

沾化凹陷多元供烃成藏单元研究及勘探意义

王大华^{1,2}, 陈世悦¹

(1. 中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580;

2. 中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 针对沾化凹陷具有的“多洼多烃、多期油气充注、多期成藏和多凹(洼)混源”的特点, 以次级构造单元为基础, 以烃源岩为出发点, 以油源对比技术为纽带, 以油气藏为中心, 以明确各洼陷各套烃源岩的供烃范围和油气成藏路径、过程以及各构造带的勘探潜力为目的, 将具有类似油气来源、相似输导方式及成藏特征的复式油气成藏带定义为多元供烃成藏单元。共划分了单洼单烃、多洼多烃、单洼多烃和多洼单烃4类和义东—埕南单洼多烃成藏单元、长堤—孤东北部—垦东主体多洼多烃成藏单元、陈家庄—垦西单洼多烃成藏单元、邵家—渤南—孤北单洼单烃成藏单元、孤南—富林单洼单烃成藏单元、孤岛多洼多烃成藏单元和孤东南部—垦东西部单洼多烃成藏单元7个多元供烃成藏单元, 并明确了多元输导方式与洼陷油气来源决定的不同供烃成藏单元类型及特征。多元供烃成藏单元的研究具有重要勘探意义, 一方面可应用混源比判析技术明确各单元油气剩余资源潜力, 另一方面可综合输导方式、方向与圈闭发育规律预测油气勘探潜力方向。

关键词: 多元供烃成藏单元 成藏特征 油气勘探 断陷盆地 沾化凹陷

中图分类号: TE112.31

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2015)05-0028-06

Research on multi-source-supply reservoir-forming units in Zhanhua sag and its exploration significance

Wang Dahua^{1,2}, Chen Shiyue¹

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao City, Shandong Province, 266580, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: Zhanhua sag has the characteristics of “multi-sub-sag with multi-hydrocarbon-source, multi-stage hydrocarbon charging and accumulation and mixed sources of multi-sub-sag”. In accordance with the above characteristics, based on the division of sub-structural units, from source rocks to petroleum reservoirs, oil-source correlation techniques was applied to analyze and determine the hydrocarbon supplying range of source rocks of different sub-sags, the pathways and processes of hydrocarbon-migrating and the exploration potential of different structural belts. On the basis of the analyses, a composite petroleum accumulation belt with similar sources and migration pathways and reservoir-forming characteristics was defined as a multi-source-supply reservoir-forming unit, and four classifications and seven units were classified and divided totally. The types are single sub-sag with single hydrocarbon source, multi-sub-sag with multi-hydrocarbon-source, single sub-sag with multiple hydrocarbon sources, multi-sub-sag with single hydrocarbon-source, and the units are the Yidong-Chengnan unit with single sub-sag and multiple hydrocarbon sources, the Changdi-north Gudong-Kendong uplift unit with multi-sub-sag and multi-hydrocarbon-source, the Chenjiazhuang-Kenxi unit with single sub-sag and multiple hydrocarbon sources, the Shaojia-Bonnan-Gubei unit with single sub-sag and single hydrocarbon source, the Guan-Fulin unit with single sub-sag and single hydrocarbon source, the Gudao unit with multi-sub-sag and multi-hydrocarbon-source, the south Gudong-west Kendong unit with single sub-sag and multiple hydrocarbon sources. It also indicates that the type and characteristics of different units are determined by multi-migration pathways and petroleum sources of the

收稿日期: 2015-07-14。

作者简介: 王大华(1969—), 男, 湖北广水人, 高级工程师, 在读博士研究生, 从事石油地质综合研究。联系电话: (0546)8715101, E-mail: 461173226@qq.com。

基金项目: 国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006-003)。

sub-sags. The research on multi-source supply reservoir-forming units has great exploration significance. On one hand, the remaining resource potential is clear by applying oil-source correlation techniques; on the other hand, the petroleum exploration potential area can be predicted based on the integrated study of migration pathways and directions and trap development laws.

