

文章编号:0253-9985(2010)05-0542-10

## 冀中坳陷淀南地区沙河街组一段层序地层及沉积演化

赵贤正

(中国石油天然气股份有限公司 华北油田分公司,河北 任丘 062552)

**摘要:**综合利用岩心、钻井、测井以及地震资料,对冀中坳陷淀南地区沙河街组一段进行了层序地层划分,建立了以体系域为单元的等时层序地层对比格架,将沙河街组一段划分为一个三级层序,并以岩性、岩相以及地层叠置样式的变化进一步细分出低位、湖侵和高位体系域。在层序地层格架的基础上,分析了沙河街组一段沉积相的构成、演化和分布规律,认为沙河街组一段主要发育三角洲相和湖泊相沉积。

**关键词:**沙河街组一段;层序地层;沉积体系;淀南地区;冀中坳陷

**中图分类号:**TE121.3

**文献标识码:**A

## Sequence stratigraphy and sedimentary evolution of Es<sup>1</sup> in Diannan area of the Jizhong Depression

Zhao Xianzheng

(PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

**Abstract:** Based on an integration of core, drilling, logging and seismic data, the paper performs sequence stratigraphic division of the first member of the Eocene Shahejie Formation (Es<sup>1</sup>) in the Diannan area of Jizhong Depression and constructs an isochronal sequence stratigraphic correlation framework with one system tract as a unit. One third-order sequence is recognized in Es<sup>1</sup>, and it can be subdivided into a lowstand, a lake transgression and a highstand systems tract based on the stratigraphic superimposition patterns as well as its lithologic and lithofacies changes. The construction of the isochronous stratigraphic framework shed light on the analysis of composition, evolution and distribution pattern of its sedimentary facies. The result indicates that the Es<sup>1</sup> is dominated by delta and lacustrine facies.

**Keywords:** first member of the Shahejie Formation, sequence stratigraphy, sedimentary system, Diannan area, Jizhong Depression

### 1 地质概况

淀南地区位于冀中坳陷中部,属于霸县凹陷与饶阳凹陷的结合部,包括霸县凹陷郑西背斜、雁岭潜山构造带和饶阳凹陷的任西洼槽、蠡县斜坡北段。勘探研究面积约1 000 km<sup>2</sup>,工区已基本被三维地震满覆盖(图1)。

近年的钻探成果表明冀中坳陷古近系具有优

越的岩性-地层油气藏成藏条件和良好的勘探前景<sup>[1]</sup>,尤其是淀南地区沙河街组一段,目前已有多口井获得工业油流,储层较发育、物性较好,预示着该区沙河街组一段具有良好的油气勘探前景。但同时也发现该区沙河街组一段地层及岩性纵向变化较大,油藏特征十分复杂,平面上垒、堑相间,物源体系、沉积环境与砂体展布特征较复杂。而目前对该区有关古近系沙河街组一段沉积体系平面展布的研究基本处于局部粗放型阶段,严重

收稿日期:2010-06-02。

作者简介:赵贤正(1962—),男,教授级高级工程师,油气勘探。

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX05009-002)。

制约了该区岩性地层油藏勘探的进一步展开和扩大<sup>[2]</sup>。本次研究通过对淀南地区沙河街组一段21口井总长为900 m岩心的描述,72口关键井的层序地层及沉积相分析,7条地震剖面的解释与界面的标定,7条连井对比剖面的编制。在综合研究地震、钻井、测井及岩心等资料的基础上,建立了冀中凹陷淀南地区沙河街组一段以体系域为单元的等时层序地层对比格架(图2),分析了冀中拗陷

淀南地区沙河街组一段沉积相的构成、演化和分布规律,为油气勘探提供了依据。

2 层序地层特征

国内外勘探实践证明,层序地层学分析技术是寻找隐蔽圈闭的有效手段<sup>[3~5]</sup>。建立层序地层格架的关键是识别和划分层序地层界面<sup>[6,7]</sup>。

