

井间不同流动单元生产压差预测方法

孙来喜 孙建平 杨凤波 姚国平
(河南石油勘探开发研究院, 河南南阳 473132)

在油水两相中, 流体渗流服从达西定律, 由此可以建立流动单元的生产压差计算公式。流动单元主要依据储层的渗透率、孔隙半径和岩性特征来进行。双河油田可划分为 4 种不同的流动单元。计算结果表明: 双河油田不同流动单元的理论压差值与实测值吻合。

关键词 流动单元 达西定律 生产压差 预测

第一作者简介 孙来喜 男 34 岁 工程师 石油地质

1 生产压差预测原理

在油水两相区中, 流体渗流服从达西定律^[1~2], 平面径向两相渗流时, 若不考虑油水密度差和毛细管力的影响, 通过两相渗流区中任一截面 (A) 的油水总量 (Q_L) 可由下式求取^[1~2]

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_w + Q_o \\ &= \frac{K K_{rw}}{\mu_w} A \frac{dP}{dr} + \frac{K K_{ro}}{\mu_o} A \frac{dP}{dr} \\ &= AK \left(\frac{K_{rw}}{\mu_w} + \frac{K_{ro}}{\mu_o} \right) \frac{dP}{dr} \end{aligned} \quad (1)$$

式中 Q_L 为产液量 (m^3/d); Q_w 为产水量 (m^3/d); Q_o 为产油量 (m^3/d); K 为井区平均渗透率 (μm^2); K_{rw} 为水相渗透率; K_{ro} 为油相渗透率; A 为截面积 (m^2); P 为外边界压力 (MPa); r 为外边界半径 (m); μ_o 为原油粘度 ($mPa \cdot s$); μ_w 为地层水粘度 ($mPa \cdot s$)。

从油井驱动半径 r_e 处到井筒半径 r_w , 压力由 P_e 降为 P_{wf} , 分离变量积分可得下式^[3]

$$\int_{P_{wf}}^{P_e} dP = \frac{Q_L}{2\pi h K} \frac{1}{\frac{K_{rw}}{\mu_w} + \frac{K_{ro}}{\mu_o}} \int_{r_w}^{r_e} \frac{1}{r} dr \quad (2)$$

单位换算后, 得

$$\Delta P = P_e - P_{wf} = 0.0116 \frac{Q_L}{2\pi h K} \frac{1}{\frac{K_{rw}}{\mu_w} + \frac{K_{ro}}{\mu_o}} \ln \frac{r_e}{r_w} \quad (3)$$

式中 ΔP 为生产压差 (MPa); P_e 为静压 (MPa); P_{wf} 为流动压力 (MPa); r_e 为驱动半径 (m); r_w 为井筒半径 (m)。

根据 (3) 式可以预测不同类型储层不同含水阶段不同产液量下的生产压差; 同时在油井生产过程中, 可以先计算出生产压差和流压, 再计算出地层压力 (即静压)。流压计算公式为

$$P_{wf} = P_{\text{套}} + 0.01(L - M) \rho_o + 0.01(H - L) \bar{\rho} \quad (4)$$

式中 $P_{\text{套}}$ 为油套环空气柱压力 (MPa); L 为泵挂深度 (m); M 为动液面 (m); H 为油层中部深度 (m); $\bar{\rho}$ 为油水混合液密度 (g/cm^3)。地层压力:

$$P_e = \Delta P + P_{wf} \quad (5)$$

根据计算出的地层压力、流压、生产压差等参数, 可以指导后期开发中不同流动单元的注水及采油工艺措施的实施, 开发政策界限的制定, 以及井网调整方式的确定。

2 流动单元生产压差计算步骤

2.1 流动单元的划分

流动单元是横向和垂向上连续的具有相似的渗透率、孔隙度和层理特征的储集带^[4]。它的确定不仅取决于所在垂向层中的地质特征和位置, 也取决于岩石物理特征, 尤其是孔隙度和渗透率^[4]。

