

文章编号:0253-9985(2008)04-0433-04

济阳坳陷沾化凹陷富林洼陷成藏条件

乐大发^{1,2}, 侯帅军²

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司孤岛采油厂, 山东 东营 257231)

摘要:富林洼陷是渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷的一个次级构造单元,对富林洼陷进行地球化学分析和对比,研究油气运移成藏规律。表明,富林洼陷原油既有来自孤南洼陷古近系沙河街组三段的成熟油,又有分别来自富林洼陷中次洼和东次洼自身的中熟油和低熟油,主要以富林洼陷中次洼中熟油为主。油气运移的条件和油气运移的特征决定了油气藏的形成与分布。富林洼陷及其周边地区不整合面、断层以及各层系储集砂体的空间配置构成复杂的立体网络通道,决定了油气的运移,控制了油气分布。

关键词:烃源岩;断裂带;不整合面;油气藏;济阳坳陷

中图分类号:TE122.3 **文献标识码:**A

Hydrocarbon pooling conditions and exploration potential in the Fulin sub-sag of the Zhanhua Sag, the Jiyang Depression

Le Dafa^{1,2}, Hou Shuaijun²

(1. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China;

2. Gudao Oil Producer of SINOPEC Shengli Oilfield Co. Ltd., Dongying, Shandong 257231, China)

Abstract: Fulin sub-sag is a secondary structural unit in Zhanhua sag of Jiyang depression, Bohai Bay Basin. Geochemical analysis and oil-source correlation show that the sag not only contains mid- and low-mature oils from the central and eastern parts of the sub-sag, but also mature oil from the third member of the Paleogene Shahejie Formation in Gunan sag, in which the mid-mature oil is predominant. The conditions and characteristics of hydrocarbon migration determine the formation and distribution of oil and gas reservoirs. The complex pathway network consisting of unconformities and faults in Fulin sub-sag and its periphery as well as the spatial configuration of reservoir sandbodies in various strata controlled the migration and distribution of oil and gas.

Key words: source rock; faulted zone; unconformable surface; oil and gas pool; Jiyang Depression

富林洼陷位于济阳坳陷沾化凹陷南端,由垦利和垦东两条断裂带控制形成北断南超、东断西超的洼陷形态(图1)。富林洼陷古近系由北西走向的孤西断层和北东走向的垦东6断层分割形成西、中和东3个次洼,其中东次洼和中次洼具有良好的生油能力。与济阳坳陷^[1-14]其它生油洼陷相比,富林洼陷具有沉降晚、抬升早、埋深浅的特点。有效生油岩埋深浅、生油期晚、油气成藏时间晚,油气以近距离、垂向运移或自生自储为典型特征。

富林洼陷油气勘探始于1967年,多年来由于资源情况不清、油气聚集规律认识不够,钻探井39口未获突破。直到1994—1996年,孤岛采油厂与中国地质大学及胜利物探公司一起,运用成藏动力学理论,对富林洼陷的成藏地质条件进行系统、综合、动态和定量研究,总结出富林洼陷的自身成藏特点,并发现了富斜11和富111块,探明含油面积1.7 km²,石油地质储量252×10⁴ t。此后,富林洼陷的勘探工作一直徘徊不前。2007年以来,

收稿日期:2008-04-05。

第一作者简介:乐大发(1966—),男,高级工程师,油藏地质及工程。

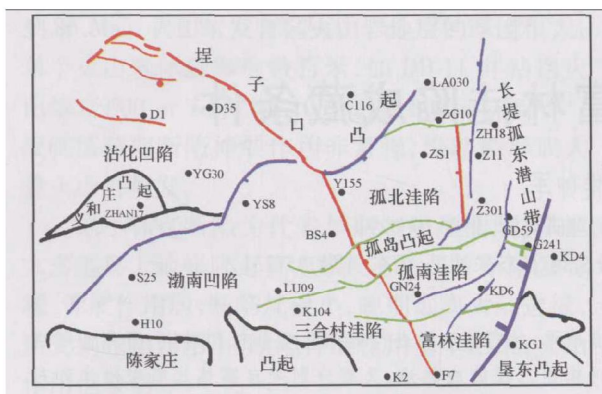


图1 富林洼陷区域构造简图

Fig. 1 Simplified structural map of Fulin sub-sag

随着富115井和富斜22井的相继钻探成功,证实富林洼陷仍具有较大的勘探潜力。

1 成藏控制因素

1.1 烃源岩对油气成藏的控制作用

根据对富林洼陷区几十个油样的分析结果,依据 C_{29} 甾烷的成熟度参数、4-甲基甾烷和 C_{27} 重排甾烷的丰度将本区的原油分为3类(图2)。

第一类为低熟油,以富15井古近系沙河街组三段(以下简称沙三段)的原油为代表。其 C_{29} 甾

烷的异构化稀疏 $20S/(20S+20R)$ 值和 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值范围是 0.25~0.35,成熟度较低;有时,含少量伽马蜡烷,如富7井和富15井的原油;4-甲基甾烷和 C_{27} 重排甾烷的含量较低。将原油与富15井的烃源岩样品对比,二者具有明显的相识性,这证明是来自于富林洼陷东次洼低成熟的沙三段烃源岩。该类原油主要分布在东次洼周边的古近系沙四段—中生界地层中,其范围主要是东次洼西部的富15和富7等井区。

