

射孔参数对射孔—砾石充填井表皮系数的影响分析*

任 勇¹ 郭建春² 陆灯云¹ 疏壮志³(1.四川石油管理局井下作业公司 2.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油大学
3.中石化南方勘探开发公司)

任勇等.射孔参数对射孔—砾石充填井表皮系数的影响分析.天然气工业,2006,26(4):65-67.

摘 要 射孔过程对油、气井的产能影响有利有害,它既能为油气流提供通道,又可对产层造成相当的伤害。如果工艺和射孔参数选择得当,就可以使射孔对产层的伤害最小,否则将适得其反。文章在通过建立射孔—砾石充填井表皮系数计算模型的基础上,分析了射孔—砾石充填井的孔深、孔径、孔密等射孔参数对表皮系数的影响及其程度。应用此模型计算官 10 井的表皮系数高达 13.89,对该井优化了射孔方案,经过实施深部酸化增产作业后,成功地使官 10 井的产量由原来的 709 m³/d 增加到平均 6.0×10⁴ m³/d。相对于压力恢复试井解释表皮系数,文中提出的射孔—砾石充填井的表皮系数计算方法具有速度快,精度较好的特点,能有效地模拟出孔深、孔径、孔密等射孔参数对其的影响。

主题词 完井 射孔参数 表皮系数 射孔 砾石充填

射孔完井既能有效封隔和支撑疏松易塌陷的生产层,又能分层开采和分层作业。但射孔既为油气流提供通道,又可能对产层造成伤害。如果工艺和射孔参数选择得当,就可以使射孔对产层的伤害最小,否则将适得其反。当前评价射孔损害的有产率比(*PR*)、损害比(*DR*)、表皮系数^[1](*S*)等参数,由于产率比和损害比都需要射孔前后产层的渗透率,不易准确评价射孔后产能受到损害的程度,故研究表皮系数对油气井产能的影响就显得尤为突出。Harris^[2]等人用数学模型进行了射孔研究,采用有限差分法,将孔眼看成理想楔形,以 1/4 孔眼来研究,制作成一套曲线来计算表皮因子,但曲线用起来比较困难,同时还有人为的误差。Hong^[3]也采用有限差分法,把孔眼视为理想楔形,其结果用两组诺模图给出。根据地层是否受到损害、孔眼是否穿过污染带来选择图,从图中求得表皮因子,进而求产率,应用比较方便。潘迎德^[4]等人根据射孔完井电模拟及有限元数学模型研究的结果,计算了射孔完井的表皮系数,分析了射孔参数对产能的影响。本文在已有工作的基础上,利用建立的射孔—砾石充填井表皮系数计算模型,着重分析了射孔参数对表皮系数的影响,以期对确定伤害程度(即表皮系数)、准确认

识产层、优化增产措施提供一定的帮助。

一、射孔—砾石充填井表皮系数计算模型

在射孔—砾石充填完井中,表皮效应主要是由于炮眼及砾石充填环空的高渗透率,油气流以高的流速通过射孔孔道而产生。本文将井底附近的压降分为来自井筒附近区域收敛流动的压力降和一个通过水泥、套管和筛管穿过孔道的压力降。假设在射孔伤害区域的流动是径向流,那么可以通过下式来对井筒附近收敛流动的压力降(Δp_1)和射孔—砾石充填段压降(Δp_2)可分别由以下二项式计算^[5]:

$$\Delta p_1 = 0.159A \left(\frac{q}{n} \right) + 0.025281B \left(\frac{q}{n} \right)^2 \quad (1)$$

$$\Delta p_2 = (A_p + A_c)q + (B_p + B_c)q^2 \quad (2)$$

根据达西定律得非完善井的产量计算公式:

$$\Delta p_{\text{非}} = \frac{q \mu B_0 \left(\ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{1}{2} + S \right)}{0.543 Kh} \quad (3)$$

假设 Δp 是由井筒附近收敛流动的的压降(Δp_1)和射孔—砾石充填层段压降(Δp_2)组成。

由于 $\Delta p_{\text{非}} = \Delta p_{\text{完}} + \Delta p$,将式(1)和式(2)代入式(3),进而得:

* 本文系四川省青年科技基金项目(编号:04ZQ026-052)。

作者简介:任勇,1980年生;2005年获西南石油大学油气田开发工程硕士学位,现在四川石油管理局井下作业公司从事油气田开采和增产技术的研究工作。地址:(610051)四川省成都市。电话:13579003293。E-mail:swpiry@163.com

$$S = \frac{0.543Kh}{\mu_o B_o} \left[0.159A \left(\frac{1}{n} \right) + 0.025281B \left(\frac{q_o}{n^2} \right) + (A_p + A_c) + (B_p + B_c)q \right] \quad (4)$$

上式即为通过普通径向流方程为基础来计算表皮系数的表达式。

二、不同射孔参数对表皮系数的影响

根据建立的射孔—砾石充填井表皮系数计算模型,编制了模拟计算程序,充分考虑了不同的射孔参数对砾石充填井表皮系数的影响。

1. 单个射孔参数影响分析

(1)孔深。在未受损害的地层中,孔深增加,油井的表皮系数减小,但它是一条减速递减的曲线,即开始时增加孔深对表皮系数减小的作用更大。在有污染存在压实带的情况下,如果穿透深度小于损害厚度,则表皮系数随孔深的增加而减小的趋势很明显,但如果穿透深度大于损害厚度,表皮系数随孔深的增加而减小的趋势则不是很明显。根据模拟程序计算,孔深从0.1 m增加到0.2 m时,表皮系数从12.22减小到1.07,孔深增加0.1 m,表皮系数减小了11.15;而孔深从0.3 m增加到0.4 m时,表皮系数只减小了2.20。可见,此时的射孔深度已经大于损害厚度,孔深对表皮系数的影响已经不是很显著了。

(2)孔密。孔密较小时对表皮系数的影响较为明显,而当孔密达到一定程度时,其对表皮系数的影响就不如孔密小时那么明显了。例如,当孔密为10孔/m时,表皮系数为13.36,孔密由10孔/m增加到16孔/m时,表皮系数减小了4.68,而当孔密由25孔/m增加到32孔/m时,在增加几乎同样的孔密度下,表皮系数只减小了2.76。即表皮系数与孔密的关系曲线是一条减速递减的曲线,表皮系数并非随着孔密的增加而线性递减。

(3)孔径。表皮系数随着孔径的增加而减小。在孔径较小时,孔径对表皮系数的影响较为明显,而当孔径达到一定程度时,再增加孔径对表皮系数的影响就不如孔径小时那么明显了。即孔径较小时增加孔径对表皮系数减小的作用更大,但它递减的幅度并不是很大。

2. 多个射孔参数影响分析

(1)不同孔密下表皮系数与孔深关系。从分析计算我们可以得出,除了表皮系数随孔深的增加减速递减外,不同孔密对表皮系数的影响并不一样。如在孔深为0.2 m时,孔密从10孔/m增加到16

孔/m,表皮系数减小了4.68;而孔密从25孔/m增加到32孔/m,0.2 m孔深下的表皮系数仅减小了2.76。因此,并不是越大的孔密就越好,一定孔深有一个最佳的孔密,在此孔深上增加孔密并不能显著的减小表皮系数。

(2)不同孔密下表皮系数与孔径关系。由表皮系数模拟计算程序可以求出不同孔密下表皮系数与孔径关系。根据计算,除了表皮系数随孔径的增加减速递减外,不同孔密对表皮系数的影响并不一样。在10孔/m的孔密下,孔径为0.01 m时的表皮系数为10.76,孔密增加到16孔/m,同样孔径下的表皮系数为7.46,减小了30.7%。而孔密从25孔/m增加到32孔/m,0.01 m孔径下的表皮系数仅减小了7.8%。因此,并不是越大的孔密就越好,一定孔径有一个最佳的孔密。

