

东濮凹陷构造—沉积演化与油气成藏的关系

尚墨翰

(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

摘要:东濮凹陷具有东西分带、南北分区的构造—沉积格局。综合分析拉张速率与断陷速率的比值以及火山岩分布认为,在沙三段沉积时期东濮凹陷北部的拉张速率小而断陷速率大,且火山岩不发育,有利于烃源岩的大规模发育,而南部地区则相对不利于烃源岩的大量发育。通过分析研究区构造—沉积演化对储、盖层空间组合以及油气运移、成藏模式的影响认为,东濮凹陷发育异常压力,从洼陷带向中央隆起带和西部斜坡带,其压力逐渐降低,致使中央隆起带和西部斜坡带具有油气运聚的水动力学背景,为离心流的指向区,有利于油气在浮力作用下聚集成藏。研究区北部地区的生储盖组合和运聚条件均优于南部地区,北部地区更有利于油气的富集成藏。

关键词:构造格局 沉积演化 拉张速率 断陷速率 浮力 油气成藏模式 东濮凹陷

中图分类号:TE112.31

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2014)04-0050-04

东濮凹陷已历经40多年的油气勘探开发,于2004年进入精细勘探阶段,如何保持中长期储量的持续增长以及油气产量稳定是目前面临的重要问题。近年来,针对研究区的油气勘探重点围绕老区周边实施滚动勘探开发一体化部署,但对盆地油气宏观分布规律等研究的重视程度不够,在一定程度上制约了对研究区油气的长远、持续勘探。为此,笔者从盆地宏观角度出发,对东濮凹陷的地质结构和沉积演化特点、油气富集条件和分布规律进行重新认识,以期对研究区有利勘探目标的研究、评价及优选提供参考。

1 区域地质概况

东濮凹陷位于渤海湾盆地南缘临清拗陷的东南部,为多旋回叠合盆地^[1];受北北东向西倾断裂系和东倾断裂系活动的控制,具有东西分带、南北分区的构造—沉积格局,由东至西可划分为兰聊断裂带(陡坡带)、东部洼陷带、中央隆起带、西部洼陷带和西部斜坡带;其基底为太古界变质岩,沉积盖层包括下古生界、上古生界、三叠系和新生界^[2]。东濮凹陷自1975年濮参1井获得高产工业油气流以来,已发现19个油气田,其中绝大多数发育于新生代,占其总探明石油地质储量的99.6%。研究区新生代主要发育6个构造演化阶段,分别为初期断陷阶段(沙四段沉积时期—沙三段4亚段沉积时期)、强烈

断陷阶段(沙三段3亚段沉积时期—沙三段1亚段沉积时期)、萎缩阶段(沙二段沉积时期)、稳定下沉阶段(沙一段沉积时期)、收缩阶段(东营组沉积时期)和拗陷阶段(新近纪)。

2 构造—沉积演化对烃源岩发育的控制

2.1 构造拉张及沉降强度

东濮凹陷新生代的构造—沉积演化受地壳伸展变形和沉降变化的控制,每期拉张活动相应地引起基底的断裂、构造沉降和沉积发育。研究区古近系不同测线沉降量与拉张量的对比结果表明,其拉张量一般大于沉降量,二者大致成正相关。沉积上表现为在拉张活动增强时期形成细粒泥页岩沉积系列,拉张活动衰减时期形成粗粒碎屑沉积系列。东濮凹陷良好的烃源岩主要发育于拉张活动增强的沙三段沉积时期,粗粒碎屑沉积主要发育于拉张活动衰减的沙二段沉积时期。

田在艺分析渤海湾盆地演化与油气潜力关系时认为,有机质的丰度与拉张量和沉降量的比值具有密切关系^[2]。如果拉张量与沉降量的比值过大,则沉积充填很大程度上处于弱氧化或氧化条件下的浅水环境,不利于有机质保存,发育烃源岩的丰度一般较低;如果拉张量与沉降量的比值较小,则有机质的丰度较高,生油潜力较大。但值得注意的