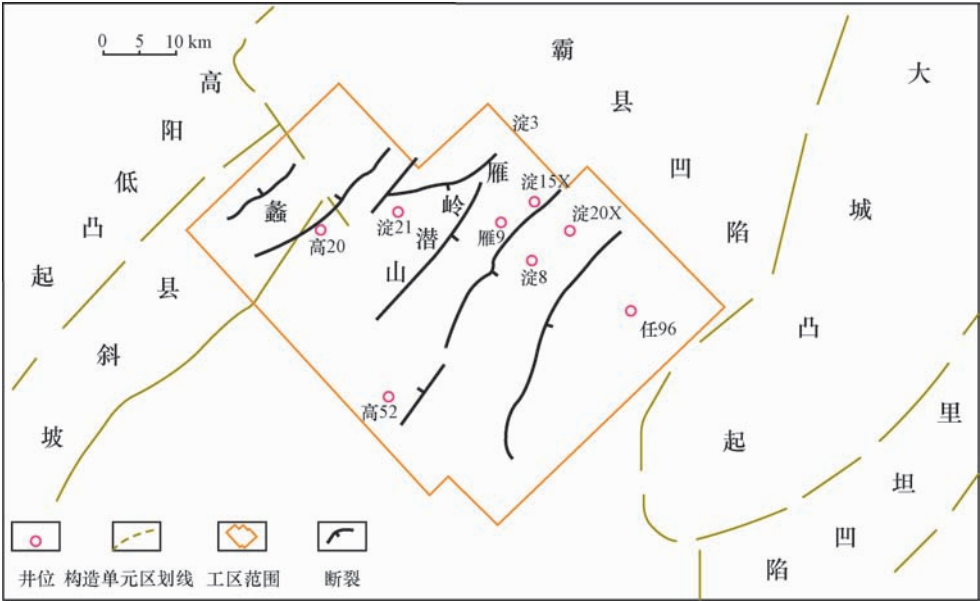


图1 冀中拗陷淀南地区构造图

Fig. 1 Structure outline map of Diannan area in the Jizhong Depression

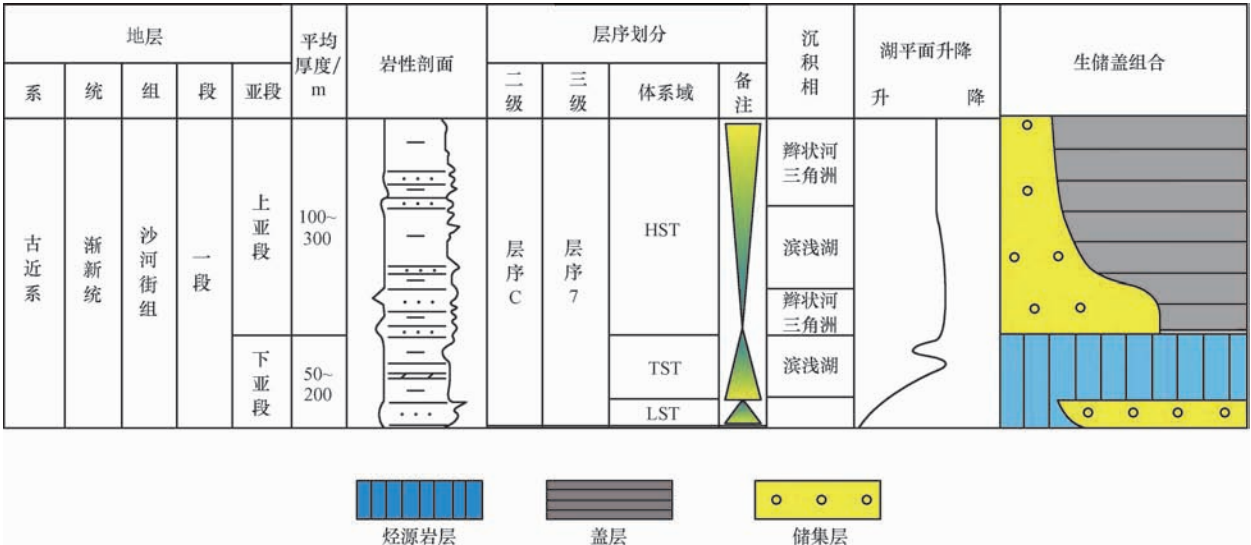


图2 冀中拗陷淀南地区沙河街组一段层序地层综合柱状图

Fig. 2 Composite sequence stratigraphic column of Es<sup>1</sup> in Diannan area, the Jizhong Depression

2.1 层序界面(SB<sub>7</sub> 与 SB<sub>8</sub> 所限定)

由层序地层学原理可知,层序边界为区域上易识别的不整合面、较容易识别的局部不整合面以及与之对应的整合面<sup>[8,9]</sup>,即包括不整合及相应整合面<sup>[10]</sup>。据钻井、岩心、地震反射及测井响应等特征进行井震标定<sup>[11,12]</sup>来识别淀南地区沙河街组一段的顶底界面。底界面上下虽均为“泥岩+砂岩”地层,但是底界面之下为氧化环境下的辫状河三角洲平原沉积,发育一套细砂岩夹红色泥岩地层;底界面之上为还原沉积环境,发育一套暗色泥岩夹薄层砂岩的滨浅湖沉积,泥岩颜色为灰色、深灰色(图 3)。在地震剖面上,底界面代表一套同相轴极为连续的强反射层,主要为大套油页岩以及灰岩反射特征,形成于大规模湖侵时期,是研究区最主要的标志层之一,并可见由于局部物源供给丰富造成的上超现象。顶界面常发育轻微的削截现象(图 4)。

2.2 体系域界面

根据地层叠置样式、岩性、岩相的变化识别出首次湖泛面和最大湖泛面,划分出低位、湖侵和高位体系域<sup>[13]</sup>。

首次湖泛面主要特征有:1)上下地层存在岩性突变面<sup>[14,15]</sup>、岩相和沉积类型明显不同。首次湖泛面界面之下主要为浅灰色粗砂岩和中砂岩,主要为三角洲前缘水下分流河道沉积;2)地层叠置样式存在明显差异。在工区各个沉积层序中,首次湖泛面之下的低位体系域主要呈进积式到弱进积式地层叠置样式,而界面之上的湖侵体系域则呈退积式(图 5)。

最大湖泛面主要特征有:1)其上下地层叠置样式存在明显差异,最大湖泛面之下的湖侵体系域主要为退积式地层叠置样式,而界面之上的高位体系域则呈加积-进积式(图 5);2)湖侵体系域顶部存在薄层凝缩层沉积,以浅湖、半深湖和深

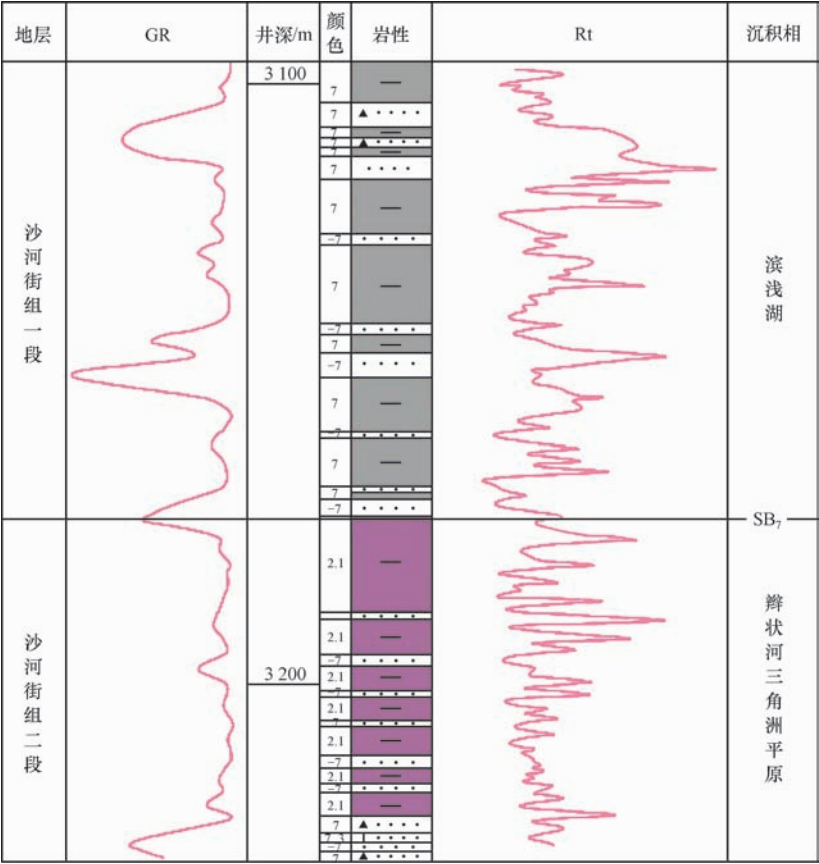


图 3 冀中坳陷淀南地区淀 20 井沙河街组一段底界面岩-电特征

Fig. 3 Lithologic and electric response characteristics of the bottom boundary of Es<sup>1</sup> in the well Dian-20 in Dianan area, the Jizhong Depression

