

文章编号: 1009-3850(2006)03-0037-08

东营凹陷南坡东段沙河街组四段上亚段 高分辨率层序地层与沉积演化特征

张永旺¹, 邓宏文¹, 高霞², 刘军³, 徐志伟³

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学 地球探测与信息技术学院, 北京 100083; 3. 吉林油田地质研究院, 松原 138000)

摘要: 东营凹陷南斜坡为具有多层含油层系、多种油气藏类型的复式油气聚集带, 其中沙河街组四段上亚段是区内主要目的层段之一。根据岩性和电性资料, 对区内沙四上亚段进行了详细的层序地层研究, 共识别出 7 个较短期旋回、2 个中期旋回。在连井剖面的层序地层对比基础上, 建立了该区的层序地层格架, 探讨了该区滩坝砂体的空间分布规律和沉积演化特征。

关键词: 东营凹陷; 古近系; 沙河街组; 高分辨率层序地层; 沉积演化; 山东

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

东营凹陷南斜坡是一个具有多层含油层系、多种油气藏类型的复式油气聚集带, 其中古近系沙河街组四段以岩性和构造性油气藏为主, 具有良好的勘探前景, 是油田增储上产的又一重要后备阵地。东营凹陷南斜坡沙四段的油气储集层有滩坝砂体、碳酸盐岩裂缝、泥岩裂缝、少量的冲积扇和浊积扇, 其中滨浅湖相的滩坝砂体是最重要的油气储集体。由于该区地质情况比较复杂, 滩坝砂体具有储集层薄、横向变化快的特点, 分布规律比较复杂; 顶部发育的油页岩等高阻层具有屏蔽作用, 地震分辨率很低, 测井约束反演等先进技术对该区储层分析并不适用, 不能很好的对砂体进行描述和追踪^[1,2]。

因此本次研究以 Cross 的高分辨率层序地层学理论为指导^[3,4], 运用钻测井资料, 建立了该区沙四上亚段的高分辨率层序地层格架。并在层序地层格架的基础上, 研究了滩、坝砂体的空间分布规律与沉积演化特征, 对油田下一步的勘探工作具有重要意义。

1 高分辨率层序地层格架

1.1 地层-沉积特征

沙河街组四段上亚段分上下两部分。下部为滨浅湖一半深湖沉积, 岩性为深灰色泥岩、油页岩、砂岩和灰岩、白云岩互层; 地层横向稳定, 厚度一般为几十米左右; 电阻率曲线呈梳状尖齿, 这一特征可区别于下部的沙四中亚段。上部为滨浅湖一半深湖沉积, 岩性为深灰色、褐灰色泥岩、油页岩、砂岩、灰岩互层, 夹少量的生物灰岩、白云岩; 厚度相对较大, 最大可达 175m, 一般厚度近百米, 向南受斜坡影响, 逐渐减薄。电阻率呈高幅异常的尖刀状, 特征明显。

1.2 地层旋回的识别

高分辨率层序地层格架的建立是在基准面旋回变化分析的基础上, 通过不同级次地层旋回的划分与对比来实现的^[5,6]。因此多级次地层旋回的正确识别是建立高分辨率层序地层格架的基础。

收稿日期: 2006-03-14; 修改日期: 2006-05-21

第一作者简介: 张永旺, 1975 年生, 博士生, 研究方向为层序地层学与沉积学。

资助项目: 中国石化集团胜利油田重点科技攻关项目“济阳拗陷第三系地层动力学系统与优质储层形成”。

1. 地层旋回划分基础——滩、坝砂体成因分析

地层旋回的识别是通过 A/S 比值变化的趋势分析进行的,但不同沉积成因的地层,指示 A/S 比值变化变化的特征也不同。因此要正确识别沉积旋回,首先要了解研究区主要发育的沉积相——滩、坝砂体的成因。

湖泊中的滩、坝主要见于湖泊边缘或湖中局部隆起周围和湖湾等处的缓坡滨浅湖地区,在低位体系域,或湖扩展体系域下部和远离物源供应区的高位域较为发育^[7],离开河流入湖口处,迎风侧湖岸湖浪作用较强处发育最好。湖泊微陷扩张期湖泊面积大,湖底平坦,浅湖区所占面积大,滩、坝最为发育。湖盆深陷期,水深地形陡,滩、坝不发育。