Key words: multi-source-supply reservoir-forming units; reservoir-forming characteristics; petroleum exploration; faulted basin; Zhanhua sag

含油气系统是由 Magoon 等正式提出的概念,指包含一个有效的烃源岩和与之相关的所有油气藏,包括油气藏形成所必需的一切地质要素和作用过程^[1-2]。含油气系统是介于沉积盆地和勘探区带之间的一个油气地质单元,是以一个独立的烃源岩体为出发点,来研究油气的生成、运移和聚集的历史,评价油气资源潜力,预测有利勘探目标。中国东部陆相断陷含油气盆地往往发育多个生油洼陷和多套有效烃源岩(简称多洼多烃),形成了多个含油气系统;且这些含油气系统在垂向上呈叠置式、交叉式或贯通式接触,从而使得一个构造带(或圈闭)的油气来源于多个生烃灶或一个生烃灶的多套生烃层,或者一个生烃灶可能为多个构造带(或圈闭)提供油气^[3]。如果用含油气系统的概念、方法评价油气资源潜力和预测有利勘探目标,可能导致错误评估各区带的油气资源潜力,降低勘探效率。笔者以渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷为例,根据断陷盆地成烃、成藏特征,提出多元供烃成藏单元的概念,力求更有效地总结油气成藏控制因素及分布规律,预测有利勘探潜力及方向。

1 区域地质概况

沾化凹陷是隶属于济阳拗陷的一个古近纪断陷型凹陷。凹陷内呈现“五洼夹一凸”的构造格局,北有邵家洼陷、渤南洼陷和孤北洼陷,南有孤南洼陷和富林洼陷,中间夹着孤岛低凸起。凹陷西、北、东部分别以断层与义和庄凸起、埕东凸起、长堤—孤东—垦东凸起相接^[4]。

受构造运动和古气候的共同控制,沾化凹陷古近纪经历了多个沉积旋回,发生过多次湖侵过程,形成了多套烃源岩。沙四段上亚段、沙三段下亚段和沙一段是沾化凹陷的3套优质烃源岩层,以发育富含有机质的纹层为特征,沙三段中亚段为普通烃源岩层^[5]。通过对凹陷内各次一级洼陷烃源岩组成及生物标志物等分析表明,不仅不同烃源岩层生物标志物特征存在差异,而且不同洼陷同一烃源岩层也具有(较大)差异。沙四段上亚段烃源岩主要

发育于渤南和孤北洼陷;在渤南洼陷,甲藻甾烷不发育,三芳甲藻甾烷一定程度发育, $\delta^{13}\text{C}$ 变化相对较小,同时出现许多碳酸盐岩生烃特征;而在孤北洼陷,甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷均不发育, ^{13}C 富集且 $\delta^{13}\text{C}$ 分布稳定。沙三段下亚段烃源岩在研究区普遍发育;在渤南洼陷,甲藻甾烷不发育,三芳甲藻甾烷发育,碳同位素呈“U”型分布,变化幅度不大,低碳数偏重,仍出现许多碳酸盐岩生烃特征;在孤北洼陷,甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷均不发育,碳同位素特征与渤南洼陷类似;在孤南洼陷,甲藻甾烷不发育,三芳甲藻甾烷发育,碳同位素偏轻,且分布较为稳定;在富林洼陷,甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷均发育。沙三段中亚段烃源岩主要发育在渤南洼陷,甲藻甾烷和4-甲基甾烷不发育,三芳甲藻甾烷和重排甾烷较丰富,碳同位素呈“U”型分布,低碳数偏重。沙一段烃源岩在研究区普遍发育,甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷均发育, ^{13}C 富集且 $\delta^{13}\text{C}$ 分布平稳。邵家洼陷因埋藏较浅,各套烃源岩普遍未达到成熟阶段。

