

文章编号: 1000-0550(2007) 06-0915-08

# 东营凹陷古近系成岩层序特征与储集差异性分析<sup>1</sup>

邱桂强

(中国石化胜利油田地质科学研究院 山东东营 257015)

**摘要** 根据对东营凹陷油气储层成岩规律的分析,结合层序地层单元的分布构架,发现成岩演化过程所决定的成岩相特征与层序地层分布有密切相关性。阐述了在层序界面附近和层序体内部成岩作用发生的一般规律,认识到油气储层的储集性受成岩相和成岩层序控制。认为东营凹陷古近系近期勘探所取得的一系列成果,与成岩作用的差异性有关。将储层储集特征和成岩层序特征有机结合,合理地解释了凹陷内油气富集规律。说明该区油气勘探工作必须有的放矢,科学布局,循序追踪,才能获得最佳勘探效果。

**关键词** 东营凹陷 古近系 成岩相 成岩层序 储集性 差异性

**作者简介** 邱桂强 男 1966 年出生 教授级高级工程师 博士 沉积学 E-mail dchgq@sbf.com

**中图分类号** P588.2 P539.2 文献标识码 A

## 1 引言

研究油气储层成岩作用的一般方法是从沉积物埋藏史入手,结合埋藏过程中地下温、压条件的变化和有机质热演化程度的高低,对成岩事件发生的时间、深度、类型、作用机制等进行详细剖析,并划分成岩序列<sup>[1]</sup>。近年来,随着层序地层学的广泛推广应用,发现不同层序地层单元之间、层序界面与层序体内部,都表现出各自的成岩规律性。层序发育特征对成岩作用的影响和控制作用越来越明显<sup>[2]</sup>。成岩层序(不同地层单元所表现出的不同成岩规律)新概念被广泛采用<sup>[3]</sup>。由于油气储层的储集性既与成岩作用密切相关,又同时受控于层序地层控制下的沉积体类型,因此研究不同层序单元内不同沉积体类型所体现出的成岩特征对确定储层物性条件,指导勘探部署具有现实意义。

勘探实践已经证实,针对东营凹陷不同的地层单元,勘探效果存在明显的差异性,如胜坨沙二—沙三中层序与沙四上层序比较,前者勘探效果明显好于后者。深层勘探中,有时在相同的埋深条件下,或处于同一个层序单元的不同部位,由于其成岩差异性,表现出明显不同的勘探试油效果。如东营北带丰深 1 井和丰 8 井比较,前者获得高产工业油流;后者仅获得少量天然气。

近年来,成岩层序与油气勘探的关系越来越受到

关注,不少文献探讨了层序地层学与成岩(造岩)矿物学的关系<sup>[3,4]</sup>。本文以东营凹陷油气勘探实践为例,结合近期勘探热点—深层低渗透突破个例,阐述其成岩规律性与层序地层的关系。

## 2 层序地层单元与成岩作用

沉积地层充填构型是层序地层研究的主要对象,其主要的信息来源是受海平面变化、构造沉降、可容纳空间变化和古气候等因素控制下的沉积特征、生物特征和成岩演化特征,因此,成岩特征是层序地层研究的一个重要方面。同时,它比沉积分析和生物分析更具优势的一面在于它不仅记录了沉积物沉积时介质的物理、化学和生物条件,而且还记录了在海平面变化过程中介质物理化学条件及其变化过程。

### 2.1 层序界面与成岩作用

Vail 和 Todd(1981)认为全球海平面升降变化是控制地层分布模式和岩相分布的主要控制因素。Tucker(1993)曾对层序地层与成岩作用的关系进行了总结,并明确指出碳酸盐岩沉积物的成岩作用可在相对海平面变化及沉积体系域这一框架内加以论述,认为在不同的海平面旋回时期及不同的气候条件下,出现的不同成岩作用类型、特征及其演化序列等,无不与海平面的相对升降密切相关。因此研究碳酸盐岩成岩作用与层序地层间的相互关系,对正确识别层序边界及其规模、确定沉积体系域具有重要意义。

<sup>1</sup> 国家十五科技攻关项目资助

收稿日期: 2007-02-07 收修改稿日期: 2007-06-06

层序界面是控制成岩作用的一个重要因素,不同级别、不同类型的层序界面具有不同的成岩作用过程和特点,构成区域性的成岩标志。一个发育完好的层序通常由高位体系域、海侵体系域、陆架边缘体系域或低位体系域构成。在海平面变化过程中他们有着截然不同的成岩路径,并形成不同的成岩序列。层序界面是分割不同层序的分界面,包括 iv 型层序界面和 ㊦型层序界面两种。iv 型层序界面常表现为陆架坡折之上的陆架暴露,伴随 iv 型界面的古暴露层通常有强烈的淡水淋滤、溶解、岩溶崩塌及风化残余沉积存在。碳酸盐成岩与层序研究表明:由海平面大幅度下降形成的 iv 型层序界面附近成岩作用较强烈,其原因为陆棚暴露于地表并且遭受大气水不均匀的下渗淋滤,并引起孔隙水蒸发浓缩而致,这有利于白云岩的发育。㊦型层序界面一般仅在沉积滨线坡折向陆一方有明显的陆上暴露,而在向海一方暴露不明显,因而该界面附近的表生成岩作用弱于 iv 型界面。因此在识别 ㊦型层序界面时就困难得多,除了准层序组叠加方式的转换面之外,㊦型层序界面也是一个明显的成岩作用转换面,界面附近具有明显的溶蚀作用,形成钙结壳、豆石等,甚至发生古土壤化;界面之下以准同生、晚期叠加成岩作用为特征,而界面之上以准同生早期成岩作用为主,晚期成岩作用不明显。其次界

