

饶阳凹陷大王庄地区古近系东营组三段沉积微相研究

张 强¹, 郭发军², 谢 俊¹, 张淑娟², 陈小琴², 郝 鹏³, 许 敏²

1. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 中国石油华北油田分公司勘探开发研究院, 河北 任丘 062552; 3. 华北油田公司二连浩特分公司地质研究所, 内蒙古 锡林浩特 026000

摘 要: 针对大王庄地区沉积相类型判定结论不一致的问题, 以区域构造演化为基础, 利用钻井数据、沉积构造标志、测井数据等地质资料, 探讨了东营组三段(Ed_3)沉积时期周边潜山、洼槽对大王庄地区物源方向、沉积相类型的控制作用, 建立了东三段沉积模式。研究表明, 东三段沉积时期, 沉降中心位于研究区东北部, 主要接受西南深泽低凸起的物源沉积。东营组沉积期间, 随着断陷的抬升, 湖盆面积迅速缩小, 地形逐渐平坦, 沉积相不断延伸, 大王庄地区东三段发育曲流河相。沉积相的精细研究为储层预测提供了依据。

关键词: 饶阳凹陷; 古近系; 东营组; 曲流河; 大王庄地区; 河北省

SEDIMENTARY MICROFACIES OF Ed_3 IN DAWANGZHUANG AREA OF RAOYANG SAG

ZHANG Qiang¹, GUO Fa-jun², XIE Jun¹, ZHANG Shu-juan², CHEN Xiao-qin², HAO Peng³, XU Min²

1. School of Earth Sciences and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong Province, China;

2. Exploration and Development Institute of Huabei Oilfield Branch, PetroChina, Renqiu 062552, Hebei Province, China;

3. Geological Institute of Erenhot Branch, Huabei Oilfield Company, Xilinhot 026000, Inner Mongolia, China

Abstract: To solve the problem of inconsistencies in the determination of sedimentary facies types in Dawangzhuang area, on the basis of regional tectonic evolution, with drilling data, sedimentary structure marks and logging data, this paper discusses the controlling of surrounding buried hills and subsags on the source direction and sedimentary facies types during the sedimentary period of the third member of Dongying Formation (Ed_3), and establishes the sedimentary model of Ed_3 . The results show that the subsidence center is located in the northeast of study area during the sedimentary period of Ed_3 , which mainly receives the provenance deposits of Shenze low salient in the southwest. During the sedimentation of Dongying Formation, with the uplifting of fault depression, the lake basin shrinks rapidly, the terrain becomes flat gradually, the sedimentary facies continues to extend, and the meandering river facies is developed in the Ed_3 of Dawangzhuang area. The detailed study of sedimentary facies provides a basis for reservoir prediction.

Key words: Raoyang Sag; Paleogene; Dongying Formation; meandering river; Dawangzhuang area; Hebei Province

收稿日期: 2019-12-06; 修回日期: 2020-03-11. 编辑: 张哲.

基金项目: 国家自然科学基金“碳酸盐岩地下储气库多重介质储层强注强采流体多尺度运移机理”(编号 51674156); 中国石油天然气股份有限公司重大专项(2017E-15).

作者简介: 张强(1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为矿产资源勘查、评价与开发, 通信地址 山东省青岛市经济技术开发区前湾港路 579 号, E-mail//1500018501@qq.com

通信作者: 郭发军(1971—), 男, 高级工程师, 从事油气田开发技术研究工作, 通信地址 河北省任丘市建设中路 1 号, E-mail//15949740143@163.com

0 引言

随着油田勘探开发的不断深入,发现研究区油气聚集不仅受构造和断层的控制,还受到沉积相带因素的影响,而前人对大王庄地区古近系东营组三段(Ed_3)沉积相类型的判定仍存在分歧.石兰亭等认为东三段时期随区域抬升作用加强,湖水变浅变小,辫状河三角洲规模不断扩大^[1].黄志佳等根据有机元素化学分析认为,大王庄地区东三段时期沉积环境由辫状河三角洲转变为浅水三角洲沉积^[2].张亚军等依据岩石组合、沉积构造、粒度特征等综合分析认为,东营组发育较高弯度曲流河或分叉河^[3].由此可见,研究方法、取样数据以及研究区域不同导致学者们对东三段发育的沉积相类型等方面观点不同.因此,有必要对大王庄油田东三段沉积相再次进行研究.油气勘探开发离不开对河流沉积环境的研究^[4],本次研究以钻井、测井等数据为基础,在前人对饶阳凹陷构造演化认识的基础上,分析岩石组成、沉积构造等特点对大王庄油田东三段沉积相展开研究,联系构造对沉积相的牵制作用,总

结东三段沉积模式,以期服务于油田的下一步勘探开发.

