

苏北盆地高邮凹陷油气输导特征及油气分布

邱旭明

(中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司,江苏 扬州 225009)

摘要:通过对高邮凹陷3套烃源岩的分布和与围岩接触关系的分析,认为直接与烃源岩接触的戴一段下部砂岩、阜一段上部砂岩和泰一段上部砂岩为主要的砂岩输导层。凹陷内复杂的断裂体系与砂岩输导层构成了立体输导网络,在立体输导网络中可以区分多种不同的输导方式。这些输导体系类型决定了凹陷内油气的分布特点。

关键词:复杂断裂体系;砂岩输导层;立体输导网络;输导体系类型;油气分布;苏北盆地

中图分类号:TE122.1 **文献标识码:**A

Features of carrier beds and distribution of oil and gas
in the Gaoyou Sag, the Subei Basin

Qiu Xuming

(SINOPEC Jiangsu Oilfield Company, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Analysis of the distribution of three sets of source rocks and their contact relationship with surrounding rocks in Gaoyou sag reveals that the lower part of the first member of the Dainan Formation, the upper parts of the first member of the Funing Formation and the first member of the Taizhou Formation, are the main hydrocarbon carrier beds. The complicated fault systems in combination with sandstone carrier beds form a three dimensional hydrocarbon carrier network, which can be classified into many types according to different carrier modes. The types of these carrier systems decide the distribution of hydrocarbons in the sag.

Key words: complicated fault system; sandstone carrier bed; three dimensional carrier network; type of carrier system; oil and gas distribution; Subei Basin

苏北盆地高邮凹陷属于典型的复杂断裂凹陷。凹陷呈北东向展布,内部构造单元由南而北可划分为南部断阶带、深凹带、汉留断裂带和北部斜坡带,在各构造单元内均发育有大量的断裂。凹陷在中、新生代地层层系中发育有古新统阜宁组四段(E_1f^4)、阜宁组二段(E_1f^2)和白垩统泰州组二段(K_2t^2)3套烃源岩,围绕3套烃源岩存在上、中、下3个含油气系统和多套成藏组合^[1]。复杂的断裂体系加之有效烃源岩分布、烃源岩的排烃方式、区域盖层及储集层分布等要素影响,使各油气系统中油气输导的方式、类型各具特色^[2],油气成藏和分布规律也变得丰富多样。

1 主要烃源岩分布及与围岩接触关系

1.1 阜宁组四段(E_1f^4)

阜(宁组)四段地层在凹陷大部分地区均有分布,厚度一般在100~500 m。纵向上地层沉积分两部分:上部主要为灰黑色泥岩段,厚度一般在50~300 m;下部主要为灰黑色泥岩与灰质云质泥岩互层,厚度一般在50~200 m。阜四段地层与下伏阜三段顶部砂岩整合接触,与上覆戴南组地层不整合接触。其中,中、东部地区与砂岩接触,西部部分地区与泥岩接触。从烃源岩的各项指标统计,上部泥岩段的指标平均值中有机碳含量为

收稿日期:2008-05-11。

作者简介:邱旭明(1963—),男,博士、教授级高级工程师,油气勘探。

1.18%, 氯仿沥青“A”含量为0.17%, 总烃含量为 1.229×10^{-6} , 为好烃源岩; 而下部泥岩段的指标平均值中有机碳含量为0.69%, 氯仿沥青“A”含量为0.023%, 总烃含量为 111×10^{-6} , 为差烃源岩或非烃源岩。

阜四段烃源岩的这些分布特点决定了其排烃的主要方向。大部分地区的排烃是向上部不整合面或戴南组砂岩排烃; 而由于阜四段下部泥岩层的阻隔, 烃源岩难以向下部地层排烃。

1.2 阜宁组二段($E_1 f^2$)

阜二段地层在凹陷全区均有分布, 厚度一般在100~350 m。纵向上地层沉积分两部分: 上部主要为黑色、灰黑色泥岩段, 厚度一般为50~120 m, 区域分布稳定, 为标志对比层; 下部为黑色、灰黑色泥岩夹泥灰岩, 厚度一般80~220 m。阜二段地层与下伏阜一段顶部砂岩整合接触, 与上覆阜三段底部泥岩整合接触。阜二段烃源岩主要分布在下部, 其生油指标有机碳含量为1.43%~2.08%, 氯仿沥青“A”含量为0.35%~0.47%, 总烃含量为 1.589×10^{-6} ~ 1.983×10^{-6} ; 而上部稳定泥岩段指标较差, 为差烃源岩或非烃源岩。

显然, 阜二段烃源岩因其上部泥岩的阻隔, 只能向下伏阜一段砂岩排烃。

1.3 泰州组二段($K_2 f^2$)

