

东营凹陷泥页岩沉积相分析

段悦

胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东 东营

收稿日期: 2023年2月17日; 录用日期: 2023年4月14日; 发布日期: 2023年4月23日

摘要

综合运用岩心、薄片和X-射线衍射全岩矿物分析等资料, 在前人对东营凹陷沙四上-沙三下亚段泥页岩矿物组成成因认识的基础上, 根据泥页岩矿物组的来源和沉积作用, 将东营凹陷泥页岩沉积相分为陆源相、混源相和湖源相。根据岩相和泥页岩沉积构造特点, 进一步将陆源相划分为层状灰质泥岩亚相和块状灰质泥岩亚相, 混源相划分为纹层状混源亚相和层状混源亚相, 湖源相划分为膏盐亚相和碳酸盐亚相。东营凹陷沙四上-沙三下亚段泥页岩沉积相: 从下至上依次发育湖源膏盐亚相-湖源碳酸盐亚相-纹层状混源亚相-层状混源亚相-纹层状混源亚相-层状混源亚相-陆源层状灰质泥岩亚相-陆源块状灰质泥岩亚相; 从东营凹陷南斜坡-东营凹陷北部陡坡带依次发育陆源块状灰质泥岩亚相-陆源层状灰质泥岩亚相-纹层状混源亚相-碳酸盐亚相-膏盐亚相-纹层状混源亚相-层状混源亚相-层状灰质泥岩亚相-块状灰质泥岩亚相。

关键词

泥页岩, 沉积相, 亚相, 分布规律, 东营凹陷

Analysis on Shale Sedimentary Facies in Dongying Depression

Yue Duan

Exploration and Development Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying Shandong

Received: Feb. 17th, 2023; accepted: Apr. 14th, 2023; published: Apr. 23rd, 2023

Abstract

Based on the data of core, thin section identification and X-ray diffraction, and on the basis of the previous understanding of the origin of shale components in upper Es4-lower Es3 in Dongying

depression, according to the source and of sedimentary effect shale component, the sedimentary facies of shale in Dongying depression are divided into land source facies, mixed source facies and lacustrine source facies. According to the characteristics of sedimentary process, lithofacies and shale sedimentary structure, the land-source facies are further divided into layered calcareous mudstone subfacies and massive calcareous mudstone subfacies. The mixed source facies can be divided into laminated mixed subfacies and layered mixed source subfacies, while the lacustrine source facies can be divided into gypsum subfacies and carbonate rock subfacies. Shale sedimentary facies in upper Es4-lower Es3 in Dongying depression: lacustrine source gypsum subfacies-lacustrine source carbonate rock subfacies-laminated mixed facies-layered mixed source subfacies-laminated mixed source subfacies-layered mixed source subfacies-land source layered calcareous mudstone subfacies-land source massive calcareous mudstone subfacies from the bottom to the top; From the south slope zone to the northern steep slope zone of Dongying depression: land source massive calcareous mudstone subfacies-land source layered calcareous mudstone subfacies-laminated mixed facies-carbonate rock subfacies-Gypsum subfacies-laminated mixed source subfacies-layered mixed source subfacies-land source layered calcareous mudstone subfacies-land source massive calcareous mudstone subfacies.

Keywords

Shale, Sedimentary Facies, Subfacies, Distribution Rule, Dongying Depression

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

前人对泥页岩沉积相研究较少, 主要按水深分为滨浅湖、半深湖、深湖相[1]-[8], 仅有张顺等通过对东营凹陷西部沙三下亚段泥页岩研究, 将泥页岩划分为 5 种沉积微相[9]。随着济阳拗陷页岩油气勘探开发研究进展, 原来的泥页岩沉积相划分方法不能适应目前济阳拗陷页岩油气勘探开发研究的发展, 迫切需要对泥页岩沉积相进行深入研究。本文通过东营凹陷牛页 1、樊页 1、利页 1 井岩心和分析测试资料, 根据泥页岩矿物组分来源、沉积作用、岩相、沉积构造特点等因素对东营凹陷沙四上 - 沙三下亚段泥页岩沉积相进行划分, 总结沉积相、沉积亚相分布规律, 以期对东营凹陷页岩油勘探有指导作用。