1 地质概况

饶阳凹陷是古近纪形成的一个次级构造单元,处在冀中拗陷东南方,具有明显的东断西超非对称箕状结构^[5].饶阳凹陷东南西北分别与献县凸起,深泽、新河凸起,高阳低凸起和霸县凹陷为界.饶阳凹陷从西向东包含 3 个次级构造单元,依次是:蠡县斜坡带、大王庄-肃宁-任南-任西洼槽、中部潜山带与东部断裂构造带(图 1),是冀中拗陷油气开发的有利地带^[3].

饶阳凹陷沙河组一段至东营组属于二级层序^[5].大王庄地区沙二上亚段至东营组可划分为 5 个长期和 1 个超长期基准面旋回^[6].沙一上亚段岩性以灰色粉砂岩、细砂岩以及暗色泥岩为主,与上覆东三段地层呈不整合面接触.东二段沉积布局承接东三段,岩性以灰色细砂岩与紫红色泥岩为主,与东三段为局部不整合接触.沙一上至东营组沉积期间,沉积速度大、沉降速

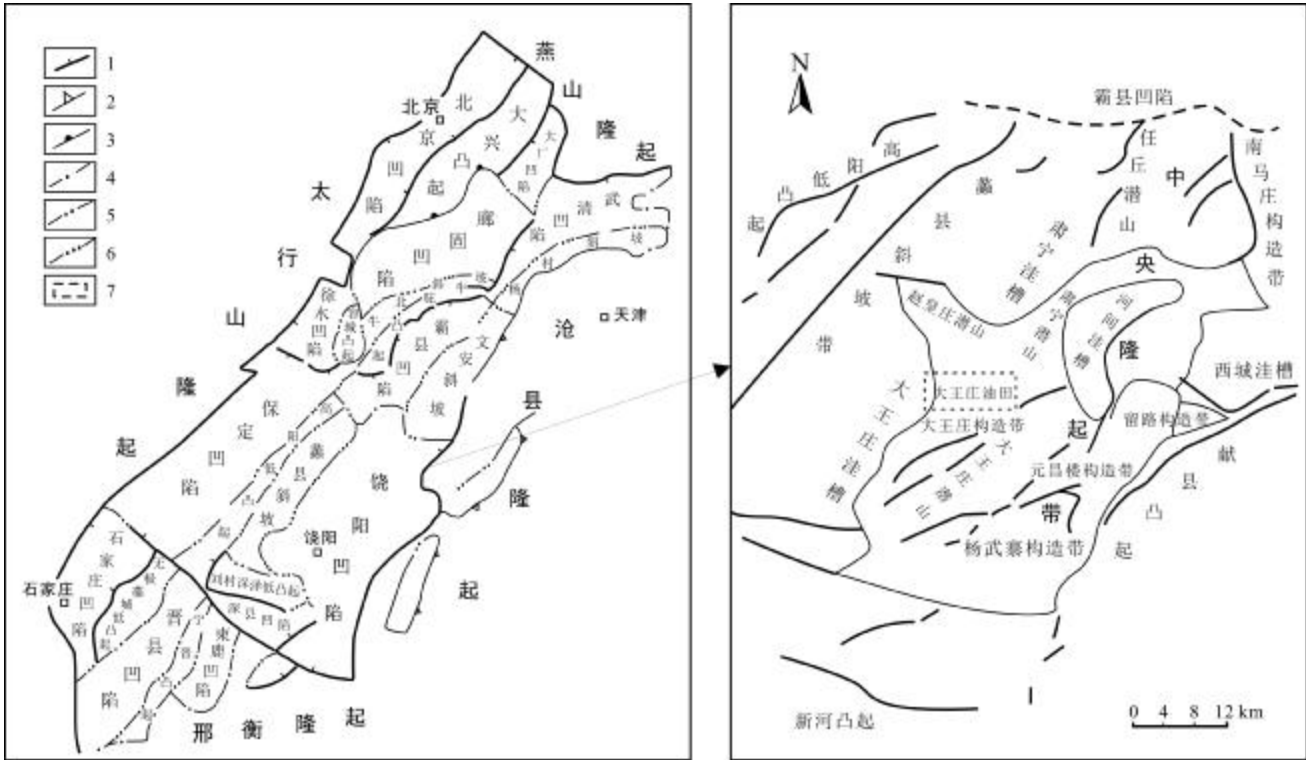


图 1 大王庄油田区域构造位置图

Fig. 1 Regional tectonic map of Dawangzhuang oilfield

1—断层(fault); 2—地层剥蚀线(strata erosion boundary); 3—地层尖灭线(strata pitch-out line); 4—隆起与拗陷分界线(boundary between uplift and depression); 5—凸起与凹陷分界线(boundary between salient and sag); 6—凹陷内斜坡分界线(boundary of slopes within the sag); 7—研究区(study area)

度小,致使湖盆面积迅速减小,在此期间,献县凸起向东南方向萎缩,大王庄断层广泛发育,赵皇庄-西柳构造带等渐成规模.此次研究的大王庄地区地处饶阳凹陷中南部,紧邻大王庄构造带(图 1),目的层位东营组三段是找油的有利层位.

