

文章编号:1673-5005(2006)02-0011-05

博兴洼陷古近系沙四上和沙三段油气 成藏的差异性研究

苏永进^{1,2}, 蒋有录¹, 房新娜², 宋建勇³, 石世革³

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 胜利职业学院, 山东 东营 257097;
3. 胜利油田有限公司 纯梁采油厂, 山东 博兴 256504)

摘要:应用有机地球化学、高分辨率层序地层学和成藏动力学等研究方法,对博兴洼陷古近系沙四上亚段和沙三段两套烃源岩的油气成藏的差异性进行了研究。结果表明,虽然沙四上亚段和沙三段油气藏类型均为自生自储型的岩性或构造-岩性油气藏,但是它们在烃源岩特征、储层特征、成藏机制和油气藏特征等方面存在着明显的差异。研究区沙四上亚段成藏组合的烃源岩有机质顺层富集,异常压力较高,多为微裂缝幕式排烃,排烃效率高,在洼陷中心及南斜坡有利圈闭位置处分别形成泥页岩裂缝型油气藏和滩坝型构造-岩性油气藏。而沙三段成藏组合的烃源岩有机质较分散,局部富集,异常压力相对较低,主要依靠差异突破压力进行排烃,排烃效率较低,油气藏类型主要为滑塌浊积型岩性油气藏,其次为三角洲前缘型构造-岩性油气藏和火山岩遮挡型油气藏。

关键词:博兴洼陷; 沙四上亚段; 沙三段; 储集层特征; 油气藏类型; 成藏差异性

中图分类号:TE 122.22

文献标识码:A

Otherness on pool-forming in the upper E₂S₄ and E₂S₃ of Palaeogene in Boxing subsag

SU Yong-jin^{1,2}, JIANG You-lu¹, FANG Xin-na², SONG Jian-yong³, SHI Shi-ge³

(1. Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China;
2. Shengli Vocational College, Dongying 257097, Shandong Province, China;
3. Chunliang Oil Production Plant of Shengli Oilfield Limited Company, Boxing 256504, Shandong Province, China)

Abstract: Two sets of oil-bearing series, the upper E₂S₄ and E₂S₃ of Palaeogene in Boxing subsag, were studied by adopting organic geochemistry, high-resolution sequence stratigraphy and pool-forming dynamics. The results indicate that there is noticeable otherness in the characteristics of source rock, reservoir rock and forming mechanism of oil pools, though reservoir types both of them are all lithologic or structural-lithologic. For the upper E₂S₄ source rock, there are some typical characteristics, including richness in organic matter along the formation bedding, higher formation pressure, more efficient hydrocarbon expulsion by microfractures. The shale-cracked pools and the structural-lithologic pools of beach-dam can be formed respectively in the center and the south slope of the sag. But in the E₂S₃, the characteristics of source rock are distracting organic matter, only partly enrichment, lower formation pressure and less efficient hydrocarbon expulsion, which depends on differential breakthrough pressure. The lithologic pools of slip-turbidite are in a majority, the structural-lithologic pools of delta front and the lava-screened pools are in a minority.

Key words: Boxing subsag; upper E₂S₄; E₂S₃; reservoir characteristics; reservoir types; otherness on pool-forming

博兴洼陷位于济阳拗陷东营凹陷的西南部,古近系始新统沙河街组沙四上亚段和沙三段是本区主要的含油层系。区内油藏类型多为隐蔽性较强的岩

性油藏和构造-岩性复合型油藏。随着勘探程度的提高,此类隐蔽油藏已成为该区油气勘探的重点和增储上产的主要对象。近年来,在沙四上亚段发现

收稿日期:2005-09-20

基金项目:中石化集团公司重点科研项目(P02060)

