

北部湾盆地迈陈凹陷涠洲组扇体发育特征与成藏

刘宏宇, 陈伟, 王花, 方涛, 施琰, 刘喜欢

(中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院, 江苏扬州 225009)

摘要:北部湾盆地迈陈凹陷是典型的南断北超的箕状断陷, 发育“南扇北洲”沉积体系。南部断裂带—深凹带钻井揭示扇根水道、扇中水道等沉积微相, 研究认为涠洲组发育多期叠置的大型扇体, 可划分为5套扇体组合, 细分为18期扇体。受构造、沉积演化的控制, 迈陈凹陷发育的扇体可形成扇根遮挡型、上倾尖灭型、断层-岩性型3种类型圈闭。南部扇体具有良好的成藏配套条件, 深凹带烃源岩厚度大、成熟度高, 长期处于增熟排烃过程; 多套泥岩盖层与扇中砂岩形成良好储盖组合; 涠二段至涠三段中上部发育优质扇中砂岩储层; 深凹带排烃早、油气充注时间更长, 有利于形成富集规模油藏。因此, 迈陈凹陷断裂带—深凹带扇体隐蔽圈闭是获得规模储量的重要勘探领域。

关键词: 沉积体系; 扇体期次; 扇体圈闭; 成藏模式; 迈陈凹陷

中图分类号: TE132 文献标志码: A

Reservoir formation and development characteristics of fan in the Weizhou Formation fan of Maichen Depression in the Beibu Gulf Basin

LIU Hongyu, CHEN Wei, WANG Hua, FANG Tao, SHI Yan, LIU Xihuan

(Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The Maichen Depression in the Beibu Gulf Basin is a typical dustpan-shaped fault depression that was faulted in the south part and overlapped in the north with the development of the “southern fan and northern delta” sedimentary system. Drilling in the southern fault zone and the deep depression zone reveals the sedimentary microfacies such as fan-root and fan-middle channels. It is believed that the Weizhou Formation has developed a large fan body with multiple overlapping stages, which can be divided into five sets of fan body combinations and subdivided into 18 stages of fan bodies. Under structural and sedimentary evolution control, the fans developed in the Maichen Depression can form three traps: fan-root blocking, updip pinch-out, and fault-lithology. The southern fans have good conditions for reservoir formation, and the source rocks in the deep depression zone have large thicknesses and maturity and have been maturing and hydrocarbon expulsion for a long time. Multiple sets of mudstone caprocks and sandstone in the fan form a good combination of reservoir and cap. High-quality fan sandstone reservoirs have been developed in Section 2 of the Weizhou Formation and the middle and upper parts of Section 3. The deep concave zones have an early expulsion of hydrocarbon, and the oil and gas filling time is much longer, which is favorable for forming a rich-scale reservoir. Therefore, the subtle traps of the fans in the fault zone and the deep depression zone of the Maichen Depression are important exploration areas for obtaining large-scale reserves.

Key words: Sedimentary system; Fan stage; Fan trap; Accumulation mode; Maichen Depression

引用格式: 刘宏宇, 陈伟, 王花, 等. 北部湾盆地迈陈凹陷涠洲组扇体发育特征与成藏[J]. 复杂油气藏, 2023, 16(4): 374-379.

LIU Hongyu, CHEN Wei, WANG Hua, et al. Reservoir formation and development characteristics of fan in the Weizhou Formation fan of Maichen Depression in the Beibu Gulf Basin [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(4): 374-379.

近年来, 北部湾盆地随着勘探程度的不断提高, 勘探目标逐渐由构造油气藏转向隐蔽油气藏。扇体隐蔽圈闭是隐蔽油气藏勘探的一种重要类型, 在我国东部众多断陷盆地中已取得大量发现和成果^[1-2]。迈陈凹陷位于北部湾盆地中东部, 经历了多年的勘探, 油气发现多为斜坡带的构造油藏, 隐蔽油气藏方面尚未取得突破^[3]。迈陈凹陷南部钻探

