

一种水驱油藏开发效果评价新方法在渤海油田的应用

张宏友,王美楠,陈晓祺,邓琪,石飞

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津300459)

摘要:为了准确、客观评价渤海油田不同类型油藏、不同含水阶段的开发效果,分别选取不同类型油藏的典型开发单元,统计含水率与采出程度关系实际曲线,进行归一化处理,并利用万吉业水驱曲线进行定量化拟合,建立不同类型油藏含水率与采出程度关系曲线图版。引入“阶段末采出程度”参数,按照不同类型油藏、不同含水阶段分别制定评价标准,形成了一种水驱油藏开发效果评价新方法。实例应用效果表明,新方法评价结果准确可靠,能够为油田调整挖潜提供依据和方向。

关键词:水驱油藏 含水率 采出程度 开发效果 评价

中图分类号:TE341 文献标志码:A

Application of a new evaluating method for development effect of water – flooding reservoir in Bohai Oilfield

ZHANG Hongyou, WANG Meinan, CHEN Xiaoqi, DENG Qi, SHI Fei

(Tianjin Branch of CNOOC Limited, Tianjin 300459, China)

Abstract: In order to accurately and objectively evaluate the development effect of different types of water – flooding reservoir at various water – cut stages in Bohai Oilfield, selecting the typical development units from different types of reservoir, the curves of relationship between water cut and recovery rate were analyzed, which were normalized and quantitatively fitted by using the water drive curve proposed by Wan J Y. And then it was established the different curve charts of relationship between water cut and recovery rate. On this basis, introducing a parameter of “recovery rate at the end stage”, an evaluation criterion was determined according to the different types of reservoir and the various water – cut stages. Thus, a new evaluation method was established for the development effect of water – flooding reservoir. The case study showed that the evaluation results are accurate and reliable.

Key words: water – flooding reservoir; water cut; recovery rate; development effect; evaluation

水驱油藏开发效果评价贯穿于油田开发全过程,是明确油田挖潜方向,确定调整措施的重要手段。因此,客观、公正评价水驱油藏的开发效果,准确、及时发现油田开发存在问题,制定科学、合理的开发技术政策,最终实现油田高效开发,具有极其重要的现实意义。

含水率与采出程度关系曲线是评价水驱油藏水驱状况最重要的一项指标,其变化规律决定了油田未来开发指标变化趋势。近年来,国内部分学者陆续提出将实际曲线与理论图版(包括流管法和相渗曲线法)或童氏图版进行对比^[1-3],从而评价油田开发效果。如金蓉蓉提出对相渗曲线法的相渗曲线表达形式进行改进,尽可能使理论曲线更加准确;冯其红提出利用标定采收率对童氏图版进行校正,建

立含水率与采出程度关系曲线,评价油田开发效果,等等。然而,理论图版存在一定假设条件,与实际油田仍存在一定差异;同时,理论研究和开发实践表明水驱油藏含水上升规律主要受油水粘度比的控制^[4-7],而童氏图版无法反映这种油水粘度比不同引起的含水上升规律差异,因此在实际应用中受到一定限制。

从渤海油田地质油藏特点出发,根据地层原油粘度不同,将水驱油藏划分为低粘、中高粘、普通稠

收稿日期:2018-06-25;改回日期:2018-07-17。

第一作者简介:张宏友(1980—),硕士,高级工程师,主要从事油气田开发工程相关研究工作。E-mail:zhanghy8@cnooc.com.cn。

基金项目:“十三五”国家科技重大专项(2016ZX05058001)。

油(I-1 级)和普通稠油(I-2 级)。同时,基于油田开发资料,利用万吉业水驱曲线,建立了渤海油田不同类型水驱油藏含水率与采出程度关系曲线图版。在此基础上,引入“阶段末采出程度”新参数,按照不同油藏类型、不同含水阶段分别制定评价标准,最终形成了一种水驱油藏开发效果评价新方法。

