



涠西南凹陷勘探开发一体化开发评价井钻探模式研究

陈奎 朱绍鹏 邹明生 盖永浩 董志华 朱玉双

Research on Development Evaluation Well Drilling Modes for Exploration and Development Integration in Weixinan Sag

CHEN Kui, ZHU Shaopeng, ZOU Mingsheng, GAI Yonghao, DONG Zhihua, ZHU Yushuang

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021108>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

北部湾盆地开发井高效安全钻井技术

High-Efficiency and Safe Drilling Technologies for Development Wells in the Beibuwan Basin

石油钻探技术. 2020, 48(1): 21–25 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019116>

随钻一体化测井仪平台开发

The Development of an Integrated Logging Instrument Platform while Drilling

石油钻探技术. 2019, 47(1): 118–126 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019016>

北部湾盆地海上勘探井钻井提效关键技术

Key Techniques for Drilling and Efficiency Improvement of Offshore Exploration Wells in the Beibu Gulf Basin

石油钻探技术. 2018, 46(4): 36–41 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018091>

丁页5井“井筒一体化”钻井提速技术

Integrated Wellbore Technologies to Enhance the Rate of Penetration for Well Dingye 5

石油钻探技术. 2018, 46(1): 24–29 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018029>

中短半径井眼固井防砂一体化管柱研究与试验

Research and Testing of the Integrated String for Cementing and Controlling Sand in a Medium-Short Radius Wellbore

石油钻探技术. 2019, 47(2): 99–104 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019012>

分层注水井测调一体化新技术

A New Integrated Measuring and Adjusting Technology of Separate Layer Water Injection Well

石油钻探技术. 2018, 46(1): 83–89 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018020>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.2021108

引用格式: 陈奎, 朱绍鹏, 邹明生, 等. 涠西南凹陷勘探开发一体化开发评价井钻探模式研究 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(6): 42-49.

CHEN Kui, ZHU Shaopeng, ZOU Mingsheng, et al. Research on development evaluation well drilling modes for exploration and development integration in Weixinan Sag [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(6): 42-49.

涠西南凹陷勘探开发一体化开发评价井钻探模式研究

陈 奎^{1,2,3}, 朱绍鹏⁴, 邹明生⁴, 盖永浩³, 董志华³, 朱玉双^{1,2}

(1. 西北大学地质学系, 陕西西安 710069; 2. 大陆动力学国家重点实验室(西北大学), 陕西西安 710069; 3. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东湛江 524057; 4. 中海石油(中国)有限公司海南分公司, 海南海口 570300)

摘 要: 为了推动北部湾盆地涠西南凹陷海上勘探开发一体化, 解决传统的“探井—评价井—开发井—调整井”接力钻探模式评价时间久、建产周期长、开发经济门槛高、许多探明与控制地质储量难以动用等问题, 提出了开发评价井钻探模式。开发评价井钻探模式包括开发模式和勘探模式。开发模式依托生产平台实现快速建产, 分为生产平台钻探模式、生产井项目钻探或兼探模式; 勘探模式针对生产平台范围外目标进行评价, 落实储量规模、规避开发风险, 分为快速评价模式、滚动探井兼探模式。上述 4 种开发评价井钻探模式在涠西南凹陷取得了显著的应用成效, 已钻探 45 口开发评价井中有 37 口井取得成功, 成功率达到 82%。研究认为, 开发评价井钻探模式能够落实新增探明地质储量并动用难动用储量, 有效促进油田可持续发展, 对于勘探开发成熟区研究具有指导和借鉴意义。

关键词: 勘探开发一体化; 开发评价井; 钻探模式; 涠西南凹陷; 北部湾盆地

中图分类号: TE21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0890(2021)06-0042-08

Research on Development Evaluation Well Drilling Modes for Exploration and Development Integration in Weixinan Sag

CHEN Kui^{1,2,3}, ZHU Shaopeng⁴, ZOU Mingsheng⁴, GAI Yonghao³, DONG Zhihua³, ZHU Yushuang^{1,2}

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi, 710069, China; 2. State Key Laboratory of Continental Dynamics(Northwest University), Xi'an, Shaanxi, 710069, China; 3. Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong, 524057, China; 4. Hainan Branch of CNOOC Ltd., Haikou, Hainan, 570300, China)

Abstract: In order to promote the integration of offshore exploration and development in Weixinan Sag of Beibuwan Basin, and solve such problems in the traditional drilling mode of “exploration well–evaluation well–development well–adjustment well”, as long evaluation times and production periods, high development economic threshold and proven and controlled geological reserves that are difficult to produce, drilling modes of development evaluation well was proposed. The modes included both the development mode and exploration mode. The development mode was based on the production platform to achieve rapid production and was divided into production platform drilling mode and development well project drilling or concurrent exploration mode. The exploration mode was aimed at evaluating the targets outside the production platform, determining the reserve scale, and avoiding development risk. The process was divided into rapid evaluation mode and concurrent exploration mode of rolling exploration well. The four drilling modes above have achieved remarkable application effect in 45 development evaluation wells in Weixinan Sag, of which 37 were drilled successfully with a success rate of 82%. The research result show that the proposed drilling modes can promote new proven reserves and the difficult-to-produce reserves, and effectively promote sustainable development of oilfields, with great guiding and referential significance in the exploration and development of mature areas.