作者简介:苏永进(1969-),男(汉族),山东荣成人,副教授,博士,主要研究方向为油气成藏机理。

的高 89 和博斜 24 以及在沙三段发现的樊 185、樊 182、樊 118 等油藏,均展示了博兴洼陷岩性油藏巨大的勘探潜力。然而,由于隐蔽油藏的形成机理和成藏规律等问题还没有完全搞清楚,尤其是沙四上亚段和沙三段分属两套相对独立的成藏组合,在油气成藏方面存在着明显的差异,这些都会影响勘探方法和勘探技术的选择和应用,也在一定程度上影响勘探的成效。因此,笔者分层系统地进行隐蔽岩性油藏形成机制的研究,搞清它们之间的成藏差异和各自成藏的主控因素,对于掌握油气藏分布规律、有的放矢地进行油气勘探具有重要的现实意义。

1 烃源岩特征差异

博兴洼陷具备发育岩性油藏的优厚烃源岩条件。根据济阳坳陷小洼陷分级标准(张春荣,1993),博兴洼陷属于二级洼陷,油源条件优越,沙四上亚段和沙三段的烃源岩层是本区主要的两套烃源岩。有机地球化学研究表明,博兴洼陷烃源岩的生油门限为 2600 m(对应 $R_o=0.5\%$);埋深达 3000 m(对应 $R_o=0.7\%$)后,进入大量生油时期^[1]。根据钻井资料,洼陷中大部分沙四上和沙三中下亚段烃源岩的埋深已达到生油高峰阶段,它们为本区的油气聚集提供了丰富的油气来源。油源对比分析显示,沙四上亚段和沙三段储层中的油气在色谱特征上具有明显的差异,它们来源于两种不同层系的烃源岩,分别称为“沙四型”和“沙三型”烃源岩。

“沙四型”烃源岩主要分布在沙四上亚段,以深灰色泥岩、灰质泥岩为主,夹薄层油页岩、白云岩、白云质灰岩、致密灰岩,呈韵律层分布,纹层极为发育。从泥岩微量元素分析看, $w(Sr)/w(Ba)$ 值为 1~2,硼含量为 $(46\sim130)\times10^{-6}$,古盐度大于 1.5%,属半咸水—咸水较深湖相沉积;从层序结构上看,属湖扩展体系域。烃源岩属富含藻类的腐泥型有机质,有机质顺层富集,干酪根类型以 I 型为主,占 70%以上, I + II₁ 型占 96%,是一套优质烃源岩。该套烃源岩的特点是姥植烷比小于 0.5,具植烷优势,含有较丰富的 γ -蜡烷^[1,2]。

“沙三型”烃源岩主要集中在沙三中、下段,生物标志物中 γ -蜡烷含量低,姥植烷含量高,姥植烷比大于 0.8。其中沙三下亚段烃源岩以灰褐色油页岩夹深绿色泥岩为主,有机质丰富,以腐泥型为主,微量元素 $w(Sr)/w(Ba)$ 值为 0.3~3.5,平均为 1.1,硼含量为 $(75\sim104)\times10^{-6}$,古盐度为 0.2%~1.55%,表明该烃源岩层系形成于潮湿、微咸深水环

境,有机质类型以 I 和 II₁ 型为主, II₂ 型为辅。沙三中亚段烃源岩主要为灰色、深灰色块状泥岩夹油页岩,有机质以腐殖—腐泥型为主,分布较为分散,局部呈富集型,形成于快速堆积的前三角洲亚相, $w(Sr)/w(Ba)$ 值远小于 1,古盐度为 0.05%~0.15%,属淡水环境,有机质类型以 II₁ 和 II₂ 型为主, III 型为辅^[3]。

2 储集层特征差异

由于沉积演化的多期性、旋回性以及期次的强弱不同等沉积特征,决定了博兴洼陷沙河街组沙四上亚段和沙三段储集体的砂体类型、层序位置等有所不同。

根据区域层序地层的研究结果,济阳坳陷古近系 $E_{1+2}k-E_{2}S_4$ 和 $E_{2}S_3-E_{2}S_2^f$ 为两个完整独立的二级层序^[4]。在博兴地区 $E_{1+2}k-E_{2}S_4$ 二级层序中,沙四段为一个较完整的三级层序,其重点层位 $E_{2}S_4^+$ 包括 II MSC1(纯上)和 II MSC2(纯下)两个中期旋回(图 1)。

