

高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏 成藏体系及主控因素研究

董才源^{1,2}, 刘震², 刘启东³, 罗贝维¹, 李储华³, 王伟俊¹

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 2. 中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司 地质科学研究院 江苏 扬州 225009)

摘要: 基于控藏断层封闭性能演化、油藏含油层位和戴南组“五高导”泥岩段生烃能力的差异, 高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏成藏体系可分为3种类型, 依次为自源型、它源型和混源型油气成藏体系。自源型成藏体系主要分布在邵伯、樊川次凹深处, 典型油藏为邵深1油藏; 它源型油藏主要分布在马家嘴、周22和邵18等油藏区域; 混源型油藏以联3、联7和永22等油藏为代表。高邮凹陷戴南组断层—岩性圈闭成藏主要受油源和运移通道控制, 即“二元主控”。在成藏体系分布和主控因素分析的基础上, 提出黄珏—马家嘴、联盟庄—永安和曹庄—肖刘庄地区是高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏分布的最有利区带。

关键词: 断层封闭性; 二元主控; 成藏体系; 断层—岩性油藏; 高邮凹陷; 苏北盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Accumulation system and controlling factors of fault – lithologic reservoirs of Dainan Formation in Gaoyou Sag, Northern Jiangsu Basin

Dong Caiyuan^{1,2}, Liu Zhen², Liu Qidong³, Luo Beiwei¹, Li Chuhua³, Wang Weijun¹

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 3. Geoscience Institute, SINOPEC Jiangsu Oilfield Company, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Based on the studies of fault sealing evolution, oil-bearing formation and hydrocarbon generation ability of highly-conductive mudstones in the Dainan Formation, the fault – lithologic reservoir systems of the Dainan Formation in the Gaoyou Sag have been classified into 3 types, including self-sourced, other-sourced and mixed-sourced. The self-sourced accumulation systems mainly locate in the deep Shaobo and Fanchuan Sags, and the Shaoshen1 reservoir is typical. The other-sourced accumulation systems mainly distribute in the Majiazui, Zhou22 and Shao18 reservoirs. The mixed-sourced accumulation systems are represented by the Lian3, Lian7 and Yong22 reservoirs. The fault – lithologic reservoirs of the Dainan Formation in the Gaoyou Sag are controlled by 2 elements, oil source and migration pathway. The favorable zones for exploration include Huangjue – Majiazui, Lianmengzhuang – Yongan and Caozhuang – Xiaoliuzhuang.

Key words: fault sealing; two controlling factors; accumulation system; fault – lithologic reservoir; Gaoyou Sag; Northern Jiangsu Basin

前人对油气成藏体系及主控因素进行过一系列研究^[1-6], 并把这一理论应用于各含油气盆地^[7-13]。苏北盆地高邮凹陷成藏体系及主控因素的研究尚不完善, 主要表现为2点: 第一, 高邮凹陷成藏体系研究较少, 尤其是针对断层—岩性油藏成藏体系的研究更为薄弱; 第二, 断层—岩性油藏成藏主控因素不够集中。本文以断层封闭性演化史、油藏含油层位和戴南组“五高导”泥岩段生烃能力

的研究为起点, 对高邮凹陷断层—岩性油藏成藏体系进行划分, 并总结断层—岩性圈闭成藏主控因素, 指出断层—岩性油藏的有力分布区带, 以期进一步推动高邮凹陷油气勘探和储量增长。

