

文章编号:0253-9985(2010)02-0158-07

东营凹陷古近系岩性地层油气藏层序地层学特征

王化爱

(中国石化集团公司 国际石油勘探开发有限公司,北京 100083)

摘要:运用层序地层学理论分析了东营凹陷古近系岩性地层油气藏的形成诸要素及分布规律。研究认为,层序对岩性地层油气藏生、储、盖、运移和聚集等成藏诸要素具有重要的控制作用。岩性地层油气藏主要分布于坡折带之下、不整合面和湖泛面附近;体系域和沉积基准面旋回对油藏类型具有重要的控制作用,湖侵体系域发育以地层为主的油气藏,低水位体系域、高水位体系域发育以岩性为主的油气藏;不同级别层序界面附近砂体成藏率不同。

关键词:沉积基准面;体系域;成藏要素;岩性地层油气藏;层序地层学

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Sequence stratigraphic characteristics of the Paleocene lithologic and stratigraphic reservoirs in the Dongying Depression

Wang Hua' ai

(1. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper, sequence stratigraphic theories are used to analyze the hydrocarbon pooling factors and distribution pattern of the Paleocene lithologic and stratigraphic reservoirs in the Dongying Depression. According to the study, the sequence stratigraphy has a major control on the hydrocarbon pooling factors of the lithologic and stratigraphic reservoirs, such as hydrocarbon generation, preservation, sealing, migration and accumulation. Lithologic and stratigraphic reservoirs are mainly distributed below slope break, near unconformity surface or near flooding surface. System tracts and sedimentary base level cycle control the types of reservoirs: stratigraphic reservoirs mainly occur in the lake transgression system tract, while lithologic reservoirs are mainly found in low system tract and high system tract. The pool-forming efficiencies are different for sandbodies on different orders of sequence boundaries.

Key words: sedimentary base level, system tract, pool-forming factor, lithologic and stratigraphic reservoir, sequence stratigraphy

随着油气勘探程度的提高和技术进步,岩性地层油气藏已经成为油气勘探的主要目标和储量增长的重要阵地。岩性地层油气藏的形成与分布在很大程度上受层序控制^[1-7]。近年来,陆相断陷盆地层序地层学理论在层序界面识别、层序级别划分准则、古地貌及同沉积构造坡折带类型、层序体系域构成模式、层序发育的主要控制因素及岩性、地层油气藏的预测方法等研究方面取得了

突破性进展,并在指导陆相断陷盆地岩性、地层油气藏勘探方面取得了良好的效果^[1-7]。笔者以经典层序地层学三级层序为基本层序单元,结合高分辨率层序地层学沉积基准面及其控制下的可容纳空间变化,研究东营凹陷层序地层格架内岩性、地层油气藏的形成诸要素及分布规律的层序地层学特征,以便更好地把层序地层学的研究成果用于指导断陷盆地岩性、地层油气藏的勘探。

收稿日期:2009-07-15。

作者简介:王化爱(1969—),男,高级工程师,石油地质。

1 层序地层格架

在经典层序地层学中,层序是以不整合面或与之相对应的整合面为界的、一套相对整齐的、成因上相互关联的地层序列^[8]。东营凹陷在古近纪构造演化中发育了5个较大的区域性不整合面或局部不整合面,在地震剖面上相当于地震标准层 T_R (前古近系基底与古近系孔店组之间的不整合面)、 T_7 (沙河街组四段与孔店组之间的不整合面)、 T'_6 (沙河街组四段与三段之间的不整合面)、 T'_2 (沙河街组二段上亚段与下亚段之间的不整合面)、 T_1 (古近系与新近系之间的不整合面)(图1),由此将东营凹陷古近系分为4个二级层序,分别对应于孔店组、沙河街组四段、沙河街组三段-沙河街组二段下亚段、沙河街组二段上亚段-东营组。分别与早期初始裂陷幕、晚期初始裂陷幕、裂陷伸展幕和裂陷收敛幕相对应。根据钻井、测井、地震、岩性、古生物等资料,在4个二级层序内又可进一步划分出11个三级层序(对应于高分辨率层序地层学长期基准面旋回)(图2)。