2 沉积微相类型及其特征

2.1 物源分析

献县拆离断层在沙一段至东营组沉积期活动不延续,致使沉积中心由东向西运动^[7].沙一下亚段沉积时期,蠡县斜坡形成,肃宁潜山、大王庄-留路构造带、留楚-留西构造带初具规模,阻隔了西北高阳低凸起与东部献县凸起的物源^[8-9].沙一上至东营组时期,赵皇庄潜山逐渐隆起,对大王庄地区物源沉积影响小,加之肃宁洼槽的存在,阻隔了来自蠡县斜坡的物源沉积.张亚军认为在东营组沉积阶段大王庄地区地形逐渐平坦,献县凸起逐渐萎缩至东南角.随着沉积过程不断演化,西南部物源不断变强,东部、西北部物源不断变弱^[3].本次研究认为,东三段时期中央隆起带阻隔了东部物源,洼槽区阻隔了西北部物源.

据华北油田资料, ZTR 指数由 $[(\text{锆石}+\text{电气石}+\text{金红石})/\text{透明重矿物}]\times 100\%$ 得出. 本次研究发现, 大王庄地区东三段沉积时期, ZTR 指数由东部、西北、西南向中部不断变大, 东部、西北、西南方向不稳定重矿物绝对含量相对较高, 稳定重矿物占比相对较少(图 2a). 东营组自西南向东北, 砂岩与红色泥岩厚度渐渐变薄. 砂地比值由西南向东北、由中部向两边渐渐降低(图 2b). 大王庄地区紧邻东三段时期已经隆起的大王庄构造带, 综合分析认为, 大王庄地区东三段沉积阶段主要受西南方向深泽低凸起的物源影响.

2.2 岩石学特征

因为碎屑物质沉积时往往大小悬殊, 分选程度、磨圆度及风化程度存在差异, 所以可以作为解释沉积物当时所处的水动力环境和碎屑颗粒脱落搬运的依据. 对大王庄地区东三段取心井进行岩心观察(图 3)发现, 东三段岩石地层有砂泥岩互层的组合特点, 岩石组成主要是泥岩, 约占 60%, 最厚处约 3 m, 以紫红色、掺杂灰色泥岩为主; 其次是细砂岩, 约占 30%, 最厚处约 4 m, 最薄处约 0.5 m, 一般 2~3 m, 大多是灰色细砂岩和棕褐色细砂岩.

