

# 厚层油藏高含水期基于剩余油的分层精细注水

张 静, 蔡 晖, 刘 斌, 范 晶, 郑 彬

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

**摘要:**海上厚层油藏长期注聚后进入高含水期,由于非均质性影响,层间动用程度差异较大,厚度法等传统分层注水方法无法考虑到层间剩余油分布、井距及横向厚度变化带来的剩余储量差异影响。以渤海L油田为研究对象,基于吸水剖面资料,引入无因次吸水强度表征参数,考虑早期注聚,以非活塞式水驱油理论为基础,定量计算了各小层平均剩余油饱和度,建立了基于各小层剩余油分布、不同井距、横向厚度变化情况下分层精细配注新方法。该方法考虑了纵向水淹、井距及横向厚度变化带来的剩余储量差异影响,依据井组不同方向注水井控制剩余储量进行注水量调整,减少剩余储量小且动用程度较高层的无效水循环,增加剩余储量大且动用程度较低层的驱替强度。应用于渤海L油田,井组含水从实施前的92%下降至80%,单井日增油26 m<sup>3</sup>/d,累增油1.1×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

**关键词:**厚层油藏;高含水期;吸水剖面;平均剩余油饱和度;井距;分层配注

**中图分类号:**TE341 **文献标志码:**A

## Study on layered fine injection method based on remaining oil in high water-cut stage of thick-layered reservoir

ZHANG Jing, CAI Hui, LIU Bin, FAN Jing, ZHENG Bin

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China)

**Abstract:** After long-term polymer injection, the offshore thick-layered reservoir has entered into a high water-cut stage. Due to the influence of heterogeneity, the degree of production varies greatly between layers. The thickness method and other traditional layered water injection methods can not take into account the remaining oil distribution, well spacing and lateral thickness change. Taking the Bohai L Oilfield as the research object, based on the water absorption profile data, introducing dimensionless water absorption strength characterization parameters, considering early polymer injection, and based on the non-piston water drive theory, the average remaining oil saturation of each layer was quantitatively calculated. A new layered fine injection method based on the remaining oil distribution in each small layer, different well spacing, and lateral thickness changes was established. This method takes into account the impact of the difference in remaining reserves caused by longitudinal water flooding, well spacing and lateral thickness changes. According to the injection wells in different directions of the well group, the remaining reserves are controlled to adjust the water injection volume, so as to reduce the invalid water circulation with small residual reserves and high degree of production, and increase the displacement intensity of the layer with large residual reserves and low degree of production. When applied to Bohai L Oilfield, the water cut of the well group decreased by 12.0% compared with before implementation, the daily oil increase of a single well was 26 m<sup>3</sup>/d, and the cumulative oil increase was 1.1×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>.

**Key words:** thick reservoir; high water cut stage; water injection profile; average remaining oil saturation; well spacing; layered injection

渤海L油田为三角洲沉积的层状构造厚层油藏,多层合采,由于非均质性突出,长期注聚后进入后续水驱阶段,油田发育优势流动通道,注水效率低<sup>[1-3]</sup>,分层注水能够有效提高储量动用程度,因此,研究高含水期分层注水精细配注方法,扩大注

收稿日期:2020-07-05;改回日期:2020-09-27。

第一作者简介:张静(1985—),女,硕士,工程师,现从事油田开发生产及提高采收率方面工作。E-mail: zhangjing26@cnooc.com.cn。

**基金项目:**国家科技重大专项“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058001);中海石油(中国)有限公司科研项目“海上砂岩油田剩余油地质成因及精准挖潜研究”(YXKY-2019-KFSC-01)。

入波及,提高油田采收率具有重要意义<sup>[4-8]</sup>。

目前,对于高含水期油田来说,分层配注的方法主要有厚度法、地层系数法等<sup>[9-12]</sup>,杜庆龙等考虑地层系数及渗流阻力系数,利用垂向劈分系数进行注水井分层配水量计算<sup>[13]</sup>;