的XW3井在古近纪涠洲组钻遇大套砂砾岩体, 见到良好的油气显示且试获少量油气, 证实了扇体领域

收稿日期: 2023-08-26; 改回日期: 2023-10-22。

第一作者简介: 刘宏宇(1969—), 研究员, 现从事油气勘探研究工作。E-mail: liuhy.jsyt@sinopec.com。

基金项目: 江苏油田重点科技攻关项目“迈陈凹陷成藏深化研究及勘探方向”(JS22002)。

具备油气成藏条件和较好的勘探潜力,是该地区下步勘探的重点突破方向。为此,笔者在迈陈凹陷东部扇体发育特征研究的基础上,结合成藏配套条件分析,提出扇体领域勘探思路。

1 概况

迈陈凹陷是在中生代区域隆起背景之上发育起来的新生代沉积凹陷。凹陷整体表现为南断北

超的箕状半地堑结构,平面上呈现多次洼分布格局^[4]。凹陷自下而上发育古近系长流组、流沙港组、涠洲组、新近系下洋组、角尾组、灯楼角组、望楼港组等地层。新生代地层最大厚度可达7 000 m,其中以古近系流沙港组二段(流二段E₂l₂)为主力烃源岩,形成源上涠洲组、源下流沙港组三段(流三段E₂l₃)两套主力勘探层系。本文研究区主要位于迈陈凹陷东部陆上部分(图1)。

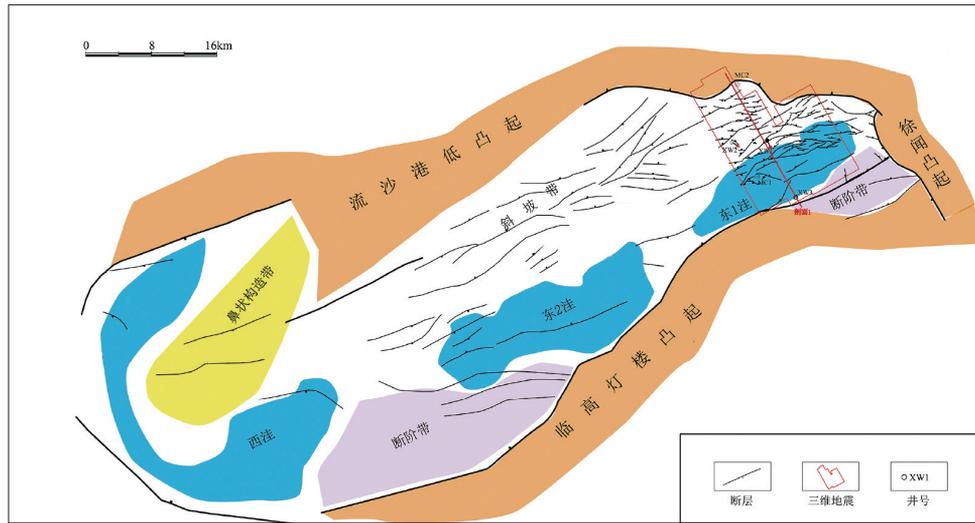


图1 迈陈凹陷构造单元及研究区范围

2 沉积特征

2.1 物源分析

通过工区内现有钻井资料编制的涠洲组三段(E₃w₃)各亚段砂(砾)岩百分含量等值线图

可以看出,涠洲组各亚段砂岩含量分布和变化特点基本相似,有南北两个高值区,并分别向中部延伸递减(图2),这反映了涠洲组沉积时期主要存在南北两大物源,北部物源在不同沉积时期方向有所变化(北东、北、北西)。