在沉积相和夹层研究基础上, 双河油田储层由小层进一步细分为单层、细单层, 同时进一步研究储层的渗透率、孔隙度、孔隙结构等岩石物理特性和岩性特征, 将细单层进一步划分为 4 种类型的流动单元 (表 1)。

表 1 双河油田流动单元的划分

Table 1 Classificatoin of flow units in Snuanghe Oilfield

类 型	渗透率区 间/ μm^2	孔隙半 径/ μm	岩 性 特 征
单元 1	> 1	22.78	含砾或砾状中-粗砂岩,分选 好,泥质含量 1.34%
单元 2	0.4~1	12.27	中-粗砂岩,分选较好,泥 质含量 1.91%
单元 3	0.1~0.4	9.30	含粉砂的中-细砂岩,分选 较好,泥质含量 1.91%
单元 4	0.01~0.1	2.06	含粉砂的细-极细砂岩,分 选较好,泥质含量 3.50%

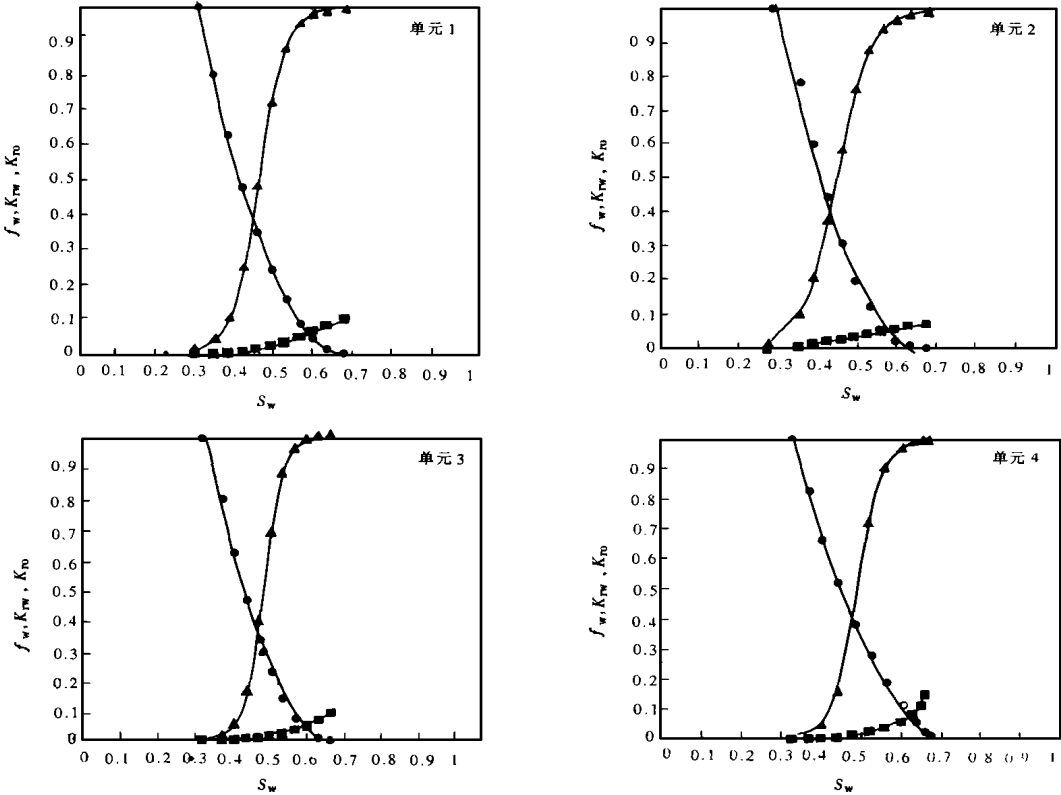


图 1 双河油田各类流动单元相对渗透率曲线

Fig. 1 Relative permeability curves of flow units in Shuanghe Oilfield

表 2 双河油田不同类型流动单元归一化渗流特征

Table 2 Generalized percolation properties of different flow units in Shuanghe Oilfield