2. 地质概况

东营凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷的南部(图 1), 总面积五千多平方公里[10] [11], 是一个富油凹陷。东营凹陷泥页岩分布面积广, 沉积厚度可达千米, 是进行泥页岩沉积研究的理想场所[12] [13]。

3. 泥页岩矿物组分成因

东营凹陷沙四上 - 沙三下亚段三口系统取心井 3175 块泥页岩样品分析测试结果表明, 泥页岩矿物以碳酸盐、粘土矿物和石英为主[14] [15] [16], 平均约 92.28%, 明确三者成因对于东营凹陷泥页岩沉积相划分与研究具有重要意义。

根据现代湖泊沉积研究结果, 生物和微生物可诱导碳酸盐的沉淀和形成碳酸盐是通过生物化学作用形成的[17] [18]。东营凹陷的碳酸盐来自生物或经过生物化学作用形成的[19], 是湖泊自生的。

通过东营凹陷三口系统取心井 3330 块薄片观察, 东营凹陷石英和粘土矿物的成因包括陆源成因和自生成因, 以陆源机械搬运沉积成因为主, 粘土矿物的含量与石英的含量成正比[19]。

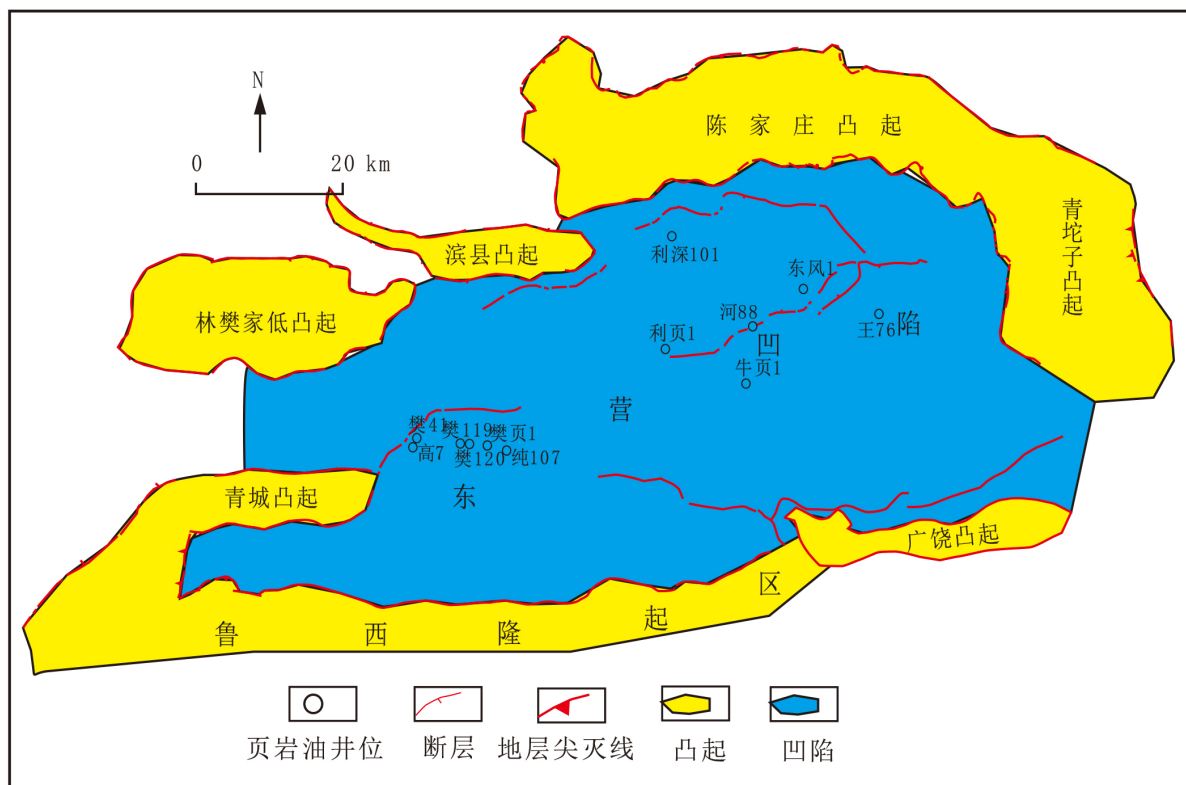


Figure 1. Location of Dongying depression

图 1. 东营凹陷区域位置图

4. 沉积相类型及特征

4.1. 沉积相类型

