种)、网面球藻属(未定种)、粒面球藻属、透明光面球藻及短棘盘星藻等,层位为沙四

下亚段,为半咸水湖相环境。3184~3286 m 井段,杉粉属、单/双束粉粉属和麻黄粉属含量高,榆粉属含量也较高,含量大于栎粉属。异常桉木粉属有一定含量,杨梅粉属和库盘尼粉属少量出现,三孔沟类和三沟类含量有所增加,层位已进入孔一段。

3.1.3 岩性识别标志

层序界面的形成是由于沉积环境的突变或沉积不连续引起的,在岩性及沉积相上表现为岩相的突变、岩石岩性和颜色的变化等特征。

从岩性上看,该区沙四上亚段多为一套灰色、深灰色泥岩、灰岩夹少量白云岩、褐灰色油页岩。由于受到沉积环境的控制,沙四下顶部的岩性特征明显存在差异。草桥—乐安—陈官庄一线发育冲积扇中扇沉积,岩性主要为紫红色泥岩夹中厚层砾岩及含砾砂岩,向北砾岩逐渐减少,以中厚层中粗砂岩为主;在纯古 1 井区,主要发育冲积扇扇缘沉积,主要发育砂质泥岩,北部纯梁地区则主要发育灰岩,而在梁 120 井区则发育一套含膏泥岩;博兴地区由于受火山作用影响较强,发育多套火山岩沉积,火山岩上下沉积环境明显发生变化,下部主要为红色的陆上沉积,而上部主要为深水沉积,且声波时差存在较大差异,局部地区可以火山岩为层序界面。

3.1.3 测井识别标志

测井信息的纵向分辨率远高于地震资料,与取心不同,测井资料可以进行全井段的地层分析,再结

合取心、露头等资料,可进行定量化和横向对比研究,目前已广泛地应用于层序地层学的研究之中。

从全区来看对于沙四上和沙四下界面自然电位曲线变化不明显,因此笔者主要考虑了电阻率曲线(或感应电导率曲线)结合补偿声波时差曲线特征划分,沙四上下部自然伽马以高频的漏斗状旋回为主,沙四下顶部以高频的钟形旋回为主;电阻率曲线沙四上下幅度差异明显;补偿声波时差曲线沙四上多呈高中幅尖刺状,而界线之下补偿声波时差曲线呈低幅尖峰状或微齿状,沙四上下幅度差异明显。进入孔店组后,存在一套稳定的基准面旋回,由上升半旋回和下降半旋回组成,区域上较好识别,且向上基准面 上升,可作为沙四下底界面的识别标志。

3.2 转换面特征

根据高分辨率层序地层学理论,转换面包括两层意思,一是基准面由上升变为下降或由下降变为

上升的转换,一是由于基准面的升降转换所引起的沉积作用的转换,包括进积、退积、加积等沉积作用的相互转换^[9]。

在地层剖面中,最重要、最容易识别的沉积作用转换面出现在地层呈进积叠加样式向退积叠加样式的转换位置,由于其代表了基准面下降向基准面上升的转换,为可容纳空间最小时期,因而是具时间意义的层序地层界面。研究区 T8'即为该类基面,界面上下地层叠加样式发生变化(图 3)。

本次研究主要通过伽马曲线进行小波处理,得到的小波曲线进行基准面旋回的划分。基准面下降半旋回在小波曲线上主要表现为从下到上小波系数曲线值总体变化趋势由小到大,顶部值异常大并且振荡趋势较剧烈。基准面上升半旋回在小波曲线上表现为从下到上小波系数曲线值总体变化趋势由大到小,底部值异常大并且振荡趋势较剧烈。