石晓渠等利用小层渗透率、沉积微相、层间干扰系数等劈分系数建立注水井层间配水量计算方法<sup>[14]</sup>。这些方法有的无法考虑到目前油藏各层渗流及动用差异,有的需要考虑参数较多且现场统计困难,同时对于厚层油藏来说,储量丰度较大,厚度法等传统方法未考虑不同注采井距、注采井厚度变化对注水量的分配影响,目前高含水期油田层间动用状况难以得到大幅改善。为此,以渤海L油田为例,基于吸水剖面资料,考虑早期注聚,以非活塞式水驱油理论<sup>[15]</sup>为基础,定量计算了多层合采油藏各小层平均剩余油饱和度,同时考虑井距和注采井厚度变化,建立了厚层油藏高含水期精细分层注水新方法,以期扩大波及范围,提高油田开发效果。

## 1 新方法理论推导

### 1.1 原理及思路

以一个注采井组为计算单元,计算假设条件为:①该井组多层合采,为不规则井网;②各小层相对渗透率曲线相同;③通过矿场测试的吸水剖面获取每个小层的吸水强度;④已知油井含水率。

计算井组各小层注水量,主要思路为:①根据油井整井含水可以得到整井注入孔隙体积倍数;②根据整井注入孔隙体积倍数和注水井吸水剖面资料预测各小层的注入孔隙体积倍数;③根据注入孔隙体积倍数与平均含油饱和度关系,得到目前各小层相应的平均含油饱和度;④结合井距、厚度对各小层平均含油饱和度进行体积加权,按比例对各小层进行注水量分配。

### 1.2 理论推导

#### 1.2.1 小层剩余油饱和度计算

根据韩光明等学者研究<sup>[16]</sup>,聚合物溶液在地层中的有效黏度为:

$$\mu_p = (1 + c^* \gamma^n) \frac{k}{12} \left( \frac{3}{n} + 9 \right)^n (150 \phi k_r)^{\frac{1-n}{2}} \quad (1)$$

参考幂函数相渗表达式<sup>[17]</sup>,聚驱相渗表达式如下:

$$K_{rp} = K_{rp}(S_{or}) S_{wd}^{n_w} \quad (2)$$

$$K_{ro} = K_{ro}(S_{wi})(1 - S_{wd})^{n_o} \quad (3)$$

$$S_{wd} = \frac{S_w - S_{wi}}{1 - S_{or} - S_{wi}} \quad (4)$$

引入分流量方程:

$$f_w = \frac{1}{1 + \left( \frac{K_{ro}}{K_{rp}} \right) \left( \frac{\mu_p}{\mu_o} \right)} \quad (5)$$

将式(2)、(3)、(5)联立,得到井口含水率:

$$f_w = \frac{1}{1 + \left( \frac{K_{ro}(S_{wi})(1 - S_{wd})}{K_{rp}(S_{or}) S_{wd}^{n_w}} \right)^{n_o} \left( \frac{\mu_p}{\mu_o} \right)} \quad (6)$$

引入流度表达式:

$$M = \frac{\mu_o K_{rp}(S_{or})}{\mu_p K_{ro}(S_{wi})} \quad (7)$$

将式(2)、(3)、(6)、(7)联立,得到含水上升率方程<sup>[18]</sup>:

$$f'_w = \frac{MS_{wd}^{n_w-1}(1-S_{wd})^{n_o-1}(n_w(1-S_{wd}) + n_o S_{wd})}{\left[ MS_{wd}^{n_w} + (1-S_{wd})^{n_o} \right]^2} \times \frac{1 - S_{wi}}{1 - S_{wi} - S_{or}} \quad (8)$$

井组累积注入孔隙体积倍数为:

$$PV = \frac{W_i}{A \phi L} = \frac{1}{f'_w} \quad (9)$$

将式(8)、(9)联立,得到井组累积注入孔隙倍数为:

$$PV = \frac{(MS_{wd}^{n_w} + (1-S_{wd})^{n_o})^2}{MS_{wd}^{n_w-1}(1-S_{wd})^{n_o-1}(n_w(1-S_{wd}) + n_o S_{wd})} \times \frac{1 - S_{wi} - S_{or}}{1 - S_{wi}} \quad (10)$$