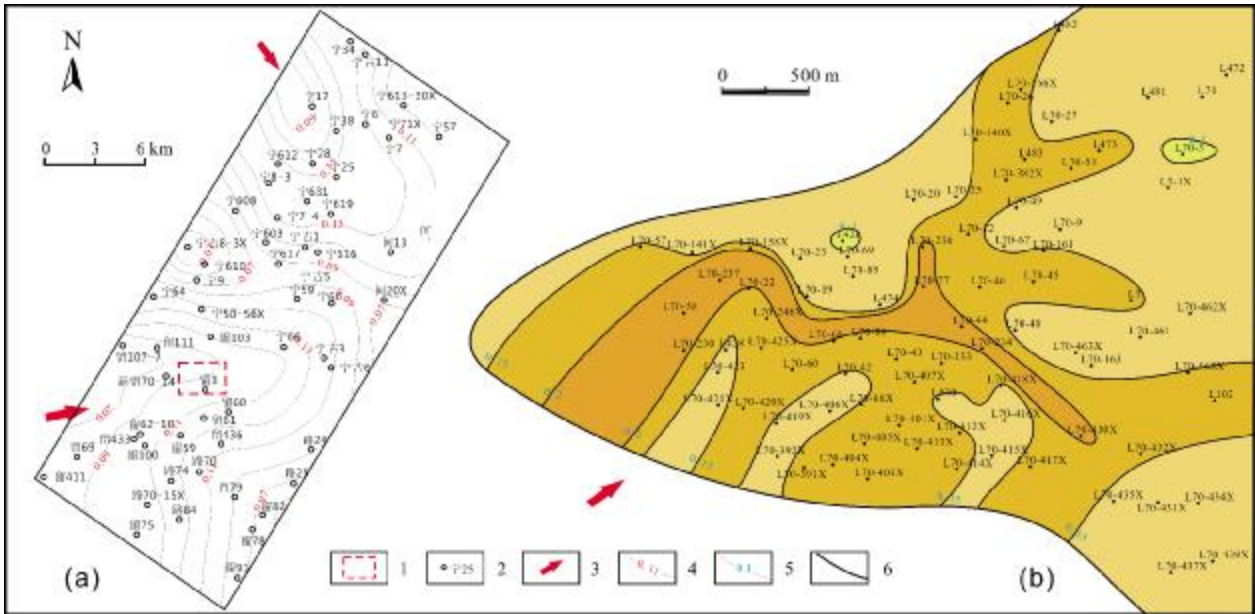


图 2 大王庄油田东三段重矿物指数图和砂地比平面图

Fig. 2 Heavy mineral indexes and sandstone-formation thickness ratio map of Ed₃ in Dawangzhuang oilfield

a—ZTR 等值线图 (ZTR contour map); b—砂地比平面图 (sandstone-formation thickness ratio map); 1—研究区 (study area); 2—井位及井名 (well position and name); 3—物源方向 (source direction); 4—ZTR 等值线 (ZTR contour); 5—砂地比等值线 (sandstone-formation thickness ratio contour); 6—边界 (boundary)

