

引用格式:周光哲.SD油田滚动勘探开发一体化实践[J].油气藏评价与开发,2021,11(2):261-268.

ZHOU Guangzhe. Practice of progressive exploration-development integration in SD Oil Field[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(2): 261-268.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2021.02.018

SD油田滚动勘探开发一体化实践

周光哲

(中国石化华东油气分公司勘探开发研究院,江苏南京 210000)

摘要:受低油价影响,SD油田高效滚动开发难度越来越大。为进一步挖掘SD油田滚动潜力,扩大SD周边圈闭成果,通过采用:①精细构造解释,识别低序级断层;②加强基础地质研究,深化油气成藏主控因素认识;③部署开发兼评井,提高单井利用率;④动静结合,滚动扩大老区含油面积;⑤上下层系立体评价,降低滚动勘探风险等方法,使得SD油田在“十二五”至“十三五”期间新增含油层系2个、含油断块6个,新增探明储量 1.011×10^7 t,有力支持了华东原油持续上产工作,并且建立了SD油田成藏模式,明确戴一段隐蔽油藏与火成岩相关油藏是今后滚动勘探的重点方向。

关键词:SD油田;立体滚动勘探开发;构造精细解释;沉积微相研究;成藏模式

中图分类号:TE34

文献标识码:A

Practice of progressive exploration-development integration in SD Oil Field

ZHOU Guangzhe

(Research Institute of Exploration and Development, Sinopec East China Oil and Gas Company, Nanjing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: SD Oilfield's progressive exploration and development is getting more and more difficult under low oil price. In order to tap its potential and extend the peripheral trap results, by the means such as: ① fine structural interpretation to identification of low sequence faults, ② strengthen the basic geological researches to deepen the understanding of the main control factors of oil and gas reservoir formation, ③ deploy the development and evaluation of wells to improve utilization of single wells, ④ combined dynamic and static analyses to rolling expand the oil-bearing area of old area, ⑤ comprehensive evaluation of upper and lower layers to reduce the risk of the progressive exploration, two oil-bearing layers and six oil-bearing fault blocks have been added in SD Oilfield during the period from the 12th Five-Year Plan to the 13th Five-Year Plan and the newly added proved reserves are 1.011×10^7 t, which strongly support the persistent increase of oil production in Sinopec East China Oil and Gas Company and establish the accumulation mode of SD Oilfield. It is clear that the key direction of the progressive exploration are the subsurface reservoir and igneous related reservoir of Daiyi Formation in the future.

Key words: SD Oilfield, composed progressive exploration and development, fine structure research, study on sedimentary microfacies, accumulation mode, volcanic rocks reserve

溱潼凹陷斜坡带中浅层油藏整体已进入高成熟勘探阶段,勘探开发目标逐步转向隐蔽油气藏。随着勘探程度不断提高,滚动勘探工作面临如何落实优质规模储量目标以及“十四五”期间资源接替的问题。

在当前油气价格低迷的寒冬期,高效增储上产是每个油田面临的直接挑战。许多学者对不同类型

油藏的滚动勘探开发一体化工作方法进行了研究,张人玲^[1]结合江苏油田高勘探区复杂断块油藏的滚动开发,从三维地震资料精细处理,构造精细解释以及关键井实施与评价等方面,提出了不同阶段的滚动勘探开发策略。杨晓培^[2]对泌阳凹陷北部斜坡带中部的复杂断块油藏分布规律、油气成藏主控因素

收稿日期:2020-10-26。

作者简介:周光哲(1987—),女,本科,助理研究员,从事构造精细解释及滚动部署研究。地址:江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼,邮政编码:210000。E-mail:zheghe@aliyun.com

以及构造精细研究等方面进行探讨。

SD 油田属于一个典型的构造—岩性油藏,2010 年部署的探井帅 1 井的成功钻探发现了 SD 含油构造,随后通过部署滚动勘探井以及开发井发现了三垛、戴南、阜宁组多套含油层系,从而取得了 SD 油田储量规模增加至最初的 4.5 倍的良好效果,为华东油气田“十二五”至“十三五”期间原油产量翻倍奠定了坚实的物质基础。SD 油田滚动勘探开发一体化方法包括:精细构造解释,识别低序级断层;加强基础地质研究,深化油气成藏主控因素认识;部署开发兼评井,提高单井利用率;动静结合,滚动扩大老区含油面积;上下层系立体评价,降低滚动勘探风险。通过此类方法部署实施的井位取得了很好的油气成果,特别是发现了 SD 油田火成岩油藏,总结了油藏成藏要素及成藏模式。该油田的滚动勘探开发一体化方法,对于寻找中浅层的三垛、戴南以及阜宁组火成岩油藏具有一定的指导借鉴意义。

1 油田概况

SD 油田位于溱潼凹陷西部内斜坡带中部,西北部为 MS 油田,西南部为 BC 油田 XBC 区块、CC 区块、CJB 区块和 YD 油田,构造位置有利,是油气运移的指向区。2010 年部署的探井 SD1 井,在垛一段、戴二段以及戴一段钻遇油层共 3 层 18 m,常规试油自喷 16 t/d,从而发现了 SD 油田含油构造。SD 油田整体为一被断层复杂化的背斜构造,区块内主要发