含水率与井组注入孔隙体积都是标准化含水饱和度  $S_{wd}$  的函数,依据公式(6)、(10)可以计算井口含水率与井组注入孔隙体积倍数,根据井口含水直接对应读取井组注入孔隙体积倍数。

井组平均含油饱和度为:

$$\overline{S_o} = 1 - (S_{we} + (1 - f_w)PV) \quad (11)$$

联立式(6)、(10)、(11),计算得到平均含油饱和度为:

$$\overline{S_o} = 1 - \left( (S_{wd}(1 - S_{or} - S_{wi}) + S_{wi}) + (1 - \frac{1}{1 + \left( \frac{K_{ro}(S_{wi})(1 - S_{wd})}{K_{rp}(S_{or}) S_{wd}^{n_w}} \right)^{n_o} \left( \frac{\mu_p}{\mu_o} \right)}) PV \right) \quad (12)$$

平均含油饱和度  $\overline{S_o}$  也为标准化含水饱和度  $S_{wd}$

的函数,依据公式(11)及公式(9)计算得到井口平均含油饱和度与注入孔隙体积倍数,根据注入孔隙体积倍数可以对应得到平均含油饱和度。

式中, $\phi$ 为孔隙度,%; $K_r$ 为径向渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;  $n$ 为流性指数,无量纲; $k$ 为稠度系数, $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ;  $K_{rp}$ 为聚合物相相对渗透率,无量纲; $S_{or}$ 为残余油饱和度,无量纲; $K_{or}$ 为油相相对渗透率,无量纲; $S_{wi}$ 为束缚水饱和度,无量纲; $S_{wd}$ 为标准化的含水饱和度; $S_{we}$ 为出口端含水饱和度; $f_w$ 为井口含水率,小数; $\mu_o$ 为油相黏度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ;  $\mu_p$ 为聚合物溶液地下有效黏度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ;  $n_o$ 为油指数,小数; $n_w$ 为水指数,小数; $M$ 为流度,无量纲; $\overline{S_o}$ 为平均含油饱和度,小数; $PV$ 为井组整体注入孔隙体积倍数,小数; $f'_w$ 为含水上升率,小数。

引入无因次注入强度  $N_{ij}$ ,即注水井  $i$  全井平均注入强度与其第  $j$  小层平均注入强度的比值,根据历次吸水剖面情况,可得:

$$N_{ij} = \frac{\sum_{c=1}^z (D_{icj} H_{ij} t_{ic})}{\sum_{c=1}^z (D_{icj} H_i t_{ic})} \quad (13)$$

注水井  $i$  第  $j$  小层的累积注入孔隙体积倍数为:

$$PV_{ij} = \frac{PV}{N_j} \quad (14)$$

注水井  $i$  第  $j$  小层平均含油饱和度为:

$$\overline{S_{o(ij)}} = 1 - \left( \frac{1}{1 + \left( \frac{K_{rw}(S_{wi})(1 - S_{wd})^{n_o}}{K_{rw}(S_{or})S_{wd}^{n_w}} \right) \left( \frac{\mu_p}{\mu_o} \right)} \right) PV_{ij} \quad (15)$$

根据注水井  $i$  第  $j$  小层注入孔隙体积倍数可对应得到小层平均含油饱和度。

式中, $N_{ij}$ 为注水井  $i$  第  $j$  小层无因次注入强度,无量纲; $z$ 为注水井  $i$  吸水剖面测试总次数; $D_{ic}$ 为注水井  $i$  第  $c$  次吸水剖面测试整井平均吸水强度, $\text{m}^3/\text{d}/\text{m}$ ;  $D_{icj}$ 为注水井  $i$  第  $c$  次吸水剖面测试第  $j$  小层吸水强度, $\text{m}^3/\text{d}/\text{m}$ ;  $H_i$ 为注水井  $i$  整井厚度, $\text{m}$ ;  $H_{ij}$ 为注水井  $i$  第  $j$  小层厚度, $\text{m}$ ;  $t_{ic}$ 为注水井  $i$  第  $c$  次吸水剖面测试到第  $c+1$  次吸水剖面测试间隔时间; $PV_{ij}$ 为注水井  $i$  第  $j$  小层注入孔隙体积倍数,小数; $\overline{S_{o(ij)}}$ 为注水井  $i$  第  $j$  小层平均含油饱和度。