面附近常见强烈的溶解晶洞和裂缝,高水位体系域顶部常见淡水或海水的渗流胶结作用。一般来说,iv 型层序界面比较容易识别,往往伴有古陆上暴露形成古风化壳或古暴露层。而 ㊦型层序界面通常不伴有陆上暴露的古风化壳,但从成岩序列和成岩特性上可以识别。

前人已对东营凹陷层序地层特征进行了详细划分和论述<sup>[5]</sup>。综观各项成果,普遍确认了沙四段底界面(T7)、沙四段与沙三段分界(T6)及沙二下亚段顶界(T2)三个二级层序界面,是全凹陷范围的不整合面。此类界面附近发育淋滤、溶解为主的成岩作用,以塑性组分溶蚀成岩亚相为特征。因此,该级别的层序界面通常是流体运移的通道,影响界面上下低水位体系域和高水位体系域内储层的成岩相展布,从而制约其储集性能,控制盆地的主要油气储量分布。

三级层序界面往往在湖盆边缘为不整合面,在湖盆内部为连续沉积界面。在凹陷内部,界面之下发育铁碳酸盐胶结成岩亚相和塑性组分溶蚀成岩亚相(图 1),前者可以为该界面之下的地层不整合油气藏提供遮挡条件。凹陷的边缘,界面之上沿上超尖灭带主要发育高岭石充填及石英次生加大成岩亚相,对构造坡折带而言,高岭石充填成岩亚相对提高断层的封闭性起着十分重要的作用。在湖盆内连续沉积的三

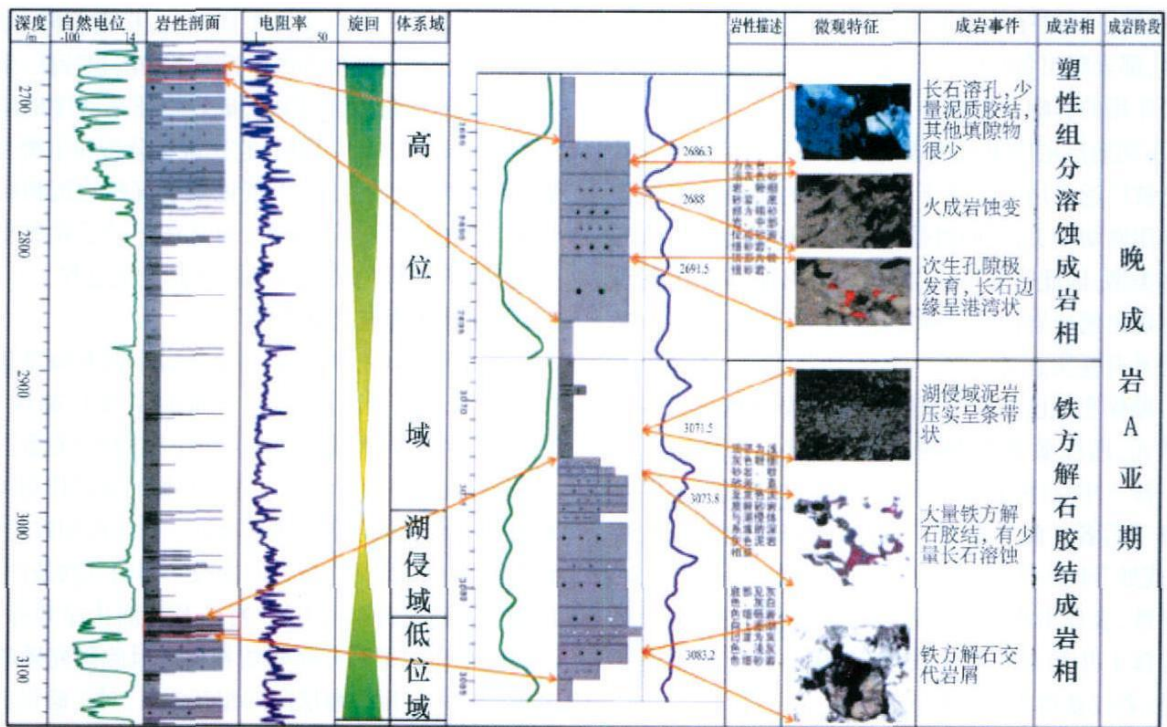


图 1 史 100 井沙三—沙二下层序顶界面成岩特征

Fig 1 Diagenetic feature at the top-boundary of Es<sub>3</sub>-Es<sub>2</sub><sup>L</sup> sequence in Well Shishen 100