1 含水率与采出程度关系曲线图版建立

1.1 典型开发单元选取

从渤海油田地质油藏特点以及实际开发现状出发,为更好体现不同类型水驱油藏实际含水上升规律,典型开发单元的选取遵循以下原则:

(1)注采井网较完善,注水井实施分层配注,开发方式不变。

(2)生产形势相对稳定,水驱规律明显。

(3)选择的开发单元不宜过大或过小。如果开发单元过小,则受到临时因素影响的开发指标波动大,水驱规律相对较差;开发单元越大,水驱规律相对较好,但有时无法体现油藏的个体差异性。

(4)不选择井网加密、细分层系、注聚、笼统注水转变为分层注水等明显改变水驱规律的大型综合调整措施的开发单元。

(5)不选择严重偏离同一类型油藏水驱规律的开发单元。

按照上述原则,选取了渤海 18 个油田 34 个中高渗水驱砂岩油藏典型开发单元(见表 1)。34 个典型开发单元总动用储量达 $6.73 \times 10^8 \text{ m}^3$,占渤海水驱油藏动用储量近 50%,且均进入了高含水期(含水率 $> 60\%$),因此能够代表渤海油田不同类型水驱油藏总体开发水平。

表 1 典型开发单元相关参数

序号	油藏类型	地层原油粘度/(mPa·s)	开发单元/个	动用储量/ 10^4 m^3	开发井/口	单井控制储量/ 10^4 m^3
1	低粘	≤ 5	9	7 765	148	52.5
2	中高粘	$> 5 \sim 50$	12	18 081	266	68.0
3	普通稠油(I-1 级)	$> 50 \sim 150$	9	32 034	471	68.0
4	普通稠油(I-2 级)	> 150	4	9 462	114	83.0
合计			34	67 341	999	67.4

