

渤海湾盆地文东地区膏盐岩与超压油气藏分布

梁正中^{1,2}, 袁 波¹, 常振恒¹, 孙照勇¹

(1 中国石化中原油田分公司勘探开发科学研究院, 河南濮阳 457001;

2 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘 要:渤海湾盆地东濮凹陷文东地区古近系沙三段发育有 2 套巨厚的膏盐层段, 盐岩在横向上具有分区性分布的特点, 盐湖沉积中心也随时间不断迁移。在实测压力资料统计的基础上发现, 地层压力在纵向上表现为浅层常压和深层超压典型结构。沙三中下亚段是超压发育主体层位, 超压顶界面深度约为 2 900~3 100 m, 由西向东埋深增加。东濮凹陷平面压力分布的整体状态与构造格局、沉降中心对应较好。文东地区对应超压—强超压发育中心, 超压的分布范围与膏盐岩的分布具有良好的对应关系。膏盐岩地层的压力和物性封闭的双重封闭机制是地层超压形成和保存的重要控制因素。膏盐岩及超压的存在对于烃源岩的发育、油气富集等具有重要的意义。

关键词:超压; 分布特征; 膏盐岩; 渤海湾盆地

中图分类号: P618.13 文献标识码: A

复杂的断裂、发育的膏盐岩和异常高压是东濮凹陷的特色, 也是影响油气富集成藏的重要地质条件。膏盐岩的发育及超压的存在对于烃源岩的发育、油气运聚成藏等具有重要的影响^[1,4], 随着研究区勘探开发程度的日益提高, 还存在许多制约油气勘探的深部成藏理论问题亟待研究, 因此, 膏盐岩与超压分布规律有待进一步明确。

1 区域地质背景

东濮凹陷是我国东部渤海湾盆地一个典型的富油气盐湖盆地, 南北分别与南华北盆地的中牟凹陷和临清坳陷的莘县凹陷相邻, 东西两侧分别

为鲁西隆起和内黄隆起(图 1)。文东油气田构造位置处于东濮凹陷中央隆起带文留构造东翼, 文东断层和徐楼断层以东到前梨园洼陷轴部附近, 为一北宽南窄呈 NNE 向延伸的狭长构造, 盐上和盐间、南部和北部构造的控制因素不同。盐上是由走向 NNE、西掉的徐楼断裂带和倾向 NE—SE 的地层形成的反向屋脊式构造; 盐间的北部, 为文东断层逆牵引形成的短轴背斜, 其上有文 13 和文 16 两个高点; 南部为东倾的地层与徐楼断层形成的反向屋脊式构造——文 88 高点。

文东构造带作为文留构造的一个重要次级构造单元, 其构造演化与地层分布特征符合文留地区的整体面貌。古近系沙河街组是研究区主要生储油岩系, 厚度约 5 000 m。在沉积序列上表现为 2 期大的沉积旋回: 沙四段—沙三段—沙二下亚段, 沙二上亚段—沙一段、东营组, 每一旋回沉积地层的颜色都表现为红—黑—红的演变规律。同时古近系也是本区的主要勘探开发目的层。