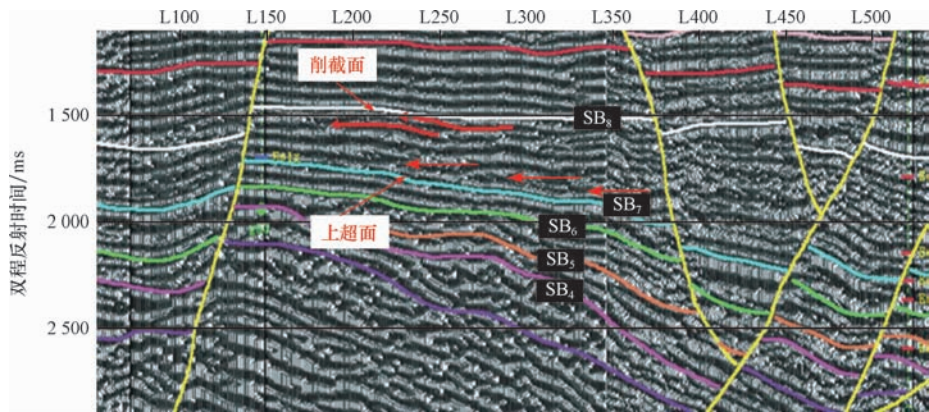


图4 冀中拗陷淀南地区沙河街组一段顶、底界面地震反射特征

Fig. 4 Seismic reflectance signatures of the top and bottom boundaries of Es<sup>1</sup> in Diannan area, the Jizhong Depression

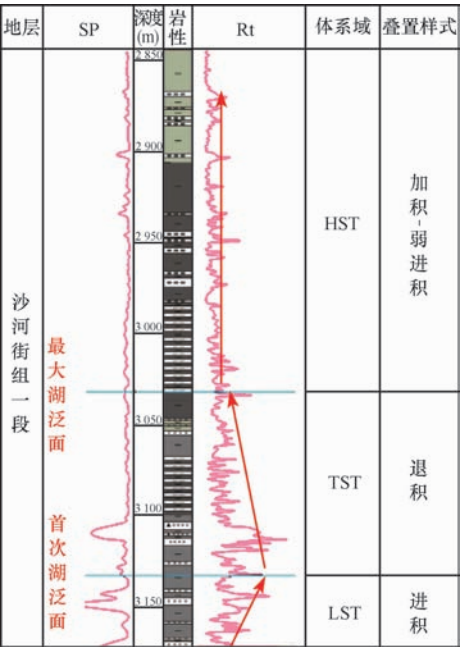


图5 冀中拗陷淀南地区淀20X井沙河街组一段体系域叠加样式

Fig. 5 Stacking patterns of the system tracts in Es<sup>1</sup> of the well Dian-20X in Diannan area, the Jizhong Depression

湖相暗色泥岩、油页岩、钙质泥岩为主,向深湖方向厚度增大,向岸方向颜色变浅,代表了最大湖泛时期的沉积产物。

2.3 体系域分布特征

淀南地区沙河街组一段为一个三级层序,根据首次、最大湖泛面将该层序划分为低位、湖侵和高位3个体系域,其中沙河街组一段下亚段相当于低位和湖侵体系域,沙河街组一段上亚段相当于高位体系域。

低位体系域主要分布于东部郑州洼槽方向,地层较薄,仅为0~30 m,呈现从东向西逐渐减薄直至尖灭;湖侵体系域厚约30~90 m,沉积中心在东部郑州洼槽一线,淀20X井发育湖侵体系域厚度达90多米,向西减薄;高位体系域沉降中心逐渐由东部郑州洼槽向西部任西洼槽转移,厚度较大,一般为180~520 m。

3 沉积相类型及特征

淀南地区沙河街组一段共发育三角洲相、湖泊相2种沉积相类型,3种亚相和9种微相。

3.1 三角洲相

沙河街组一段主要发育三角洲前缘亚相,可细分为水下分流河道、分流河道间湾、河口坝及远砂坝4种微相<sup>[16,17]</sup>。由于物源供给相对充足、沉积速度相对较快,因此沉积厚度较大,单个层序厚度可达20 m。主要由浅灰色、灰色、灰黑色夹厚层的砂砾岩、含砾砂岩、细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩组成;发育槽状交错层理、水平层理、平行层理、块状层理、砂纹层理及冲刷充填构造等典型沉积构造标志(图6a—f);在测井曲线上表现为中高幅柱状、钟形和箱形特征(图7)。

3.2 湖泊相

湖泊相在淀南地区沙河街组一段广泛发育,可识别出滨浅湖和半深湖2种亚相类型。

3.2.1 滨浅湖亚相

由于该区沙河街组一段沉积时期沉积地形平





图 6 冀中坳陷淀南地区沙河街组一段沉积构造特征

Fig. 6 Sedimentary structures of Es<sup>1</sup> in Diannan area, the Jizhong Depression

a. 水平层理,高 52 井,3 094.00 m,三角洲前缘水下分流河道间湾;b. 平行层理,淀 18X 井,3 292.92 m,三角洲前缘河口坝;c. 槽状交错层理,淀 18X 井,3 343.85 m,三角洲前缘水下分流河道;d. 块状层理,淀 17X 井,3 650.54 m,三角洲前缘水下分流河道;e. 冲刷构造,淀 18 井,3 295.06 m,三角洲前缘水下分流河道;f. 砂纹层理,雁 68 井,2 759.42 m,三角洲前缘席状砂;g. 波状层理,淀 21 井,2 670.62 m,滨浅湖滩坝;h. 砂纹层理,雁 63 井,2 574.30 m,滨浅湖滩坝;i. 生物潜穴,淀 21 井,3 301.19 m,滨浅湖泥