收稿日期: 2021-01-23; 改回日期: 2021-08-23。

作者简介: 陈奎(1986—), 男, 山东新泰人, 2012 年获中国海洋大学海洋地质专业硕士学位, 西北大学矿产普查与勘探专业在读博士研究生, 高级工程师, 主要从事南海西部海域勘探开发一体化研究及深水天然气勘探研究。E-mail: chenku3@cnooc.com.cn。

通信作者: 朱玉双, yshzhu@nwu.edu.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“近海大中型油气田形成条件及勘探技术”(编号: 2016ZX05024-006)资助。

Key words: exploration and development integration; development evaluation well; drilling mode; Weixinan Sag; Beibuwan Basin

北部湾盆地涠西南凹陷是南海西部海域开发最早、最重要的原油产区,为勘探开发成熟区,多数油田已进入勘探开发中后期,稳产难度大,采用传统的“勘探—开发—生产”接力评价模式难以维持可持续发展^[1-3]。为此,将涠西南凹陷勘探开发成熟区作为试点区开展了海上勘探开发一体化研究^[2-4]。

海上勘探开发一体化是以海上在生产和在建设油气田的设施为依托,以油气田内部及周边潜在储量的发现和开发为目标,加快勘探评价、加速产能建设的一种集勘探、开发于一体的快速评价工作模式^[3,5-10]。海上勘探开发一体化技术包含目标搜索技术、目标评价技术、井位钻探技术等^[3]。其中,井位钻探技术是针对通过目标搜索、目标评价优选出的潜力目标进行钻探的技术,该技术用以落实其含油气性、储量规模,继而实现增储上产。

对于海上勘探开发一体化快速评价,传统的“探井—评价井—开发井—调整井”接力钻探模式不适用^[11-14]。该传统钻探模式适用于“勘探—开发—生产”接力评价模式:一方面,该模式评价时间长,导致油气田建产周期长;另一方面,该模式下油气田开发经济门槛高,造成许多探明地质储量、控制地质储量难以动用。因此,为了推动涠西南凹陷海上勘探开发一体化优质潜力目标顺利实施,笔者提出了开发评价井钻探模式,对其灵活多样的钻探模式进行了研究和现场应用,取得了显著成效。

1 涠西南凹陷地质概况

涠西南凹陷位于北部湾盆地^[15-16],先后经历了古近纪裂陷期和新近纪拗陷期^[17-18]。古近纪裂陷期,涠西南凹陷在区域地应力作用下自北向南发育涠西南断裂带、1号断裂带、2号断裂带、3号断裂带等多个断裂带及分支断裂,对于油气运移和聚集具有重要作用^[19],凹陷东部、南部发育斜阳斜坡带、南部斜坡带等斜坡带,同样是油气运聚的有利区带^[20]。总体上,涠西南凹陷具有北断南超的构造特征,并通过涠西南低凸起与海中凹陷相邻,如图1所示。

涠西南凹陷的主力成藏期为古近纪,自下至上沉积古新统长流组、始新统流沙港组、渐新统涠洲组地层。已钻井揭示,流沙港组二段发育中深湖相油页岩、页岩、泥岩,为涠西南凹陷最重要的烃源岩

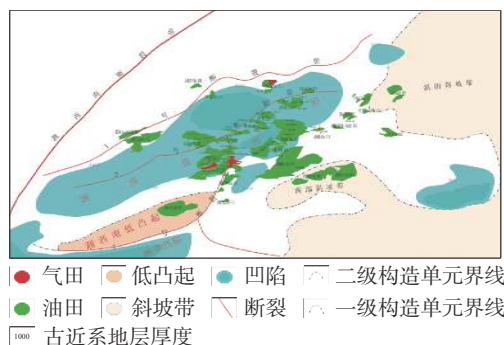


图 1 涠西南凹陷区域构造及油田分布

Fig. 1 Regional structure and distribution of oilfields in Weixinan Sag

层^[21-22]。流沙港组一段、涠洲组三段为最主要的含油层段,也是本文研究的主要目的层系。流沙港组一段沉积期总体上为水退过程,发育滨浅湖相—三角洲相,砂岩相对较薄,主要发育构造—岩性圈闭或岩性圈闭^[19,23]。涠洲组三段沉积期水体加深但总体水深较浅,主要发育三角洲相,发育厚层粗砂岩、中砂岩、细砂岩,并以杂色泥岩为区域标志层^[24-25]。涠洲组三段断裂发育,主要发育构造圈闭^[26]。

2 开发评价井钻探模式

开发评价井是针对油气田储量升级,评价油气田内部新层(邻块)及油气田周边潜力区块的井^[3]。开发评价井的钻探模式灵活多样,与探井相比,可以依托生产平台钻探,在落实潜力目标含油气性和储量后直接投入生产,实现储量向产量快速转化。与生产井相比,开发评价井可以通过快速评价的勘探模式对生产平台控制范围外的潜力目标进行钻探,若评价成功将落实目标含油气性和储量,促进后续开发、调整,若未钻遇油气层,能够为后续开发规避风险。

开发评价井的钻探模式依据钻探目标是否在生产平台动用范围内,分为开发模式和勘探模式。开发模式钻探目标位于生产平台动用范围内,有生产平台钻探模式、生产井项目钻探或兼探模式 2 种模式;勘探模式钻探目标位于生产平台动用范围外,有快速评价模式、滚动探井兼探模式 2 种模式。

2.1 生产平台钻探模式

生产平台钻探模式是指,能够依托海上生产平台空余井槽或低效井槽对潜力区块进行评价,若评

价成功能够投入油气田生产,实现快速建产的开发评价井钻探模式。对涠西南凹陷已钻生产井统计可知,生产平台钻探半径在 3 km 左右,因此,可以优选生产平台周边半径 3 km 范围内的潜力目标进行开发评价井位部署,评价油气田平面或纵向潜力层位,并可接入现有生产设施。

因为生产平台钻探模式没有依托生产井项目,没有相关预案井保证经济性,所以,对于潜力目标钻探成功率的要求非常高。生产平台钻探模式的潜力目标,是在海上勘探开发一体化目标搜索技术的指导下,通过区带搜索优选成藏条件优越的油气田,围绕其内部及周边,在“评价过程潜力目标搜索”指导下开展老井复查^[3,10]。老井复查是在勘探开发无空井理念指导下,依据干层旁边有油层、薄层旁边有厚层、显示高处有油层、油层上下找油层、油层邻块找油层等理论,开展潜力目标搜索。