第二类中熟油,以垦95-斜6井沙三段的原油为代表,主要产于中次洼北部邻近垦利断裂的沙三段储层。其 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值和 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值的范围是 0.365~0.450,成熟度中等,明显高于第一类,但比第三类略低、伽马蜡烷含量低,4-甲基甾烷较为丰富。这类原油主要来源于中次洼沙三段成熟的烃源岩、由于毗邻断层,受到垂直运移与混入一些其他来源油的影响,其含油层位主要为古近系沙二段、沙三段和中古生界地层内,其分布范围主要是中次洼周边。

第三类高熟油,以垦古斜100井、富111-斜7井东营组的原油为代表,主要产于西部垦利断裂带的古近系东营组储层。其 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值和 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值的范围是 0.45~0.50;几乎不含伽马蜡烷,但4-甲基甾烷和 C_{27} 重排甾

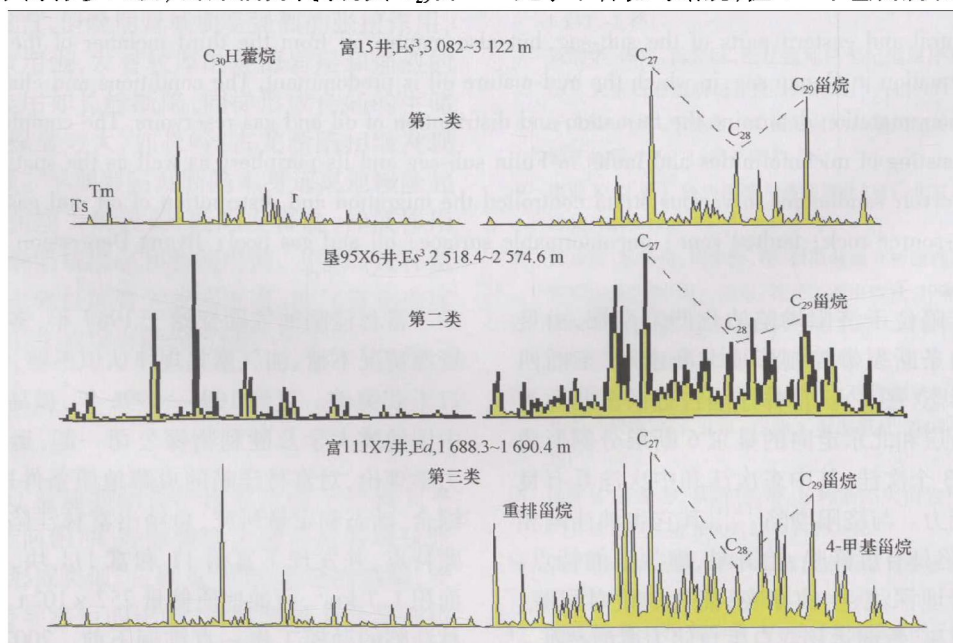


图2 富林洼陷3类典型原油代表性色-质谱

Fig. 2 Typical chromatograph and mass spectrogram of three typical crude samples in Fulin sub-sag

烷的含量十分丰富。图2中展示了该类油样的色谱图,其成熟度高于富林洼陷沙三段烃源岩平均的成熟度,因此该类原油来源于孤南洼陷沙三段烃源岩。该类原油主要分布在东营组和沙一、沙二段地层内,主要沿垦利断裂带分布。

1.2 输导体系为影响富林洼陷成藏的重要因素

油气形成后,首先从源岩中排出到输导层(初次运移),然后通过运移通道进入圈闭,形成油气藏^[6,7](二次运移)。在富林洼陷可以作为二次运移通道的有以下3种。

1) 砂岩输导层

对油气藏形成有重要贡献的是沙三段中-下部的砂岩体。沙三下段是本区主要的源岩层,当源岩中的油气成熟并达到排烃门限后,在流体压力的作用下,首先排向其邻近的砂层,然后再沿砂层侧向运移。在生油次洼中,沙三段下部的含砂率低,仅为10%~15%;沙三中-上段略高,可达15%~25%,其输导条件优于沙三段下部。富15井的原油是沙三段下部烃源岩生成的油直接进入邻近的底部储层中。此外,在北部垦利断裂带下降盘边缘和东部垦东断裂带下降盘,沙三段下部的(扇)三角洲前缘砂体十分发育,不仅有利于侧向运移,也有利于垂向运移。垦95断块和富111块的部分原油产于沙三段的砂体中,是中次洼的油侧向运移的贡献。