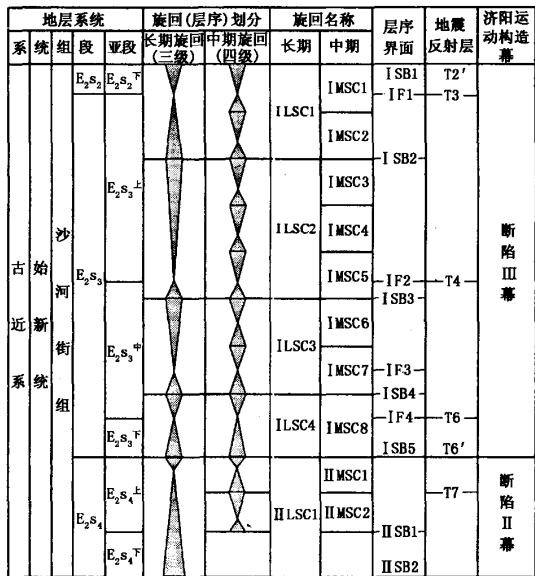


图 1 博兴洼陷古近系始新统层序划分

纯上旋回以基准面上升期发育为主,属较深湖水相,形成稳定分布的油页岩、灰质泥沉积;而纯下旋回以基准面下降期发育为主,属滨浅湖相沉积,为滩坝砂岩储层主要发育段。在 $E_{2}S_3-E_{2}S_2^f$ 二级层序内部,以基准面下降到上升的沉积转换面以及较大规模的洪泛面为界,可划分出 ILSC4—ILSC1 等 4 个长期基准面旋回(相当于 3 级层序)和 IMSC8—IMSC1 等 8 个中期旋回(大致相当于 4 级层序)。

沙四上亚段沉积时期,博兴洼陷在经历了孔店组—沙四段早期短暂上升剥蚀后开始沉降,气候由干旱转为湿润,湖盆水域扩大但水体较浅,有利于南斜坡滩坝砂体的沉积,其中纯下亚段中期基准面旋回内存在多个准层序,反映沉积中期湖水存在频繁的短暂波动。根据高分辨率层序地层分析以及沉积作用的研究,坝砂主要形成于基准面短期旋回的下降期,而滩砂主要形成于短期旋回的上升期。坝砂为较有利的储集体,岩性多为灰色粉细砂岩,孔渗性较好,如高89井沙四上钻遇5层坝砂共13.6 m,单层厚度大于2 m,孔隙度为13%~21.6%,渗透率可达 $(10\sim 21)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;而滩砂多为粉砂岩,泥质、灰质粉砂岩与泥岩呈薄互层,单层厚度小于2 m,物性相对较差,孔隙度为7%~10%,渗透率仅为 $(0.4\sim 1.5)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

沙三段沉积时期,博兴洼陷的沉积作用主要受到来自鲁西隆起、高青凸起和鲁西隆起东南部三大物源体系的控制,发育有辫状河三角洲、近岸水下扇、浊积扇、滑塌浊积岩、湖泊等几种主要沉积相。根据高分辨率层序地层学的研究, $E_2s_3-E_2s_2^{\text{下}}$ 二级层序内IMSC8—IMSC5各中期旋回的上升半旋回对滑塌浊积扇(岩)岩性圈闭的发育最有利,为本地区沙三段主要的储集层段。

3 成藏机理差异

异常高压流体封存箱内的岩性圈闭能否形成油气藏,主要取决于成藏动力(剩余围岩压力)与成藏阻力(等效排烃压力)的相对大小^[5]。而烃源岩结构和异常压力的不同,又影响着有效烃源岩的排烃和油气进入储集体的聚烃过程。

博兴洼陷异常高压带一般在2300 m左右出现,层位大都与沙三段大套泥岩的出现有关,大致相当于流体封存箱的“顶板”,与邻近的纯化地区相比,具有异常压力起始深度深、压力系数较小的特点^[6]。在流体封存箱内不同位置和深度处,泥岩的压力变化复杂,加之有效烃源岩结构的不同,造成沙四上亚段和沙三段油藏在成藏机制上的明显差异(图2)。