滩、坝砂体物质主要来自附近的三角洲、扇三角洲和下水冲积扇等近岸的较大砂体,经湖浪和湖流搬运、淘洗形成,常位于较大砂体的侧翼或几个较大砂体之间,其形成机理与席状砂类似。从产状、形态及沉积特征上可以将滩砂和坝砂分开。

滩砂砂层层数多但厚度薄,粒序不明显,分布面积较大,呈较宽的条带或席状,平行岸线分布。坝砂与滩砂相比,层数减少但厚度增大,为厚层砂岩与厚层泥岩的互层,多呈与湖岸平行的长条形。坝砂既可形成于水退阶段,又可形成于水进阶段,但二者的垂向层序不同。水退时形成的坝砂反旋回特征明显,单砂层的反粒序明显;水进期形成的沙坝则正好相反,但水进型的沙坝易被湖水进一步改造成席状砂。因此地层中保存下来的沙坝,以水退型居多。

2. 地层旋回的识别

在对研究区钻、测井特征及砂体成因分析基础上,研究层段可以识别出以下几种类型的短期旋回(图1):

(1) 下降半旋回为主的非对称型:为研究区发育的主要类型,又可以分为两类,一种是以坝砂为主体,一种是以滩砂为主。旋回内部,自下而上由湖相泥岩过渡为砂岩,砂岩粒度由细变粗,由泥质粉砂岩过渡为粉砂岩、细—中砂岩,砂岩单层厚度由薄变厚,反映 A/S 比值逐渐减小的特征(图2A)。旋回上部以中薄层灰色、灰绿色粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩组成,垂向韵律上以向上变粗的反韵律为主,主要发育波形层理、脉状层理。

(2) 上升半旋回为主的非对称型:主要是以滩砂为主。旋回内部,自下而上砂岩粒度由粗变细,由中—细砂岩过渡为粉砂岩,砂岩单层厚度由厚变薄,泥岩夹层厚度由薄变厚,反映 A/S 比值逐渐增大的特征(图2B)。垂向韵律是以向上变细的正韵律为主,底部发育冲刷面和滞留沉积。旋回下部主要由灰色、深灰、浅灰色中厚层粉砂岩、中细砂岩组成,单层及整体厚度较大,单层厚度一般在1.5m以上,可见双向水流层理,向上过渡为块状层理、平行层理、小型交错层理、波状层理及低角度楔状交错层理,反映由坝砂过渡为滩砂的沉积组合。自然电位曲线表现为由泥质沉积为主的微锯齿形平滑曲线。

(3) 对称型:下降和上升半旋回均有发育,主要以滩砂为主。

三种类型在研究区以发育第一种类型为主,后一种类型最不发育。这是因为水退期较易形成滩坝砂体且最容易保存下来的缘故。

通过短期旋回叠加样式的分析,可以把不同的短期旋回组合为较短期和中期地层旋回。

1.3 一维剖面地层旋回划分

根据上述短期旋回的识别原则划分短期旋回,并通过短期旋回叠加样式的分析,来组合较短期和

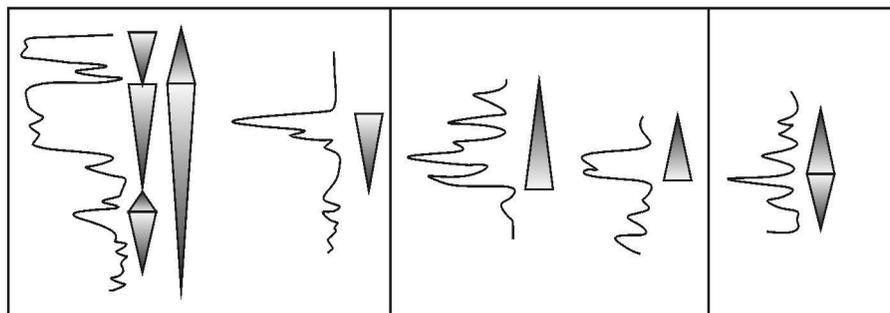


图1 滩坝砂体短期旋回特征

A. 下降非对称型; B. 上升非对称型; C. 对称型

Fig. 1 Patterns of the short-term cycles in the beach and bar sand bodies

A. Falling semicycle-dominated asymmetric patterns; B. Rising semicycle-dominated asymmetric patterns; C. symmetric patterns