1 研究区概况

高邮凹陷是苏北盆地内的一个次级凹陷, 位于东台拗陷中部, 为一典型的南断北超箕状凹陷, 东

收稿日期: 2012-07-20; 修订日期: 2013-05-02。

作者简介: 董才源(1986—), 男, 博士生, 从事地层岩性油气藏勘探、天然气地质与勘探研究。E-mail: dcaiyuan@163.com。

基金项目: 国家重大科技专项(2008ZX05007-002)。

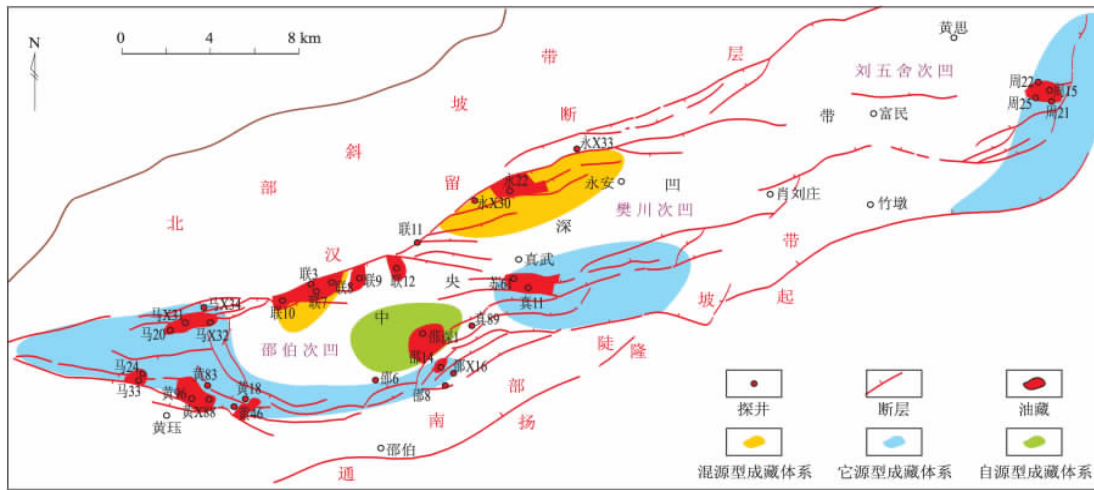


图 1 苏北盆地高邮凹陷断层—岩性油藏平面分布

Fig. 1 Plane distribution of fault - lithologic reservoirs in Gaoyou Sag

邻白驹凹陷,南以通扬隆起与吴堡低凸起相邻,北以平缓的斜坡与柘垛低凸起相通,面积为 2 670 km² (图 1) [14-17]。据第三次资源评价结果,高邮凹陷内天然气总资源量 187 × 10⁸ m³,石油总资源量为 2.94 × 10⁸ t,已探明天然气储量 3.39 × 10⁸ m³,探明石油储量 17 150 × 10⁴ t,石油资源探明率为 58.3% [18]。从资源探明程度来看,高邮凹陷属于高成熟探区,但岩性类油气藏认识程度较低,勘探发现潜力巨大。近年来在戴南组和三垛组相继发现了一大批断层—岩性类油藏,如联 30、马 24、马 33 等,预示着断层—岩性油藏勘探的良好前景。

戴南组位于阜宁组之上、三垛组之下,进一步划分为戴南组二段和一段。戴南组一段上部为 1~5 层黑色泥岩夹浅灰色砂岩,即戴一段上部“五高导”标志层;下部浅灰色砂岩与浅灰、灰黑色泥岩呈不等厚互层。地层厚度南厚北薄,最大厚度达 900 多米;北部斜坡地带地层逐渐向斜坡高部位超覆、尖灭,富含法卡里全星介化石。在垂向剖面上,由下到上组成由粗至细沉积旋回。戴南组二段主要为暗棕色夹浅灰—灰黑色泥岩、粉砂质泥岩与浅棕—浅灰色粉细砂岩、细砂岩呈不等厚互层,地层厚度一般为 150~400 m,最厚达 900 m,向北斜坡部位地层厚度逐渐变薄、尖灭。在垂向剖面上,由上至下组成粗—细—粗的沉积旋回。高邮凹陷戴南组沉积期,随着湖盆的演化,在不同发展阶段发育了规模不等的三角洲、近岸水下扇、扇三角洲和湖底扇等沉积相类型 [18-19]。

2 油气成藏体系分析

2.1 油气成藏体系划分

油气成藏体系的划分方法多种多样,主要指标

包括烃源岩属性、油气成藏体系所处的地理位置、盆地位置或大地构造位置、油气成藏体系发生的地质时代、油气成藏体系的结构类型及其它特征等 [3 20-23]。本文按照控藏断层封闭性能演化、油藏含油层位和“五高导”泥岩段生烃能力的不同,将高邮凹陷断层—岩性油藏成藏体系分为 3 种类型,即自源型、它源型和混源型油气成藏体系 (表 1)。

