

中国南海珠江口盆地西江油田运聚再生油藏模式 创新认识与挖潜效果

涂乙,闫正和,戴建文,王亚会,朱义东,杨勇,杨娇,王伟峰

[中海石油(中国)有限公司深圳分公司,广东深圳518067]

摘要:针对开发中后期海上老油田剩余油零星散落分布和运移-富集规律难预测等问题,将“势控论”与“构型级次界面”结合,以储层内部单砂体为基本单元,研究不同类型油藏剩余油运移方向和运聚时间,由此构建“运聚再生油藏模式”。研究表明:①主力油藏砂体以叠置接触为主,夹层较少发育,储层主要为高孔、高渗特征,易形成优势渗流通道,高度分散状态的剩余油经过1年左右运移,在井控低且势能低部位小规模聚集成藏,挖潜潜力有限,生产井表现出高产短命的生产效果;②非主力油藏砂体横向接触主要以侧叠和孤立类型为主,3级和4级构型界面较为发育,剩余油动态运聚时间、方向与储层韵律性、夹层级次和流体性质等因素有关,一般非主力油藏关停约3年以上时间,4级界面控制的剩余油通过侧向绕流,逐渐向低势闭合区富集成藏,3级界面控制的剩余油通过垂向渗透,向低势闭合区聚集,剩余油运移富集规模较大,生产井表现出高产、高效、长命的生产效果。研究成果为海上中-高含水期老油田深度、立体挖潜提供技术支持,将为公司年度生产目标实现或超产保驾护航。

关键词:不同级次构型界面;势控论;运移聚集;再生油藏模式;挖潜效果;珠江口盆地

中图分类号:TE327

文献标识码:A

New understanding and tapping effect of remaining oil reservoirs in Xijiang oilfield, PRBM, South China Sea

Tu Yi, Yan Zhenghe, Dai Jianwen, Wang Yahui, Zhu YiDong, Yang Yong, Yang Jiao, Wang Weifeng

(Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Shenzhen, Guangdong 518067, China)

Abstract: To tackle problems in understanding the distribution and mechanisms of remaining oil reservoirs in mature offshore oilfields of middle or later stages of development, this study focuses on the migration direction and migration-accumulation time of remaining oil in various types of reservoirs in Xijiang oilfield, PRBM, South China Sea, while combining “potential control theory” with “reservoir architecture interface” and taking single sand body in the reservoirs as research unit. It concludes that the remaining oil mainly concentrates in low-potential trapped areas, and thereby constructs a “migration-accumulation regenerated reservoir model”. The results show that: (1) Sand bodies in major pay reservoirs are mainly superimposed with rare interbeds; the reservoirs are mostly high-porosity and high-permeability and conducive to generate preferential seepage channels. After shutting wells down for about one year, the remaining oil migrates and accumulates in small amounts to high parts of structures of low potential energy and beyond well area. These wells tend to yield high but only for a short time after the 1 year shut-in. (2) Sand bodies in non-major pay reservoirs are usually laterally overlapping or completely isolated with the well developed third- and fourth-order architectural interfaces in the reservoirs. The dynamic migration and accumulation time and direction of remaining oil are related to reservoir rhythm, interlayer order and fluid property. After shutting wells down for more than 3 years, the remaining oil in these reservoirs that once were controlled by the fourth-order interfaces gradually flows around and accumulates into low-potential closed areas; those once controlled by the third-order interfaces would accumulate in large scale in low-potential closed areas by vertical permeation. These wells perform good after 3-year shut-in with high production for a long time. The research results are of technically supportive value to the rejuvenation of mature offshore oil fields in medium-high

收稿日期:2020-08-04;修订日期:2021-01-26。

第一作者简介:涂乙(1986—),男,工程师,开发地质、储量评价及储层建模。E-mail:tuyi200605156@126.com。

通讯作者简介:闫正和(1965—),男,高级工程师,油气田开发和油藏管理。E-mail:yanzhzh@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011TX05023-006-03)。

water cut stage and to the realization of the company's annual production target.

Key words: interface of diverse orders, potential control theory, migration and accumulation, reservoir regeneration model, tapping effect, Pearl River Mouth Basin (PRMB)

中国南海东部绝大多数油田已进入开发中后期,采出程度较高,含水率普遍较高,产量递减加快,仅靠提液措施增产已达不到生产效果,并且剩余油分布规律异常复杂,呈高度分散状态,层内层间油水运移关系不清。目前,海上油田基于小层精度的剩余油研究,已经解决实际油田生产要求,不同级次构型界面是控制开发中后期的老油田剩余油运移和分布关键因素。因此,对层内单砂体横向和纵向上展布研究提出了更高要求,砂体接触关系和不同构型界面的识别和划分显得尤为重要。基于不同级次构型界面控制下的剩余油分布以及单砂体流体势能的研究,中国研究起步较晚,相关研究成果深度不够。李志鹏和蒲玉国等以单一油藏为研究单元,对剩余油分布类型和动态运聚成藏模式进行了研究^[1-2];陈飞等对构型地震响应及解释方法、复合砂体构型与井网井距关系等方面进行调研和分析^[3];胡光义等结合海上油田大井距特点,对复合砂体构型界面识别、构型模式以及控制因素进行研究^[4];张瑞等研究了不同相带间构型界面识别,通过密闭取心资料建立半定量构型界面识别标准^[5]。虽然中国研

究人员对储层构型研究较多,但仅考虑单一地质因素控油聚集成藏还远不够,还需要结合构型界面控制下层内流体势能研究,厘清零散分布的剩余油运移方向,再从界面级次和发育范围研究剩余油运移时间,才能客观找出剩余油富集成藏规律。

本文以珠江口盆地西江油田为例,从油田关停调整再开发改变储层流体势能场角度,来研究单砂体精度下的流体势场变化,以及油气在储层内重新运移规律,提出“势控论”再生油藏模式,指出低势闭合区是形成经济可采剩余油的必要条件,从而提高南海东部老油田剩余油挖潜程度。

1 油田概况

1985年,在南海珠江口盆地北部坳陷带和惠州凹陷南部钻探了Y-1X井,获得了可观的商业油气流,从而发现了西江油田(图1)。该油田内部无断层发育,属于低倾角自圈构造,构造平缓、低幅度展布,走向为北西-南东向。油田目前开采程度已达到55%,含水率高达92%。