2 成藏要素与层序的关系

生、储、盖、运移和聚集是岩性地层油气藏的重要成藏要素,其各要素的发育及其时空配置与层序地层有密切关系。

2.1 烃源岩

东营凹陷古近系主要发育沙河街组四段、三段、一段和孔店组4套烃源岩^[9],对应于经典层序

地层学的湖侵体系域^[10]或高分辨率层序地层学的长期基准面上升半旋回至下降半旋回转换位置^[11]。在这些旋回的转换处发育厚达几百米的泥岩,生物繁盛,有机质丰富。旋回转换位置向上或向下古生物含量逐渐减少,有机碳逐渐降低,生油岩的质量也随之变差。

2.2 储集层

2.2.1 体系域及沉积基准面旋回

国内外许多学者对陆相盆地层序地层学体系域与岩性地层油气藏的储层进行了深入的研究,并形成了一定的模式^[10,12]。低水位体系域主要发育低位扇砂砾岩储层,包括水下冲积扇、大型浊积扇(包括湖底扇)、小型低位三角洲、低位扇三角洲等,同时发育一定规模的沟道浊积岩和少量的下切水道充填。梁家楼油田储层就是沙河街组三段上亚段低位扇,而永安油田沙河街组三段储层发育多个沟道浊积岩砂体。低水位体系域砂泥比小,主要形成岩性油气藏。

湖侵体系域湖平面升高,主要发育退积型三角洲、扇三角洲和小规模浊积扇体。湖侵体系域利于区域性盖层形成,并易于形成一定规模的地层油气藏,2003年王庄油田的发现就是以沙河街组一段扇三角洲为储层的岩性地层油气藏。同时,在远离构造坡折带的盆地边缘,小型三角洲或扇三角洲受到湖侵破坏,地势相对平坦的地方产生由沿岸砂坝和砂滩组成的滨浅湖体系^[13]。这些储集体能形成一定规模的岩性油气藏。2007年至2009年,东营凹陷沙河街组四段滩坝砂岩作为储层的岩性油气藏上报探明石油地质储量近亿吨。

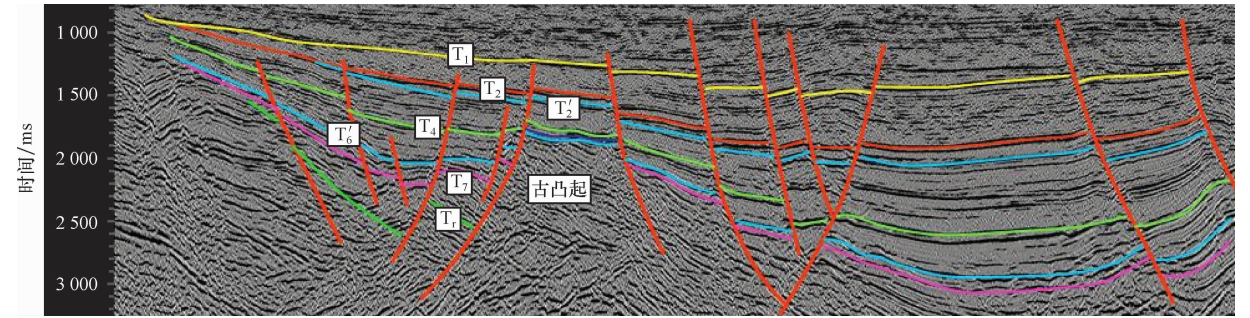


图1 东营凹陷南北向地震剖面(Line2382)

Fig. 1 N-S seismic section in the Dongying Depression (Line2382)