### 1.2.2 各小层注水量计算

对于实际油藏来说,注采井网一般并不规则,尤其是储量丰度较大的厚层油藏,井距对于配注量的影响也较大,同时考虑各层剩余油分布及井距影

响,以近似行列井网为例(见图1),以1口注水井4口采油井为一个单元,假设各自小层内渗透率相同,各方向注采压差相同,基于剩余可动储量比例将油井液量劈分至各方向注水井,注水井  $i$  对中心油井各小层  $j$  的配注量如式(16)所示:

$$q_{ij} = q \frac{\overline{S_{o(ij)}} H_{ij} L_i^2 \sin \alpha_i \cos \alpha_i}{\sum_{j=1}^y \sum_{i=1}^4 (\overline{S_{o(ij)}} H_{ij} L_i^2 \sin \alpha_i \cos \alpha_i)} \quad (16)$$

式中, $L_i$ 为注水井  $i$  到中心油井的注采井距; $q_{ij}$ 为注水井  $i$  对中心油井各小层  $j$  的配注量; $q$ 为中心油井整井产液量; $\alpha_i$ 为注水井  $i$  与中心油井的夹角; $y$ 为注水井小层总数。

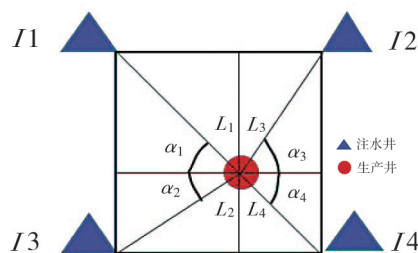


图1 近似行列井网注水井分层精细配注计算示意

## 2 新方法适应性研究

### 2.1 模型的建立

根据渤海L油田地质及开发特征,建立不规则行列井网(见图1)概念模型。网格数为  $17 \times 17 \times 25$  个,长度为  $20 \times 20 \times 5 \text{ m}$ ,纵向上共25层。油藏模型内同一层  $I$  方向与  $J$  方向渗透率相同,25个小层的渗透率(不包括隔层)为  $(500 \sim 2\,500) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,  $K$  方向的渗透率为  $I$  方向的  $1/10$ (见表1)。油藏温度  $65^\circ\text{C}$ ,原油体积系数 1.14,地面原油密度  $0.93 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,地下原油黏度  $13 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,地层水黏度  $0.49 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,模型设置为4注1采。

### 2.2 方案设计

基础方案为笼统注入,对比方案分别为笼统注入至含水 75% 转厚度法、地层系数法和本文新方法,所有方案均从 2005 年开始生产,含水 25% 时开始注聚,含水 75% 转注水,2020 年开发结束。共设计 4 个方案(见表1),研究新方法在高含水阶段的适应性。

其中厚度法为按照各小层有效厚度比例对整体注水量进行劈分,地层系数法为按照各小层地层系数比例对整体注水量进行劈分。

表1 新方法适用性研究设计方案

方案	配注方法
1	笼统注入
2	笼统注入至含水75%转地层系数法
3	笼统注入至含水75%转厚度法
4	笼统注入至含水75%转新方法

### 2.3 效果对比及分析

从累产油、含水下降程度(见表2)及含油饱和度变化(见图2)来看,在高含水期,新方法效果好于厚度法与地层系数法,因为厚度法实质上是考虑纵向上厚度比例劈分液量进行分层配注,低含水时期各层动用差异不大的情况下,该方法基本可以有效动用各层,但随着进入高含水期,该方法无法考虑纵向水淹、井距及横向厚度变化带来的剩余储量差