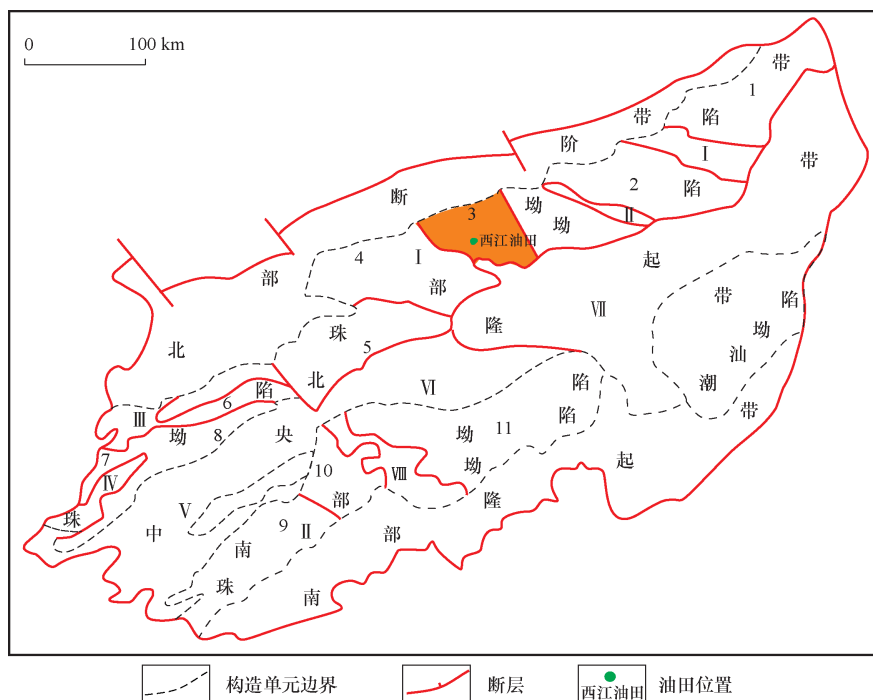


图1 珠江口盆地西江油田位置

Fig. 1 Location of the Xijiang oilfield, PRMB

1. 韩江凹陷; 2. 陆丰凹陷; 3. 惠州凹陷; 4. 西江凹陷; 5. 恩平凹陷; 6. 阳江凹陷; 7. 琼海凹陷; 8. 文昌凹陷; 9. 顺德凹陷; 10. 开平凹陷; 11. 白云凹陷
I. 海丰隆起; II. 惠陆低凸起; III. 阳江低凸起; IV. 琼海凸起; V. 深狐—暗沙隆起; VI. 番禺低隆起; VII. 东沙隆起; VIII. 云开低凸起

西江油田已动用油藏主要分布在新近系珠江组,主要产油层段为 T5—T13,物源来自西北方向的古珠江物源,主要发育三角洲前缘水下分流河道沉积,储层岩性以细—中粒长石石英砂岩为主(图 2)。上部中等分选为主,埋深 2 370 m 以下分选较好,磨圆度为次圆—次棱角状,粒径一般 0.2~0.6 mm,属细—中粒级,个别为粗粒或不等粒,属于低—中孔和低—中渗储集层。主力油藏相对均质,夹层发育较少,非主力油藏储层内部发育不同级次构型界面,以非主力油藏 T9 为例,储层横向上砂体发育 3 期砂体叠置,一期砂体和三期砂体表现为高电阻,低密度特征,储层物性好,含油饱和度高;二期砂体为低电阻,高密度特征,砂体物性差,含水量高。泥岩夹层较为发育,且空间分布较稳定,使得剩余油分布比较分散,剩余油分布规律复杂。

2 “控油”模式

2.1 “势控论”基本原理

由于油田开发政策调整,西江油田在 2009 年逐步关停了大部分油藏,2014 年实施调整挖潜方案。期间,不同类型的油藏内部油水势被打破,高度分散的剩余油从高势区逐步向低势区运移和聚集,形成一定成藏规模。根据赫伯特和蒲玉国等人研究,单砂体流体势是指:选定某一基准参考面,单一砂体单元内单位质量流体所具有的总机械能^[2-5]。任意一点的油势和水势公式如下:

$$\varphi_o = gh_o = gz + p/\rho_o \tag{1}$$

$$\varphi_w = gh_w = gz + p/\rho_w \tag{2}$$

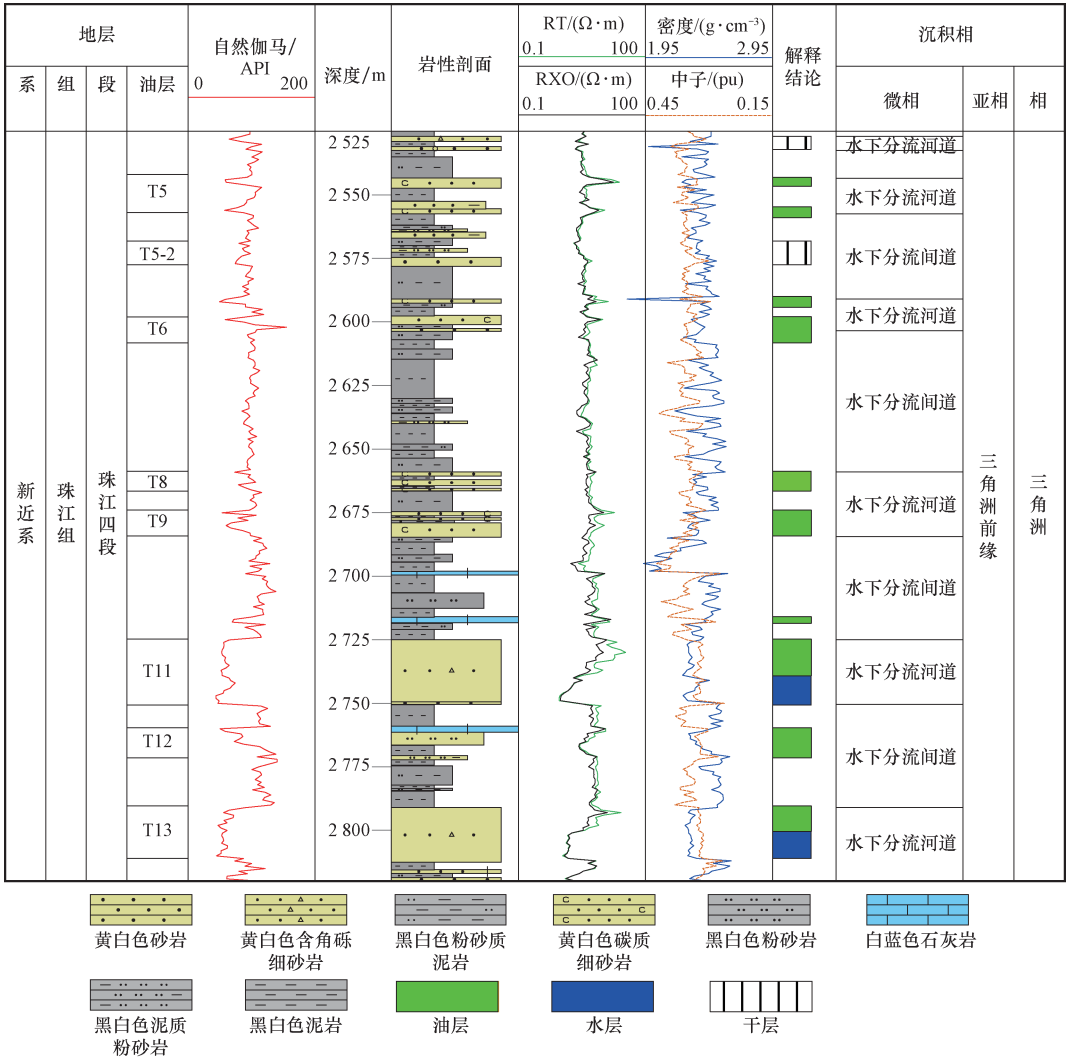


图 2 西江油田综合地层柱状图
Fig. 2 Stratigraphic column of the Xijiang oilfield

式中: φ_o 为油势, $m \cdot m/s^2$; φ_w 为水势, $m \cdot m/s^2$; g 为重力加速度, m/s^2 ; h_o 为油藏中任意一点油柱高度, m ; h_w 为储层中任意一点水高度, m ; z 为测点高程, m ; p 为标准大气压, MPa ; ρ_w 为水密度, g/m^3 ; ρ_o 为油密度, g/m^3 。