育近东西走向的 MS 断层,SD、SD1 号、SD2 号、SD3 号 5 条大断层,将 SD 切割成 3 个近东西走向的条带状断块,内部发育次级断层,相互交错将 SD 油田分割成多个断块。其中断距最大的为北部边界断层茅山断层,断距为 40~100 m,内部次级断层断距小则不足 10 m。初步统计,在已投入开发的 9 个断块中,最大含油断块为 SD3 井所在断块,面积约 1.04 km²,面积最小含油断块为 SD1-12 断块,面积为 0.04 km²(图 1),因此,SD 油田是一个被多条断层切割的构造—岩性油藏。

SD 油田含油层系主要发育在浅层的三垛组的垛一段、戴南组的戴一段以及深层阜三段,此外,受火成岩影响在阜四段中也有油气显示(图 2、图 3)。油藏类型包括垛一段稠油油藏,戴南组构造—岩性油藏、阜四段火成岩油藏以及阜三段断块油藏。主力油藏为戴一段,沉积微相为三角洲前缘沉积,总体上砂体具有由东南向西北减薄直至尖灭的趋势,油藏为砂岩尖灭线和构造共同控制的复合型圈闭。戴一段储层孔隙度平均值为 25.8%,渗透率平均值为 633.26×10⁻³μm²,为中高孔、中高渗储层。整个油田经历了勘探发现、开发建产、扩边完善井网、“帅垛下面找帅垛”以及稳产共 5 个阶段,通过滚评建一体化共新增含油层系 2 个,新增含油断块 6 个,新增探明储量 1.011×10⁷t,成为华东油气田主力原油产建区块。在整个“十二五”至“十三五”期间,SD 油田的发现使得整个华东原油从年产油 1.8×10⁵t 上升至 3.5×10⁵t,实现了原油产量翻倍。