泰(州组)二段地层在高邮凹陷以东地区发育暗色泥岩, 厚度一般在50~100 m, 上部为稳定泥岩段, 下部为黑色泥岩夹泥灰岩段。研究成果表明, 泰二段的烃源岩主要集中在下部的黑色泥岩夹泥灰岩段, 厚度仅20~40 m, 其主要地化指标有机碳含量为1.54%~2.32%, 氯仿沥青“A”含量为0.102 6%~0.146 1%, 总烃含量为 696×10^{-6} ~ 942×10^{-6} ; 而上部泥岩段的主要地化指标平均值有机碳含量为0.88%, 氯仿沥青“A”含量为0.020 2%, 总烃含量为 132×10^{-6} , 为差烃源岩或非烃源岩。

由于泰二段下部烃源岩与下伏泰一段砂岩直接接触, 可以向下排烃; 而上部稳定泥岩, 则成为封隔层阻止烃源岩向上排烃。

2 油气输导特征

根据有效烃源岩的分布和烃源岩与上、下地

层的接触关系, 主要的输导层有戴南组下部砂岩、阜一段上部砂岩和泰一段上部砂岩(图1)。而位于阜四段顶部的泥岩不整合面, 大量钻井和测井资料显示, 其顶部泥岩和正常泥岩没有区别, 且也没有见到油气显示和油气沿不整合面运移的任何证据。因此笔者认为, 该不整合面难以成为油气二次运移的通道。

高邮凹陷在形成演化过程中, 发育了大量的断裂体系。断层的断距数十米至数千米不等, 区域延伸数百千米至数千米不等。凹陷内既有长期发育的控凹断层和同沉积断层、吴堡事件和三垛事件形成的断层, 也有多次间隙性活动断层及重力滑脱断层; 既有纯张性断层、张扭性断层, 也有挤压性的逆断层^[3]。这些断层对输导层的调整以及断层本身的开启和封闭, 构成了盆地油气输导的立体网络。

2.1 砂岩侧向输导

砂岩输导主要取决于砂岩的厚度、分布范围、孔渗性能和连通性能等因素。高邮凹陷戴南组下部砂岩属于河流三角洲砂体和冲积扇砂体, 砂岩含量东部大于30%, 西部部分地区主要为三角洲前缘末端砂岩, 含量小于25%; 阜一段上部砂岩主要为河流及三角洲沉积, 含量一般大于30%, 全区分布, 纵、横向连通性都很好; 泰一段上部砂岩厚度为30~50 m, 为三角洲砂岩, 全区分布, 纵、横向连通性好。3套输导层砂岩也是高邮凹陷最重要的含油气目的层, 在目前已发现的石油储量中占有重要的地位。

2.2 断层输导

断层沟通油源和油气运移通道已被众多勘探实践所证实。一般认为主要有两种情况断层可以成为油气运移通道: 第一是构造活动时期, 断层开启, 油气运移随构造活动与静止呈瞬时、幕式运移; 第二是地层超压系统突破断层面的门限破裂压力^[4-6], 其油气运移机理也是瞬时、幕式的。两种情况均需要油气向断层汇聚作为前提。苏北盆地各凹陷的控凹断裂均深入到成熟烃源岩中, 但并不是所有这些断裂带都成为油气富集带, 只有高邮凹陷真武、汉留两断裂带富含油气, 主要原因就是深凹带的地层结构从凹陷中心向两个断裂带抬升形成油气向断裂带汇聚的背景(图1)。而苏

北盆地金湖凹陷、海安凹陷的很多主控断裂带不具备油气向断裂带汇聚的背景,至今没有发现规模油气藏。

从断层面上直接获取油气输导的证据是困难的,但可以从苏北盆地的油藏特征、油-源对比及油藏之间的相互关系上寻找间接的证据。如在高邮凹陷北斜坡的沙19块,阜三段油藏与阜一段油藏(图2)为屋脊式断块油藏,控制油藏断层具有多次活动性质,在活动期或开启时期通过断层输导将较早期形成的阜一段油藏部分调整至阜三段,阜三段油藏原油密度为 0.87 g/cm^3 ,而下部阜一段油藏原油密度为 0.89 g/cm^3 ;阜一段油藏出现少见的充满程度很低等特点均说明,阜三段油

藏是通过断层活动使阜一段油藏从顶部泄漏、沿断层进入阜三段的。在金湖凹陷,这种油藏类型也很多,如下闵杨油田阜三段油藏和南湖油田阜三段油藏等^[7]。

苏北盆地的勘探实践也表明,长期活动的大断层是最理想的油气运移通道,如真武断层和汉留断层;而一次性的断层一般都不能输导油气,如吴堡事件形成的断层及三垛事件形成的断层,但吴堡期断层在三垛期再次活动经常可形成图2类型的油藏。压性断层与张性断层相比,更难以输导油气,如在苏北盆地金湖凹陷铜城断裂带,各层系圈闭非常发育且紧邻生油凹陷,但由于铜城断层为压性逆断层不能输导油气,勘探至今未获得大的突破。

