

文章编号:1009-3850(2015)04-0017-08

# 莱州湾凹陷沙三中段高精度层序地层格架及沉积体系演化

王改卫, 杜晓峰, 加东辉, 王启明, 邓吉锋

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院, 天津 300452)

**摘要:**莱州湾凹陷古近系沙河街组沙三中段发育典型的辫状河三角洲沉积体系。本文基于经典层序地层学理论,通过对莱州湾凹陷三维地震、主要钻井及取心、测井等资料综合分析,对莱州湾凹陷沙三中段层序地层特征及层序格架内沉积体系展布进行精细研究。将沙三中段整体划分为 1 个三级层序,并根据初次湖泛面、最大湖泛面及高水位体系域内三角洲期次包络面的界定将沙三中段进一步划分为低水位体系域、湖侵体系域和高水位体系域 3 个体系域及 6 个四级层序。在层序格架内分析了研究区沙三中段沉积体系的展布特征及演化规律。沙三中段低水位体系域西部斜坡带发育扇三角洲沉积,北部陡坡带发育近岸水下扇沉积。湖侵体系域发育辫状河三角洲沉积,高水位体系域发育 4 期辫状河三角洲沉积、高水位体系域 I、II 期发育坡移浊积扇沉积。根据层序发育和油气成藏条件分析,认为沙三中段低水位体系域扇三角洲、湖侵体系域辫状河三角洲、高水位体系域坡 I 和 II 期的坡移扇沉积成藏条件最为有利,是下一步寻找岩性油气藏的优先目标。

**关键词:**莱州湾凹陷;沙三中段;层序格架;沉积体系;有利勘探区带

**中图分类号:**TE121.3      **文献标识码:**A

莱州湾凹陷是渤海油田近几年勘探的重点地区,地理上处于渤海海域的南部,构造上属于济阳拗陷的次级凹陷,凹陷东侧和西侧分别发育郑庐断裂的东、西两支。凹陷东部以鲁东隆起区为界,西部以垦东凸起斜坡带为界,南部达潍北凸起北缘,北侧为莱北低凸起,凹陷面积约为 1780km<sup>2</sup>(图 1)。莱州湾凹陷是以中生代为基底的新生代盆地,为一个典型的北断南超的箕状凹陷,凹陷内新生代地层厚度达 7000m。目前本区共钻探井 30 余口,钻井揭示的地层有中生界、古近系沙河街组沙四段、沙三段、沙一二段、东营组东三段、东二段,以及新近系馆陶组和明化镇组和第四系平原组。其中,古近系沙三段和新近系明化镇组下段为本区主要的含油层系。钻井揭示本次研究的目的层沙三中段地层厚约 600m,凹陷中心部位厚度更大。莱州湾凹陷及其周边近年来共发现一个亿吨级油气田及十余个大中型含油气构造,沙三中段是本区的主力含油层

系之一,其储量规模占莱州湾凹陷整体规模的 30% 以上,是极具勘探潜力的目的层系。

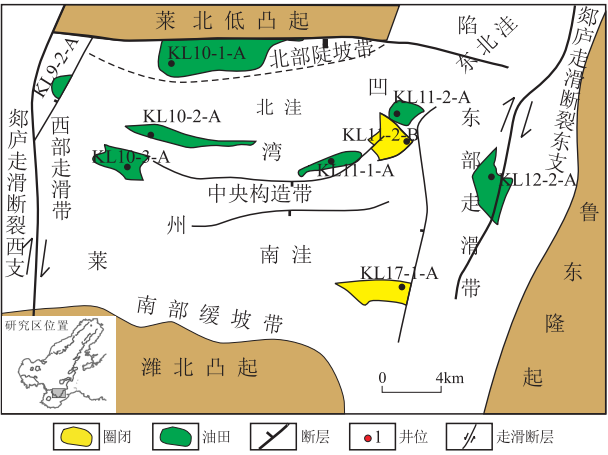


图 1 区域构造位置图  
Fig. 1 Tectonic setting of the Laizhouwan depression

层序地层学引进中国以来,经过几十年在油气

勘探中的应用和发展,理论水平不断提高。吴因业<sup>[1]</sup>等从层序地层在油气勘探应用角度全面总结了近年来全球层序地层学研究取得的新进展及新方向。内容包括层序、体系域类型及油气勘探意义,如何利用层序地层指导非常规油气勘探,以及遗迹化石、古土壤等地化信息在层序识别中的应用等。众多学者从层序地层在斜坡带隐蔽油气藏勘探中的应用、层序与沉积微相划分、坡折带与沉积关系等方面对我国东部张性盆地做了深入细致的研究<sup>[2-4]</sup>。莱州湾凹陷历经 30 余年的勘探,在此过程中,前人对莱州湾凹陷形成机制和演化模式<sup>[5-6]</sup>、莱州湾段郯庐断裂的构造特征及其对莱州湾凹陷构造格局和油气分布的影响<sup>[7-11]</sup>、莱州湾凹陷油气成藏动力学特征、温压系统特征、油气成藏主控因素、含油气系统及勘探启示<sup>[12-16]</sup>、主要物源体系<sup>[17]</sup>、整体层序地层格架、古近系沉积体系、储层特征<sup>[18-19]</sup>等方面做了大量的研究工作。从目前的研究内容看,尚无针对沙三中段精细层序格架下沉积体系展布特征的成果,而沙三中段在莱州湾凹陷油气勘探中具有不可替代的地位。因此,有必要开展沙三中段高精度层序格架下精细沉积体系研究,以便深入推动沙河街组油气勘探,扩大莱州湾油气勘探成果。