2.1.1 自源型成藏体系

自源型成藏体系中戴南组“五高导”泥岩段生烃能力较强,控藏断层在成藏期与现今皆封闭,油气分布层位较为集中。因为控藏断层在成藏期与现今都封闭,故断层不能作为油气运移的通道,油气主要由生烃能力较强的戴南组“五高导”泥岩提供,含油层位在戴南组底部集中分布也是油气只有“五高导”泥岩这一单一来源的重要佐证 (图 2)。

如邵深 1 油藏控藏断层古今封闭性对比图 (图 3) 所示,控藏断层现今正应力为 25 MPa,成藏期断层正应力为 20.2 MPa,皆大于断层封闭性临界值为 13.8 MPa,因此断层并不能作为油气输导通道。邵深 1 并在 E₂d₁ 底部 3 322.37~3 327.89 m 处钻遇油浸级别油砂 1.88 m,地化分析显示,其饱和烃色谱色质均具有以上“五高导”烃源岩的典型特征 (图 4、5),

表 1 高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏成藏体系划分
Table 1 Division principle of petroleum accumulation system of fault - lithologic reservoirs of Dainan Formation in Gaoyou Sag

成藏体系类型	断层封闭性	含油层位	“五高导”生烃能力
混源	古启今封	分散	强
自源	古封今封	集中	强
它源	古启今封	分散	弱

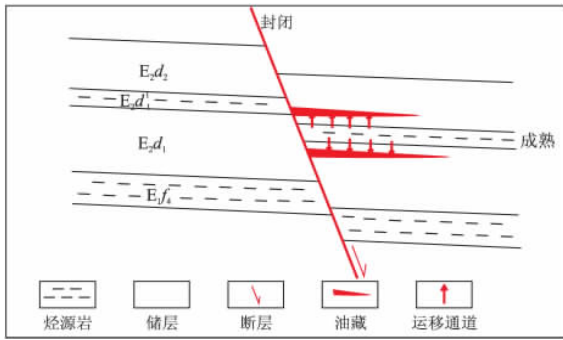


图 2 自源型成藏体系模式

Fig. 2 Model of self-sourced accumulation system

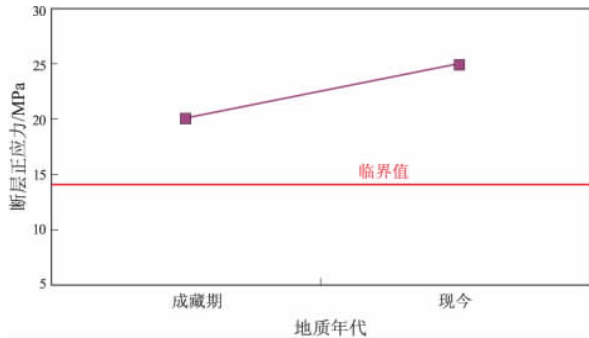


图 3 高邮凹陷邵深 1 油藏控藏断层古今封闭性对比

Fig. 3 Contrast of sealing ability between present and ancient faults in Shaoshen1 reservoir of Gaoyou Sag

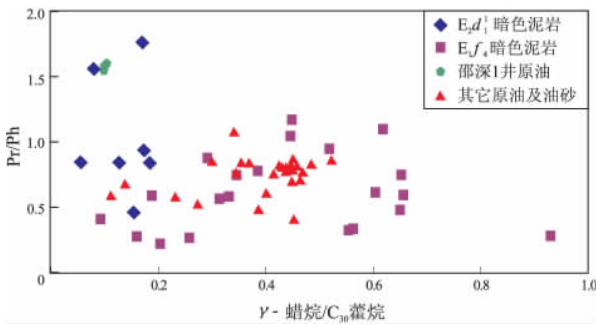


图 4 高邮凹陷阜四段与“五高导”段暗色泥岩 Pr/Ph 和伽马蜡烷指数变化

Fig. 4 Pr/Ph vs. gammacerane index of dark mudstones from 4th member of Funing Formation and highly-conductive formation in Gaoyou Sag

与阜四段烃源岩及以阜四段为源的原油差异显著。该井的钻探证实了“五高导”暗色泥岩具有一定的生烃潜力,打破了对其生烃能力的质疑,证实了戴南组内部自生自储油藏,开辟了深凹带油气勘探的新领域。综上所述,认为邵深 1 油藏发育典型的自源型油气成藏体系。