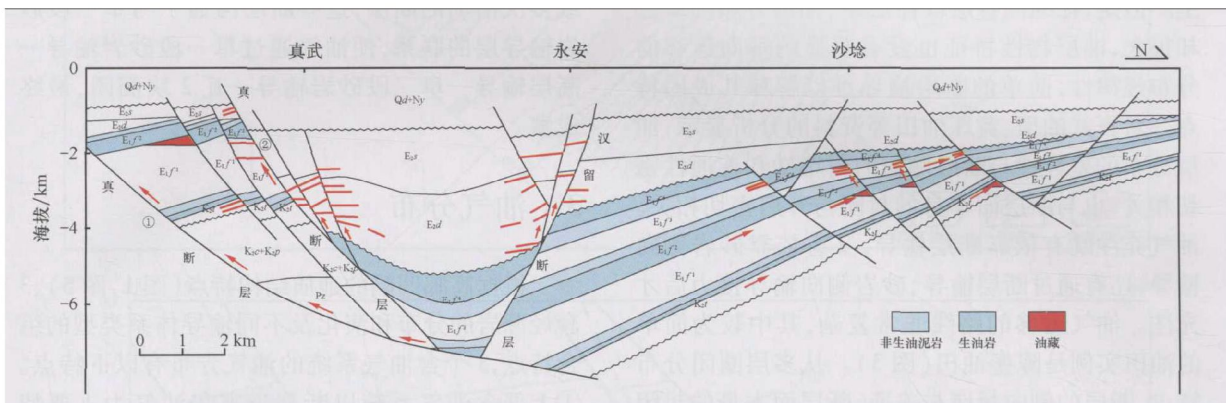


图1 高邮凹陷地质结构及油气分布剖面

Fig. 1 Sectional view of geological structures and distribution of oil and gas in Gaoyou sag

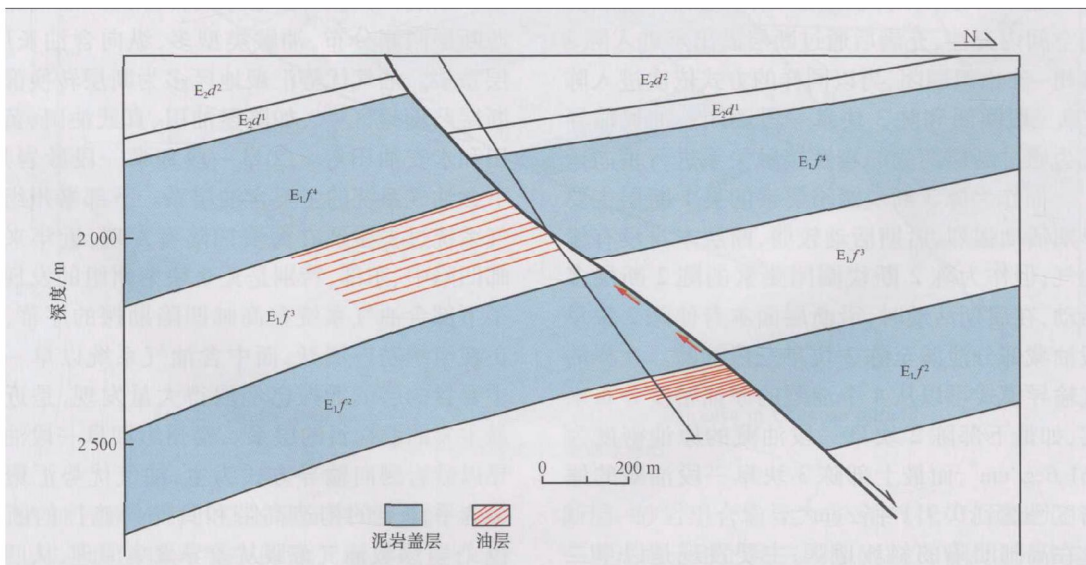


图2 沙19块阜一段及阜三段油藏剖面示意图

Fig. 2 Reservoir profile of the 3rd member and 1st member of the Funing Formation in Sha-19 block

2.3 断层-砂岩组合输导

事实上,在高邮凹陷,大量油气藏并不是单一的砂岩侧向输导或断层输导所形成。由于大量的断层作用,凹陷地层结构被不同性质、不同规模、不同断距、不同掉向的断层切割,油气输导为多断层、多层系砂岩组成的复杂的、立体的油气输导网络。这也正是苏北盆地油气藏分布极为复杂的最根本原因。