异,水驱效果越来越差;地层系数法在高含水期容易在高渗层产生优势渗流通道,造成注水效率降低,加剧无效水循环;新方法考虑了纵向水淹差异、井距及横向厚度变化带来的剩余储量差异,平面上降低了井距较大、厚度减薄注水井整体注水量,纵向上降低了高动用程度层注水量,加大了低动用程度层注水量,提高了注水波及及剩余油动用程度,注水效果较其他方法更好。

表2 高含水期不同配注方案累产油及含水下降程度对比

方案	累产油/ $\text{m}^3$	含水下降程度/小数
1	652 031	—
2	661 884	-0.2
3	697 865	-1.0
4	757 846	-2.3

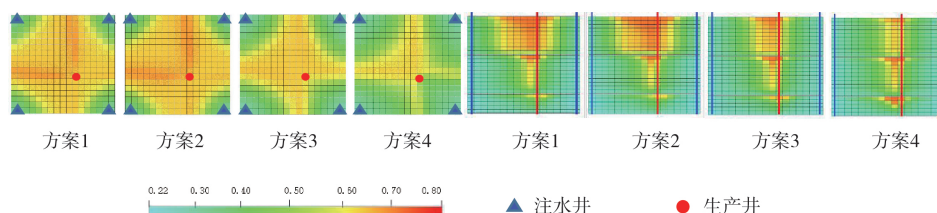


图2 各方案平面及纵向含油饱和度(2020年)

## 3 矿场应用

渤海L油田位于渤海辽东湾海域,属于高孔、高渗储层。主力含油层段为东营组东二下段,纵向上分为零、I、II和III油组4个油组,原油密度大、黏度高,属稠油油田,L油田采用早期注聚开发,含水25%时开始注聚,含水率为75%转水驱开发。开发初期为反九点井网,后经过综合调整后变为近似行列井网,一直采用厚度法进行分层配注,进入高含水高采出程度双高阶段后,注水效果逐年变差。

以Y2井组为例,由于其纵向非均质性影响,渗流差异较大,存在高渗通道,该小层驱油效率较高,注水效率降低,对应油井含水达到92%,采用分层精细注水新方法进行差异化配注试验,改善平面及层间矛盾。

根据式(6)、(10)作出井组整体注入孔隙体积倍数 $PV$ 与井口含水率 $f_w$ 的关系图(见图3),从关系图中根据油井井口含水推测出Y2井组注入孔隙体积倍数为0.62。根据式(10)、(12)作出注入孔隙体积倍数与平均含油饱和度关系图(见图4)。由整体注入孔隙体积倍数、注水井各小层无因次注入强度

及式(14),预测对应注水井各小层的注入孔隙体积倍数(见表3),根据注水井各小层注入孔隙体积倍数在图4读取相应小层平均含油饱和度(见表3)。根据各小层平均含油平均饱和度,结合注采井距及厚度变化,根据式(14)进行各小层差异化注水量计算(见表2)。