渗流 单元	$K/\mu\text{m}^2$	$S_w/\%$	$\phi/\%$	$\phi_{\text{Sor}}/\%$	拟 合 规 律
1	> 1	30.41	32.01		$K_{ro} = 8.2212S_w^2 - 10.891S_w + 3.6088 \quad R^2 = 1$
					$K_{rw} = 0.9055S_w^2 - 0.5941S_w + 0.0977 \quad R^2 = 0.99$
					$\ln(1-f_w)/f_w = -29.455S_w + 13.78 \quad r = 0.99$
2	0.4~1	28.06	32.33		$K_{ro} = 9.872S_w^2 - 12.582S_w + 4.0105 \quad R^2 = 0.99$
					$K_{rw} = 0.0325S_w^2 - 0.1928S_w + 0.0635 \quad R^2 = 1$
					$\ln(1-f_w)/f_w = -24.12S_w + 10.36 \quad r = 0.99$
3	0.1~0.4	32.16	33.32		$K_{ro} = 10.094S_w^2 - 13.235S_w + 4.3407 \quad R^2 = 1$
					$K_{rw} = 1.1026S_w^2 - 0.8628S_w + 0.1681 \quad R^2 = 0.99$
					$\ln(1-f_w)/f_w = -36.82S_w + 18.54 \quad r = 0.99$
4	0.01~0.1	32.78	34.02		$K_{ro} = 5.6161S_w^2 - 8.3329S_w + 3.0841 \quad R^2 = 1$
					$K_{rw} = 1.2289S_w^2 - 0.9265S_w + 0.1737 \quad R^2 = 0.99$
					$\ln(1-f_w)/f_w = -28.12S_w + 14.18 \quad r = 0.99$

注: r 为相关系数; R^2 为复相关系数

2 2 参数求取

2. 2. 1 相渗透参数的求取

不同类型的流动单元其渗流特征不同,通过取芯井岩样测试结果的归一化可以获得各类流动单元的相渗透率曲线,从而可以获得不同流动单元的相渗透参数(K_{ro} 和 K_{rw})及含水率(f_w)与含水饱和度(S_w)关系曲线(图 1,表 2)。

2. 2. 2 其它参数的求取

从室内试验分析可知,双河油田原油粘度 $\mu_o = 2.5 \sim 7.5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,地层水粘度 $\mu_w = 0.5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。从矿场资料可知,双河油田井径 $r_w = 7 \sim 9.5 \text{ cm}$,驱动半径 $r_e = 75 \sim 87.5 \text{ m}$ 。

2 3 计算实例

根据双河油田检 1 井、检 5 井、检 6 井、检 4 井、H₄₀₁井等计算结果(表 3)与实测结果的交汇点位于 45°线附近(图 2),说明计算值与实测值基本一致。

3 讨论

生产压差计算的准确程度取决于各项参数选

表 3 双河油田不同流动单元生产压差计算结果

Table 3 Calculated results for producing pressure differences of different flow units in Shuanghe Oilfield