## 1 层序格架

莱州湾凹陷古近系发育来自西南向垦东凸起物源区的大型辫状河三角洲沉积体。研究表明,利用地质模式指导下的高分辨率三维地震资料建立的高精度层序地层格架可为精细的沉积体系、沉积相分析和砂体分布预测提供更有效的地层对比框架。本文旨在探讨四级层序格架下沉积体系分布规律,即以 Vail 的经典层序地层学理论为指导<sup>[20-21]</sup>,以莱州湾三维地震资料精细解释及钻井分

析为基础,进行体系域级别下高精度层序地层研究。在四级层序地层格架内搜索有利的砂体富集部位及总结分布规律,为下一步在莱州湾开展隐蔽油气藏勘探指明方向。

### 1.1 层序界面特征

本次研究中以钻井地层划分为出发点,将沙三中段整体作为一个三级层序。首先通过地震-钻井、合成地震记录双向标定识别三级层序界面,由钻井标定地震剖面,辅助利用测井曲线和岩性叠置方式确定。沙三中段的顶底面对应于三级层序边界,以此建立三级层序界面的格架。根据地震剖面上湖盆坡折带的位置确定首次湖泛面,根据下超终止关系确定最大湖泛面,用三角洲期次包络面确定高水位体系域内三角洲的期次。

沙三中段层序边界由莱州湾凹陷边缘的局部不整合面以及与之对应的凹陷内部整合面组成,其暴露结构显示仅在凹陷边缘的斜坡带有发现,不整合识别标志为:(1)地震剖面上,在工区西部斜坡带上地震反射轴为一系列上超终止点,界面上下地震同相轴特征明显不同。向东部凹陷部位,上超特征消失,取而代之为整合接触,但界面上下地震反射特征也具有明显区别。以底界面  $T_6^2$  为例,界面之下为弱振幅断续反射地震相,界面之上为强振幅连续反射地震相(图 2、图 3);(2)在钻井岩性剖面和测井曲线上,界面上下旋回性也具有明显变化:界面之下岩性向上变粗,具反旋回特征,测井曲线呈漏斗形;界面之上岩性向上变细,为正旋回岩性组合,测井曲线呈钟形、齿化钟形。

#### 1.1.1 初始湖泛面(ffs)

沙三中段初始湖泛面在钻井资料上不易识别,但在本区地震资料上较容易识别。其识别方法是,在沙三中层序物源方向的层序底界寻找初始上超点,沿初始上超点向盆地方向反向追踪即为低水位

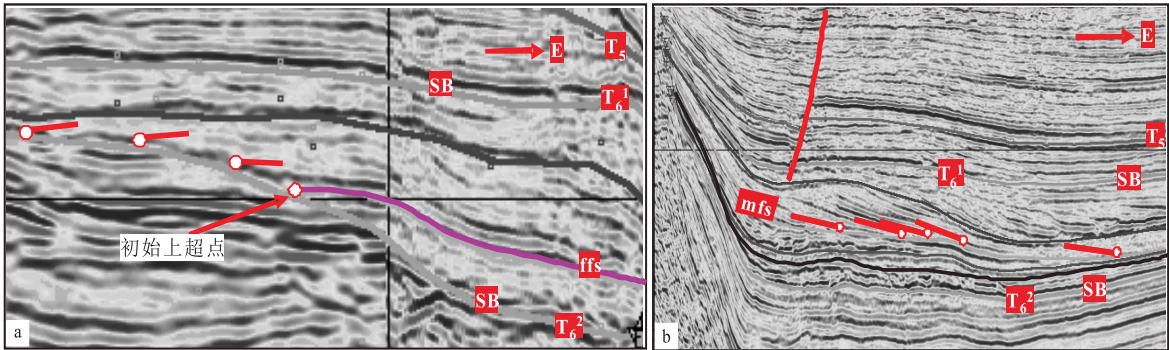


图2 体系域界面在地震剖面上的识别标志

Fig. 2 Criteria for the recognition of the systems tract boundaries in the seismic profiles

体系域与湖侵体系域的分界初始湖泛面(图 2a),初始上超点在莱州湾西部斜坡带顺物源方向较易识别。

1.1.2 最大湖泛面(mfs)