(3)不同孔径下表皮系数与孔深关系。经过分析,孔浅时比孔深时孔径对油井表皮系数的影响要大。孔径为0.01 m时,孔深从0.1 m增加到0.2 m的过程中,表皮系数减幅达10.48,孔深从0.3 m增加到0.4 m的过程中,表皮系数减幅仅2.22。而在不同的孔径下,增加同样的孔深对表皮系数的影响不是很明显。例如,孔径为0.03 m时,孔深从0.1 m增加到0.2 m的过程中,表皮系数减幅为8.25。因此,可以看出,孔径对表皮系数的影响并不是很明显。同时又由于目前国内所用的射孔弹型直径的变化范围较小,总的来说孔径对表皮系数的影响较小。

三、实例分析

官10井是中石化南方分公司部署在四川盆地川南低褶带官渡构造带官南构造南长轴的一口预探井。该井在2004年3月29日完钻,采用射孔完井。官10井于2004年7月12日到2004年8月3日进行了完井试气,试气的地面计量仅为709 m³/d。采用本文给出的表皮系数计算公式,计算出的表皮系数高达13.89,认定是一口有污染的低产气井,通过本文的模拟计算,认定射孔参数不合理,近井地带存在钻井、完井堵塞。图1是本文为官10井模拟计算的不同孔密条件下的表皮系数值。

针对官10井的具体情况,对其设计了解堵深部酸化方案,通过补孔增加酸化目的储层的吸液厚度和面积,能有效降低酸化施工所造成的近井地带摩阻,改善其近井周围储层的渗流能力,也能达到降低施工压力的目的。结合现场施工实际,优化设计后的射孔方案如表1所示。

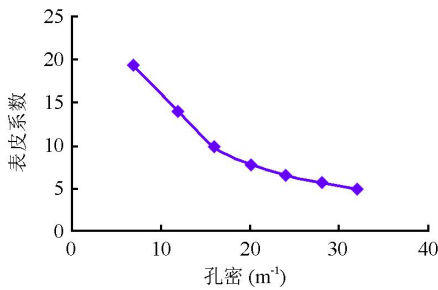


图 1 官 10 井不同孔密下的表皮系数值

表 1 官 10 井优化射孔方案设计表

层位	井段 (m)	有效厚度 (m)	枪型	弹型	原有孔密 (孔/m)	增加孔密 (孔/m)	总孔数 (孔)	射孔方式	相位角
须四段	2520.0~2522.0	2	∅127 枪	大一米弹	12	12	48	油管传输射孔	60°
须四段	2522.0~2523.0	1	∅127 枪	大一米弹	0	16	16	油管传输射孔	60°
须三段	2532.0~2535.0	3	∅127 枪	大一米弹	12	12	72	油管传输射孔	60°

官 10 井在 2004 年 9 月 10 日补射孔后进行了前置液压裂酸化作业,返排完后用本文模拟计算的表皮系数为 -0.31,表皮系数下降了 14.2,说明储层酸化解堵效果显著;根据二项式方程计算的绝对无阻流量高达 $22.89 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,经过 2004 年 9 月 19 ~ 21 日 3 次测试,稳定产气量高达 $3.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、

$6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $8.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,取得了显著的经济效益。

四、结 论

(1)相对于压力恢复试井解释表皮系数,本文提出的射孔—砾石充填井的表皮系数计算方法具有速度快,精度较好的特点,能有效的模拟出孔深、孔径、孔密等射孔参数对其的影响。

(2)通过对官 10 井的模拟分析表明,本文的模型能够较好的应用于现场实际的优化计算,验证了本文计算方法的正确性以及适用性。

参 考 文 献

[1] 赵敏,徐同台.保护油气层技术[M].北京:石油工业出版社,1995.

[2] HARRIS M H. The effect of perforating on well productivity[R]. Gulf Research and Development Co, 1991.

[3] HONG K C. Productivity of perforating: Completions in Formation with or without Damage [R]. Chevron oil Field Research Co, 1994.

[4] 潘迎德,唐愉拉,冯跃平.射孔完井的产能预测及射孔参数优化设计[J].石油学报,1991,12(2).

[5] 郭建春,任勇,赵金洲.一种计算射孔—砾石充填井表皮系数的新方法[J].钻采工艺,2004,27(3).

(收稿日期 2005-11-06 编辑 钟水清)