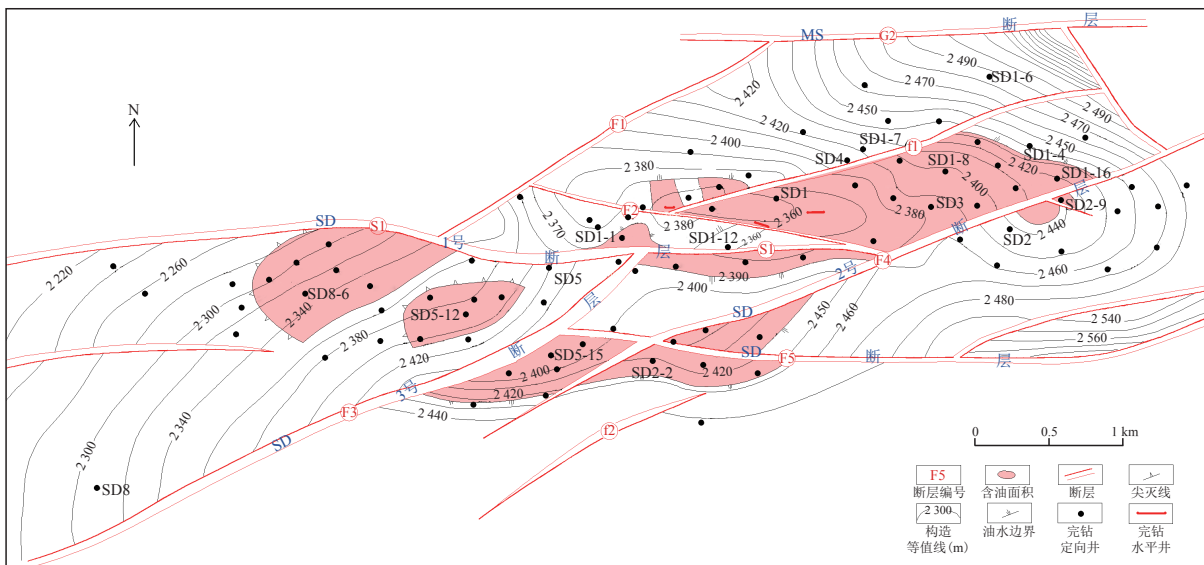


图1 SD 油田戴一段 III 油组油藏含油面积

Fig. 1 Oil bearing area of No. III oil group in Danyi Formation of SD Oilfield

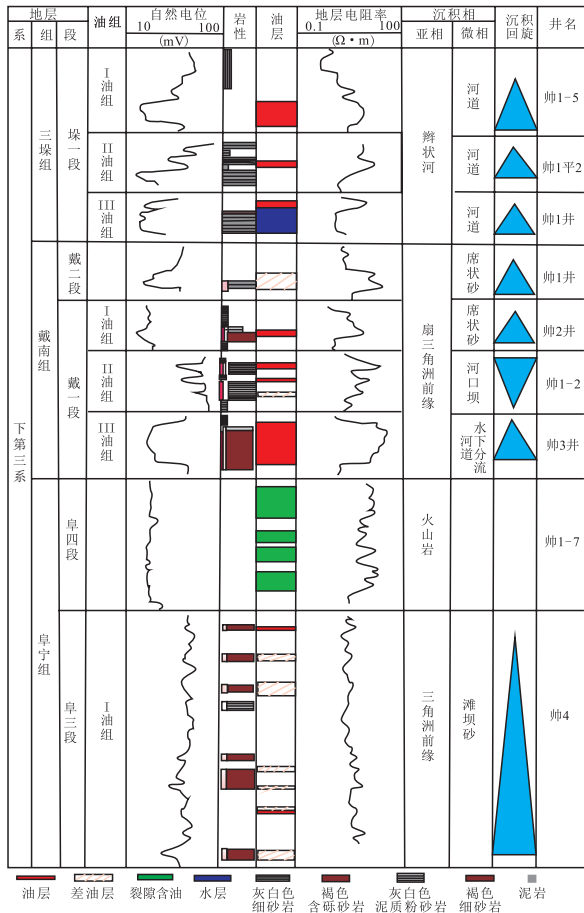


图2 SD油田油藏综合柱状图
Fig. 2 Reservoir comprehensive histogram of SD Oilfield

2 滚动勘探做法及成效

2.1 形成以经济效益为核心的滚动勘探开发一体化思路

针对整个苏北盆地油藏“碎、小、低、薄、深”的地质特征,随着勘探开发持续深入,勘探程度不断提高,发现新区的难度日益增加^[3]。随着“十三五”油价下跌,面对常规原油增储上产的任务目标,工作思路主要围绕已开发高效老油田周边开展滚动勘探工作,寻找在低油价下具有经济效益的产能建设区块,增加探明或者可动用地质储量。SD油田最初通过探井发现戴一段、垛一段含油层系,后续随着三维地震资料的再处理,地质认识的不断加深,在原油区的边缘、区块的结合部开展滚动勘探^[4],降低风险,带动新区块以及新层系的发现,能较好的实现产能区块的接替。

2.2 精细构造解释,识别低序级断层

SD油田火山发育,火成岩穿刺会导致目的层组紊乱,地震反射波组难以判断是原始地层还是侵入岩,同时影响该地区断层的识别。针对目的层开展了提高能量横向一致性、压制多次波来改善成像质量,提高目的层地震分辨率。同时采用了叠前去噪以及叠后火成岩岩下能量补偿,从而提高火成岩

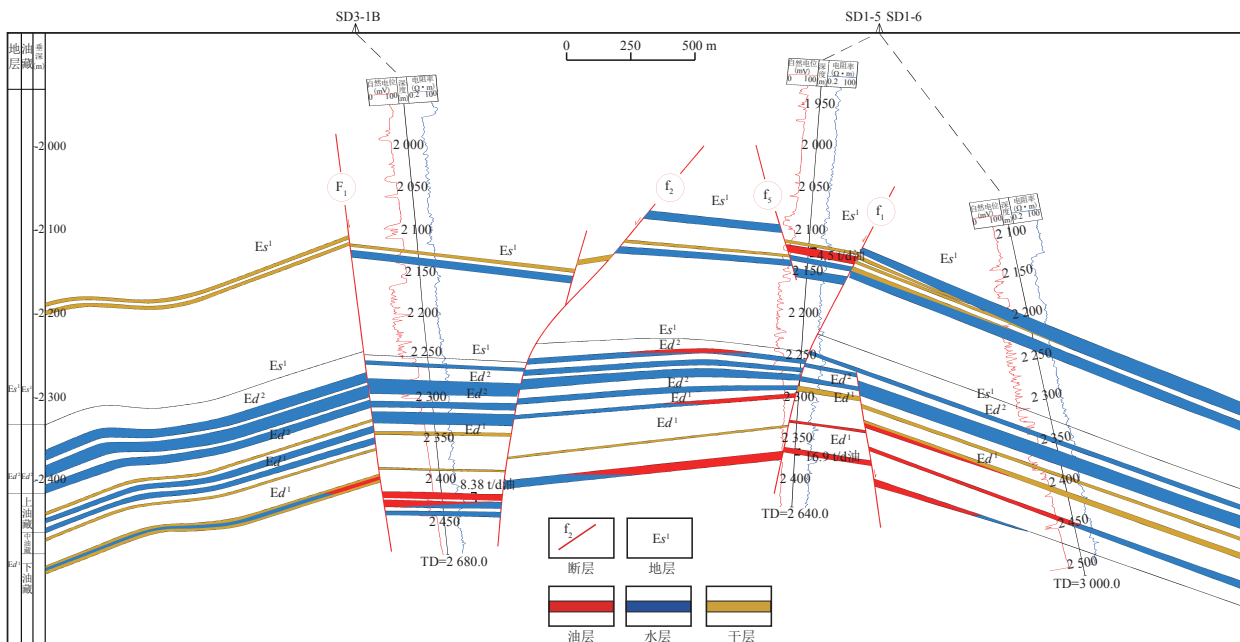


图3 过SD3-1B—SD1-5—SD1-6井三垛组一段、戴南组油藏剖面
Fig. 3 Reservoir profile of Es¹ and Ed¹ cross WELL-SD3-1B, WELL-SD1-5 and WELL-SD1-6