级层序界面之上,主要在上覆层序的低水位体系域储集层底部发育铁碳酸盐胶结成岩亚相(图 2)。

三级层序内部的体系域界面及四级高频层序界面一般为准层序组及准层序界面,在凹陷的边缘表现

为间断面,在湖盆内部为连续沉积界面。在凹陷内部,界面附近以铁碳酸盐胶结成岩亚相为主,伴随有高岭石充填成岩相(图 1、2、3),而向凹陷边缘物源的方向,该界面一般表现为塑性组分溶蚀成岩亚相。

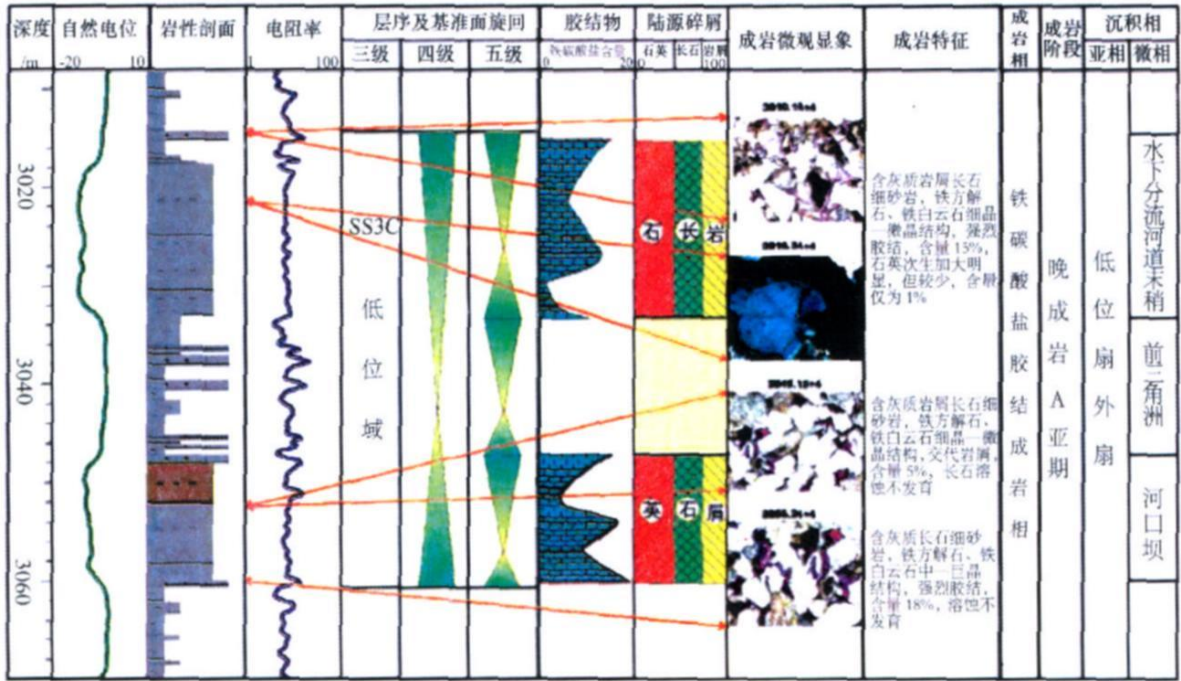


图 2 史 100 井沙三—沙二下层序底界面成岩特征

Fig 2 Diagenetic feature at the bottom-boundary of Es<sub>3</sub>-Es<sub>2</sub><sup>L</sup> in Well Shishen 100