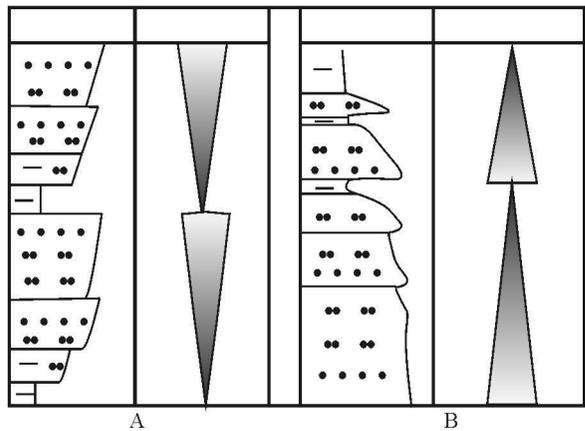


图2 岩性剖面上各短期旋回的沉积特征对比

A. 可容纳空间减小时的滩坝沉积(王94井); B. 可容纳空间增大时的滩坝沉积(王斜119井)

Fig. 2 Comparison of sedimentary features of individual short-term cycles in lithologic sections

A. Beach and bar sediments during the decrease of accommodation spaces (Wang-94 well); B. Beach and bar sediments during the increase of accommodation spaces (Wangxie-119 well)

中期旋回。选取莱5井作为典型井进行旋回的识别和叠加样式分析,将沙四上亚段内部进一步划分7个较短期旋回和2个中期旋回(图3)。

下部中期旋回实际上只有下降半旋回(其上升半旋回在岩性分层上划归为沙四中亚段,由于其对油气勘探意义不大,这里不作论述),总体呈现为典型的进积叠加样式,主要由多个以下降半旋回为主的短期旋回构成。上部中期旋回也呈现为明显的不对称特征,以发育上升半旋回为主。顶部界面为沙四上与沙三下亚段的界面,下部界面为沙四上中部一个明显的转换面,具体置于厚层砂坝顶部或浊积砂体底部,其下为典型的进积叠加样式,而其上则呈现为典型退积叠加样式。上部旋回的上升半旋回由多个短期旋回构成,既有上升为主的短期旋回,也有下降为主的短期旋回,但以上升为主的短期旋回占优势。