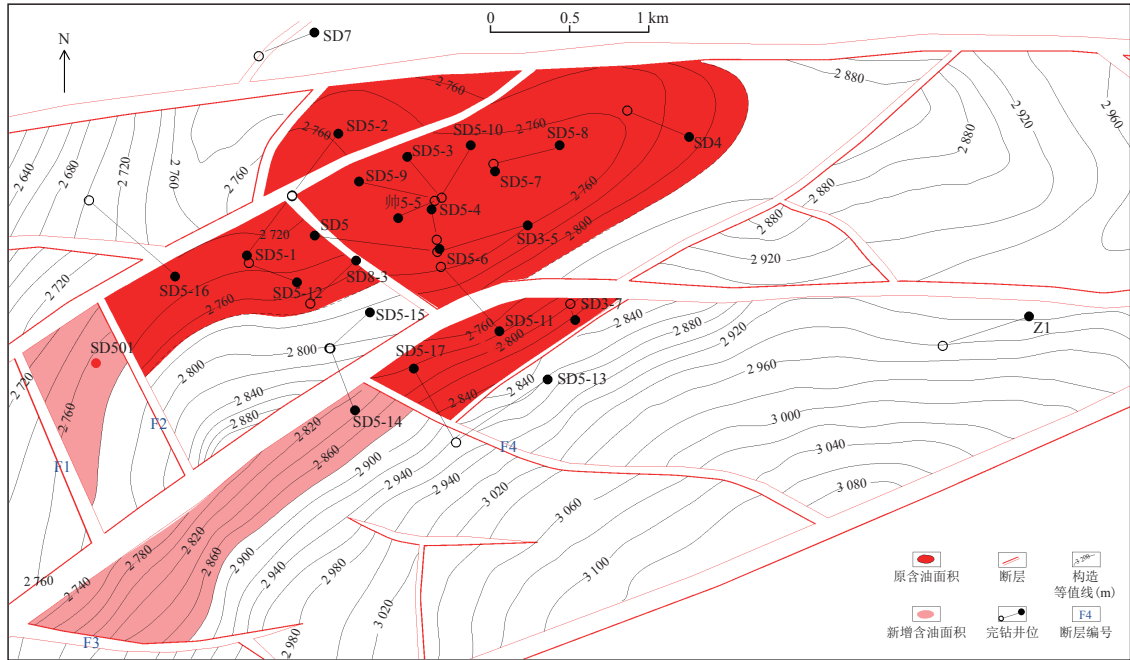


图4 SD油田阜三段含油面积
Fig. 4 Oil bearing area of E_f³ of SD Oilfield

岩下弱层反射信息^[5]。通过以上方法为断层刻画与圈闭的识别提供了可靠的资料基础。

由于SD油田阜三段油层砂体厚度薄,低序级断层就能够对油气聚集起控制作用。精确识别微小断层、提高圈闭的描述精度,是滚动勘探开发要解决的首要问题之一。为了提高圈闭描述精度,在平面上以10×10网格开展小面元解释,通过加密等值线变速成图,刻画每个目的层的构造高点^[6];另一方面采取多手段加强断层识别:首先是在应力分析基础上,利用时间切片识别整体构造格局^[7],用相干体刻画解释技术明确断层展布规律,确保断层解释合理性。针对微小断层波组特征变化小难以识别的情况,通过建立正演模型来落实小断层。针对SD油田侵入岩发育区构造解释,根据不同侵入模式下辉绿岩的反射特征来识别断层^[8]。运用上述方法在SD油田阜三段新识别出次级断层F1、F2及F3、F4断层控制形成的2个新的含油圈闭,随后部署开发兼评井SD5-14及滚动勘探井SD501在阜三段见到较好油气显示,新增含油面积约2.06 km²,新增可动用地质储量约1.79×10⁶ t(图4、图5)。

2.3 加强基础地质研究,深化油气成藏主控因素认识

SD油田构造较为复杂,花状断层发育,与之相关的断块或断鼻圈闭较为发育。苏北盆地的三垛组、

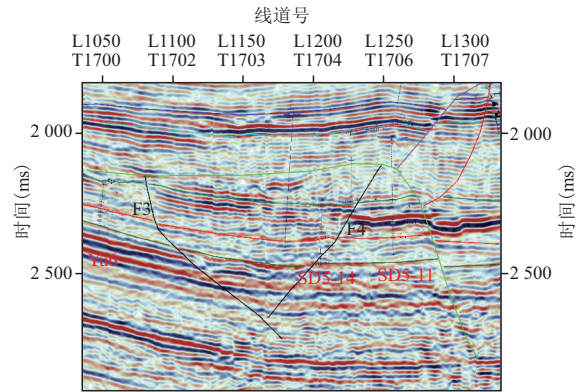


图5 SD油田过Yu6—SD5-14井三维地震剖面
Fig. 5 3D seismic profile of SD Oilfield cross Well-Yu6—SD5-14

戴南组烃源岩不发育,油气主要来源于阜三段油藏遭破坏后再次运移聚集,属于次生油藏^[9]。阜四段烃源岩热演化程度低,提供油气资源量少,戴南组成藏需要断层沟通阜二段烃源岩。SD油田的原油来自东部时堰次注阜二段烃源岩,油气由赵家庄等断层垂向运移至阜三段及戴南组、再向西侧向运移至SD油田成藏(图6)。

SD油田戴一段主要发育扇三角洲前缘沉积,其物源主要来自于东南方向。分析认为SD油田从东南向西北沉积逐渐由三角洲前缘演变为前三角洲泥沉积,砂体逐渐变薄至尖灭,局部发育河道砂(图7)。