1.2 含水率与采出程度关系实际曲线

对 34 个典型开发单元,按照低粘、中高粘、普通

稠油(I-1 级)、普通稠油(I-2 级)油藏,以月为时间单位,统计含水率与采出程度关系(见图 1)。

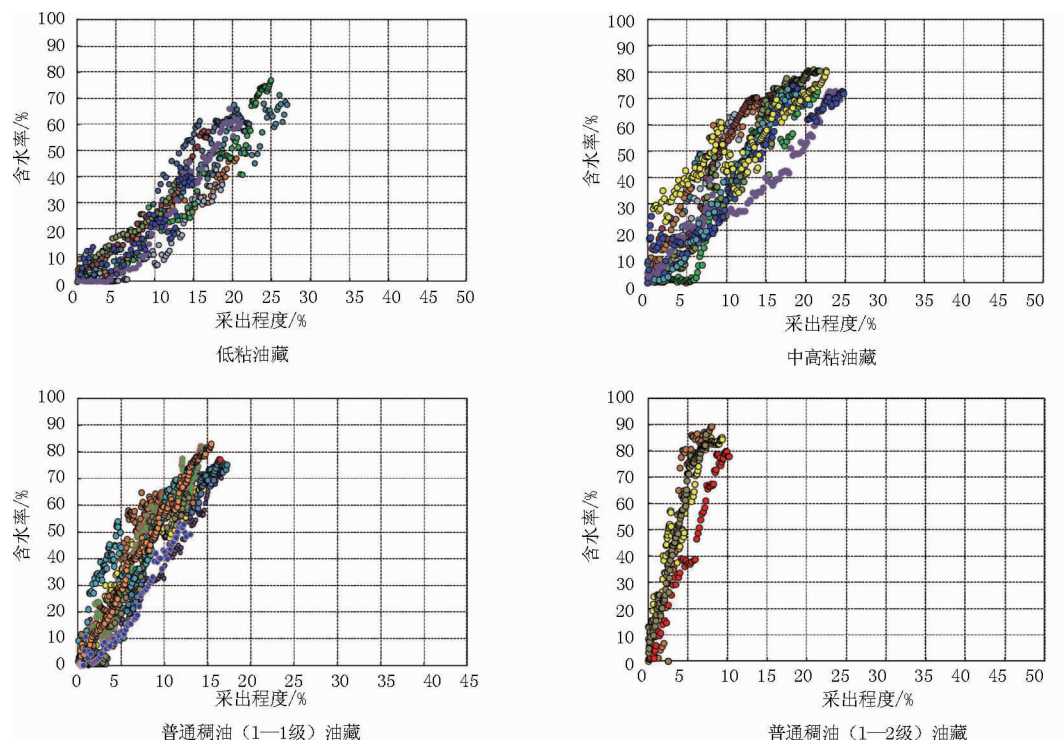


图 1 不同类型油藏含水率与采出程度关系实际曲线

从图1可以看出,对于同一类型油藏,不同开发单元含水率与采出程度关系曲线分布较为集中,且变化趋势基本一致,例如,低粘油藏整体均表现为“S型”含水上升规律,即含水上升相对较慢,中低含水采油期采出程度较高;同时,对于不同类型水驱油藏来说,随着地层原油粘度的增加,含水上升规律由“S型”逐渐过渡到“凸型-S”和“凸型”,含水上升速度加快,中低含水期采出程度较低,大部分可采储量需要在高含水采油期采出,也表明地层原油粘度是影响渤海油田水驱油藏含水上升规律的关键因素。

1.3 归一化处理

对图1含水率与采出程度关系实际曲线进行归一化处理,分别得到低粘、中高粘、普通稠油(I-1级)和普通稠油(I-2级)油藏归一化曲线。具体步骤如下:

(1)采用拉格朗日插值法^[8],得到每个开发单元在采出程度 R 分别为 0.1% 、 0.2% 、 0.3% 、 \dots 、 R_{\max} 时对应的含水率,公式为:

$$f_{wj}(R) = \sum_{i=0}^m f_{wi}(R_i) l_i(R) \quad (1)$$

$$l_i(R) = \frac{(R - R_0) \cdots (R - R_{i-1})(R - R_{i+1}) \cdots (R - R_n)}{(R_i - R_0) \cdots (R_i - R_{i-1})(R_i - R_{i+1}) \cdots (R_i - R_n)} \quad (2)$$

式中, $f_{wj}(R)$ 为第 j 个开发单元在采出程度为 R 的含水率, $\%$; R_i 、 $f_{wi}(R)$ 为第 j 个开发单元的采出程度和含水率原始数据, $\%$; $l_i(R)$ 为拉格朗日插值多项式; R 为地质储量采出程度(0.1% 、 0.2% 、 0.3% 、 \dots 、 R_{\max}), $\%$; i 为原始数据序号,最大值为 m ; j 为开发单元序号,最大值为 n 。

(2)在对应同一采出程度下,对含水率进行求和,得到不同类型油藏含水率和采出程度归一化曲线:

$$f_w(R) = \frac{f_{w1}(R) + f_{w2}(R) + \cdots + f_{wn}(R)}{n} = \frac{\sum_{j=1}^n f_{wj}(R)}{n} \quad (3)$$

图2为中高粘油藏按照上述步骤处理后,得到的含水率与采出程度关系归一化曲线。

1.4 定量化拟合

根据油水粘度比以及岩石润湿性不同,万吉业将水驱油藏含水上升规律划分为5种类型,分别是凸型、凸-S型、S型、S-凹性和凹型水驱曲线,并

给出了5种类型水驱曲线的含水率与采出程度关系式^[9-10]。

以中高粘油藏为例,介绍万吉业水驱曲线定量化拟合的过程。首先,根据不同类型水驱曲线的油水粘度比适用范围以及含水率与采出程度归一化曲线实际形态,选择“凸型-S”曲线进行定量化拟合。其次,在直角坐标系中,绘制 $\ln(1-R)$ 与 $\ln(1-f_w)$ 关系曲线(见图3),发现两者呈很好的线性关系,经线性回归,求得直线截距 A 为 -0.0217 ,斜率 B 为 0.1576 ,相关系数为 0.9857 。最终得到中高粘油藏含水率与采出程度关系公式:

$$\ln(1-R) = 0.1576 \ln(1-f_w) - 0.0217 \quad (4)$$

根据公式(4)绘制中高粘油藏含水率与采出程度关系拟合曲线,并与归一化曲线进行对比(见图2),发现两者基本重合,表明万吉业“凸-S型”水驱曲线能够很好地表征渤海油田中高粘水驱砂岩油藏含水上升规律。