油-源对比成果说明,在高邮凹陷深凹带两侧所发现的三垛、戴南组油藏,其油源主要来自于阜四段泥岩,沿断裂垂向呈串珠状分布,含油层系厚度最大可达1500余米,油气显然是以垂向运移为主。但是,在纵向各层段储层中,油层分布的差异却很大,油层物性特征也没有明显的垂向运移的分布规律性,简单的断层输导难以解释其成因特点。对真武油田、黄珏油田等资料的分析显示,油层分布的差异性与断层侧向的封堵性和连通性密切相关,也与断层面本身的封闭与开启密切相关。油气充注既有依靠断层输导,又有依靠砂岩侧向输导,还有通过断层输导、砂岩侧向输导接力后才充注。油气运移的路线非常复杂,其中较为简单的油田实例是陈堡油田(图3)。从多层圈闭分布特点、断层的侧向封堵与连通、断层面本身的封闭与开启及圈闭与烃源岩之间的关系,大体可以判断其油气充注过程为:油气首先沿砂岩输导层进入陈2块阜一段圈闭,在断层侧向封堵所构成的圈闭空间内充注,充满后通过断层溢出点进入陈3块泰州-赤山组圈闭,再以同样的方式依次进入陈2块阜三段圈闭和陈3块阜一段圈闭。油气输导方式为通过断层两侧的岩性接触关系进行垂向运移^[8]。而作为陈3断块圈闭要素的吴1断层主要在早期活动强烈,后期活动较弱,断层本身没有输导油气;但作为陈2断块圈闭要素的陈2断层多次活动,在后期活动时,沿断层面本身使陈2块阜一段油藏部分泄漏至陈2块阜三段油藏。这样的油气输导模式可以从4个油藏的原油密度分布来证实,如最下部陈2块阜一段油藏的原油密度为 0.8616 g/cm^3 ,而最上部陈3块阜一段油藏的原油密度已达到 0.9114 g/cm^3 。

在高邮凹陷的斜坡地区,主要发现是以阜二段烃源为主的油藏,含油层系层位主要为阜一段和阜三段。其中,阜三段油藏大多数是通过断层-

砂岩组合输导而形成的,如高邮凹陷北斜坡沙40块阜三段油藏的发现(图4)。过去在该地区针对阜一段目的层的勘探收获很少,最终在阜三段获得大量发现。主要原因是图4中沙26断层断距较大,在300~400 m以上,已完全断开阜二段区域盖层,而且在平面上延伸较长。来自于凹陷的油气通过阜一段输导层经该断层后进入阜三段输导层,油气输导和聚集层位发生了改变。这种方式虽然断层没有起到直接的油气输导作用,但断层改变了砂岩侧向输导的层位。又如瓦2块阜三段油藏,其油气输导方式既不是沙19块(图2)的形成方式,也不是沙40块(图4)的形成方式,而是在油藏面向深凹方向存在数条长期活动或多次活动的断层,这些断层沟通了与阜一段砂岩输导层的联系,使油气通过阜一段砂岩输导-断层输导-阜三段砂岩输导-瓦2块圈闭,最终成藏。

3 油气分布

根据高邮凹陷的地质结构特点(图1、图5)、3套烃源岩的分布和演化及不同输导体系类型的组合特点,3个含油气系统的油气分布有以下特点。①上部含油气系统以断裂带富集油气为主要特征^[9],真武断裂带、吴堡断裂带和汉留断裂带的各主控断层均为油源断层。油气输导主要有断层输导和断层-砂岩组合输导两种方式。油气藏沿油源断层两侧分布,油藏类型多,纵向含油长度大,层系多。油气优势汇聚地区多为断层转换部位和断层凸面地区^[10],如陈堡油田、真武油田、黄珏油田和永安油田等。②阜一段和泰一段砂岩是中、下含油气系统的主要含油层系。下部泰州组含油气系统过去主要在海安凹陷有发现,近年来在高邮凹陷中、东部,特别是瓦6块泰州组的发现揭开了下部含油气系统在高邮凹陷勘探的序幕,目前正在组织勘探展开;而中含油气系统以阜一段为主要目的层的勘探已经取得大量发现,是近年来最主要的勘探目的层系。泰州组和阜一段油气输导以砂岩侧向输导方式为主,油气优势汇聚地区多为平面上的构造高带和具侧向遮挡的断层部位^[11]。多数油气藏服从差异聚集原理,从凹陷中心向凹陷边缘,原油密度特征逐渐由轻变重。③阜三段是中含油气系统的重要含油层系。尽管