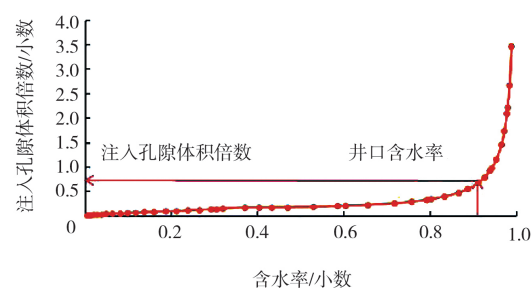


图3 注入孔隙体积倍数与油井含水率关系

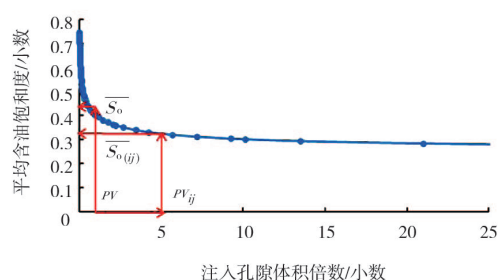


图4 平均含油饱和度与注入孔隙体积倍数关系



表 3 油井 Y2 对应 4 口注水井配注量

注水井号	小层号	注入孔隙体积倍数/小数	平均含油饱和度/小数	注采井距/m	注采井夹角/(°)	新方法小层配注量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	新方法防砂段配注量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	厚度法防砂段配注量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
X1	1	0.07	0.65	200	48	106	185	200
	2	0.22	0.49			80		
	3	0.35	0.47			76	135	166
	4	2.12	0.36			59		
X2	1	0.03	0.70	170	37	80	148	280
	2	0.10	0.60			68		
	3	0.47	0.45			51	92	220
	4	3.23	0.36			41		
X3	1	0.06	0.67	285	33	202	350	236
	2	0.27	0.49			148		
	3	0.42	0.46			138	248	184
	4	2.40	0.36			109		
X4	1	0.07	0.65	265	25	143	249	158
	2	0.23	0.48			106		
	3	0.50	0.44			96	178	142
	4	0.99	0.37			82		

该井组于 2018 年 5 月利用新方法配注量进行分层调配,中心采油井 Y2 井产油量由 24 m<sup>3</sup>/d 上升

至 50 m<sup>3</sup>/d,含水由 92% 下降至 80%(见图 5),截至 2019 年 12 月 31 日,累增油 1.1×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

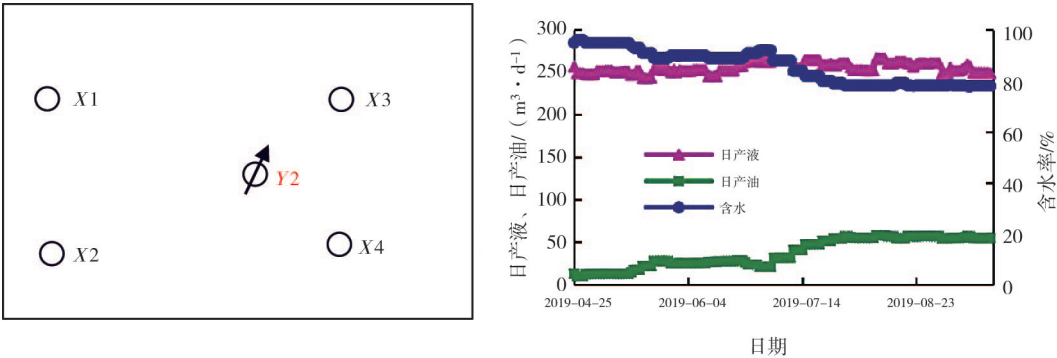


图 5 Y2 井组井位及生产曲线

4 结论

(1)以提高厚层油藏高含水阶段剩余油动用程度为目标,基于吸水剖面资料,建立了厚层油藏高含水期基于剩余油的精细分层注水新方法,考虑了层间剩余油分布差异、井距及横向厚度变化等因素的影响,所需参数获取简单,方便快捷。

(2)精细数值模拟表明,厚层油藏高含水阶段由笼统注水转变为新方法精细注水后,扩大了波及,剩余油动用程度进一步提高,改善了开发效果。

(3)实践证明厚层油藏高含水期基于剩余油的分层精细注水相比传统方法更为有效,可用于处于中、高含水期的油田。

参考文献:

[1] 李松泽,胡望水.复杂油藏高含水期流动单元研究及剩余油预测[J].特种油气藏,2015,22(3):121-124.  
[2] 何芬,李涛.周期注水提高水驱效率技术研究[J].特种油气藏,2004,11(3):53-54,61.  
[3] 吴楠,姜玉芝,姜维东.调剖参数优化设计理论研究[J].特种油气藏,2007,14(3):91-94.