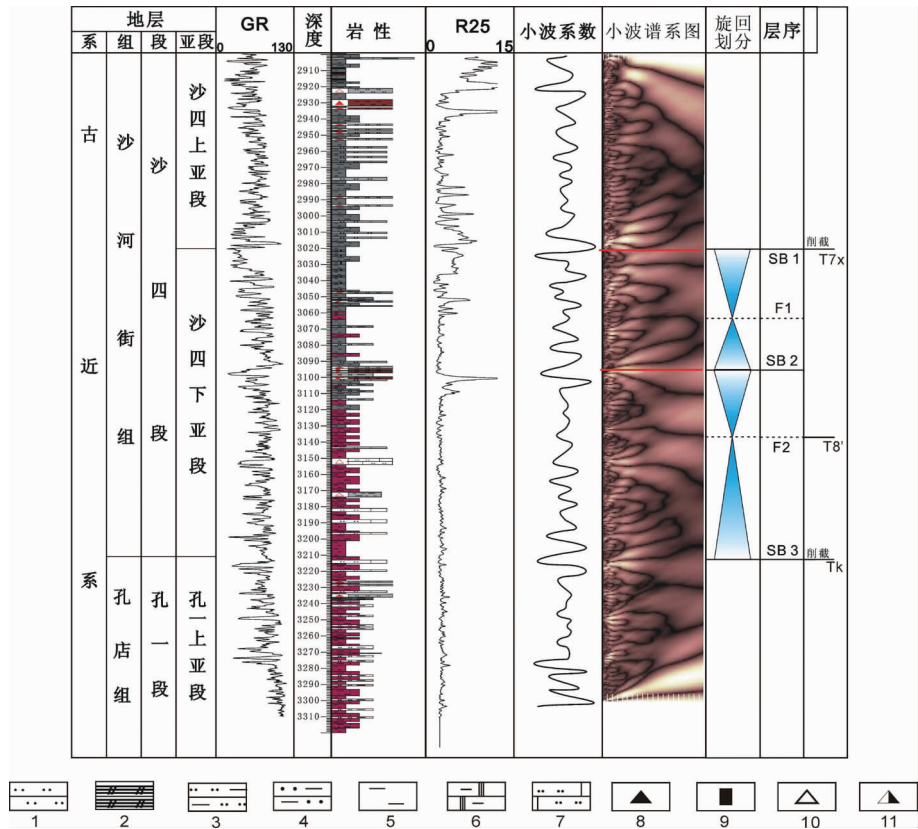


图 3 东营凹陷南坡沙四下亚段层序地层划分

1—砂岩;2—油页岩;3—砂质泥岩;4—泥质粉砂岩 5—泥岩;6—含石膏泥岩;7—灰质粉砂岩;
8—油斑;9—饱含油;10—油迹;11—荧光

Fig.3 Sequence stratigraphic division of Lower Es4 in the Dongying depression

1—Sandstone; 2—Oil shale; 3—Sandy mudstone; 4—Pelitic siltstone; 5—Mudstone; 6—Gypsiferous mudstone;
7—Cinereal siltstone; 8—Oil patch; 9—Oil-bearing grade of core; 10— Grease spot; 11—Fluorescence

3.3 层序内部特征

运用转换面的概念,以钻/测井、地震资料为基础,在沙四下段可识别出 5 个具有时间意义的界面,包括 3 个较大规模层序界面,即基准面下降与上升的转换面(自上而下分别命名为 SB1、SB2、SB3),和 2 个较大规模的洪泛面,即基准面上升与下降的转换面(自上而下分别命名为 F1、F2)(图 3)。将研究区沙四下亚段划分为两个四级层序,从上至下依次命名为层序 1 和层序 2。该层序划分方案可在全区的钻井剖面间进行良好的对比。

与前人的认识不同,本次研究发现沙四下顶部存在明显的剥蚀现象,通过地震剖面的精细解释,对剥蚀范围进行了刻画(图 6~7)。东营凹陷南坡红层顶部剥蚀范围主要分布于石村断层下盘区域、牛庄洼陷南部、陈官庄—王家岗、八面河及广饶凸起等地区。而东营凹陷主体牛庄洼陷南部、陈官庄—王家岗、八面河及广饶凸起等地区红层顶面的剥蚀由主要与陈南断层强烈活动下地层的翘倾作用。Ek~Es4x 期 NW 向断层控盆→Es4s~Ed 期 NEE 向断层控盆的转化,造成盆地沉积格局的转变,是东南坡 Ek~Es4s 顶面的地层剥蚀强度大于西南坡主要原因。

4 沉积相类型及特征

通过对东营凹陷各井所钻遇的沙四段下亚段地

层的岩石类型、泥岩颜色、自生矿物、沉积构造、生物及测井曲线特征等相标志的综合分析,可将东营凹陷南坡沙四下亚段划分为 2 种沉积亚相、6 种沉积微相。

4.1 冲积扇相

研究区冲积扇岩性总体较粗,主要为砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、粗砂岩、砂岩以及红色泥岩等,沉积物分选磨圆差、结构成熟度和矿物成熟度都较低。根据冲积扇的沉积特征,可以进一步划分为扇根、扇中和扇缘 3 个亚相。

4.1.1 扇根亚相

扇根位于临近冲积扇顶部地带的断崖处,其特点是沉积坡角最大,并发育有单一的或 2~3 个直而深的主河道。主要包括主河道沉积与泥石流沉积。主河道测井曲线主要表现为“箱形”(图 4-A),主要由灰色、灰绿色、杂色细—中砾石和粗砂组成,分选较差,层理不发育,多呈块状(图 5-a)。泥石流沉积表现为砾、砂、泥混杂,粒级大小相差悬殊,分选及磨圆极差,为杂基支撑砾岩。砾石形态多样,既有棱角状也有卵石状,反映出砾石形成条件和沉积环境的不同。有时可见不清楚的递变层理,但一般层理不发育或不清楚而呈块状,如王 730 井 1379.58 m 处泥石流沉积(图 5-b)。岩心观察中有时还可以看到泥石流沉积的变种—泥流沉积,泥流沉积粒度较细,主要