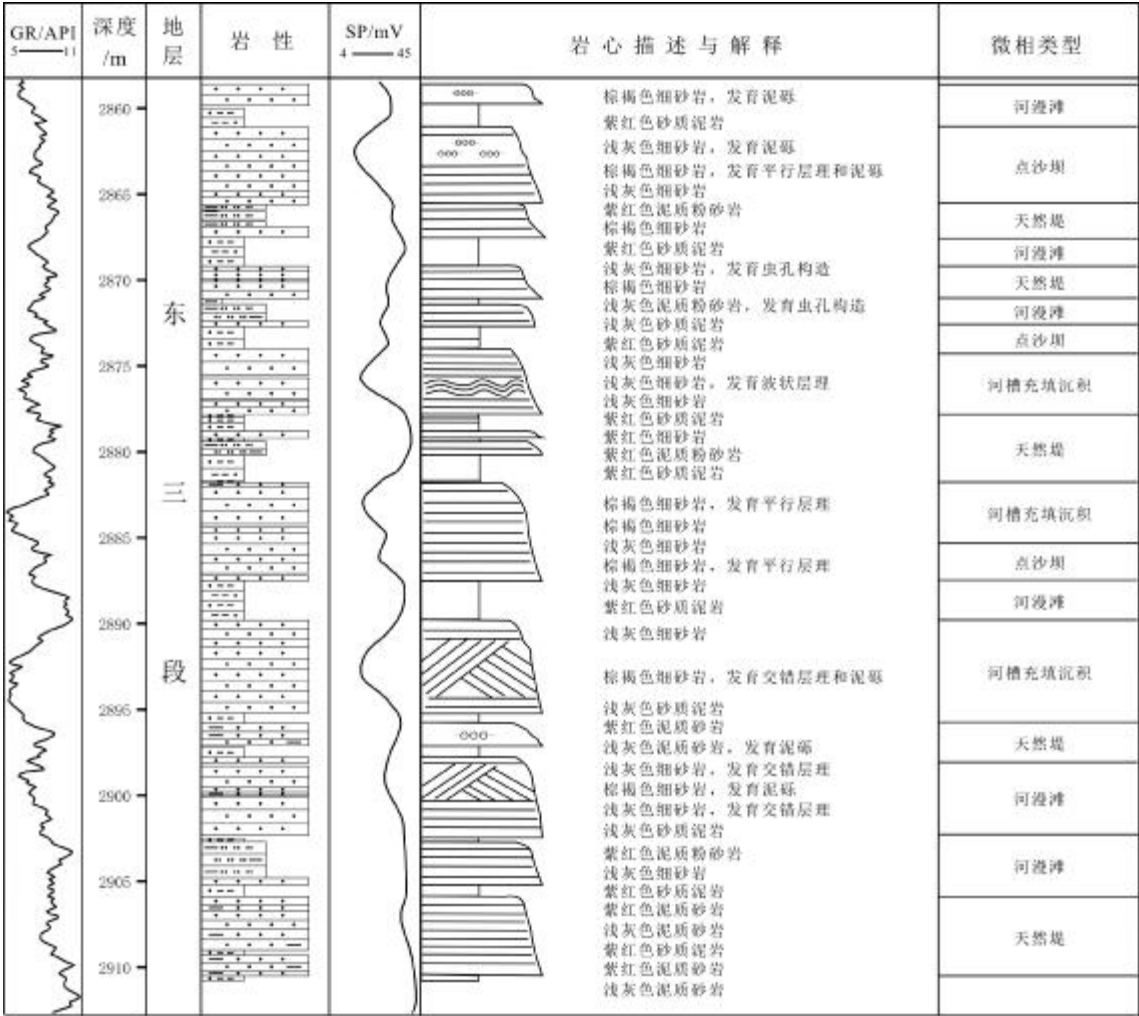


图 3 留 70-233 井东三段岩心综合柱状图

Fig. 3 Composite column of core of Ed₃ in L70-233 well

对砂岩结构成熟度统计后发现：大王庄地区碎屑颗粒的磨圆度多为次棱角—次圆状，粒径主要为 0.06~0.3 mm，风化蚀变程度中—好，分选程度中—好，颗粒之间大多是孔隙式胶结，颗粒支撑（表 1）。综上所述，大王庄地区砂岩结构成熟度总体较好。又因为研究区距离西南方向深泽低凸起相对较远，推断砂体运移距离较远，沉积区域在河流下游地区，为强氧化—弱氧化的沉积环境。

2.3 沉积构造标志

沉积构造是因沉积物的组成、结构等相异而呈现的形态差别，是判别沉积相的重要依据。因为构造层理发育直接受沉积速率、水流作用方式以及介质条件的影响^[10-13]，所以原生沉积构造的不同组合是推断沉积环境、进行沉积相识别的重要手段。察看 5 口取心

井后发现，主要钻遇紫红色泥岩与大段的细砂岩，砂岩最厚可达 4 m，正韵律为主，砂岩中自下而上可见较强水动力条件下发育的平行层理、交错层理、波状层理、泥砾等沉积构造（图 4）。

平行层理：主要见于研究区细砂岩中，体现较强的水动力环境。常代表水流湍急和能量较高河槽充填沉积（图 4f）。

交错层理：常因流速一定的水流搬运沉积介质形成，体现较强、较复杂的水动力环境。大王庄地区东三段出现多种交错层理，如楔状、槽状、板状交错层理及波状层理（图 4d、g、i），多见于研究区棕褐色、浅灰色的中—细砂岩中。

底部冲刷：冲刷面是因流速的迅速加大，沉积物遭受冲刷、剥蚀而产生的高低不平的面。研究区岩性主

表 1 大王庄油田部分井东三段砂岩结构成熟度表

Table 1 Sandstone structure maturity of Ed₃ in wells of Dawangzhuang oilfield

井名	深度/m	圆度	主要粒径/mm	分选性	风化蚀变程度	胶结类型	支撑方式
L70-231	2796.99	次圆	0.06~0.26	中	中	孔隙	颗粒
L70-231	2801.43	次棱角	0.03~0.1	好	中	孔隙	颗粒
L70-231	2810.30	次圆	0.05~0.3	好	深	接触	颗粒
L70-231	2815.5	次圆	0.06~0.8	中	深	孔隙	颗粒
L70-231	2820.07	次圆	0.03~0.1	好	中	孔隙	颗粒
L475	2909.61	次棱角—次圆	0.1~0.25	好	中深	接触、孔隙	颗粒
L475	2913.14	次棱角—次圆	0.06~0.2	中	中深	基底	颗粒
L475	2919.17	次棱角—次圆	0.06~0.25	中	中	孔隙	颗粒
L70-233	2851.15	次圆	0.1~0.18	好	深	孔隙	颗粒
L70-233	2851.83	次圆	0.09~0.19	中	好	孔隙	颗粒
L70-233	2855.23	次圆	0.03~0.14	中	深	孔隙	颗粒
L70-233	2901.26	次棱角	0.03~0.12	好	深	孔隙	颗粒
L70-233	3026.18	次圆	0.06~0.14	中	中	孔隙	颗粒

要为正韵律，下伏碎屑物粒度比冲刷面上的碎屑物粒度细，反映河道的水流增强，有泥砾出现于冲刷面上部（图 4a、b），为水流冲刷河床底部形成（图 4c）。

水平层理：往往出现在研究区泥岩中，反映相对稳定的水动力环境，常代表河漫滩沉积（图 4h）。

2.4 曲流河沉积相划分

此前的学者对大王庄地区沉积相的类型众说纷纭。前人总结出几种相的识别标志：辫状河沉积常发育岩性较粗、粒度变化不规则的砂砾岩；网状河道常见粗碎屑沉积物；浅水三角洲前缘沉积以紫红色、灰色泥岩相间出现为特征，几乎没有河口坝沉积；末端扇沉积常见浅棕色砂岩，同时，泥岩中几乎不见暗色物质。

本次对研究区 L231、L233 等取心井采取岩心描述、岩性统计、粒度分析等研究发现，研究区东三段岩石类型主要是灰色细砂岩、粉砂岩与紫红色泥岩，中砂岩等粗碎屑沉积物占比较少，不足 20%。岩石学特征缺少辫状河、网状河道、浅水三角洲以及末端扇沉积相的相关特征。于是，此次研究认为大王庄地区东三段发育曲流河相。