东营凹陷泥页岩沉积过程是机械沉积、生物化学沉积混合作用的过程, 机械作用与生物化学作用达到平衡时, 混合岩相(泥质灰岩/灰质泥岩频繁互层)最为发育, 气候干旱水体浓缩阶段以生物化学作用形成的碳酸盐类为主, 气候湿润, 水体大量注入, 以粘土矿物沉积为主。研究区以物质来源和沉积作用为依据划分为陆源相、混源相和湖源相[20]。

根据岩相和泥页岩沉积构造特点, 进一步将陆源相划分为层状灰质泥岩亚相和块状灰质泥岩亚相、混源相划分为纹层状混源亚相和层状混源亚相、湖源相划分为膏盐亚相和碳酸盐亚相(图 2)。

4.2. 沉积相基本特征

4.2.1. 陆源相

陆源相是潮湿气候下, 深水、微咸水-淡水、强还原、陆源碎屑输入强环境下, 组分主要来源于湖盆以外的陆上, 以机械沉积作用为主形成的泥页岩沉积相, 是陆上或浅水沉积过程的延伸和继续[21]。该沉积相由于沉积速率快, 湖水分层性差, 以层状和块状岩相为主。依据岩相有序组合和泥页岩沉积构造特点。进一步划分为层状灰质泥岩亚相和块状灰质泥岩亚相(图 3)。

① 层状灰质泥岩亚相

层状灰质泥岩亚相是潮湿气候，深水、微咸水、强还原、陆源碎屑输入强，水动力强环境下的产物，主要由富有机质层状灰质泥岩组成，其沉积序列是富有机质层状灰质泥岩夹泥质灰岩薄层岩相组合。

② 块状灰质泥岩亚相

块状灰质泥岩亚相是潮湿气候，深水、淡水、强还原、陆源碎屑输入强，水动力比层状灰质泥岩亚相强的环境下的产物，主要由富有机质块状灰质泥岩组成。岩相主要为富有机质块状灰质泥岩夹泥质灰岩薄层岩相组合。