2.1.2 它源型成藏体系

它源型油藏成藏体系中戴南组“五高导”泥岩段生烃能力较弱,断层成藏期开启、现今封闭,油气分布层位较为分散。因为生烃能力较弱,所以“五高

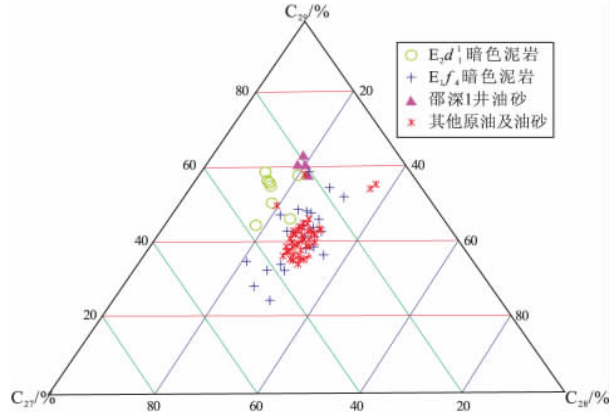


图 5 高邮凹陷阜四段与“五高导”段暗色泥岩 C₂₇-C₂₈-C₂₉ 规则甾烷相对组成三角图

Fig. 5 Distribution of C₂₇-C₂₈-C₂₉ regular sterane of dark mudstones from 4th member of Funing Formation and highly-conductive formation

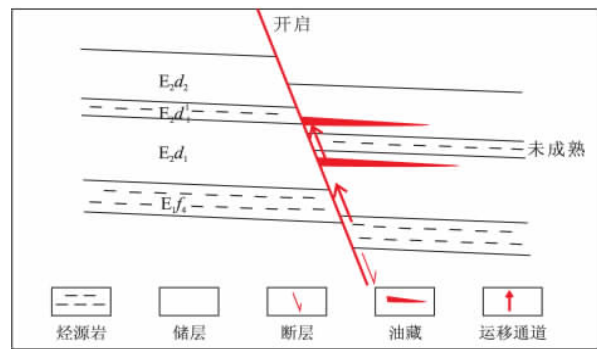


图 6 它源型成藏体系模式

Fig. 6 Model of other-sourced accumulation system

导”泥岩段不能成为油气来源,但是成藏期开启的断层可以作为油气输导的通道,将阜四段烃源岩生成的油气运移至戴南组聚集成藏,同时油气通过断层的运移造成了油气分布层位的相对分散(图 6)。

马 31 油藏是它源型油气成藏体系的典型代表,其含油层位包括 E₂d₁¹、E₂d₁² 和 E₂d₂⁵,油气分布较为分散;油藏控藏断层古今封闭性对比研究(图 7)表明,断层成藏期开启、现今封闭,断层可以作为重要的油气输导通道;同时地化特征显示,目前发现的包括马 31 油藏在内的原油中绝大部分表现为来源于阜四段烃源岩的特征(图 4 5)。

2.1.3 混源型成藏体系

混源型油藏成藏体系中戴南组“五高导”泥岩段已经成熟,而且控藏断层成藏期开启、现今封闭,油气分布层位较它源型更为分散。油气由阜四段泥岩和戴南组“五高导”烃源岩共同提供,控藏断层为阜四段油气向上运移的通道(图 8)。

以黄 88 油藏为例,其油气分布于 E₂d₁¹、E₂d₁²、E₂d₁³和 E₂d₂⁵中,含油层位分散;通过控藏断层古今封

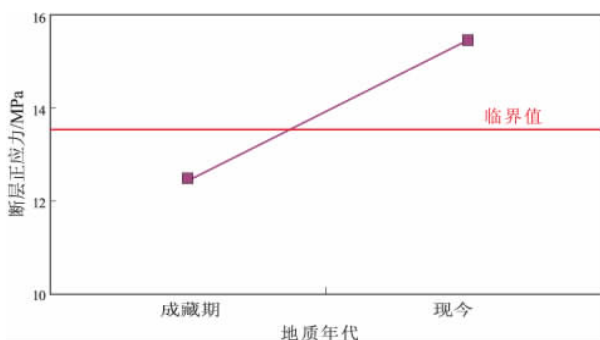


图 7 高邮凹陷马 31 油藏控藏断层古今封闭性对比

Fig. 7 Contrast of sealing ability between present and ancient faults in Ma31 reservoir in Gaoyou Sag