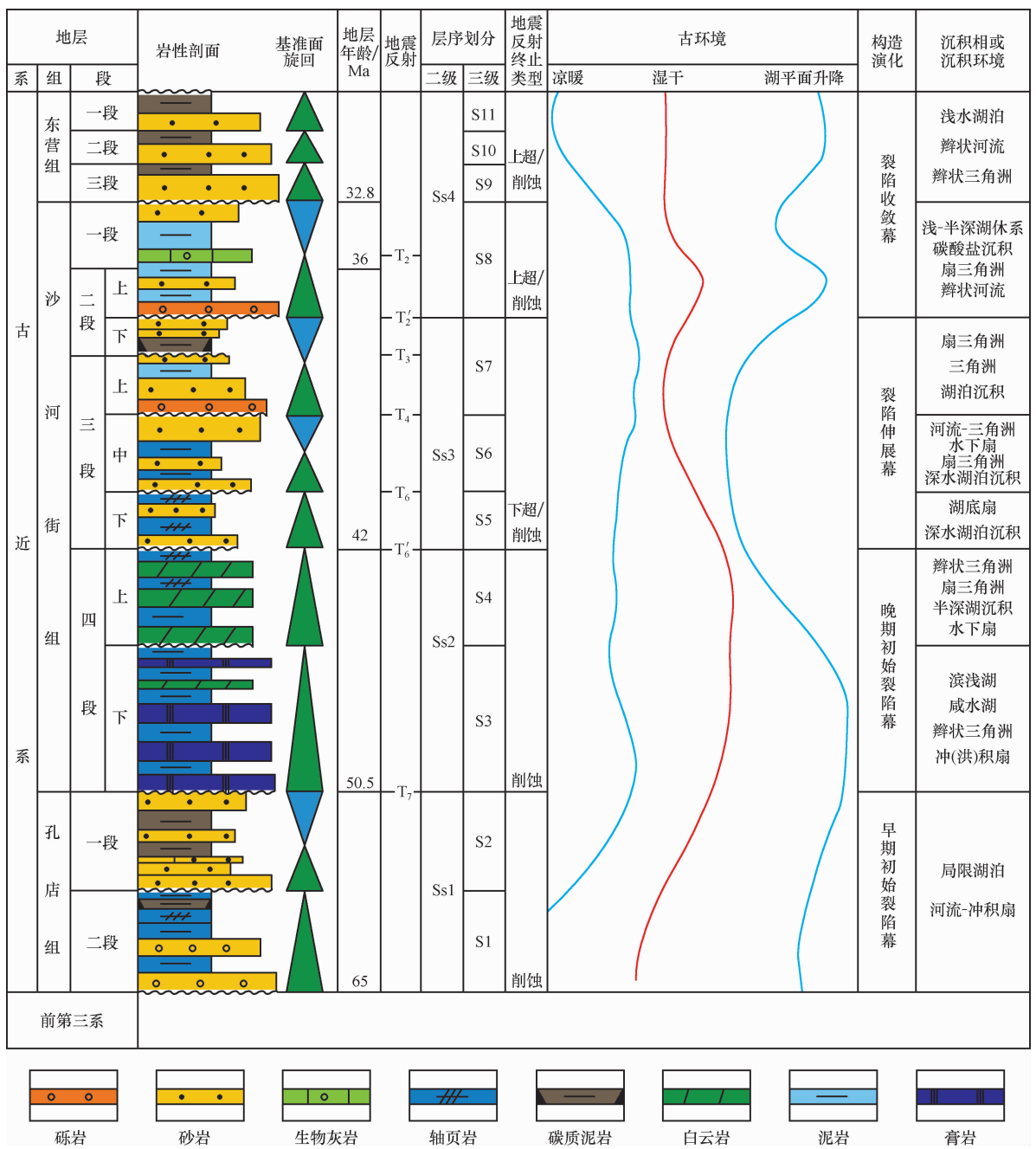


图 2 东营凹陷古近系层序地层综合分析

Fig. 2 Comprehensive analysis of sequence stratigraphy of the Paleogene in the Dongying Depression

高水位体系域时大量碎屑物入湖形成以三角洲-滑塌浊积扇(岩)为主的沉积体系^[7], 东营凹陷中央带的牛庄、史南地区发育大量的滑塌浊积扇岩性油气藏。在盆地边缘短轴方向上发育一定规模的扇三角洲沉积, 尤其是在陡坡带, 与坡折带或沟谷相间的古地貌配合, 形成地层或岩性圈闭。