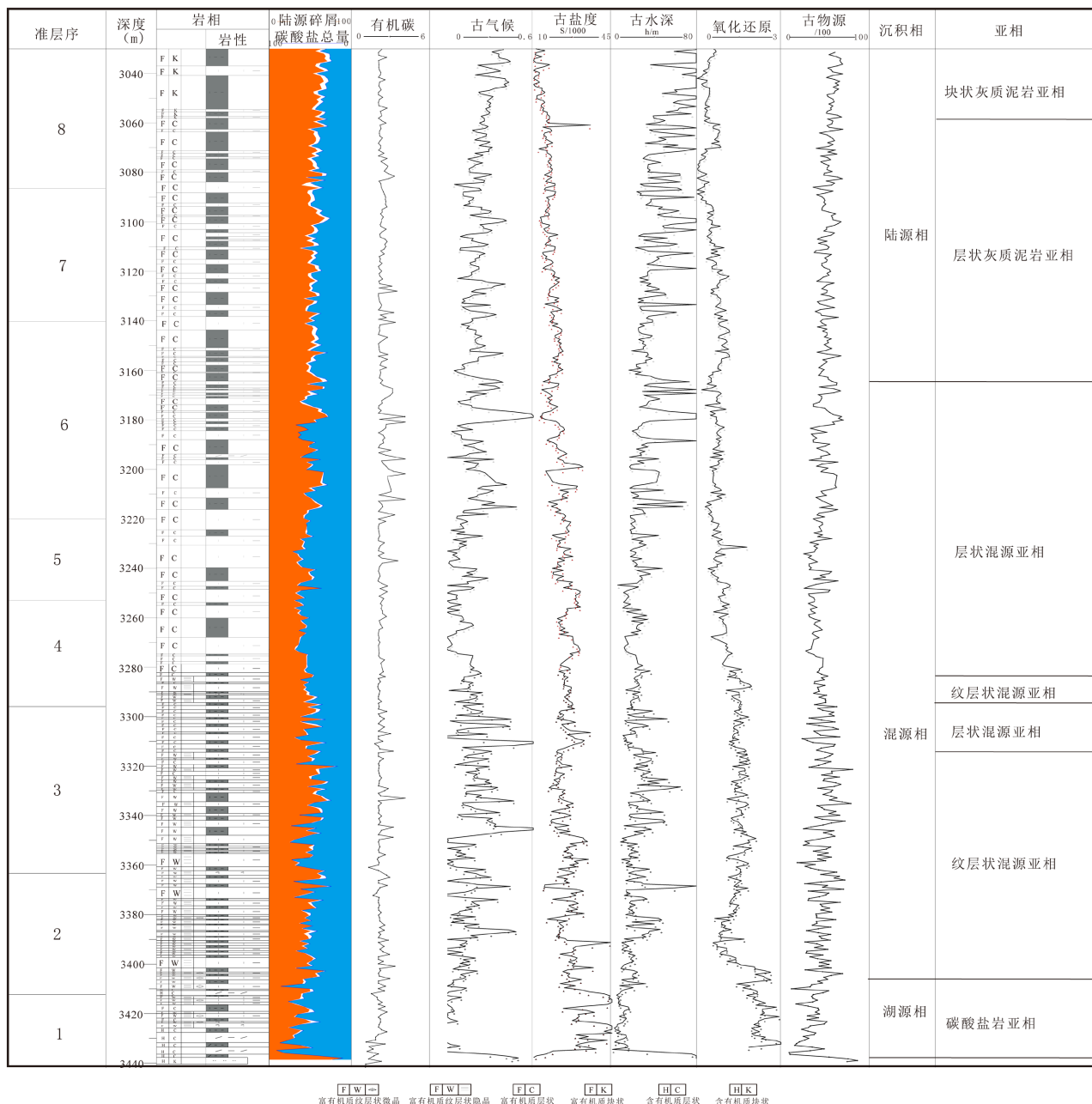


Figure 2. Shale sedimentary facies of Fanye 1 in Dongying depression
图 2. 东营凹陷樊页 1 井泥页岩沉积相

岩心	薄片	序列	亚相
		富有机质块状灰质泥岩	块状灰质泥岩亚相
		富有机质块状泥质灰岩	
		富有机质块状灰质泥岩	
		富有机质层状灰质泥岩	层状灰质泥岩亚相
		富有机质层状泥质灰岩	
		富有机质层状灰质泥岩	

Figure 3. Depositional sequence of land source facies (Fanye 1)

图 3. 陆源相沉积序列(樊页 1 井)

4.2.2. 湖源相

湖源相主要为湖盆内部以生物化学作用为主形成的产物，依据沉积作用和岩相组合划分为膏盐岩亚相和碳酸盐岩亚相两种亚相(图 4)。

岩心	薄片	序列	亚相
		含有机质层状泥质白云岩	碳酸盐岩亚相 樊页1
		富有机质层状灰质泥岩	
		富有机质纹层状隐晶泥质灰岩	
		富有机质纹层状微晶泥质灰岩	
		富有机质纹层状隐晶泥质灰岩	
		含有机质层状灰质泥岩	
		含有机质层状泥质白云岩	膏盐岩亚相 牛页1井
		石膏岩	
		含有机质层状膏质泥岩	
		石膏岩	

Figure 4. Depositional sequence of lacustrine source facies

图 4. 湖源相沉积序列

① 膏盐岩亚相

膏盐岩亚相是干旱、高盐度、浅水、弱还原、物源少的环境下化学作用的产物，主要由灰白色石膏岩和灰色膏质泥岩组成，具有高白云石、硬石膏含量和低有机质丰度的典型特征。岩心上，可见石膏“燕尾”双晶；镜下，膏盐与碳酸盐呈混合堆积，白云石相对富集，长石含量约为 8%、粘土含量可达 20%；生物碎屑含量低。

