

# 油藏特高含水期井网加密潜力评价新方法

张金铸

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

**摘要:**针对以往井网加密潜力评价方法在油藏特高含水期应用中存在的不适应性,以胜利油区40个开发后期中高渗透水驱砂岩油藏单元为样本,建立了井网密度与加密井平均单井增加可采储量的关系,并对其影响因素进行了分析。结果表明,加密井平均单井增加可采储量与井网密度呈指数关系,并且随着井网密度的增大,加密井平均单井增加可采储量逐渐减小;但加密井平均单井增加可采储量与井网密度关系曲线的形态各不相同,其主要影响因素是流动系数、储层非均质性以及开发过程中地层能量的保持状况。基于单井经济极限可采储量的理论计算公式,计算得到中高渗透砂岩油藏在不同油价、不同井深条件下的单井经济极限可采储量计算图版,依据该图版和所建立的井网密度与加密井平均单井增加可采储量的关系,可对特高含水期油藏井网加密潜力进行评价。实例应用结果表明,胜坨油田二区沙二段8<sup>3-5</sup>单元在油价为80美元/bbl时,单井经济极限可采储量为0.57×10<sup>4</sup>t,经济极限井网密度为20口/km<sup>2</sup>。

**关键词:**特高含水期 井网密度 加密潜力 单井增加可采储量 潜力评价 胜利油区

**中图分类号:**TE341

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-9603(2013)05-0096-03

与井网加密潜力评价有关的方法很多,主要是在谢尔卡乔夫公式的基础上,根据实际资料回归出井网密度与采收率的关系<sup>[1-16]</sup>,在此基础上计算得到的增加可采储量随着井网密度的增大,只是增大波及体积,而不会改变驱油效率,这与目前开发实际存在着较大差异。为此,笔者建立了井网密度与加密井平均单井增加可采储量的关系,并对其影响因素进行了分析,从加密井平均单井增加可采储量的角度对井网加密潜力进行了评价,以期对特高含水期油藏井网加密潜力评价提供参考或依据。

## 1 井网密度与加密井平均单井增加可采储量的关系

油藏开发实践表明,随着井网密度的增大,加密井平均单井增加可采储量不同。筛选了胜利油区40个储量规模较大、开发时间较长、且经过多次加密调整、目前已进入开发后期的中高渗透水驱砂岩油藏单元为样本,研究加密井在不同井网密度下单井增加可采储量的变化规律。

计算了样本单元自投产以来不同开发阶段的井网密度,采用递减法标定了不同井网密度下加密井的平均单井增加可采储量,建立井网密度与加密

井平均单井增加可采储量的关系。单元投产以来第*i*年累积井网密度用截至当年累积投产的油水井数除以含油面积表示,其对应的加密井平均单井增加可采储量为当年所有投产新井增加可采储量的平均值,由此可得到该单元在不同井网密度下加密井平均单井增加可采储量的变化规律(图1)。

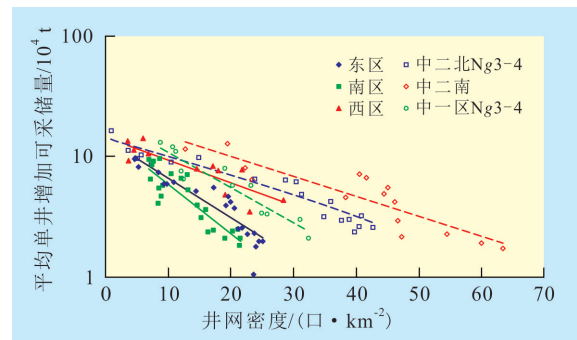


图1 井网密度与加密井平均单井增加可采储量的关系

井平均单井增加可采储量与井网密度呈指数关系,并且随着井网密度的增大,加密井平均单井增加可采储量逐渐减小。不同井网密度下加密井平均单井增加可采储量可表示为

$$\ln N_{dj} = -Bn + \ln A \quad (1)$$

式中:  $N_{dj}$  为加密井平均单井增加可采储量, 10<sup>4</sup>t;  $B$  为加密井平均单井增加可采储量与井网密

收稿日期:2013-07-10。

作者简介:张金铸,男,工程师,硕士,从事油田开发综合研究。联系电话:(0546)8715277,E-mail:38489613@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“胜利油田特高含水期提高采收率技术”(2011ZX05011)。