在研究区,钻井岩性上表现为一套分布广泛、层位稳定的大套暗色泥岩沉积,即通常所说的“泥脖子”沉积特征。在测井曲线上能够较为准确地识别出。最大湖泛面在伽马曲线极大值、电阻率曲线极低值附近,一般为“泥脖子”的中间位置。界面之下表现为湖泊扩张,表现为加积和进积准层序组;界面之上表现为湖区逐渐萎缩,在研究区表现为一系列的辫状河三角洲前积型准层序组。地震资料上沿主物源方向表现为一高连续的强相位,界面之上可见一系列的下超反射终止现象(图 2b)。

四级层序界面为可识别的各个期次的湖泛面(fs1 - fs4)主要发育在高水位体系域内。在四级层序界面追踪中,选取沿主物源方向各期三角洲最清楚、最全面的剖面为标准剖面,依据前积特征的变化和各期三角洲内部反射结构的差异,建立各期三角洲的识别标准。以各期三角洲顶部的包络面、坡移扇的顶部和后期三角洲的下超终止面作为四级层序界面,先建立基干框架,再通过全区追踪完成四级层序格架的搭建(图 3)。

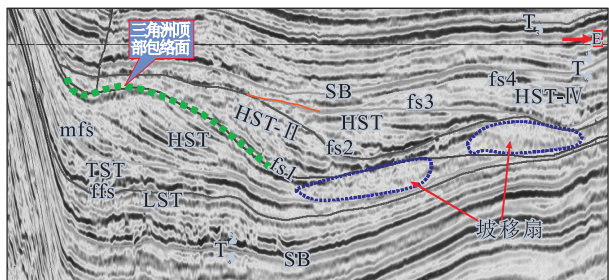


图 3 沙三中层序格架标准剖面

Fig. 3 Typical section within the sequence stratigraphic framework in the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation

1.2 层序地层格架的建立

根据沉积物源方向和构造特点,选择相关单井做单井层序划分剖面,进而形成连井层序地层对比剖面。选择重点井制作合成记录,将地震层序界面的T<sub>0</sub>时间通过时深转换标定到钻井上,参考层序界面的一般钻井响应,建立宏观合理的钻井层序地层格架,进而进行地震资料的层序界面和各体系域界面的识别,初步建立地震层序地层格架。然后在宏观层序格架内,利用测井曲线变化特征进行基准

面旋回界面的划分。同时考虑钻井层序界面深度反标定到地震上的响应特征,使二者相互协调,反复验证,最终确定井震统一的层序地层格架。在以上工作流程的基础上,将沙三中段划分为 1 个三级层序,低水位体系域、湖侵体系域和高水位体系域 3 个体系域和 6 个四级层序。根据低水位体系域和湖侵体系域沉积特征将其分别作为四级层序。根据高水位体系域辫状河三角洲发育特征将其分为 4 期,每一期作为一个四级层序。层序格架如图 4、图 5 所示。

2 高精度层序格架下沉积体系展布特征

在建立区域层序地层格架的基础上,利用属性分析、沿层切片、频谱分解等技术,并结合古地貌特征、湖平面的升降变化等资料,对沙三中亚段层序格架内沉积相类型及砂体发育模式和分布规律、砂体横向变化等特征进行精细研究。沙三中段三级层序的低水位体系域、湖侵体系域和高水位体系域分别发育近岸水下扇、水进辫状三角洲、水退辫状三角洲和坡移扇等沉积体系。高水位体系域划分为 4 个四级层序,相应地将高水位体系域西南方向辫状三角洲沉积分为 4 期。研究区沙三中亚段共发育 9 个沉积体系,分别为(图 5):(1)低水位扇三角洲;(2)低水位近岸水下扇;(3)湖侵体系域水进辫状河三角洲;(4)高水位 I 期辫状三角洲;(5)高水位 I 期坡移扇;(6)高水位 II 期辫状三角洲;(7)高水位 II 期坡移扇;(8)高水位 III 期辫状三角洲;(9)高水位 IV 期辫状三角洲。

2.1 层序格架内沉积体系识别及展布特征

2.1.1 低水位体系域四级层序

低水位体系域在工区西南部发育低水位扇三角洲、北部发育近岸水下扇(图 5、图 7A)。低水位扇三角洲地震响应表现为上下为强振幅连续反射,内部为高频中强振幅断续反射,充填结构。近岸水下扇地震响应特征为顶底面强振幅连续反射,内部为高频弱振幅断续反射。西南方向低水位扇三角洲分布很局限,目前没有钻井钻遇。北部近岸水下扇主要发育 3 个朵体,分别位于 KL10-1-A/H、KL10-1-C/G 和 KL10-1-D 井区。近岸水下扇在断陷盆地中是较有特征性的一种常见沉积类型<sup>[19-20]</sup>。KL10-1-D 井取心段取到该期近岸水下扇体,岩心表现为厚层深灰色、灰色泥岩中夹杂 5~20cm 厚的砂砾岩(图 6),指示近源的重力流扇根沉积。