研究区沙四上亚段大部分烃源岩异常压力较高,压力系数多在1.3~1.5,泥岩孔隙压力(排烃动力)超过了岩石的机械阻抗(排烃阻力),产生大量的微裂缝,形成超压流体释放的通道,进行了幕式排烃和混相涌流,属微裂缝幕式排烃^[7,8]。此形式排烃深度和范围大,排烃效率高。此外,由于沙四上广泛

发育的致密灰岩夹层的阻隔作用,垂向上形成了多个次级或更次一级的流体封存箱,使得烃源岩始终保持较高的异常压力和排烃效率,排出的油气沿着微裂缝顺层侧向运移,运移至有利岩性圈闭位置处聚集成藏。

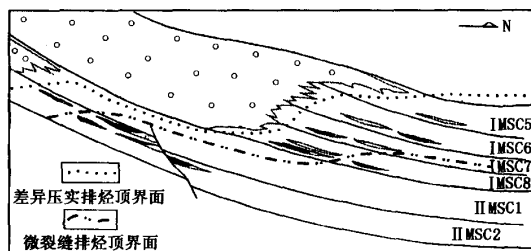


图2 博兴洼陷地区岩性油藏成藏机制模式

沙三段烃源岩异常超压相对较低,压力系数多为1.2~1.3,主要依靠差异突破压力进行排烃。当泥岩孔隙压力(排烃动力)达到或超过烃源岩的毛管排驱压力(排烃阻力)时,烃源岩中的流体以独立相态——油相的形式被排出。其排出流体的过程是阶段式的,排烃深度和范围小,排烃效率低。发育在烃源岩中的岩性圈闭若达到聚烃条件(成藏动力>成藏阻力)时,则油气充注成藏。

4 油藏特征差异

博兴洼陷沙四上亚段和沙三段油气藏分属两套不同的成藏组合,不同的成藏背景可造成不同的层位和类型,砂体的油藏特征也不相同。

沙四上亚段的油藏类型主要为裂缝型油藏和滩坝型构造-岩性油藏。位于洼陷中心部位富含钙质的泥质岩和较高的异常压力是形成泥岩裂缝型油藏的重要条件。高7井沙四上层位的3309.0~3325.8 m井段即是已被证实的典型泥岩裂缝型油藏^[9],此类油气藏将成为博兴洼陷地区勘探后期的新领域。滩坝型油藏的形成是沙四上亚段烃源岩生成、排出的油气,顺层运移至洼陷南斜坡有利圈闭位置处聚集的结果,油藏类型多为构造-岩性型(图3)。平面上,古地貌控制了滩坝砂岩的储层性质、分带展布以及油气的运移指向。鼻状构造和次级鼻状构造成为油气运移的主要方向,沉积转换位置处(鼻状构造侧翼、水下高地周缘及构造转折处)最易形成坝砂,是沙四上油藏最有利的发育区,“滩中找坝”成为沙四上油藏勘探的重点任务。

沙三段油藏类型主要为滑塌浊积型岩性油藏、三角洲前缘型构造-岩性油藏和火山岩遮挡型油气

藏(图4)。滑塌浊积型岩性油藏主要集中在洼陷中心附近,其分布主要受异常压力和断层发育程度的控制。三角洲前缘型砂体的油气成藏主要受盖层厚度和断层封闭性的影响,前缘型砂体的中心部位泥岩隔层较薄,但其周缘泥岩厚度明显增加,足以封盖

住油气,应在前缘型砂体的周缘追寻分布较稳定的泥岩隔层,寻找砂岩尖灭或断层-岩性圈闭,以期获得前缘型构造-岩性油藏勘探的突破。火山岩遮挡型油气藏的形成主要受火山岩分布的影响,火山岩以侧向遮挡作用为主。