2 多元供烃成藏单元概念及划分

2.1 多元供烃成藏单元概念

多元供烃成藏单元概念是在含油气系统理论基础上,结合断陷盆地通常所具有的“多洼多烃、多期油气充注、多期成藏和多凹(洼)混源”的成藏特点提出的。一个构造单元或圈闭组合在平面上存在2个或2个以上供烃洼陷,纵向上存在2套或2套以上供烃烃源岩层(图1),这种多元供烃的存在必然导致成藏的多样性、复杂性。多元供烃成藏单元是指具有类似油气来源、相似输导方式及成藏特征

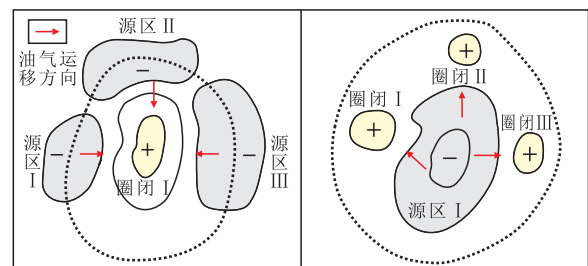


图1 多元供烃成藏单元平面示意

Fig.1 Sketch map of multi-source supply

的复式油气成藏带。同一类构造带的油气输导方式、成藏特征往往具有一定的相似性,在此基础上建立源—藏关系,根据多元供烃的异同点划分出多元供烃成藏单元。解剖多元供烃成藏单元源—藏关系,明确油气运移路径及成藏过程,不仅有利于成藏规律的总结,而且有助于剩余油气资源潜力评价和勘探方向的预测。

2.2 多元供烃成藏单元划分

多元供烃成藏单元的划分,以沾化凹陷次级构造单元的划分为基础,以烃源岩为出发点,以油源对比技术为纽带,以油气藏为中心,以明确各洼陷的供烃范围和油气成藏路径、过程以及各构造带的勘探潜力为目的。多元供烃成藏单元可分为单洼单烃、多洼多烃、单洼多烃和多洼单烃4种类型。单洼单烃型是指含油气构造带由1个生烃洼陷的1套生烃层系提供油气来源;单洼多烃型是指含油气构造带由1个生烃洼陷的2套或2套以上生烃层系提供油气来源;多洼单烃型是指含油气构造带由2个或2个以上生烃洼陷,且每个洼陷只有1套生烃层系提供油气来源;多洼多烃型是指含油气构造带由2个或2个以上生烃洼陷,且每个洼陷有2套或2套以上生烃层系提供油气来源。可以看出,除单洼单烃型外,其他3种类型都存在混源现象。

采用传统的单元划分方法将沾化凹陷划分为20个次级构造单元,对这些构造单元的烃源进行了对比分类,其中渤南、孤南、五号桩、河滩、垦利为单洼单烃型,孤岛主体、垦东主体、孤东北部、长堤为多洼多烃型,义东、义和庄、陈家庄、垦西、埕南、桩西、红柳、垦东西部、孤东南部为单洼多烃型,孤岛东区和南区为多洼单烃型。结合输导方式、成藏特征对这些构造单元进行合并,共划分出7个多元供烃成藏单元(图2),分别为:①义东—埕南单洼多烃型成藏单元、②长堤—孤东北部—垦东主体多洼多烃型成藏单元、③陈家庄—垦西单洼多烃型成藏单

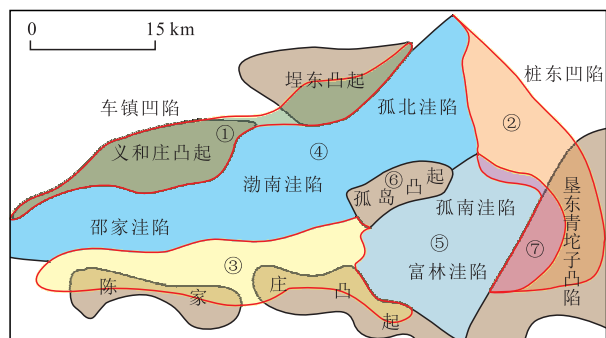


图2 沾化凹陷多元供烃成藏单元划分

Fig.2 Division sketch of the multi-source-supply reservoir-forming units in Zhanhua sag