7个较短期旋回由短期旋回根据叠加样式组合而成,介于短期与中期旋回之间,有些内部可以发育

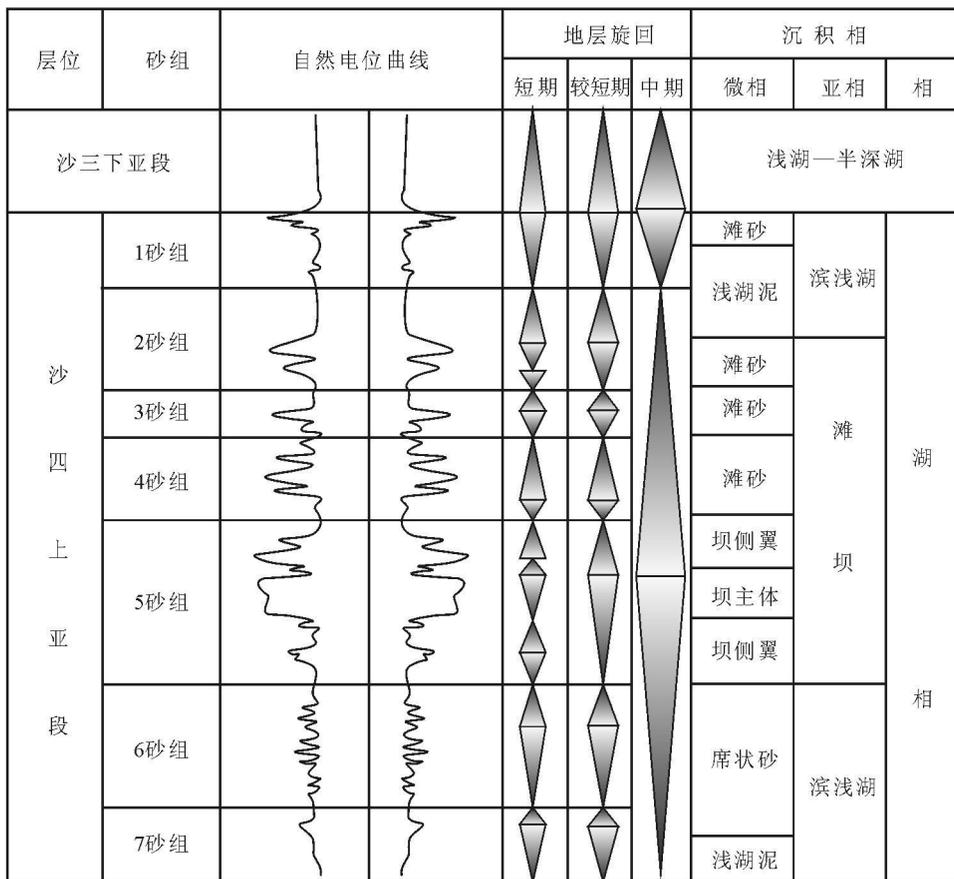


图3 莱5井沙四上亚段高分辨率层序地层综合分析图

Fig. 3 Integrated high-resolution sequence stratigraphic analysis of the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the Lai-5 well

有几个短期旋回,有的本身就是一个短期旋回。较短期旋回的特征与短期旋回类似。由于较短期旋回的规模与砂层组的规模大致相当,本文以较短期旋回基准面上升与下降的转换点为界,来命名较短期旋回,这样一个较短期旋回就是一个砂层组,以此作为研究区基本的作图单元。

1.4 高分辨率层序地层对比格架

根据高分辨率层序地层学对比方法,考虑到研究区实际作图的需要,选取基准面上升到下降的转换位置作为对比的优选位置,进行井间的层序地层对比,选取大致垂直湖岸线的方向,建立了研究区以较短期旋回为基本单元的高分辨率层序地层格架(图4)。

由该格架可以看出,在基准面旋回的不同时期,地层的发育具有不同的特征,如在下部中期旋回的下降期,沉积中心更向洼陷方向。此时近洼陷中心的井(如王27、王126)地层厚度大,而近洼陷边缘的井(如莱3),厚度相对较小,只是边缘部位发育坝砂的位置地层加厚。在上部中期旋回的上升期,由于湖盆的扩张,更近洼陷边缘的井厚度加大。较短期旋回的发育也具有类似的特点。在层序地层位置上,南坡东段滩坝多形成于长期基准面上升晚期和基准面下降期,即主要形成于沙四上亚段的中、上部,为沙四段层序形成的最大湖泛期和高位期。高

分辨率层序地层研究表明,坝砂主要形成于中期基准面旋回下降期,特别是基准面下降晚期;滩砂主要形成于中期基准面上升、湖泛作用较明显的时期。

2 沉积演化特征

2.1 沉积相构成

钻测井、岩心观察及前人研究成果表明,研究区沙四上亚段为滨浅湖环境。南部隆起之上的水系不断携带大量的陆源碎屑注入,经湖浪和湖流的改造、搬运至无河流注入的滨浅湖区或水下高低周围,形成呈席状展布的砂质浅滩或局部砂质堆积加厚的坝砂沉积。

坝砂主要由灰色、深灰色、浅灰色中厚层粉砂岩、中细砂岩组成,单层及整体厚度较大,单层厚度一般在1.5m以上,垂向韵律以向上变细的正韵律为主,底部发育冲刷面和滞留沉积。在砂坝沉积的底部或顶部,有时可见坝体侧向迁移而形成的逆粒序。沉积构造主要发育有平行层理、小型交错层理、波状层理及低角度楔状交错层理(图5)。自然电位及视电阻率曲线上表现为高一中幅指状,厚度较大时可表现为箱形特征(图3)。