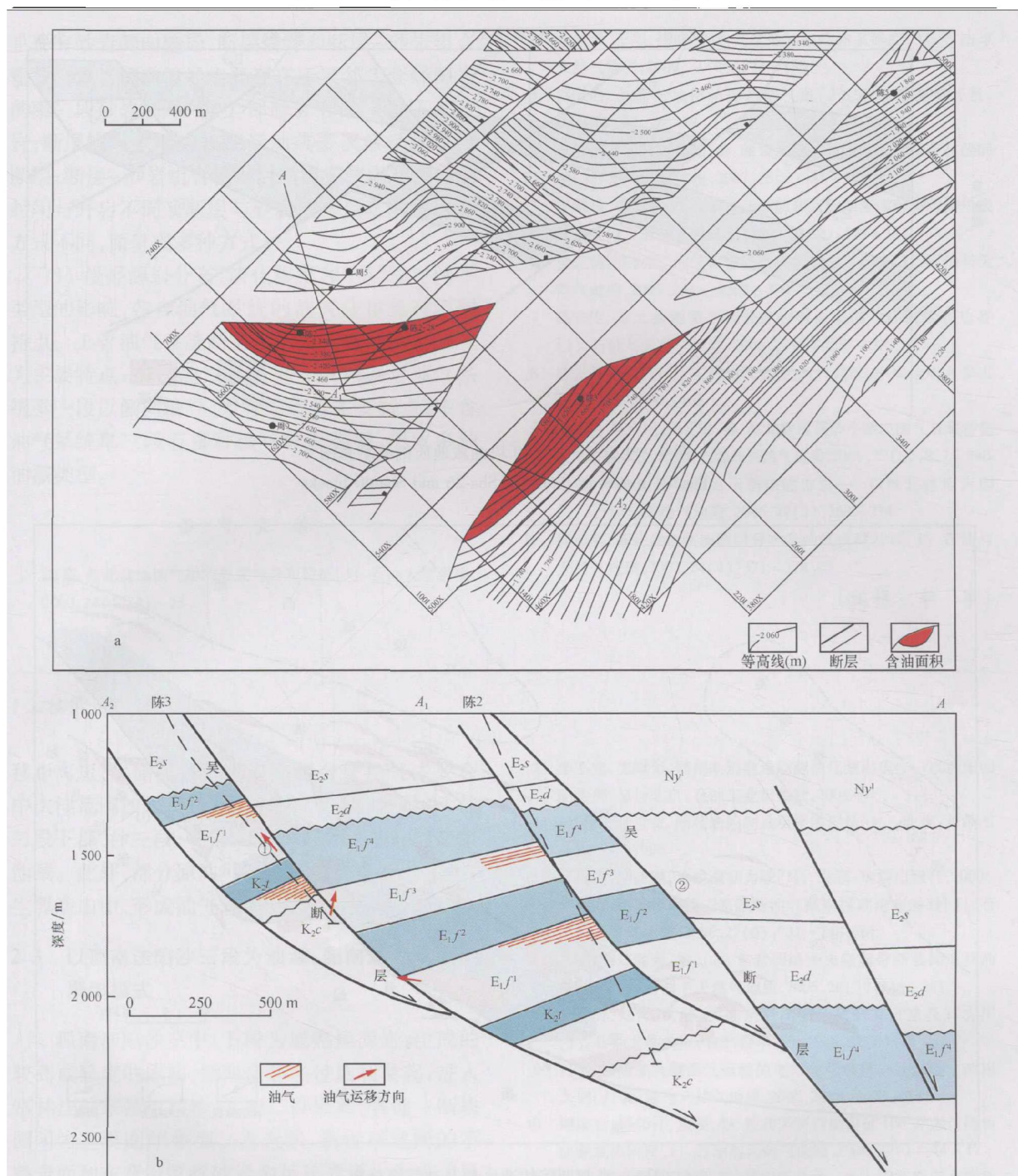


图3 陈堡油田油气运移路线示意图

Fig. 3 Sketch map showing the hydrocarbon migration pathways in Chenbao oilfield

a. 平面示意图; b. 剖面示意图

阜三段在油气系统中不是主导层,但是由于断层作用,阜一段主导层中的油气通过断层作用以不同方式进入阜三段,使阜三段成为重要的勘探目的层系。其油气输导体系类型以断层输导和