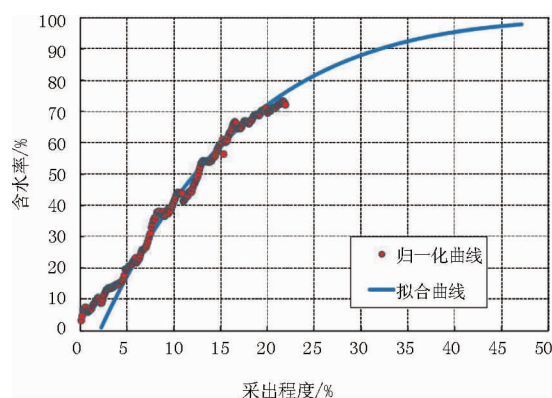


图2 中高粘油藏含水率与采出程度归一化曲线

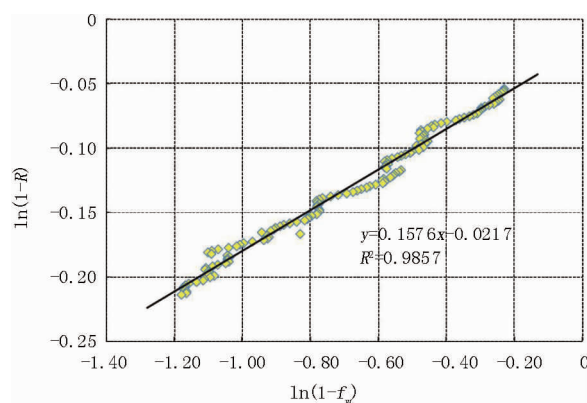


图3 中高粘油藏 $\ln(1-R)$ 与 $\ln(1-f_w)$ 关系曲线

同样,利用万吉业水驱曲线分别对低粘、普通稠油(I-1级)和普通稠油(I-2级)油藏含水率与采出程度关系归一化曲线进行定量化拟合,最终得到渤海油田不同类型水驱油藏含水率与采出程度关系拟合公式(见表2)。

表 2 不同类型油藏含水率与采出程度关系拟合公式

序号	油藏类型	水驱曲线类型	含水率与采出程度	相关系数
1	低粘	S 型	$R = 0.069 \ln \frac{f_w}{1-f_w} + 0.2004$	0.945 2
2	中高粘	凸-S 型	$\ln(1-R) = 0.1576 \ln(1-f_w) - 0.0217$	0.985 7
3	普通稠油 (I-1 级)	凸型	$\ln R = -0.098 \ln(1-f_w) + 0.0235$	0.994 1
4	普通稠油 (I-2 级)	凸型	$\ln R = -0.0451 \ln(1-f_w) + 0.0074$	0.990 7

1.5 曲线图版建立

在直角坐标系中,利用表 2 中含水率与采出程度关系公式分别作出低粘、中高粘、普通稠油(I-1 级)和普通稠油(I-2 级)油藏含水率与采出程度关系曲线,最终得到渤海油田不同类型水驱油藏含水率与采出程度关系曲线图版(见图 4),图版中每一条曲线能够代表每一类型油藏平均含水上升规律,也就是不同类型水驱油藏平均开发水平,而不同的曲线也客观反映了不同类型水驱油藏含水上升规律的差异。因此,可以应用该图版指导不同类型水驱油藏开发效果评价。