度关系曲线的斜率,与单元的能量保持状况和储层非均质性有关, $10^4 \text{ t} \cdot \text{km}^2/\text{口}$ ;  $n$  为井网密度,  $\text{口}/\text{km}^2$ ;  $A$  为单元投产初期单井控制的可采储量,与单元的流动系数和储层的非均质性有关, $10^4 \text{ t}$ 。

## 2 影响因素分析

虽然样本单元的加密井平均单井增加可采储量与井网密度呈指数关系,但在同一井网密度下,不同单元加密井平均单井增加可采储量存在较大的差距,其最直接的影响因素是各个单元的  $A$  值和  $B$  值,对每个样本单元分别进行指数回归,可得到每个单元加密井平均单井增加可采储量与井网密度的关系曲线,取曲线的截距和斜率就得到相应的  $A$  值和  $B$  值,进而可分析其主要影响因素。

### 2.1 $A$ 值影响因素

$A$  值反映了井网密度趋于无限小时单井控制可采储量,与单元本身的油藏条件有关,其主要影响因素为单元的流动系数( $Kh/\mu$ )和储层的非均质性。按储层非均质状况将样本单元分为2类,用小层数的多少、主力层储量比例以及主力层间渗透率级差3个因素来表示单元储层的非均质状况。小层数较少、主力层储量比例大、主力层间渗透率级差较小的单元为均质性好的单元;小层数多、主力层储量比例较小、主力层间渗透率级差较大的单元为非均质性强的单元。由这2类样本单元的  $A$  值与流动系数的关系(图2)可知,流动系数越大, $A$  值越大,且  $A$  值与流动系数呈较好的对数关系。在相同流动系数条件下,均质性好单元的  $A$  值明显大于非均质性强的单元的  $A$  值。

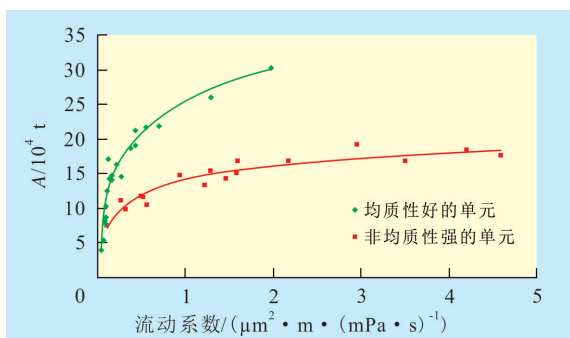


图2 胜利油区中高渗透水驱砂岩油藏单元  $A$  值与流动系数的关系

根据图2可分别回归建立2类单元  $A$  值与流动系数的关系,即

$$A_a = 6.333 \ln \frac{Kh}{\mu} + 25.355 \quad R_2 = 0.9297 \quad (2)$$

$$A_b = 2.945 \ln \frac{Kh}{\mu} + 13.945 \quad R_2 = 0.8996 \quad (3)$$

式中:  $A_a$  为均质性较好单元投产初期单井控制的可采储量, $10^4 \text{ t}$ ;  $K$  为储层有效渗透率, $\mu\text{m}^2$ ;  $h$  为储层有效厚度, $\text{m}$ ;  $\mu$  为地层原油粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ;  $A_b$  为非均质性较强单元投产初期单井控制的可采储量, $10^4 \text{ t}$ 。

### 2.2 $B$ 值影响因素

$B$  值反映了油藏不断加密过程中加密井平均单井增加可采储量的快慢,影响因素主要是单元的能量保持状况和储层非均质性。在开发调整过程中,地层能量对于调整效果有着重要的影响,地层能量保持越好,递减率越小,单井增加可采储量越大, $B$  值越小。