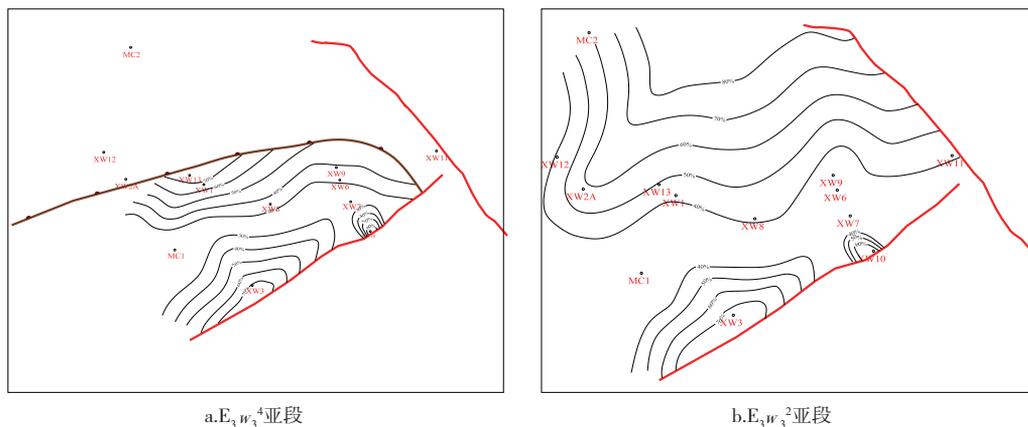


图2 迈陈凹陷东部涠三段不同亚段砂岩百分含量等值线

通过工区内不同位置钻井涠三段重矿物组合对比(图3)可以看出,东北部与南部涠三段重矿物组合存在明显差异,东北部的XW6井主要为白钛

矿+石榴石,XW8井主要为石榴石+白钛矿+锆石,而南部的XW3井主要为赤褐铁矿+磁铁矿,说明存在南北两个物源。

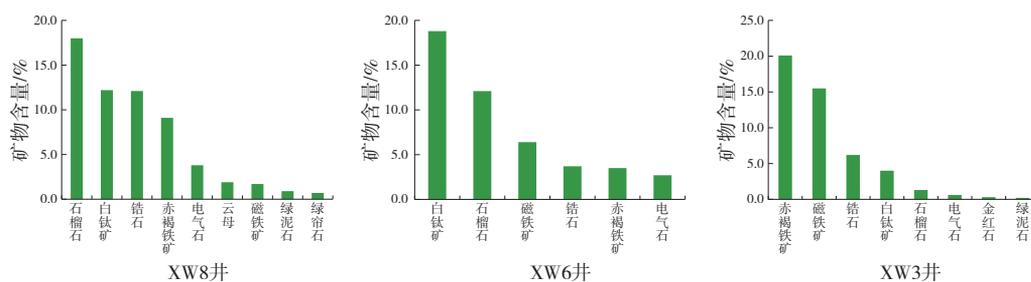


图3 迈陈凹陷钻井涸三段重矿物组合特征

2.2 沉积相类型

根据XW3井取心井段和录井、测井资料综合分析,主要可以划分出扇根、扇中亚相。

2.2.1 扇根亚相

XW3井第1次、5次取心均为杂色砾岩,砾石成分复杂,棱角状、长条状、次圆状砾石无序混杂,砾径大小不一,0.5~10 cm不等,且砾石排列无定向性,岩心上发育大量裂缝并且多被方解石充填(图4)。过井地震剖面上呈斜方形和楔状地震相,内部多为

杂乱反射特征,分析认为属于近岸水下扇扇根水道沉积^[5]。

2.2.2 扇中亚相

XW3井第2、3、4次取心岩性主要为灰色块状粉砂岩、细砂岩、含砾细砂岩,细砂岩中,以正韵律和复合韵律为主,见变形构造和漂砾构造,反映具有重力流沉积的特征(图5)。岩心中见叶片植物碎屑、炭屑等,反映沉积环境为温暖环境,属近岸水下扇扇中水道沉积^[5]。