2) 断裂带

断层在油气运移过程中可以起到输导作用,又可以对圈闭起到封堵作用^[8,11]。它是沟通各个

成藏动力学系统的重要通道。本区断层可以分为两大类。一类是洼陷的边界断层,另一类是内部次级断层,其对油气运移和聚集的影响不同。

洼陷边界断层。该类断层为二、三级断层,如垦利大断层、垦东6断层。这些断层发育早,活动时间长,落差大,控制了洼陷的沉积、构造和生烃洼陷的发育(图3,图4)。

垦利断层,应力性质、活动特点与孤南断裂带非常相似,活动强度小于孤南断裂带而张性更强。具有侧向通道作用、垂向通道和封堵作用。富林洼陷自生的原油,由于大量排烃期在新近纪明化镇晚期,此时,断层活动近于停止,通道作用减弱,封堵作用加强。分析认为北部垦95断块中沙三段油藏,如垦95-13井、垦95-斜6井的油只能是由富林洼陷提供的。

垦东6断层,具强烈张扭属性,该断层除了具有与垦利断层相似的作用以外,它还具有另一方面的供油功能。该断层作为一条北西盘下掉的断层,断距达几百至千米,而在东北部与垦利大断层交切,因此,成为孤南洼陷沙三段的油源向富林洼陷供油的重要途径。在垦90断块形成聚集后,油气还可继续沿断层运移进入富林洼陷,形成垦20断块和垦77断块沙一段和东营组油气藏。

洼陷内部断层。这些断层活动时间短,落差小,向着南部斜坡不断抬升。其主要活动期在古近纪,而在新近纪明化镇时期,当油气大量生成并运移的时候,活动性微弱。因而,这些断层对其形成有效的侧向封堵和折向作用,而垂向和侧向通道作用不明显。

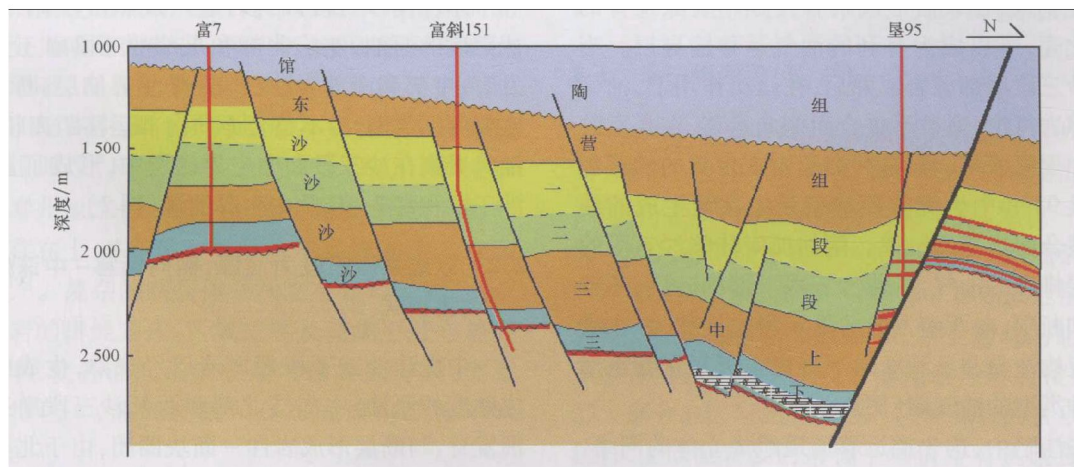


图3 过富林洼陷南北向油藏剖面示意图

Fig. 3 NS-trending reservoir profile across Fulin sub-sag

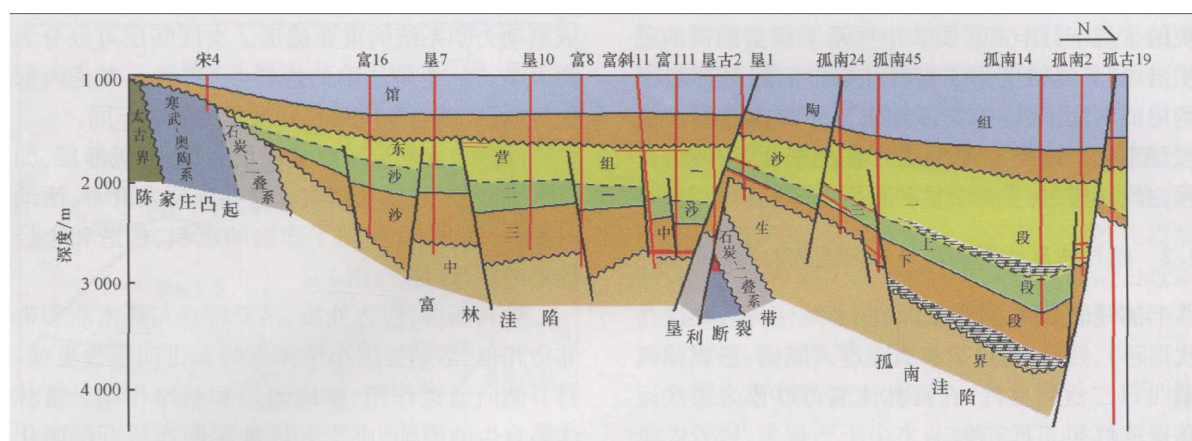


图4 富林注陷—垦利断裂带—孤南注陷南北向油藏剖面图

Fig. 4 Reservoir profile across Chenjiashuang 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)

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)