元、④邵家—渤南—孤北单洼单烃型成藏单元、⑤孤南—富林单洼单烃型成藏单元、⑥孤岛多洼多烃型成藏单元、⑦孤东南部—垦东西部单洼多烃型成藏单元。

3 多元供烃成藏单元成藏特征

沾化凹陷具有断裂发育、物源供给较充足、构造变动期次多的特点,这决定了油气运移聚集的输导体系静态要素包括骨架砂体(储层)、层序界面(不整合面)、断层及裂缝。由不同的要素可配置成不同的输导体系类型,并呈现出规律性分布^[6-7]。通过对沾化凹陷地质结构、油源对比等分析,明确了该区输导体系类型主要有:仅由断裂(裂隙)组成的一元裂隙型、一元断裂纵向型、一元断裂横向型,由断裂和骨架砂体组成的二元“网毯”型^[8]、二元“T”型,由断裂和不整合面组成的二元断裂侧向—不整合型、二元不整合—断裂型,由断裂、不整合、骨架砂体组成的三元立体型。缓坡—凸起带主要发育三元立体型、二元“网毯”型,斜坡带发育二元不整合—断裂型、二元断裂侧向—不整合型,洼陷带发育一元断裂纵向型、一元裂隙型,陡坡—凸起带发育一元断裂横向型、二元“T”型。

多元输导方式与洼陷油气来源决定了供烃成藏单元类型及成藏特征。从沾化凹陷多元供烃成藏单元类型分布来看,洼陷带以单洼单烃型为主,缓坡—凸起带、陡坡—凸起带以单洼多烃型为主,中央凸起带(孤岛)尽管局部为多洼单烃型,但主要为多洼多烃型,且均具有混源特点,因此可合称为多洼多烃型。

3.1 陡坡—凸起带单洼多烃型成藏单元

义东—埕南和孤东—垦东陡坡带属此种类型(图3)。在平面上,来自渤南洼陷的油气向义东—埕南陡坡带短距离运移,来自孤南洼陷的油气向孤东—垦东陡坡带短距离运移;在纵向上,洼陷多套烃源岩生成的油气通过控盆油源大断层垂向运移,然后沿骨架砂体横向运移,在陡坡带及凸起带大规模混合充注富集。陡坡带各类扇体的有序组合形成了油气藏呈规律性的展布,构成了陡坡带深部扇根封堵岩性油气藏—中浅部岩性—构造油气藏特有的油气成藏模式。在平面展布上,由陡坡带向凸起带依次是岩性油气藏、岩性—构造油气藏、地层油气藏、滚动背斜油气藏;在剖面上,自下而上则为岩性油气藏、岩性—构造油气藏、滚动背斜油气藏、岩性油气藏等。

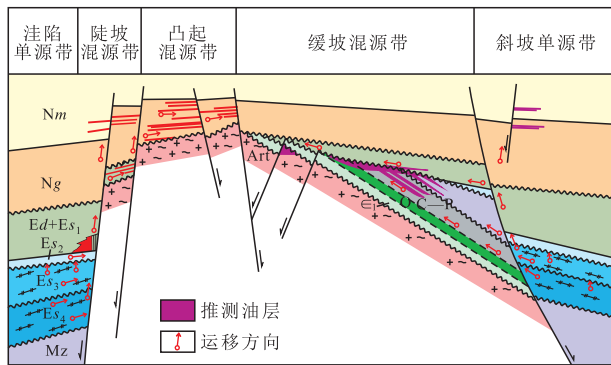


图3 沾化凹陷陡坡—凸起带单洼多烃型成藏单元成藏模式

Fig.3 Reservoir-forming scheme of single sub-sag unit with multi-source supply of steep slope-salient belt in Zhanhua sag