② 碳酸盐岩亚相

碳酸盐岩亚相是半干旱、高盐度、浅水、弱还原、物源少的环境下生物化学沉积作用的产物，主要由含有机质层状泥质云岩、富有机质纹层状隐晶泥质灰岩、富有机质纹层状微晶泥质灰岩组成。碳酸盐岩亚相具有低陆源碎屑含量和高碳酸盐含量的典型特征。

4.2.3. 混源相

混源相是季节性悬浮沉积的产物，碳酸盐与泥质达到平衡形成的[22]。依据沉积作用和岩相有序组合进一步划分为纹层状混源亚相和层状混源亚相(图 5)。













岩心	薄片	序列	亚相
		 富有机质层状泥质灰岩	层状混源相
		 富有机质层状灰质泥岩	
		 富有机质层状泥质灰岩	
		 富有机质纹层状隐晶泥质灰岩	纹层状混源相
		 富有机质纹层状灰质泥岩	
		 富有机质纹层状隐晶泥质灰岩	
		 富有机质纹层状灰质泥岩	
		 富有机质纹层状微晶泥质灰岩	

Figure 5. Depositional sequence of laminated mixed source facies (Fanye 1)

图 5. 纹层状混源相沉积序列(樊页 1 井)

① 纹层状混源亚相

纹层状混源相是半潮湿、半咸水、半深水、还原、陆源碎屑变化较为频繁环境下的产物。纹层状混源相陆源碎屑和碳酸盐含量相对均衡，碳酸盐组分相对较高，具有高 TOC 和高纹层发育程度的特征。

② 层状混源亚相

层状混源相是潮湿、半咸水、深水、强还原、多物源供给环境下的产物，以富有机质层状泥质灰岩和富有机质层状灰质泥岩互层为主。

陆源碎屑和碳酸盐含量相对均衡，碳酸盐和其它组分各占 50%左右，具有高 TOC 和高碳酸盐透视镜体分布的典型“双高”特征。

5. 分布规律

5.1. 纵向分布

东营凹陷沙四上-沙三下亚段为封闭咸湖-微咸湖盆环境，沙四上亚段和沙三下亚段分布对应2个气候由干旱-潮湿-干旱旋回，整体上反映了随着气候由干旱变成潮湿，水体由小变深，水体由咸变淡，物质来源增多，还原性增加的环境演化过程，物源输入变化较大，湖源相、混源相和陆源相均发育，从下至上依次发育湖源膏盐亚相-湖源碳酸盐亚相-纹层状混源亚相-层状混源亚相-层状混源亚相-陆源层状灰质泥岩亚相-陆源块状灰质泥岩亚相(图2)。

5.2. 平面分布

平面上，东营凹陷泥页岩沉积相分布受古物源、古地形控制明显，围绕水下台地呈环带状分布。陆源相主要分布砂体的前缘和侧缘，随陆源物源注入减少，陆源相发育程度降低，由盆缘至湖盆依次发育陆源块状灰质泥岩亚相和陆源层状灰质泥岩亚相，块状灰质泥岩亚相往往与粗碎屑沉积体系相邻，深湖区层状灰质泥岩亚相相对发育；湖源相主要分布在水动力相对较强的浅湖区带，其中，膏盐亚相主要分布在滨浅湖高蒸发区，碳酸盐亚相主要分布在斜坡水下台地；混源相主要发育在半深湖-深湖区域。从东营凹陷南斜坡-东营凹陷北部陡坡带依次发育陆源块状灰质泥岩亚相-陆源层状灰质泥岩亚相-纹层状混源亚相-碳酸盐亚相-膏盐亚相-层状混源亚相-层状混源亚相-陆源层状灰质泥岩亚相-陆源块状灰质泥岩亚相(图6)。