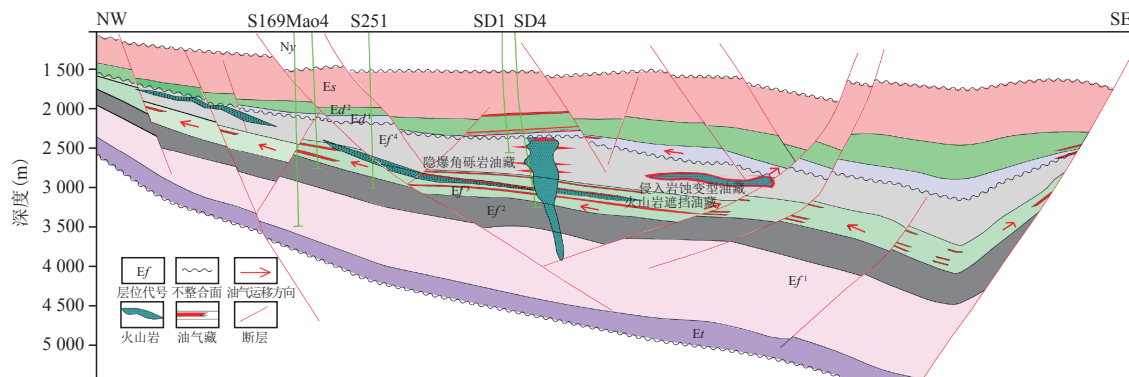


图6 SD油田成藏模式

Fig. 6 Accumulation mode of SD Oilfield

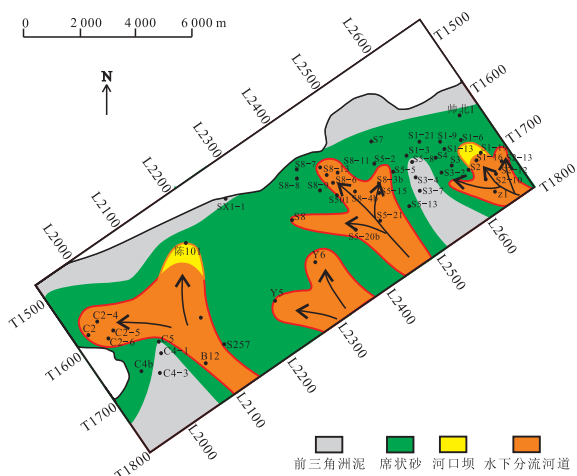


图7 SD油田戴一段II砂组沉积微相平面

Fig. 7 Sedimentary microfacies of No. II sandstone group in Daiyi Formation of SD Oilfield

同时在西部由于构造抬升,在斜坡带构造上倾方向上尖灭或者在鼻状构造背景下,易于形成岩性或构造—岩性圈闭。因此,针对SD油田戴一段油藏,利用测录井资料进行精细地层对比,刻画单砂体平面展布规律;开展储层预测方法来落实戴一段砂体尖灭线;根据测井数据进行砂、泥岩统计分析,确定本区储层及非储层之间速度差异,在地震属性分析的基础上结合波阻抗反演刻画单砂体尖灭线,在前期构造特征研究的基础上落实有利的构造—岩性滚动勘探目标^[10]。

2.4 部署开发兼评井,提高单井利用率,节约钻井成本

在部署滚动勘探井时,与区块整体开发概念设计相结合,抽稀开发井进行探边评价,有意识加强开发井在录井、取心、测试等方面设计要求,甚至加深

兼探等措施^[11],一口井设计2~3个靶区(1~2个滚动扩边靶区+1个开发井靶区),边滚动评价、边挖潜调整,利用开发井来完成滚动勘探井地质任务,实现一井多用,提高了单井利用率,节省了大量的钻井投资。如SD油田的SD1断块,在开发井SD1-4成功的基础上,向外推3个井距部署SD1-6井进行油藏探边,成功后继续外推井距进行探边,钻遇水层则作为注水井纳入开发井网中,大大降低钻遇风险,最终该井落实戴一段II油组油藏边界。SD油田的SD2块,同样利用开发井SD1-17井进行油藏探边,该井在戴一段测井解释油层12.9 m,未钻遇油藏边界,转为开发井纳入开发井网,随后进一步外扩2个井距部署开发井落实油水边界,新增地质储量 $30 \times 10^4 \text{ t}$ 。运用开发兼评井开展滚动勘探在SD油田取得了很好的效果:平均单井节约钻井进尺约500~1000 m,节约钻井成本约2488万元。

2.5 动静结合,滚动扩大老区含油面积

SD油田主体建产后,对整个区块开展生产动态跟踪。一方面是开展老井复查工作:针对录井见显示、测井解释无成果的重点井分析运聚规律,再次进行构造精细解释,寻找有利滚动目标;另一方面是动静态相结合,扩大老区含油面积。对已投产单井生产动态进行跟踪,部分井长期稳产并且不含水,结合储层预测结果分析砂体展布有利区,进一步向外部署滚动勘探井,发现新的含油断块。如SD1-1井在戴一段录井见4层油迹,视厚15 m,测井解释为水层,构造上位于低部位,高部位成藏可能性较大,随后追高部署SD1-12井获得成功,戴一段钻遇油层7.8 m,新增地质储量 $2 \times 10^5 \text{ t}$ 。在动态方面,SD1-8井

与SD2井为不同断块开发井,两口井生产情况均为高产、稳产不含水,结合储层预测砂体展布特征,分析认为戴一段油藏有继续向东、向北外扩潜力,分别部署SD1-16及SD1-17井,钻遇油层24.3 m和12.9 m,投产产量分别为13 t/d和8.9 t/d,新增地质储量 60.0×10^4 t。