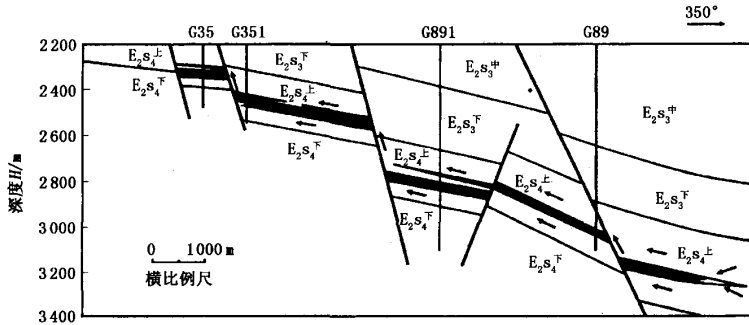


图3 博兴洼陷地区沙四上亚段成藏模式

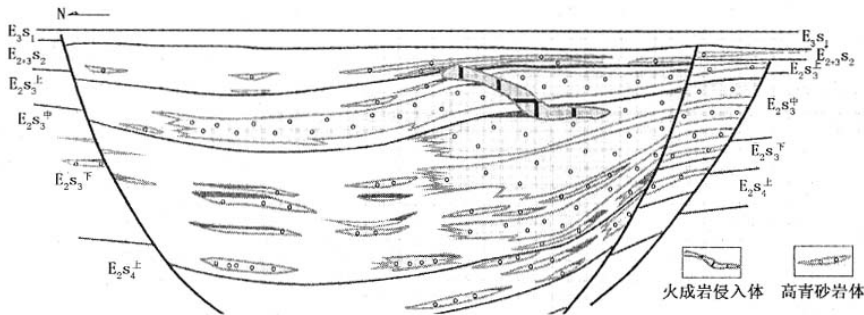


图4 博兴洼陷地区沙三段成藏模式

5 结论及认识

(1) 自生自储型岩性油藏的成藏差异性主要表现在有效烃源岩、储集层特征以及成藏机理(主要为排、聚烃机制)、油藏特征等方面的不同。

(2) 博兴洼陷沙四上亚段烃源岩以泥页岩为主,有机质顺层富集,多属优质烃源岩;而沙三段烃源岩多为块状泥岩,有机质分布较分散,局部富集。

(3) 沙四上亚段包括纯上和纯下两个中期旋回,纯下亚段为滩坝砂岩储层主要发育段,其中坝砂为较有利的储集体,主要形成于基准面短期旋回的下降期;滑塌浊积扇(岩)是沙三段油藏的主要储集体, $E_{2s3}-E_{2s2}^F$ 二级层序内 IMSC8—IMSC5 各中期旋回的上升半旋回为滑塌浊积扇(岩)岩性圈闭的主要发育层段。

(4) 研究区沙四上亚段烃源岩异常压力较高,烃源岩生成的油气主要通过微裂缝进行幕式排烃,排烃范围大、效率高;沙三段烃源岩异常压力相对较低,主要通过差异突破压力排烃,排烃范围小、效率

低,油气多就近聚集成藏。

(5) 研究区沙四上亚段、沙三段的油气成藏分属两套不同的成藏组合,沙四上亚段油藏类型主要为裂缝型油藏和滩坝型构造-岩性油藏;而沙三段油藏类型主要为滑塌浊积型岩性油藏,其次为三角洲前缘型构造-岩性油藏和火山岩遮挡型油气藏。

参考文献:

- [1] 杨楚鹏,陈建渝. 博兴洼陷油气成因类型及深层勘探潜力[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(3): 34-36.
YANG Chu-peng, CHEN Jian-yu. Petroleum genetic types and in depth exploration potential in the Boxing subsag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(3): 34-36.
- [2] 谭丽娟,蒋有录,苏成义,等. 东营凹陷博兴地区烃源岩和油源特征[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2002, 26(5): 1-4.
TAN Li-juan, JIANG You-lu, SU Cheng-yi, et al. Characteristics of hydrocarbon source rock and oil-source correlation in Boxing area of Dongying depression[J].

- Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 26(5): 1-4.
- [3] 王永诗, 金强, 朱光有, 等. 济阳拗陷沙河街组有效烃源岩特征与评价[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 53-55.
- WANG Yong-shi, JIN Qiang, ZHU Guang-you, et al. Characterization of the effective source rocks in the Shahejie formation of the Jiyang depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 53-55.
- [4] 石世革, 张宇. 博兴洼陷西部沙河街组三段层序地层分析与岩性圈闭预测[J]. 矿物岩石, 2003, 23(3): 87-91.
- SHI Shi-ge, ZHANG Yu. The sequence stratigraphy analysis and lithological trap prediction of E_3 in the west of Boxing subsag[J]. J Mineral Petrol, 2003, 23(3): 87-91.
- [5] 王宁, 翟剑飞, 陈宝宁. 等效排烃压力及其在东营凹陷油气勘探中的应用[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2000, 24(4): 58-60.
- WANG Ning, ZHAI Jian-fei, CHEN Bao-ning. Equivalent charging pressure and its application to oil and gas exploration in Dongying depressin[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2000, 24(4): 58-60.
- [6] 隋凤贵. 东营断陷盆地地层流体超压系统与油气运聚成藏[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(3): 17-21.
- SUI Feng-gui. Effect of formation superpressure system on hydrocarbon migration and accumulation in Dongying fault basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(3): 17-21.
- [7] 郝石生, 柳广弟, 黄志龙, 等. 油气初次排运的模拟模型[J]. 石油学报, 1994, 15(2): 21-30.
- HAO Shi-sheng, LIU Guang-di, HUANG Zhi-long, et al. Simulation models for primary hydrocarbon migration[J]. Acta Petrolei Sinica, 1994, 15(2): 21-30.
- [8] 陈中红, 查明, 陈建平, 等. 断陷盆地烃源岩压实排烃的非均一性分析——以东营凹陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(2): 12-14.
- CHEN Zhong-hong, ZHA Ming, CHEN Jian-ping, et al. Heterogeneity analysis of compaction and hydrocarbon expulsion from source rocks in faulted basin—taking Dongying sag as an example[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(2): 12-14.
- [9] 蒲玉国, 荣启宏, 宋建勇, 等. 东营凹陷纯梁地区滚动勘探开发潜力分析[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(6): 18-22.
- PU Yu-guo, RONG Qi-hong, SONG Jian-yong, et al. Potential analysis for progressive exploration and development in Chunliang oil zone of Dongying sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(6): 18-22.

(编辑 刘艳荣)

“陆相湖盆层序地层学研究及其在油气勘探开发中的应用” 获国家科技进步二等奖

近日,由中国石油大学(华东)牵头,中国地质大学(北京)、胜利油田有限公司等单位参加完成的科研项目“陆相湖盆层序地层学研究及其在油气勘探开发中的应用”获得2005年度国家科技进步二等奖。

该项目在陆相湖盆层序地层学理论和陆相湖盆层序地层学在油气勘探开发中的应用方面都取得了一系列创新性成果,科研人员结合我国陆相含油气盆地的油气勘探开发实践,通过近十年的科技攻关,将诞生于海相盆地的层序地层学理论和方法成功地应用于陆相湖盆沉积研究中,建立了具有湖盆特色的陆相层序地层学理论体系和研究方法,并形成实用有效的运用层序地层学进行油气勘探开发的配套技术,为陆相含油气盆地的“增储上产”提供了重要的理论保障。

该项目取得的研究成果及时应用到油田勘探开发生产实践中,先后在我国东部含油气盆地中成功预测了十余个含油气区块,并对老油田重新进行了精细描述和挖潜。该项目组先后在《AAPG Bulletin》、《中国科学》、《沉积学报》等国内外知名刊物和第三十届国际地质大会、第十四届国际沉积学大会等国际性会议上发表论文50余篇,其中被SCI、EI、CA、PA等收录25篇,公开出版专著5部。

(摘自中国石油大学(华东)校园网)