高分辨率层序地层学认为地层的旋回沉积是不同级次海(湖)平面旋回叠加的产物, 即大级别的旋回包含小级别旋回^[14]。沉积层序旋回性发育的本质在于基准面的旋回性周期变化, 所以从本质上讲, 控制浊积扇体发育层位的基本因素在于基准面的旋回变化。具有一定规模的低位域扇体(经典层序地层学)通常出现在在长期基准面旋回(对应经典层序地层学三级层序)上升的早期。中期旋回砂体分布的层序地层位置与其具有相似性^[15], 即在长期旋回内发育的数个规模略小的浊积扇体中, 规模较大者均处于中期基准面上升期, 靠近中期旋回底界面分布^[16,17](图 3)。由于东营

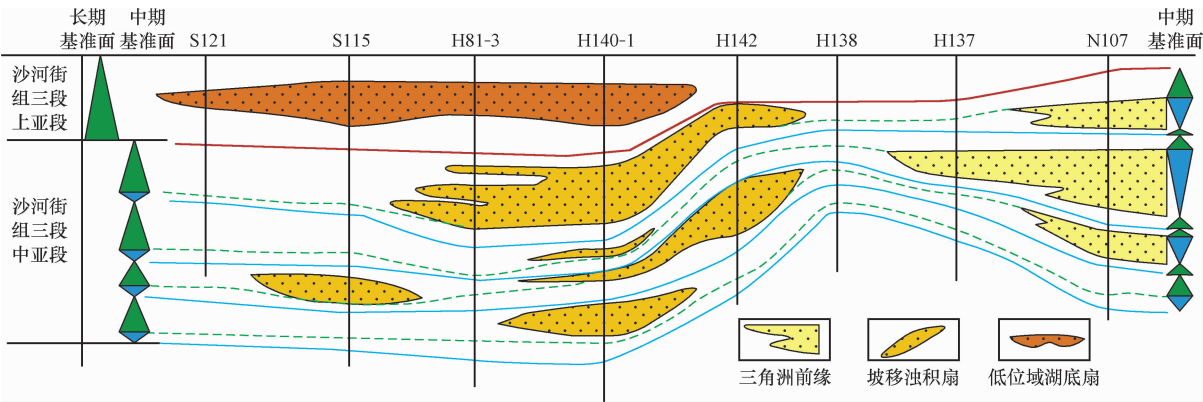


图3 史南地区不同级别沉积基准面旋回与浊积扇分布关系^[15]

Fig. 3 Relationship between the distribution of turbidite fans and different orders of sedimentary base level cycles in the Shinan area^[15]

凹陷是一个富油凹陷,这些浊积砂体的含油率很高,因此浊积砂体岩性油藏的规模与其储层的分布具有较好的对应关系,从而也受基准面旋回的控制,即在长期基准面旋回上升早期形成的岩性油气藏规模大,如梁家楼油田;在中期基准面上升期、靠近中期旋回底界面发育规模较次的岩性油气藏,如史南沙河街组三段中亚段浊积岩油藏。

2.2.2 坡折带

高分辨率层序地层学认为,沉积基准面控制了可容纳空间的顶部边界及其变化,而古地形控制了可容纳空间的底界及其变化^[18]。因此,古地貌对沉积作用的控制主要是通过可容纳空间实现的。由于古地貌坡折的存在,其上下构造沉降差异为沉积物的沉积提供了潜在的可容纳空间。构造运动愈强烈,沉降差异愈大,坡折带之下的可容纳空间越大,越有利于沉积物的堆积。东营凹陷坡折带按成因可划分为3类:构造挠曲坡折带、沉积坡折带和侵蚀坡折带^[19]。不论哪种坡折都对坡折之下的各类扇体沉积起到重要的控制作用^[20,21]。如在凹陷陡坡董集至胜坨地区构造挠曲坡折带和侵蚀坡折带之下发育近岸水下扇、扇三角洲和深水浊积扇等低位沉积。同时坡折带的存在及其造成的上下部岩性改变,对油气运移起到重要的封挡作用,结果造成坡折带之下岩性油气藏发育。

