

文章编号: 0253-2697(2010)05-0791-06

特低渗透油藏压裂水平井开发效果评价

曾保全¹ 程林松¹ 李春兰¹ 袁 帅²

(1. 中国石油大学石油天然气工程学院 北京 102249; 2. 中国石油四川销售仓储分公司 四川成都 610083)

摘要: 通过物理模拟研究了特低渗透油藏压裂水平井产能与裂缝产能之间的关系、裂缝产能分布规律以及裂缝数量与水平井产能的关系。利用数值模拟方法,研究了压裂水平井开发特低渗透油藏技术,对压裂水平井的水平段长度、裂缝数量、裂缝间距进行了优化设计。研究表明,特低渗透油藏压裂水平井的水平段长度越短,阶段采出程度越高,含水率上升越慢,即水平段长度不宜过长;建立了固定裂缝间距和井排距时不同裂缝数量压裂水平井相对累产油和相对采出程度对比图版。重新认识了特低渗透油藏压裂水平井渗流机理。

关键词: 压裂水平井;特低渗透油藏;水电模拟;水平段长度;裂缝数量;裂缝间距;数值模拟

中图分类号: TE348

文献标识码: A

Development evaluation of fractured horizontal wells in ultra-low permeability reservoirs

ZENG Baoquan¹ CHENG Linsong¹ LI Chunlan¹ YUAN Shuai²

(1. Faculty of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Storage Branch, PetroChina Sichuan Marketing Company, Chengdu 610083, China)

Abstract: The present paper investigated via physical simulations the productivity relationship between fractured horizontal wells and fractures, the productivity distribution of fractures and the correlation between fracture numbers and the productivity of horizontal wells in ultra-low permeability reservoirs. Techniques involved in developing ultra-low permeability reservoirs by horizontal wells were examined via numerical simulation methods, including optimization of the horizontal section length, fracture number and spacing of horizontal wells. The results indicated that the shorter the horizontal section of a horizontal well, the higher the recovery and the lower the water cut, i. e. the shorter length of a horizontal section gives a better recovery. A comparison diagram of the relative cumulative oil production and relative recovery was established for fractured horizontal wells with fixed fracture spacing but different fracture numbers. The percolation mechanism of fractured horizontal wells in ultra-low permeability reservoirs was re-recognized.

Key words: fractured horizontal well; ultra-low permeability reservoir; hydroelectric simulation; horizontal section length; fracture number; fracture spacing; numerical simulation

特低渗透油藏孔喉细小,渗透率低 $[(0.3 \sim 5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2]$,渗流阻力大,油井自然产能低甚至无自然产能。为了改善特低渗透油藏开发效果,通常对水平井实施套管完井,分段射孔压裂,形成多条面积较大的长而薄的水力裂缝,大幅增加油藏泄油面积,改善储层与井筒之间的流体连通程度,提高单井产能^[1-6]。特低渗透油藏储层压力普遍较低,注水补充能量已经成为此类油藏的重要开发方式。因此,压裂水平井采油联合直井注水对特低渗透油藏开发提出了许多新的研究课题。笔者以中国某油田压裂水平井开发实例为基础,考虑水平段长度、裂缝数量和裂缝间距等因素,利用物理模拟和数值模拟进行压裂水平井开发效果评价。

1 水电模拟实验

1.1 实验原理及装置

电模拟实验以水电相似原理为理论基础^[7-8],即描述渗流场和电流场的数学方程相似(表1)。不可压缩地下流体通过多孔介质的稳定渗流符合达西定律及拉普拉斯方程;而电流在导电介质中的流动满足欧姆定律和拉普拉斯方程。当渗流场与电流场的几何形状和边界条件相似时,稳态渗流场与稳态电流场相似。

各参数之间的相似关系满足几何相似、流量相似、阻力相似和压力相似。

几何相似系数:

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 90210019)和教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-0108)联合资助。