将上述两式联立求解 $h_o = h_w \rho_w / \rho_o - z(\rho_w - \rho_o) / \rho_o$ 。在特定的油藏内, ρ_w / ρ_o 与 $(\rho_w - \rho_o) / \rho_o$ 为一定值, h_w 和 z 的大小决定 h_o 的大小。

在静水情况下, h_w 为一定值, h_o 大小只与 z 测点高程有关。即在含油构造范围内, 油水界面呈水平状态, 构造闭合区即为低势区。

在动水情况下, h_w 和 z 共同确定 h_o 的大小, h_w 随岩层方向下倾递降时, 不同方位 h_o 等值线出现倾斜状态, 具体表现为油水界面不在同一水平面上, 而油藏中油、水密度差、以及与水头递降梯度, 将直接决定油水界面倾斜程度, 同时, 在受到构造层面或者岩性变化界面元素的控制时, 可形成封闭的低势闭合区。

2.2 “势控论”剩余油分布模式

“势”的形成与闭合是“势控论”的核心。油藏内部油、水两相由相对高势区向低势区运移的过程, 就是“势”形成的过程。势能主要来源于边、底水或注水能量, 构造因素、构型界面以及动态势能大小直接影响“势”的闭合, 相对低势闭合区主要在井控程度低和隔夹层发育的区域形成, 剩余油在低势闭合区富集、规模成藏将是经济开发的必要前提。结合对剩余油动态运移和分布形态进行研究, 剩余油分布模式可分为静态型、动态型(图3a, b)及复合型3种类型^[6-12]。

1) 静态型: 主要受油藏构造因素和构型界面控制, 动态因素为辅。

2) 动态型: 主要受油藏流体动态流势能大小控

制, 静态因素为辅。

3) 复合型: 油藏构造因素、成藏遮挡条件与动态水势共同作用形成。多见于断裂系统发育的构造型油田或者岩性油气藏, 具有动态变化特征, 剩余油挖掘增效潜力较大。

3 运聚再生油藏模式与开发效果

3.1 运聚再生油藏模式

西江油田剩余油分布类型主要为复合型, 受动、静态因素控制的剩余油分布模式是海上老油田较为常见的潜力类型^[13-17]。新发现的油气田成藏是以“地质时代”为尺度进行运移时间的计算, 老油田剩余油动态运移—聚集—成藏, 形成“再生油藏”的时间跨度是以“年”为尺度进行计算的^[18-21]。

西江油田储层碎屑由西北向东南方向沉积, 整体上沿物源方向储层物性逐渐变差, 西北方向是油藏优势渗流通道。西江油田自1997年6月投产以来, 先后钻有17口大位移井投入生产。由于早期的生产井漏严重, 含水率上升较快, 产量递减日益明显, 油田正常开采生产效率影响较大, 大位移井开发风险越来越大并陆续关停(表1), 2014年开发调整方案实施, 为剩余油运移聚集集成藏创造了时间条件。

3.1.1 主力油藏“控油”成藏规律

西江油田主力油藏相对较为均质, 夹层发育少而薄, 物性好(孔隙度 $\Phi > 20\%$, 渗透率 $K > 380 \times 10^{-3} \mu m^2$), 有效厚度约10 m。原油油品好, 粘度低, 流动性高。投产初期日产量高, 开采中后期底水锥进快, 导致生产井见水也快, 目前主力油藏含水近100%。

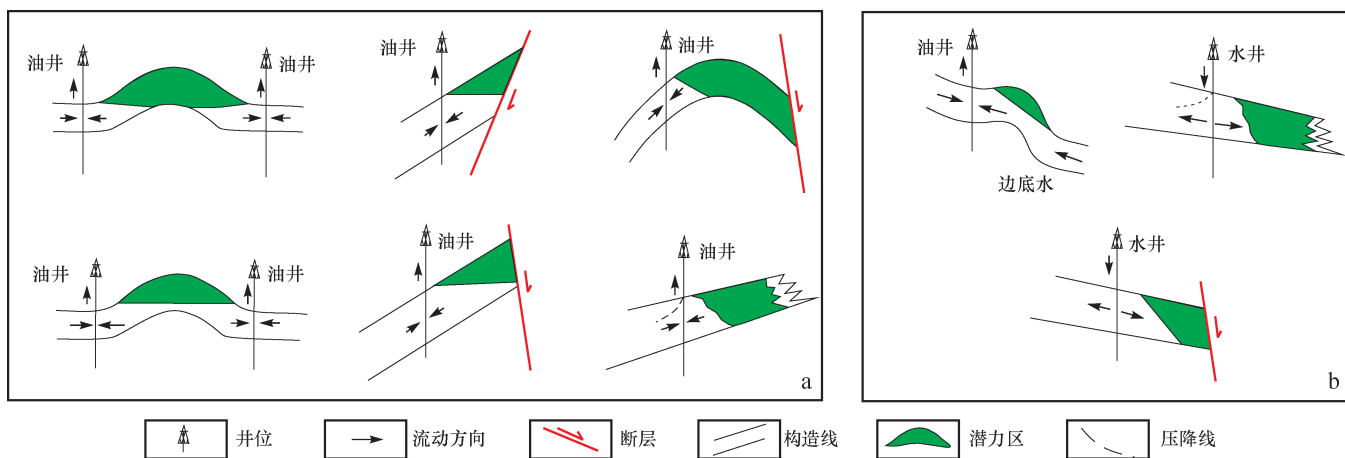


图3 剩余油分布模式(据文献[2]修改)

Fig. 3 Remaining oil distribution (modified from reference[2])

a. 静态型; b. 动态型

表 1 珠江口盆地西江油田老生产井基本情况
Table 1 Production statistics of mature wells in the Xijiang oilfield,PRMB

井号	投产日期	关井日期	生产层位	距第一口新井 B-1 投产(2014/10/29)	
				位置	运聚时间/a
Y-14	1997 年 6 月	2004 年 1 月	T5-2/T6-1/T6-2/T8/T9/T11/T12/T13	高部位	10
Y-17	1999 年 6 月	2005 年 10 月	T8/T9/T11/T12/T13	边部位	9
Y-18	2000 年 6 月	2003 年 7 月	T5-2/T6-1/T6-2/T8/T9/T11/T12/T13	中部位	11
Y-20	2001 年 5 月	2004 年 7 月	T5-2/T6-1/T6-2/T8/T9/T11/T12	高部位	10
Y-22	2002 年 6 月	2004 年 12 月	T5-2/T6-1/T6-2/T8/T9/T11/T12	高部位	10
Y-23	2003 年 3 月	2009 年 6 月	T5-2/T6-1/T6-2/T8/T9/T11/T12/T13	高部位	5
Y-18-1	2003 年 9 月	2009 年 1 月	其他层位	中部位	5
Y-24	2004 年 2 月	2006 年 3 月	T6-1/T6-2/T8/T9/T12	边部位	8
Y-14-1	2004 年 6 月	2007 年 2 月	T6-1/T6-2/T8/T9/T12/T13	中部位	7
Y-20-1	2004 年 8 月	2008 年 3 月	T5-2/T6-1/T6-2/T8/T9/T12	高部位	6
Y-1-1	2005 年 2 月	2008 年 9 月	T6-1/T6-2/T8/T9/T11/T12	中部位	6
Y-22-1	2005 年 9 月	2007 年 5 月	T5-2/T6-1/T6-2/T8/T9/T11/T12	中部位	7
Y-17-1	2006 年 1 月	2009 年 3 月	T12	高部位	5
Y-24-1	2006 年 6 月	2007 年 5 月	T6-1/T6-2/T8/T9/T12	中部位	7
Y-14-2	2007 年 6 月	2013 年 7 月	T6-1/T6-2/T8/T9/T12	中部位	1
Y-22-2	2008 年 2 月	2015 年 11 月	T6-1/T6-2/T8/T12	西北边部位	0
Y-24-2	2008 年 10 月	2011 年 3 月	T6-1/T6-2/T8/T9/T12	高部位	3