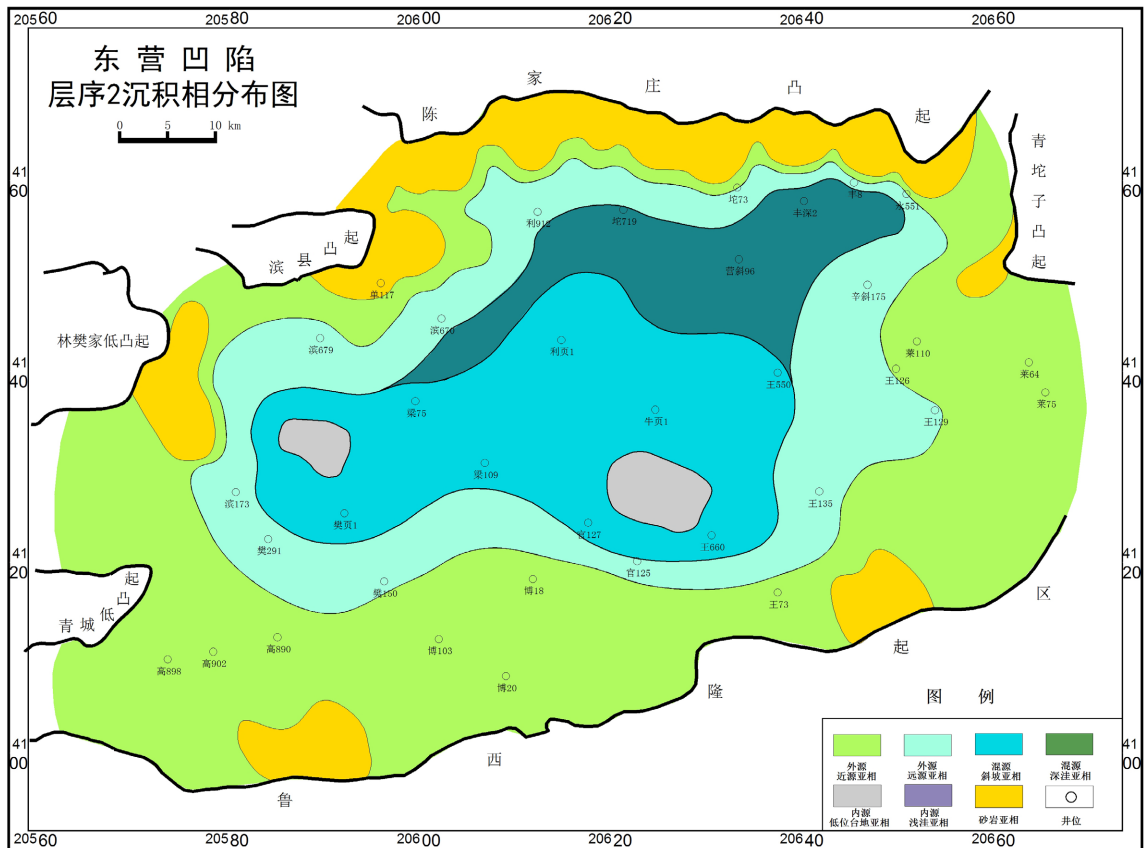


Figure 6. Sedimentary facies distribution of parasequence 2 in Dongying depression
图6. 东营凹陷准层序2沉积相分布图

6. 结论

通过研究, 得出如下结论:

1) 东营凹陷泥页岩沉积相包括陆源相、混源相和湖源相。进一步将陆源相划分为层状灰质泥岩亚相和块状灰质泥岩亚相、混源相划分为纹层状混源亚相和层状混源亚相、湖源相划分为膏盐亚相和碳酸盐亚相。

2) 纵向上从下至上依次发育湖源膏盐亚相 - 湖源碳酸盐亚相 - 纹层状混源亚相 - 层状混源相 - 纹层状混源亚相 - 层状混源亚相 - 陆源层状灰质泥岩亚相 - 陆源块状灰质泥岩亚相。平面上从东营凹陷南斜坡 - 东营凹陷北部陡坡带依次发育陆源块状灰质泥岩亚相 - 陆源层状灰质泥岩亚相 - 纹层状混源亚相 - 碳酸盐亚相 - 膏盐亚相 - 纹层状混源亚相 - 层状混源亚相 - 陆源层状灰质泥岩亚相 - 陆源块状灰质泥岩亚相。