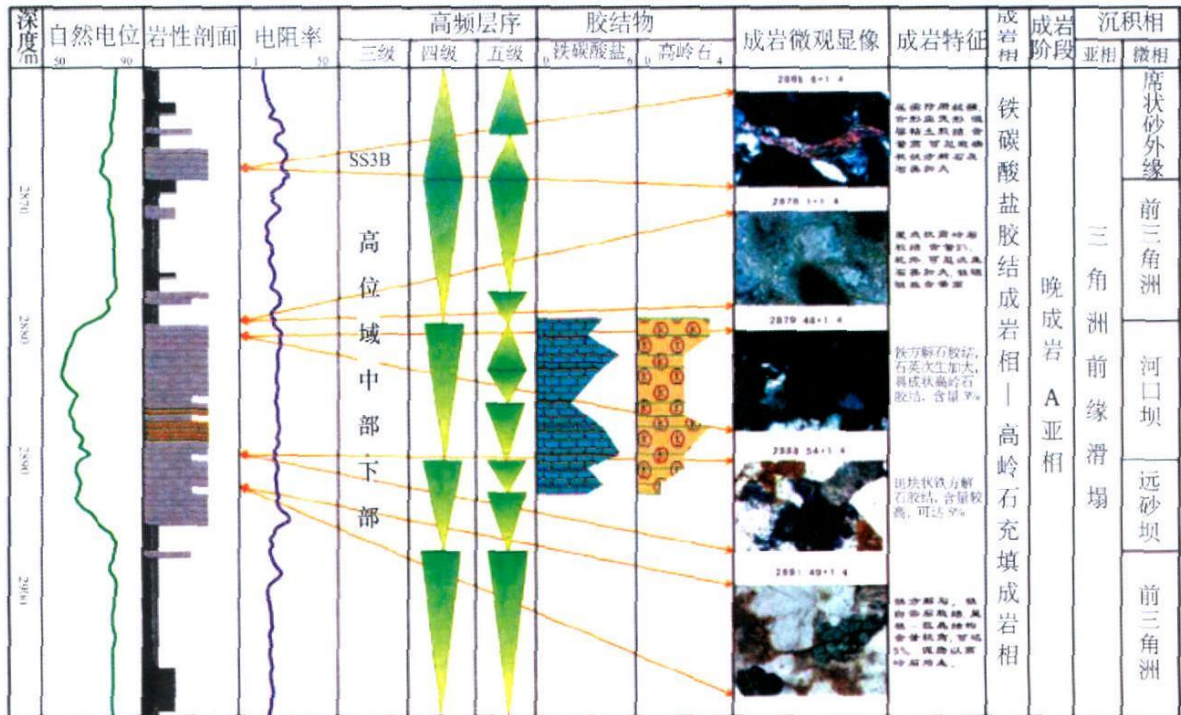


图 3 牛 48 井沙三中四级高频层序界面成岩作用特征

Fig 3 Diagenetic feature at the 4-grade sequence boundary of middle Es<sub>3</sub> in Well Ni 48

综上所述,从凹陷边缘到盆内,尽管不同级别层序界面附近的成岩作用有所差别,但在盆内,层序界面均与铁碳酸盐的胶结有关,表明碳酸盐矿物在陆相断陷盆地沉积物胶结中具有重要地位,其分布方式也代表了化学胶结活动的基本形式。根据大量的镜下观察,铁碳酸盐在六级高频层序内的分布常见双壳式、薄层式和斑点式 3 种基本的成岩碳酸盐矿物分布模式。双壳式碳酸盐岩分布在六级层序的顶底两端,这种情况一般出现在厚度较大的六级层序中;薄层式碳酸盐岩通常遍布整个六级层序,该层序内砂层的厚度通常不超过 1m;斑点式是指碳酸盐斑块较均匀的分布在整个六级层序中,垂向上分异很小。

2 2 不同层序内成岩相的空间展布特征

原始沉积成岩环境和成岩演化过程在地层中的记录即为成岩相,反映现今条件下经过一系列成岩作用后沉积物的面貌。根据层序内大量单井的分析测试资料,在层序成岩构型及成岩相控规律研究的基础上,编制了沙四上一沙二下各三级层序的成岩相平面图。

成岩亚相代表了若干种成岩作用组合中最发育的一种,对储层的储集性有直接影响。因此,从研究尺度上划分到成岩亚相较为合理。

2 2 1 沙四上层序 (ES<sub>4</sub><sup>上</sup>)

沙四上层序成岩亚相具有南北分异之势(图 4),南部靠凹陷边缘发育以蒙脱石为特征的混层粘土充填成岩亚相,扇三角洲前缘发育碳酸盐胶结成岩亚相,沿水道发育有溶蚀成岩亚相。北部发育多种成岩

亚相类型,以石英次生加大及塑性组分溶蚀成岩亚相为主,在靠近利津洼陷和民丰洼陷的扇三角洲前缘或水下扇的前缘远端发育碳酸盐胶结成岩亚相。沿断裂发育有沥青质胶结成岩亚相。中央隆起带则发育硬石膏充填成岩亚相。

2 2 2 沙三下层序 (ES<sub>3</sub><sup>下</sup>)

沙三下层序成岩亚相分布具有如下规律(图 5)。凹陷南部表现为缓坡型层序成岩相类型,主要发育高岭石充填及铁碳酸盐胶结成岩亚相,前者分布南部边缘,呈带状从西向东展布;后者则呈裙边状分布于靠盆内一侧。两相带之间分布一些孤立的溶蚀成岩亚相。北部则发育陡坡断裂坡折型层序成岩相组合类型,从北向南,具三分性,依次为石英次生加大、塑性组分溶蚀及铁碳酸盐胶结成岩亚相,形态表现为指状—裙边状,其中塑性组分溶蚀亚相的分布范围较宽,对改善陡坡带粗粒沉积物的物性起着关键性作用。中央隆起带分布孤立的条带状硬石膏胶结成岩亚相,与沙四上层序相比,分布范围大幅缩小。整体来看,沙三下层序的成岩特征继承了沙四上层序的组分特点。

2 2 3 沙三中层序 (ES<sub>3</sub><sup>中</sup>)

该层序内成岩亚相的形态特征与前两个层序迥然不同,亦呈三分性,分别为西南部金家的缓坡型、东南部的沉积坡折型和北部的陡坡断裂坡折型层序成岩相组合类型,以东南部的沉积坡折型为主(图 6)。东南部的沉积坡折型层序成岩相构型在本层序中占绝对优势,几乎发育全部类型的成岩亚相。三角洲