T11 和 T13 属于边、底水能量充足、高渗轻质油藏,关停后剩余油分布零星分散,剩余油重新聚集主要受井控程度和物性差异控制。2009 年 6 月,T13 油藏构造高部分最后一口生产井关停,剩余油主要在油藏边部孔喉结构差异大,物性差区域零散分布,呈现出少、小和散等特点。2010 年后,经过 1 年多时间地层能量恢复,剩余油沿着优势渗流通道逐渐向构造高部位(低势闭合区)运移聚集成藏,实际调整井实施后的剩余油储量丰度平面图以及剩余油饱和度图,均显示剩余油在构造高部位聚集。2013 年(油田开发设计方案设计阶段)和 2015 年生产井钻后剩余油分布没有发生明显变化,说明主力层剩余油运移、聚集时间短,成藏储量规模也有限,T11 主力油藏也具有类似剩余油运聚规律,主力油藏成藏模式如运聚再生期所示(图 4)。

3.1.2 非主力油藏“控油”成藏规律

西江油田非主力油藏夹层发育,砂体接触类型多样,物性较主力油藏差($\Phi < 18\%$, K 介于 $70 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),投产早期产量较低,储层非均质性较强,开采中后期末底水锥进快,生产井含水上升速率相对主力均质油藏慢。

T9 为典型的非主力油藏,储层内发育不同级次泥质夹层界面(表 2),纵向上发育 3 期砂体叠置,主要以侧叠和孤立类型为主(图 5;表 3),受夹层遮挡影响,流体在纵向上流动受阻^[21]。

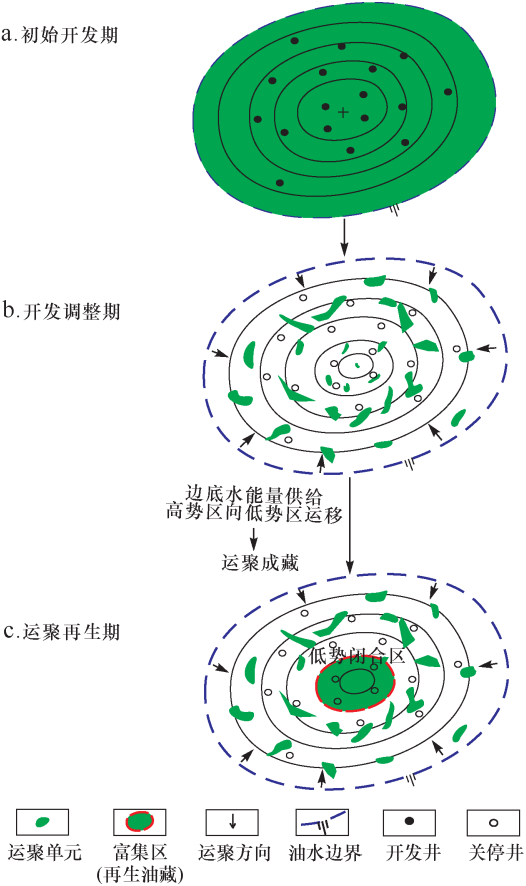


图 4 西江油田主力油藏运聚再生油藏模式
Fig. 4 Model for regenerated reservoirs through further migration-accumulation of remaining oil in major pay reservoirs in the Xijiang oilfield

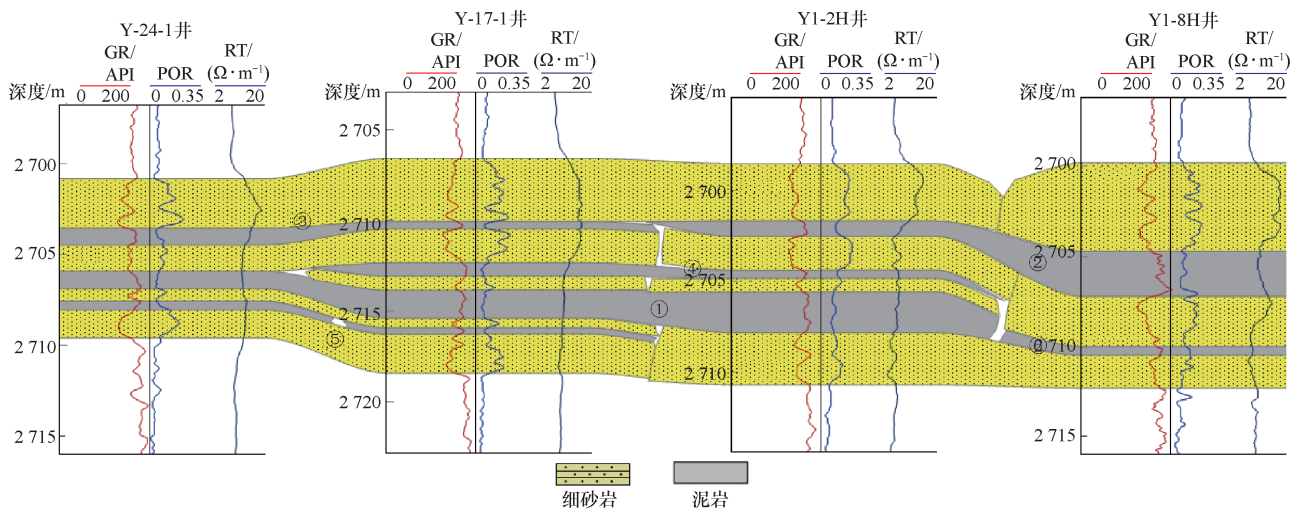


图5 西江油田 T9 油藏近东西向砂泥岩对比

Fig.5 Comparison of nearly WE-trending sandstone and mudstone in Reservoir T9 in the Xijiang oilfield

①号为不渗透型夹层,②号为大范围半渗透型夹层,③—⑥号为小范围半渗透型夹层

表2 珠江口盆地西江油田河道或河口坝复合体不同级次构型界面

Table 2 Different orders of configuration interfaces for channels or mouth bar complexes in the Xijiang oilfield, PRMB

界面级次	5 级界面	4 级界面	3 级界面
构型要素	水下分流河道复合体 河口坝复合体	单一流河道 单一河口坝	分流河道 增生体
沉积剖面			
发育特征	岩性以泥岩为主,渗透性差,延伸范围广,以隔层遮挡流体纵向和横向流动	以泥岩或粉砂质泥岩为主,物性差,渗透率较差,对砂体内流体具有垂向遮挡作用	以泥质粉砂岩、钙质砂岩为主,厚度较薄且延伸范围有限,局部遮挡作用或延缓流体的流动