滩砂(有时也称其为席状砂)由中薄层灰色、灰绿色粉砂岩、泥质粉砂岩组成。垂向韵律上具有多变性,主要发育波状层理、脉状层理,也可发育有压

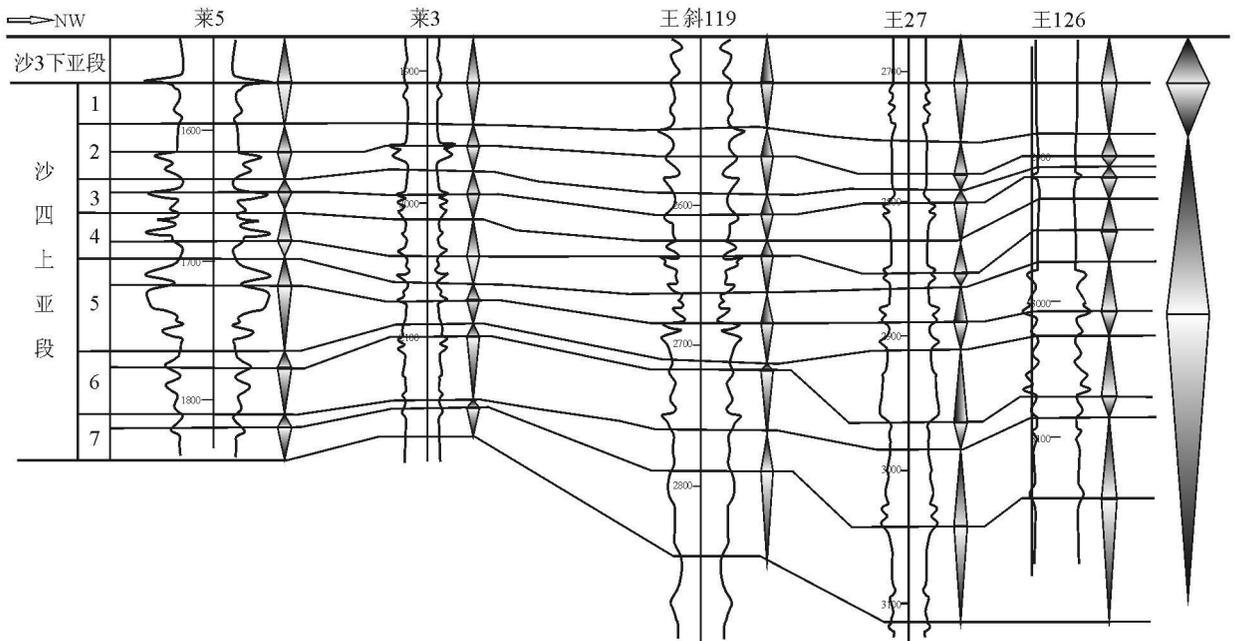


图4 莱5井—王126井沙四上亚段南东-北西向层序地层对比剖面

Fig. 4 Correlation of the SE-NW sequence stratigraphic sections through the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation from the Lai-5 well to the Wang-126 well