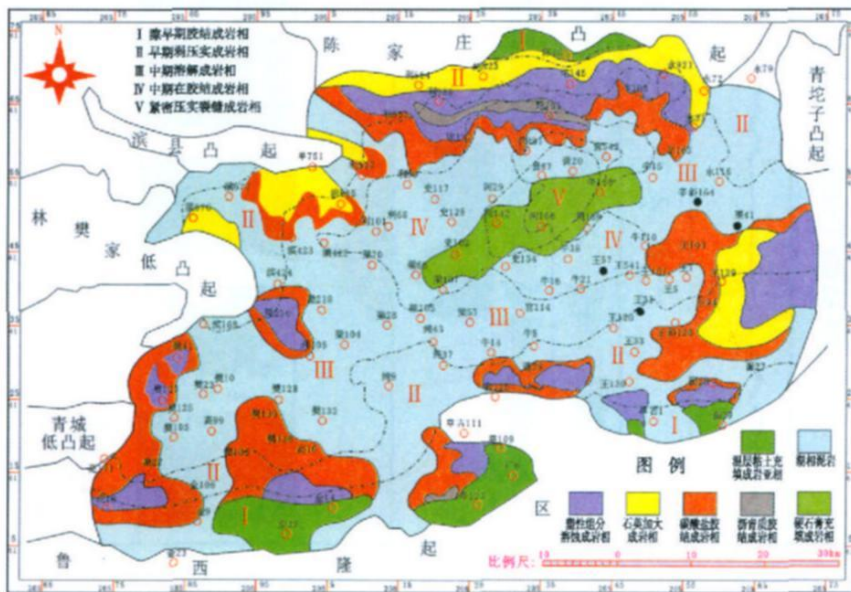


图 4 东营凹陷沙四上层序成岩相



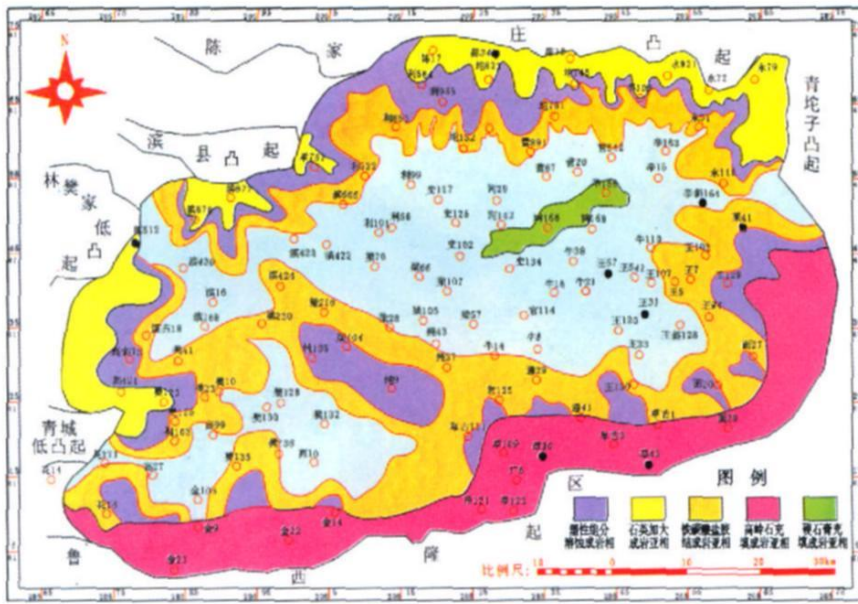


图 5 东营凹陷沙三下层序成岩相图

Fig 5 Diagenetic facies of  $ES_3^L$  Sequence, Dongying Sag

平原以高岭石充填及混层粘土充填成岩亚相为主,前者发育于平原的河道中,后者分布于沼泽及洼地;三角洲前缘主体以塑性组分溶蚀及石英次生加大成岩亚相为主,前者的展布受控于同生断裂的分布;铁碳酸盐胶结成岩亚相则在三角洲前缘远端及前三角洲占据统治地位。北部仍以陡坡断裂坡折型为主,特征与沙三下层序类似,但分布范围大幅缩小,并且盆缘处高岭石充填成岩亚相分布范围有所扩大,表明酸性环境对其影响增大。

### 2.2.4 沙三上—沙二下层序 ( $ES_3^+ - ES_2^F$ )

该层序内成岩亚相的展布呈席状,南北连为一体,总体上表现了沉积坡折型的层序成岩相组合类型(图 7, 8),几乎发育了所有类型的成岩亚相,但在三角洲前缘远端碳酸盐胶结成岩亚相取代铁碳酸盐成岩亚相。三角洲平原的沼泽及洼地发育混层粘土充填成岩亚相,河道则以高岭石充填为主。石英次生加大及塑性组分溶蚀成岩亚相分布于水下分流河道,在间湾处则发育碳酸盐胶结成岩亚相。