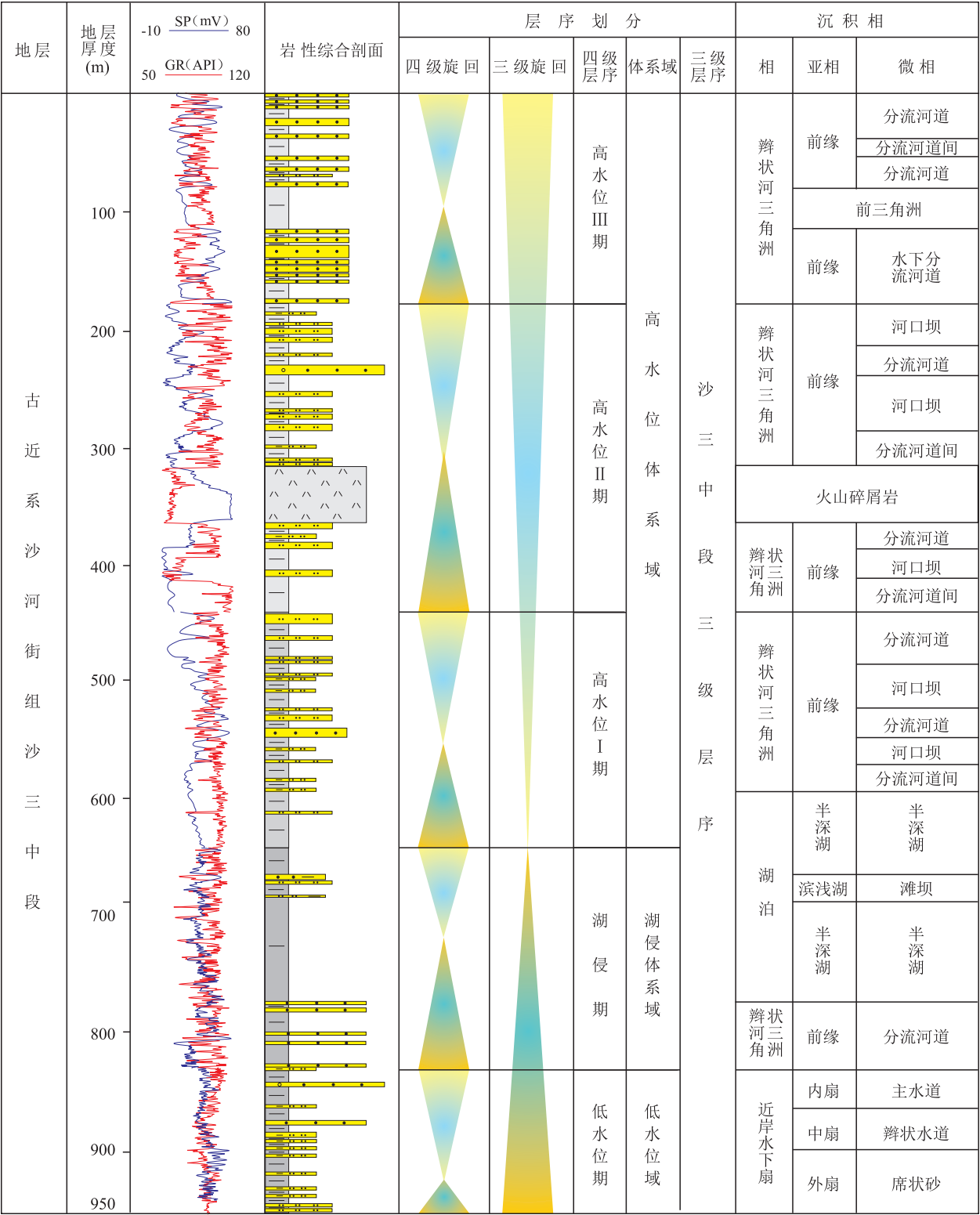


图4 莱州湾凹陷沙三中段层序地层综合柱状图

Fig. 4 Generalized sequence stratigraphic column through the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation

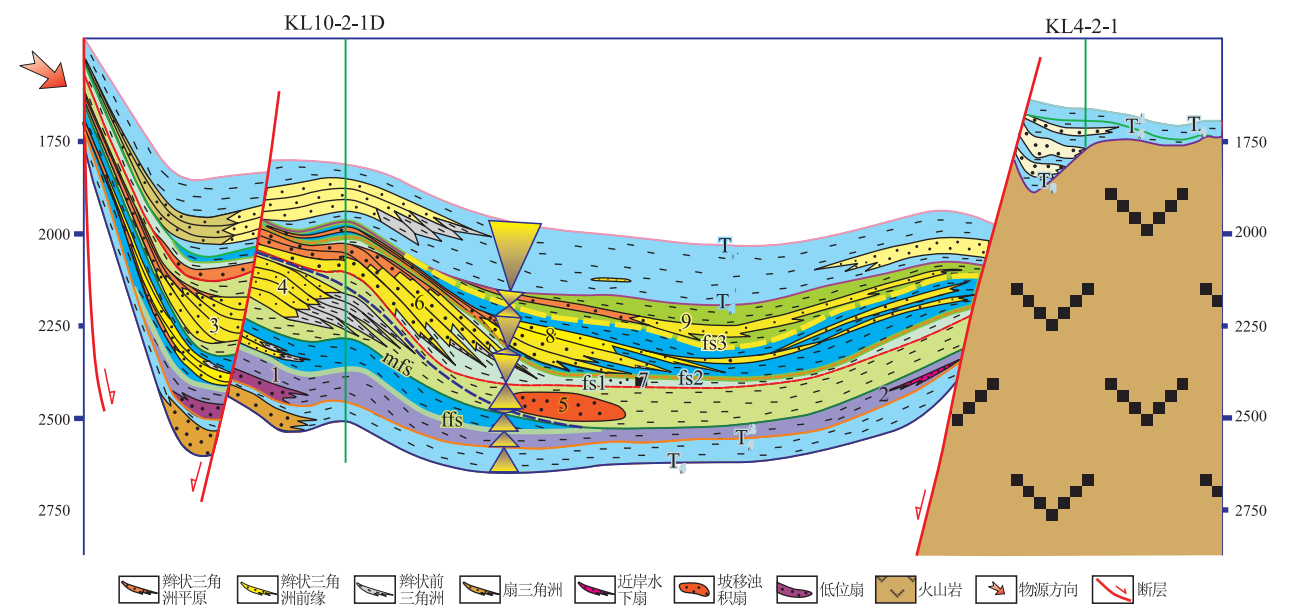


图 5 沙三中段四级层序格架下沉积体系发育特征

Fig. 5 Development of the sedimentary systems within the 4th-order sequence stratigraphic framework in the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation

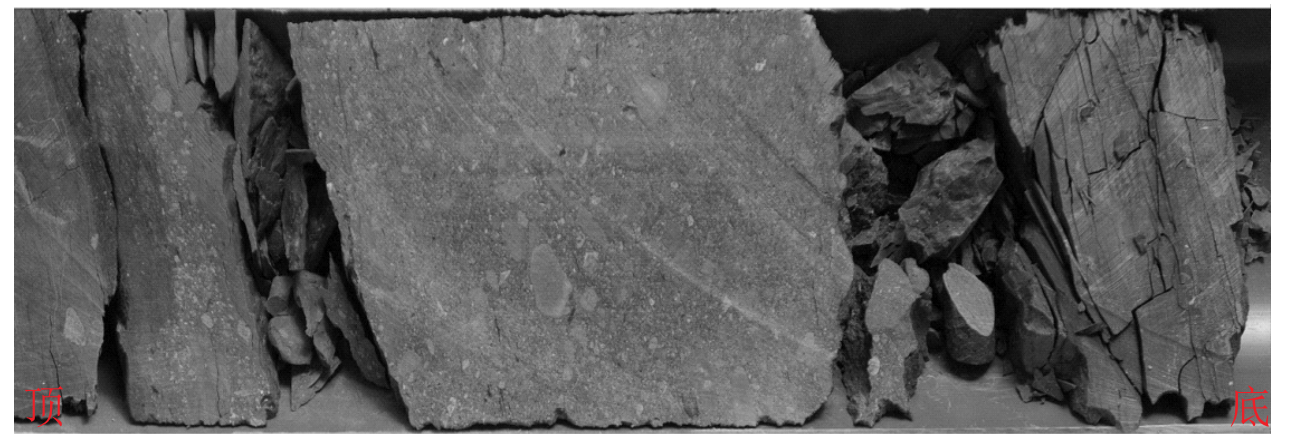


图 6 KL10-1-D 井 2685.6 ~ 2686.0m 段近岸水下扇沉积特征

Fig. 6 The nearshore subaqueous fan deposits at the depths of 2685.6 – 2686.0 m through the KL10-1-D well in the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation

2.1.2 湖侵体系域四级层序

沙三中段湖侵体系域沉积期,西南方向发育(水进)辫状河三角洲,其发育部位与低水位体系域西南方向的低水位扇三角洲相同,但分布范围稍大(图 5、图 7B)。地震响应表现为顶、底面为强振幅连续反射,内部为高频弱振幅断续反射,帚状外形,坡脚位置沉积体加厚。KL10-3-A 和 KL10-2-A 井都钻遇该辫状河三角洲前缘远端。岩相组合上表现为大套的暗色泥岩沉积夹中-薄层的中、细砂岩沉积。

2.1.3 高水位 I 期四级层序

发育西南方向辫状河三角洲沉积,在辫状河三角洲沉积前部,即同沉积坡折带下部发育坡移扇沉

积体(图 5、图 7C)。辫状河三角洲沉积体在地震剖面上表现为明显的三分反射特征,顶积层和前积层近端高频断续反射,前积层前端和底积层为强振幅连续反射,整体上表现为 S 型前积结构(图 3)。顶积层和前积层上部的中弱振幅断续反射、大角度前积反射特征,对应于三角洲前缘沉积,为砂体的富集带;而前积层的下部和底积层的强振幅连续反射,对应前三角洲沉积,主要为富泥沉积带。高水位 I 期辫状河三角洲处于高物源供给、高可容纳空间、沉积作用相对稳定的沉积期,受西侧边界断裂和同沉积坡折的控制,其分布范围较小,延伸相对较近。KL10-3-A 和 KL10-2-A 井都钻遇该期前端,发育厚层暗色泥岩与中-薄层细砂岩、粉砂岩互层