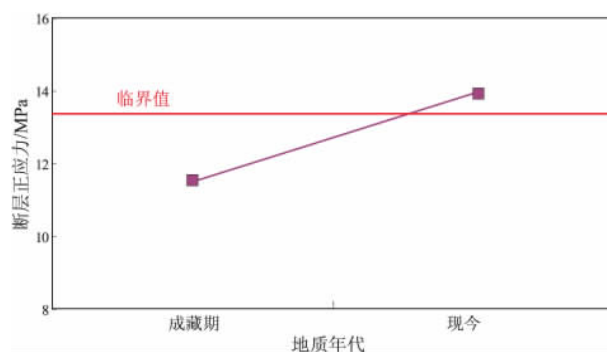


图 9 高邮凹陷黄 88 油藏控藏断层古今封闭性对比

Fig. 9 Contrast of sealing ability between present and ancient faults in Huang88 reservoir in Gaoyou Sag

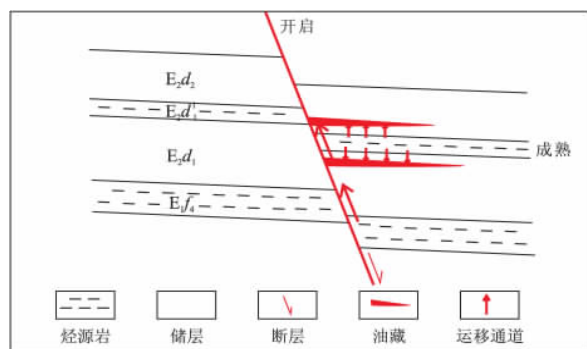


图 8 混源型成藏体系模式

Fig. 8 Model of mixed-sourced accumulation system

闭性对比(图 9)分析可得,古启今封的控藏断层可以在油气运移中起通道作用;地化特征显示其油气并非单一来源,而是“五高导”泥岩段和阜四段泥

岩 2 套烃源岩的混合贡献。由此可见,黄 88 油藏属于混源型油气成藏体系。

2.2 油气成藏体系分布

对高邮凹陷戴南组 17 个断层—岩性油藏按上述标准进行分类。结果表明,自源型成藏体系主要分布在邵伯、樊川次凹深处,典型油藏为邵深 1 油藏;它源型油藏主要分布在马家嘴、周 22 和邵 18 等油藏区域;混源型油藏以联 3、联 7 和永 22 等油藏为代表(表 2)。

邵伯次凹成藏体系分布较为全面,3 种类型皆有发育,樊川次凹主要发育混源型和它源型油藏成藏体系,刘五舍次凹仅发育单一的它源型油藏成藏体系。陡坡带主要发育它源型油气成藏体系,缓坡带主要分布它源型和混源型油气成藏体系,而深凹

表 2 高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏成藏体系划分

Table 2 Division of petroleum accumulation system of fault-lithologic reservoirs of Dainan Formation in Gaoyou Sag

油藏	断层封闭特征	油藏含油层位	“五高导”地球化学指标				成藏体系类型
			w(TOC) / %	氯仿沥青“A” / %	有机质类型	成熟度	
联 30	古启今封	$E_2d_2^2, E_2d_2^5, E_2d_1^1$	1	0.07	Ⅲ	中期	混源
联 3	古封今封	$E_2d_2^4, E_2d_2^5, E_2d_1^1, E_2d_1^2, E_2d_1^3$	1	0.05	Ⅱ ₂	中期	自源
联 7	古封今封	$E_2d_2^4, E_2d_2^5, E_2d_1^1, E_2d_1^2$	1	0.07	Ⅱ ₂	中期	混源
联 9	古封今封	$E_2d_1^1, E_2d_1^2$	1	0.05	Ⅲ	中期	自源
联 12	古封今封	$E_2d_2^4, E_2d_2^5, E_2d_1^1, E_2d_1^2$	1	0.05	Ⅱ ₂	中期	自源
永 22	古封今封	$E_2d_1^2$	2	0.1	Ⅱ ₂	中期	自源
马 31	古启今封	$E_2d_2^5, E_2d_1^1, E_2d_1^2$	0.6	0.02	Ⅲ	早期	它源
马 32	古启今封	$E_2d_2^5, E_2d_1^1, E_2d_1^2$	0.6	0.03	Ⅲ	早期	它源
马 24	古启今封	$E_2d_2^4, E_2d_2^5, E_2d_1^1, E_2d_1^2$	0.5	0.02	Ⅲ	早期	它源
马 33	古启今封	$E_2d_2^4, E_2d_2^5, E_2d_1^1, E_2d_1^2$	0.5	0.02	Ⅲ	早期	它源
黄 88	古启今封	$E_2d_2^5, E_2d_1^1, E_2d_1^2, E_2d_1^3$	0.6	0.01	Ⅲ	中期	混源
邵深 1	古封今封	$E_2d_1^2$	2	0.15	Ⅱ ₁	中期	自源
邵 14	古启今封	$E_2d_2^1, E_2d_2^2$	1	0.08	Ⅲ	中期	它源
邵 18	古启今封	$E_2d_2^5, E_2d_1^1$	1	0.05	Ⅲ	早期	它源
邵 7	古启今封	E_2s_1	0.8	0.07	Ⅲ	早期	它源
周 22	古启今封	$E_2d_1^1, E_2d_1^2$	1	0.05	Ⅲ	中期	它源
真 11	古启今封	$E_2d_2^2, E_2d_2^4, E_2d_2^5, E_2d_1^1, E_2d_1^2$	0.6	0.05	Ⅲ	中期	混源