2.4.1 河床亚相

张金亮^[14]考虑到河床滞留沉积在实际过程中往

往因与上部层序之间缺乏明显的界面很难构成独立的制图单元，建议将其归于河槽充填沉积。河床亚相能进一步划分出在垂向上出现正旋回特征的 2 个沉积微相：河槽充填沉积和点沙坝。研究区岩石组成主要是细砂岩和泥岩，垂向上显示经典的河流二元结构，SP 测井特点是齿化箱型、钟形。同时，大王庄地区常见透镜状岩体形态，底部可见冲刷面，由下向上依次可见槽状、楔状或板状交错层理、平行层理等。

2.4.2 堤岸亚相

研究区堤岸亚相岩石成分往往是细砂岩、粉砂岩和泥岩，颗粒相对较细，常见小型交错层理。决口扇微相在平面形态上往往显示为扇形，研究区岩石组成多为灰色细砂岩、粉砂岩，颗粒比河道更细，常见小型交错层理、波状层理沉积构造，SP 测井以尖指状为特点。研究区天然堤微相粒度更细，岩石组合以泥岩、砂岩薄互层为主，SP 测井特点是低幅钟形，而 RT 测井特点是孤立尖峰状。

2.4.3 河漫亚相

研究区河漫亚相岩石组成简单，大多是粉砂岩和泥岩，在河流沉积物中颗粒最细，构造层理上多发育波状层理、水平层理，SP 测井特点是平直状或微齿状。



图4 大王庄油田东三段岩心照片

Fig. 4 Core photographs of Ed_3 in Dawangzhuang oilfield

a—留 70-233 井 2862 m, 泥质砂岩 (argillaceous sandstone in L70-233 well, 2862 m); b—留 70-233 井 2897 m, 细砂岩 (fine sandstone in L70-233 well, 2897 m); c—留 70-233 井 2903 m, 细砂岩 (fine sandstone in L70-233 well, 2903 m); d—留 70-233 井 2876 m, 细砂岩 (fine sandstone in L70-233 well, 2876 m); e—留 70-231 井 2950 m, 细砂岩 (fine sandstone in L70-231 well, 2950 m); f—留 70-231 井 3015 m, 细砂岩 (fine sandstone in L70-231 well, 3015 m); g—留 70-93 井 3287 m, 细砂岩 (fine sandstone in L70-93 well, 3287 m); h—留 70-231 井 3050 m, 砂质泥岩 (sandy mudstone in L70-231 well, 3050 m); i—留 70-31 井 2923 m, 细砂岩 (fine sandstone in L70-31 well, 2923 m)

河漫滩沉积微相在研究区广泛分布。

2.4.4 废弃河道充填亚相

研究区内废弃河道充填亚相沉积物组成以粉砂、

黏土为主, 废弃河道的测井曲线特点是“指状”或“塔松状”, 常见水平层理、小型交错层理沉积构造。张金亮^[14]认为古河流河道经过废弃过程后, 河道大致成为泥塞状。

3 沉积相平面展布及演化特征

3.1 沉积相平面特征

以单井相分析为基础,通过对饶阳凹陷沉积构造背景及重矿物分析认为,东三段沉积期大王庄地区受西南方向深泽低凸起的物源影响,结合东三段砂体发育、沉积构造及测井曲线特征,以小层为单元绘制了研究区东三段砂厚图、砂地比图和沉积微相平面图(图5)等,并以此为依据剖析东三段各个油组的沉积演化规律。河槽充填沉积呈蛇曲状由西南向东北方向延伸,有时穿过废弃河道,点沙坝呈串珠状分布在河道一侧,分布范围较广。研究区部分小层堤岸亚相地表出露较多。