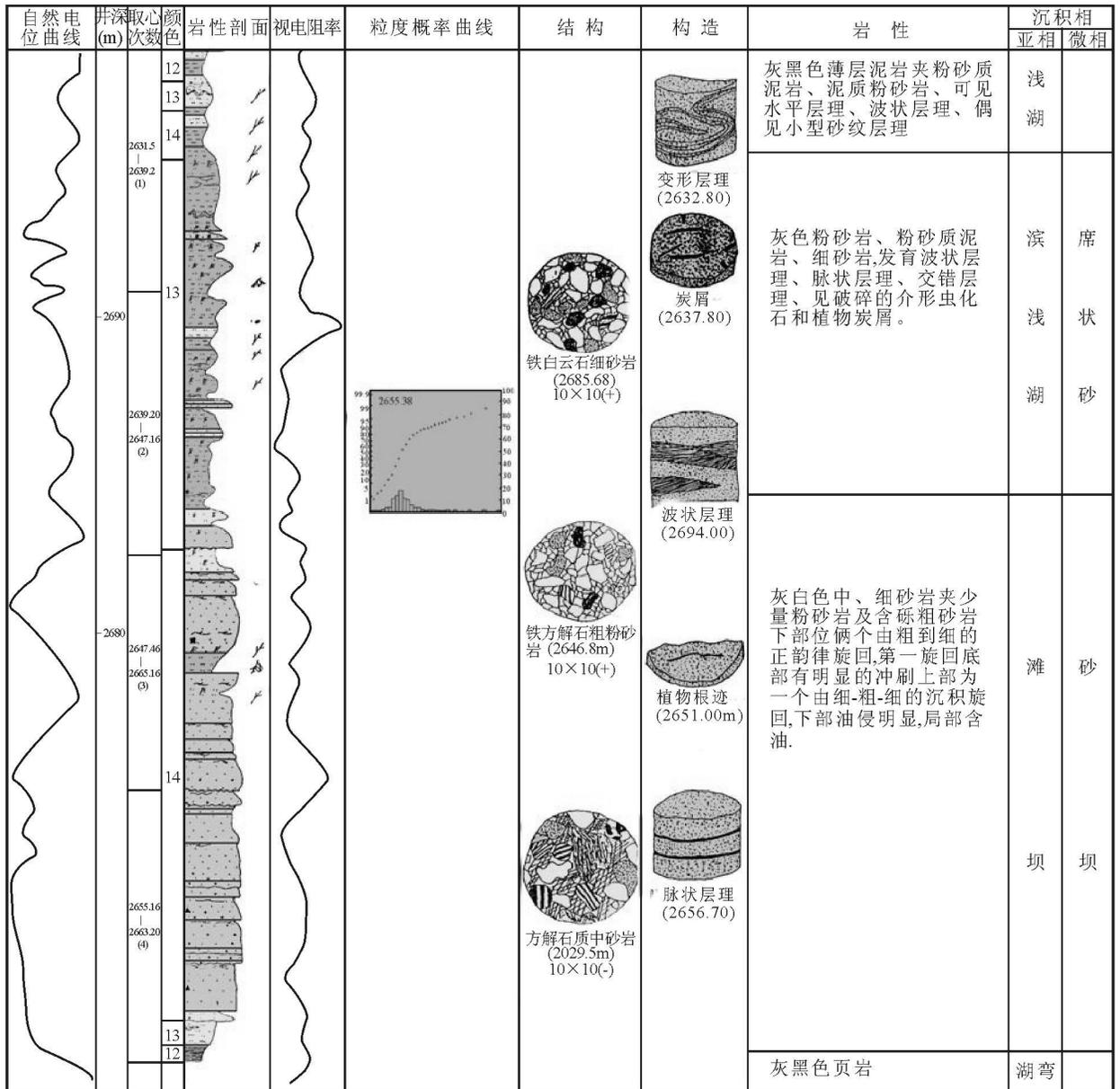


图5 王119-2井沙四上亚段5砂组单井相分析

Fig. 5 Single-well facies analysis of the 5th sand sets in the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the Wang 119-2 well

实变形层理、沙球构造等(图5),见碳屑、双壳、螺类等生物化石。测井曲线上表现为相对低幅的指状。

2.2 沉积相分布与演化

前已述及,研究区沙四上主要处于滨浅湖地区,发育有大量的滩坝砂体,物源来自东部和南部,另外也有来自东北部的浊积扇。由于基准面的变化所引起的沉积环境的变化,沙四上各砂组由于其中期基准面旋回中所处位置的不同,沉积特征也有所不同(图6)。

7砂组:以发育浅湖相泥为特征,砂体沉积不发育,在王家岗东部、广利西地区及八面河的北部的部

分地区发育滩砂,分布范围比较局限。

6砂组:与7砂组特征大体相似,仍是以发育浅湖相泥为特征,只是滩坝砂体发育的范围和厚度较7砂组都有所增大,在王家岗东部、广利西地区、八面河北部地区、王家岗西部的王120—王33等井区发育有滩坝砂体,以滩砂为主,局部发育有坝砂(图7)。

5砂组:滨浅湖相为主,滩坝砂体非常发育,为沙四上亚段砂体最发育的层段,在王家岗东部、广利西地区及八面河北部地区都发育有滩坝砂体,且以厚层的坝砂发育为特征,厚度大,莱5—王斜119井