1) 斜交型前积体 3 级界面控制作用

西江油田 T9 储层主要以水下分流河道和河口坝沉积为主,储层内部发育③—⑥号小范围半渗透型夹层。岩性主要为泥质粉砂岩或粉砂质泥岩,主要表现为在顺物源方向单一河口坝内部增生体之间的分界面,以斜交型前积分布形态为主,发育规模 1~3 个井区,厚度主要集中在 1 m 左右,泥质含量为 20%~30%,对剩余油运移主要表现在侧向遮挡,受层内发育的 3 级低渗透界面遮挡,地层水疑是沿砂层顶部向生产井推进(Y-20-1 井区),导致该井区整体上部水淹较严重,一部分边、底水可以穿过该模式夹层,但是会大大延缓锥进速率,另一部分底水会绕过夹层往低势区推进,从而形成次生底水驱或者次生边水驱。

2) 叠置型水平状 4 级界面控制作用

T9 储层内部发育①号不渗透型夹层和②号大范围半渗透型夹层。岩性主要为泥岩或泥岩粉砂质,顺物源方向发育河口坝复合体(约 10 m)或水下分流河道复合体。4 级界面主要表现为单一坝体(约 2 m)或河道之间的分界面,以纵向叠置分布形态为主,发育规模 2 个井区以上,厚度大于 2 m,泥质含量 30%~40%,4 级界面渗透性极差,对复合体内油水运动主要表现为垂向遮挡,底水不能穿过夹层,只能沿着界面展布方向侧向流动,绕过夹层的两端发生油水运动,在夹层中间下附油无法被底水驱替,从而形成了“屋檐油”分布(Y1-3H 井区),夹层形成的“屋檐油”闭合高度和面积决定着油量大小,同样,绕流而上的底水无法有效驱替夹层上覆的油(Y1-6H 井区),使得形成“屋顶油”分布(图 6)。

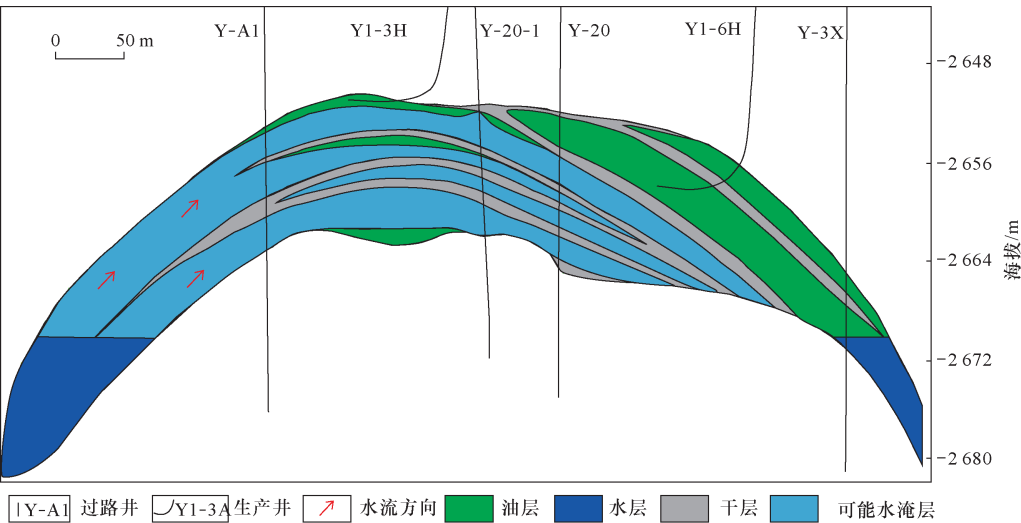


图 6 西江油田 T9 油藏剖面
Fig. 6 Cross-section of Reservoir T9 in the Xijiang oilfield

表 3 珠江口盆地西江油田夹层分布模式统计
Table 3 Interbed distribution in the Xijiang oilfield, PRMB

模式	模式 1	模式 2	模式 3	模式 4
模式图				
夹层类型	无夹层	小范围 半渗透型夹层	大范围 半渗透型夹层	大范围 不渗透型夹层
分布范围	无夹层	1 ~ 3 个井区	3 ~ 4 个井区	5 个井区以上
厚度/m	<0.5	1.0 ~ 2.0 (主要集中在 1.0 m 左右)	2.0 ~ 4.0	>4.0
渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	>10.0	1.0 ~ 10.0	<0.1	<0.1
泥质含量/%	<10	10 ~ 30	>30	>50
驱替特征	底水驱	次生底水驱 次生边水驱	次生边水驱	衰竭式
油井特征	高产短命	高产高效长命	高产高效	低产短命
典型油井	Y1-8H, Y1-5H1	Y1-4H, Y1-10H	Y1-6H, Y1-9H	Y1-02, Y1-13HA, Y1-3H 高部位
层位	T11, T13	T4B, T1B1	T9, T3G	T6B, T12, T9, T11

从西江油田不同夹层分布模式与生产效果统计来看:非主力油藏集中发育有夹层分布模式 2 和夹层分布模式 3 情况下,此类油藏主要发育 3 级和 4 级构型界面,对油水运移具有遮挡作用,随着地层压力恢复,剩余油主要集中在 3 级和 4 级低渗透界面附近,挖潜潜力大、效果好,非主力油藏剩余油挖潜是油田提高采出程度重点方向。

3) 剩余油运移方向和时间

非主力油藏 T9 主要来水方向为北西-南东向,也是早期油水运移主要方向。该油藏构造高部位

Y-24-2 井和西北方向构造低部位 Y-14-2 井相继在 2011 年和 2014 年关停,其余生产井均于 2009 年前关停。2009 年南边剩余油零星分布在孔喉差异大、物性差的油藏边部,高部位剩余油丰度低,经过 3 年多时间零散分布剩余油运移,2013 年油藏南边聚集有一定规模的剩余油,2015 年调整井投产初期。油藏南边剩余油丰度有了进一步变大,说明该油藏油水一直在运移并聚集,受到 4 级和 3 级低渗透界面垂向遮挡,不断向油藏南边低势闭合区进行运聚,形成规模较大的剩余油(图 7 东南角红色富集区域)。