是拉张量和沉降量未与沉积时期相联系,忽略了时间在有机质保存过程中的作用,因此,不同沉积时期的拉张速率与断陷速率的比值更能真实地反映构造—沉积演化与烃源岩发育的关系。对东濮凹陷沙三段沉积时期主要断层的拉张速率与断陷速率比值的分析结果表明(表1),其北部地区拉张速率与断陷速率的比值相对较小,多小于1,而南部地区拉张速率与断陷速率的比值相对较大,多大于1;反映在沙三段沉积时期研究区北部的拉张速率小

而断陷速率较大,有利于烃源岩的发育,而南部地区的烃源岩发育则相对较差。其中,兰聊断裂带南部及研究区南部黄河和马厂断裂带拉张速率与断陷速率的比值具有向南增大的特征,其控制洼陷的生油潜力亦向南变差,即葛岗集—固阳洼陷和孟岗集洼陷东部具有北部烃源岩发育好于南部的特征;但长垣断层为控制孟岗集洼陷西部的断层,其自南向北拉张速率与断陷速率的比值逐渐增大,因此孟岗集洼陷西部生油条件应为其南部好于北部。

表1 东濮凹陷自北向南主要断层不同沉积时期拉张速率与断陷速率的比值

| 断层名称 | 测线号 | 沙四段沉积时期 | 沙三段4亚段沉积时期 | 沙三段3亚段沉积时期 | 沙三段2亚段沉积时期 | 沙三段1亚段沉积时期 | 沙二段下亚段沉积时期 | 沙二段上亚段沉积时期 | 沙一段沉积时期 |
|------|--------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|
| 兰聊 | 87—346 | | 0.45 | 0.43 | 0.49 | 0.28 | 0.64 | 0.42 | 0.63 |
| | 87—264 | | 0.19 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.16 | 0.64 | 0.26 |
| 濮城 | 87—346 | | 0.92 | 0.94 | 1.15 | 0.5 | 0.87 | 0.71 | 1.89 |
| | H322 | | 1.85 | 1.4 | 0.44 | 0.25 | 0.54 | 0.43 | 0.5 |
| 长垣 | H276.5 | 2.94 | 1.01 | 0.95 | 0.91 | 0.89 | 0.59 | 0.79 | 0.78 |
| | 84—247 | | 1.14 | 0.44 | 0.4 | 0.32 | | 0.24 | 1.5 |
| 黄河 | H276.5 | | 2.33 | 2 | 1.22 | 1 | 0.93 | 0.92 | 1.5 |
| | 84—247 | | 4.71 | 3.16 | 1.67 | 3.57 | 2.78 | | |
| 马厂 | 84—271 | | 0.35 | 1.08 | 0.54 | 1.25 | | | |
| | 84—247 | | 1.15 | 2.86 | 2.55 | | | | |

2.2 火山岩分布

蒂索等通过对世界陆内张性盆地的研究后指出,火山岩的发育与富含有机质的潜在烃源岩的发育成反比^[3]。这可能是由于火山岩的发育反映盆地演化过程中存在岩浆的上拱作用,大量岩浆溢出或喷发活动可能导致地壳构造、沉积表面的固结或连接,影响了断陷沉降的继续进行,或造成断陷沉降中心的转移,不能形成持续沉降和沉积,从而影响烃源岩的稳定、持续发育。钻井资料揭示,东濮凹陷南部地区多套层系发育火山岩(主要为玄武岩),地震资料也反映出大面积分布的火山岩,因此可能导致研究区南部地区烃源岩发育要差于北部地区。

3 构造—沉积演化对储层发育的影响

东濮凹陷为克拉通内断陷盆地,其母岩为碳酸盐岩和碎屑岩,经过分化、剥蚀、再搬运后岩性变得更细;但碎屑物再沉积的净化作用和超高压(不均衡压实、水热增压与烃类的大量生成、较好的封闭层与成岩环境)作用仍保留一定的孔隙,且大多为次生孔隙^[4-5]。