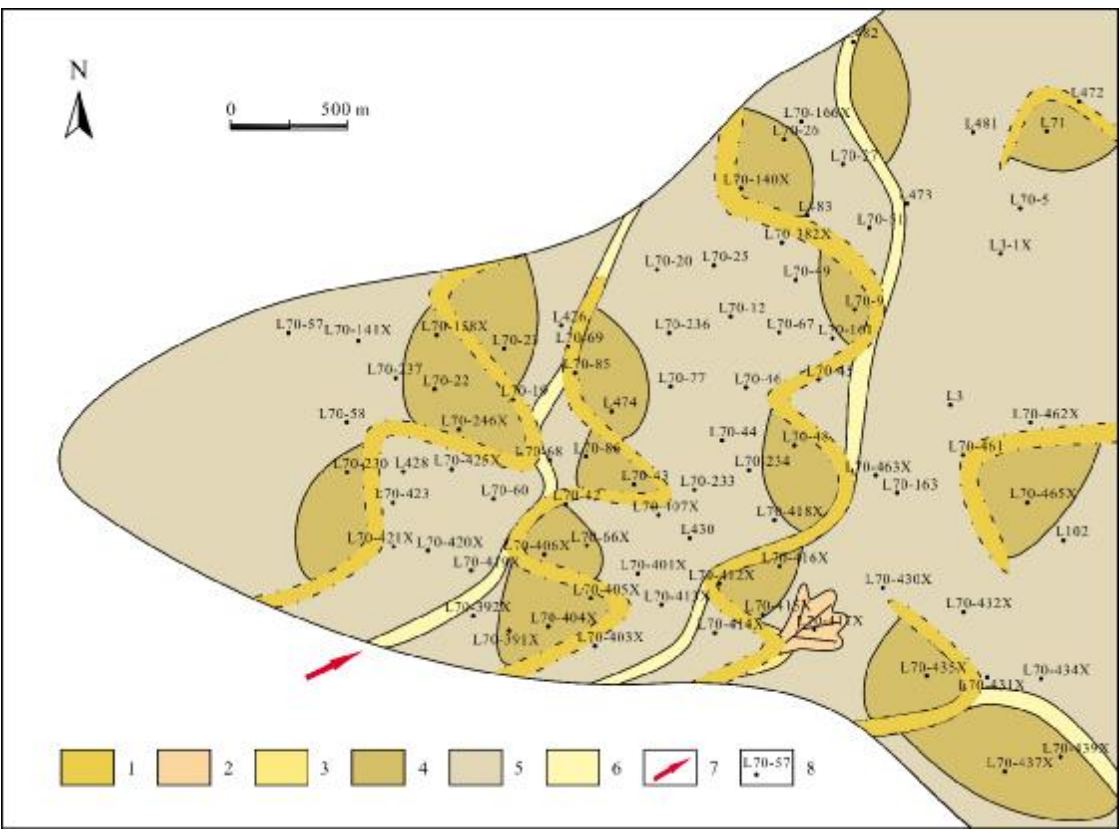
3.2 沉积模式

多位学者研究曲流河发育环境和沉积相后总结了曲流河沉积相模式^[15-16]。陆相断陷盆地的拉张断陷运动常表现出多旋回性^[17-18],饶阳凹陷的构造运动也具有幕式特征。饶阳凹陷在古近纪经历了5个构造-演

化时期,沉积了巨厚的陆相地层^[19]。沙一上亚段—东营组沉积期属于饶阳凹陷断陷抬升消亡期。沙一上亚段时期,献县凸起开始向东南方向收缩,沉降中心则向北移动到肃宁洼槽、马西洼槽一带。受凹中潜山及西部肃宁洼槽、大王庄洼槽的影响,阻隔了东部及西北方向的物源,研究区主要受西南方向深泽低凸起的物源影响。同时,随着饶阳凹陷地形逐渐平坦,湖泊逐渐消亡,河流不断延伸。沉降中心在东三段沉积时期位于河间、肃宁洼槽一带,献县凸起逐渐萎缩,凹中潜山逐步隆升,大王庄洼槽逐渐消失(图6)。研究结果表明,大王庄地区东三段沉积时期地面抬升湖水后退,沉降中心位于研究区东北部,西南深泽低凸起的物源搬运距离较远。随着河谷坡降减小,河道从直流河渐变为曲流河^[20],河流不断延伸,发育曲流河相。