涠西南凹陷应用生产平台钻探模式的典型案例是涠 E 油田 WE-4 井区,利用低效井侧钻,实现了该井区的经济性开发。WE-4 井区是主控断层 F2 遮挡的断鼻圈闭,勘探早期 WE-4 井区钻探 WE-4 井,该井仅在涠洲组三段 W₃VI 油组钻遇油层,探明地质储量不足 20×10⁴ m³,未达到开发动用储量下限。如果采用常规钻探模式,开发该井区则需要再钻探至少 1 口评价井,才能弄清含油性和储量规模,难度极大。

对 WE-4 井进行老井复查发现,该井在涠洲组三段 W₃IV、W₃V 和 W₃VII 油组钻遇油气显示。在海上勘探开发一体化目标搜索技术指导下^[3],按照“显示高处有油层”的一体化评价思路,认为 WE-4 井区构造高部位成藏概率高。因此,利用生产平台钻探模式,依托 WE-A 生产平台部署了开发评价井 WE-A7S2 井,其平面位置如图 2 所示。

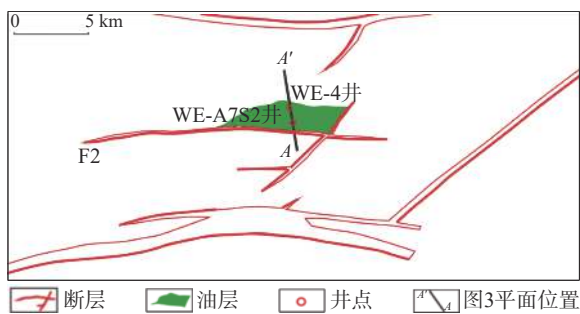


图 2 涠 E 油田 WE-A7S2 井平面位置

Fig.2 Plane location of Well WE-A7S2 in WE Oilfield

WE-A7S2 井共钻遇 6 个油层(见 图 3),厚度共计 63 m,除 W₃IV、W₃V 和 W₃VII 油组为 WE-4 井油

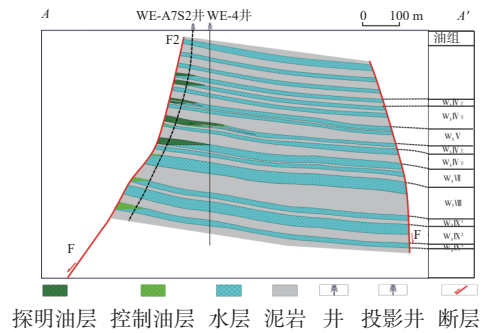


图 3 WE-A7S2 井油藏模式

Fig.3 Reservoir model of Well WE-A7S2

气显示层升级为油层外,新发现 W₃IV_上油组油层。WE-A7S2 井探明的地质储量远超开发动用储量下限,经济性好,实现了快速建产的目的。

WE-A7S2 井实施成功,对生产平台钻探模式的研究具有重要意义。鉴于生产平台钻探模式缺少预案井,应评价生产平台钻探范围内构造低部位已钻井证实含油水层或有油气显示的圈闭高部位,依托生产平台空余井槽或低效井槽部署定向井,评价构造高部位,若评价成功将实现快速建产。

2.2 生产井项目钻探或兼探模式

生产井项目钻探或兼探模式,是在即将实施的 ODP 或调整井项目周边搜索优选潜力目标,依托项目进行钻探或兼顾钻探(包括上部兼探、加深兼探等),并可接入现有生产设施、实现快速建产的钻探模式。该模式包括 ODP 项目钻探模式、ODP 项目兼探模式、调整井项目钻探模式、调整井项目兼探模式。与生产平台钻探模式相比,同样都是利用海上生产平台的空余井槽或低效井槽,同时又具有多方面优势:1)该模式通过套管定向开窗侧钻方式钻探开发井或调整井等预案井,保证钻探的经济性,对于潜力目标钻探成功率要求相对较低;2)该模式钻探费用包含在依托项目预算中,能够有效规避评价风险;3)该模式通过兼探方式完成潜力层评价与含油气层调整实施,或完成潜力层评价与难动用油气层的动用,在降低钻探成本的同时,能够将评价成功的潜力层依托生产平台投入开发,实现快速建产,是开发评价井最主要的钻探模式。

WD-A9 井是依托涠 D 油田调整井项目兼探模式部署在 WD-1 井区的开发评价井,其平面位置见 图 4。WD-1 井区是断层 F1 为遮挡断层、断层 F2 为运移断层的断块圈闭,探井 WD-1 井在涠洲组三段 W₃I、W₃II 和 W₃VII_下油组钻遇油层;涠 D 油田 ODP 项目实施的 WD-A8P 领眼井除完成涠

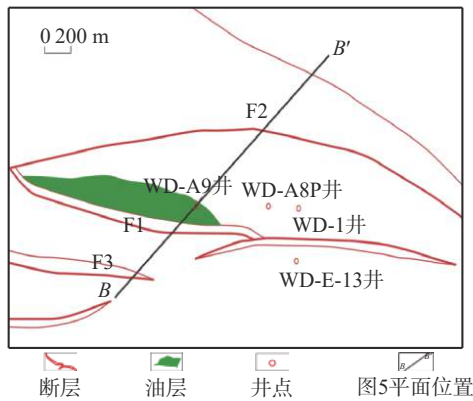


图 4 涪 D 油田 WD-A9 井平面位置

Fig. 4 Plane location of Well WD-A9 in WD Oilfield

洲组三段 $W_3 I$ 、 $W_3 II$ 和 $W_3 VII$ 下油组油层开发外, 加深兼探 $W_3 VIII$ 、 $W_3 IX$ 油组构造低部位含油气性, 钻遇油水同层, 证实构造高部位成藏概率高; 探井 WD-E-13 井在邻块 $W_3 IX$ 油组钻遇油层, 进一步证实区域油气运移活跃, 在该断块 $W_3 XII$ 、 $L_1 II$ 和 $L_1 III$ 油组构造低部位钻遇新油层, WD-1 井区成藏条件优越。