收稿日期: 2011-05-11

基金项目: 国家科技重大专项(2008zx05006); 河南省博士后科研项目

作者简介: 梁正中(1978—), 男, 博士, 主要从事石油地质研究工作。E-mail: lzzdatong@sina.com

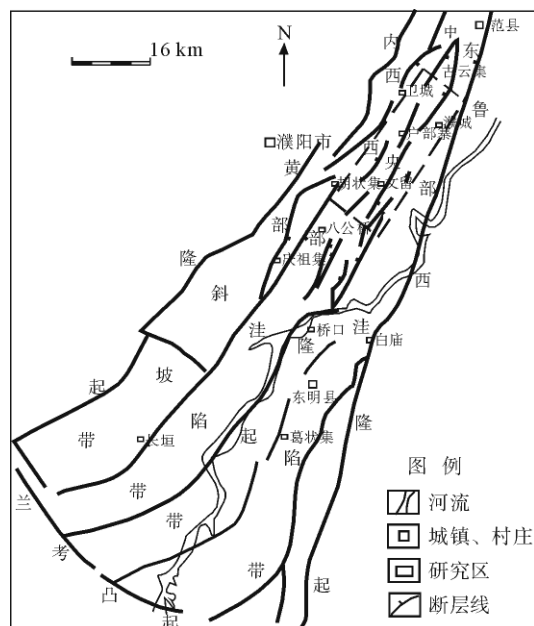


图 1 工区位置

Fig. 1 Location map of the study area

1976 年 10 月,文 2 井钻遇沙三中亚段高压气层发生井喷事故完钻,随后多口井均出现井喷现象,钻井直接反映了该区存在超压,引起了广泛关注。

2 膏盐岩发育特征

在东濮凹陷内古近系沙河街组最突出的沉积层序特征是沉积了多套巨厚的、分布广泛的膏盐层沉积,其中沙三段包括 3 套,即文 23 盐、卫城下盐、文 9 盐或卫城上盐,沙一段 1 套主要发育在沙一段中下部,另外在沙三上亚段和沙二上亚段局部地区也有发育。膏盐层在横向上具有不同的分布范围,表现为分区性的特点,且每一套盐在其沉积初期、中期和后期分布范围也都有较大变化。盐湖沉积中心随时间在不断迁移,亦即具有迁移性的特点(图 2)。各套盐的沉积厚度也不等,小则上百米,多则近千米。

东濮凹陷含盐地层一般在纵向上表现为由下向上呈砂泥岩→含膏泥岩→膏盐→盐岩→膏盐→含膏泥岩→砂泥岩的变化规律,准层序分析认为每个盐韵律都有一个完整的沉积序列,每一个序列由盐岩、膏岩、碳酸盐岩 3 部分组成,它们在垂向上依次沉积。前人对于东濮凹陷北部地区盐的成因曾有过多种解释,如物源说、深大断裂说、海

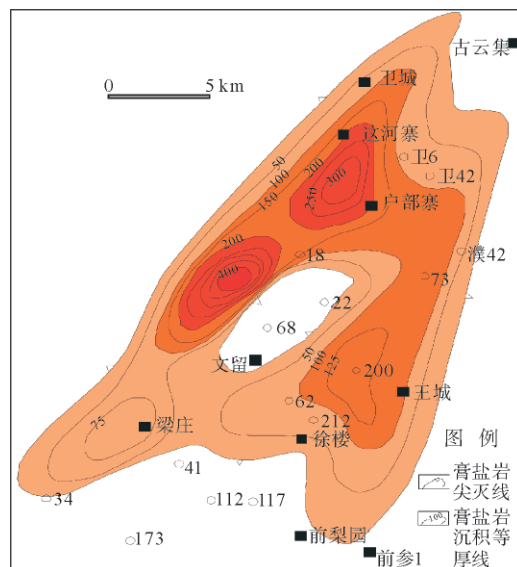


图 2 东濮凹陷盐岩等厚图(文 9 盐)

Fig. 2 Distribution of salt in Dongpu Depression

水侵入说等等^[5]。

3 超压分布与成因

3.1 纵横向分布特征

根据大多数盆地压力划分方案,结合东濮凹陷文东深层的实际压力状态,对本区压力系统作如下划分:压力系数 0.9~1.2 为正常压力;1.2~1.5 为弱超压,也是压力过渡带;1.5~1.8 为超压;大于 1.8 为强超压。通过对地层测试、钻井试油、RFT 资料的统计表明(图 3),文东正常压力带多对应于沙二段以上地层。沙三上亚段普遍出现弱超压,到沙三中下亚段是超压发育主体层位。超压顶界面深度约为 2 900~3 100 m,由西向东埋深增加。

东濮凹陷平面压力分布的整体格架与构造格局、沉降中心有着较好的对应关系。在沙四段和沙三下亚段早期盆地呈单断箕状,沉降和沉积中心都位于兰聊断层附近的前梨园洼陷,沙三下亚段的高压区也集中于东洼,向盆地西斜坡方向压力降低;在沙三段中期,为湖盆发育的深陷期,沉降和沉积中心逐渐向西部偏移,压力分布的特征是全区压力普遍较高,开始出现东、西洼分异,并且西洼的压力大于东洼;在沙三上亚段期间,中央

隆起带逐步形成,现今的“两洼一隆一斜坡带”的构造格局初步成形,相应的压力分布也呈现出“两高一弱一正常带”的大格局,即东、西两洼是高压和超高压的主要分布区,中央隆起带上的主体文留地区压力较低,西部断阶带基本为正常压力;在沙二下亚段期间“两高一弱一正常带”的大格局更为明显,中央隆起带上的文留主体还有一定的超压现象,西部断阶带和濮卫地区基本为正常压力。