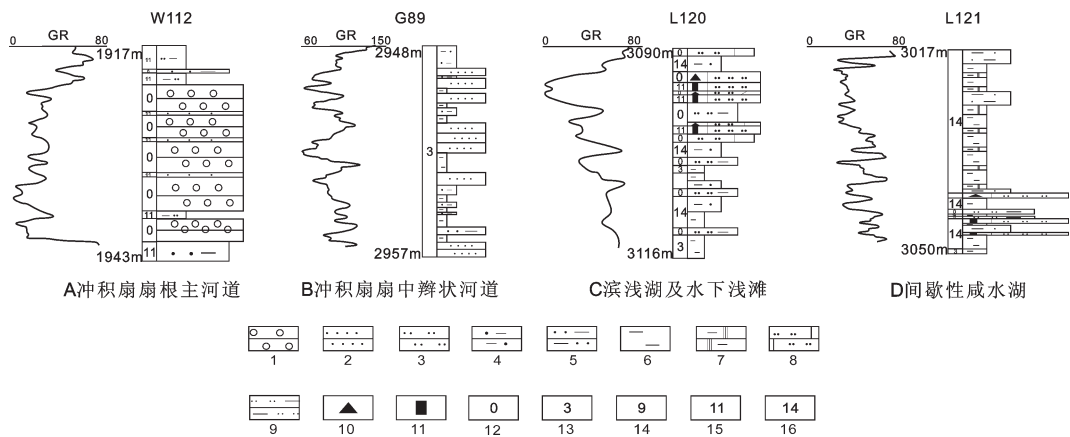


图 4 东营凹陷南坡沙四段典型沉积测井响应特征

1—砾岩;2—砂岩;3—粉砂岩;4—砂质泥岩;5—粉砂质泥岩;6—泥岩;7—含石膏泥岩;8—灰质粉砂岩;
9—泥质粉砂岩;10—油斑;11—饱含油;12—灰白色;13—紫红色;14—褐色;15—紫色;16—灰色

Fig.4 Typical logging response characteristics of the south slope of Dongying depression sedimentary system

1—Conglomerate; 2—Sandstone; 3—Siltstone; 4—Sandy mudstone; 5—Silty mudstone; 6—Mudstone; 7—Gypsiferous mudstone; 8—Cinereous siltstone;
9—Argillaceous siltstone; 10—Oil spot; 11—Oil-bearing grade of core; 12—Grayish white; 13— Purplish red; 14—Brown; 15—Purple; 16—Grey