带主要发育自源型油气成藏体系(图 1)。

3 油气成藏主控因素总结

综上所述,高邮凹陷戴南组断层—岩性圈闭成藏主要受油源和运移通道控制,即“二元主控”(图 10)。油气能否聚集成藏取决于这 2 项条件是否存在、质量好坏及相互之间的配合关系。

烃源岩是形成油气的基础,只有具备成熟的烃源岩,才有可能形成油气,其它的研究才有意义。阜四段泥岩和戴南组五高导泥岩是戴南组油气的主要来源,两者中至少有一个成熟才会有油气的生成,才可能最终形成油藏。

油气运移通道是联系油源和圈闭之间的桥梁,没有运移通道,油气就不能成藏。运移通道条件包括通道类型及输导油气的能力。运移通道与油气

聚集相辅相成,含油气系统的运移通道不同,则油气运聚的方式各异;反过来油气的不同运聚方式又可以改造甚至形成新的运移通道。断层在高邮凹陷油气成藏过程中扮演着双重角色^[24]。作为油气运移的重要通道和圈闭条件,断层对油气成藏起着重要作用。断层只有在成藏期开启才能作为油气运移的通道,只有现今封闭才能作为油气聚集的遮挡。如果主要控藏断层现今与成藏期皆封闭,则断层不能作为油气运移的通道,此类油藏为自生自储。

4 有利区带预测

根据成藏体系研究及主控因素分析成果,综合有利储集相、输导断裂和断层封闭性研究所取得的认识,指出高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏的有利勘探方向,优选的原则是利生烃灶和有效输导系统两主控因素叠合的区域。

最有利区带是黄珏—马家嘴地区、联盟庄—永安和曹庄—肖刘庄地区;较有利区带为邵伯次凹槽带、樊川次凹槽带和刘五舍次凹槽带(图 11)。黄珏—马家嘴地区、联盟庄—永安和曹庄—肖刘庄地区靠近次凹生烃中心,具有充足油源。成藏期主要控藏断层处于强烈活动期,输导体系以断层为主、骨架砂体为辅,构成断裂/骨架砂体侧向输导系统,是油气成藏的最有利区带。邵伯次凹槽带、樊川次凹槽带和刘五舍次凹槽带虽无断层输导,但处于生烃中心,具备得天独厚的油源条件,在高孔隙砂体的输导下易于成藏。

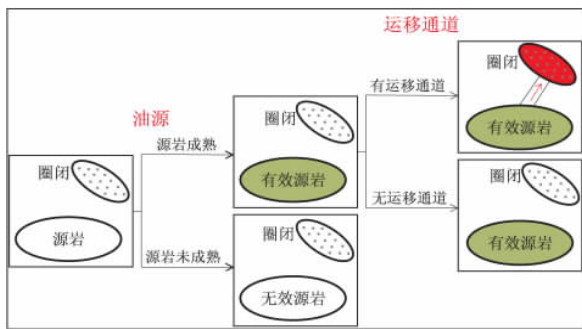


图 10 高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏“二元主控”示意

Fig. 10 Schematic diagram of 2 controlling factors for fault-lithologic reservoirs of Dainan Formation in Gaoyou depression