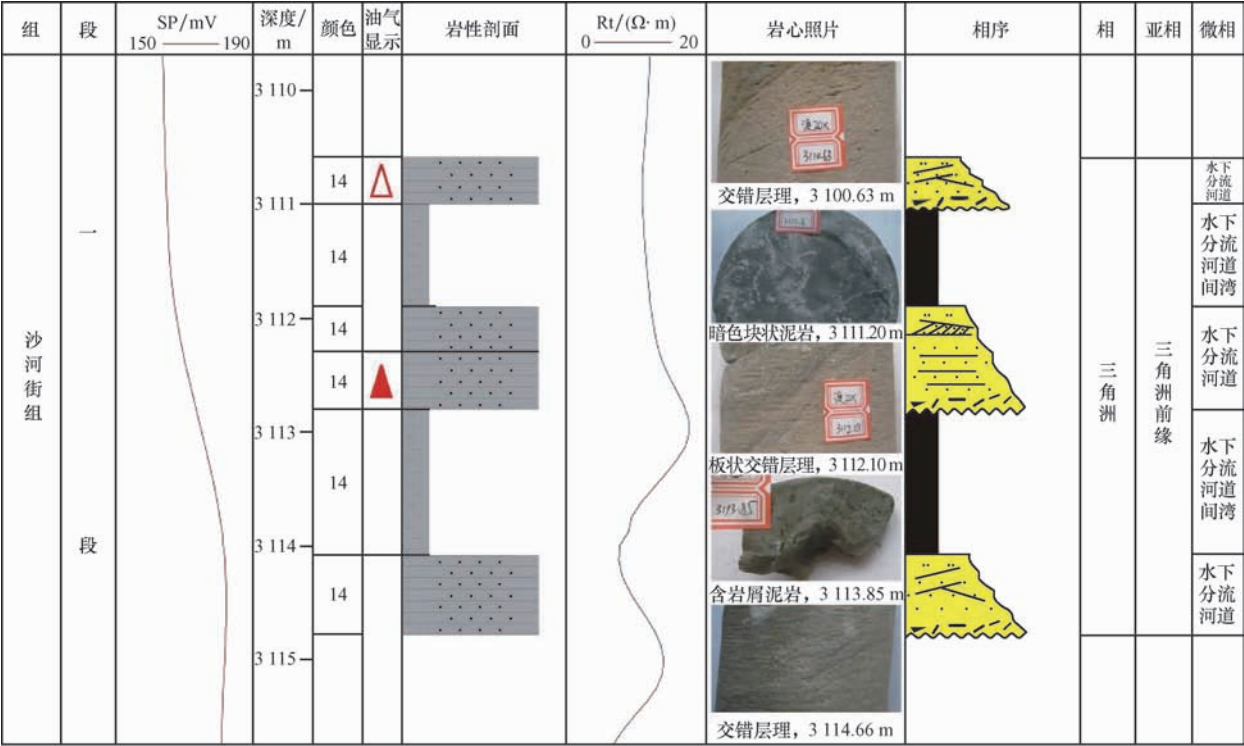


图 7 冀中坳陷淀南地区淀 20-1 井沙河街组一段单井岩心相分析

Fig. 7 Core facies analysis of Es<sup>1</sup> in the well Dian 20-1, Diannan area, the Jizhong Depression

缓,水体较浅,缺乏生物化石,难以区分滨湖沉积和浅湖沉积,故合称滨浅湖亚相,其中多发育滨浅湖滩坝<sup>[18]</sup>和滨浅湖泥等微相。岩性主要由灰绿、浅灰、深灰色泥岩与砂岩互层夹油页岩组成。因为水动力条件复杂,湖浪冲刷筛选作用强烈,其沉积构造也复杂多样,常见小型交错层理、波状层理、水平层理、波痕及生物潜穴等,泥岩主要为水平层理(图6g—i)。地震相外型为席状,内部结构为平行反射,顶底接触关系为整合。

3.2.2 半深湖亚相

岩性主要为深灰、黑灰色泥岩、页岩及油页岩,偶夹薄层灰岩、泥灰岩和泥质粉砂岩。沉积构造相对单一,主要发育水平层理、块状层理以及差异压实形成的变形层理。由于半深湖亚相发育在稳定沉积阶段,并位于湖盆沉积中心,地形平缓开阔,成层性好,因此地震反射特征为平行、亚平行、弱—中振幅、中高频、高连续席状相和板状相。在湖侵体系域时期,研究区东南部半深湖区发育浊积岩,主要为细砂岩和细砂质粉砂岩。粒度概率曲线为单段弧形,倾角为50°~60°,几乎全由悬浮总体所组成,反映沉积物下沉时,递变悬浮体内的分选情况,重力分异对较重的颗粒比较轻的颗粒更有效,后者仍混在残留的湍流中,结果使粗段分选较好,线段陡并向细段变平(图8)。C—M图为一平行于C=M基线的长条形(图9)。

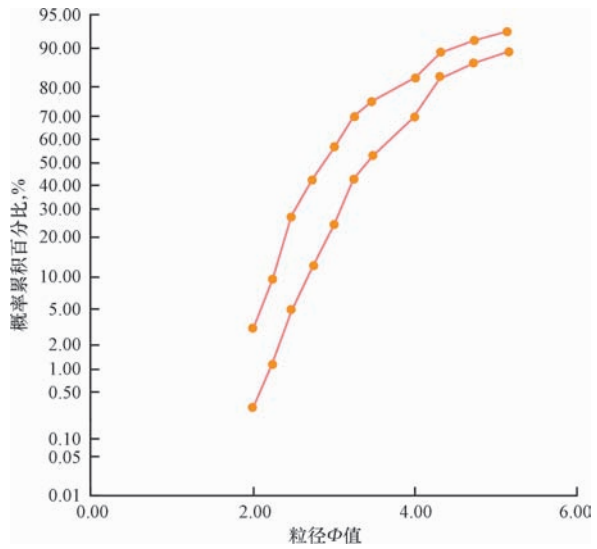


图8 冀中拗陷淀南地区沙河街组一段粒度概率曲线

Fig.8 Grain size probability curve of Es<sup>1</sup> in Diannan area, the Jizhong Depression