2.6 上下层系立体评价,降低滚动勘探风险

SD油田含油层系多,在部署滚动探井时,常常考虑兼顾多套层系。在取得SD油田三垛组、戴南组油藏为次生油藏认识后,针对阜三段油藏部署井位时兼顾三垛、戴南组,从而降低滚动勘探风险。SD油田部署的10口滚动勘探井中有5口钻探多套含油层系,取得了预期的效果。最典型的是为完善SD5井区阜三段油藏注采井网部署的开发兼评井SD5-12井,兼顾评价该块戴南组油藏,从而发现戴南组III砂组油藏;通过各种手段加强火山通道裂缝体系、火成岩及蚀变带的研究,SD1-7井在完善戴南组开发井网同时兼探阜四段火成岩油藏,该井在阜四段钻遇油层,常规投产稳产5 t/d,取得火成岩油藏的突破。

3 滚动勘探开发部署重点

3.1 外围戴一段隐蔽油藏

SD油田戴一段位于三角洲前缘末端,发育水下分流河道和河口坝等有利的沉积相带,受控于砂体尖灭线、地层产状和断层的组合关系,形成三类油藏:一是砂体尖灭线与断层走向相交形成的构造-岩性油藏;二是砂体尖灭线微转折带形成的岩性油藏;三是断层控制的断块油藏^[12](图8)。通过开展沉积微相研究及储层预测分析砂体展布特征,结合岩性尖灭带成藏模式,识别出SD5和SD8戴一段有利滚动潜力区。在SD8井区,开发兼评井SD5-16井新发现II砂组含油层,储层预测显示戴一段II砂组砂体逐渐向西部尖灭,向西部构造高部位部署滚动

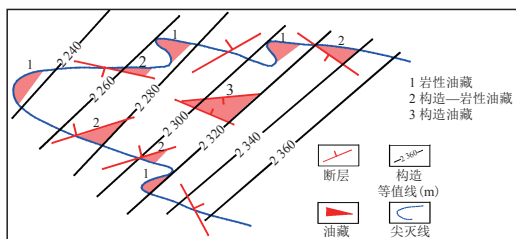


图8 SD油田戴一段油气成藏模式示意图(平面)

Fig. 8 Hydrocarbon accumulation mode of Daiyi Formation in SD Oilfield (Flat-plane)

勘探井SD8-6,该井在戴一段II砂组解释油层2层视厚3.8 m,试获8 t/d稳定产量,随后相继实施的开发井均钻遇戴一段油藏,至此整个SD戴南组新发现SD5-12、SD8-6井区两个含油区块(图1),新增探明储量 1.26×10^6 t。帅垛外围通过开展外围隐蔽性油藏研究,发现此类圈闭面积 4.59 km^2 ,圈闭资源量约 343.9×10^4 t。

3.2 火成岩相关油藏

国内于1957年首次在准格尔盆地西北缘发现火成岩油气藏^[13]。近年来,我国多个油田发现火成岩相关接触变质带油气藏,包括华北油田冀中廊固凹陷,胜利油田沾化凹陷罗家地区罗151块、江苏油田高邮凹陷北斜坡等。苏北盆地火成岩分布广泛,主要形成于渐新世三垛运动期,原位保持性好^[14-16]。其中溱潼凹陷主要发育火山通道相和溢流相两类火成岩相,已发现隐爆角砾岩型、接触蚀变带型、侧向遮挡型3种类型油藏(图6),主要分布在阜宁组三段和四段^[17]。

由于岩浆隐爆作用形成的油藏称为隐爆角砾岩油藏。在火山通道附近的震碎带可形成网状裂缝,提高储层渗流能力,下部阜二段烃源岩生成的油气沿火山通道或者是断层运移到火成岩裂隙以及上部的三垛、戴南组成藏^[18-19]。火成岩岩性以火山角砾岩为主,岩心薄片可以观察到黑色硫化铁质岩,孔隙度17.2%,渗透率 $93.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ^[20]。储集空间主要为裂隙-孔隙型,原生孔隙包括原生气孔、晶间孔、杏仁体、内孔等;原生裂缝包括冷凝收缩缝、收缩节理和砾间裂缝等。次生储集空间往往叠加在原生储集空间上,改善储层物性,按存在方式分:裂缝、熔孔(洞)、气孔、斑晶裂纹和晶间孔等^[21]。

火山遮挡型油藏是由于火山通道穿刺或者侵入岩体穿层侵入,造成地层局部隆起和隔断,使砂岩储层上拱,在侵入岩体或者火山通道储层致密的条件下形成。同时由于火成岩上拱牵引使得砂岩储层形成伴生裂缝,改善了砂岩储集性能,从而形成局部高产^[22]。SD5井以及SD8井在阜三段钻遇火山遮挡型油藏,其中SD5井阜三段试油24.8 t/d、SD8井阜三段试油6 t/d,取得了阜三段遮挡型火成岩油藏的成功。在溱潼凹陷阜四段一阜二段侵入岩面积达 118 km^2 ,初步估算火成岩圈闭总资源量 1.3×10^7 t,是寻找接触蚀变带和火山遮挡型油藏的有力目标区。

4 结论

1) “十二五”至“十三五”期间,应用滚动勘探开发一体化的工作方法,SD油田新增含油层系2个、含油断块6个,新增探明储量 1.011×10^4 t,有力支持了华东原油持续上产工作。

2) 滚动勘探开发一体化的主要做法包括:精细构造解释,识别低序级断层;加强基础地质研究,深化油气成藏主控因素认识;部署开发兼评井,提高单井利用率;动静结合,滚动扩大老区含油面积;上下层系立体评价,降低滚动勘探风险。