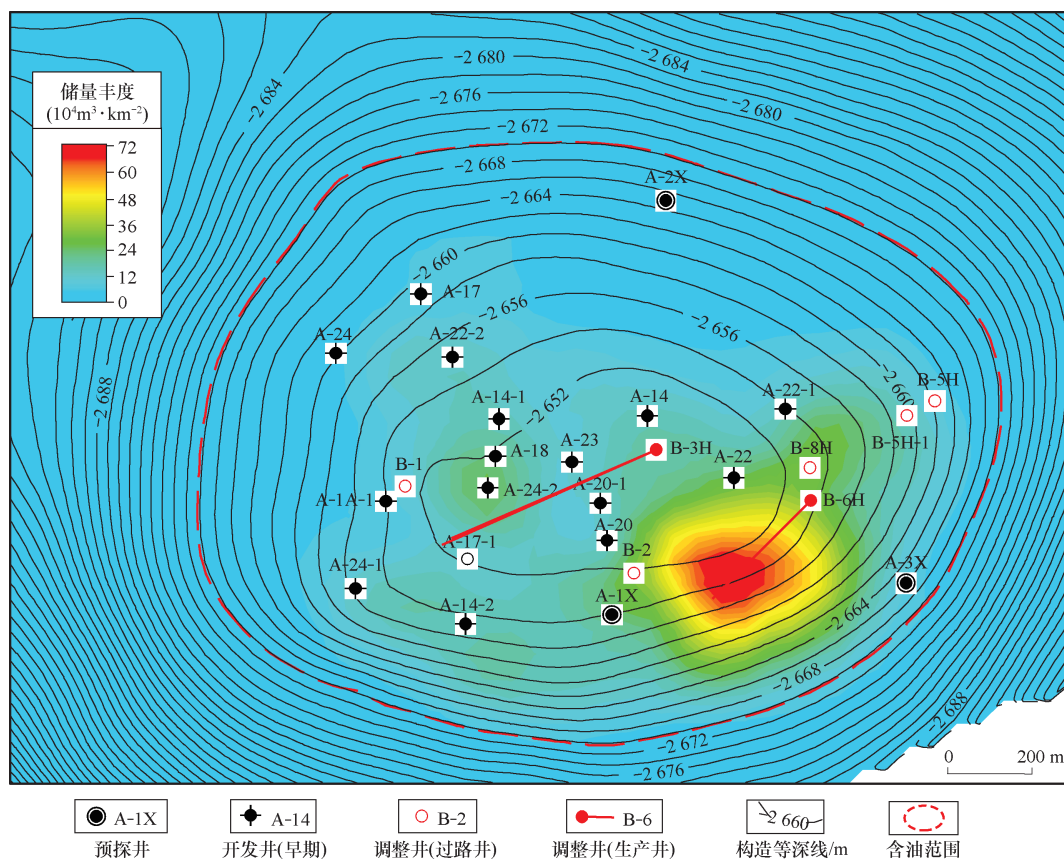


图7 西江油田 T9 油藏剩余油储量丰度

Fig. 7 Residual oil reserve abundance in Reservoir T9 in the Xijiang Oilfield

根据 T9 实际动态资料分析,基于单砂体构型单元流体势的变化,非主力油藏边部零星分散的剩余油,遵循油水运移规律,经过 3 年以上时间运移聚集再成藏,在 3 级和 4 级低渗透界面低势闭合区易形成具有一定经济规模剩余油,对应动态富集再生油藏模式中期(图 8c)。不同级次夹层界面在横向上和纵向上叠置延缓了油水流动,但经过长时间的动态流动,剩余油会继续向构造高部位(低势闭合区)再运聚,对应运聚再生后期(图 8d)。

3.2 实例应用

3.2.1 主力油藏挖潜效果

以 T11 和 T13 主力油藏为例,夹层少且薄。1997 年投产开井日产油很高,截至 2013 年 6 月,油藏日产油降至经济门槛,综合含水高达 98.9%,进行了关停调整。2014 年调整方案陆续实施,为剩余油运移创造了时间条件。

T13 油藏经过 2 年左右时间剩余油在构造高部位低势闭合区聚集。2015 年初,在构造高部位部署 Y1-5H1 井,投产后平均日产高达 200 m³,含水仅为

1.8%。随后含水上升较快,半年后达到 55%,2016 年底进入高含水开发阶段。截至 2020 年 6 月,该层含水率超过 97%,日产量下降了约 85%,目前日产油低至经济门槛。

2014 年底,在 T11 油藏构造高部位部署 Y1-8H 井。该井投产后平均日产高达 300 m³,含水仅为 19.5%,半年后含水突破 60%,进入了高含水开发阶段。截至 2020 年 6 月含水率已超过 98%,日产量下降了约 92%。目前日产油低至经济门槛。

主力轻质油藏容易形成优势渗流通道,剩余油运移聚集所需时间较短,储量规模一般不大,生产井一般表现出高产高效短命的生产效果,实际生产动态与地质油藏认识一致。

3.2.2 非主力油藏挖潜效果

以 T9 非主力油藏为例,储层内部发育 3 级和 4 级低渗透界面,剩余油经过 3 年以上时间运聚再成藏,主要在井控低、构型界面等低势闭合区富集。

2015 年初,在 T9 油藏构造高部位部署 Y1-3H 井,实际投产效果欠佳,日产油低,含水高达 80%。截

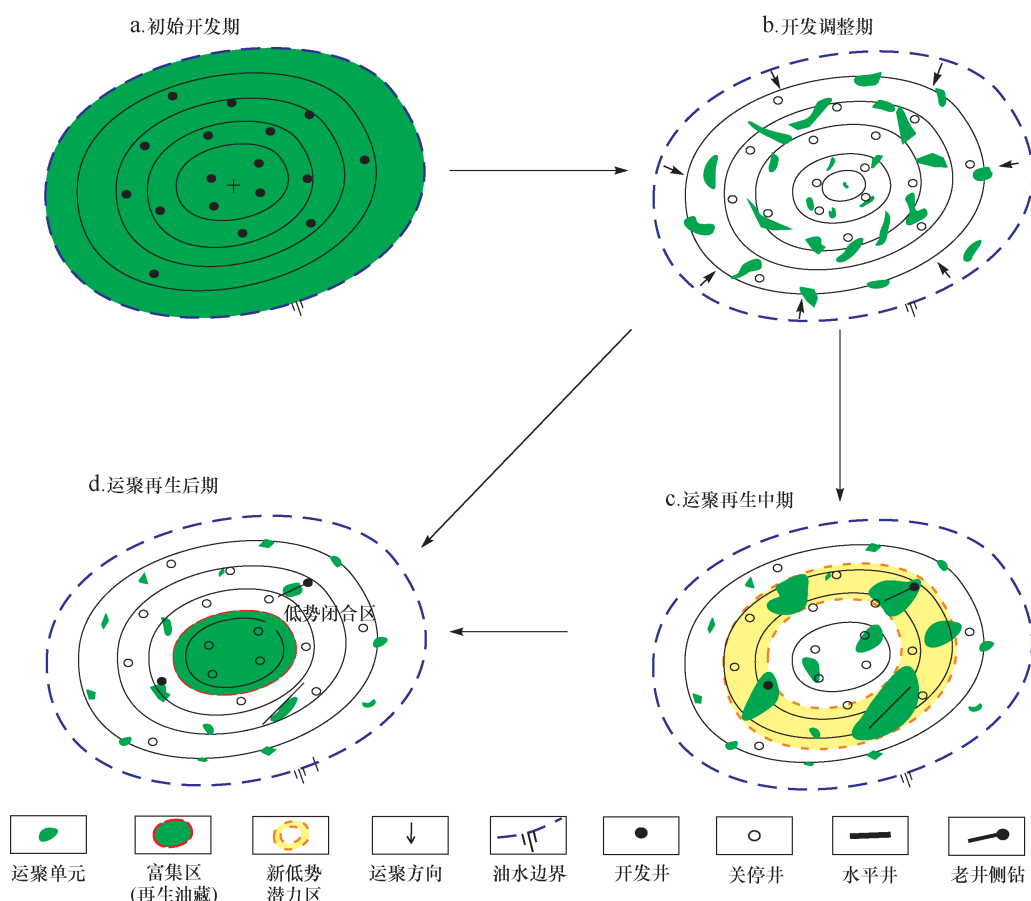


图8 动态富集再生油藏模式

Fig. 8 Dynamic enrichment model of regenerated reservoirs

至2020年6月,日产油逐渐降低至经济门槛。同年,在T9油藏低势闭合区部署Y1-6H井。该井所在的东南部发育3级和4级低渗透界面,剩余油绕过夹层两端在界面上腹聚集成藏,同时对底水锥进有一定的遮挡作用。Y1-6H井投产后平均日产油超过 250 m^3 ,含水仅为3.5%,目前仍保持较高产量,已稳产近5年,且含水率上升较缓慢。截止2020年6月,日产油仍有接近百方的产能,含水率72%,生产效果远好于Y1-3H井。