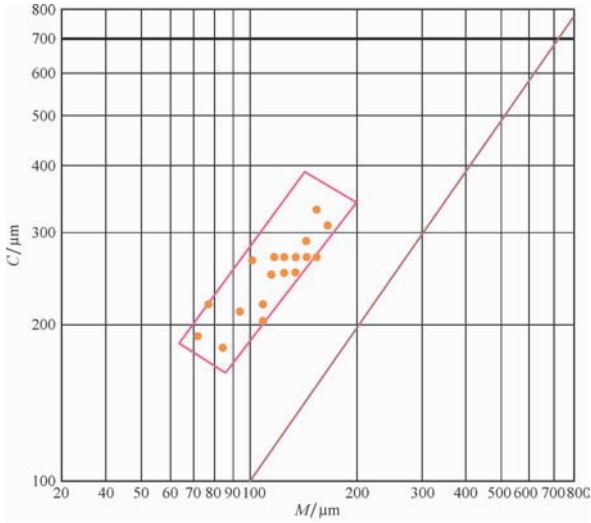


图9 冀中拗陷淀南地区沙河街组一段C—M图

Fig.9 C—M map of Es<sup>1</sup> in Diannan area, the Jizhong Depression

4 沉积体系演化

4.1 低位体系域沉积相展布特征

区内沙河街组一段沉积时期大部分时间处于水面以上未接受沉积或遭受剥蚀,从沉积物粒度和砂体比成分含量以及砂体厚度分析来看,物源来自西部隆起区,在东部发育一些小型三角洲前缘亚相沉积,范围并不大,并且在局部浅水区发育少量滨浅湖滩坝砂体,砂体自西向东厚度逐渐减薄,粒度变细(图10,图11)。

4.2 湖侵体系域沉积相展布特征

湖侵体系域主要发育滨浅湖滩坝沉积及一些小型三角洲沉积,物源来自东北方向的牛驼镇低凸起,砂体呈现东北厚,西南薄的变化趋势。东北部砂体一般厚20~30m,在淀19井最厚,超过30m,向西南逐渐变薄,但在局部存在加厚区。东北发育三角洲前缘亚相沉积,在平缓地形条件下,向西南方向逐渐变为滨浅湖沉积,滩坝砂体发育。同时,因受风暴流的影响,早期沉积的滩坝砂体被风暴流再次改造,形成一系列与风暴作用有关的风暴—滩坝共生沉积。在任西洼槽中较深湖区发育小型浊积砂体(图11,图12)。

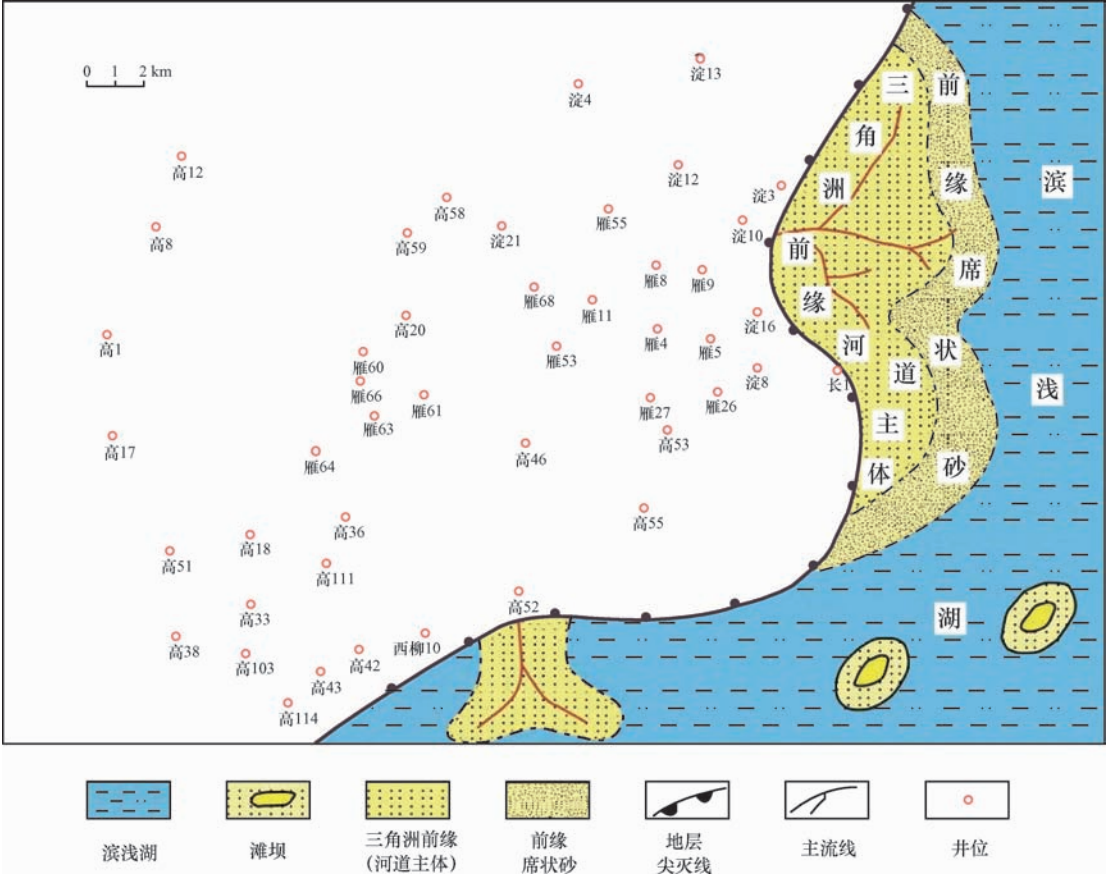


图 10 冀中坳陷淀南地区沙河街组一段低位体系域沉积相

Fig. 10 Sedimentary facies of the LST of Es<sup>1</sup> in Diannan area, the Jizhong Depression