WD-A9 井的油藏模式如图 5 所示。该井的评价目的, 包括含油层 $W_3 I$ 、 $W_3 VI$ 、 $W_3 VII$ 上、 $W_3 VII$ 下、 $L_1 II$ 和 $L_1 III$ 油组开发井网调整, 落实 $W_3 VIII$ 、 $W_3 IX$ 油组构造高部位的含油气性, 兼顾 $W_3 XII$ 油组油层扩边评价, 并通过优化井眼轨迹评价邻块涪洲组二段的含油气性。WD-A9 井实钻效果好, 邻块涪洲组二段 $W_2 III$ 、 $W_2 IV$ 油组共钻遇 28 m 油层, 并在 $W_2 VI$ 油组钻遇 7 m 差油层, 证实涪洲组二段油气运移活跃, 实现了新含油层系的突破。涪洲组三段除证实 $W_3 VIII$ 、 $W_3 IX$ 油组为油层外, $W_3 X$ 油组钻遇新油层并在 $W_3 XII$ 油组成功实现油层扩边。涪洲组三段钻遇 116 m 油层, 流沙港组一段钻遇 42 m 油层, 依托 WD-A 生产平台实现了快速建产, 生产井项目钻探或兼探钻探模式应用效果好。

WD-A9 井钻探成功, 证实了生产井项目钻探或兼探模式的可行性。涪西南凹陷在生产、在建设油田多, 对应的 ODP 项目、调整井项目数量多。将生产井项目钻探或兼探模式开发评价井引入 ODP 项目、调整井项目, 在弄清潜力层含油气性、实现快速建产的同时, 实现了含油层的调整实施或难动用油层的动用, 对于油田开发及后续可持续发展具有重要作用。

2.3 快速评价模式

快速评价模式的应用, 受多方面条件的约束和限制: 1) 海上生产平台位置确定后, 距离平台较远

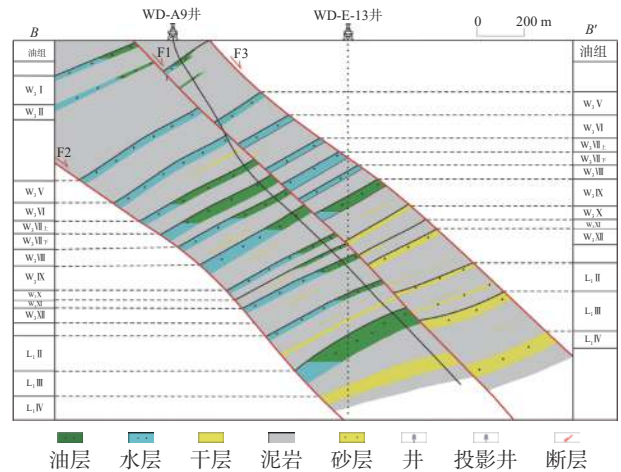


图 5 WD-A9 井油藏模式

Fig. 5 Reservoir model of Well WD-A9

的扩边区块评价和开发难度极大; 2) 位于生产平台钻探范围内, 但难以评价多个层系或成藏风险大的潜力目标, 很难通过开发模式进行评价; 3) 生产平台预留的井槽数量和处理能力, 也限制了后期加密、调整。针对以上问题提出了快速评价模式, 即通过滚动勘探形式对油气田周边生产平台覆盖范围外的有利构造进行评价, 与邻近油田相结合, 提前编制整体开发方案, 落实含油层系、储量规模的钻探模式。若评价成功, 能够增加油气田探明地质储量, 促进邻近油气田后续综合调整; 若评价失利, 与传统的“探井—评价井—开发井—调整井”钻探模式相比, 快速评价模式开发评价井钻探成本低, 并能有效规避后续开发风险。

涪 I 油田的发现是快速评价模式应用的典型案例。涪 I 油田平面位置位于涪 H 油田与涪 J 油田之间(见图 6)。涪 H 油田有 2 个生产平台, WH-A 生产平台主要开发 WH-1 井区和 WH-3 井区, WH-B 生产平台为 WH-5 井区与 WH-4 井区联合开发, 兼顾 WH-3 井区开发井网完善。由于 WH-B 生产平台井槽数量有限, 且与 WH-4 井区构造的位置关系不利于钻井, 导致 WH-4 井区的开发井网并不完善。

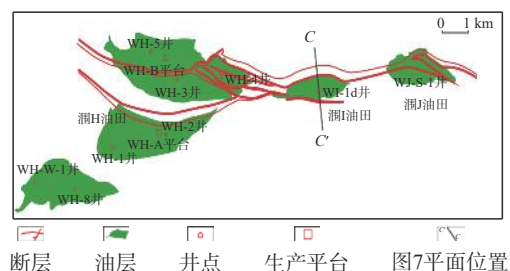


图 6 涪 I 油田 WI-1d 井平面位置

Fig. 6 Plane location of Well WI-1d in WI Oilfield

为了促进 WH-4 井区的综合调整,引入海上勘探开发一体化思路,围绕其周边开展潜力目标搜索,落实涪 I 构造,整体考虑涪 I 构造与 WH-4 井区,提前编制整体开发方案,指导涪 I 构造开发前期研究及 WH-4 井区综合调整。在涪 I 构造部署 WI-1d 井,落实涪洲组三段目的层含油气性及储量规模,后续同 WH-4 井区联合立架进行开发,满足开发的经济性,实现 WH-4 井区综合调整及涪 H 油田、涪 I 油田和涪 J 油田横向连片含油的局面。

WI-1d 井油藏模式如图 7 所示。该井实施效果好,不仅在涪洲组三段目的层 W₃I、W₃II、W₃III、W₃IV、W₃VI_上、W₃VI_下和 W₃VII 油组钻遇 103 m 油层,而且在涪洲组二段 W₂I、W₂III 和 W₂IV 油组钻遇 13 m 油层,实现了涪 H 油田、涪 I 油田和涪 J 油田横向连片含油的局面。新增探明地质储量满足与 WH-4 井区联合立架开发的经济性要求,促进了 WH-4 井区的综合调整。