3.2 注陷带单洼单烃型成藏单元

渤南深洼带、孤北和孤南—富林洼陷带均属此种类型。尽管洼陷内存在多套烃源岩层,但洼陷内断裂发育较少,且停止活动时期较早,油气主要以横向运移为主。因此,单洼单烃型并非指洼陷内只有1套烃源岩供油,而是洼陷内各层系各类圈闭主要是由相应单一层系烃源岩提供油气来源。烃源岩层往往也是各层系成藏体系的分隔层。主要油藏类型是岩性油藏,部分为构造-岩性油藏或构造油藏。来自周边凸起的物源在洼陷深湖环境发生滑塌浊积形成的浊积体或者扇三角洲储层,有些被泥岩包裹,从而形成岩性圈闭;有些被断层切割,形成构造-岩性圈闭或构造油藏^[9](图4)。

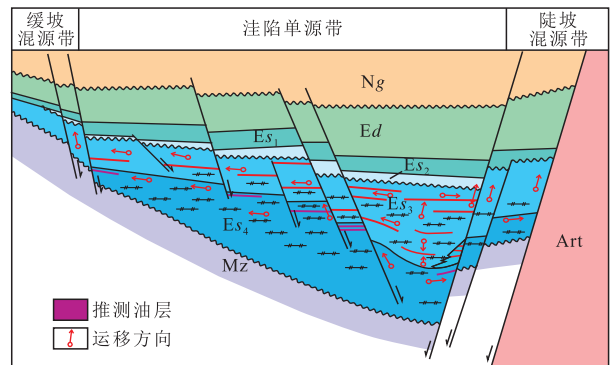


图4 沾化凹陷注陷带单洼单烃型成藏单元成藏模式

Fig.4 Reservoir-forming scheme of single sub-sag unit with single-source supply of sub-sag belt in Zhanhua sag

3.3 中央凸起带多洼多烃型成藏单元

孤岛凸起、长堤—孤东北部—垦东主体属此种类型。孤岛凸起是位于沾化凹陷中的低凸起,周边有渤南、孤北、孤南3个洼陷,油气可分别通过凸起边界大断层(孤北、孤西、孤南断层)向孤岛低凸起进行短距离垂向运移,多个洼陷、多套烃源岩所生成的油气在此混合聚集,形成混源型的孤岛油田。类似构造带为多个生烃洼陷所包围,烃源充足,但供烃并不均衡,而是以某个洼陷为主,这与油气的成藏动力和输导体系的发育密切相关。孤岛凸起以新近系披覆构造油气藏为主(图5)。长堤—孤东北部—垦东主体则属于由沾化凹陷与桩东凹陷多个(凹陷)洼陷多套烃源岩供给成藏,也以新近系披覆构造油气藏为主。