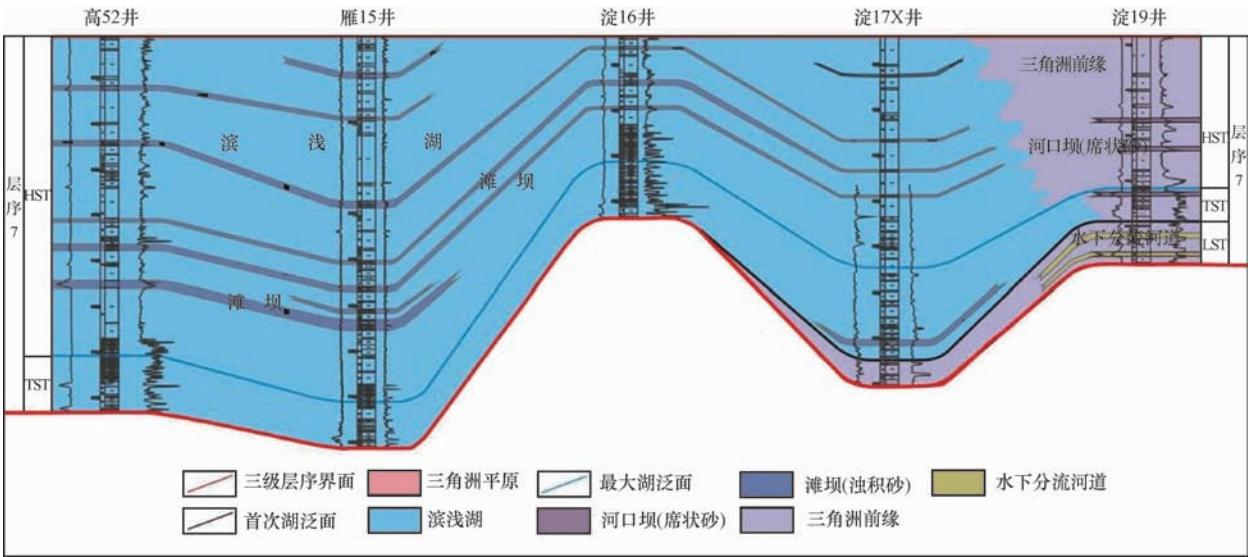


图 11 冀中坳陷淀南地区高 52—雁 15—淀 16—淀 17X—淀 19 井沙河街组一段层序地层及沉积相剖面对比

Fig. 11 Inter-well correlation of sequence stratigraphy and sedimentary facies in Diannan area, the Jizhong Depression



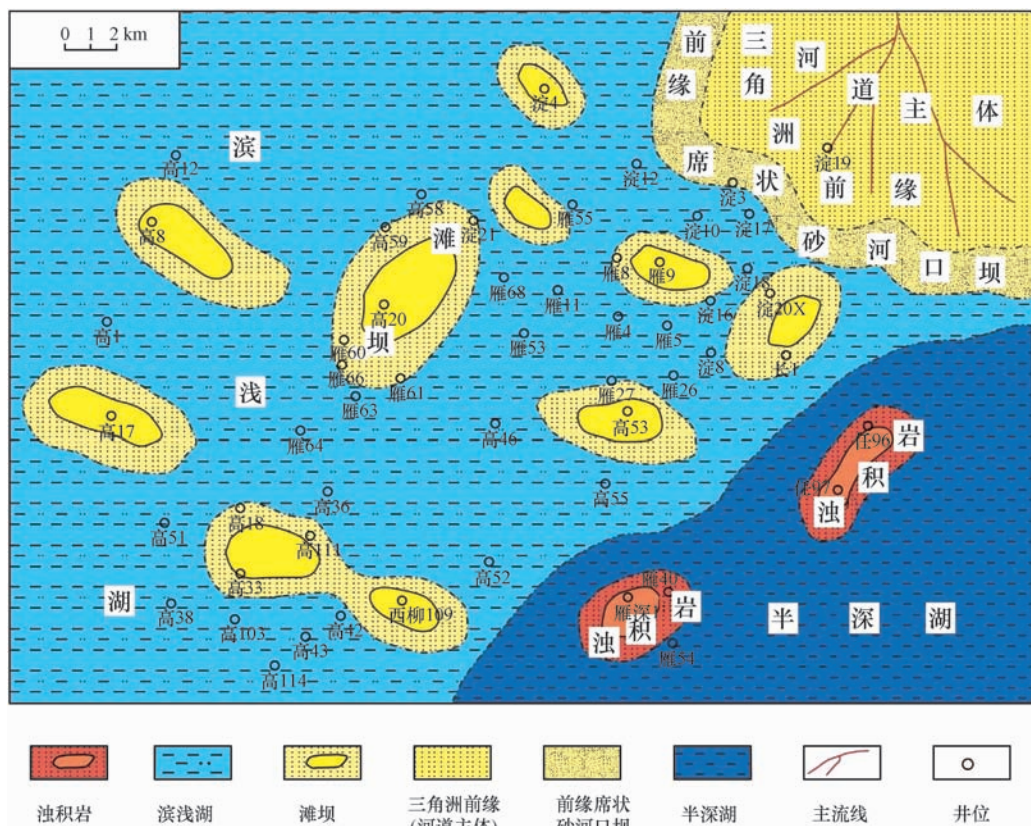


图 12 冀中坳陷淀南地区沙河街组一段湖侵体系域沉积相

Fig. 12 Sedimentary facies of the TST of Es<sup>1</sup> in Diannan area, the Jizhong Depression

### 4.3 高位体系域沉积相展布特征

该时期以发育三角洲前缘亚相和滨浅湖滩坝砂体为主,且三角洲的平面展布严格受水系发育程度和物源供给规律控制,其特征是分流河道推进速度很快,流程很长,河口坝不太发育,以三角洲水下分流河道砂体为主。由于西南边缘隆起的不断抬升,为该区提供了丰富的物源,并且自南向北快速推进,在宽阔的斜坡背景下,在研究区西南部发育大型三角洲沉积;同样在该时期研究区的东北方向也发育小规模三角洲沉积,砂体最厚可达 40 m,且物源供给较为充足。而滨浅湖滩坝砂体相对较少发育,仅局限于工区中部的浅水洼地内(图 11,图 13)。