2.2.3 源区性质和古地貌

构造、气候、湖平面和沉积物的供给是控制陆相盆地层序的主要因素^[22,23]。源区物源性质和古

地貌共同作用导致形成不同类型的沉积储层。北部陡坡带西段的王庄-宁海地区,在沙河街组一段Ⅱ砂组沉积时,湖盆水体扩大,对应湖侵体系域,东部由于沟谷的古地形影响和少量点状物源的注入,沿谷口发育小型扇三角洲,砂体孤立不成片,油气充注时形成砂砾岩体岩性地层油气藏。而西部王庄潜山附近,碎屑物源不丰富。潜山周围斜坡部位广泛发育粒屑碳酸盐岩,尤其是潜山南侧宽阔台地背景和湖湾环境促进了面积较大、厚度相对较小的生物灰岩的发育(图4),油气充注时形成生物礁或粒屑滩岩性油气藏。

2.3 储盖组合

在裂陷主要发育期的古近纪,大量张性或张扭性断裂以及块体强烈的差异升降及翘倾活动发育^[24~26],这种多期次不平衡构造运动及其所造就的古地貌,控制了古近系的沉积和剥蚀,使之超剥结合,在盆缘和斜坡带形成多种类型岩性地层圈闭。如Es₂^上时气候干旱,湖泊水浅,范围局限,发育低位体系域,地层的分布范围较小。Es₁时盆地整体沉降,气候变得潮湿,湖泊水体加深,范围明显扩大,发育湖侵体系域。Es₁晚期,基底局部抬升,水体收缩,开始发育高位体系域。多期次的不平衡构造运动和湖侵湖退导致沙河街组三段的分布范围大于二段的分布范围、二段的分布范围小于一段的、一段地层的分布范围又大于东营组的,而馆陶组的地层覆盖了沙河街组三段、二段、一段和东营组地层的超剥样式,易于在斜坡带形成多种类型(包括生物礁在内)地层岩性圈闭。

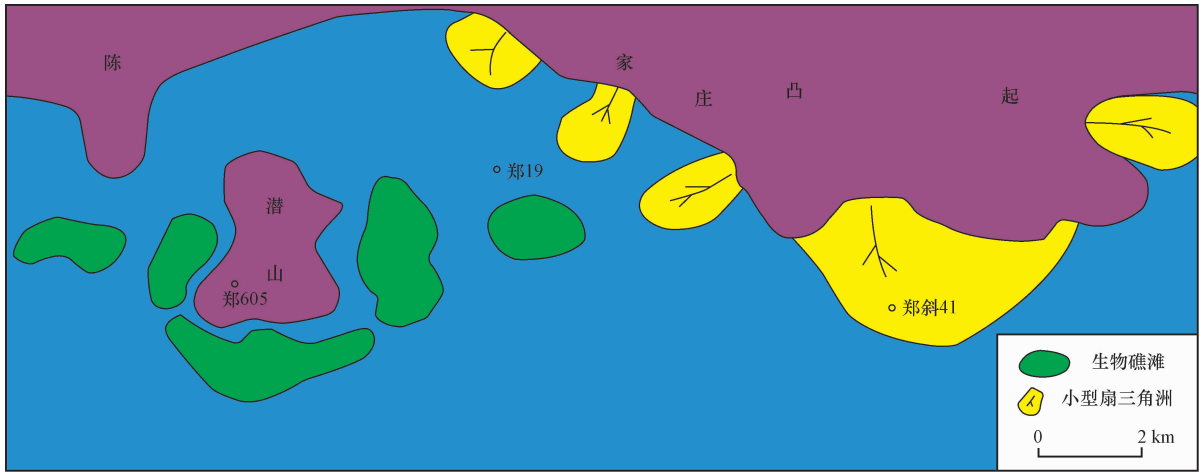


图 4 王庄-宁海地区沙河街组一段Ⅱ砂组沉积相

Fig. 4 Sedimentary facies of Es₁₂ in the Wangzhuang-Ninhai area, Dongying Depression