断层-砂岩组合输导为主,油气优势汇聚地区有阜一段油藏上部的阜三段圈闭以及平面上有构造高带的地区。不同的输导方式形成不同的成藏类型,分布规律也各不相同。

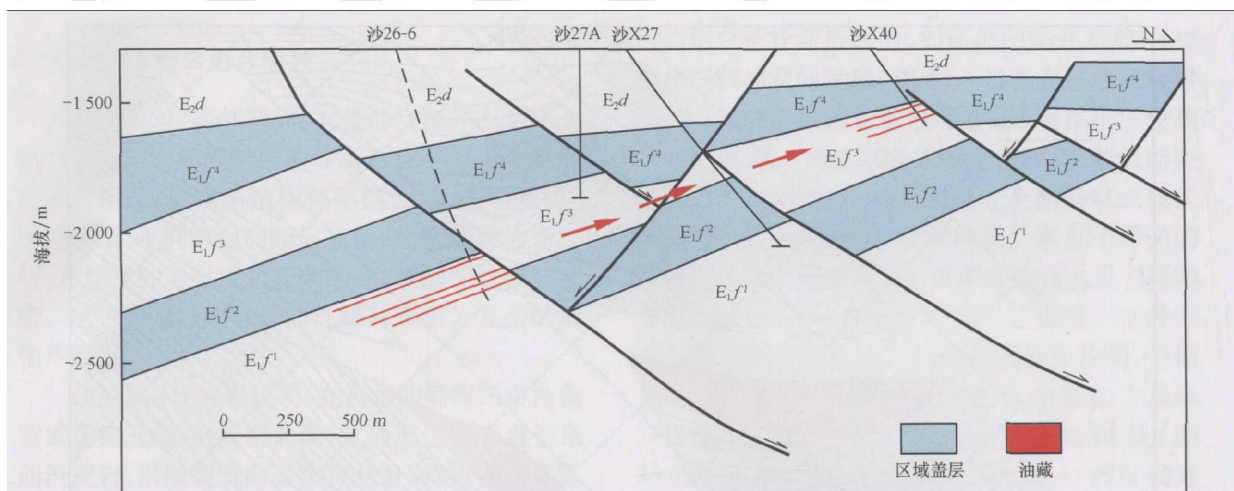


图4 沙26块—沙40块油藏地质剖面示意图

Fig. 4 Reservoir profile of Sha-26 and Sha-40 blocks

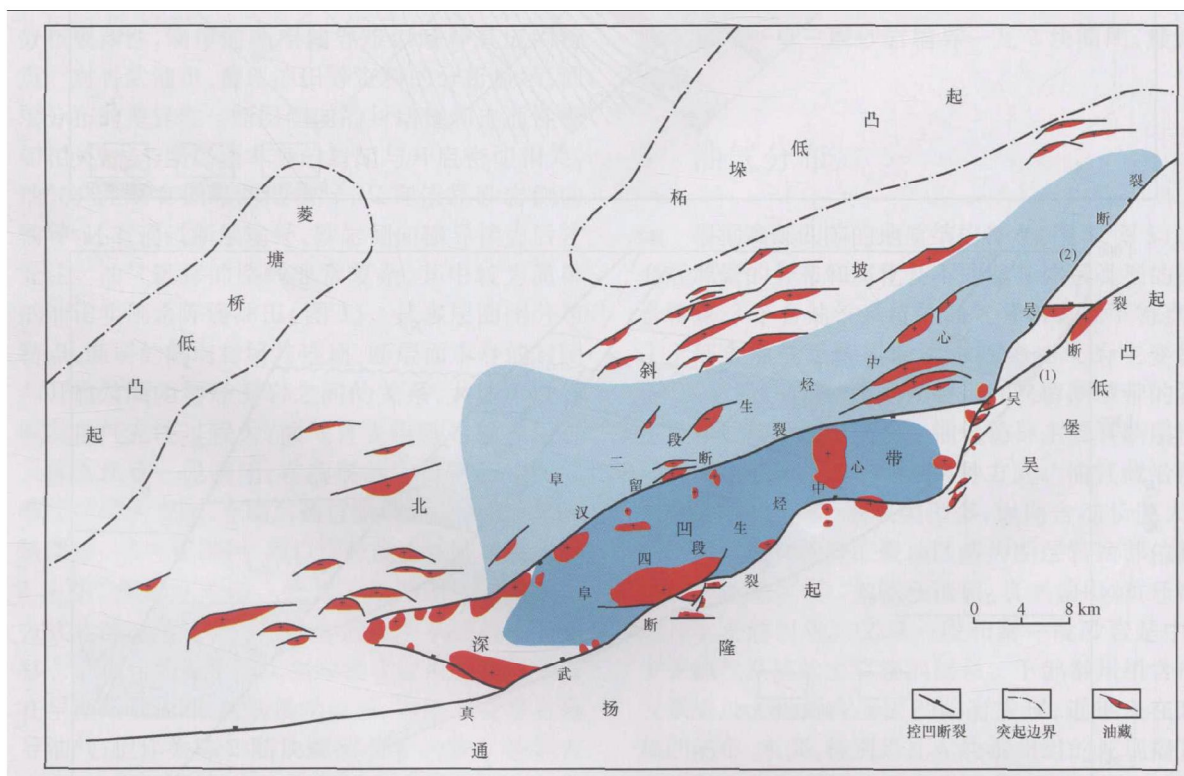


图5 高邮凹陷构造区划及油气藏分布

Fig. 5 Structural division and distribution of oil and gas in Gaoyou sag

4 结论

1) 高邮凹陷3套烃源岩的分布和排烃特点是:阜四段烃源岩主要分布在阜四段地层上部,由于下部泥岩的封隔,主要向上部戴南组砂岩排

烃;阜二段烃源岩主要分布在阜二段地层中、下部,由于上部泥岩的封隔,主要向下部阜一段砂岩排烃;泰二段烃源岩主要分布在泰二段地层下部,由于上部泥岩的封隔,主要向下部泰一段砂岩排烃。