沉积。

高水位 I 期坡移扇地震响应特征为中强振幅高频断续反射、宏观形态上呈透镜状。王居峰等<sup>[22]</sup>通过对渤海湾盆地东营凹陷的研究,对坡移浊积扇的形成机理进行详细描述。坡移浊积扇形成于短期

基准面上升期,向盆地边缘方向可容纳空间增大,三角洲进积时期发生加积或过路沉积的位置被退积的三角洲前缘或三角洲平原分支河道所代替。向湖盆方向,由于湖水扩张,湖水动力及洪水作用等可对基准面下降期的三角洲前缘及三角洲平原沉积

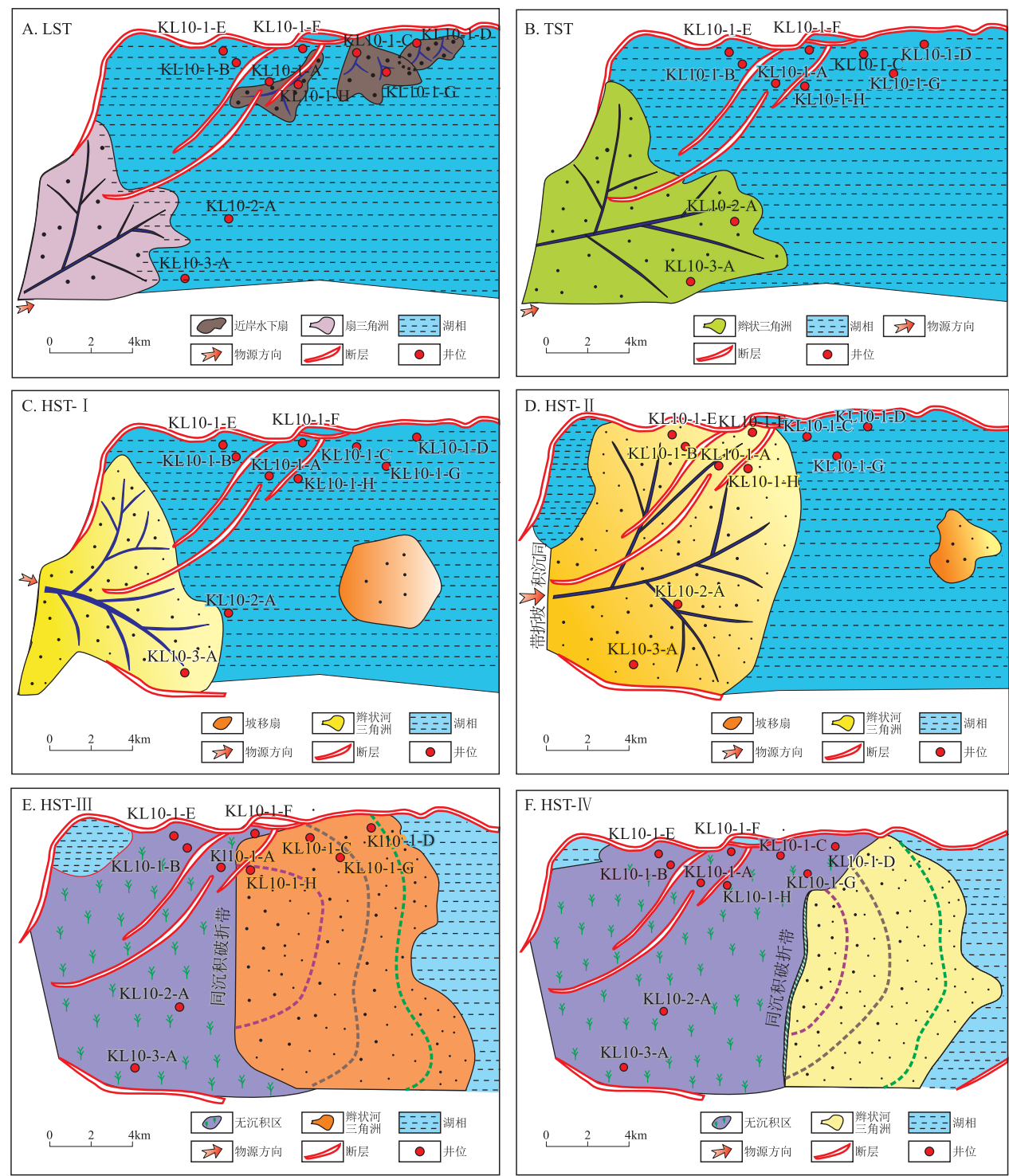


图7 沙三中段四级层序格架下沉积体系展布特征

Fig. 7 Distribution of the sedimentary systems within the 4th-order sequence stratigraphic framework in the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation

物进行侵蚀冲刷,致使大量沉积物沿湖盆边缘斜坡发生坡移,在较深水湖区发生再沉积作用形成坡移浊积扇。

2.1.4 高水位Ⅱ期四级层序

发育西南方向辫状河三角洲沉积,同时在辫状河三角洲沉积前部、即同沉积坡折带下部发育坡移扇沉积体(图5、图7D)。西南方向辫状河三角洲沉积的地震响应表现为中强振幅中高频较连续-断续反射,具斜交前积结构。北部垦利10-1构造的KL10-1-A/B/H井均钻遇该期辫状河三角洲主体,富砂部位均有多层油层发育,岩性组合上表现为厚层的中-粗砂岩与暗色泥岩互层沉积。高水位Ⅱ期坡移扇地震响应特征为中强振幅高频断续反射,宏观形态上呈透镜状。

2.1.5 高水位Ⅲ、Ⅳ期四级层序

高水位Ⅲ期辫状河三角洲平面上呈“口”字形展布,地震响应特征表现为中强振幅中低频较连续反射,具叠瓦状前积结构。该期辫状河三角洲垂向物源方向分布范围广,沿物源方向延伸较远,单层较薄,多期叠置,是高水位体系域晚期随着可容空间的减少,水下分流河道多次横向迁移摆动の結果(图5、图7E)。垦利10-1构造的KL10-1-C/G/H井均钻遇该期辫状河三角洲主体富砂部位,岩性组合上表现为细砂岩、粉砂岩与泥岩不等厚互层,其粒度相对于高水位Ⅰ、Ⅱ偏细。

高水位Ⅳ期辫状河三角洲地震响应特征表现为上下为强振幅连续反射、内部为中强振幅高频断续反射、略见叠瓦状前积结构。与高水位Ⅲ期相似,具有横向迁移、多向摆动、单层较薄、多期叠置的分布特征(图5、图7F),目前尚无钻井钻遇该期辫状河三角洲。

2.2 沙三中段沉积体系展布规律

沙中亚段沉积体系总体上经历了由西南向东北迁移的过程(图6)。垂向上,西南方向低水位扇三角洲、湖侵体系域辫状河三角洲及高水位一期辫状河三角洲叠置较好。高水位Ⅱ期辫状河三角洲与低水位域KL10-1-H井区的近岸水下扇垂向上叠置关系较好;高水位Ⅲ辫状河三角洲、高水位Ⅳ期辫状河三角洲与低水位域近岸水下扇以及高水位Ⅰ和Ⅱ期坡移扇也有很好的叠置关系。平面展布上西南方向低水位扇三角洲、湖侵体系域辫状河三角洲及高水位Ⅰ期辫状河三角洲沉积范围受西侧边界断裂控制,分布较为局限;高水位Ⅱ期、Ⅲ、Ⅳ期辫状河三角洲在平面上分布范围广,Ⅲ、Ⅳ期已推

进至凹陷中间,均表现出辫状河道频繁迁移摆动的特征。

3 讨论

本次研究将莱州湾凹陷北洼古近系沙河街组沙三中段整体上划分为1个三级层序,进一步划分为3个体系域和6个四级层序。低水位体系域四级层序发育粗粒的低水位扇三角洲和近岸水下扇沉积,湖侵体系域四级层序发育水进辫状河三角洲沉积体系。高水位体系域进一步划分为4个四级层序,其中高水位Ⅰ期和Ⅱ期四级层序发育高可容空间背景的辫状河三角洲和坡移扇沉积体系,高水位Ⅲ、Ⅳ期四级层序发育低可容空间背景的辫状河三角洲沉积体系。从成藏条件分析来看,低水位体系域扇三角洲、湖侵体系域水进辫状河三角洲、高水位坡Ⅰ期和Ⅱ期的坡移扇沉积体系侧封条件好,成藏条件最为有利,是下一步寻找岩性油气藏的优先目标区(图8)。另外,前人研究认为本区东侧有来自鲁东隆起物源,在莱州湾凹陷东部发育的扇三角洲沉积体系,随着资料的进一步补充,可以开展精细研究,寻找有利勘探区。

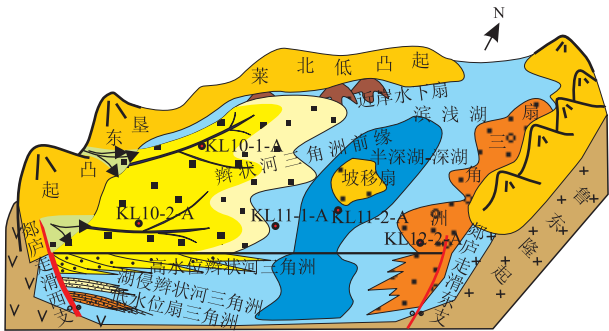


图8 沙三中段沉积体系发育模式图

Fig. 8 Model showing the development of the sedimentary systems in the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation

参考文献:

[1] 吴因业,朱如凯,罗平,等. 沉积学与层序地层学研究新进展-第18届国际沉积学大会综述[J]. 沉积学报,2011,29(1):199-206.