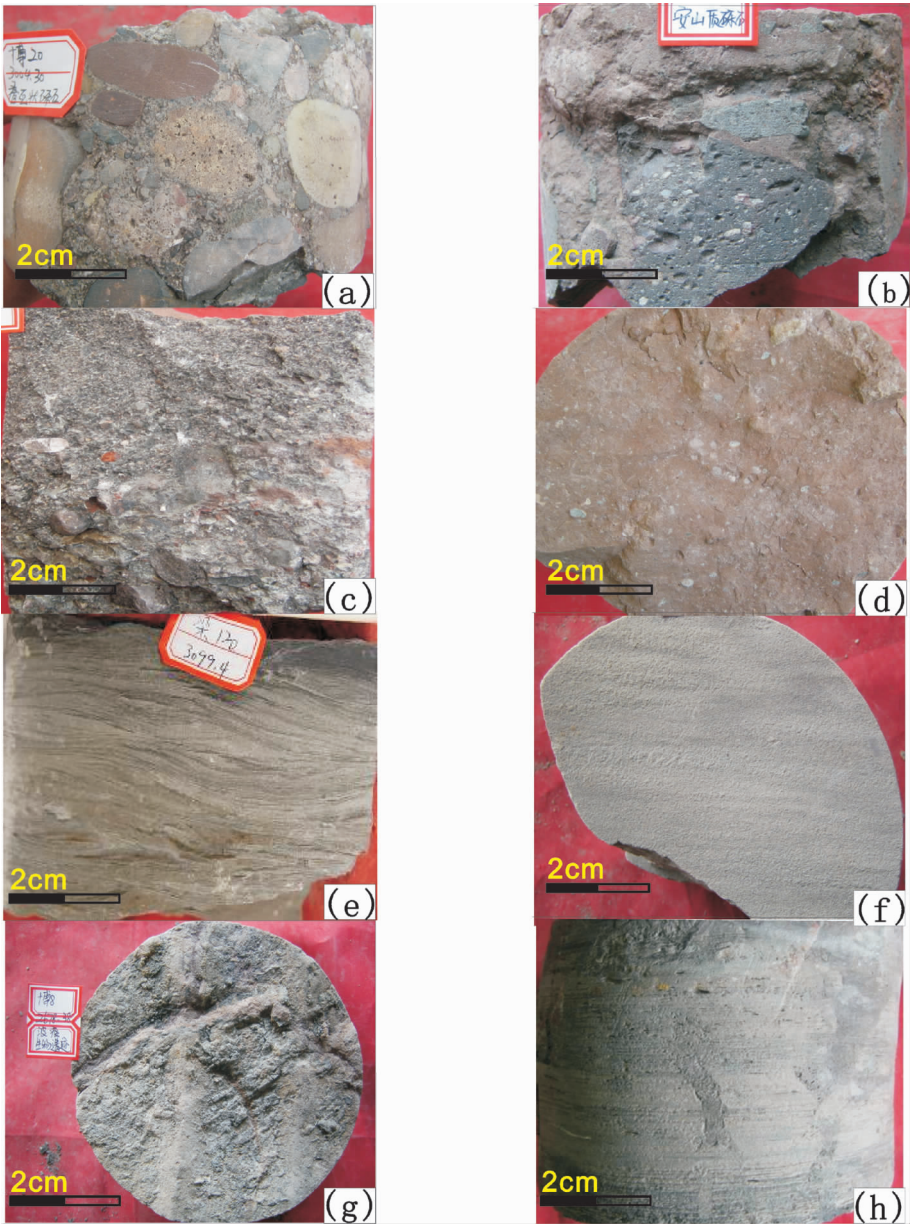


图 5 东营凹陷南坡沙四下亚段岩心照片

(a)—博 20 井, 3044.3 m, 叠瓦状砾石; (b)—王 730, 1379.08 m, 安山质砾石; (c)—王 130 井, 2289.74 m, 正粒序; (d)—王 730, 1379.58, 泥石流沉积; (e)—梁 120 井, 3099.4, 浪成砂纹层理; (f)—官 125 井, 1828.6 m, 冲洗线理; (g)—博 8 井, 2678.38m, 波痕及生物扰动; (h)—梁 120 井, 3050.7 m, 生物潜穴

Fig.5 Core photographs of lower Es4 on the south slope of Dongying depression

(a)—Well Bo20, 3044.3m, imbricated gravel; (b)—well Wang730, 1379.08m, andesitic gravel; (c)—well Wang130, 2289.74 m, normally grading; (d)—well Wang730, 1379.58m, torrential sediments; (e)—well Liang120, 3099.4 m, wave ripple lamination; (f)—well Guan125, 1828.6m, flushing lineation; (g)—well Bo8, 2678.38 m, bed ripple and fossil texture; (h)—well Liang120, 3050.7 m, burrow pore

由砂和泥组成, 含有小块砾石(图 5-c)。

4.1.2 扇中亚相

扇中主要发育辫状水道沉积及漫溢沉积。岩性主要为粉砂岩、砂岩、砾状砂岩、砾岩与棕色、紫色泥岩互层, 与扇根沉积相比较, 砂岩及砾岩比率增加。

扇中辫状河道砂岩具平行层理、板状层理和槽状交错层理, 砾石呈叠瓦状排列, 其粒度分布累计概率曲线为斜率很高的两段式, 为高流态牵引流沉积环境的特征。河道冲刷-充填构造较发育, 也是扇中沉积的特征之一。并且常因这种构造的影响使粗粒物质

位于扇体的中部或下部,以致破坏了沉积物粒度从扇顶至扇缘逐渐变细的特征。测井曲线呈“钟型”、“箱型”(图 4-B)。

4.1.3 扇缘亚相

扇缘位于冲积扇的趾部,其地貌特征是具有最低的沉积坡角和地形较平缓。主要由漫溢沉积组成。沉积物通常由砂岩和含砾砂岩组成,夹粉砂岩和粘土岩,局部也可见膏盐层,但有时细粒沉积物也较为发育。在研究区的扇缘沉积中砂岩和含砾砂岩中可见不明显的平行层理、交错层理和冲刷—充填构造,粉砂岩和泥岩则可显示块状层理、水平纹理以及变形构造(图 5-d)。