研究区古近系发育不同类型的沉积体系(图1)。在西部斜坡带,由于地形坡度相对较缓,主要发育辫状河三角洲沉积体系;西部洼陷带和东部洼陷带主要发育滩坝、浊积扇和湖底扇沉积体系;受气候和物源供给双重因素控制,在中央隆起带发育三角洲和辫状河三角洲沉积体系,部分地区发育盐湖沉积体系;兰聊断裂带(陡坡带)主要发育扇三角洲和水上扇沉积体系,如毛岗和白庙扇三角洲沉积。自北向南,研究区的构造沉降整体呈现减小的趋势,受其影响可容纳空间也呈现由北向南减小的趋势。此外,南部地区的物源供给大于北部地区,造成研究区南、北沉积体系存在差异,主要表现在西部斜坡带和中央隆起带。研究区北部地区的可容纳空间较大,水体较深,以发育三角洲前缘亚相为主;南部地区由于物源供给量大,可容纳空间较小,水体较浅,主要以辫状河三角洲垂向加积为主。

东濮凹陷沙四段—沙三段砂岩经历了强烈的压实、胶结、溶蚀、交代和再溶蚀的改造过程,保留的原生孔隙极少,有效储层的储集空间主要为次生孔隙。镜下可见石英、长石次生加大从碎屑边缘开始向粒间孔隙方向逐渐生长,导致原始粒间孔隙的空间不断缩小,形成不规则的多边形残余粒间孔。

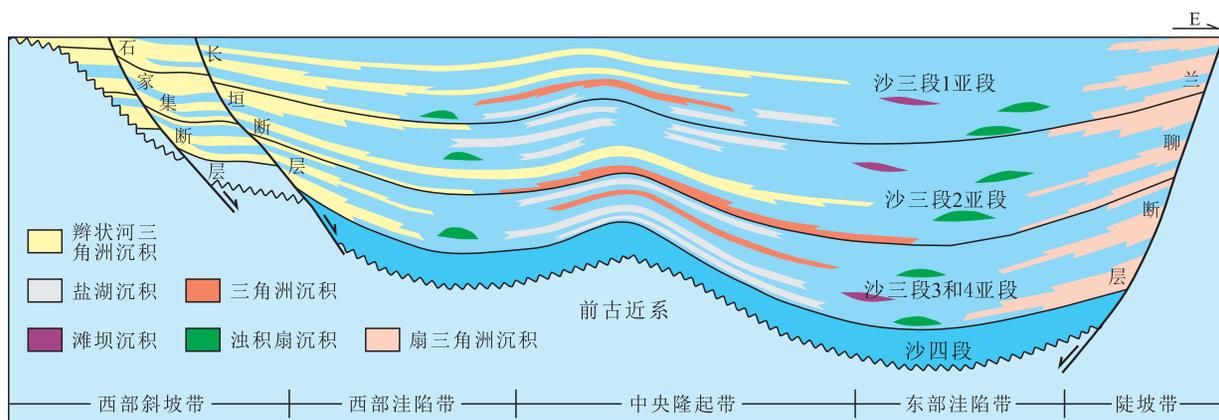


图1 东濮凹陷沉积充填模式

次生孔隙是储层在成岩过程中形成的,为研究区沙四段—沙三段砂岩的重要储集空间,以溶蚀型孔隙为主,主要为碎屑颗粒的粒缘溶解、填隙物的部分或彻底溶解产生的粒间孔隙。

4 构造—沉积演化对盖层发育的影响

东濮凹陷的区域性盖层主要为大面积稳定分布的位于多套盐岩与砂岩之间的深湖、半深湖相厚层泥页岩。研究区北部地区发育6套盐膏层,自下而上分别为文23盐岩(沙四段上亚段)、沙三段4亚段盐岩、卫城下盐岩(沙三段3亚段)、文9盐岩(沙三段2亚段)、沙二段上亚段盐岩及沙一段盐岩;主要分布于以文留和卫城构造为中心的区域,且各套盐岩的厚度和分布范围具有较大差异;研究区盐岩的发育除受凹陷边缘碎屑补给影响之外,还明显受控于成盐期的同沉积大断层,其中卫城下盐岩(沙三段3亚段)、文9盐岩(沙三段2亚段)、沙二段上亚段盐岩及沙一段盐岩的发育与深层气的聚集成藏密切相关^[6]。由于盐岩比较致密,孔喉半径较小,排替压力较高,因此易形成异常高压带,有利于油气的形成和保存。