作者简介: 曾保全,男,1982年12月生,2006年毕业于西安石油大学,现为中国石油大学(北京)博士研究生,主要从事低渗透油藏开发和数值模拟研究。E-mail: zengbaoquan_cup@163.com

表1 渗流场和电流场对比

Table 1 Relationship between seepage and current fields

渗流场		电流场	
拉普拉斯方程	$\nabla^2 p = 0$	拉普拉斯方程	$\nabla^2 U = 0$
达西定律	$Q = -\frac{K}{\mu} \nabla p$	欧姆定律	$I = -\rho \nabla U$
流体流量	Q	电流	I
流度	$\frac{K}{\mu}$	电导率	ρ

$$C_1 = L_m / L_o \quad (1)$$

流量相似系数:

$$C_q = I / Q \quad (2)$$

阻力相似系数:

$$C_r = R_m / R_o = \left(\frac{K}{\mu} L_o \right) / (\rho L_m) \quad (3)$$

压力相似系数:

$$C_p = \Delta U / \Delta p \quad (4)$$

欧姆定律:

$$\Delta U / (I R_m) = 1 \quad (5)$$

达西定律:

$$\Delta p / Q R_o = 1 \quad (6)$$

联立式(1)~式(4)可得

$$C_p = C_q C_r \quad (7)$$

式中: L_m 为模型几何参数, cm; L_o 为井网几何参数, m; K 为渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; μ 为流体黏度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; ρ 为电导率, $\mu\text{s}/\text{cm}$; I 为电流, mA; Q 为油井产量, m^3/d ; U 为电压, V; p 为压力, MPa; C_1 为几何相似系数; C_p 为压力相似系数; C_q 为流量相似系数; C_r 为阻力相似系数。一般先确定 C_p 和 C_r , 然后计算出 C_q 值, 从而根据所测电流值计算出油井的产量。

电模拟实验装置主要由油藏模拟系统、低压电路系统和测量系统三部分组成。油藏模拟系统为盛有 CuSO_4 溶液的有机玻璃池, 可配置相应浓度的 CuSO_4 溶液模拟油层; 低压电路系统得到实验所需电压; 测量系统可以测得模拟油井的电流。实验以交错排状井网为例, 研究压裂水平井与裂缝产能关系、裂缝产能分布以及裂缝数量对压裂水平井产能的影响。其中: 注水井为直井; 采油井为压裂水平井(水平段封闭)。水电模拟实验基本参数如表2所示。

压裂水平井模型制作: 实验以铜丝模拟水平井筒, 铜片模拟垂直裂缝; 铜片由铜丝垂直串联, 铜丝未与铜片接触的水平段部分由橡胶套密封。由于难以找到合适的材料来模

拟有限导流能力裂缝, 且铜片的电导率远大于电解溶液的电导率, 所以实验模拟的是裂缝无限导流的情况。

表2 储层及模型参数

Table 2 Parameters in reservoir and electrolytic simulation model

地层参数		模型参数	
渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	0.7	溶液电导率/ ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	635
黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	1.455	电压压差/V	20
注采压差/MPa	20	溶液深度/cm	2.3
有效厚度/m	20	井距/cm	57.50
井距/m	500	排距/cm	28.75
排距/m	250	裂缝半长/cm	12.65
裂缝半长/m	110		

1.2 实验结果分析

1.2.1 压裂水平井产能与裂缝产能的关系

实验条件: 水平段长度为 210 m, 裂缝数量为 3 条, 裂缝间距为 105 m, 如图 1 所示。分别测量压裂水平井和独立裂缝的电流。

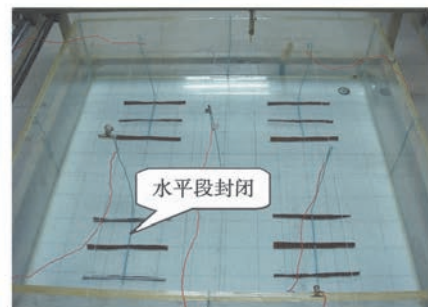


图1 压裂水平井产量测量模型

Fig. 1 Productivity measurement model of fractured horizontal wells

水电模拟实验结果表明(表3): 3条独立裂缝的总产量比压裂水平井产量略高, 产量差异小于3%。由于特低渗透油藏压裂水平井单井日产量(液)量普遍较低, 且产量递减较快, 因此水平井筒管流摩擦阻力对油井产能的不利影响可以忽略, 进而认为特低渗透油藏压裂水平井的产能即为裂缝产能之和。