## 5 油气勘探意义

总体上,淀南地区沙河街组一段时期主要发育水下分流河道、河口坝、滨浅湖滩坝等储集砂体类型,砂体规模较大,储层物性较好。

冀中坳陷沙河街组沉积时期构造活动强度具有迁移性<sup>[19]</sup>,使得研究区西北部受同沉积断裂和古地貌影响明显,因此在该区西北部发育广泛的坡折带<sup>[16]</sup>。湖侵体系域时期发育滨浅湖滩坝砂体及水下分流河道砂体,随着湖侵规模的逐渐扩大,湖岸线依次向岸边扩展,所沉积的砂体逐渐向坡折带超覆歼灭,易形成地层上超油气藏(图 14a)。低水位体系域,层序底界面为剥蚀界面,可作为油气运移的通道,此时发育小型低位三角洲前缘水下分流河道砂体,其上被首次湖泛泥岩覆盖,具有良好的成藏条件(图 14b)。高位体系域,主要发育大量进积型的三角洲前缘砂体及滨浅湖滩坝砂体,由于砂体受河流、波浪等多种作用的淘洗改造,从而形成物性良好的储集体。加之该储集体下伏优质生油密集段,上覆泥岩作为盖层,或与上伏层序低位域不整合面相连,因此,易形成地层油气藏及滩坝砂为主的岩性油气藏<sup>[20]</sup>(图 14)。

淀15井、淀20X井均钻遇超覆类型油气藏,任96井则钻遇砂岩透镜体(图14)。目前在淀南



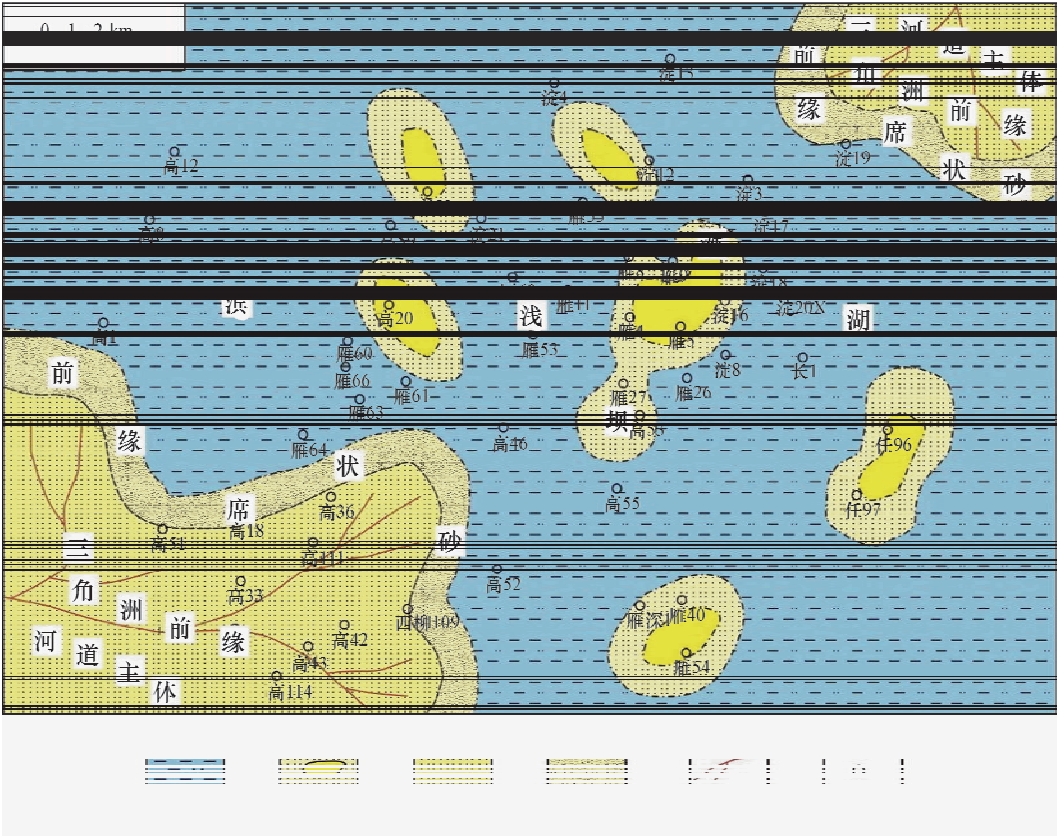


图 13 冀中坳陷淀南地区沙河街组一段高位体系域沉积相

Fig. 13 Sedimentary facies of the HST of Es<sup>1</sup> in Diannan area, the Jizhong Depression