通过单井层序研究发现,研究区沙四下亚段南坡东西两侧均发育下粗上细的正旋回冲积扇层序。由冲积扇相序可推知,沙四下亚段晚期研究区由于控盆断层的活动,南坡鲁西隆起和广饶凸起抬升,洪水携带大量陆源碎屑沿凹陷边坡沟谷高速冲向凹陷内,并挟带沿途的堤岸物顺坡而下,随着坡度减缓,流速急剧下降,形成扇形快速堆积体。沙四下亚段早期由于断层活动的强度降低,气候的逐渐变潮湿,沉积物堆积速率小于盆地沉降速率,冲积扇砂体逐渐不断地向凸起方向退积。

4.2 盐湖相

研究区湖泊相发育,主要发育滨浅湖和半深湖亚相,由于沙四下时期,气候相对干旱,盐湖相沉积多为盐岩与暗色泥岩互层,且暗色泥岩中常含有大量的膏岩晶体。这说明盐类沉积是在一定水深条件下一深湖或半深湖背景中沉淀的。

4.2.1 滨浅湖亚相

研究区浅湖相暗色泥岩发育,一般发育大套暗色泥岩,发育丰富的介形虫、腹足类、藻类等化石,典型的沉积构造为水平层理,没有暴露构造,常见黄铁矿的还原性矿物。

4.2.2 水下浅滩

水下浅滩水浅但始终位于水下,主要由岸流和波浪的再搬运和再沉积所形成,砂质物质主要来源于附近冲积扇砂体,由于砂体经过长距离的搬运和筛选,分选性较好,岩性为灰色粉砂质泥岩、泥岩和粉砂岩的薄互层。水下浅滩包括浅滩主体和浅滩边缘等沉积微相。例如官 125 井发育水下浅滩砂体,岩性主要为灰色、灰绿色、棕红色粉砂岩、泥质粉砂岩与棕红色泥岩、粉砂质泥岩互层,岩石样品矿物成熟

度皆大于 1,砂岩类型为长石砂岩,岩屑主要为变质岩,杂基主要为泥质,胶结物主要是方解石及白云石。

水下浅滩沉积构造类型多样,常见平行层理、波状层理、浪成砂纹层理、槽状交错层理、冲洗层理等(图 5-e,f),其中块状层理多由生物扰动所致,岩心常见生物潜穴切穿层理中纹层及层系,使之呈断续状。生物扰动非常发育,有时成为砂体中油气分布的重要控制因素。潜穴类型多样,主要有有垂直、倾斜、水平 3 种类型(图 5-h),测井曲线表现为“漏斗形”(图 4-C)。

4.2.3 半深湖

岩性为深灰色泥岩与盐岩,盐湖多为封闭湖盆,盆内水体分层现象明显,有利于有机质的保存。高盐度水体密度较大,容易形成盐类饱和流或盐类重力流,这样盐类就可以在湖泊中心或斜坡带底部沉淀,导致洼陷内部盐岩层厚度明显加厚。在物源供给主要方向上,水体不断被冲淡,因此不利于盐类沉淀;湖泊中心受陆源碎屑和淡水的影响较小,湖水盐度较高,有利于盐类沉淀^[9-10]。由于膏岩的存在,测井曲线主要表现为高伽马特征(图 4-C)。

5 沉积体系时空分布

受区域构造演化和气候的控制,沙四下亚段沉积早期,南斜坡大部分为水上沉积环境。紧邻源的地方物源供给充足,发育大型冲积扇,向湖盆方向发育咸水湖泊体系。

层序 2 沉积时期,八面河—王家岗南部地区冲积扇沉积体系主要由 3 个小规模的冲积扇体组成,向西北推进至纯古 1 井附近,向北推延伸至王 13、官 12 井附近,向东北推进至面 1 井附近。金家—柳桥构造带西部广 3 井附近发育一小型冲积扇,延伸距离较短,向西北方向推进至广 7 以及博 19 井附近。金家—柳桥西段以及博兴洼陷南坡发育的冲积扇体系由两个冲积扇体组成,由鲁西隆起向北东方向推进,向北推进至博 104 及高 891 井附近,向东推进至博 3 井附近。盆地北部主要发育咸水湖,分布有大量的水下浅滩。

层序 1 沉积时期,盆地的西部及西北部仍以冲积扇沉积为主,北部大范围为咸水湖沉积。主要发育 3 个呈带状、大致呈东西向展布的水下浅滩沉积该时期受石村断层活动的影响,造成地层抬升,南坡东段部剥蚀严重。盆地西部及西北部主要发育冲积扇