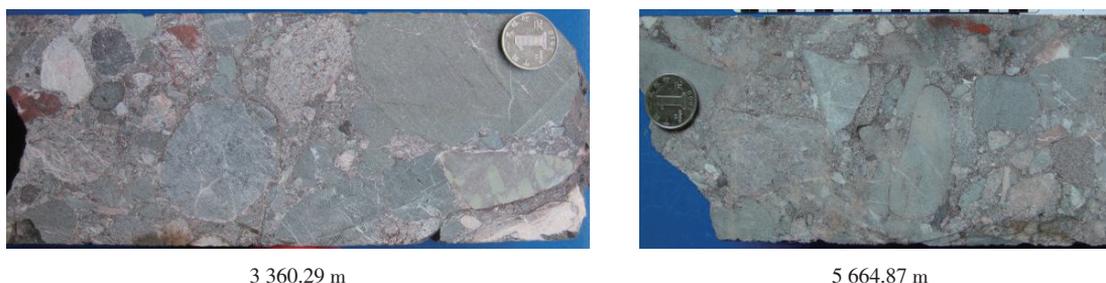


图4 XW3井扇根中—粗砾岩岩心照片

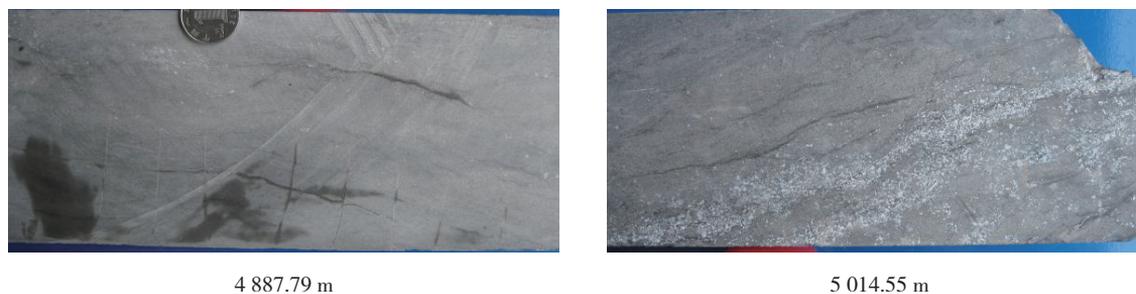


图5 XW3井扇中灰色细砂岩岩心照片

2.3 扇体发育特征

受南陡北缓箕状断陷结构及物源体系影响,涸洲组发育大规模“南扇北洲”沉积体系,南部陡坡带至深凹带主要发育近岸水下扇到滨浅湖沉积^[6]。

从XW3单井上来看,自E₃w₃底部至涸二段(E₃w₂)中上部可以划分出5套扇体组合,进一步可细分为18期扇体,总厚度达3708 m。从不同时期扇体平面分布来看,E₃w₃⁴发育的近岸水下扇沉积主

要分布在控凹断层近1断层下降盘,延伸范围相对较短;E₃w₃³—E₃w₃¹沉积期扇体规模比E₃w₃⁴时期有所扩大;E₃w₂³沉积时期继承了E₃w₃¹时期的沉积格局,范围略有扩大;E₃w₂²沉积时期扇中沉积范围向北推进至MC1井区附近;E₃w₂¹沉积期随着控凹断层活动减弱,南部转变为扇三角洲前缘沉积,扇体规模明显缩小(图6)。总体而言,扇体南北方向延伸范围约3~4 km。

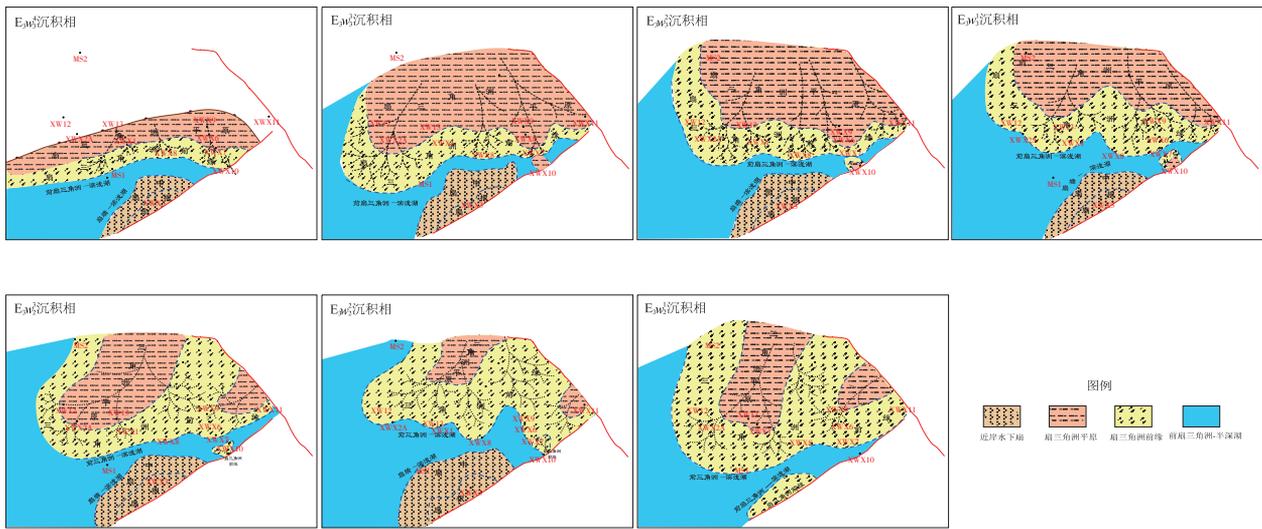


图6 迈陈凹陷东部不同时期沉积相

3 扇体圈闭类型及成因

迈陈凹陷经历了4期构造运动,可以划分为3个演化阶段,包括流沙港期初始断陷阶段、涠洲期强烈断陷阶段和新近纪区域拗陷阶段。其中涠洲期南部控凹断裂活动强烈,涠洲组地层呈现明显的掀斜特征,进而使得前期沉积的扇体受后期掀斜作