井 号	层 位	井深/ m	厚度/ m	抽深/ m	动液面/ m	套 压	流 压	静压	实际压差	含水/ %	日 产 液/ m ³	渗 透 率/ μm ²	计算压差/ MPa	流动单元类型
						M Pa								
双检 1	II 5	1 493. 1	3. 3	600	450	0. 00	9. 74	10. 30	0. 56	74. 7	24. 90	0. 90	0. 48	单元 2
双检 5	V 8	1 714. 0	0. 9	890	710	1. 49	10. 84	17. 31	6. 47	70. 3	47. 15	0. 40	6. 10	单元 3
双检 5	V 7	1 704. 5	1. 0	600	400	0. 16	12. 45	14. 69	2. 24	92. 4	84. 43	1. 20	2. 57	单元 1
双检 6	IV4	1 741. 0	2. 0	1 200	950	0. 00	7. 36	11. 00	3. 64	73. 8	60. 70	0. 44	3. 17	单元 2
双检 6	IV4	1 734. 8	1. 6	1 200	1 000	0. 00	6. 92	10. 88	3. 96	99. 8	47. 10	0. 08	2. 74	单元 4
双检 1	II 5	1 496. 4	1. 2	600	450	0. 00	9. 69	10. 55	0. 86	59. 2	27. 00	0. 60	0. 87	单元 2
双检 4	VII3	1 994. 4	2. 0	1 000	850	0. 00	10. 26	13. 71	3. 45	0. 00	30. 35	0. 11	3. 02	单元 3
双检 4	VII2	1 978. 4	1. 9	900	750	0. 00	11. 61	16. 28	4. 67	98. 0	38. 02	0. 06	3. 59	单元 4
双检 5	V 19	1 807. 0	2. 0	650	500	0. 80	13. 17	16. 23	3. 06	98. 8	49. 17	0. 08	3. 11	单元 4
H401	IV4(1)	1 745. 0	1. 6	1 450	1 300	0. 00	4. 06	13. 45	9. 39	23. 5	21. 70	0. 04	8. 21	单元 4
双检 4	VII2	1 972. 7	2. 2	830	650	0. 00	12. 51	16. 19	3. 68	99. 5	51. 17	0. 08	2. 98	单元 4
双检 6	II 4	1 497. 6	1. 2	1 100	960	0. 30	5. 15	8. 24	3. 09	4. 6	35. 11	0. 08	3. 96	单元 4
H401	IV3(3)	1 735. 5	1. 0	1 650	1 550	0. 00	1. 68	10. 27	8. 59	0. 0	6. 30	0. 01	9. 00	单元 4
H401	IV1(3)	1 699. 7	2. 2	1 000	800	0. 00	8. 48	11. 35	2. 87	98. 3	30. 44	0. 05	2. 77	单元 4

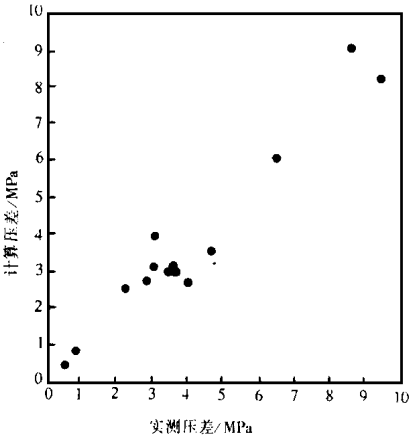


图 2 双河油田实测压差与计算压差交汇图

Fig.2 Cross plot of measured and calculated pressure difference in Shuanghe Oilfields

取的准确性及流动单元划分的可靠程度;该方法在 新老井中均可应用,可以避免关井测压造成的资源 浪费;同时也可以解决分层测压资料少的矛盾。在 新井多段射孔时,可以根据预测的分层压力合理组 合射孔层段,以减少层间层内干扰;同时,也可以根 据计算的地层压力确定合理的射孔液密度,以减少 油层污染。

参 考 文 献

1 罗蛰潭. 油层物理. 北京:地质出版社,1989. 29

2 葛家理. 油气层渗流力学. 北京:石油工业出版社,1984. 149 ~ 152

3 李发印. 油井地层压力与驱动半径计算新方法. 石油勘探与 开发, 1992, 19(6): 90~ 93

4 Hearn C L, Ebanks W J Jr, Tye R S, et al. Geological factors influ- encing reservoir performance of the Hartzog Draw Field, Wyom ing. JPT, 1984 36(9): 1335~ 1344

PREDICTION METHOD FOR PRODUCING PRESSURE DIFFERENCES OF INTERWELL FLOW UNITS

Sun Laixi Sun Jianping Yang Fengbo Yao Guoping
(Henan Institute of Petroleum Exploration and Development, Nanyang, Henan)

Abstract

In oil and water phases, fluid percolation obeys Darcy's law. According to this, the formula for calculating producing pressure differences of the interwell fluid units could be established. The fluid units could be classi- fied according to the pore radius, permeability and petrophysical property of a reservoir. The fluid units in Shuanghe Oilfields could be divided in to 4 different types. Calculated results suggest that the theoretical pres- sure differences of different flow units in Shuanghe Oilfields fitted well to the measured pressure differences.

Key words flow unit Darcy's law producing pressure difference prediction