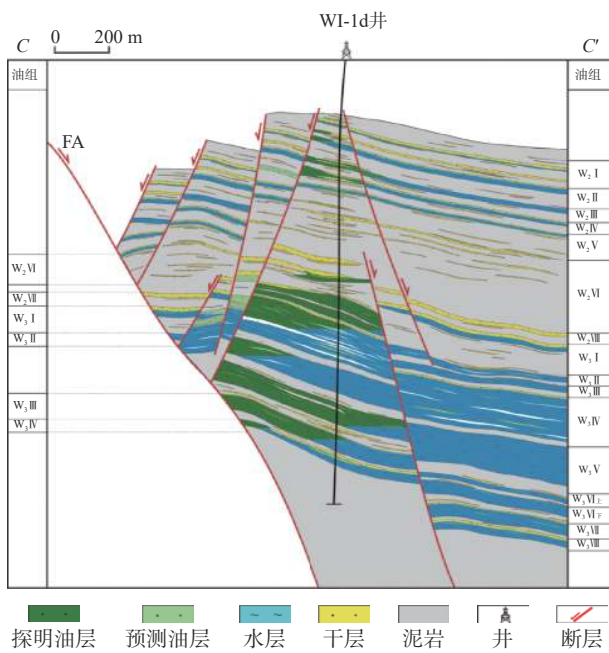


图 7 WI-1d 井油藏模式

Fig.7 Reservoir model of Well WI-1d

涪 C 油田北块开发评价井 WC-4 井(平面位置见图 8)的钻探,是快速评价模式规避后续开发风险的典型案例。在该区块勘探阶段,先后钻探了 WC-1 井、WC-3 井和 WC-3Sa 井,在涪洲组二段 W₂I 油组,涪洲组三段 W₃I、W₃IV、W₃VII 和 W₃XI 油组,流沙港组一段 L₁I、L₁II 和 L₁III 油组钻遇油层,其中 W₃I、W₃IV 油组油层厚且未钻遇油水界面,是北块最重要的含油层及开发层系。

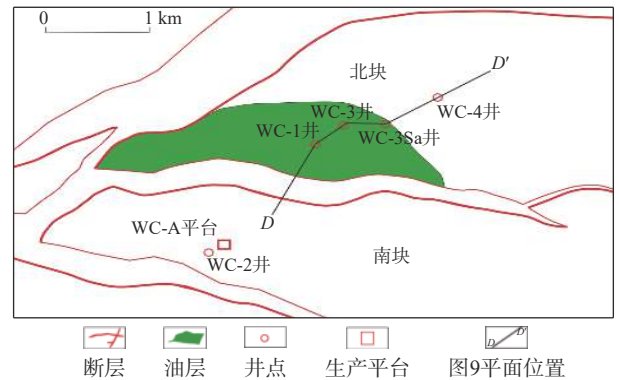


图 8 涪 C 油田北块 WC-4 井平面位置

Fig.8 Plane location of Well WC-4 in WC Oilfield

涪 C 油田北块油水界面范围不确定,储量规模无法落实,影响开发井位的整体部署。同时,北块圈闭主控断层倾向近南向,而 WC-A 平台位于该主控断层南侧,导致开发井无法同时部署在多个油层构造高部位,同样不利于开发井部署。为落实涪 C 油田北块 W₃I 和 W₃IV 油组在油藏构造低部位的含油气性及储量规模,指导涪 C 油田综合开发,采用海上勘探开发一体化思路,在构造低部位部署了 WC-4 井,通过快速评价方式进行评价,落实了北块储量规模,规避了后续开发风险。

WC-4 井油藏模式如图 9 所示。钻 WC-4 井时,在涪洲组二段 W₂VI 油组新发现厚度为 4.6 m 的油层,为岩性圈闭油藏,证实涪洲组二段具有较好的成藏条件,对于涪 C 油田涪洲组二段岩性圈闭油藏搜索、评价具有启示意义。W₃IV 油组录井无油气显示,测井解释为水层,进一步明确了北块 W₃IV 油组的含油范围及储量规模,规避了后期开发投资风险,为制订开发方案提供了决策依据。

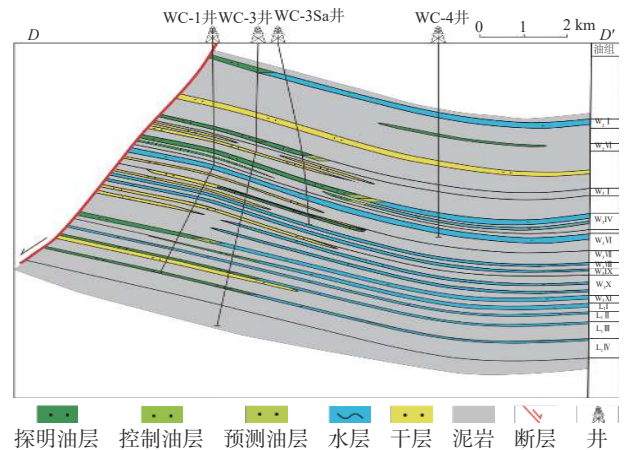


图 9 WC-4 井油藏模式

Fig.9 Reservoir model of Well WC-4

2.4 滚动探井兼探模式

滚动探井兼探模式与快速评价模式的开发评价井类似, 均通过钻探滚动探井进行快速评价。滚动探井兼探模式开发评价井, 主要针对以下 2 类目标进行评价: 1) 距离生产平台较远, 无法通过生产平台快速建产, 能够兼顾相邻勘探目标; 2) 针对成藏风险相对较大的目标, 单独钻探经济性差, 无法通过生产平台实施, 通过优化井眼轨道与周边待实施探井结合, 上部兼探或加深兼探能够有效降低钻探成本, 规避评价风险。