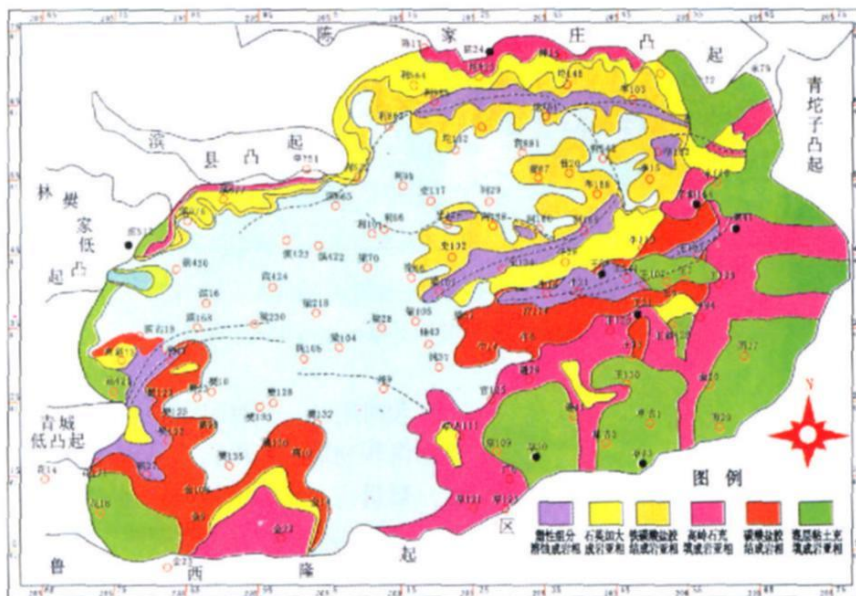


图 6 东营凹陷沙三中层序成岩相图

Fig 6 Diagenetic facies of  $ES_3^M$  Sequence, Dongying Sag

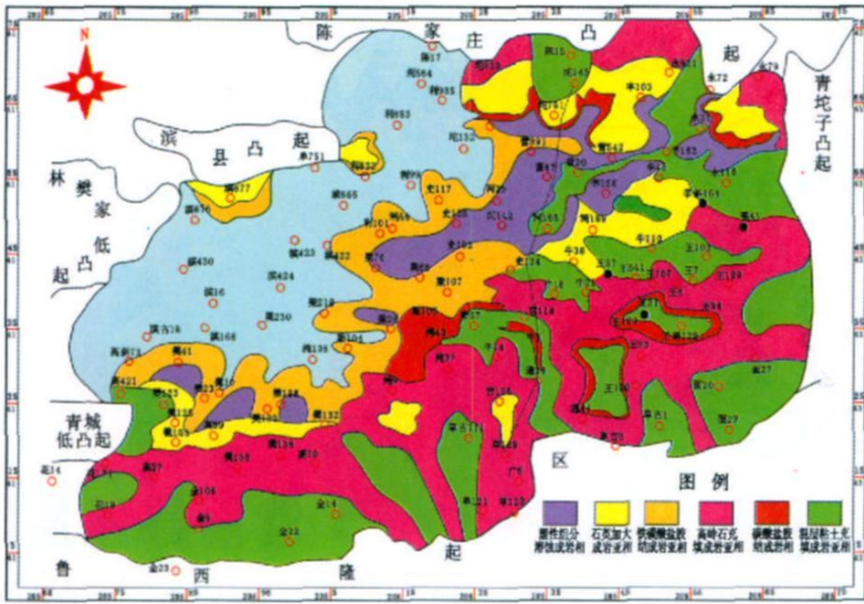


图 7 东营凹陷沙三上亚段成岩相图

Fig 7 Diagenetic facies of ES<sub>3</sub><sup>U</sup> Sequence in Dongying Sag

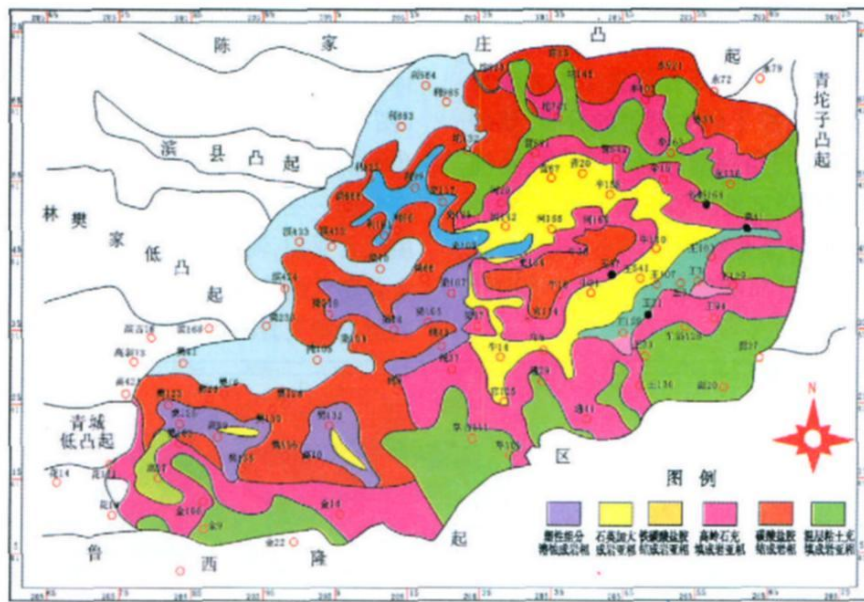


图 8 东营凹陷沙二下亚段成岩相图

Fig 8 Diagenetic facies of ES<sub>2</sub><sup>L</sup> Sequence in Dongying Sag

### 3 储集差异性分析

成岩层序特征的不同形成了凹陷内储集体物性条件的巨大差异。实际上,相同地质条件下,勘探试油效果的不同往往取决于成岩差异性。

层序界面附近有利于形成油气藏,尤以 iv 型层序界面最为突出。这是因为大部分层序界面体现着沉

积时期的一个时间间隔,在这个时间段内,没有新的沉积物形成。相反,气候的反复交错变化对上覆沉积层进行充分改造,大气淡水的淋滤作用、溶解作用、岩溶崩塌作用以及风化剥蚀作用相互交错进行,层序界面附近的岩层中有时会留下大量的溶蚀孔隙、裂缝,甚至可能造成大面积的白云岩化,形成结晶微孔,对后期储层的形成十分有利。但有时风化剥蚀物的大