表3 压裂水平井与裂缝产能实验结果

Table 3 Productivity of fractured horizontal wells and fractures

井号	压裂水平 井产量/ ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$)	独立裂缝 产量之和/ ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$)	裂缝产量贡献率/%		
			边缝1	中缝	边缝2
1	18.27	18.70	42	16	42
2	18.27	18.83	42	16	42
3	18.27	18.90	42	16	42
4	18.27	18.61	42	16	42
平均	18.27	18.76	42	16	42

1.2.2 裂缝生产能力分布

裂缝产量测量结果表明(表 3),边部裂缝的生产能力较强,贡献率大于 40%;中间裂缝的生产能力较小,贡献率不足 20%。裂缝间干扰,尤其是两条边缝对中间裂缝的严重干扰是导致 3 条裂缝产量分布不均的主要原因,适当增加裂缝间距有利于减小缝间干扰,充分发挥各条裂缝的生产能力。

1.2.3 裂缝数量对压裂水平井产能的影响

人工裂缝是连通油藏与井筒的唯一通道,因此,裂缝数量是制约油井产能的重要因素。为了综合考虑裂缝数量和裂缝间距对压裂水平井产量的影响,分别进行了以下实验:① 固定水平段长度,增加裂缝数量。水平段长度为 210 m,裂缝数量为 1~6 条,相应裂缝间距分别为 0 m、105 m、70 m、52.5 m 和 42 m。② 固定裂缝间距,增加裂缝数量,保持相邻两条裂缝的间距为 70 m,裂缝数量为 1~6 条,则水平段长度依次为 0 m、70 m、140 m、210 m、280 m 和 350 m。

裂缝数量对压裂水平井产能变化起着至关重要的作用(表 4)。随着裂缝数量的增加,油藏泄油面积逐渐增大,渗流阻力减小,压裂水平井产能逐渐增大,但是增加幅度逐渐减小。当裂缝数较少时,压裂水平井产能增幅较大;裂缝数较多时,缝间干扰导致油井产能增加幅度较小,因此压裂水平井的裂缝数量不易过多。

两种裂缝分布模式对压裂水平井产能的影响呈现一定差异。固定水平段长度时,裂缝数量大于 3 条以后,压裂水平井产量增加幅度很小;固定裂缝间距时,油井产能持续较大幅度增加。

表 4 压裂水平井产能与裂缝数量的关系

Table 4 Relationship of productivity of horizontal wells with different fractures

产 能/ (t·d ⁻¹)	裂缝数量/条					
	1	2	3	4	5	6
水平段 300 m	13.36	15.57	15.99	16.09	16.22	16.33
缝间距 75 m	13.36	14.88	15.55	16.09	16.43	16.74

2 数值模拟模型及参数优化

根据研究区块实际地质资料,以交错排状井网为研究对象,建立数值模拟模型。油层顶面深度为 2549 m,地层平均绝对渗透率为 $0.562 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,渗透率各向异性取值: $K_x = 3K_y, K_y = 10 K_z$ 。平均孔隙度为 9.35%,原始油藏压力为 19.0 MPa,油层平均有效厚度为 10.4 m,原始含油饱和度为 70%,地层原油黏度为 1.415 mPa·s,原油密度为 0.852 g/cm³,原油体积系数为 1.27,原油压缩系数为 $12.75 \times 10^{-4} \text{MPa}^{-1}$ 。

