

渤海海域胜顺油田油气成藏 规律及勘探潜力

熊 伟,张明华,徐昊清

(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:胜顺油田位于渤海海域渤东凹陷东部斜坡带,近 10 年勘探处于停滞不前状态,勘探潜力及勘探方向不明,如何打开勘探局面成为当前面临的关键问题。研究区主要发育元古界、沙四段—孔店组、东营组及馆下段 4 套良好的储盖组合。利用地震、钻井等资料,对研究区断裂、圈闭、成藏条件进行了综合分析,落实了不同层系的勘探潜力。其中,元古界构造圈闭面积大,但储层非均质性强,内部构造复杂,可作为兼探层系;沙四段—孔店组具典型残留地层特征,岩性以火成岩为主,储层物性较差,勘探难度大;东营组和馆下段是本区主力勘探层系,受走滑断裂发育程度和规模的影响,构造圈闭表现为面积小、含油高度低的特点,地层超覆圈闭和断裂岩性圈闭具有较大勘探潜力。东营组底部不整合对油气大范围横向运移有重要作用;不同走向断层控制了油气富集差异。NNE 向主油源断层+东营组底部不整合+NNW 向次级油源断层构成了本区油气自西向东阶梯式运移的立体输导网络。依据油气运聚规律认识,近期突破应优先考虑近源勘探。

关键词:渤海海域;胜顺油田;走滑断裂带;地层超覆;不整合;油气成藏

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.02006

胜顺油田位于渤海湾东北部的浅海海域,区域构造上位于渤东凹陷与胶辽隆起的接合部,属于胜利油田的一个外围勘探区块。2005 年钻探第一口探井胜顺 1 井获得高产工业油流,馆下段日产油 75.7 t,东营组日产油 80.3 t,然而之后部署实施了 8 口探井相继失利,研究区到底有没有勘探潜力?油气成藏规律如何?这些问题直接影响了下一步的勘探部署。对渤海海域渤东地区的研究涉及到构造、沉积、成藏等各个方面^[1-7],但是,针对胜顺油田所在的渤东凹陷东部斜坡带

的研究资料较少。本次研究针对研究区内不同层系勘探面临的主要问题,结合钻探成败分析,重点开展了圈闭发育及油气成藏条件的研究,旨在通过对该区油气地质条件的系统分析、总结,落实其勘探潜力,为下一步勘探突破指明方向。

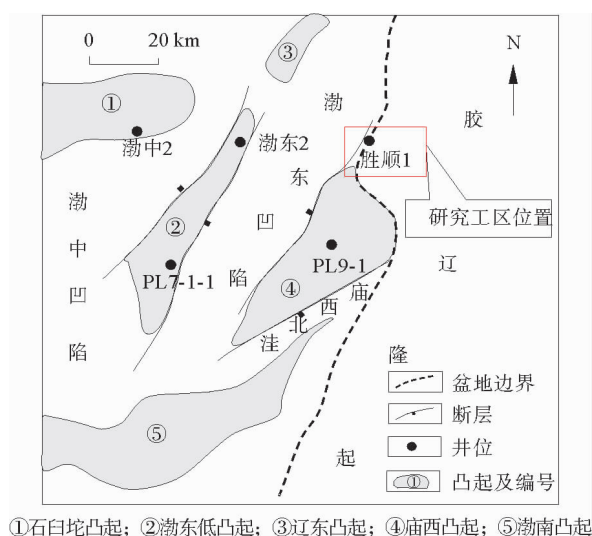
1 区域地质概况

研究区位于渤东凹陷的东部斜坡带,西部通过断裂与渤东凹陷相接,该断裂具走滑性质,区域上与庙西北凸起西侧的边界断层应为同一条^[7];向东为胶辽隆起区,西南与庙西凸起相连(图 1)。水深一般为 0~30 m。以太古界为基底,自下而上主要发育了中上元古界,古近系孔店组、沙河街组、东营组,新近系馆陶组、明化镇组地层,其中古近系沙河街组沙三段—沙一段地层仅分布于西侧

收稿日期:2016-07-13

基金项目:国家“十二五”重大油气专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006)

作者简介:熊 伟(1971—),男,博士,高级工程师,主要从事石油地质综合研究及油气勘探部署工作。E-mail: xiongwei597.slyt@sinopec.com