2) 由断层和砂岩构成了多种输导体系类型,

主要有砂岩侧向输导、断层输导和断层-砂岩组合输导。砂岩侧向输导主要存在于紧邻3套烃源岩的泰一段砂岩、阜一段上部砂岩和戴一段下部砂岩;断层输导主要为长期活动或多次活动的张性断层;断层-砂岩组合输导因断层在侧向和垂向的封闭与开启不同及断层与砂岩输导层之间的联系方式不同,而呈现多种方式。

3) 受烃源岩分布、演化程度和不同输导体系类型的影响,各含油气系统的油气分布具有不同特点。上含油气系统断裂带以垂向输导富集油气为主要特点;中含油气系统阜一段和下含油气系统泰一段以侧向输导、差异聚集为主要特点;中含油气系统阜三段有多种输导体系类型,形成多种油藏类型。

参 考 文 献

- 1 钱基. 苏北盆地油气田的形成与分布特征[J]. 石油大学学报, 2000, 24(4): 21~25

- 2 张照录,王华,杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 133~135
- 3 邱旭明. 苏北盆地扭动构造油气藏[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 26~29
- 4 杜春国,郝芳,邹华耀,等. 断裂输导体系研究现状及存在的问题[J]. 地质科技情报, 2007, 26(1): 51~55
- 5 于翠玲,曾淑辉. 断层幕式活动期和间歇期流体运移与油气成藏特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 129~132
- 6 金之钧,张发强. 油气运移研究现状及主要进展[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 263~270
- 7 陈安定. 苏北盆地第三系烃源岩排烃范围及油气运移边界[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(5): 630~636
- 8 陈发景,田世澄. 压实与油气运移[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1989. 150~162
- 9 毛凤鸣,陈安定,严元锋,等. 苏北盆地复杂小断块油气成藏特征及地震识别技术[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 827~840
- 10 牟荣. 复杂小断块圈闭识别描述方法——以苏北盆地为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 269~274
- 11 邱旭明. 苏北盆地断块圈闭分类及油气成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 371~374

(编辑 李 军)

(上接第436页)

移距离短,生储盖条件的有力组合使油气主要在中次洼范围沙河街组聚集,形成了垦95、垦47沙二段下部、沙三段,和富111-富斜11块沙河街组油藏。此外,部分原油可能进入垦利突起的中、古生界潜山中,形成油气聚集。

2.3 以孤南洼陷沙三段为油源,侧向运移-浅层聚集模式

孤南洼陷沙三中、下段为成熟烃源岩,生成的较高成熟度的原油,侧向运移经过垦利突起,进入富林洼陷东营组和沙一、沙二段聚集,岩性-断块圈闭为主要圈闭类型。古近系、新近系之间的不整合面和东营组席状砂岩为运移通道。形成了垦1块沙一、沙二段油藏,富111-富斜11块东营组岩性油藏(图4)以及垦20块东营组构造油藏。

参 考 文 献

- 1 纪友亮,张世奇. 层序地层学原理及层序成因机制模式[M]. 北京:地质出版社, 1998
- 2 吴因业,邹才能,季汉成. 中国层序地层学导论. 北京:石油工业出版社, 2005

- 3 李丕龙,庞雄奇. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成——以济阳凹陷为例[M]. 北京:石油工业出版社, 2004
- 4 纪友亮,张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京:石油工业出版社, 1996
- 5 田世澄,毕研鹏. 论成藏动力学[M]. 北京:地震出版社, 2000
- 6 张善文. 济阳凹陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731~740, 761
- 7 马丽娟,郑和荣,解习农. 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 246~251
- 8 李亚辉,刘泽容,陈利. 断层封闭演化史研究方法及其应用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1998, 22(6): 15~18
- 9 吕慧. 复杂油气藏油气运移的地球化学特征——以胜坨油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 433~439
- 10 谭茂金,杨邦伟,贾黎,等. 胜利老河口油田桩106井区馆陶组成藏规律研究[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 44~47
- 11 张鹏,王良书,丁增勇,等. 济阳凹陷中-新生代断裂发育特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 467~474
- 12 卓勤功,蒋有录,隋风贵. 渤海湾盆地东营凹陷砂岩透镜体油藏成藏动力学模式[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(5): 620~629
- 13 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): 34~37
- 14 刘魁元,武恒志,康仁华,等. 沾化、车镇凹陷泥岩油气藏储集特征分析[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(6): 9~12

(编辑 陈喜禄)