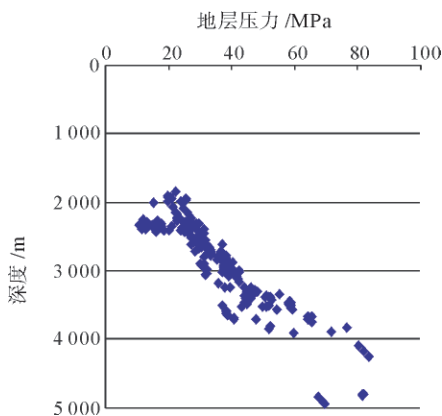


图3 实测压力剖面分布

Fig. 3 Distribution of measured pressure in a section

文东地区对应超压—强超压发育中心,深部地层压力系数普遍较大(图4)。以主要含油层系沙三中亚段分布特征为例,文东北部文13块和文16块构造主体压力系数可高达1.7~1.8,文13西块压力值最大;文13—文16两构造高点间鞍部相对较低。文东南部文88块超压较强,数口井压力最大至2.0左右。整体上文东构造主体向南北边部压力降低,文128北、文179南降低到1.4的弱超压范围。高部位向低部位压力呈现先减小再增大的趋势。

3.2 膏盐岩的封闭作用

对比膏盐岩与超压分布,文东地区膏盐层之下以超压为主,压力系数与膏盐岩的发育程度具有良好的对应关系(图5)。膏盐层之上的含油气层的压力系数为0.8~1.3,其下压力系数骤然上升至1.5~2.0。大量研究表明,膏盐层主要通过以下方式影响地层压力^[6,7]:

(1) 膏盐岩的物性封堵作用

由于膏盐层在温度压力增加时具有塑性强、易流动的特点,使裂缝与断层得以充填,从而使断

层和裂缝消失在膏盐岩盖层中而无法穿透并到达膏盐岩之上的岩层,使得异常压力没有因为断层穿透盖层而散失。同时膏盐岩具有很高的突破压力,对早期地层压力具有很好的保护作用。

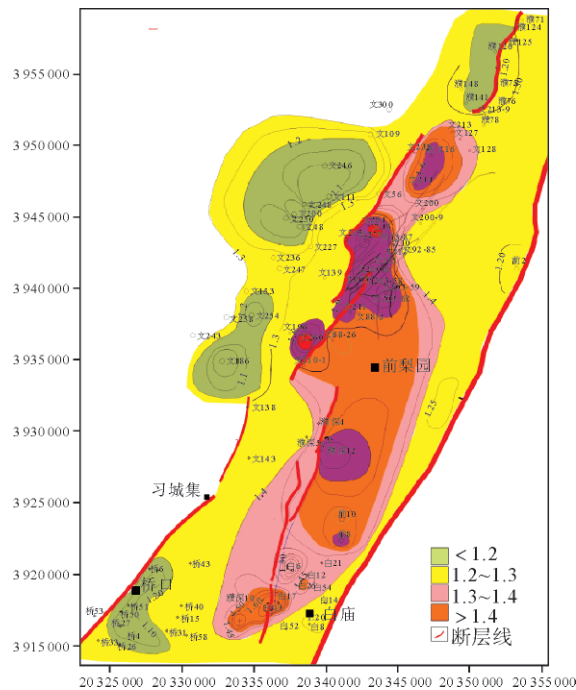


图4 文东地区沙三中亚段现今地层压力场分布(油井大地坐标)

Fig. 4 Isoline map of pressure coefficient of E_{s3} Formation

(2) 膏盐岩的压力封闭机制

当膏盐层埋藏达到一定深度时,石膏将转化成硬石膏,并脱出近一半体积的结晶水,这些水进入相邻的泥岩地层孔隙中,将增大岩层中的孔隙流体压力,导致地层压力异常。

(3) 膏盐岩层的自身特性

膏盐岩对压实作用具有很强抑制效应,造成其自身及其盐下地层的欠压实,从而形成了高异常压力^[8,9]。

3.3 断层的封闭机制

封闭的断层与稳定完整的构造形态是超压形成和保存的有利条件。文东构造带沙三中、沙三下亚段具有完整的滚动背斜形态且文东断层封闭性较好,对造成本区强超压起着重要作用。断层的封闭程度取决于主应力、岩性配置、泥岩沾污带以及产状配置关系等多种因素,在不同条件下断层的封闭性是不同的。即使是同一时期,断层不同部位的开启与封闭状态也可能是不同的。