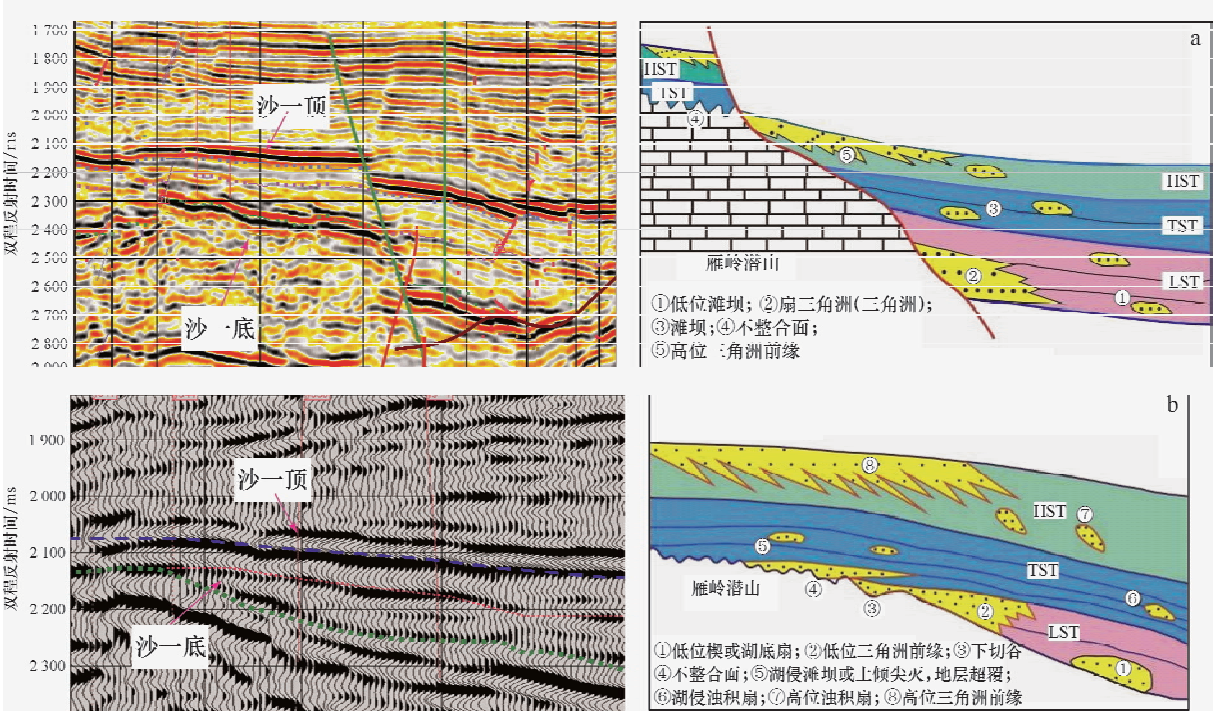


图 14 冀中坳陷淀南地区沙河街组一段油藏模式

Fig. 14 Oil reservoir models of Es<sup>1</sup> in Diannan area, the Jizhong Depression

a. 断裂坡折及其所控制的油藏模式; b. 沉积坡折及其所控制的油藏模式

地区沙河街组一段已找到淀3, 雁66, 高20, 雁68, 高46等多个油藏, 探明石油地质储量为 $1\,193.58\times 10^4\text{ t}$ 。

6 结论

- 1) 淀南地区古近系沙河街组一段可划分为一个三级层序, 并且该层序可进一步细分为3个体系域。
- 2) 研究区沙河街组一段共发育三角洲相和湖泊相两种沉积相类型, 其中低位体系发育三角洲前缘亚相和滨浅湖沉积, 湖侵体系域发育三角洲前缘亚相、滨浅湖和半深湖沉积, 高位体系域发育三角洲前缘亚相和滨浅湖沉积。
- 3) 研究区发育断裂坡折和沉积坡折两种坡折带类型, 控制着不同体系域时期发育的油气藏类型。湖侵体系域易形成地层上超油气藏; 低位体系域时期发育的小型低位三角洲前缘水下分流河道砂体被湖侵体系域泥岩封盖, 可作为良好储层; 高位体系域时期发育的进积型三角洲前缘砂体和滨浅湖滩坝砂体同样是物性良好的储层。

参 考 文 献

1 赵贤正, 卢学军, 王权. 华北油田地层-岩性油藏勘探发现与启示[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 597~604

2 杜金虎, 邹伟宏, 费宝生, 等. 冀中坳陷古潜山复式油气聚集区[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 189~213

3 王化爱. 东营凹陷古近系岩性地层油气藏层序地层学特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 158~164

4 Catuneanu O, Abreu V, Bhattacharya J P, et al. Towards the standardization of sequence stratigraphy[J]. Earth-Science Reviews, 2009, 92: 1~33

5 冯友良, 李思田, 邹才能. 陆相断陷盆地层序地层学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006. 165~168

6 姜在兴, 向树安, 陈秀艳, 等. 淀南地区古今系沙河街组层序地层模式[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 931~938

7 慕德梁, 孟卫工, 李成, 等. 断陷盆地陡坡带构造样式与油气聚集——以渤海湾盆地辽河坳陷西部凹陷陡坡带为例[J]. 石油

与天然气地质, 2009, 30(5): 635~642

8 刘永强, 刘晓龙. 冀中坳陷饶阳凹陷留西地区沙三上亚段层序地层与隐蔽油藏[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 747~753

9 陈欢庆, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 深水断陷盆地层序地层分析与岩性-地层油气藏预测——以中国南海C盆地深水区古近系T组为例[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 626~634

10 Vail P R, Mitchum R M, Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level (Part 3): relative changes of sea level from coastal onlap [A]. In: Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration, Payton [C]. AAPG Memoir, 1977, 26: 63~81

11 赖维成, 徐长贵, 王晓刚, 等. 秦南凹陷古近系层序地层和沉积体系研究及油气勘探方向探讨[J]. 中国海上油气, 2007, 19(5): 300~305

12 石世革. 黄骅坳陷板桥凹陷古近系沙一段中部层序地层学研究及岩性油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3): 320~325

13 薛良清. 湖相盆地中的层序、体系域与隐蔽油气藏[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 115~120

14 纪友亮, 杜金虎, 赵贤正, 等. 冀中坳陷饶阳凹陷古近系层序地层学及演化模式[J]. 古地理学报, 2006, 8(3): 397~406

15 姜在兴, 杨伟利, 操应长. 东营凹陷沙河街组三段一二段下亚段沉积层序及成因[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 127~130

16 龙更生, 施和生, 王英民, 等. 珠江口盆地惠州凹陷新近系坡折带成因类型及对地层沉积的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2): 215~222

17 Galloway W E, Hobday D K. Terrigenous clastic depositional systems (2nd Edition) [M]. New York: Springer-Verlag, 1996. 157~192

18 吴光华, 王红亮, 林会喜, 等. 渤海湾盆地埕岛地区东营组沉积特征及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 33~40

19 梁宏斌, 朱光有, 张水昌, 等. 冀中坳陷晋县凹陷下第三系断陷湖盆的演化与烃源岩的形成[J]. 石油实验地质, 2005, 27(6): 583~587

20 蔡李梅, 陈红汉, 李纯泉, 等. 济阳坳陷东营凹陷沙三中亚段流体包裹体古流体势场恢复[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 17~25

(编辑 张亚雄)