盖层的发育与分布受制于湖盆的发育演化阶段和沉积条件,一般湖扩张时期容易形成广泛的区域性盖层^[27]。沙河街组一段是湖盆二次扩张时期湖侵体系域,上部形成了一套广泛的灰色质纯泥岩夹油页岩沉积,除了表现在对其下的粒屑灰岩、砂砾岩等岩性圈闭具有封盖作用外,同时也对其底部不整合面之下的各种储集体均起到了区域盖层的作用。由于断陷盆地的多旋回沉积特征和沉积基准面对沉积控制的相似性,沙河街组四段、三段等各层段内部都发育了厚度不一的泥岩,这些泥岩的形成与湖水频繁的进退及其作用下的短期和中期基准面的变化密切相关。它们均对下伏储集层起到不同程度的遮挡作用,成为区域性盖层或局部岩性圈闭盖层。这导致东营凹陷古近系低位域、湖侵体系域和高水位域多数储层都能够形成岩性地层圈闭。

2.4 油气运移通道

烃源岩发育在盆地洼陷内,洼陷内岩性圈闭成藏不需要考虑油气运移通道的问题,但对于盆地边缘和斜坡带的圈闭成藏,油气运移通道是至关重要。东营凹陷盆地边缘和斜坡带的岩性地层油气藏油气运移的主要通道有断层、骨架砂体和不整合面等^[28]。其中不整合面的层序地层学意义最大。因为层序界面是不整合面及与之相对应的整合面,油气可以沿不整合面从深洼陷运移出来,并在其它形式通道的配合下在适当地方适当圈闭内聚集成藏。北部陡坡带发育多个明显的地层不整合面(新近系与古近系、始新统与渐新统、沙河

街组三段与一段),分别连通到不同成因类型储集体所构成的圈闭中,其中基岩古断剥面的风化壳厚度最大,可达 300 m 以上(郑 4 井),是非常好的油气运移通道。王庄-宁海地区岩性地层油气藏主要依靠断层、骨架砂体和不整合面组成的 T-S 油气运移通道。

3 油气藏类型与分布规律

东营凹陷复杂的构造活动、丰富的沉积体类型导致发育砂岩上倾尖灭油气藏、透镜体油气藏、地层超覆油气藏和地层不整合遮挡等多种类型岩性地层油气藏(表 1)。

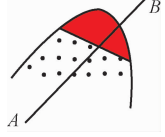
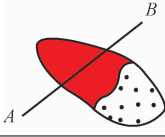
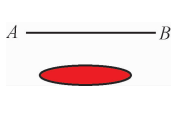
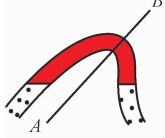
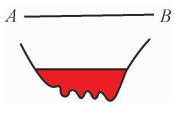
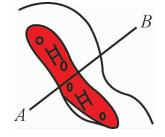
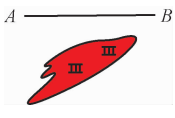
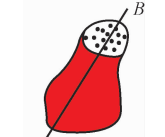
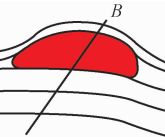
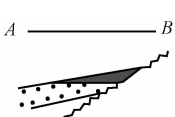
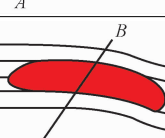
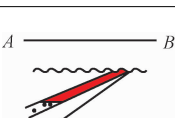
由于层序对岩性地层油气藏各成藏要素具有控制作用,导致东营凹陷岩性地层油气藏的分布具有规律性。横向上具有明显的区带性,在洼陷带主要发育岩性油气藏,在斜坡带主要发育地层油气藏,同时在陡坡带发育多种砂砾岩扇体岩性油气藏,在缓坡带和湖岸拐弯处发育滩坝砂岩岩性油气藏。纵向上油气藏的类型、分布位置和砂体的含油率受到层序地层的严格控制。主要表现在以下 3 个方面。

1) 岩性地层油气藏主要分布于坡折带之下、不整合面 and 湖泛面附近

坡折带之下发育多种砂砾岩,为岩性地层油气藏的形成打下了坚实的储层基础。地层不整合面是形成地层超覆圈闭和不整合遮挡圈闭的前提条件^[27,29],其本身往往造成不同层系的接触与串通,成为油气横向运移的主要输导通道,在其上、下