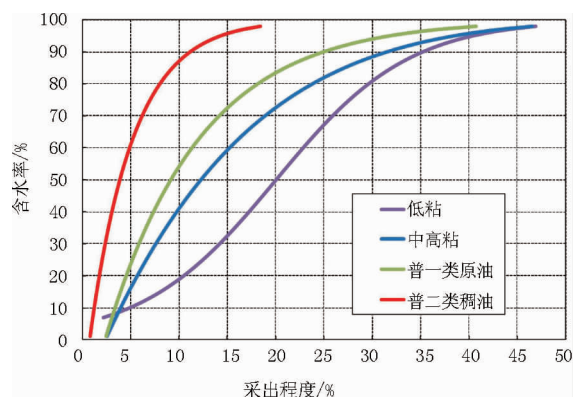


图 4 不同类型油藏含水率与采出程度关系

表 3 中高粘油藏开发效果评价标准分级

含水采油阶段	平均值	分级标准		
		一类	二类	三类
低含水期(<20%)	5.7%	≥8.0%	<8.0% ~ ≥4.0%	<4.0%
中含水期(20%~60%)	15.2%	≥18.0%	<18.0% ~ ≥12.0%	<12.0%
高含水期(>60%~90%)	35.0%	≥35.0%	<35.0% ~ ≥25.0%	<25.0%
特高含水期(>90%)	46.5%	≥45.0%	<45.0% ~ ≥35.0%	<35.0%

2 实例应用

除一些开发时间短、水驱规律不明显或生产不正常、水驱规律性差的水驱油藏之外,应用本文评价

1.6 开发效果评价新方法

引入“阶段末采出程度”参数,其定义为不同含水期的阶段末油田实际或预测累产油量与地质储量的比值。从图 4 可以看出,同一类型油藏不同含水期的“阶段末采出程度”差异较大,且不同类型油藏在相同含水期的“阶段末采出程度”差异也较大,显然,“阶段末采出程度”参数可以用来评价不同类型水驱油藏开发效果。

利用渤海油田不同类型水驱油藏含水率与采出程度关系曲线图版,按照低含水期、中含水期、高含水期和特高含水期四个阶段分别统计不同类型油藏“阶段末采出程度”数值,实际上,该数值代表了不同类型油藏不同含水期“阶段末采出程度”平均值。以“阶段末采出程度”平均值为基础,并结合实际油田采收率标定结果,上下浮动一定区间(5%左右),处于区间范围内为二类,大于该区间范围为一类,小于该区间范围为三类,以此作为不同类型油藏开发效果评价标准。最终形成了一种水驱油藏开发效果评价新方法,显然,新方法能够客观反映渤海油田不同类型油藏、不同含水阶段水驱规律的差异,从而确保评价结果准确、可靠。

按照本文新方法,分别得到低粘、中高粘、普通稠油(I-1 级)和普通稠油(I-2 级)油藏开发效果评价标准分级表。以中高粘油藏中含水期为例(见表 3),当油田实际采出程度大于 18%,为一类水平,表明开发效果好;当油田实际采出程度处于 12%~18%,为二类水平,表明开发效果一般;当油田实际采出程度小于 12%,为三类水平,表明开发效果差。需要注意的是,表 3 只适合渤海油田中高渗水驱砂岩油藏开发效果评价。对于其他油区来说,按照本文方法建立各自油田或油区不同类型水驱油藏、不同含水阶段“阶段末采出程度”评价标准即可。

方法对渤海油田其余 57 个水驱油藏进行开发效果评价,评级结果:一类油藏 19 个,二类油藏 24 个,三类油藏 14 个。结果表明,本文新方法能够真实反映油田实际开发水平,评价结果准确、可靠,可以为油