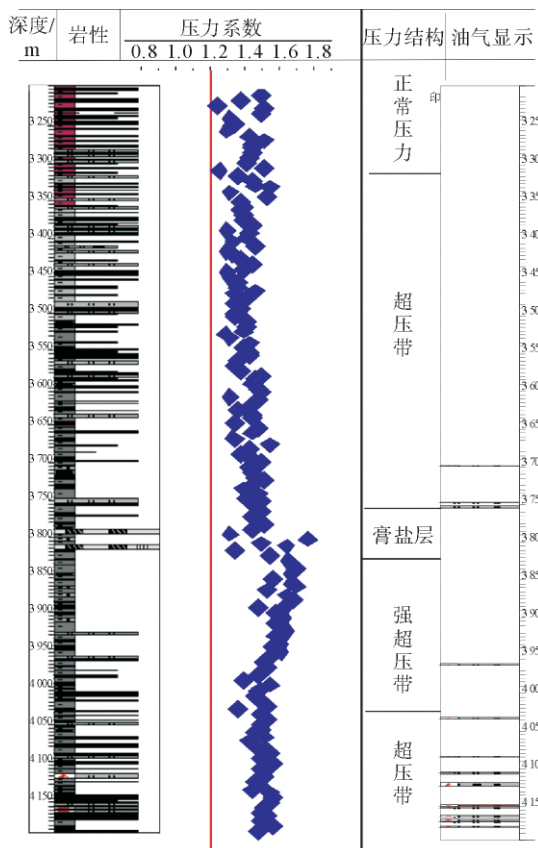


图 5 压力结构图形(文 203-59)

Fig. 5 Vertical distribution pattern of pressure

但膏盐岩的存在会增加断层的封闭性,其对断层的影响主要体现为涂抹作用。除了盐岩层直接通过断层对对盘砂体形成封堵外,由于盐岩的可塑、易溶、易结晶等特点,在断层断距不大的情况下可能会造成砂泥岩地层断开而盐岩层塑性形变并不断开的情况,这种现象被称为机械涂抹。即使盐岩层被断开,也可能因地下物理化学条件的改变而造成断层附近盐岩层的溶解和在断层破碎带中的重结晶,形成化学涂抹。因此,文东地区膏盐岩发育的普遍存在^[9],增强了断层的封闭性而利于产生超压。

4 对油气藏富集的影响

4.1 膏盐岩及超压的存在增加烃源岩物质基础

在我国东部陆相含膏盐沉积盆地,蒸发岩系发育的层位与生油岩形成的层位共存在一起。膏盐岩的形成环境有利于有机质的保存,并为转化成油气提供物质基础。当湖泊盐度增高,则进入

湖泊的各种生物不断地死亡堆积;而且大套膏盐岩的快速堆积,可使下伏暗色泥页岩快速与氧隔绝,形成弱氧化—还原环境,对于有机质的保存和向油气转化都是十分有利的^[10]。

另外,研究区强超压对有机质的热演化具有抑制作用。烃源岩的热演化程度比用常规热模拟方法预测的要低,如濮深 7 井沙三中亚段实测 $R_o = 0.8\% \sim 1.2\%$,沙四段实测 $R_o = 1.1\% \sim 1.5\%$,还处于凝析油阶段;而以往热模拟的结果则是 $R_o > 2\%$ 。濮深 7 井样品生烃量随压力的变化实验表明,当压力大于 67 MPa 时,样品的产烃量随压力升高而迅速减少。文东低部位的地球化学指标反映在深达 5 000 m 之下仍有含氧基团存在^[3]。超压抑制作用使深部烃源岩的生烃窗比常规生烃窗要大,东濮凹陷深层尚具有较高的生烃潜力,这增强了深层资源基础与晚期成藏条件。

4.2 膏盐层之下形成油气富集区

整个东濮凹陷北部油气的分布在垂向上和横向上都与膏盐岩有比较好的对应关系。4 套膏盐层段作为极好的盖层,控制了各层系油气藏的分布富集区^[11,12]。由于盐岩层非常致密,渗透性比纯泥岩要差很多,加之厚度大及本身地层压力高,所以,具有前述物性和超压双重封闭机制,致使与其同沉积的烃源岩生成的油气在各盐岩层之下富集成藏。文 23 盐层位于沙三下亚段中下部,其下富集了文留沙四段高产油藏;在文东高压油藏,文 9 盐层构成了油气的天然封隔层(图 6),对深层油气的聚集与保存至关重要。