用表现为向北上倾尖灭(图7)。在这种条件下,扇体因地层产状、断层配置不同,可形成扇根遮挡型、上倾尖灭型、断层-岩性型3种类型圈闭^[7]。其中靠近边界断层的一侧发育扇根遮挡型圈闭,该类型圈闭已经过XW3井钻探证实;远离边界断层的一侧发育上倾尖灭型和断层-岩性型圈闭,是下一步探索的重要类型。

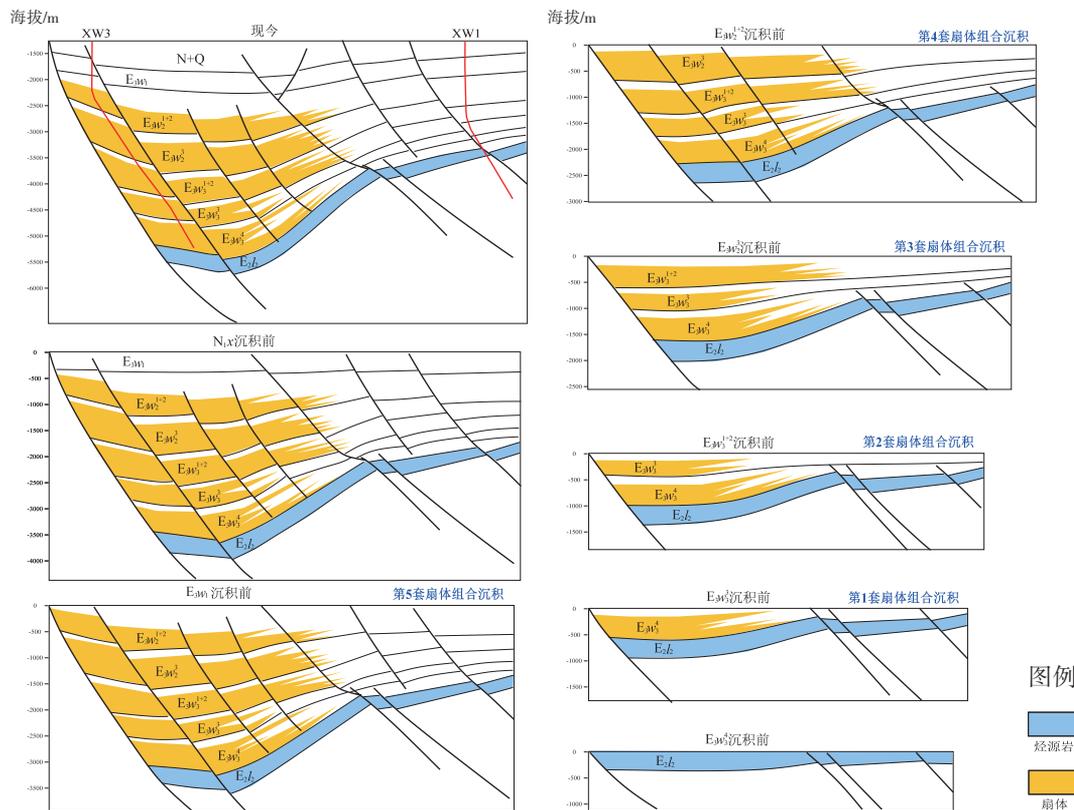


图7 迈陈凹陷南部断裂带—深凹带扇体发育演化剖面

4 扇体圈闭成藏条件

4.1 烃源岩条件

迈陈凹陷流二段暗色泥岩分布广、厚度大(50~300 m),是区内主力烃源岩,流二段暗色泥岩有机质丰度高,TOC含量平均2%,类型主要为II型干酪根,综合评价为好烃源岩;流沙港组烃源岩成熟门限2 800 m,涪洲末期(23 Ma)深凹带局部成熟,随着埋深增大成熟范围逐渐扩大,角尾末期(10 Ma)成熟范围扩大到斜坡带中部,现今成熟范围扩大到斜坡带外围^[8]。断裂带—深凹带烃源岩厚度大(200~300 m),成熟度高(R_0 0.9%~1.2%),长期处于增熟排烃过程,油源条件最好^[9]。