①石臼坨凸起; ②渤东低凸起; ③辽东凸起; ④庙西凸起; ⑤渤南凸起

图1 研究区构造位置

Fig.1 Structural location map of the study area

边界断层下降盘。区内不整合发育,元古界与古近系、东营组与沙四段—孔店组之间、馆陶组与东营组之间均为区域性角度不整合面。受郯庐断裂带的影响,形成了以走滑断裂伴生构造和地层超覆构造为主的构造格局,发育众多断块、断鼻等构造圈闭及岩性、地层圈闭。

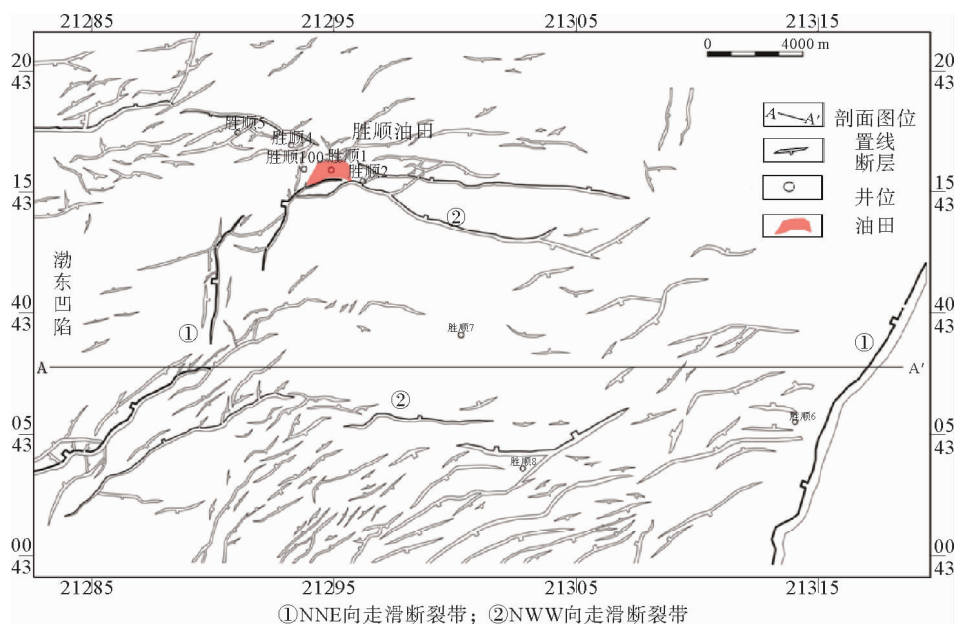
2 断裂特征

研究区位于郯庐走滑断裂带东侧,受郯庐断

裂带走滑活动的影响,发育以花状构造、压扭背斜为代表的走滑构造样式^[8,9]。在工区内发育2组明显的走滑带(图2),一组是与郯庐断裂平行的NNE—SSW走向正断层,呈右行排列,主要发育在研究区的东西两侧;该组走滑断裂活动时间长,古近系沙四段—孔店组沉积时期活动强烈,落差最大可超过1 000 m。另一组是NNW—SEE走向,呈左行排列,主要发育在研究区的南北两侧,对古近系沉积亦有控制作用。另外,区内还发育大量北东走向断层,属于新构造运动的产物,其断距一般较小,在20~50 m之间,但可一直活动至明化镇末期。研究区新生代主要表现为张扭应力环境,剖面上断层组合呈负花状、反“Y”字型构造;浅层多、深层少;主断层陡直,落差小,不同构造层断距不一。

3 地层及圈闭发育特征

工区内新生界地层总体表现为自西向东层层上超的特征(图3)。从目前的钻探情况分析,主要发育了元古界、沙四段—孔店组、东营组及馆下段4套有利的储盖组合。以发育多层系的地层超覆构造(圈闭)及断裂伴生的压扭背斜、断块(鼻)构造(圈闭)为主要特征。受多期构造运动、沉积充填差异的影响,不同层系圈闭发育特征不同。