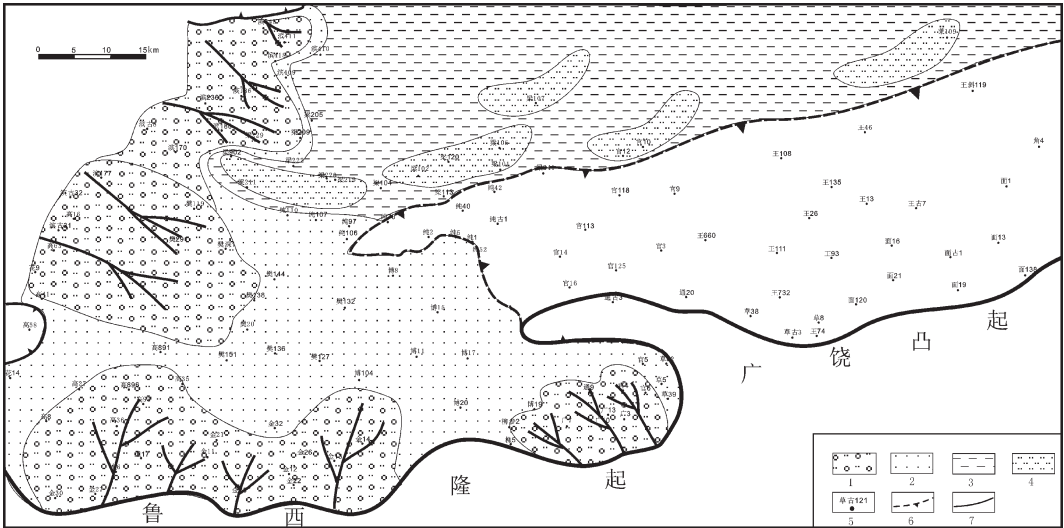


图 6 东营凹陷南坡层序 2 沉积相平面分布图

1—冲积扇;2—冲积平原;3—咸水湖;4—水下浅滩;5—井位;6—剥蚀边界;7—突起边界

Fig.6 Ichnography of sedimentary facies of sequence 2 on the south slope of Dongying depression

1-Alluvial fan; 2-Alluvial plain; 3-Saltwater lake; 4-Submerged shallow; 5-Well location; 6-Denuded border; 7-Bossy border

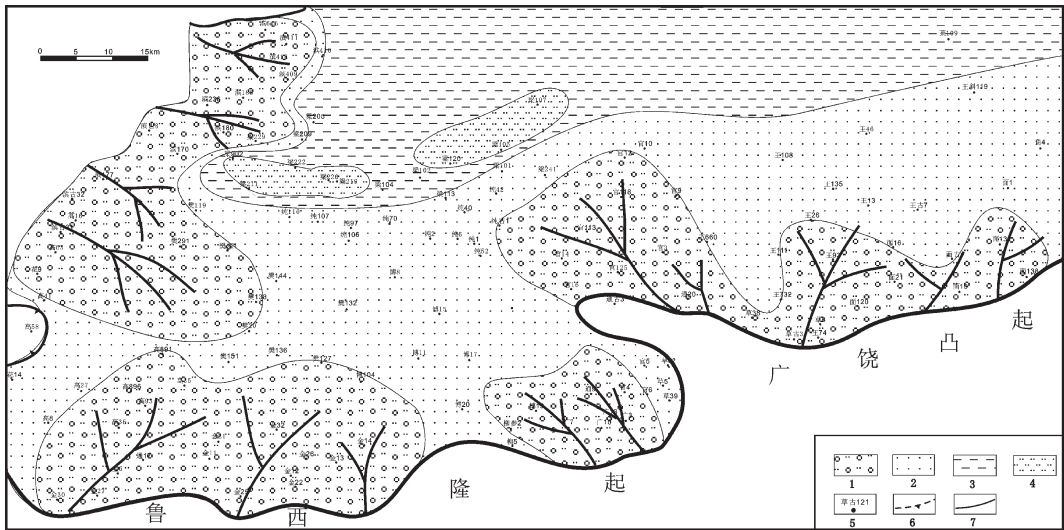


图 7 东营凹陷南坡层序 1 沉积相平面分布图

1—冲积扇;2—冲积平原;3—咸水湖;4—水下浅滩;5—井位;6—剥蚀边界;7—突起边界

Fig.7 Ichnography of sedimentary facies of sequence 1 on the south slope of Dongying depression

1-Alluvial fan; 2-Alluvial plain; 3-Saltwater lake; 4-Submerged shallow; 5-Well location; 6-Denuded border; 7-Bossy border

沉积体系。草桥—陈官庄的冲积扇向西北方向推进至博 10、柳参 2 井附近。金家—桥西段以及博兴洼陷南部发育一大型冲积扇，扇体形态呈朵状由鲁西隆起向北、西北、东北 3 个方向推进，向北推进至高

891 井附近，向西至高 37 井附近，向东至博 104 井附近。高青—平南断裂构造带附近发育一大型冲积扇，扇体由青城凸起向东推进至樊 138、樊 151 井附近。由于气候更加湿润，在湖区水下浅滩砂体发育范