表1 东营凹陷古近系岩性地层油气藏类型统计

Table1 Statistics of tpyes of the Paleogene stratigraphic and lithologic reservoirs in the Dongying Depression

油藏类型		油藏模式		发育层位	储层类型	实例
大类	亚类	平面	剖面			
岩性油气藏	岩性上倾尖灭油气藏			沙河街组一段 沙河街组三段 沙河街组四段	扇三角洲 近岸水下扇 滩坝等 深水沟道	王庄、滨南 草桥、胜坨 永安镇
	岩性透镜体油气藏			沙河街组三段 沙河街组一段 沙河街组四段	湖底扇 滑塌浊积扇	牛庄、史南 营11等
	古河道砂岩油气藏				河道砂	纯47
	生物礁、 粒屑滩灰岩 油气藏			沙河街组四段 沙河街组一段	生物礁灰岩、 碎屑滩坝	平方王 王庄
	特性封闭 油气藏			沙河街组四段	扇三角洲 近岸水下扇	永921 利85
地层油气藏	地层超覆 油气藏			沙河街组一段	扇三角洲	单家寺 王庄
	地层不整合 遮挡油气藏			沙河街组三段 上亚段	辫状河三角洲	金家

易于形成多种地层、岩性油藏,如王庄- 宁海地区。最大湖泛面作为地层层序中湖侵体系域与高位体系域的分界面,之下的“凝缩段”既是优质的烃源层,又是良好的盖层。在其上下经常发育有多种类型的沉积砂体,易于形成岩性地层油藏。这一规律也在勘探实践中得以证实,不论洼陷带的牛庄、史南地区,还是陡坡带的王庄- 宁海地区,均有相当多的探明石油地质储量集中于湖泛面附近。

2) 体系域对油藏类型具有重要的控制作用

岩性油藏的分布主要受控于沉积体系,而沉积体系受控于层序。前已叙及,低位域发育低位扇沉积体系,高位域中央带发育三角洲- 滑塌浊积扇沉积体系,斜坡带发育扇三角洲沉积体系,因此

低水位体系域和高水位体系域发育以岩性为主的油气藏类型。湖侵体系域水体扩大,地层退积超覆,形成以地层为主的油气藏。同时,在缓坡带、湖岸线拐弯处发育碎屑滩坝岩性油气藏,在有少量点状物源注入的地方也可发育砂砾岩岩性油气藏,在古隆起附近台地环境发育生物礁或碳酸盐岩滩坝岩性油气藏。

3) 不同级别层序界面附近砂体成藏率不同

不同级别的层序界面的形成机制不同,具有不同的结构征和地层分布模式。砂体和油气的富集程度与界面的成因类型(或级别)存在着密切的关系^[30,31]。通过对东营凹陷近600口井层序地层分析和有关数据(砂体和油层的厚度、层数等)统

计表明,一、二级(综合型)界面附近砂体发育,砂体成藏率低;三级(构造型)界面附近砂体发育程度低,砂体成藏率高^[37]。

4 结论

1) 东营凹陷古近系共划分出 4 个二级层序、11 个三级层序(对应于高分辨率层序地层学长期基准面旋回)。

2) 层序地层对岩性地层油气藏生、储、盖、运移和聚集等成藏诸要素具有重要的控制作用。体系域及次一级层序中的沉积基准面、坡折带、源区性质和古地貌均对油气储层具有重要的控制作用。

3) 东营凹陷古近系共发育两大类 7 亚类岩性地层油气藏,不同类型的油气藏在层序中有规律分布。不同级别层序界面附近砂体成藏率不同。

总之,岩性地层油气藏勘探难度大,风险高,勘探中一定要重视层序地层学的分析,在精确的层序地层格架内分析成藏要素的时空配置关系及其层序因素的影响作用,预测油气藏发育的有利位置,这样能大大降低勘探风险。