①NNE向走滑断裂带; ②NNW向走滑断裂带

图2 辽东东地区胜顺油田断裂分布图

Fig.2 Fault distribution map of Shengshun Oilfield in the East Liaodong area

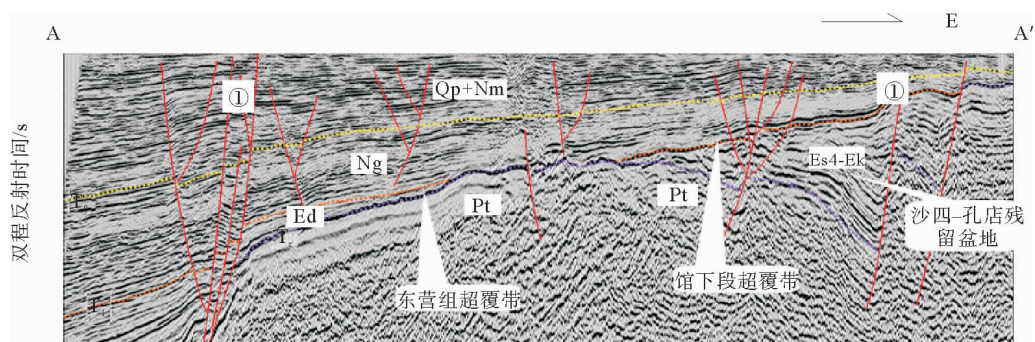


图3 辽东东三维东西向330测线地震剖面(剖面位置见图2)

Fig. 3 330 seismic profile of the East Liaodong 3D (location shown in fig. 2)

3.1 元古界

研究区元古界整体表现为一大型背斜形态,圈闭条件有利,但内部断裂复杂,储层非均质性较强。工区西南部的蓬莱9-1油田潜山取得重大勘探突破,形成一个亿吨级整装油田^[3,10]。对比之下,研究区元古界潜山紧邻渤东凹陷,且构造上亦属于庙西凸起,区域上与蓬莱9-1油田位于同一构造带,圈闭条件相似,有形成大型油气藏的物质基础和圈闭条件。目前只有胜顺7和胜顺8井钻遇元古界,未见油气显示。胜顺8井钻遇元古界地层229.5 m,岩性主要包括辉长岩、辉绿岩、闪长玢岩、泥岩、泥灰岩、灰岩、白云岩等,钻井揭示正常岩性占比47.6%,其中灰岩、白云岩发育70.5 m/7层,测井揭示顶部发育风化壳储层,风化壳之下不同岩性储层也较发育,共解释I、II类储层74.6 m/10层。对883~988 m进行中途测试,日产水129 m³,反映储层物性较好。胜顺7井钻遇元古界地层206.5 m,仅发育5 m的泥岩、泥灰岩,其余为正长岩和流纹岩,正常地层占比仅2.4%,并且测井解释I、II类储层发育段仅有胜顺8井的1/3。由于这两口井均距离油源较远而失利(图1),分析认为一旦运移条件有利,特别是找到灰岩、白云岩发育区,元古界应当具备一定的勘探潜力。

3.2 沙四段—孔店组

沙四段—孔店组在元古界潜山东西两侧各发育一个厚度中心,中部缺失,表现为明显的残留地层特征(图3)。从钻遇的岩性看,由碎屑岩(泥岩和砂砾岩)和火山岩(安山岩、玄武岩、凝灰岩)两

类岩性组成,绝大部分并以火成岩类为主,平均孔隙度<8%,物性偏差。有5口井在沙四段—孔店组见到荧光、油斑显示,油气显示主要集中在距顶部不整合50~120 m范围内,且遭受过严重的生物降解作用,油性较稠。由于该层段岩性以火成岩为主,圈闭刻画难度大,兼整体物性较差,因而不作为近期主力勘探方向。

3.3 东营组、馆陶组

东营、馆陶组以扇三角洲、三角洲、河流沉积体系为主,东营组平均砂地比约30%,馆陶组约40%,储盖配置有利,同时浅层断裂发育,利于形成构造、构造岩性及岩性圈闭。东营组沉积时期,受渤海湾区域构造运动的影响,胜顺地区区域抬升,下伏元古界和沙四段—孔店组地层遭受不同程度剥蚀,整体呈东高西低的斜坡,东营组自西向东逐层超覆。凸起边缘发育一系列的古地形沟谷,东营组沉积早期以扇三角洲、浊积扇沉积为主,晚期以三角洲、浊积岩沉积为主,沉积体系发育演化特征与古地貌形态、断层展布及活动相配置,形成了盆缘带多期超覆环带发育、断裂及古地形坡折处岩性—构造岩性圈闭为主的圈闭有序分布特征。馆陶组以河流相沉积为主,整体砂地比较东营组高,工区内馆陶组底部砂层组也具有超覆特征。