量残留也会造成层序界面附近沉积物孔隙的填堵。当进入下一个沉积旋回并再次接受沉积时,层序界面之上的岩性可能会对层序界面之下的、经气候改造形成的孔隙型岩体产生影响。泥岩覆盖能够大大降低层序界面之下的岩石孔隙率;结晶岩盐或许对层序界面之下的岩石孔隙率起到保护作用;而再次沉积碎屑物质则可能造成上下地层物性条件的非均质性。

东营凹陷发现的许多地层不整合油气藏与二级层序界面附近发育的高孔渗带(溶蚀成岩现象)有关(图 9)。这些含油气区块有一个共同特征,即储集体自身以次生溶蚀孔、洞作为油气的主要储集空间,而圈闭或遮挡条件均由不整合面(层序界面)附近的的两套非均质岩性体组成。统计分析发现,碳酸盐胶结作用对层序界面附近地层不整合油气藏的形成提供了二个有利条件和一个不利因素。即有利于在热演化阶段有机酸沿不整合面进入碳酸盐胶结层形成溶蚀孔隙,有利于在大气淡水淋滤作用下发生白云岩化而形成能够储集油气的微孔隙,不利于原始砂质沉积物中原生孔隙的保留。

层序体内部成岩相特征显示,储层储集性的差异性与成岩作用发生的最终状态密切相关。沙四上层

序( $ES_4^+$ )的成岩相特征造成了东营凹陷南北区域含油气分布规律的复杂性,南部与扇三角洲前缘有关的分流河道相砂岩发现了多个油气藏,控制储量逾千万吨。而与前三三角洲和盆缘有关的胶结细砂岩、含混层黏土型砂岩则含油性偏差,油气藏规模和数量明显不及前者。北部多见碳酸盐胶结成岩亚相,能否形成油气藏则主要取决于深部溶蚀带的存在,如近期获得高产的丰深 1 井,储集空间主要以溶蚀孔、缝为主。受沙三下层序( $ES_3^+$ )成岩相的控制作用,南部缓坡带多见自生高岭石充填的、物性发育条件相对较好的储集层,以滩砂、坝砂为主形成的油藏遍布整个斜坡带,也是近期勘探的主要突破点。而向北侧延伸,深度加大,储层物性逐渐变差,同类油藏的产能也逐渐趋低。对于沙三中层序( $ES_3^+$ ),有利储集的自生高岭石充填带向东营三角洲平原范围过渡,因此在东辛地区取得了较好的勘探效果。同时,东营中央隆起带的有利成岩相发育部位也取得了较好勘探效果。在东营北带胜坨—永安镇一线,沙三上—沙二下层序( $ES_3^+$ — $ES_2^+$ )所处的埋藏深度对结晶高岭石成岩相发育极为有利,因此这一地区针对该层系的探井成功率保持在较高水平。