参 考 文 献

- 李思田,潘元林,陆永潮,等. 断陷湖盆隐蔽油气藏预测和勘探的关键技术—高精度地震勘测基础上的层序地层学研究[J]. 地球科学—中国地质大学学报,2002,27(5):592~599
- 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
- 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
- 薛良清. 层序地层分析在裂谷盆地油气勘探中的应用[J]. 石油学报,2000,21(5):7~11
- 蔡希源,辛仁臣. 松辽拗陷深水湖盆层序构成模式对岩性圈闭分布的控制[J]. 石油学报,2004,25(5):6~10
- 沈守文,彭大均,颜其彬,等. 层序地层学预测隐蔽油气藏的原理与方法[J]. 地球学报,2000,21(3):300~305
- 冯有良. 断陷盆地层序格架中岩性地层油气藏分布特征[J]. 石油学报,2005,26(4):17~22
- 纪有亮,张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京:石油工业出版社,1996. 1~75
- 潘元林,张善文,肖焕钦,等. 济阳断陷盆地隐蔽油气藏勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2003. 41~45
- 赵澄林. 沉积学原理[M]. 北京:石油工业出版社,2003. 18~19
- 项华,徐长贵. 渤海海域古近系隐蔽油气藏层序地层学特征

- [J]. 石油学报,2006,27(2):11~15
- 吴因业,顾家裕. 油气层序地层学[M]. 北京:石油工业出版社,2002. 6~14
- 张德武,冯有良,邱以钢,等. 东营凹陷下第三系层序地层研究与隐蔽油气藏预测[J]. 沉积学报,2004,22(1):67~72
- Miall A D. Eustatic sea level changes interpreted from seismic stratigraphy;a critique of the methodology with particular reference to the North Sea Jurassic record[J]. AAPG Bulletin,1986,70:131~137
- 邓宏文,王红亮,王居峰,等. 层序地层构成与层序控砂、控藏的自相似特征—以三角洲- 浊积扇体系为例[J]. 石油与天然气地质,2004,25(5):491~495
- Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. 地质学前沿,2000,7(2):321~350
- Aitken J F,Howell J A. High-resolution sequence stratigraphy:innovation, application and future prospects[In]. In:Howell J A, Aitken J F. High resolution sequence stratigraphy, innovations and application[C]. Geological Society Special publication,1996. 1~9
- 邓宏文,王红亮,祝永军,等. 高分辨率层序地层学—原理及应用[M]. 北京:地质出版社,2002. 7~15
- 张善文,王英民,李群. 应用坡折带理论寻找隐蔽油气藏[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):5~7
- 李桂范,李建平,王根照,等. 渤中拗陷青东凹陷古近系沙三下亚段构造- 古地貌对沉积的控制[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):425~430
- 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
- 朱筱敏. 层序地层学[M]. 东营:中国石油大学出版社,2006. 106~118
- 操应长. 断陷湖盆层序地层学[M]. 北京:地质出版社,2005. 59~6
- 谢锐杰,漆家福,王永诗,等. 渤海湾盆地东营凹陷北部地区新生代构造演化特征研究[J]. 石油实验地质,2004,26(5):427~431
- 王世虎,夏斌,陈根文,等. 济阳拗陷构造特征及形成机制讨论[J]. 大地构造与成矿学,2004,28(4):428~434
- 陈书平,戴俊生,李理. 惠民- 东营盆地构造特征及控油作用[J]. 石油与天然气地质,1999,20(4):344~348
- 易士威. 断陷盆地岩性地层油藏分布特征[J]. 石油学报,2005,26(1):38~41
- 张永刚,许卫平,王国力. 中国东部陆相断陷盆地油气成藏组合体[M]. 北京:地质出版社,2006. 192~198
- 刘晖,操应长,姜在兴,等. 渤海湾盆地东营凹陷沙河街组四段膏盐层及地层压力分布特征[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):287
- 马丽娟,郑和荣. 准噶尔盆地侏罗系储层含油性相关岩石物理参数[J]. 石油与天然气地质,2006,27(5):614~619
- 操应长,姜在兴. 断陷湖盆层序界面的成因类型及其与油气藏的关系[J]. 石油大学学报(自然科学版),2004,28(4):1~6

(编辑 张亚雄)