油藏非均质性的强弱决定了单元后期调整时剩余油的富集程度,储层非均质性越强的单元,开发后期越易形成剩余油富集区;油田开发后期,在相同的井网密度条件下,非均质性强的单元加密井平均单井增加可采储量高于非均质性弱的单元。根据单元的非均质性和开发过程中的能量保持状况,将胜利油区中高渗透水驱砂岩油藏40个样本单元分为4类,每类单元的  $B$  值如表1所示。

表1 胜利油区中高渗透水驱砂岩油藏40个样本单元的  $B$  值

非均质性	能量保持状况	$B/(10^4 \text{ t} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{口}^{-1})$
弱	好	0.07 ~ 0.15
	差	0.15 ~ 0.20
强	好	0.05 ~ 0.07
	差	0.07 ~ 0.14

## 3 井网加密潜力评价方法

单井经济极限可采储量的计算式<sup>[3-4,6,14,16]</sup>为

$$N_p = \frac{I(1+\beta) + tC_c}{\alpha_o(P_o - R_T - C_o - C_f)} \quad (4)$$

式中:  $N_p$  为单井经济极限可采储量, $10^4 \text{ t}$ ;  $I$  为单井开发投资, $10^4$  元;  $\beta$  为油水井系数;  $t$  为评价期,  $\text{a}$ ;  $C_c$  为单井固定成本, $10^4$  元/口;  $\alpha_o$  为商品率,%;  $P_o$  为油价,元/t;  $R_T$  为吨油税金,元/t;  $C_o$  为吨油可变成本,元/t;  $C_f$  为吨油费用,元/t。

单井固定成本、吨油可变成本、吨油费用取胜利油区中高渗透油藏平均值。单井开发投资按下述方法计算:开发投资分为钻井投资、采油工程投

资和地面建设投资。钻井投资包括钻前准备工程、钻井工程、测井和完井工程投资,其投资定额主要与井深有关,井越深,钻速越慢,单位钻井成本越高。根据陆上85个实际产能块统计资料可得到单位钻井成本和井深关系,同时统计不同类型油藏钻井投资在单井投资中的比例,其中,中高渗透油藏钻井投资约占单井总投资的66.1%,结合每米钻井成本与井深的关系,可得到单井开发投资与井深的关系。因此,由式(4)可以得到中高渗透砂岩油藏在不同油价、不同井深条件下的单井经济极限可采储量计算图版(图3)。

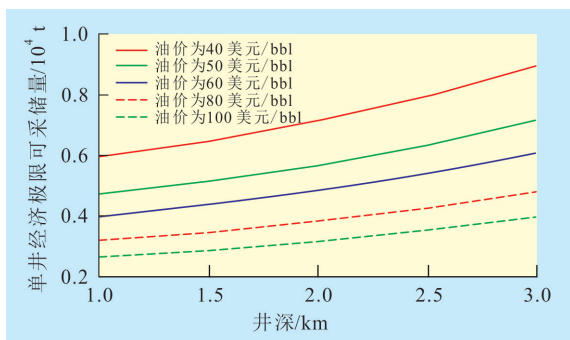


图3 胜利油区中高渗透水驱油藏单井经济极限可采储量计算图版

依据式(1)和单井经济极限可采储量计算图版,可对特高含水期油藏井网加密的潜力进行评价,包括经济极限井网密度、经济极限采收率、增加可采储量、钻井工作量。具体过程为:①根据油藏条件和开发状况选择合适的模型,计算相应的A值和B值;②根据单井经济极限可采储量计算图版,计算不同油价下的单井经济极限可采储量;③求取不同油价下的经济极限井网密度;④依据单元目前的井网密度,计算井网加密提高采收率潜力、钻井工作量以及单元经济极限采收率。