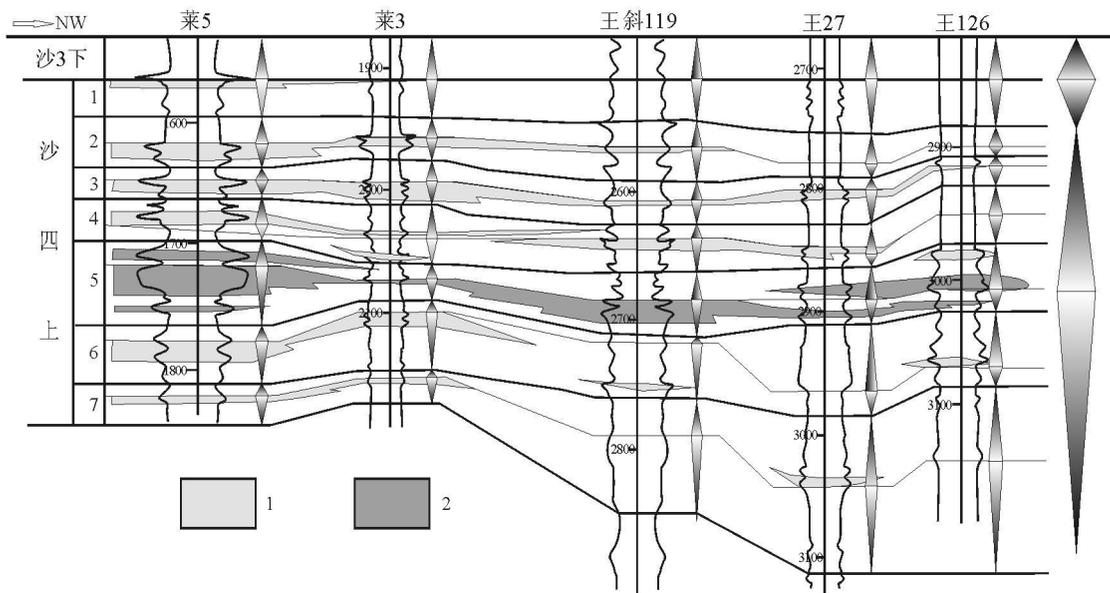


图6 莱5—王126井沙4上亚段南东-北西向沉积相对比剖面
1. 滩砂; 2. 坝砂

Fig. 6 Correlation of the SE-NW sedimentary facies through the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation from the Lai-5 well to the Wang-26 well

1= beach sand body; 2= bar sand body

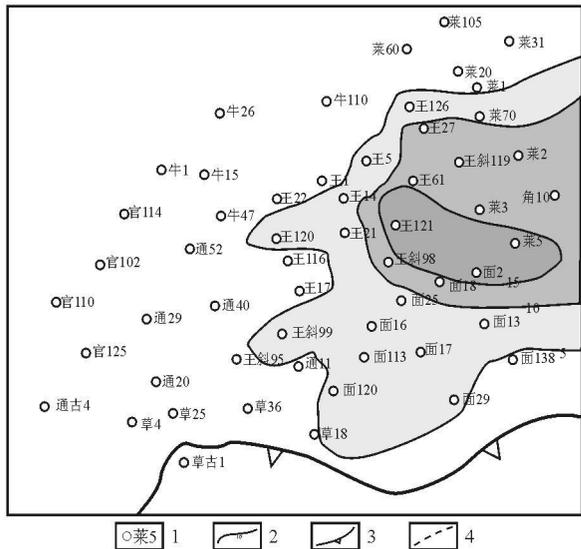


图7 东营凹陷南斜坡东段沙4上6砂组砂岩等厚图
1. 井位、井号; 2. 砂岩厚度等值线(m); 3. 剥蚀线; 4. 相带界线

Fig. 7 Isopach map of the sandstones from the 6th sand sets of the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the eastern part of the southern slope of the Dongying depression

1= well site and its number; 2= isopach of sandstone (m); 3= denudation line; 4= facies boundary