涪 E 油田 WE-4 井区流沙港组一段为该模式下的典型案例。WE-4 井区流沙港组一段圈闭总体为岩性圈闭, 内部被多条断层分割形成断块-岩性圈闭。探井 WE-4 井、开发评价井 WE-A7S2 井及调整井 WE-A4H3 井钻探显示, 3 个断块的含油性及其油水界面不同, 证实断层具有较好的断层封堵性。该井区前期部署了采油井 WE-A5H 井、注水井 WE-A6 井: WE-A5H 井横跨 2 个断块, 未见水; WE-A6 井位于 WE-4 井所在断块, 钻遇水层(见图 10)。长时间观测显示, 这 2 口井存在注水受效性差的问题: 一方面, 由于分割 2 个断块的 F 断层封堵性较好, 导致 F 断层东侧断块油层注水受效差; 另一方面, F 断层西侧油层的物性比 F 断层东侧油层差, 存在储层连通性差的风险。因此, 完善 F 断层东侧井网是解决问题的关键, 但是该断块探明储量未达到开发的经济性下限, 按照常规开发模式无法部署调整井。

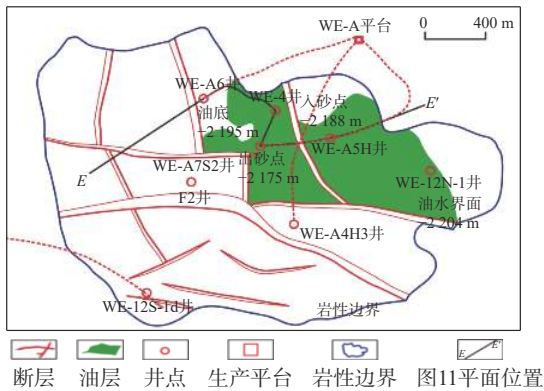


图 10 涪 E 油田 WE-12N-1 井平面位置

Fig.10 Plane location of Well WE-12N-1 in WE Oilfield

为了推动 F 断层东侧断块开发, 与勘探、开发即将实施的井相结合, 引入滚动探井兼探模式开发评价井。经过分析, 部署了探井 WE-12N-1 井对涪洲组三段和流沙港组一段顶部砂体进行勘探, 仅加深 50 m 就能对流沙港组一段油层兼探评价, 能够有效降低钻探成本。WE-12N-1 井流沙港组一段油

藏模式如图 11 所示。该井加深兼探流沙港组一段开发层构造低部位, 钻遇油层和油水界面, 将探明含油范围由 WE-4 井油底海拔高度-2 195 m 扩展至-2 204 m, 落实并增大了 F 断层东侧断块储量规模。

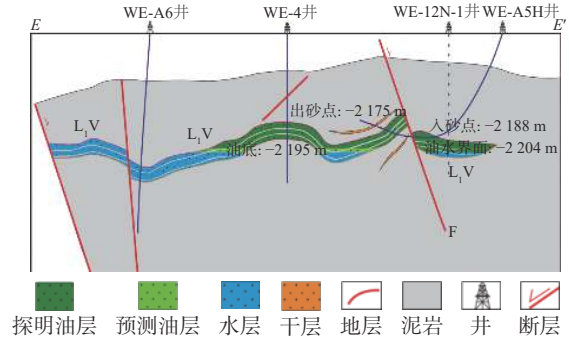


图 11 WE-12N-1 井流沙港组一段油藏模式

Fig.11 Reservoir model of the first member of Liushagang Formation in Well WE-12N-1

F2 断层南侧为岩性圈闭, 部分解释测线存在岩性边界无法落实的风险, 且地震同向轴杂乱不连续, 存在储层叠置不连通的风险。虽然该目标距离 WE-A 平台仅 2 km, 处于平台覆盖范围内, 但由于成藏风险较大而无法依托生产平台实施。将该目标与滚动勘探目标相结合, 钻前通过优化调整 WE-12S-1d 滚动探井的井眼轨迹, 加深兼探流沙港组一段目的层, 降低钻探成本。WE-12S-1d 井未在流沙港组一段钻遇油层, 钻遇了 2 套近 60 m 厚的水层, 规避了依托生产平台实施的开发风险。

3 开发评价井钻井模式应用成效

本文提出的开发评价井钻探模式已经在涪西南凹陷应用 45 口井, 其中 37 口井钻探成功, 8 口井钻探失利, 钻探成功率达 82%, 证明该模式在油气田勘探开发中后期的应用效果较好。

45 口应用井中: 生产平台钻探模式井实施 2 口, 成功 2 口, 钻探成功率 100%; 生产井项目钻探或兼探模式井实施 29 口, 成功 24 口, 钻探成功率 83%(其中, ODP 项目钻探模式开发评价井 9 口, 成功 7 口, 钻探成功率 83%; ODP 项目兼探模式井 3 口, 成功 2 口, 钻探成功率 67%; 调整井项目钻探模式井 16 口, 成功 15 口, 钻探成功率 94%; 调整井项目兼探模式井 1 口, 钻探失利); 快速评价模式井实施 12 口, 成功 10 口, 钻探成功率 83%; 滚动探井兼探模式井 2 口, 成功 1 口, 钻探成功率 50%。

对4种开发评价井钻探模式进行了对比分析,分析发现:

1)生产平台钻探模式开发评价井针对生产平台覆盖范围内的潜力目标,在没有ODP及调整井项目实施的情况下进行风险评价,所以该模式存在评价失利后无预案井接替的风险,对潜力目标成藏可靠性要求较高。若相邻块或相邻层系存在开发层系,可以通过该模式对其兼顾调整,作为预案降低开发评价井的实施风险。由于该模式要求条件较为苛刻,目前仅钻了2口井,但全部获得成功,落实探明地质储量近 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$,占比5%,实现了快速建产。