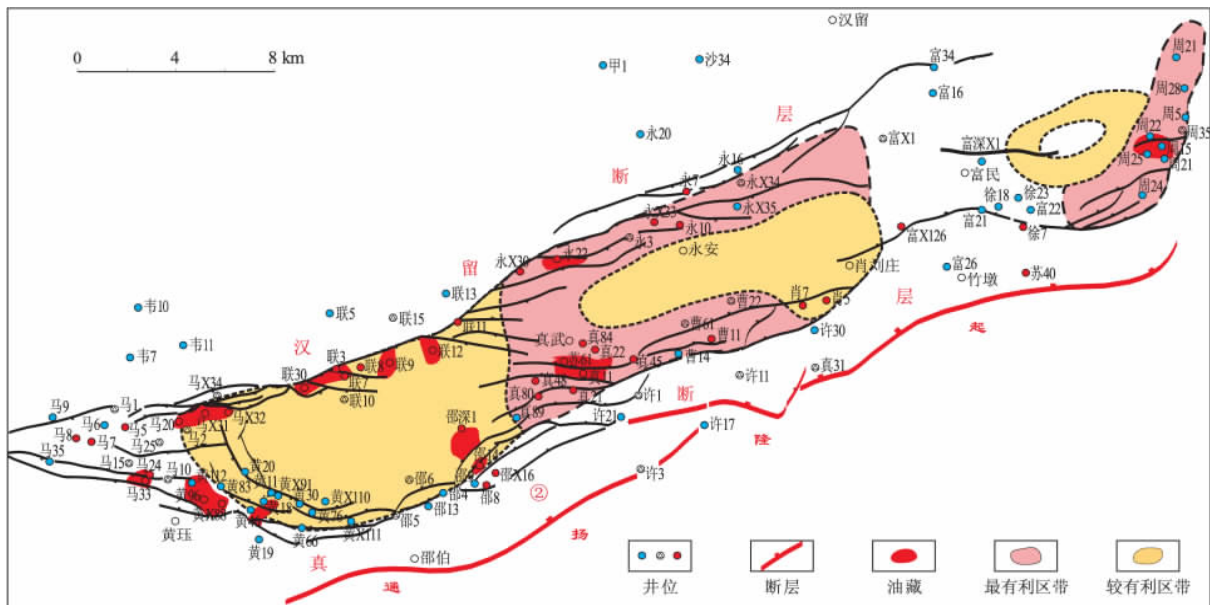


图 11 高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏有利区域预测平面分布

Fig. 11 Distribution of predicted potential area of fault-lithologic reservoirs of Dainan Formation in Gaoyou depression

5 结论

1) 根据控藏断层封闭性能演化、油藏含油层位和戴南组“五高导”泥岩段生烃能力的差异,高邮凹陷断层—岩性油藏成藏体系可分为 3 种类型,即自源型、它源型和混源型油气成藏体系。

2) 自源型油气成藏体系的油气分布层位集中、断层古今皆封闭、“五高导”生烃能力强;它源型油气成藏体系油气分布层位分散、断层古启今封、“五高导”生烃能力弱;混源型油气成藏体系油气分布层位分散、断层古启今封、“五高导”生烃能力强。

3) 自源型成藏体系主要分布在邵伯、樊川次凹深处,典型油藏为邵深 1 油藏;它源型油藏成藏体系主要以马家嘴、周 22 和邵 18 等油藏为代表;混源型油藏成藏体系以联 3、联 7 和永 22 等油藏为代表。邵伯次凹 3 种油藏成藏体系类型皆有发育,樊川次凹主要发育混源型和它源型油藏成藏体系,刘五舍次凹主要发育它源型油藏成藏体系。

4) 高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏形成主要受油源和运移通道“二元主控”。这 2 项条件是否存在、质量好坏及相互之间的配合关系决定着油气能否聚集成藏。

5) 从有效生烃灶和优质输导体系分布来看,高邮凹陷戴南组断层—岩性油藏下一步勘探的最有利区带是黄珏—马家嘴地区、联盟庄—永安和曹庄—肖刘庄地区;较有利区带为邵伯次凹凹槽带、樊川次凹凹槽带和刘五舍次凹凹槽带。有利区带分布广,潜力大。

致谢: 中国石油勘探开发研究院廊坊分院魏国齐教授、杨威高工对本文提出了宝贵的修改意见,中国石化江苏油田地质科学研究院勘探一室在资料方面提供了重要支持,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

[1] 金之钧. 叠合盆地油气成藏体系研究思路与方法: 以准噶尔盆地中部地区油气藏为例[J]. 高校地质学报, 2011, 17(2): 161-169.