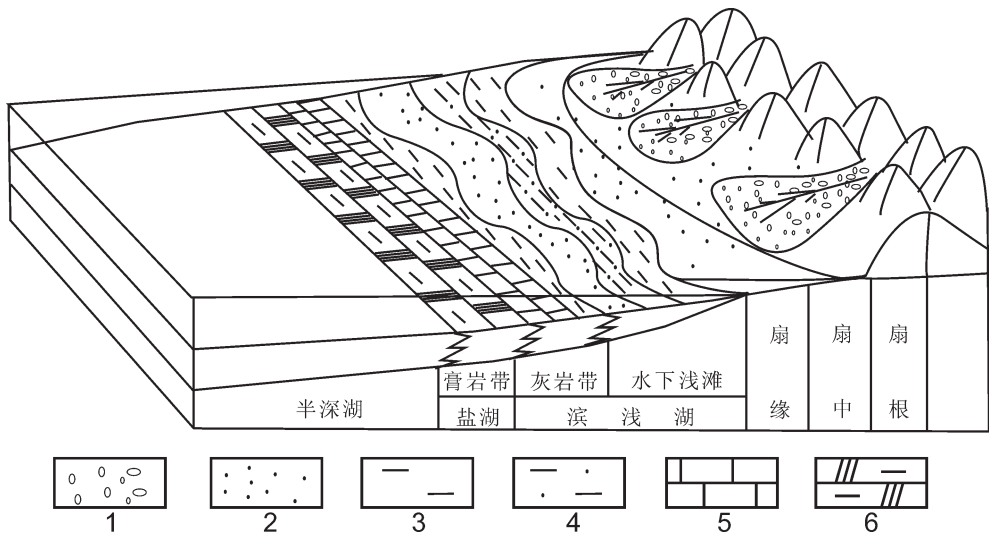


图 8 东营凹陷南坡沙四下亚段沉积充填模式图
1—砾岩;2—砂岩;3—泥岩;4—砂质泥岩;5—灰岩;6 膏岩
Fig.8 Sedimentary filling model of lower Es4 on the south slope of Dongying depression
1—Conglomerate; 2—Sandstone; 3—Mudstone; 4—Sand mudstone; 5—Limestone; 6—Gypsum rock

围明显增大。

6 沉积体系发育模式

综合前面的相标志和单井沉积学分析，发现东营凹陷沙四下亚段沉积层序主要受气候的控制，表现出明显的沉积韵律特点。基准面上升半旋回，盆地周缘洪水注入湖盆，并携带大量沉积物形成洪水水道，湖水盐度降低，主要沉积泥岩、灰质泥岩等。基准面下降半旋回洪水期后水体能量逐渐降低，后期波浪改造后形成水下浅滩沉积，湖盆内部则主要沉积泥膏岩、石膏、膏盐岩及盐岩等。以此建立了适合研究区的冲积—咸水湖沉积模式。平面上，靠近隆起处主要发育冲积扇，依次发育扇根、扇中及扇缘。向湖盆方向主要发育间歇性咸水湖，主要发育一些水下浅滩沉积(图 8)。

7 结 论

(1)在沙四下段可识别出 5 个具有时间意义的界面,包括 3 个较大规模层序界面,即基准面下降与上升的转换面(自上而下分别命名为 SB1、SB2、SB3),和 2 个较大规模的洪泛面，即基准面上升与下降的转换面(自上而下分别命名为 F1、F2)。将研究区沙四下亚段划分为两个四级层序，从上至下依次命名为

层序 1 和层序 2。该层序划分方案可在全区的钻井剖面间进行良好的对比，由于后期石村断层的翘倾作用，使南坡东部地区发生大规模剥蚀。

(2)沙四下亚段时期,研究区处于盆地初陷—断陷期的继承性阶段,受大的构造背景的控制,主要发育冲积扇和咸水湖沉积，湖平面主要受季节性洪水控制,早期和晚期沉积体系分布特征具有继承性,但由于气候逐渐变潮湿,晚期冲积扇的规模相对变小，湖区的砂体更为发育，其中冲积扇辫状河道砂体和水下浅滩砂体是有利的储集体。

(3)结合现有勘探的成果,认为沙四下亚段大面积分布分布的储层为油气藏的形成提供了基础;由于自生不生油，因此油源断层发育与否是成藏的首要因素;构造的高部位是油气运移的指向,控制着油气的富集，同时区域的不整合也控制着地层油藏的发育。

参考文献(References):

[1] 潘元林, 李思田. 大型陆相断陷盆地层序地层与隐蔽油气藏研究—以济阳坳陷为例[M]. 北京:石油工业出版社, 2004:57-81.
Pan Yuanlin, Li Sitian. Study of Large-scale Continental Rift Basin Sequence Stratigraphy and Subtle Oil and Gas Reservoir -Taking Jiyang Depression for Example [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2004:57-81(in Chinese with English preface).