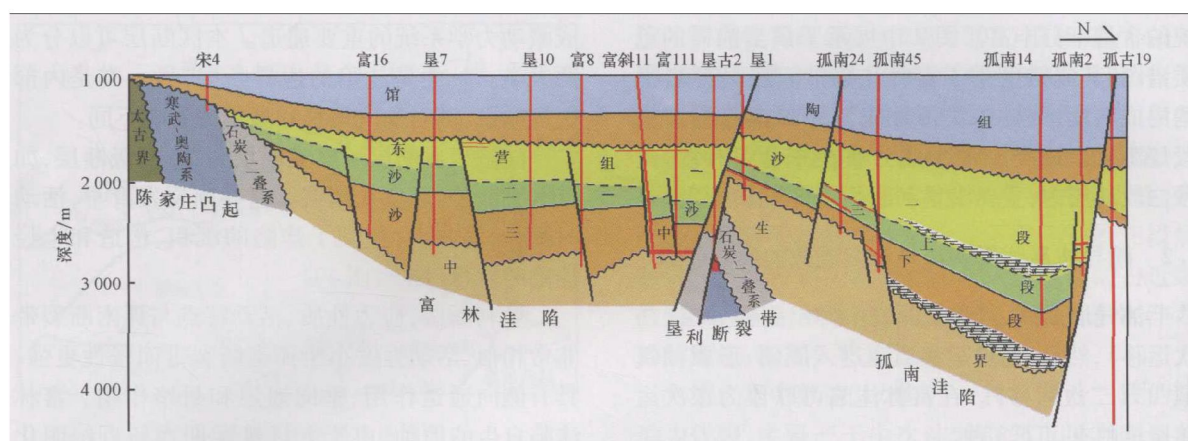


图4 富林注陷—垦利断裂带—孤南注陷南北向油藏剖面图

Fig. 4 Reservoir profile across Chenjiazhuang high, Fulin sub-sag, Kenli faulted zone, Gunan sub-sag, and Gudao high

富林注陷古近系总体上具有张性开放结构,但同时具有很强的分割性和封闭性。即:向北侧高度开放,向西、东强烈封闭,向南侧较强封闭。从流体力学的观点来看,注陷中由于生排烃量较小,形成的油藏高度低,排替压力也低,不足以克服断面及上升盘封堵层的毛细管阻力和异常压力层的封堵,因此,大部分油气只能沿着断面走向继续运移,改变运移方向。总之,在富林注陷内部,断层的封堵性将生油次注切割成若干汇聚区块,沙三段自生的原油主要汇聚在源区附近的沙三中、下段和中生界储层中。

3) 不整合面

本区重要的不整合面运移通道主要为沙三下段—中生界之间。该不整合面的下伏地层是中生界含火山岩系的沉积岩,具区域性分布。经过长期风化剥蚀,在表面形成具有孔隙和裂隙发育的古风化壳,可以成为有利的油气运移输导层。当上覆沙三段底部源岩成熟后,在压实作用下,油气会从源岩排出,通过不整合面侧向运移,在合适的圈闭中聚集成藏。在垦利突起中古生界的油藏和北部垦93井中生界的原油就是中次注生成的油沿不整合面运移的结果。例如孤南注陷沙三段的烃源层排出的油气,沿着沙三段下部的砂层、不整合面和断层,向西南方向的垦利潜山运移,并在潜山坡覆构造带和垦利断层下降盘古近系东营组形成多种类型的油气藏(图4)。

在注陷中,这3类运移通道组成立体的网络。在不同地区运移的方式和通道不同,在断裂带附近以垂向运移为主,在内部和斜坡带以侧向运移

为主。

通过对本区特殊成藏规律的分析,勘探部署的思路是:优先选择生油中心周围储层变化区带或油气优势通路上高或较高的构造区带;在该类区带再优先选择与主力生油岩匹配较好的储层,或与油源断层相通的砂体,特别是有较好构造背景的砂体,或向高部位追踪已见油气显示的砂体。

2 主要成藏模式

结合富林注陷油源,构造和运移特点,油气聚集与分布的综合特征归结为以下3种模式(图3)。

2.1 以低熟油沙三段为油源,侧向运移—深层聚集模式

东次洼沙三段烃源岩进入成熟阶段,生成低成熟度的原油,注陷北部和东部沙三段扇三角洲发育;中部和南部为沙三段—中生界储层;断块为主要圈闭类型,沿不整合面向南部运移距离较远,油气聚集在沙三段和中生界储层中,形成了富15沙三段和富7—垦7中生界油藏(图2)。

2.2 以成熟沙三段为油源,侧向运移—中深层聚集模式

中次洼沙三下段烃源岩已经成熟,生成中等成熟度的原油,中次洼北部和西部沙三段扇三角洲发育,与断层形成岩性—断块圈闭,由于北界垦利断层和东南界垦东6断层的封堵作用,油气运

(下转第443页)