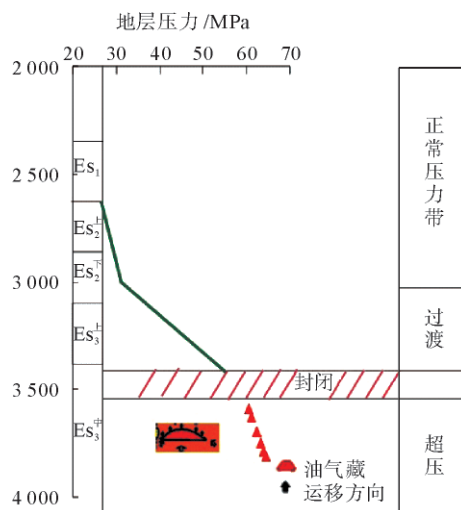


图 6 封存箱与油气藏分布

Fig. 6 Distribution of the oil-gas pool and compartment

5 结论

(1)东濮凹陷文东地区新生界古近系沙河街组沙三段最突出的沉积层序特征是沉积了2套巨厚的、分布广泛的膏盐岩层。

(2)沙三中下亚段是超压发育主体层位。文东地区对应超压—强超压发育中心,文东地区膏盐岩层之下以超压为主,压力系数与膏盐岩的发育程度具有良好的对应关系。膏盐岩对地层压力具有很好的保护作用。

(3)超压抑制作用使深部烃源岩的生烃窗比常规生烃窗要大,东濮凹陷深层具有较高的生烃潜力,增强了深层资源基础与晚期成藏条件。膏盐层构成了油气的天然封隔层,对深部油气的聚集与保存至关重要。

参考文献:

[1] Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormal pressure fluid compartment[J]. AAPG Bulletin, 1990,74(1):1-12.

[2] 马启富,陈斯忠,张启明,等.超压盆地与油气分布[M].北京:地质出版社,2000:156-215.

[3] 苏玉山,王生朗,张联盟,等.超压异常对东濮凹陷深层油气成藏的控制作用[J].石油勘探与开发,2002,29(4):84-92.

[4] 陈中红,查明.断陷湖盆超压分布特征及其与油气成藏的关系[J].石油学报,2008,29(4):509-515.

[5] 陈发亮.东濮凹陷下第三系沙河街组层序地层划分及盐岩成因探讨[J].沉积学报,2000,18(3):384-388.

[6] 刘晖,操应长,姜在兴,等.渤海湾盆地东营凹陷沙河街组四段膏盐层及地层压力分布特征[J].石油与天然气地质,2009,30(3):287-293.

[7] 陈中红,查明,金强.东营凹陷超压系统的幕式排气[J].石油与天然气地质,2004,25(4):444-447.

[8] 徐士林,吕修祥,杨明慧,等.库车坳陷膏盐岩对异常高压保存的控制作用[J].西安石油大学学报(自然科学版),2004,19(4):5-8.

[9] 孙锡文.渤南地区深层超压油气藏成因分析[J].断块油气田,2005,12(3):32-34.

[10] 梁杰,龚建明,成海燕.墨西哥湾盐岩分布对油气成藏的控制作用[J].海洋地质动态,2010,26(1):25-30.

[11] 周兴熙.封存箱辨义及主要类型[J].石油实验地质,2006,28(5):424-429.

[12] 许化政,周新科.渤海湾盆地东濮凹陷文留构造发育特征与气藏形成[J].石油实验地质,2003,25(6):712-720.

DISTRIBUTION OF EVAPORITES AND OVER-PRESSURED RESERVOIRS IN THE SHAHEJIE FORMATION IN THE EASTERN WENLIU AREA, DONGPU DEPRESSION, BOHAI BAY BASIN

LIANG Zhengzhong^{1,2}, YUAN Bo¹, CHANG Zhenheng¹, SUN Zhaoyong¹

(1 Exploration & Production Research Institute, Zhongyuan Oilfield, SINOPEC, Puyang 457001, Henan, China;

2 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Two thick sequences of evaporites consisting of gypsum and halite occur in the Paleogene Shahejie Formation of the eastern Wenliu Area, Dongpu Depression, Bohai Bay Basin. On the plane view, the distribution pattern of the evaporites is different from region to region, mainly depending upon the frequently shifting of depocenters with time. Statistics of the measured pressures suggest that the formation pressure of the Shahejie Formation shows a “double layer structure” consisting of upper normal pressure and lower abnormal high pressure. Very high abnormal pressure mainly occurs in the middle and lower part of the 3rd member of the Shahejie Formation. The top surface of the over-pressured zone ranges from 2 900 to 3 100 m in depth and gradually rises up from the west to the east. Formation pressure is closely related to the tectonic structure and depocenter. The occurrence of abnormal pressure matches well with distribution of the evaporite rocks. It suggests that the evaporite sequences act as seals of both pressure and physical property. The double seal mechanism is the key element to the formation of the abnormal pressure in the Dongpu Depression. The evaporite sequences and overpressure have great significance to the origin of hydrocarbon reservoir and the oil and gas accumulation.

Key words: over-pressure; distribution pattern; gypsum and halite; Bohai Bay Basin