非主力油藏发育不同级次构型界面,隔夹层对流体的遮挡作用,以及储层非均质性影响,导致早期挖潜程度不高,大量剩余油残留在储层内,经过一段时间的运移聚集,能形成较大的储量规模。从开发生产井效果来看,低势闭合区生产井投产日产油较高,受到低渗透界面的遮挡,上水相对较缓慢,整体表现出高产高效长命的生产效果。目前地质油藏研究成果与实际生产动态认识一致。

同时,借鉴T9非主力油藏低势闭合区生产井开采经验,在西江油田T5-2、T6-1、T8和T12非主力油藏在西南部位和东部发育低势闭合区,在此区域概念

设计部署调整井(图9a—d),投产初期平均日产油可达两百方以上,生产效果明显。此类非主力层生产效果好的主要原因受控于3级和4级低渗透性和非渗透性构型界面遮挡,延缓或阻挡底水上升,延长中、高含水期产油期,导致累产油增多。实例研究表明在低势闭合区挖潜剩余油具有很高经济价值。

4 结论及展望

4.1 结论

1) 对于具有边、底水能量的高渗性厚层轻质油藏,剩余油的分布主要由井网和构造共同控制,零星散落的可动剩余油能较短时间内,富集在构造的低势闭合区,剩余油主要集中在井控低、构造高部位及低势闭合区,是剩余油挖潜的目标区。

2) 对于储层非均质强、物性差的轻质油非主力油藏剩余油的分布主要由不同级次构型界面和流体势能大小控制,高度分散的剩余油经过3年以上时间运移聚集在低势区,是剩余油挖潜的重点潜力区,生产井一般表现出高产高效长命的生产效果。

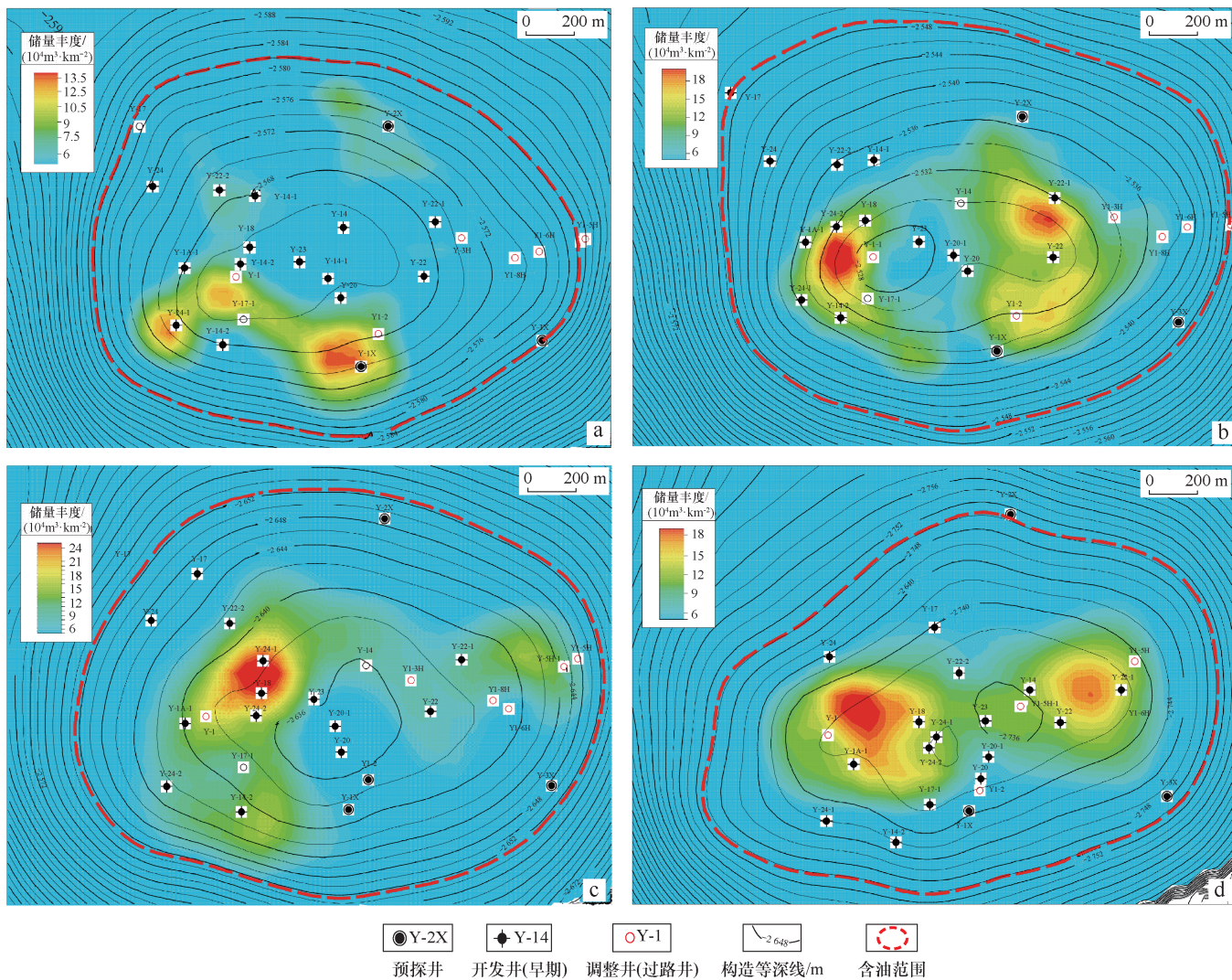


图9 珠江口盆地西江油田油藏剩余油储量丰度图

Fig.9 Abundance of remaining oil reserves in the Xijiang oilfield,PRMB

a. T6 - 1 油藏剩余油储量丰度叠合构造;b. T5 - 2 油藏剩余油储量丰度叠合构造;c. T8 油藏剩余油储量丰度叠合构造;
d. T12 油藏剩余油储量丰度叠合构造;红色区域代表势能较低,易形成低势闭合区

3) 以储层构型单元为研究单元,结合单砂体内、单砂体间流体势的研究,可以从油、水运移方向和时间预测剩余油聚集规律,为该类低效开发老油田深度挖潜提供思路 and 方向。

4.2 展望

中国南海珠江口盆地在生产油田目前大部分已进入开发中后期,处于高-特高含水产油期,为了进一步提高油田采出程度,急需从小级别(5级构型)向单期次和单砂体精度(3/4级构型)进行转换研究,同时,结合储层单砂体流体势,辅助厘清老油田油藏不同级次构型界面对剩余油控制作用,将是未来海上老油田深度立体挖潜的方向。而本文正是基于此开展的相关研究工作,研究思路和技术体系目前已用于番禺和西江等老油田剩余油挖潜,预测将为公司年度生产目标