4.2 储盖组合及储层物性

研究区内涪洲组整体上砂岩较发育,其中涪二段三个亚段顶部发育三套较稳定的泥岩盖层,厚度在50~180 m不等,主要集中在内坡带—深凹带,与下覆砂岩形成有效储盖组合;涪三段整体缺乏稳定的泥岩盖层,但XW8井钻探揭示内坡带发育多套40~50 m左右的泥岩隔层^[10],因此推测深凹带泥岩隔层更发育,可与扇中砂岩形成较好的储盖组合。

据物性与深度的关系分析,研究区内涪二段整体埋深小于3 000 m,孔隙度范围15%~25%,物性条件有利;涪三段中上部埋深小于3 500 m,孔隙度范围为10%~15%,物性条件较好;涪三段中下部埋深大于3 500 m,孔隙度小于10%,但可能存在次生孔隙^[11]。因此,研究区涪洲组扇体可以形成优质砂岩储层。

4.3 油气输导与充注

涪洲组油气藏是“下生上储”油气藏,流沙港组烃源岩生成的油气向涪洲组运移,具有两种油气运移模式:一是两期断裂位置具有一定的继承性,断裂切穿流二段烃源岩,起到通源作用;二是涪洲组底块砂接受上排油气,再通过断层、砂体进行纵向和侧向运移^[12]。对于南部涪洲组扇体而言,其位于生烃中心,既有油源断裂沟通油气,又发育底块砂岩,两种输导模式可为扇体成藏提供充足油源。

同时南部断裂带—深凹带流二段存在异常高压,XW8井实测地层压力系数1.2,推测深凹区压力系数可达到1.4。异常高压有利于油气向断层、涪洲组底块砂运移^[13]。

XW3井证实深凹带自涪洲组沉积末期(23 Ma)开始接受油气充注直至今;而XW13井表明斜坡带成藏相对较晚,在角尾组沉积后(10 Ma)接受油气充注成藏。因此,深凹带排烃早、油气充注时间更长,形成规模性富集油藏的概率高^[14]。

5 成藏模式

深凹带流二段烃源岩生成的油气通过油源断裂或涪洲组底块砂垂向运移进入涪洲组扇体,之后在涪洲组泥岩盖层(或泥岩隔层)之下进行侧向运移,直至有利圈闭聚集成藏。在靠近南部控凹断层一侧形成扇根遮挡型油气藏,在深凹带北侧往斜坡上倾方向形成扇中砂岩上倾尖灭型、断层—岩性型油气藏。