- [4] 郭迎春,曲全功,曹小朋,等.注采优化提高平面非均质低渗油藏井网水驱波及效率[J].石油钻采工艺,2020,42(2):214-221.
- [5] 冯其红,王波,王相.高含水油藏细分注水层段组合优选方法研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2016,38(2):103-108.
- [6] 惠钢,王友净,李佳鸿,等.中—高含水期低渗透储层优势渗流通道研究——以温米油田温西一区块三间房组储层为例[J].油气地质与采收率,2015,22(6):74-79.
- [7] 陶光辉,李洪生,刘斌.特高含水期驱替倍数量化表征及调整对策[J].油气地质与采收率,2019,26(3):129-134.
- [8] 林玉保.高含水后期储层优势渗流通道形成机理[J].大庆石油地质与开发,2018,37(6):33-37.
- [9] 谷建伟,姜汉桥,张秀梅,等.特高含水开发期注采井网评价新指标[J].特种油气藏,2013,20(4):66-69.
- [10] 吴琼,张晓明,赵殿彪,等.新立油田高含水期完善微观注采井网实践与认识[J].特种油气藏,2010,17(4):75-88.
- [11] 王波.高含水油田分层注水优化研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2015.
- [12] 叶剑川.分层注水配注量计算与优化研究[D].荆州:长江大学,2014.
- [13] 杜庆龙,朱丽红.油、水井分层动用状况研究新方法[J].石油勘探与开发,2004,31(5):96-98.
- [14] 石晓渠,马道祥.注水井合理配注水量计算方法研究[J].西部探矿工程,2008,20(9):94-96.
- [15] 张建国.油气层渗流力学[M].东营:石油大学出版社,1998.
- [16] 韩光明,代兆国,方圆,等.聚合物驱油井产能规律研究[J].石油钻采工艺,2015,37(3):93-97.
- [17] 陈元千.平均相对渗透率曲线的标准化方法[J].石油工业标准与计量,1990,6(3):6-9.
- [18] 张金庆,孙福街,安桂荣.水驱油田含水上升规律和递减规律研究[J].油气地质与采收率,2011,18(6):82-85.

(编辑 谢 葵)

(上接第38页)

## 4 结论

(1)采用地化录井轻组分比值和重组分比值两种定量解释方法互相验证,可以提高解释结果的可靠性。

(2)通过地化录井定量解释方法在西江凹陷的应用,能有效解决南海东部海域油藏类型复杂的问题,为后续作业提供指导、决策作用,并产生直接经济效益,具有一定的推广应用前景。

### 参考文献:

- [1] 王守君.勘探监督手册——地质分册[M].北京:石油工业出版社,2013:164.
- [2] 潘志清,梅博文,苏秀方,等.储层含油性热解评价方法[J].石油与天然气地质,1996,17(4):353-355.
- [3] 谭伟雄,尚锁贵,吴立伟.渤海湾地区低电阻率油气层识别与评价方法[J].录井工程,2009,20(2):47-52.
- [4] 王守宴.低级别显示层识别与评价之我见[J].中国科技信息,2006(6):90-91.
- [5] 郑玉龙,张丽云,潘秀梅,等.地化录井技术在高凝油油藏老井二次评价中的应用[J].特种油气藏,2013,20(4):13-17.
- [6] 邓平,王丙寅,李玉勤,等.地化录井技术在永安油田致密砂岩油气层评价中的应用[J].录井工程,2012,23(4):17-21,43.
- [7] 马红,姜萍.地化录井技术在板桥及塘沽地区的应用[J].录井技术,1999,10(2):31-35.
- [8] 周金堂,赵斌.地化录井低级别显示层识别与评价[J].录井技术,2003,14(2):43-47.
- [9] 窦伟坦,邢立,李明瑞,等.地化录井技术在低渗透油层解释评价中的应用[J].录井工程,2007,18(1):55-58.
- [10] 车晓峰,朱峰,马建民,等.地化录井技术在低阻油层中的应用[J].录井技术,1998,9(1):40-43.
- [11] 杨济学,郭年会,贾彦勇,等.应用地化录井技术现场识别低阻油层的方法[J].河南石油,2003,17(Z1):20-21.
- [12] 李剑锋,张文正,卢燕,等.应用地化录井技术判别低电阻率油层[J].录井工程,2007,18(2):32-34,49.

(编辑 杨芝文)