[2] 徐怀民, 徐朝晖, 张善文, 等. 中国东部陆相盆地的层次结构、油气成藏体系与隐蔽油气藏特征: 以济阳拗陷为例[J]. 中国科学: D 辑, 2008, 38(S1): 129-137.

[3] 黄金柱. 油气成藏体系概述及研究方法[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 40-47.

[4] 刘震, 赵阳, 梁全胜, 等. 隐蔽油气藏形成与富集[M]. 北京: 地质出版社, 2007.

[5] 李丕龙, 庞雄奇. 隐蔽油气藏形成机理与勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.

[6] 徐忠美. 叠合盆地油气成藏体系研究方法探讨[J]. 断块油气田, 2011, 18(2): 154-157.

[7] 胡宗全, 尹伟, 伍新和, 等. 中国中西部四大盆地碎屑岩油气成藏体系及其分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 561-570.

[8] 江夏, 周荔青. 苏北盆地富油气凹陷形成与分布特征[J]. 石油实验地质, 2010, 32(4): 319-325.

[9] 李晓光, 张金川, 陈振岩, 等. 辽河拗陷西部凹陷油气成藏体系及天然气分布[J]. 天然气工业, 2007, 27(5): 39-43.

[10] 尹伟, 郑和荣, 胡宗全, 等. 鄂南地区中生界油气成藏体系划分与富集区预测[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 591-598.

[11] 赵孟军, 宋岩, 柳少波, 等. 准噶尔盆地天然气成藏体系和成藏过程分析[J]. 地质论评, 2009, 55(2): 215-223.

[12] 陈善勇, 金之钧, 刘小平. 黄骀拗陷第三系油气成藏体系定量评价[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5): 544-547.

[13] 杨明慧, 金之钧, 吕修祥, 等. 库车褶皱冲断带天然气成藏体系及有效运移优势通道[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(4): 440-444.

[14] 薄永德, 梁兵, 周彬. 苏北盆地高邮凹陷隐蔽油气藏勘探方法[J]. 天然气工业, 2007, 27(S1): 11-18.

[15] 高先志, 李浩, 刘启东. 高邮凹陷断层控油气作用的多样性[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(1): 20-28.

[16] 王洪江. 高邮凹陷复杂断块油气藏油气运聚机理研究[J]. 断块油气田, 2011, 18(2): 199-202.

[17] 胡望水, 陈顺顺, 阎振华, 等. 高邮凹陷花庄地区阜三段储层非均质性影响因素[J]. 特种油气藏, 2011, 18(1): 21-24.

[18] 张喜林, 朱筱敏, 钟大康, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及其对隐蔽油气藏的控制[J]. 古地理学报, 2005, 7(2): 207-218.

[19] 纪友亮, 李清山, 王勇, 等. 高邮凹陷古近系戴南组扇三角洲沉积体系及其沉积相模式[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(1): 9-19.

[20] 吕延防, 李国文, 王跃文, 等. 断层封闭性的定量研究方法[J]. 石油学报, 1996, 17(3): 39-42.

[21] Childs C, Manzocchi T, John J W, et al. A geometric model of fault zone and fault rock thickness variations [J]. Journal of Structural Geology, 2009, 31(2): 117-127.

[22] Koledoye A K, Atilla A, Eric M. A new progress-based methodology for analysis of shale smears along normal faults in the Niger delta [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(3): 445-463.

[23] 聂海宽, 包书景, 高波, 等. 四川盆地及其周缘上奥陶统一下志留统页岩气成藏体系研究[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 115-119.

[24] 尹志军, 谭建财, 娄国泉, 等. 高邮凹陷真武—吴堡断裂带断层封闭性综合评价[J]. 断块油气田, 2012, 19(1): 32-34, 43.

(编辑 黄娟)