目前胜顺地区已钻井主要针对东营组和馆陶组的构造圈闭,由于该区以走滑断裂活动为主,晚期断层活动强,断裂破碎,断层落差小,因而,构造圈闭规模有限,地层及岩性类圈闭应有较大勘探潜力。通过精细构造解释、瞬时相位追踪、河道砂描述,共落实东营、馆陶组构造圈闭有利面积10

km²,资源量约1 500万t;地层超覆圈闭有利面积28 km²,资源量约3 400万t;有利岩性圈闭25 km²,资源量3 200万t,展现了较大的勘探潜力。

4 油气运移成藏条件

蓬莱9-1油田位于工区西南部,紧邻富生烃的渤东凹陷和庙西北洼,具有双凹供烃、凸起聚烃的优越成藏背景,长期活动断裂—潜山风化壳输导体系对油气聚集起到重要作用^[3];相比之下,研究区缺乏庙西北洼油源供给,前人研究已经证实胜顺地区油气主要来自西部渤东凹陷的沙一段和东营组两套烃源岩^[11];主要生烃期在馆陶至明化镇组沉积时期;但在输导体系构成上呈现出多样性和复合性,不同走向断层、多期不整合及骨架砂体构成的复式输导体系对研究区油气富集起到重要控制作用。

4.1 不整合横向输导

不整合输导性能受多种因素控制^[12],以不整合面为主导输导体系的优势成藏模式,是渤海海域主要大中型油气田的成藏模式之一^[13,14]。研究区处于凸起边缘,抬升剥蚀强烈,地层接触关系比较复杂。区内潜山顶面、东营组与沙四段—孔店组之间、馆陶组与东营组之间均为区域性角度不整合面,不同不整合对油气运移作用不同。通过已钻井显示情况统计分析与不整合结构解剖,证实东营组与下伏地层之间的不整合是本区油气横向运移的重要通道。位于不整合面之上的东营组,其底部多发育底砾岩,平均孔隙度25%,物性较好,横向连通性好,利于油气输导。在工区西北部,北北东向断层上升盘残留沙四段—孔店组地层,与上覆东营组地层不整合接触;向东、向南出露元古界,东营组超覆其上(图4)。已钻9口井中,有6口井在不整合面之上的东营组见到油气显示或成藏。在不整合面之下的沙四段—孔店组有5口井见到油气显示或解释差油层,如胜顺1井在沙四段—孔店组上部测井孔隙度最高可达7.05%,渗透率 $0.963 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,录井见稠油油斑显示4 m/4层;胜顺100井在沙四段—孔店组1 316~1 352 m井段测井孔隙度最高可达6.4%,渗透率 $1.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,录井见稠油油斑

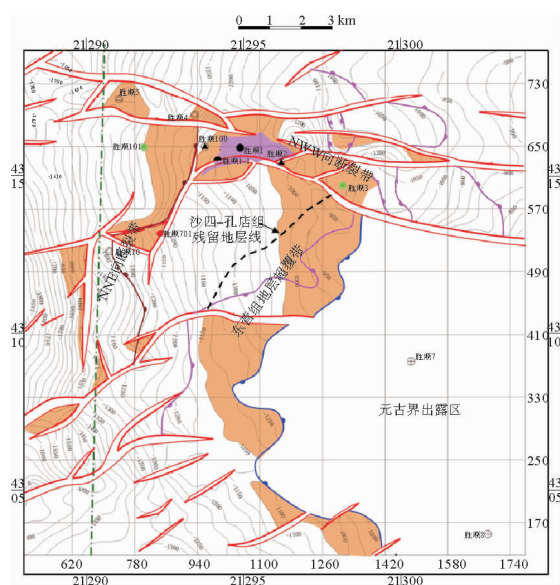


图4 辽东地区有利油气聚集带评价

Fig. 4 Exploration direction in the East Liaodong area

显示36.0 m/3层,进一步证实油气沿该不整合面作横向输导。相比之下,工区西南部东营组直接与下伏元古界风化壳接触,向东过渡为馆陶组与元古界接触,与蓬莱9-1油田潜山地层接触关系相近,推测油气沿南部不整合输导也较为有利。

4.2 不同走向断层控制油气差异富集

胜顺地区不同区带成藏差异性主要受控于走滑断层的纵向输导能力。断层既可以是油气运移的通道,也可以起遮挡作用,主要取决于断层的垂向和侧向封闭性能,其影响因素包括断层活动性、断层性质、断距大小、两侧岩性组合、泥岩涂抹、断面正应力与流体突破压力等^[15],渤海海域断裂活动对油气富集的影响尤其明显^[16-18]。研究区西部的北北东向走滑断裂带距离油源最近,继承性长期活动,向西南一直延伸至庙西北凸起,是P19-1油田重要的油源断层。该断层断距较大,具压扭性质,利于油气聚集(图4),在该断裂带发育的构造、断鼻及与断层相接的岩性体是勘探最有利的目标。与其斜交的2个NNW向走滑断裂带,从平面延伸距离和剖面上断穿深度来看,均未能直接沟通烃源岩,而是通过侧向与北北东向油源断层相接、纵向上与下部不整合面沟通,形成接力输导,为次级油源断层。受区域应力场影响,表现为