3) 建立了SD油田成藏模式,明确戴一段隐蔽油藏与火成岩相关油藏是今后滚动勘探的重点方向。

参考文献

- [1] 张人玲. 江苏油田高勘探区复杂断块油藏的滚动勘探开发[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 305-307.
ZHANG Renling. Rolling exploration and development of high exploration region to complex faulted-block reservoir in Jiang Su oil field[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 305-307.
- [2] 杨晓培. 河南复杂断块油藏滚动勘探实践及认识[J]. 断块油气田, 2011, 18(2): 217-219.
YANG Xiaopei. Practice and understanding of rolling exploration to complex faulted-block reservoir in Henan[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(2): 217-219.
- [3] 陈祖华. 坚持滚评建一体化, 新区年年有新突破[N]. 中国石化报, 2018-12-03.
CHEN Zhuhua. Persist in the method of rolling exploration and development, new discovery in new district ever year[N]. China Petrochemical News, 2018-12-03.
- [4] 贺广庆, 李长春, 王立男. 文南油田滚动勘探开发几点做法[J]. 断块油气田, 2001, 8(1): 33-34.
HE Guangqing, LI Changchun, WANG Linan. Several ways in Wennan Oilfield's rolling exploration and development[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2001, 8(1): 33-34.
- [5] 邱旭明, 钱诗友, 于雯泉, 等. 苏北盆地“十二五”油气勘探主要成果、新认识和技术进展[J]. 中国石油勘探. 2016, 21(3): 69-70.
QIU Xuming, QIAN Shiyu, YU Wenquan, et al. Main achievements, new understanding and technological progress for oil and gas exploration in North Jiangsu Basin during the 12th Five-Year Plan[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 69-70.
- [6] 石世革. 低油价下桩西油田高效滚动开发的对策与实践[J]. 断块油气田, 2017, 24(3): 365-366.
SHI Shige. Strategy and practice of high efficient progressive development of Zhuangxi Oilfield under low oil price[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(3): 365-366.
- [7] 何翠, 郭少斌, 唐瑾, 等. 精细构造解释及储层预测技术在陇南地区的应用[J]. 地球物理学进展, 2016, 31(3): 1112-1113.
HE Cui, GUO Shaobin, TANG Jin, et al. Application of fine structure interpretation and reservoir prediction technology in Lunnan area[J]. Progress in Geophysics, 2016, 31(3): 1112-1113.
- [8] 陈军, 周彬, 陈剑铭, 等. 利用侵入岩地震相变化特征识别断层[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(5): 790-794.
CHEN Jun, ZHOU Bin, CHEN Jianming, et al. Fault identification with characteristics of seismic facies of intrusive rocks[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2011, 46(5): 790-794.
- [9] 李玉城. 苏北盆地高邮凹陷戴南组隐蔽油气藏研究[J]. 中国石油勘探, 2008, (1): 22-24.
LI Yuchen. Research on subtle hydrocarbon reservoirs of Dainan Formation in Gaoyou Sag of Subei Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2008, (1): 22-24.
- [10] 王海妹, 李理, 郑永旺, 等. 隐蔽油藏开发技术研究—以SD油田戴一段油藏为例[J]. 复杂油气藏, 2012, 5(3): 51-52.
WANG Haimei, LI Li, ZHENG Yongwang, et al. Research on the development technology of subtle reservoir: a case study of the first member of Dainan Formation in SD Oilfield[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2012, 5(3): 51-52.
- [11] 荆文波, 刘文辉, 曾翔宇, 等. 雁木西油田滚动勘探开发一体化成效分析[J]. 吐哈油气, 2005, 10(1): 3-5.
JING Wenbo, LIU Wenhui, ZENG Xiangyu, et al. Integrative effectiveness analysis of progressive exploration and development in Yan Muxi Oilfield[J]. Tuha Oil and Gas, 2005, 10(1): 3-5.
- [12] 杨正茂, 张航国. 帅垞油田戴一段油藏成藏模式及滚动开发[J]. 化工管理, 2016, (30): 53.
YANG Zhengmao, ZHANG Hangguo. Rolling development and hydrocarbon accumulation pattern of Daiyidian about Shuaiduo Oil Field[J]. Chemical Enterprise Management, 2016, (30): 53.
- [13] 毛治国, 朱如凯, 王京红, 等. 中国沉积盆地火成岩储层特征与油气聚集[J]. 特种油气藏, 2015, 22(5): 1-8.
MAO Zhiguo, ZHU Rukai, WANG Jinghong, et al. Reservoir characteristics and hydrocarbon accumulations of volcanic rocks in sedimentary basins of China[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(5): 1-8.
- [14] 叶绍东, 任红民, 李储华, 等. 苏北盆地新生代侵入岩分布特征及地质意义[J]. 地质论评, 2010, 56(2): 269-273.
YE Shaodong, REN Hongmin, LI Chuhua, et al. The distribution of cenozoic intrusive rocks in the north Jiangsu Basin and its geological significances[J]. Geological Review, 2010, 56(2): 269-273.
- [15] 毛凤鸣. 高邮凹陷北斜坡辉绿岩形成时期的确定及其与油气关系[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 19-20.
MAO Fengming. Determination of the forming time of diabase in the northern slope of Gaoyou sag and its relationship with oil and gas[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(6): 19-20.
- [16] 左国平, 屠小龙, 夏九峰. 苏北探区火成岩油气藏类型研究[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(2): 37-41.
ZUO Guoping, TU Xiaolong, XIA Jiufeng. Study on volcanic reservoir types in Subei exploration area[J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(2): 37-41.
- [17] 吴群, 余文端, 骆卫峰, 等. 苏北盆地溱潼凹陷岩性油藏勘探