直井注水,y 方向压裂水平井采油,井距为 480 m,排距为 130 m,裂缝长度为 190 m,为了尽可能区别裂缝与基质渗透率的差异,且考虑模型计算收敛性,最终确定裂缝渗透率取值为 $5000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。以定压控制方式进行生产,保持注采压差为 20 MPa。

2.1 水平段长度优选

水平段长度分别取 300 m、600 m 和 900 m。由井排距定义可知,水平段越长,单井控制面积(储量)越大,井网密度越小。① 相同裂缝数量:裂缝数量为 3 条,则裂缝间距分别为 150 m、300 m 和 450 m;② 相同裂缝间距:裂缝间距为 150 m,不同长度压裂水平井的裂缝数量依次为 3 条、5 条和 7 条。

数值模拟结果表明[图 2(a)],相同裂缝数量或相同裂缝间距条件下,模拟区域在相同时刻的采出程度随水平段长度的减小而逐渐增大。不同长度压裂水平井 30 年的采出程度满足以下关系:300 m 水平段的采出程度最高,600 m 的次之,900 m 的最低。由采出程度和含水率关系可知[图 2(b)],水平段长度对含水率上升影响较大。压裂水平井水平段越长,含水率上升速度越快;反之,含水率上升越慢。不同长度水平井在相同含水率的采出程度关系如下:300 m > 600 m > 900 m。因此,特低渗透油藏采用较长的压裂水平井开发易导致含水率快速上升,阶段采出程度和最终采收率降低。

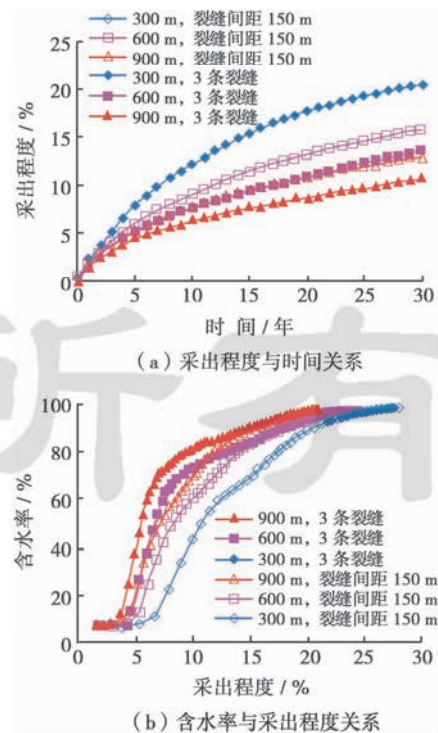


图 2 不同长度压裂水平井开发效果

Fig. 2 Development of fractured horizontal wells with different length

图 3 为相同裂缝间距时压裂水平井第 10 年的流线和饱和度分布。流线分布区域表明了水驱波及范围的大小,流线密度则反映了水驱波及均匀程度。由图 3(a)和图 3(b)可知,研究区域的流线分布并不均匀,注水井与压裂水平井边部裂缝之间的区域分布着较密集的流线,水平井中部区域流线密度较小,即压裂水平井中部的的水驱程度较低;压裂水平井裂缝数量越多,进入中间裂缝的流线数量越小;流线分布非均匀程度越强,水驱程度越低。