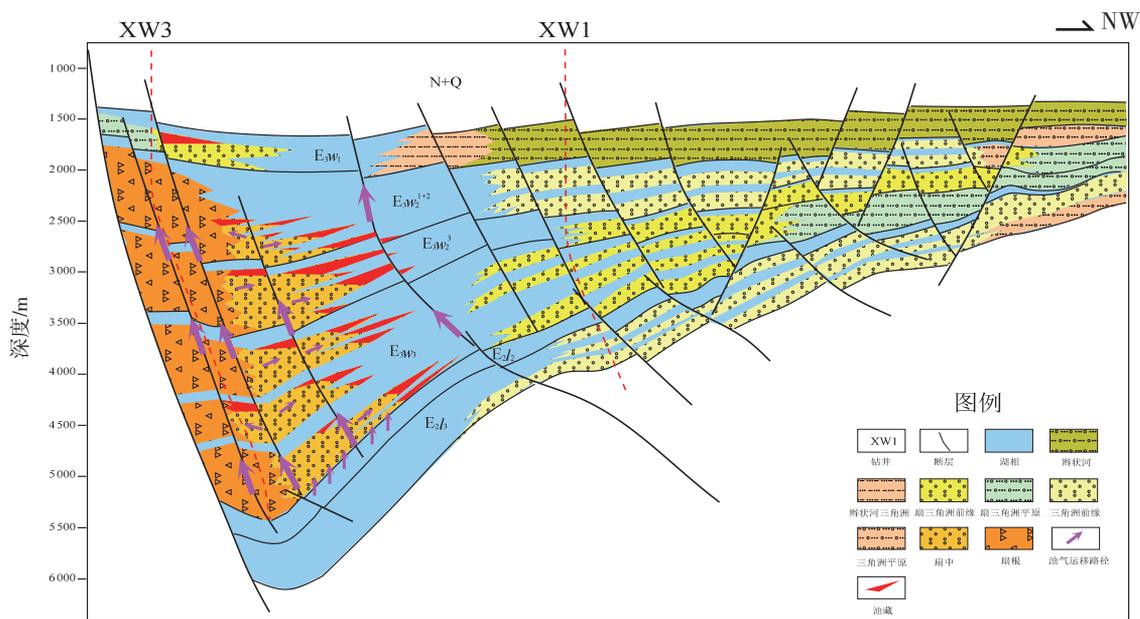


图8 迈陈凹陷南部扇体成藏模式(剖面位置见图1)

6 结论

(1)迈陈凹陷东部具有南北两大物源,形成“南扇北洲”沉积体系。南部断裂带—深凹带涠洲组发育多期叠置的大型扇体,钻井揭示扇根水道、扇中水道等沉积微相。

(2)受构造、沉积演化的控制,迈陈凹陷东部发育的扇体可形成扇根遮挡型、上倾尖灭型、断层-岩性型3种类型圈闭。

(3)迈陈凹陷南部扇体具有良好的成藏配套条件。烃源岩厚度大、成熟度高,长期处于增熟排烃过程;涠二段发育3套较稳定泥岩盖层、涠三段发育多套泥岩隔层,与扇中砂岩形成良好储盖组合;涠二段至涠三段中上部埋深较浅,可以形成较好的优质扇中砂岩储层;深凹带排烃早、油气充注时间更长,有利于形成富集规模油藏。

参考文献:

- [1] 王永诗,邱贻博,茆书巍,等. 济阳拗陷东营凹陷古近系隐蔽油气藏勘探实践及展望[J]. 中国海上油气, 2023, 35(3): 12-24.
- [2] 庞雄奇,李丕龙,陈冬霞,等. 陆相断陷盆地相控油气特征及其基本模式[J]. 古地理学报, 2011, 13(1): 55-74.
- [3] 刘磊. 徐闻探区迈陈凹陷油气成藏条件研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2018.
- [4] 刘震,李晋,刘惠民,等. 陆相断陷盆地陡坡带早期大型斜向扇三角洲的发现及其勘探潜力[J]. 地质学报, 2022, 96(1): 265-283.
- [5] 王居峰. 陆相断陷盆地陡坡带沉积相类型与沉积演化特征——以东营凹陷民丰地区沙三段、沙四段为例[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(5): 611-617.
- [6] 王英民,王改云,张雷,等. 雅克拉地区下白垩统亚格列木组沉积特征及主控因素[J]. 断块油气田, 2011, 18(3): 293-296.
- [7] 王宝言,肖焕钦,陈宝宁. 东营凹陷北部陡坡带扇体油气聚集模式[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(2): 22-25.
- [8] 李文龙. 北部湾盆地涠西南凹陷流三段储层特征[J]. 天然气勘探与开发, 2023, 46(1): 42-49.
- [9] 刘喜欢,江凡,杨芝文,等. 迈陈凹陷陆区油气运聚条件研究[J]. 复杂油气藏, 2019, 12(2): 1-6.
- [10] 刘宏宇. 北部湾盆地迈陈凹陷油气成藏期次、特征及模式[J]. 海洋石油, 2019, 39(2): 1-6.
- [11] 张辉,曾小明,黄冬梅,等. 北部湾盆地涠西南凹陷富砾型和富砂型湖底扇沉积特征差异分析[J]. 石油实验地质, 2017, 39(5): 633-639.
- [12] 陈栋,张立,郭新安,等. 迈陈凹陷扇体识别技术及应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, 33(20): 188-188.
- [13] 冷春鹏,董桂玉,张振国,等. 陆相断陷盆地深凹带沉积朵体特征——以高邮凹陷邵伯次凹戴南组为例[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2015, 30(1): 14-22, 29.
- [14] 陈伟,刘宏宇,侯峰,等. 迈陈凹陷东部构造特征及其对油气成藏的影响[J]. 复杂油气藏, 2013, 6(1): 17-21.

(编辑 刘义梅)