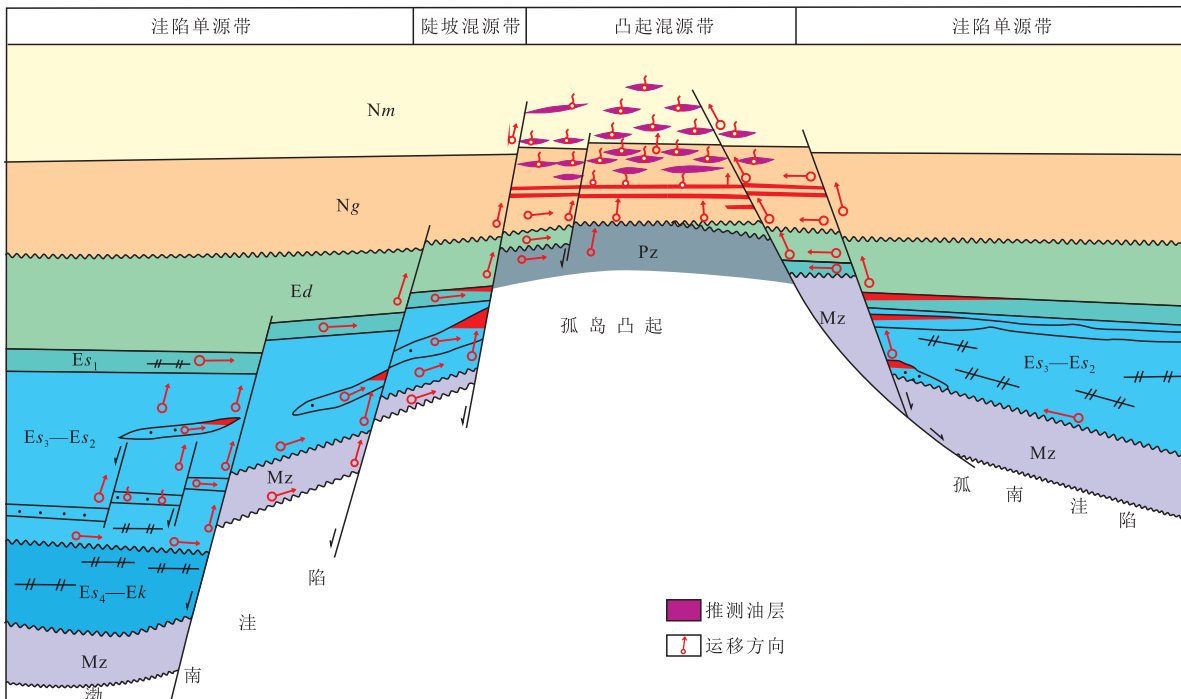


图5 沾化凹陷中央凸起带多洼多烃型成藏单元成藏模式

Fig.5 Reservoir-forming scheme of multi-sub-sag unit with multi-source supply of central salient belts in Zhanhua sag

3.4 缓坡—凸起带单洼多烃型成藏单元

陈家庄—垦西缓坡带属此种类型。在平面上,油气从渤南洼陷向缓坡带以及陈家庄凸起发生较长距离运移;在纵向上,油气通过缓坡带古近系底不整合、沙二段底不整合、新近系底不整合以及砂体和断层组成的输导网络进行大规模侧向运移,渤南洼陷沙四段上亚段、沙三段等多套烃源岩生成的油气混合聚集于陈家庄—垦西缓坡带的各类圈闭之中^[10]。陈家庄—垦西缓坡带发育多级不整合面和断裂,因此,主要包括地层类及构造类油气藏。在平面上,从边缘凸起到洼陷中心依次发育岩性油藏、地层超覆油藏、断块油藏、构造-地层油藏以及岩性油藏;在剖面上,自下而上发育岩性油藏、断块油藏、构造-岩性油藏、地层超覆油藏(图6)。

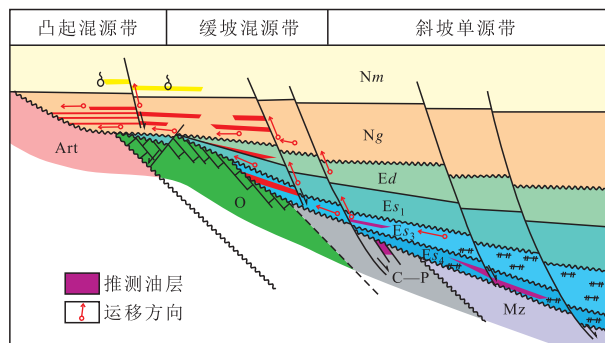


图6 沾化凹陷缓坡—凸起带单洼多烃型成藏单元成藏模式

Fig.6 Reservoir-forming scheme of single sub-sag unit with multi-source supply of gentle slope-salient belt in Zhanhua sag

4 勘探意义

对于西部叠合型盆地,赵文智等提出了复合含油气系统的概念,并将中国叠合盆地的复合含油气系统分为继承型、延变型与改造型3种类型,强调了“从生烃灶确定开始,以顺藤摸瓜的方式,确定不同关键时刻,理清各成藏地质要素特征与空间组合关系,指出油气运移和聚集的空间范围”的复合含油气系统研究内容及描述方法,有效地指导了西部叠合型盆地油气勘探^[11-13]。笔者提出的多元供烃成藏单元概念,则主要是针对东部断陷盆地,更注重突出源—藏关系以及成藏路径、过程的相似性。