一定的张扭性质^[19],断层纵向封闭性略差,但利于油气沿断层走向运移,可作为油气自西向东运移的输导断层,沿该断裂带的构造圈闭要注意断层两侧砂体对接情况。

胜顺1块处于NNE与NW向断层结合部(图4),胜顺1井馆下段、东营组、沙四段—孔店组均见显示,整个显示井段达291 m,说明油气来源充足;油藏解剖表明,该块东营组构造圈闭幅度为80 m,但由于侧向储层对接不利,油藏高度为仅为40 m,胜顺100、胜顺2、胜顺4、胜顺5东营组均位于构造圈闭内较低位置,见显示而未成藏。相比之下,馆陶组砂地比东营组高,单砂体厚度大于断距而导致侧向对接不利,因而,其成藏条件比东营组要求更高。

除这2组断裂外,研究区大量发育的NE向

断层主要为晚期活动断层,主要发育于浅层,且平面延伸较短,难以形成有效输导,但部分与不整合面沟通或与东营组、馆陶组骨架砂体构成网毯输导体系,可对油气成藏起到一定的分配作用^[20]。在断裂相对不发育区,油气自西向东运移距离主要取决于东营组底部不整合面的输导能力。

综合以上分析,研究区总体表现为“不整合横向输导、走滑断层纵向控藏”的油气成藏规律。NNE向主油源断层+东营组底部不整合+NW向次级油源断层构成了本区油气自西向东阶梯式运移的立体输导网络。因此,近油源断裂带附近是近期勘探的突破方向;东部发育大面积的地层超覆圈闭,潜力较大,受不整合上下岩性组合的影响,不同部位成藏条件有差异,与NW向输导断层沟通的地区勘探风险较低(图4、5)。

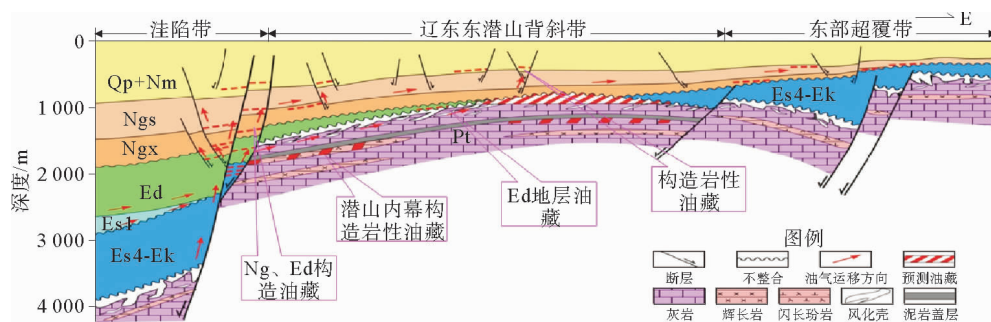


图5 胜顺地区油气成藏模式

Fig. 5 Accumulation model of Shengshun oilfield

5 结论

胜顺地区整体为一西低东高的盆缘斜坡构造带,发育断层(鼻)、岩性、地层等多种圈闭,胜顺1井油气显示井段达291 m,馆陶、东营分别获得75.7 t/d和80.3 t/d的高产工业油气流,证明其具备形成较大规模的复式油气聚集带的物质基础。不同走向断层、多期不整合及骨架砂体构成的复式输导体系对研究区油气富集起到重要控制作用。不同层系沉积、充填特征控制了圈闭发育、展布,进而影响了其勘探潜力。东营组、馆陶组是本区的主力勘探层系,NNE向走滑断裂带附近成藏最有利,是近期勘探突破的方向;东营组地层、岩性圈闭及元古界潜山具有较大勘探潜力,值得进一步探索。

参考文献:

- [1] 陈凯,漆家福,刘震,等.渤海海域渤东地区新生代断裂特征及对油气的控制[J].地质科技情报,2012,31(1):63-71.
- [2] 李才,周东红,吕丁友,等.郑庐断裂带渤东区段断裂特征及其对油气运移的控制作用[J].地质科技情报,2014,33(2):61-65.
- [3] 夏庆龙,周心怀,王昕,等.渤海蓬莱9-1大型复合油田地质特征与发现意义[J].石油学报,2013,34(增刊2):15-23.
- [4] 周心怀,余一欣,汤良杰,等.渤海海域新生代盆地结构与构造单元划分[J].中国海上油气(地质),2010,22(5):285-289.
- [5] 何仕斌,李丽霞,李建红.渤中坳陷及其邻区第三系沉积特征和油气勘探潜力分析[J].中国海上油气(地质),2001,15(1):61-71.
- [6] 龚再升,蔡东升,张功成.郑庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J].石油学报,2007,28(4):1-10.
- [7] 吴智平,薛雁,颜世永,等.渤海海域渤东地区断裂体系与

- 盆地结构[J]. 高校地质学报, 2013, 19(3): 463-471.
- [8] 才巨宏. 走滑断裂识别技术在辽东探区的应用[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(4): 58-60.
- [9] 庄新兵, 邹华耀, 滕长宇. 新构造运动期断裂活动对油气的控制作用——以渤中地区为例[J]. 中国矿业大学学报, 2012, 41(3): 452-459.
- [10] 周心怀, 胡志伟, 韦阿娟, 等. 渤海海域蓬莱 9-1 大型复合油田潜山发育演化及其控藏作用[J]. 大地构造与成矿学, 2015, 39(4): 680-690.
- [11] 刘丽芳, 林青, 吴克强, 等. 渤海海域渤东地区烃源特征及资源潜力[J]. 海洋地质前沿, 2015, 31(9): 28-37.
- [12] 隋风贵, 宋国奇, 赵乐强, 等. 济阳坳陷陆相断陷盆地不整合的油气输导方式及性能[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 44-48.
- [13] 邓运华. 庐庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(5): 1-5.
- [14] 郭永华, 周心怀, 凌艳玺, 等. 渤海海域蓬莱 19-3 油田油气成藏特征新认识[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(3): 327-332.
- [15] 赵密福. 断层封闭性研究现状[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(3): 333-336.
- [16] 周心怀, 牛成民, 滕长宇. 环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 469-475.
- [17] 邹华耀, 周心怀, 鲍晓欢, 等. 渤海海域古近系、新近系原油富集/贫化控制因素与成藏模式[J]. 石油学报, 2010, 31(6): 885-893.
- [18] 宗奕, 徐长贵, 姜雪, 等. 辽东湾地区主干断裂活动差异性对油气成藏的控制[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(5): 12-17.
- [19] 王莉. 辽东地区断层封闭性评价[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(8): 38-42.
- [20] 钱诗友, 曾溅辉, 林会喜, 等. 辽东地区石油运移和聚集物理模拟实验及机理分析[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(5): 604-610.

OIL AND GAS ACCUMULATION AND EXPLORATION POTENTIAL IN THE SHENGSHUN OILFIELD, THE BOHAI SEA

XIONG Wei, ZHANG Minghua, XU Haoqing

(Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257015, Shandong, China)

Abstract: The Shengshun Oilfield lies on the east slope of the Bodong Sag. No obvious progress has been made during the last decade in oil and gas exploration and the exploration potential and direction remain a puzzle. How to break the deadlock is a key issue we are facing. There are four sets of reservoir-cap assemblages in the region based on the analysis of faults, traps and hydrocarbon accumulation conditions in different strata. Although the Proterozoic structural trap is widely distributed, the reservoir is serious heterogeneous and structure complicated, it might be considered as a subordinate choice in exploration. The Member Sha 4 to Kongdian Formation is a kind of typical residual deposits, which mainly consists of igneous rock debris with poor physical properties. The Dongying Formation and Guantao Formation are the main exploration targets after an overall evaluation. Influenced by strike-slip faults, the structural traps in the Formations usually have low oil-bearing height and small oil-bearing area. However, the stratigraphic overlap traps and fault-lithology traps are of relatively large exploration potential. Within the system, the unconformity under the Dongying Formation may provide a pathway for lateral migration and the strike-slip fault control the vertical hydrocarbon movement. The NNE oil source faults, plus the unconformity and the NWW faults make of a three dimensional ladder-like migration network. According to this model, exploration close to source should be prioritized in the region.

Key words: Bohai Sea; Shengshun Oilfield; strike-slip fault zone; stratigraphic overlap; unconformity; oil and gas accumulation