根据泥页岩矿物组分的来源和沉积作用, 划分了泥页岩的沉积相, 分析了泥页岩沉积相的纵、横相分布规律, 泥页岩沉积相研究相对前人更加深入, 对东部陆相断陷盆地页岩油勘探有一定指导作用。

基金项目

本文为国家专项《大型油气田及煤层气开发》子课题“济阳拗陷页岩油勘探开发目标评价”(2017ZX05049-004)的核心内容。

参考文献

- [1] 康仁华, 刘魁元, 赵翠霞, 等. 济阳拗陷渤南洼陷古近系沙河街组沉积相[J]. 古地理学报, 2002, 4(4): 19-29.
- [2] 王居峰. 济阳拗陷东营凹陷古近系沙河街组沉积相[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 45-58.
- [3] 刘传虎, 韩宏伟. 济阳拗陷古近系红层沉积成藏主控因素与勘探潜力[J]. 石油学报, 2012, 33(S1): 63-70.
- [4] 马中良, 曾溅辉, 王永诗, 等. 济阳拗陷不同沉积相砂体“相-势”耦合控藏作用[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2008, 44(4): 9-13.
- [5] 张善文, 纪友亮. 义东地区陡岸扇体沉积特征及相模式[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(2): 41-45.
- [6] 赵伟, 邱隆伟, 姜在兴, 等. 济阳拗陷民丰洼陷古近系沙河街组三段中亚段沉积相展布与演化[J]. 沉积学报, 2011, 29(2): 255-267.
- [7] 姜再兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
- [8] 吴靖, 姜在兴, 潘悦文, 等. 湖相细粒沉积模式——以东营凹陷古近系沙河街组四段上亚段为例[J]. 石油学报, 2016, 37(9): 1080-1089.
- [9] 张顺, 陈世悦, 谭明友, 等. 东营凹陷西部沙河街组三段下亚段泥页岩沉积微相[J]. 石油学报, 2014, 35(4): 633-645.
- [10] 蒋有录, 谭丽娟, 荣启宏, 等. 东营凹陷博兴地区油气成藏动力学与成藏模式[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 323-331.
- [11] 吴靖. 东营凹陷古近系沙四上亚段细粒岩沉积特征与层序地层研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [12] 宁方兴, 王学军, 郝雪峰, 等. 济阳拗陷页岩油赋存状态和可动性分析[J]. 新疆石油天然气, 2015, 11(3): 1-5.
- [13] 宁方兴. 济阳拗陷页岩油富集主控因素[J]. 石油学报, 2015, 36(8): 905-914.
- [14] 刘惠民, 张守鹏, 王朴, 等. 沾化凹陷罗家地区沙三段下亚段页岩岩石学特征[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(6): 11-15.
- [15] 张善文, 张林晔, 李政, 等. 济阳拗陷古近系页岩油气形成条件[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(6): 1-5.
- [16] 宁方兴, 王学军, 郝雪峰, 等. 济阳拗陷不同岩相页岩油赋存机理[J]. 石油学报, 2017, 38(2): 185-195.
- [17] 王红梅, 吴晓萍, 邱轩, 等. 微生物成因的碳酸盐矿物研究进展[J]. 微生物学通报, 2013, 40(1): 180-189.
- [18] Boquet, E., Boronat, A. and Ramos-Cormenzana, A. (1973) Production of Calcite (Calcium Carbonate) Crystals by

Soil Bacteria Is a General Phenomenon. *Nature*, **246**, 527-529. <https://doi.org/10.1038/246527a0>

- [19] 金忠慧. 东营凹陷古近系沙四上亚段细粒岩沉积环境研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- [20] 王勇, 刘惠民, 宋国奇, 等. 济阳坳陷泥页岩细粒沉积体系[J]. 石油学报, 2019, 40(4): 395-410.
- [21] 宁方兴, 王学军, 郝雪峰, 等. 东营凹陷细粒沉积岩岩相组合特征[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2020, 42(4): 55-65.
- [22] 王勇, 张顺. 细粒沉积体系类型及特征——以济阳坳陷沙四上-沙三下亚段为例[J]. 地质论评, 2021, 67(S1): 135-136.