4 结论

(1)饶阳凹陷在东三段沉积时期属于断陷晚期充



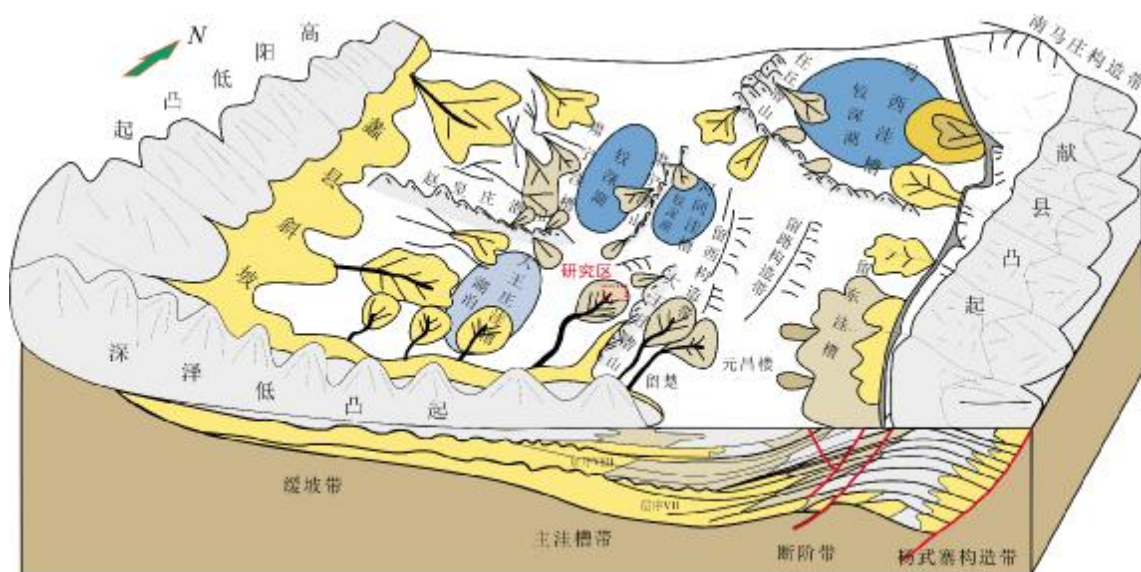


图6 饶阳凹陷断陷抬升消亡期沉积模式图

Fig. 6 Sedimentary model of uplift and extinction period of the fault depression in Raoyang sag

填阶段,沉降中心在河间、肃宁洼槽一带,地形渐渐平坦,气候逐渐干燥,凹中潜山和肃宁洼槽阻隔了东部和西北方向的物源,研究区主要接受西南深泽低凸起物源沉积。

(2)大王庄地区岩石组成以浅灰色细砂岩与紫红色泥岩为主,表明当时为强氧化—弱氧化的沉积环境。研究认为大王庄地区东三段发育曲流河相,并进一步细分为河槽充填沉积、点沙坝、决口扇、天然堤、河漫滩、废弃河道6种沉积微相。其中以点沙坝微相为主,为优势储层相。

(3)建立了大王庄地区沙一段沉积模式图,为储层预测提供了依据。

参考文献:

- [1] 石兰亭,杨勤林,易定红,等. 冀中饶阳凹陷大王庄地区古近系沉积演化特征与储盖组合分析[J]. 东华理工学院学报, 2007, 30(2): 132-136.
- [2] 黄志佳. 饶阳凹陷大王庄地区隐蔽油藏成藏研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- [3] 张亚军. 饶阳凹陷赵皇庄东地区沙一上段—东营组层序地层与沉积体系研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- [4] 张昌民,张尚锋,李少华,等. 中国河流沉积学研究20年[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 183-192.
- [5] 倪超,纪友亮. 饶阳凹陷古近系沙河街组层序地层分析及沉积体系研究[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 193-200.
- [6] 易定红. 饶阳凹陷大王庄地区古近系沙一段至东营组层序地层与沉

积体系分析[J]. 新疆石油天然气, 2006, 2(4): 21-25.

- [7] 王余泉,漆家福,郑荣华,等. 饶阳凹陷中部地区古近纪构造变形及控制因素[J]. 大地构造与成矿学, 2018, 42(4): 628-638.
- [8] 刘建宁,冷春鹏,李坤,等. 蠡县斜坡沙一段混合沉积控制因素[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2018, 40(2): 37-41.
- [9] 国景星,巩逸文. 饶阳凹陷留西留北构造带新近系地球化学特征及其地质意义[J]. 地质科技情报, 2018, 37(2): 41-49.
- [10] Sangree J B. A summary of exploration application to sequence stratigraphy [C]//Proceedings of the GCSSEPM Foundation 11th Annual Research Conference Program and Abstracts. 1990: 320-327.
- [11] Hobson G D, Tiratsoo E N. Introduction to petroleum geology[M]. Beaconsfield: Scientific Press, 1975: 21-50.
- [12] Hobson G D. Some fundamentals of petroleum geology[M]. London: Oxford University Press, 1954: 1-139.
- [13] Gladstone C. Experimental and field investigations of sedimentation from turbidity currents[D]. Bristol: University of Bristol, 1997.
- [14] 张金亮. 河流沉积相类型及相模式[J]. 新疆石油地质, 2019, 40(2): 244-252.
- [15] Allen J R L. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments[J]. Sedimentology, 2006, 5(2): 89-191.
- [16] Walker R G. Facies models (Geoscience Canada Reprint Series 1) [M]. Toronto: Geological Association of Canada, 1979.
- [17] 唐智,吴华元. 中国石油地质志(卷5)·华北油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1988.
- [18] 易定红,石兰亭,曹正林,等. 吉尔嘎朗图凹陷宝饶洼槽下白垩统层序地层与沉积体系[J]. 东华理工学院学报, 2006, 29(1): 22-26.
- [19] 张锐锋. 饶阳凹陷古近系层序地层学及隐蔽油气藏勘探研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2006.
- [20] Schumm S A, Khan H R. Experimental study of channel patterns[J]. Nature, 1971, 233(5319): 407-409.