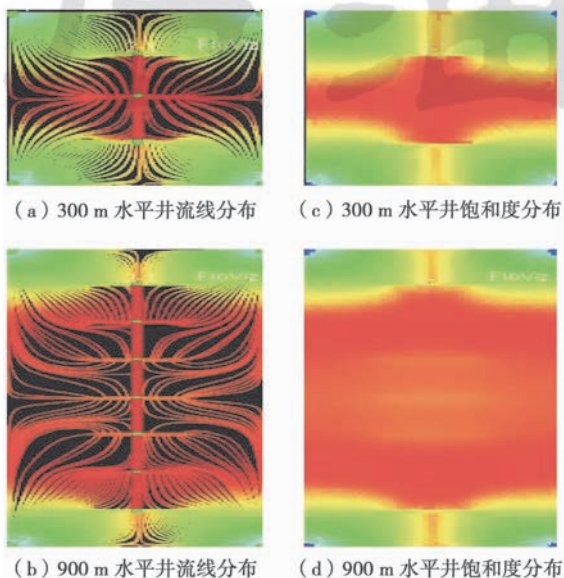


图 3 压裂水平井渗流场特征

Fig. 3 Characteristics of seepage field in fractured horizontal wells

10 年的饱和度场分布表明[图 3(c)和图 3(d)],注水井与压裂水平井边缝之间区域的饱和度较低,水平井中部区域饱和度较高。尽管水平段中部存在人工裂缝,但注入水一旦在水平井边部裂缝突破,油水前缘很难向水平井中部继续快速推进,导致水平段中部能量供给困难,水驱效果较差,剩余油饱和度较高;水平段越长,剩余油富集范围越大,水驱动用效

果越差,即较长的压裂水平井中间裂缝与注水井间难以建立有效驱替压力系统。饱和度分布和流线分布规律相对应:流线分布越稀疏,剩余油饱和度越高,水驱动用效果越差。

2.2 裂缝数量优选

水平段长度为 300 m,裂缝数量分别为 2 条(裂缝间距为 100 m)、3 条(裂缝间距为 75 m)、4 条(裂缝间距为 100 m)。表 5 给出了 300 m 水平井压裂不同数量裂缝时的开发技术指标。由表 5 可以看出,相同水平段长度时,裂缝数量越多,泄油面积越大,采油速度越快,相同时刻的采出程度和含水率越高。其中,阶段采出程度增加幅度逐渐减小,而含水率上升幅度逐渐增大。随着裂缝数量的增加,含水率为 90% 和 95% 的采出程度均先增大后减小,当裂缝数量为 3 条时,采出程度达到最大值。因此,固定长度的水平井存在最优裂缝数量。对于 300 m 水平井,为了获得较高的采油速度和最终采收率,建议压裂 3 条裂缝(裂缝间距为 75 m)。

裂缝间距为 75 m,压裂水平井裂缝数量分别为 1~6 条,对应水平段长度依次为 0 m(压裂直井)、70 m、140 m、210 m、280 m 和 350 m。此时,随裂缝数量增加,单井控制面积逐渐增大,井网密度逐渐减小。不同裂缝数量的压裂水平井与压裂直井的单井控制储量倍数关系分别为 1.00、1.29、1.58、1.87、2.16 和 2.44。

图 4(a)和图 4(b)分别给出了压裂水平井的阶段采出程度以及采出程度与含水率的关系。由图 4(a)可以看出,随着裂缝数量的增加,压裂水平井的采出程度逐渐减小,压裂直井的采出程度最高,6 条缝压裂水平井的采出程度最低。含水率和采出程度关系曲线表明[图 4(b)],裂缝数量较多的压裂水平井,其含水率上升越快,相同采出程度条件下的含水率越高;不同裂缝数量的压裂水平井在含水率为 95% 的采出程度依次为 24.66%、24.26%、23.72%、22.96%、21.87% 和 20.73%。

表 5 300 m 压裂水平井的开发技术指标

Table 5 Development index of the fractured horizontal well with 300 m in length

裂缝数量	5 年采出程度/%	5 年综合含水率/%	10 年采出程度/%	10 年综合含水率/%	20 年采出程度/%	20 年综合含水率/%	30 年采出程度/%	30 年综合含水率/%	含水 90% 采出程度/%	含水 95% 采出程度/%
1	4.77	7.45	9.13	8.47	15.20	57.31	17.83	79.22	20.62	24.22
2	6.36	7.51	11.53	26.33	16.68	73.87	19.23	85.07	21.11	24.63
3	7.04	7.67	12.37	33.51	17.83	76.98	20.43	87.25	21.43	24.92
4	8.21	20.69	13.04	54.63	18.06	82.75	20.69	90.22	20.58	24.00