研究区沙三段2—4亚段各湖泛时期沉积的厚层泥岩或膏泥岩也是较好的盖层^[7],且北部地区的泥岩或膏泥岩厚度大于南部地区;北部地区泥岩厚度最大的区域位于西部洼陷带,向东逐渐变薄;南部地区泥岩厚度最大的区域位于东部洼陷带,向西逐渐变薄。文明寨和卫城地区沙二段上亚段和沙一段均发育较厚的泥岩和膏泥岩,沙三段烃源岩层也是盖层,且具备生、盖条件,可形成多套含油层系;在新霍以南地区,沙二段上亚段泥岩变为砂、泥岩互层沉积,作为盖层的条件明显变差或已不具备

封堵条件;向南至马厂和三春集地区,由于东营组沉积末期的构造运动,造成沙二段以上地层严重剥蚀,缺失沙二段上亚段和沙一段盖层,其沙三段4亚段和3亚段的油气聚集成藏主要是由沙三段烃源岩作为盖层。

东濮凹陷沙三段盖层泥岩样品的实测结果表明,其总孔隙体积和孔径较小,孔隙度和渗透率较低,比表面积和排替压力较大;平均总孔隙体积为 0.021 m^3 ,平均孔径为 5.65 nm ,孔隙度平均值为 5.49% ,渗透率平均值为 $0.014 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,比表面积均大于 $10.5 \text{ m}^2/\text{g}$,排替压力均大于 10 MPa ,表明该套泥质盖层具有良好的封盖能力。

5 构造—沉积演化与油气运聚的关系

东濮凹陷是由众多单元半地堑以不同的联结和叠置方式组合而成的^[8]。除西部地区的部分区域和沙二段以后的构造格局表现为西断东超特征之外,多数半地堑构造表现为东断西超的特征;且东部走滑深大断裂(兰聊断层)对东濮凹陷的控制作用,导致其地质结构在宏观上表现为东断西超,地层具有东厚西薄、东深西浅的特征。构造—沉积演化在很大程度上控制了研究区的水动力环境,对盆地的油气运聚具有极大的影响^[9-10]。

东濮凹陷属于压实流盆地,盆地深部整体处于高压体系,自下而上发育超压带、过渡压力带和正常压力带(图2);且不同洼陷由于沉积和成烃演化的差异,其超压带发育的深度亦存在差异。不同的水动力环境具有不同的地层水特征,过渡压力带和超压带的地层水为 CaCl_2 型,水动力条件较弱,油气保存条件较好;正常压力带往往对应于地层水开启带,地层水为混合水型,氯离子含量低,总矿化度为

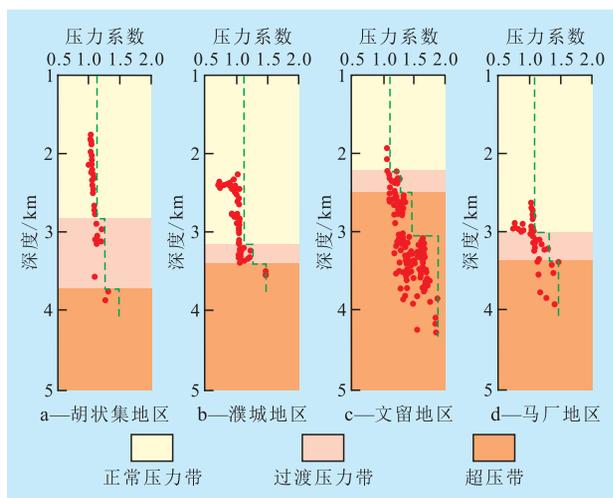


图2 东濮凹陷压力系数变化趋势

1 000~5 000 mg/L,水力条件较强,不利于油气的保存。此外,盆地沉降中心的水头值大于边缘部位,因此研究区地下水的平面运动趋势为自盆地沉降中心向边缘部位流动。由于东濮凹陷为极不对称的半地堑盆地,所以地下水的运动方式也是极不对称的,以自东向西运动占绝对优势。研究区的油气运移受浮力作用影响,其总体趋势是由盆地沉降中心的较深部位向盆地较浅和边缘部位呈发散状离心式流动,因此使东濮凹陷主要形成单边聚油的油气运聚特征。