将单井经济极限可采储量代入式(1)中,可得不同油价下经济极限井网密度为

$$n_{\max} = -\frac{1}{B} \ln \frac{N_{\text{dj min}}}{A} \quad (5)$$

式中:  $n_{\max}$  为经济极限井网密度,  $\text{口}/\text{km}^2$ ;  $N_{\text{dj min}}$  为单井经济极限可采储量,  $10^4 \text{ t}$ 。

井网密度由  $n_1$  增加到  $n_2$  时,增加的可采储量为

$$\Delta N_{\text{R}} = \int_{n_1}^{n_2} A e^{-Bn} S \, dn = \frac{A}{B} S (e^{-Bn_1} - e^{-Bn_2}) n_1 \quad (6)$$

式中:  $\Delta N_{\text{R}}$  为井网密度由  $n_1$  加密到  $n_2$  时增加的可采储量,  $10^4 \text{ t}$ ;  $n_1$  和  $n_2$  分别为加密前后的井网密度,  $\text{口}/\text{km}^2$ ;  $S$  为单元含油面积,  $\text{km}^2$ 。

当  $n_2$  为经济极限井网密度时,单元可增加的可采储量为

$$\Delta N_{\text{R max}} = \frac{A}{B} S (e^{-Bn_{\text{目前}}} - e^{-Bn_{\max}}) \quad (7)$$

式中:  $\Delta N_{\text{R max}}$  为经济极限井网密度单元增加的可采储量,  $10^4 \text{ t}$ ;  $n_{\text{目前}}$  为单元目前的井网密度,  $\text{口}/\text{km}^2$ 。

经济极限钻井工作量为

$$N_{\text{加密井数}} = S (n_{\max} - n_{\text{目前}}) \quad (8)$$

式中:  $N_{\text{加密井数}}$  为经济极限钻井工作量,  $\text{口}$ 。

## 4 应用实例

胜坨油田二区沙二段  $8^{3-5}$  单元含油面积为  $8.2 \text{ km}^2$ , 动用石油地质储量为  $2\,296 \times 10^4 \text{ t}$ , 2012年12月, 可采储量为  $907 \times 10^4 \text{ t}$ , 采收率为39.5%, 井网密度为  $17.4 \text{ 口}/\text{km}^2$ , 油层埋深为2142 m。该单元加密井平均单井增加可采储量与井网密度的关系为

$$\ln N_{\text{dj}} = -0.1764n + \ln 21.933 \quad (9)$$

油价为80美元/bbl时, 单元的单井经济极限可采储量为  $0.57 \times 10^4 \text{ t}$  (图4)。根据该单元加密井平均单井增加可采储量与井网密度的关系, 可求得不同油价下的井网加密的极限潜力, 油价为80美元/bbl时, 该单元的经济极限井网密度为  $20 \text{ 口}/\text{km}^2$  (图4)。

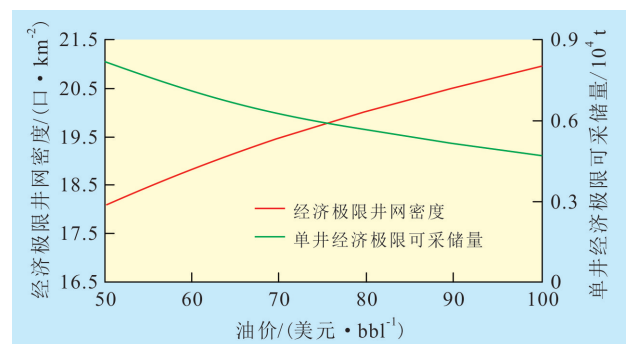


图4 胜坨油田二区沙二段  $8^{3-5}$  单元不同油价下经济极限井网密度和单井经济极限可采储量

## 5 结束语

明确了中高渗透水驱砂岩油藏加密井平均单井增加可采储量随井网密度的变化规律, 影响其变化规律的主要因素是流动系数、储层非均质性以及开发过程中地层能量的保持状况。建立了中高渗透砂岩油藏加密井平均单井增加可采储量与井网密度关系的计算模型, 形成了特高含水期水驱油藏井网加密潜力评价方法, 克服了传统方法在特高含

(下转第102页)