2)生产井项目钻探或兼探模式,无论从钻井总数、成功井数还是探明地质储量,均占比最大,是开发评价井最重要的钻探模式。该模式29口井落实探明地质储量近 $2\,300 \times 10^4 \text{ m}^3$,占比63%,有效带动了油气田开发进程。勘探开发成熟区都会存在老油田综合调整和新油田ODP实施的情况,而油田内部都会存在难动用探明或控制储量。如何在油气田内部搜索潜力目标,促进难动用储量动用,推动油气田开发前期ODP实施及油气田中后期综合调整,是勘探开发一体化研究工作的重要内容。生产井项目钻探或兼探模式是这一重要研究内容的具体实践,且成效显著。

3)虽然快速评价模式开发评价井主要针对生产平台覆盖范围,但难以评价多个层系、成藏风险大、难以通过开发模式进行评价的潜力目标。不过,该模式同样能够促进油气田开发前期ODP实施及油气田中后期的综合调整,12口快速评价模式开发评价井落实探明地质储量超过 $1\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$,占比30%,对于油气田开发、调整起到了重要的推动作用。

4)滚动探井兼探模式主要针对距离生产平台远或成藏风险大的潜力目标。利用该模式可落实含油气性,降低钻探成本,规避投资风险。目前已钻探2口井,落实探明地质储量近 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,占比2%。该模式与前3种钻探模式相比,虽然具有钻探井数少、钻探成功率低、发现储量规模小等弱势,但该模式是开发评价井模式中不可或缺的,因为该模式能够通过最低的钻探成本落实成藏风险相对较大的区块,如果评价成功,将有效促进周边区域开发。

4 结 论

1) 涠西南凹陷勘探开发一体化开发评价井钻探模式,包括生产平台钻探模式、生产井项目钻探或

兼探模式、快速评价模式、滚动探井兼探模式等4种开发评价井钻探模式,解决了传统“探井—评价井—开发井—调整井”接力钻探模式限制多、储量动用门槛高、建产周期长等问题。

2) 4种开发评价井钻探模式在油气田勘探开发中后期的应用效果较好,已实施45口井,其中37口井钻探成功,钻探成功率达82%。

3) 4种钻探模式中,生产井项目钻探或兼探模式无论从钻井总数、成功井数还是探明地质储量方面均占比最大,同时该模式能够依托生产平台实现、快速建产,是开发评价井最重要的钻探模式,也是后续海上勘探开发一体化潜力目标搜索、评价、实施的重要模式。

参 考 文 献

References

- [1] 陈奎,李茂,邹明生,等. 涠西南凹陷涠洲组构造圈闭有效性定量评价技术及应用[J]. 石油学报, 2018, 39(12): 1370-1378.
CHEN Kui, LI Mao, ZOU Mingsheng, et al. The validity quantitative evaluation technology and its application to structural trap in Weizhou Formation, Weixi'nian Sag[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2018, 39(12): 1370-1378.
- [2] 李茂,朱绍鹏,邹明生,等. 涠西南凹陷复杂断块和隐蔽油气藏滚动勘探开发实践[J]. 中国海上油气, 2015, 27(4): 73-79.
LI Mao, ZHU Shaopeng, ZOU Mingsheng, et al. Progressive exploration and development of complex fault-block and subtle reservoirs in Weixi'nian Sag[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2015, 27(4): 73-79.
- [3] 陈奎. 海上勘探开发一体化技术研究及应用: 以北部湾盆地涠西南凹陷为例[J]. 石油学报, 2020, 41(1): 68-79.
CHEN Kui. Research and application of integrated technology for offshore exploration and development: a case study of Weixi'nian Sag in the Beibuwan Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2020, 41(1): 68-79.
- [4] 胡光义,孙福街,范廷恩,等. 海上油气田勘探开发一体化理念、基本思路 and 对策[J]. 中国海上油气, 2013, 25(6): 61-64,69.
HU Guangyi, SUN Fujie, FAN Tingen, et al. A conception of exploration-development integration and the relative working principles and procedure in offshore oil and gas fields[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2013, 25(6): 61-64,69.
- [5] 孙晓晖,邹明生,陈奎,等. 滚动勘探开发技术在海上复杂断块油田潜力挖潜中的应用[J]. 石化技术, 2018, 25(1): 134-135.
SUN Xiaohui, ZOU Mingsheng, CHEN Kui, et al. Application of rolling exploration and development technology in potential resources research of complex offshore fault-block oil field[J]. *Petrochemical Industry Technology*, 2018, 25(1): 134-135.
- [6] 李茂. 南海西部海域边际油田开发浅谈[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(6): 61-64.
LI Mao. Brief talk about development of marginal oilfield in the western South China Sea[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2007, 29(6): 61-64.
- [7] 王秀玲,张伟,张振波,等. 南海东部油田群勘探开发一体化实践与认识[J]. 石油科技论坛, 2019, 38(4): 51-57.