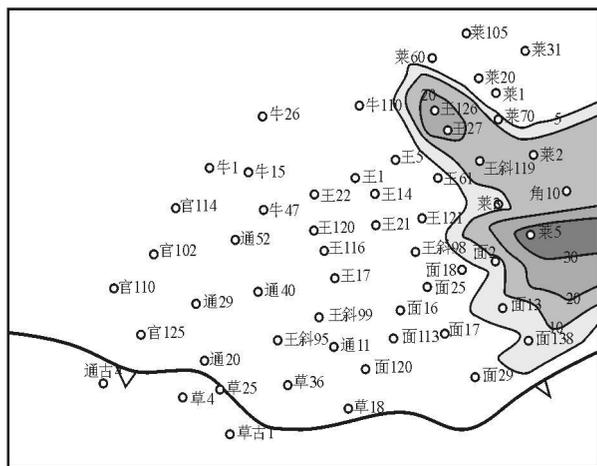


图8 东营凹陷南斜坡东段沙4上5砂组砂岩等厚图
(图例见图7)

Fig. 8 Isopach map of the sandstones from the 5th sand sets of the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the eastern part of the southern slope of the Dongying depression. See Fig. 7 for the explanation of symbols.

4砂组: 滨浅湖相为主, 滩坝砂体较发育, 只是厚度相对于5砂组减小, 以发育滩砂为主, 分布的范围比较小。在王家岗东北部、广利西地区及八面河北部地区发育有滩坝砂体, 其余地区以发育浅湖相泥为主(图9)。

区厚度最大可达30m。另外在王126井还发育有浊积扇体, 推测为研究区东北部的扇体的延伸(图8)。

亚段内部的基准面下降与上升的转换面为界。该界面之上,如果下部的砂组发育较好的滩坝砂体,那么其上部的砂组有利的滩坝发育区应该是在更近洼陷边缘部位,因此应向洼陷更近边缘部位去寻找有利储集层发育区。例如,假如王斜119井的4砂组发现有利储层,那么2、3砂组有利储层应该到近洼陷边缘的莱3井、莱5井或更近洼陷边缘的方向去寻找。转换面以下则相反,如下部砂组(比如莱5井的6砂组)发现有利储层,那么上部砂组(5砂组)有利储层一般要向洼陷方向(王斜119、王27方向)去寻找。

4 结 论

以Cross的高分辨率层序地层学理论为指导,对区内沙四上亚段进行了详细的层序地层研究,共识别出7个较短期旋回、2个中期旋回;以短期旋回为基本的时间地层单元,建立了研究区的高分辨率层序地层格架。并在层序地层格架的基础上,探讨了该区滩坝砂体的空间分布规律和沉积演化特征,了解储层分布规律。沙四上亚段内部基准面下降与上

升的转换面附近是有利的储集体发育区,在地形发生变化的位置,尤其是有同生断层发育的位置,往往成藏有利。

参考文献:

- [1] 李秀华,肖焕钦,王宁.东营凹陷博兴洼陷沙四段上亚段储集层特征及油气富集规律[J].油气地质与采收率,2001,8(3):21-22.
- [2] 马丽娟,高平,金学新,等.东营南坡东部沙河街组四段储层成因及预测方法[J].地质科技情报,2002,21(3):55-57.
- [3] ANDERSON D S, Cross T A. Large-scale cycle architecture in continental strata, Hornelen Basin (Devonian), Norway [J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71(2): 255-271.
- [4] 邓宏文.美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J].石油与天然气地质,1995,16(2):89-97.
- [5] 邓宏文.沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层学的理论基础[J].地质前缘,2000,7(4):305-313.
- [6] 蔡希源,郑和荣,等.陆相盆地高精度层序地层学[M].北京:地质出版社,2004.11-12.

High-resolution sequence stratigraphy and sedimentary facies evolution of the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation on the southern slope of the Dongying depression, Shandong

ZHANG Yong-wang¹, DENG Hong-wen¹, GAO Xia², LIU Jun³, XU Zhi-wei³

(1. Faculty of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Faculty of Earth Exploration and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Jilin Oil Field, Songyuan 138000, Jilin, China)

Abstract: The oil measures and oil pools occur as a composite oil and gas accumulation zone on the southern slope of the Dongying depression, where the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation is believed to be one of the main target members, and may be divided into seven short-term cycles and two mid-term cycles on the basis of lithological and electrical data. The sequence stratigraphic correlation in well-tie sections made it possible to construct the regional stratigraphic framework and examine the spatial distribution of the beach and bar sand bodies and sedimentary facies evolution.

Key words: Dongying depression; Paleogene; Shahejie Formation; high-resolution sequence stratigraphy; sedimentary facies evolution; Shandong