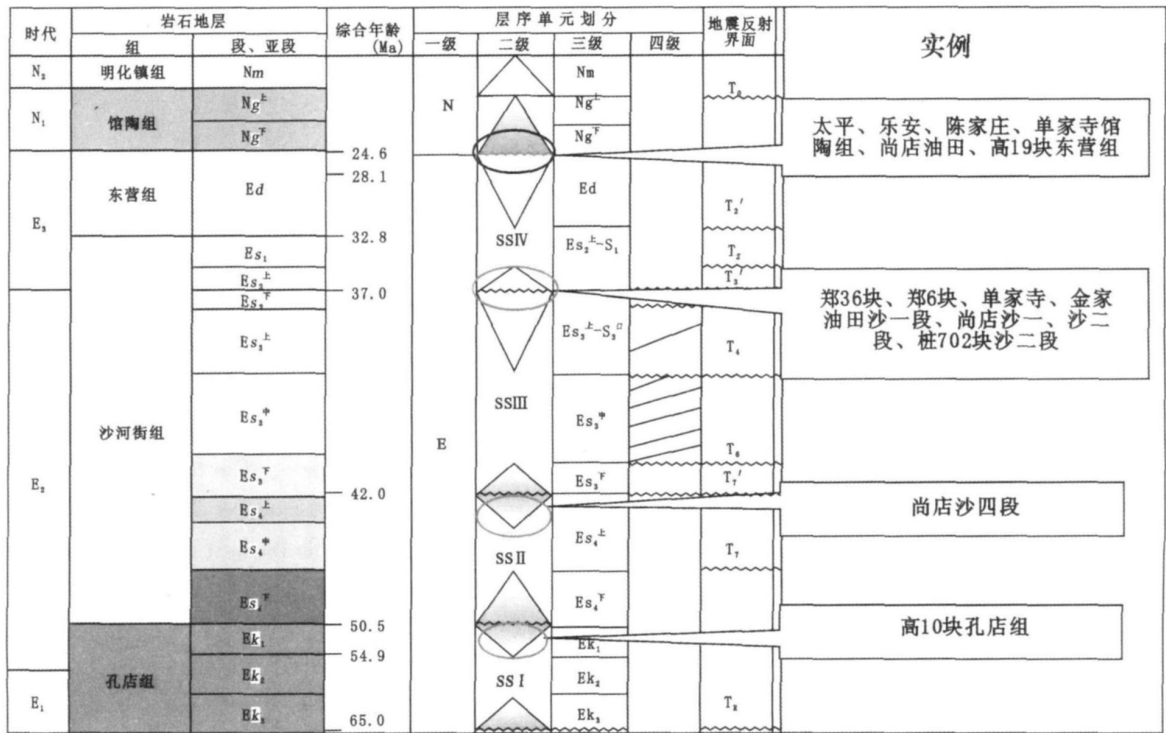


图 9 东营凹陷二级层序界面附近发现的油藏

Fig 9 Some of oil-reservoirs which were found in near of 2-grade sequence boundary in Dongying Sag



## 4 勘探意义

研究油气储层的成岩相和成岩层序特征, 能够从本质上认识储层储集性发育的规律性和控制因素, 对于埋深大于 2 000 m 以下的地层或岩性油气藏, 这一规律表现的更为明显。通过对东营凹陷古近系油气储层微观特征的分析发现, 储层物性非均质性与成岩作用的差异性关系密切, 强胶结带往往形成致密储层, 这类储层只有在次生溶孔发育时对油气富集才有价值。混层黏土充填相往往使储层先天物性条件受到破坏, 或致使储层具备多种敏感性而影响勘探试油效果。只有填隙物成分较少, 不足以充满孔隙, 或填充成分结晶化, 形成晶间微孔隙时, 才能够有效储集油气。成岩相和成岩层控因素所决定的复杂油气储集规律, 使得针对东营凹陷古近系的油气勘探工作必须有的放矢, 科学布局, 循序追踪, 才能获得最佳勘探效果。

### 参考文献 (References)

1 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学. 北京: 石油工业出版社, 2000. 34-36

- [Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrology. Beijing Petroleum Industry Press 2000. 34-36]
- 2 陆永潮, 向才富, 陈平, 等. 层序地层学在碎屑岩成岩作用研究中的应用——以 YA13-1 气田古近系为例. 石油实验地质, 1999, 21(2): 100-113 [Lu Yongchao, Xiang Caifu, Chen Ping, et al. Application of sequence stratigraphy to the study of diagenesis of siliclastic rock. Take the Lower Tertiary of YA13-1 gas field as an example. Petroleum Geology & Experiment, 1999, 21(2): 100-113]
- 3 曾允孚, 覃建雄. 沉积学发展现状与前瞻. 成都理工学院学报, 1999, 26(1): 1-7 [Zeng Yunfu, Qin Jianxiong. Development and future of sedimentology. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(1): 1-7]
- 4 陈方鸿, 谢庆宾, 王贵文. 碳酸盐岩成岩作用与层序地层学关系研究——以鄂尔多斯盆地寒武系为例. 岩相古地理, 1999, 19(1): 22-26 [Chen Fanghong, Xie Qingbin, Wang Guiwen. Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy. An example from the Cambrian strata in the Ordos Basin. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1999, 19(1): 22-26]
- 5 冯有良. 东营凹陷古近系层序地层格架及盆地充填模式. 地球科学, 1999, 24(6): 635-642 [Feng Youliang. Lower Tertiary sequence stratigraphic framework and basin filling model in Dongying Depression. Earth Science, 1999, 24(6): 635-642]

## Analysis on Lower Tertiary Diagenetic Sequence Characteristics and Their Differences of Reservoirs in Dongying Sag

QIU Gu-qiang

(Geological Science Research Institute of Shengli Oilfield Company SINOPEC, Dongying Shandong 257015)

**Abstract** According to a research on oil-gas reservoir diagenetic characteristic and spreading block frame of sequence stratigraphy the high-degree association was found between diagenetic facies characteristic which was decided by the process of diagenetic evolution and spreading of sequence stratigraphy. The ordinary rule of diagenesis near the boundaries and in the internal of a sequence was introduced in this article. It can be distinguished that the reservoir characteristic was controlled by diagenetic facies and diagenetic sequence. It was thought that some of success of exploration in Lower Tertiary in Dongying Sag was connected with differences of diagenesis. The reasons of oil-gas richness was reasonably explained by the study on reservoir characteristic and diagenetic sequence. The results are that oil exploration must provide with specific aim, which was discovered by scientific way. So the best effectiveness would be acquired for exploration.

**Key words** Dongying sag, Lower Tertiary, diagenetic facies, diagenetic sequence, reservoir characteristic, differences