田下一步调整挖潜提供依据和方向。下面以 LD - A 油田 2 号块为例说明本文新方法的应用情况。

LD - A 油田 2 号块含油层位为东营组东二下段,三角洲前缘亚相沉积,为高孔高渗、层状构造油藏,地层原油粘度为 $26 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,探明原油储量 $1\,299.71 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。截止到 2017 年 12 月,共有生产井 13 口,注水井 5 口,日产油 $680 \text{ m}^3/\text{d}$,综合含水率 75%,采出程度 30.5%。在现有井网条件下,预测当含水率为 90% 时,采出程度可达到 42%,按照表 3 中高粘油藏开发效果评价标准,评价结果为一类,说明该区块开发效果好。在同一坐标系中,绘制中高粘油藏含水率与采出程度关系曲线图版以及 LD - A 油田 2 号块实际曲线(见图 5)。

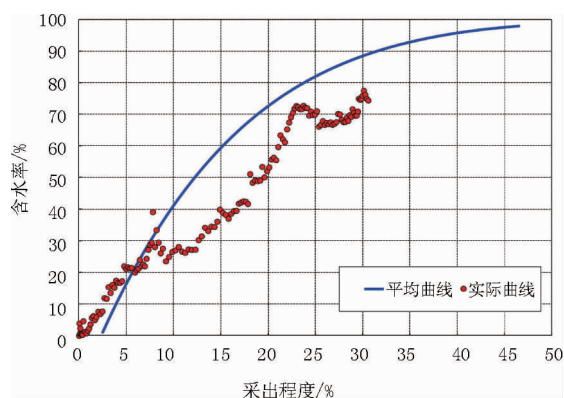


图 5 LD - A 油田 2 号块含水率与采出程度关系曲线

从图 5 可以看出,该区块实际曲线与图版平均曲线变化趋势基本一致,且实际曲线一直低于图版平均曲线,在目前含水率 75% 下,同一类型的中高粘油藏平均采出程度不到 25%,远低于该区块目前采出程度 30.5%,也表明该区块开发效果好。实际上,目前该区块标定采收率已达 45% 以上。

3 结论与认识

(1) 渤海油田水驱油藏含水上升规律主要呈“S 型”、“凸 - S 型”和“凸型”三种类型,地层原油粘度

是影响含水上升规律的关键因素。

(2) 为客观反映渤海油田不同类型油藏、不同含水阶段开发规律的差异,基于大量的油田开发资料,建立不同类型油藏含水率与采出程度关系曲线图版。在此基础上,引入“阶段末采出程度”参数,按照不同类型油藏、不同含水阶段分别制定评价标准,形成了一种水驱油藏开发效果评价新方法。

(3) 实例应用结果表明,本文新方法评价结果准确、可靠,能够为油田调整挖潜提供依据和方向,值得矿场推广应用。对于其他油区来说,按照本文方法建立各自油田或油区不同类型水驱油藏、不同含水阶段“阶段末采出程度”评价标准即可。

参考文献:

- [1] 凡哲元,袁向春,廖荣凤,等.制作含水率与采出程度关系理论曲线常犯错误及解决办法[J].石油与天然气地质,2005,26(3):384-387.
- [2] 冯其红,吕爱民,于红军,等一种用于水驱开发效果评价的新方法[J].石油大学学报(自然科学版),2004,28(2):58-60.
- [3] 金蓉蓉.新型含水率与采出程度关系曲线的推导[J].大庆石油地质与开发,2015,34(3):72-75.
- [4] 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.
- [5] 张宏友,邓琪,牟春荣,等.水驱砂岩油藏理论含水上升率计算新方法——对分流量方程的校正[J].中国海上油气,2015,27(3):79-83.
- [6] 王乃举.中国油藏开发模式总论[M].北京:石油工业出版社,1999.
- [7] 张锐.评价油田注水效果的两种对比曲线[J].石油勘探与开发,1988,15(5):53-60.
- [8] 李庆扬,王能超.数值分析[M].湖北:华中科技大学出版社,1982.
- [9] 万吉业.水驱油田的驱替系列及其应用(I)[J].石油勘探与开发,1982,9(6):65-73.
- [10] 万吉业.水驱油田的驱替系列及其应用(II)[J].石油勘探与开发,1983,10(1):44-48.

(编辑 谢 葵)