- [2] 赵澄林, 刘孟慧. 渤海湾早第三纪断陷盆地含油气岩系沉积学及沉积相的基本特征[J]. 石油学报, 1991, 12(2):28-32.
Zhao Chenglin, Liu Menghui. Basic feature of the early Tertiary petroleum-bearing formation in Bohai Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1991, 12(2):28-32 (in Chinese with English abstract).
- [3] 韦启新, 苑小燕. 我国东部油田红层沉积特征与油气成藏规律[J]. 石油学报, 2008, 29(2):191-194.
Wei Qixin, Yuan Xiaoyan. Sediment features and oil-gas pool forming regularity of red beds in the eastern China oilfields [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29 (2): 191-194 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张守鹏, 刘成东, 贺振建, 等. 东营凹陷深部“红层”地层划分方法探讨[J]. 地学前缘, 2003, 10(2):465-469.
Zhang Shoupeng, Liu Chengdong, He Zhenjian, et al. Stratigraphic division of redbeds in deep Dongying depression, east China[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10 (2):465-469 (in Chinese with English abstract).
- [5] 杨伟利, 陈义宝. 八面河地区孔店组河流-冲积相层序地层学研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2008, 23(4):26-29.
Yang Weili, Chen Yibao. Study on the sequence stratigraphy of the fluvial-alluvial facies of Kongdian formation in Bamianhe area, Dongying Sag [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2008, 23(4):26-29.
- [6] 杨玉卿, 皇海权. 泌阳凹陷东南缘下第三系红层成因浅析[J]. 河南地质, 1996, 14(1):39-44.
Yang Yuqing, Huang Haiquan. Origin of red beds of lower Tertiary in the southeastern margin of Biyang Depression[J]. Henan Geology, 1996, 14(1):39-44 (in Chinese with English abstract).
- [7] 倪超, 纪友亮. 饶阳凹陷古近系沙河街组层序地层分析及沉积体系研究 [J]. 中国地质, 2006, 33(1):193-200.
Ni Chao, Ji Youliang. Sequence stratigraphy and sedimentary system of the Paleogene Shahejie Formation in the Raoyang subbasin [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):193-200 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王红亮. “转换面”的概念及其层序地层学意义[J]. 地学前缘, 2008, 15(2):35-42.
Wang Hongliang. Concept of turnaround surface and its significance to sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 35-42 (in Chinese with English abstract).
- [9] 方志雄. 江汉盆地盐湖沉积充填模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006:201-202.
Fang Zhixiong. The Filling Models of Jiangnan Salt Lake Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006:201-202(in Chinese).
- [10] 屈红军, 李文厚, 苗建宇, 等. 东濮凹陷濮卫洼陷盐岩发育规律及成因探讨[J]. 中国地质, 2003, 30(3):309-314.
Qu Hongjun, Li Wenhui, Miao Jianyu, et al. Development pattern of salt rocks in the Puwei subdepression of the Dongpu depression and their genesis [J]. Geology in China, 2003, 30 (3):309-314(in Chinese with English abstract).

Sequence stratigraphy characteristics and sedimentary model of Lower Es₄ on the south slope of Dongying Depression

YANG Yong-qiang, QIU Long-wei, NAN Jin-hao

(College of Earth Resource and Information, China University of Petroleum, Qingdao 266555, Shandong, China)

Abstract: In recent years, the south slope of Dongying Depression has become the focus of the exploration target. Due to its special stratigraphic formation, the study of sequence stratigraphy and sand origin of the study area is relatively weak. Using V-C formation analysis, the authors have divided the study area into two sequences on the basis of sequence boundaries, well logging curve, seismic reflective characteristics and palaeontological features. The sequence can be subdivided into two mid-cycles according to the stacking patterns of stratigraphy as well as changes of lithology and lithofacies. The sequence stratigraphic correlation in well-tied sections makes it possible to construct the regional stratigraphic framework. Due to the tilting of Shicun fault, the eastern part of the study area has been denuded. Alluvial fan and saltwater lake are developed in the study area. The evolution and distribution of sedimentary faces of lower Es₄ on the south slope of Dongying depression is analyzed for the first time in this paper, and the sedimentary model is established. These research results have great significance in search for subtle traps in this depression.

Key words: Dongying sag; lower 4th Member of Shahejie Formation; sequence stratigraphy; sedimentary system; sedimentary system model

About the first author: YANG Yong-qiang, born in 1982, male, doctor candidate, engages in the study of sequence stratigraphy and sedimentology; E-mail: yangyq_520@163.com.