- WANG Xiuling, ZHANG Wei, ZHANG Zhenbo, et al. Practice and understanding of exploration and development integration for groups of oilfields in eastern part of South China Sea[J]. *Oil Forum*, 2019, 38(4): 51–57.
- [8] 李金蔓, 霍宏博, 林海, 等. 渤海边际油田勘探开发一体化探索与实践[J]. *石油钻采工艺*, 2019, 41(3): 272–276.
LI Jinman, HUO Hongbo, LIN Hai, et al. Research and practice of exploration-development integration of marginal oilfield in the Bohai Sea[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2019, 41(3): 272–276.
- [9] 张抗, 焦扬. 深化勘探开发一体化为开发提供有效储量[J]. *中国石油勘探*, 2018, 23(2): 76–82.
ZHANG Kang, JIAO Yang. Deepening the exploration-development integration to provide effective reserves for development[J]. *China Petroleum Exploration*, 2018, 23(2): 76–82.
- [10] 陈奎, 宋瑞有, 韩光明, 等. 琼东南盆地深水天然气勘探开发一体化关键技术及实践[J]. *天然气工业*, 2020, 40(12): 59–70.
CHEN Kui, SONG Ruiyou, HAN Guangming, et al. Key technologies for the integration of deepwater natural gas exploration and development and their application in the Qiongdongnan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2020, 40(12): 59–70.
- [11] 张海山, 杨进, 宫吉泽, 等. 东海西湖区块高温高压深探井井身结构优化[J]. *石油钻探技术*, 2014, 42(6): 25–29.
ZHANG Haishan, YANG Jin, GONG Jize, et al. Optimization of casing program for HTHP deep exploratory wells in Block Xihu of East China Sea[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2014, 42(6): 25–29.
- [12] 张为彪, 易浩, 钟辉, 等. 珠江口盆地东部地区预探井失利原因分析及启示[J]. *中国石油勘探*, 2018, 23(3): 18–27.
ZHANG Weibiao, YI Hao, ZHONG Hui, et al. Analysis on the causes of failed wildcat wells in the eastern Pearl River Mouth Basin and its enlightenment[J]. *China Petroleum Exploration*, 2018, 23(3): 18–27.
- [13] 李中, 郭永宾, 管申, 等. 涠洲 12-2 油田开发井表层提效关键钻井技术[J]. *中国海上油气*, 2019, 31(4): 113–118.
LI Zhong, GUO Yongbin, GUAN Shen, et al. Novel top-hole drilling technology for development wells in WZ12-2 Oilfield[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2019, 31(4): 113–118.
- [14] 隋梅. 胜利油田深探井固井技术难点与对策[J]. *石油钻探技术*, 2013, 41(3): 73–79.
SUI Mei. Technical difficulties and countermeasures in cementing of deep exploration wells in Shengli Oilfield[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2013, 41(3): 73–79.
- [15] 任建业. 中国近海海域新生代成盆动力机制分析[J]. *地球科学*, 2018, 43(10): 3337–3361.
REN Jianye. Genetic dynamics of China Offshore Cenozoic basins[J]. *Earth Science*, 2018, 43(10): 3337–3361.
- [16] 陈奎, 杨希冰, 胡林, 等. 琼东南盆地深水勘探成熟区目标搜索技术体系研究及应用成效[J]. *中国海上油气*, 2020, 32(3): 33–42.
CHEN Kui, YANG Xibing, HU Lin, et al. Study on the target search technical system in mature deep water exploration area of Qiongdongnan Basin and application effect[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(3): 33–42.
- [17] 杨希冰, 金秋月, 胡林, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷原油成因类型及分布特征[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2019, 41(3): 51–60.
YANG Xibing, JIN Qiuyue, HU Lin, et al. Genetic types and distribution of crude oil in Weixi'nian Depression, Beibuwan Basin[J]. *Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition)*, 2019, 41(3): 51–60.
- [18] 王健, 操应长, 李俊良. 北部湾盆地涠西南凹陷古近系层序结构与非构造圈闭[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(3): 304–312.
WANG Jian, CAO Yingchang, LI Junliang. Sequence structure and non-structural traps of the Paleogene in the Weixi'nian Sag, Beibuwan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(3): 304–312.
- [19] 陈奎, 周家雄, 张辉, 等. 涠西南凹陷二号断裂带断裂控藏研究及应用[J]. *海洋学报*, 2019, 41(7): 92–102.
CHEN Kui, ZHOU Jiaxiong, ZHANG Hui, et al. The research and application of the reservoir controlling mechanism for the No. 2 Fracture Zone, Weixi'nian Sag[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2019, 41(7): 92–102.
- [20] 金秋月. 北部湾盆地涠西南凹陷东南斜坡原油成因类型及成藏特征[J]. *岩性油气藏*, 2020, 32(1): 11–18.
JIN Qiuyue. Genesis types and accumulation characteristics of crude oil in southeast slope of Weixi'nian Depression, Beibuwan Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2020, 32(1): 11–18.
- [21] 刘平, 夏斌, 唐在秋, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷储集层流体包裹体[J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(2): 164–169, 200.
LIU Ping, XIA Bin, TANG Zaiqiu, et al. Fluid inclusions in reservoirs of Weixi'nian Sag, Beibuwan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(2): 164–169, 200.
- [22] 李友川, 兰蕾, 王柯, 等. 北部湾盆地流沙港组湖相烃源岩的差异[J]. *石油学报*, 2019, 40(12): 1451–1459.
LI Youchuan, LAN Lei, WANG Ke, et al. Differences in lacustrine source rocks of Liushagang Formation in the Beibuwan Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2019, 40(12): 1451–1459.
- [23] 董贵能, 李俊良. 北部湾盆地涠西南凹陷流一段非构造油气藏[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(5): 552–560.
DONG Guineng, LI Junliang. Subtle hydrocarbon reservoirs in Liu-1 Member of the Weixi'nian Sag, Beibuwan Basin, China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(5): 552–560.
- [24] 陈奎, 潘知峰, 孙晓晖, 等. 涠西南凹陷涠三段构造圈闭断层侧向封闭性定量研究及应用[J]. *海洋科学进展*, 2019, 37(3): 442–451.
CHEN Kui, PAN Zhifeng, SUN Xiaohui, et al. The quantitative research and application of the fault lateral sealing ability about the W3 formation of Weixi'nian Sag[J]. *Advances in Marine Science*, 2019, 37(3): 442–451.
- [25] 杨帅, 陈洪德, 侯明才, 等. 基于地震沉积学方法的沉积相研究: 以涠西南凹陷涠洲组三段为例[J]. *沉积学报*, 2014, 32(3): 568–575.
YANG Shuai, CHEN Hongde, HOU Mingcai, et al. The research of sedimentary facies based on seismic sedimentology method: a case study of the three-section of Weizhou Formation in Weixi'nian Depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(3): 568–575.
- [26] 盖永浩, 欧阳敏, 覃利娟. 涠西南凹陷新近系油气成藏主控因素分析[J]. *重庆科技学院学报(自然科学版)*, 2019, 21(4): 28–32.
GAI Yonghao, OUYANG Min, QIN Lijuan. The key factors of Neogene hydrocarbon accumulation in Weixi'nian Sag[J]. *Journal of Chongqing University of Science and Technology(Natural Sciences Edition)*, 2019, 21(4): 28–32.