实现至少贡献2个百分点的产量。

参 考 文 献

- [1] 李志鹏,林承焰,李润泽,等. 利用油气势能预测油藏开发后期剩余油富集区[J]. 特种油气藏,2012,19(2):69-72.
Li Thipeng,Lin Chengyan,Li Runze,et al. Predict residual oil zones in the late life of oilfield development by hydrocarbon potential[J]. Special Oil and Gas Reservoirs,2012,19(2):69-72.
- [2] 蒲玉国,吴时国,冯延状,等. 剩余油“势控论”的初步构建及再生潜力区模式[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2005,20(6):7-11.
Pu Yuguo,Wu Shiguo,Feng YanThuang,et al. Preliminary establishment of “the theory of potential controlling remaining oil” and modes of remaining oil regenerating potential area[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition),2005,20(6):7-11.
- [3] 陈飞,胡光义,胡宇霆,等. 储层构型研究发展历程与趋势思考[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2018,40(5):1-14.

- Chen Fei, Hu Guangyi, Hu Yuting, et al. Development history and future trends in reservoir architecture research[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2018, 40(5): 1-14.
- [4] 胡光义, 范廷恩, 陈飞, 等. 复合砂体构型理论及其生产应用[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(1): 1-10.
- Hu Guangyi, Fan Ting'en, Chen Fei, et al. Theory of composite sand body architecture and its application to oilfield development[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(1): 1-10.
- [5] 张瑞, 刘宗宾, 贾晓飞, 等. 基于储层构型研究的储层平面非均质性表征[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2018, 40(5): 15-27.
- Zhang Rui, Liu Tongbin, Jia Xiaofei, et al. Reservoir plane heterogeneity characterization based on reservoir architecture research[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2018, 40(5): 15-27.
- [6] 吴冲龙, 林忠民, 毛小平, 等. “油气成藏模式”的概念、研究现状和发展趋势[J]. 石油与天然气地质, 2009, 12(6): 673-682.
- Wu Chonglong, Lin Thongmin, Mao Xiaoping, et al. Concept research status and trend of “Hydrocarbon Pooling Patterns”[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 12(6): 673-682.
- [7] 韩大匡. 准确预测剩余油相对富集区提高油田注水采收率研究[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 73-78.
- Han Dakuang. Precisely predicting abundant remaining oil and improving the secondary recovery of mature oilfields[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 73-78.
- [8] 党胜国, 权勃, 闫建丽, 等. 小气顶低幅构造强底水油藏剩余油分布主控因素[J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(1): 129-132.
- Dang Shengguo, Quan Bo, Yan Jianli, et al. Main control factors of remaining oil in the oil reservoirs with small gas cap, low amplitude structure and strong bottom water[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(1): 129-132.
- [9] 韩雪芳, 颜冠山, 刘宗宾, 等. 基于单成因砂体的三角洲前缘油水运动规律——以渤海湾盆地Z油田东营组二段下亚段为例[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(2): 241-247.
- Han Xuefang, Yan Guanshan, Liu Tongbin, et al. Oil-water movement pattern based on research of delta front monogenetic sand: A case study from the E₃d₂ of Oilfield Z in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(2): 241-247.
- [10] 王浩然, 付广, 宿碧霖, 等. 下生上储式油气运移优势路径确定方法及其应用[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(6): 1237-1245.
- Wang Haoran, Fu Guang, Su Bilin, et al. A method to determine preferential pathways for hydrocarbon migration in “lower source rock and upper reservoir” combination and its application[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(6): 1237-1245.
- [11] Jiao Y, Yan J, Sitian L, et al. Architectural units and heterogeneity of channel reservoirs in the Karamay Formation, outcrop area of Karamay oil field, Junggar Basin, northwest China[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(4): 529-545.
- [12] 张建宁, 尤启东, 郭文敏. 高含水停采油藏剩余油再聚集敏感因素研究[J]. 油气藏评价与开发, 2015, 5(3): 39-43.
- Zhang Jianning, You Qidong, Guo Wenmin. Study on the sensitive factors of the residual oil reaccumulation of high water cut non-mining reservoir[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2015, 5(3): 39-43.
- [13] 曾祥平. 储集层构型研究在油田精细开发中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(4): 483-489.
- Zeng Xiangping. Application of reservoir structure research in the fine exploitation of oilfields[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(4): 483-489.
- [14] 涂乙, 王亚会, 闫正和, 等. 基于构型单元“势控论”研究与剩余油开发效果分析[J]. 岩性油气藏, 2019, 31(4): 133-140.
- Tu Yi, Wang Yahui, Yan Zhenghe, et al. Potential control theory based on configuration unit and remaining oil development effect[J]. Lithologic Reservoirs, 2019, 31(4): 133-140.
- [15] 吴胜和. 储层表征与建模[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 228-234.
- Wu Shenghe. Reservoir characterization & modeling[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 228-234.
- [16] 孙焕泉. 油藏动态模型和剩余油分布模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 59-61.
- Sun Huanquan. Reservoir dynamic model and residual oil distribution pattern[M]. Beijing: Petroleum industry press, 2002: 59-61.
- [17] 夏竹, 张婷婷, 张胜, 等. 水平井参与下的油藏隔夹层描述技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(6): 1293-1304.
- Xia Zhu, Zhang Tingting, Zhang Sheng, et al. Technique for describing baffles and barriers in oil reservoir with horizontal well data integrated and its application. Oil & Gas Geology, 2018, 39(6): 1293-1304.
- [18] 李胜利, 于兴河, 高兴军, 等. 生产动态和油藏静态结合研究剩余油分布的理论与方法[J]. 资源与产业, 2006, 8(2): 63-66.
- Li Shengli, Yu Xinghe, Gao Xingjun, et al. The theory and method of remaining oil distribution combining dynamic production data and static reservoir research[J]. Resources & Industries, 2006, 8(2): 63-66.
- [19] 刘芳, 刘性全, 刘宗堡, 等. 基于储层构型理论的致密砂岩成藏过程分析——以松辽盆地古龙向斜葡萄花油层为例[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(2): 268-278.
- Liu Fang, Liu Xingquan, Liu Zongbao, et al. Hydrocarbon accumulation analysis of tight sandstone based on reservoir architecture theory: A case from Putaohua reservoir in the Gulong syncline, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2): 268-278.
- [20] 邓庆杰, 康德江, 胡明毅, 等. 松辽盆地三肇凹陷南部泉头组四段浅水三角洲河道储层构型特征[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(3): 513-524.
- Deng Qingjie, Kang Dejiang, Hu Mingyi, et al. Architecture of channel reservoirs of shallow-water delta in the 4th member of Cretaceous Quantou Formation in southern Sanzhao Sag, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(3): 513-524.
- [21] 陈东阳, 王峰, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地东部府谷天生桥剖面上古生界下石盒子组8段辫状河储层构型表征[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(2): 335-345.
- Chen Dongyang, Wang Feng, Chen Hongde, et al. Characterization of braided river reservoir architecture of the Upper Paleozoic He 8 member on Fugu Tianshengqiao Outcrop, eastern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(2): 335-345.