相对储量、相对累积产油量及相对采出程度的定义:多缝压裂水平井的地质储量(累积产油量、采出程

度)与压裂直井的储量(累积产油量、采出程度)的比值。

对比分析不同裂缝数量压裂水平井相对储量和相对累积产油量可知[图 4(c)],随着裂缝数量的增加,压裂水平井相对储量呈线性增加,但相同时刻的相对累积产油量增加幅度逐渐减小。由此计算得到的不同裂缝数量压裂水平井的相对采出程度也表明,增加裂缝数量将导致相同时刻及含水率为 90%的相对采出程度逐渐减小,水驱开发效果逐渐变差。此时,压裂直井具有最高的阶段采出程度和最终采收率。

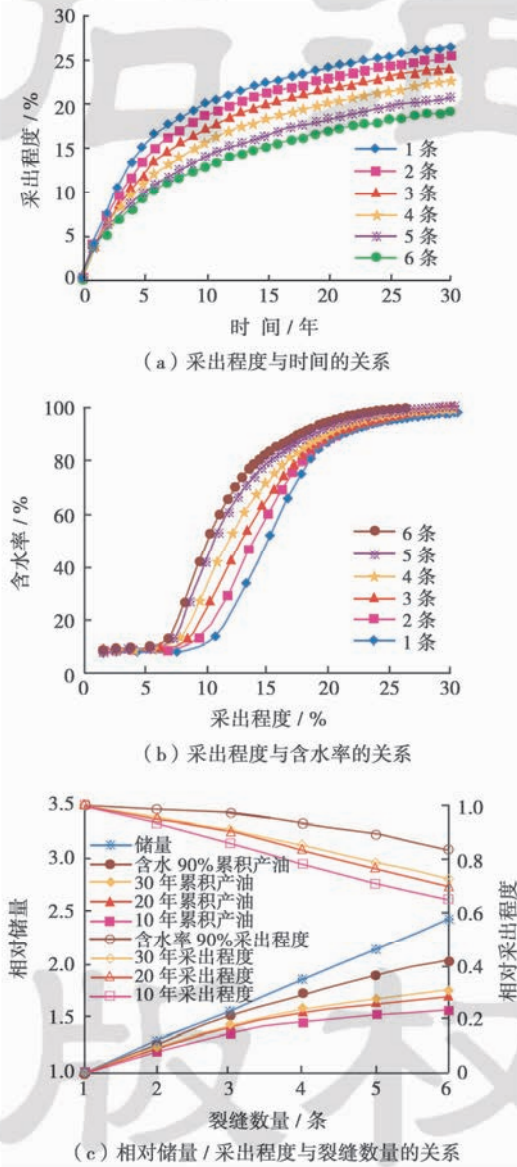


图 4 相同裂缝间距时压裂水平井开发效果对比
Fig. 4 Development of fractured horizontal wells with fixed fracture spacing

3 特低渗透油藏压裂水平井渗流机理

水平井在特低渗透油藏和中、高渗透油藏中具有完全不同的渗流特征和渗流机理。中、高渗透油藏水平井主要有射孔完井、裸眼完井和筛管完井,依赖水平

井筒增加油藏泄油面积,改善渗流场特征[图 5(a)]。水平井近井地带为径向渗流,端部为球形向心流。由 Joshi 公式可知,中、高渗透油藏水平井产能是水平段长度的函数。特低渗透油藏水平井由套管完井,分段射孔压裂,井筒本身没有增加泄油面积,仅依靠水力裂缝大幅增加泄油面积。由表 3 和图 3 可知,油藏流体在天然能量和注水能量作用下,率先流入数量有限的水力裂缝,然后进入水平井筒。注水和人工裂缝导致储层流体渗流具有很强的方向性,水平井边部裂缝的流线数量大于中间裂缝;裂缝数量越多,中间裂缝的生产能力越低,即特低渗透油藏压裂水平井主要依赖边部裂缝生产[图 5(b)]。建立注水井与各裂缝之间有效驱替,充分发挥各条裂缝的增产能力是特低渗透油藏压裂水平井开发的关键。