- 成果及启示[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(3): 99-100.
WU Qun, YU Wenduan, LUO Weifeng, et al. Achievements and recognitions of exploration in lithologic reservoirs in Qintong sag, North Jiangsu Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 99-100.
- [18] 吴昌志, 顾连兴, 任作伟, 等. 中国东部中、新生代含油气盆地火成岩油气藏成藏机制[J]. 地质学报, 2005, 79(4): 522-530.
WU Changzhi, GU Lianxing, REN Zuowei, et al. Formation mechanism of hydrocarbon reservoirs related to igneous rocks in Mesozoic-Cenozoic Basin, Eastern China[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(4): 522-530.
- [19] 胥灵, 彭冰璨, 骆卫峰, 等. 溱潼凹陷火成岩油藏成藏特征研究[J]. 非常规油气, 2017, 4(5): 2-8.
ZAN Ling, PENG Bingcan, LUO Weifeng, et al. Study on accumulation characteristics of volcanic reservoir of Qintong depression in Subei basin[J]. Unconventional Oil & Gas, 2017, 4(5): 2-8.
- [20] 王海妹. 帅垞火成岩油藏成藏机理研究[J]. 西部探矿工程, 2016, 28(9): 52-53.
WANG Haimei. The petroleum accumulation mechanism igneous rock reservoirs in Shuaiduo Oil Field[J]. West-China Exploration Engineering, 2016, 28(9): 52-53.
- [21] 邱隆伟, 姜在兴, 席庆福. 欧利坨子地区下三叠段火成岩成岩作用及孔隙演化[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 139-141.
QIU Longwei, JIANG Zaixing, XI Qingfu. Diagenesis and pore evolution of lower Es3 volcanic rocks in Oulituozi region[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 139-141.
- [22] 李春光. 试论东营、惠民凹陷与火成岩相关油气藏的成因[J]. 特种油气藏, 1997, 4(3): 10-14.
LI Chunguang. Approach to reservoir genesis related to igneous rocks in Dongying and Huimin sag[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 1997, 4(3): 10-14.

(编辑 尹淑容)

(上接第 260 页)

- technology in Zanarol oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Science & Technology, 2018, 28(4): 10-15.
- [10] 李锦峰. 恶性漏失地层堵漏技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(5): 19-27.
LI Jinfeng. The status and development direction of plugging technology for severe circulation loss formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(5): 19-27.
- [11] 李得新, 首照兵, 吴金生. 页岩气基础地质调查万地 1 井钻井堵漏技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(2): 23-26.
LI Dexin, SHOU Zhaobin, WU Jinsheng. Plugging technology in Wandi 1 well for basic geological survey of shale gas in Micangshan-Dabashan frontal zone[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(2): 23-26.
- [12] 刘雪芬, 李松. 破碎地层漏失损害机理及漏失控制对策[J]. 陇东学院学报, 2016, 27(5): 91-94.
LIU Xuefen, LI Song. Mechanisms of leakage damage and its control in broken formation[J]. Journal of Longdong University, 2016, 27(5): 91-94.
- [13] 臧艳彬, 王瑞和, 张锐. 川东北地区钻井漏失及堵漏措施现状分析[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(2): 60-64.
ZANG Yanbin, WANG Ruihe, ZHANG Rui. Current situation analysis of circulation lost and measures in northeast Sichuan basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 60-64.
- [14] 温峥, 杨双春, 潘一, 等. 堵漏技术的研究进展[J]. 油田化学, 2016, 33(1): 186-190.
WEN Zheng, YANG Shuangchun, PAN Yi, et al. Research progress of plugging technology[J]. Oilfield Chemistry, 2016, 33(1): 186-190.
- [15] 曹晓春, 李倍任, 秦义, 等. 聚合物凝胶堵漏剂的研究及应用[J]. 当代化工, 2015, 44(11): 2572-2577.
CAO Xiaochun, LI Peiyi, QIN Yi, et al. Research and application of polymer gel plugging agent[J]. Contemporary Chemical Industry, 2015, 44(11): 2572-2577.
- [16] UGUNA G, RACHID R, MILNE A, et al. Controlling losses when recompleting low-pressure reservoirs[C]// paper SPE-174169-MS presented at the SPE European Formation Damage Conference and Exhibition, 3-5 June, 2015, Budapest, Hungary.
- [17] OORT E, FRIEDHEIM J, PIERCE T, et al. Avoiding losses in depleted and weak zones by constantly strengthening wellbores [J]. SPE Drilling & Completion, 2011, 26(4): 519-530.
- [18] SAJJADIAN M, MOTLAGH E E, DAYA A A. Experimental study of engineered cement plug to effectively cure losses while drilling in Iranian oil/gas well[J]. International Journal of Geosciences, 2016, 7(2): 115-119.
- [19] DHANDAPANI Y, SANTHANAM M. Investigation on the microstructure-related characteristics to elucidate performance of composite cement with limestone-calcined clay combination [J]. Cement and Concrete Research, 2020, 129(C): 105959.
- [20] KATENDE A, LU Y X, BUNGER A, et al. Experimental quantification of the effect of oil based drilling fluid contamination on properties of wellbore cement[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2020, 79.

(编辑 余聪)