[2] 郭荣涛,陈留勤,郭丽娜,等. 层序级别划分与驱动机制的探索[J]. 沉积与特提斯地质,2011,31(3):7-11.

[3] 张大智,纪友亮,顾家裕,等. 饶阳凹陷马西地区古近系层序地层与隐蔽油气藏勘探[J]. 沉积与特提斯地质,2009,29(2):1-7.

[4] 温宏雷,侯中健,林孝先. 济阳坳陷青东凹陷新近系沙河街组

沉积体系研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 34(1): 20-29.

[5] 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 19-25.

[6] 彭文绪, 辛仁臣, 孙和风, 等. 渤海海域莱州湾凹陷的形成和演化[J]. 石油学报, 2009, 30(5): 654-660.

[7] 彭文绪, 张如才, 孙和风, 等. 古新世以来郯庐断裂的位移量及其对莱州湾凹陷的控制[J]. 大地构造及成矿学, 2010, 34(4): 585-592.

[8] 吴国时, 余朝华, 邹东波, 等. 莱州湾地区郯庐断裂带的构造特征及其新生代演化[J]. 海洋地质与第四系地质, 2006, 26(6): 101-108.

[9] 孙景耀, 刘松, 王世民, 等. 构造活动对莱州湾凹陷油气成藏的影响[J]. 中国海上油气, 2006, 18(5): 299-303.

[10] 王永利, 武强, 王应斌. 莱州湾凹陷西走滑带构造演化特征及对油气成藏的影响[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(2): 5-7.

[11] 孙和风, 周心怀, 彭文绪. 莱州湾凹陷油气成藏动力学特征[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2009, 24(4): 27-36.

[12] 孙和风, 曾选萍, 贺电波, 等. 莱州湾凹陷温压系统与油气成藏[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(1): 19-22.

[13] 王亮, 陈国童, 牛成民, 等. 莱州湾凹陷构造演化对含油气系统的控制作用[J]. 大庆石油地质与开发, 2011, 30(3): 8-13.

[14] 杨波, 曾选萍, 王改卫, 等. 莱州湾凹陷油气成藏主控因素分析[J]. 重庆科技学院学报, 2011, 13(1): 6-11.

[15] 王亮, 牛成民, 杨波, 等. 莱州湾凹陷含油气系统与有利勘探

方向[J]. 断块油气田, 2011, 18(5): 545-548.

[16] 杨波, 牛成民, 孙和风, 等. 莱州湾凹陷亿吨级油田高效勘探与启示[J]. 古地理学报, 2011, 22(2): 19-25.

[17] 武强, 王应斌, 杨在发, 等. 莱州湾地区垦东凸起东斜坡输导体系与油气成藏模式[J]. 石油地质, 2010, 4: 31-36.

[18] 孙景耀, 郭永华, 郭铁恩, 等. 莱州湾凹陷层序地层格架及幕式油气成藏[J]. 石油地质, 2006, 5: 30-34.

[19] 王根照, 李建平, 向淑敏, 等. 莱州湾凹陷古近系砂岩储层特征研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2009, 36(1): 51-58.

[20] VAIL P R, MITCHUM R M, THONPSON S. III. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3, relative changes of sea level from coastal onlap [A]. C. E. Payton. Seismic stratigraphy application to hydrocarbon exploration [C]. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists, AAPG Memoir, 1977, 26: 63-82.

[21] VAIL P R, HARDENBOL J, TODD R G. Jurassic unconformities, chronostratigraphy, and sea level change from seismic stratigraphy and biostratigraphy [A]. Schlee J S. Interregional unconformities and hydrocarbon exploration [C]. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists, AAPG Memoir, 1984, 36: 129-144.

[22] 王居峰, 蔡希源, 邓宏文, 等. 渤海湾盆地东营凹陷中央洼陷带沙三段基准面旋回变化与岩性圈闭[J]. 石油实验地质, 2003, 25(4): 357-360.

High-precision sequence stratigraphic framework and sedimentary system evolution in the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation in the Laizhouwan depression

WANG Gai-wei, DU Xiao-feng, JIA Dong-hui, WANG Qi-ming, DENG Ji-feng  
(Research Institute of Bohai Oil Field, Tianjin Branch, CNOOC, Tianjin 300452, China)

**Abstract:** The sequence stratigraphic framework and sedimentary system evolution are discussed on the basis of three-dimensional seismic data, core examination and well logs for the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation in the Laizhouwan depression. Collectively, the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation may be involved in one third-order sequence, and subdivided into six 4th-order sequences. Three systems tracts including the lowstand, transgressive and highstand systems tracts are based on the first and maximum flooding surfaces and the bounding surface of the enveloping surface defined by the delta phases within the highstand systems tract. The fan delta and nearshore subaqueous fan deposits appear in the lowstand systems tract in the western and northern parts. The braided delta deposits and the slope turbidite fan deposits occur in the transgressive and highstand systems tracts, where the favourable lithologic traps may be recognized as preferred targets in the future exploration.

**Key words:** Laizhouwan depression; middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation; sequence stratigraphic framework; sedimentary system; favourable exploration area