断陷盆地多洼、多套烃源岩供给、混源成藏的特点制约了含油气系统的划分,多元供烃成藏单元概念的提出可为断陷盆地从源至藏的研究提供新的思路。一方面可明确各构造带(单元)油气资源潜力,另一方面可预测油气勘探潜力与方向。

依据油气资源评价结果和分隔槽理论^[14-15],可以明确各多元供烃成藏单元的总资源量及各套烃源岩的可能贡献率。在各单元内,应用混源比定量判析技术^[16-18]对已探明(发现)油气藏进行混源比计算,确定已探明(发现)储量的来源。结合总资源量与已探明资源量的分配,最终确定单元内的剩余资源量及各套烃源岩的可能贡献率。

由于同一单元内油气的输导方式具有一定的相似性,圈闭呈现规律性的分布。因此,应用流体势分析技术^[14],结合输导体系分析,可确定油气运移的方式与方向。通过构造演化、地质结构、储盖配置综合分析,可确定运移路径上的圈闭类型及分布;再通过成藏期次、圈闭形成时期的耦合研究等进行圈闭有效性评价,即可预测出勘探潜力和方向。

5 结论

以沾化凹陷次级构造单元的划分为基础,以烃源岩为出发点,以油源对比技术为纽带,以油气藏为中心,结合各洼陷的供烃范围和油气成藏路径及过程,将沾化凹陷划分为单洼单烃型、多洼多烃型、单洼多烃型和多洼单烃型4类和义东—埕南单洼多烃型成藏单元、长堤—孤东北部—垦东主体多洼多烃型成藏单元、陈家庄—垦西单洼多烃型成藏单元、邵家—渤南—孤北单洼单烃型成藏单元、孤南—富林单洼单烃型成藏单元、孤岛多洼多烃型成藏单元和孤东南部—垦东西部单洼多烃型成藏单元7个多元供烃成藏单元。其中洼陷带以单洼单烃型为主,缓坡—凸起带、陡坡—凸起带以单洼多烃型为主,中央凸起带(孤岛)尽管局部为多洼单烃型,但主要为多洼多烃型,且均具有混源特点,故合称为多洼多烃型。不同多元供烃成藏单元具有不同的成藏特征,形成的油气藏类型也有所差异。根据各多元供烃成藏单元的总资源量及各套烃源岩的可能贡献率,应用混源比定量判析技术确定已探明储量的来源,可确定单元内的剩余资源量,进而预测油气勘探潜力和有利勘探方向。

随着勘探的深入,东部陆相断陷湖盆的勘探程度越来越高,勘探难度越来越大。尝试用不同思路、不同方法来指导勘探部署,势必会带来新的勘探成果和认识。

参考文献:

- [1] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system - from source to trap [M]. AAPG Memoir 60, 1994: 2-32.