6 油气成藏模式

东濮凹陷构造—沉积及生烃演化的分析结果

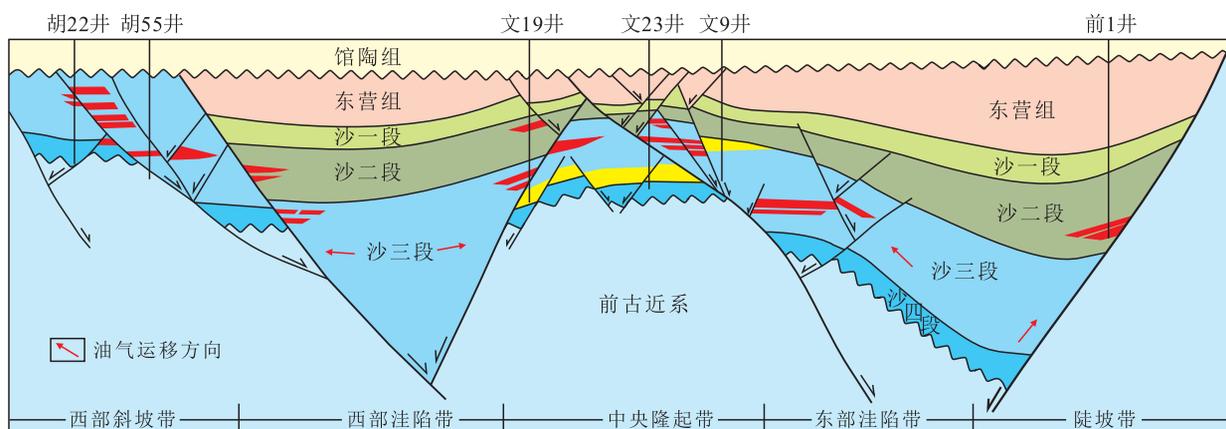


图3 东濮凹陷油气成藏模式

7 结束语

东濮凹陷具有东西分带、南北分区的构造—沉积特征,造成其内部的生油潜力和油气分布存在较大差异,油气主要分布于凹陷北部地区的中央隆起

表明,在沙三段1亚段沉积晚期至沙二段沉积早期,由于研究区整体向北抬升,导致北部地区地层翘起;而沙三段3和4亚段烃源岩在沙一段沉积时期进入生烃期,在沙一段沉积末期以及东营组沉积时期之后,烃源岩进入过成熟阶段,生成大量凝析油、湿气和干气^[11];因此,大量生成的油气向研究区北部大规模运移,致使北部地区的油气相对于南部地区更为富集,如中央隆起带北部的探明石油和天然气地质储量分别占东濮凹陷总探明石油和天然气地质储量的79%和76%。

东濮凹陷各构造单元具有不同的油气成藏模式(图3)。中央隆起带为研究区规模最大的继承性隆起,圈闭发育,两侧为凹陷主要的生油洼陷,有利于油气聚集成藏;其探明石油和天然气地质储量分别占东濮凹陷总探明石油和天然气地质储量的84%和94%,为凹陷主要的油气富集区带,主要发育构造和构造-岩性油气藏。西部斜坡带发育大量的顺向断层,且东侧为柳屯—海通集生油洼陷,有利于油气的侧向运聚,具有良好的油气成藏条件;西部斜坡带的探明石油地质储量占东濮凹陷总探明石油地质储量的13%,也是研究区主要的油气富集区带之一,主要发育构造、构造-岩性和地层油气藏。受东部边界兰聊断层走滑性质及物源供给影响,研究区陡坡带和洼陷带的储层发育相对较差,主要形成岩性油气藏,探明石油地质储量整体偏低,是下步油气勘探的主要方向之一,应进一步深入研究。

带和西部斜坡带。沙三段沉积时期研究区北部的拉张速率小而断陷速率大,且火山岩不发育,有利于烃源岩的大规模发育,而南部地区则相对不利于烃源岩的大量发育。东濮凹陷发育异常压力,从洼陷带向中央隆起带和西部斜坡带,其压力逐渐降

(下转第57页)