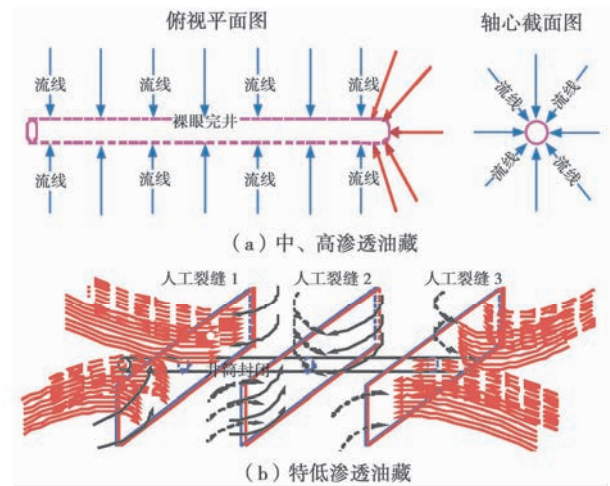


图 5 不同渗透率级别油藏水平井渗流机理
Fig. 5 Percolation mechanism of horizontal wells in reservoirs with different permeability

4 结 论

- (1) 物理模拟和数值模拟表明,等缝长压裂水平井的边部裂缝生产能力较强,中间裂缝生产能力较弱。
- (2) 固定水平段长度时,随裂缝数量增加,压裂水平井产能逐渐增大,但增加幅度逐渐减小,存在最优裂缝数量。
- (3) 相同井排距条件下,特低渗透油藏压裂水平井以较短水平段为宜。较长水平段的中部区域难以建立有效驱替系统,导致阶段采出程度降低以及相同采出程度时的含水率升高。
- (4) 在井排距和裂缝间距均保持不变时,裂缝数量越多,单井控制储量线性增加,其相对累积产油量增加幅度逐渐减小,相对采出程度逐渐降低,水驱受效程度差。特低渗透油藏压裂直井开发的技术评价效果

最佳。

(5)特低渗透油藏水平井的渗流机理完全不同于中、高渗透油藏。中、高渗透油藏依赖水平井筒增加泄油面积,水平井产能是水平井筒长度的函数;特低渗透油藏压裂水平井依赖裂缝生产,在注水井和各条裂缝之间均建立有效驱替系统是压裂水平井开发特低渗透油藏的关键。