- [2] Magoon L B, Sanchez R M. Beyond the petroleum system [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(12): 1 731-1 736.
- [3] 朱光有, 金强, 高志卫, 等. 沾化凹陷复式生烃系统及其对油气成藏的控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(1): 105-111.
Zhu Guangyou, Jin Qiang, Gao Zhiwei, et al. Multiplex hydrocarbon-generation system and its controlling on reservoir formation in Zhanhua depression [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 24(1): 105-111.
- [4] 方旭庆. 沾化凹陷凸起带旋扭运动及其与新近系油气聚集的关系[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(2): 39-44, 65.
Fang Xuqing. Rotation-shearing movement and its relationship with hydrocarbon accumulation of Neogene in uplift belts of Zhanhua sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(2): 39-44, 65.
- [5] 宋国奇, 刘华, 蒋有录, 等. 沾化凹陷渤南洼陷沙河街组原油成因类型及分布特征[J]. 石油实验地质, 2014, 36(1): 33-38.
Song Guoqi, Liu Hua, Jiang Youlu, et al. Genetic types and distribution characteristics of crude oils from Shahejie Formation in Bonan Subsag, Zhanhua Sag, Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1): 33-38.
- [6] Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: a three-dimensional model [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(9): 1 451-1 481.
- [7] 王永诗, 郝雪峰. 济阳断陷湖盆输导体系研究与实践[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007, 34(4): 394-400.
Wang Yongshi, Hao Xuefeng. Search and practice of the conduit systems in Jiyang depression, Shandong, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2007, 34(4): 394-400.
- [8] 张善文, 王永诗, 石砥石, 等. 网毯式油气成藏体系——以济阳坳陷新近系为例[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 1-9.
Zhang Shanwen, Wang Yongshi, Shi Dishu, et al. Meshwork-carpet type oil and gas pool forming system—Taking Neogene of Jiyang depression as an example [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 1-9.
- [9] 卢浩, 蒋有录, 谷国翠, 等. 渤南洼陷沙三段油气运移路径分析[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(3): 49-52.
Lu Hao, Jiang Youlu, Gu Guocui, et al. Hydrocarbon migration characteristics in Bonan sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(3): 49-52.
- [10] 刘军锶, 尚墨翰, 董宁芳, 等. 陈家庄凸起北坡稠油地层油藏扇体侧向封堵性分析[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(4): 19-22.
Liu Jun'e, Shang Mohan, Dong Ningfang, et al. Analysis on lateral blockage of the fans in heavy oil stratigraphic reservoirs at north slope of Chenjiazhuang uplift [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 19-22.
- [11] 赵文智, 何登发, 池英柳, 等. 中国复合含油气系统的基本特征与勘探技术[J]. 石油学报, 2001, 22(1): 6-13.
Zhao Wenzhi, He Dengfa, Chi Yingliu, et al. Major characteristics and exploration technology of multi-source petroleum systems in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(1): 6-13.
- [12] 赵文智, 何登发, 瞿辉, 等. 复合含油气系统中油气运移流向研究的意义[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 7-12.
Zhao Wenzhi, He Dengfa, Qu Hui, et al. Study on the pathways of hydrocarbon migration of the composite petroleum system [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(4): 7-12.
- [13] 贾承造, 魏国齐, 李本亮. 中国中西部小型克拉通盆地群的叠合复合性质及其含油气系统[J]. 高校地质学报, 2005, 11(4): 479-482.
Jia Chengzao, Wei Guoqi, Li Benliang. Superimposed-composite characteristics of micro-craton basins and its bearing petroleum systems, central-western China [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11(4): 479-482.
- [14] 刘晓冬, 徐景祯, 李椿, 等. 流体势场中油气运移分隔槽的自动识别及运聚单元的划分[J]. 地质科学, 2002, 37(3): 295-301.
Liu Xiaodong, Xu Jingzhen, Li Chun, et al. Automatic definition of compartment troughs and accumulation units based on the fluid potential [J]. Scientia Geologica Sinica, 2002, 37(3): 295-301.
- [15] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface [J]. Journal of the Geological Society, 1987, 144(2): 327-347.
- [16] 周妮, 王海静, 柯贤贵, 等. 室内配比混源油地球化学特征研究[J]. 天然气勘探与开发, 2009, 32(3): 4-7.
Zhou Ni, Wang Haijing, Ke Xian'gui, et al. Geochemical characteristics of proportional mixed oil [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2009, 32(3): 4-7.
- [17] 郑亚斌, 黄海平, 周树青, 等. 牛庄—八面河地区原油混源问题探讨及混合比计算[J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 795-799.
Zheng Yabin, Huang Haiping, Zhou Shuqing, et al. Discussion on oil mixing and calculation of mixing-ratio in Niuzhuang to Bami-anhe Area, Dongying Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(5): 795-799.
- [18] 陈建平, 邓春萍, 梁狄刚, 等. 叠合盆地多烃源层混源油定量判析——以准噶尔盆地东部彩南油田为例[J]. 地质学报, 2004, 78(2): 270-288.
Chen Jianping, Deng Chunping, Liang Digang, et al. Quantification of mixed oil derived from multiple source rocks: a typical case study of the Cainan oil field in the East Junggar Basin, Northwest China [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(2): 270-288.