参 考 文 献

- [1] 郎兆新,张丽华,程林松. 压裂水平井产能研究[J]. 石油大学学报:自然科学版,1994,18(2):43-46.
Lang Zhaoxin, Zhang Lihua, Cheng Linsong. Investigation on productivity of fractured horizontal well[J]. Journal of the University of Petroleum, China; Edition of Natural Science, 1994, 18(2): 43-46.
- [2] 张学文,方宏长,裴峰楠,等. 低渗透率油藏压裂水平井产能影响因素[J]. 石油学报,1999,20(4):59-63.
Zhang Xuewen, Fang Hongchang, Qiu Yi'nan, et al. A study on factors affecting the performance of hydraulically fractured horizontal well in low permeability reservoirs[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(4): 59-63.
- [3] 宁正福,韩树刚,程林松,等. 低渗透油气藏压裂水平井产能计算方法[J]. 石油学报,2002,23(3):69-71.
Ning Zhengfu, Han Shugang, Cheng Linsong, et al. Productivity calculation method of fractured horizontal wells in low permeability oil or gas field[J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(3): 69-71.
- [4] 徐严波,齐桃,杨凤波,等. 压裂后水平井产能预测新模型[J]. 石油学报,2006,27(1):89-91.
Xu Yanbo, Qi Tao, Yang Fengbo, et al. New model for productivity test of horizontal well after hydraulic fracturing[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(1): 89-91.
- [5] 曾凡辉,郭建春,徐严波,等. 压裂水平井产能影响因素[J]. 石油勘探与开发,2007,34(4):474-477.
Zeng Fanhui, Guo Jianchun, Xu Yanbo, et al. Factors affecting production capacity of fractured horizontal wells[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 474-477.
- [6] 冉新权,程启贵,屈雪峰,等. 特低渗透砂岩油藏水平井网形式研究[J]. 石油学报,2009,29(1):89-92.
Ran Xinquan, Cheng Qigui, Qu Xuefeng, et al. Study on horizontal well pattern in ultra-low permeability sandstone reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 29(1): 89-92.
- [7] 李廷礼,李春兰. 低渗油气藏压裂水平井产能电解模拟实验研究[J]. 中国海上油气,2005,17(6):389-393.
Li Tingli, Li Chunlan. The electrolytic simulation experiment research of fractured horizontal well's productivity in low permeability reservoirs[J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(6): 389-393.
- [8] 高海红,曲占庆,赵梅. 压裂水平井产能影响因素的实验研究[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2008,30(4):74-76.
Gao Haihong, Qu Zhanqing, Zhao Mei. Experimental study on the factors affecting the productivity of fractured horizontal well[J]. Journal of Southwest Petroleum University, China; Science & Technology Edition, 2008, 30(4): 74-76.
- [9] 蒋凌志,顾家裕,郭彬程. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理[J]. 沉积学报,2004,22(1):13-18.
Jiang Lingzhi, Gu Jiayu, Guo Bincheng. Characteristics and mechanism of low permeability clastic reservoir in Chinese petroliferous basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 13-18.
- [10] 刘震,赵政璋,赵阳,等. 含油气盆地岩性油气藏的形成和分布特征[J]. 石油学报,2006,27(1):17-23.
Liu Zhen, Zhao Zhengzhang, Zhao Yang, et al. Predominant characteristics of formation and distribution for lithologic reservoirs in petroliferous basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(1): 17-23.
- [11] 张春雷,段林娣,王志章. 储集层随机建模的改进河道模型条件算法[J]. 石油勘探与开发,2004,31(4):76-78.
Zhang Chunlei, Duan Lindi, Wang Zhizhang. Improved condition algorithm of fluvial facies for reservoir stochastic modeling[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(4): 76-78.
- [12] Liu Yuhong, Journal A G. Improving sequential simulation with a structured path guided by information content[J]. Mathematical Geology, 2004, 36(8): 945-964.

(收稿日期 2010-02-11 改回日期 2010-05-08 编辑 张怡)

(上接第 790 页)

Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, et al. The formation conditions and distribution characteristics of continuous petroleum accumulations [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 324-331.

- [8] 布规律[J]. 特种油气藏,2004,11(5):27-30.
Wang Hua'ai, Gao Yongjin, Zhang Jianzhong, et al. Forming conditions and distribution law of stratigraphic hydrocarbon reservoirs in Wangzhuang area[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2004, 11(5): 27-30.
- [11] 张春雷,段林娣,王志章. 储集层随机建模的改进河道模型条件算法[J]. 石油勘探与开发,2004,31(4):76-78.
Zhang Chunlei, Duan Lindi, Wang Zhizhang. Improved condition algorithm of fluvial facies for reservoir stochastic modeling[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(4): 76-78.
- [12] Liu Yuhong, Journal A G. Improving sequential simulation with a structured path guided by information content[J]. Mathematical Geology, 2004, 36(8): 945-964.
- [10] 王化爱,高永进,张建忠,等. 王庄地区地层油气藏形成条件及分

(收稿日期 2010-01-24 改回日期 2010-04-15 编辑 黄小娟)