

水平井同倾斜角度产液剖面计算模型

宋文广¹,江琼琴¹,李疾翎²,黎明³

(1. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室,湖北 武汉 430100; 2. 中海油田服务股份有限公司,河北 三河 065201;
3. 中国石油 青海油田分公司测试公司,青海 茫崖 816400)

摘要:由于重力等因素水平井内油气水出现层流等流型,与传统直井、斜井中完全不一样,传统的产液剖面解释方法在水平井中应用存在着较大误差。为了提升水平井产液剖面解释精度、提高油气采收率,研究一种新的产液剖面解释方法迫在眉睫。首先在分析国内外现有的解释方法基础上,再结合水平井流型机理试验,通过分析实验数据发现在水平井中倾斜角度相同并且流体各相参数都不变时,流型也不变,但是倾斜角度轻微变化也会对流型产生较大的影响。因此,提出同倾斜角度解释模型计算水平井产液剖面各相流量值,并结合计算机软件工程的思想设计出反演计算方法,对模型进行软件实现,最终推算出各解释层产液剖面数据。通过对22口测井数据的比较分析,验证得知单相流解释结果误差不超过7.8%,多相流解释结果误差不超过9.8%,总流量解释误差不超过9.68%。该解释方法提高了水平井产液剖面解释精度,能满足工程应用要求。

关键词:同倾斜角度;产液剖面;水平井;生产测井解释

中图分类号:TE132 **文献标识码:**A

Equal-tilt-angle production profile calculation model of horizontal wells

Song Wenguang¹, Jiang Qiongqin¹, Li Jiling², Li Ming³

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China; 2. China Offshore Oilfield Services Limited, Sanhe, Hebei, 065201, China; 3. Qinghai Oilfield Company Testing Company, PetroChina, Mangai, Qinghai 816400, China)

Abstract: Due to factors like gravity, laminar flow of oil, gas and water occurs in horizontal wells, which completely differs from the traditional vertical or slant wells. When applied to horizontal wells, the traditional fluid production profile interpretation method often produces errors. Thus it is imminent to create a new interpretation method for horizontal wells, so as to improve its interpretation accuracy and to enhance oil recovery. In this paper, we first analyzed the existing interpretation methods, and then describe the experimental results of horizontal well flow pattern mechanism. Our test data showed that the flow pattern remains constant when the tilt angle and the fluid parameters in each phase of the horizontal wells are the same. Yet a slight change in the inclined angle has great impact on the flow pattern. Therefore, we proposed an equal-tilt-angle interpretation model to calculate the flow rates of each phases in horizontal wells, designed an inversion algorithm, and programmed the model for calculation of fluid production of each layer. Comparative analysis with logging data from 22 wells showed that the error is less than 7.8% for single phase flow interpretation, less than 9.8% for multi phase flow interpretation, and less than 9.68% for total flow interpretation. Experimental results show that this interpretation method can improve the interpretation accuracy of fluid production profile in horizontal wells, and meet the requirements of engineering applications.

Key words: equal-tilt-angle, production profile, horizontal well, production logging interpretation

近年来我国各大油田都开钻了一定数量的水平井,其生产测井解释精度都不是很理想^[1]。许多研究院所和高校对水平井流型机理进行了深入分析和研究,有了一定的科学理论基础^[2],但是水平井产液剖面

解释精度一直都不能满足现实生产的要求^[3]。鉴于此情形,本文在工程研究的基础上,先分析水平井流型机理、再研究持水率与含水率之间的关系,最后结合现有的解释方法,设计出同倾斜角度计算模型、并通过软件

收稿日期:2014-07-12;修订日期:2015-07-05。

第一作者简介:宋文广(1979—),男,副教授,软件工程、生产测井解释方法研究与软件研制。E-mail:whswg1979@126.com。

通讯作者简介:江琼琴(1980—),女,博士生、讲师,油气渗流理论与应用、油气田开发理论与方法。E-mail:swgjq@126.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05020-006);湖北省教育厅项目(Q20141312);油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学)开放基金资助项目(K2013-06)。

工程的思想进行计算机软件仿真,达到完善该解释模型、提高水平井解释精度的目的。

1 水平井倾斜角度变化与流型变化关系

在实验室进行水平井多相流流型分析实验,实验使用的井筒管道内径为 124 mm,井筒为玻璃透明管件,管长 5.2 m。井筒倾斜角度从垂直至完全水平等各个角度进行流体相态试验,流型相态变化可以通过透明的管道直接观察得到。通过数码相机拍照得到如图 1 所示一组图文数据。

图 1 中 90°为完全水平状态,89°为向上倾斜状态,91°为向下倾斜状态,依此类推。在低流量时(流量小于 100 m³/d),从实验采集的图片数据分析可知,在流体样本配比不变的情况下,倾斜角度变化 1°也会导致流型发生较大变化。如在 91°和 90°时,流体配比不变,其流型也会呈现完全不一样的状态。在完全水平时,流体呈现层流状,流体边界比较清晰。在非完全水平段,流型就会有较大变化。实验中还发现,如果流体样本配比不变、倾斜角度也不变、此时流型呈现的状态基本一致。因此可以得知,水平井中倾斜角度变化对流型变化有着较大的影响。

2 同倾斜角度解释模型设计

通过实验分析可知,在同一倾斜角度情况下,若流量、流速和各相流体含率都不变时,其流型也不会变。鉴于此现象,提出一种同倾斜角度计算模型。采用优化方法计算各相产液剖面值,如果两个相同倾斜角度

段计算出来的产液剖面值大小一致,则说明这段井筒内无产出,否则就有产出。以此类推,进行分段逐层比较,计算解释层段之间的差值来推算出各解释层产液剖面值。计算模型设计过程如下所述。

图 2 中,油气水流动方向为从右向左流动,11 和 12,21 和 22,31 和 32 分别设定为倾斜角度相同的 3 对解释层段,先计算出图中标记出来的每个解释层段的产量值如 $Q_{11}, Q_{12}, Q_{21}, Q_{22}, Q_{31}, Q_{32}, \dots$, 单位 m³/d。再通过公式(1)计算各个解释层段之间的差值 Δ (单位 m³/d)。

$$\Delta_i = Q_{i1} - Q_{i2} \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

同理,结合各相持率值再计算出这些解释层段的油、气、水各相产量值。

当 $\Delta = 0$,则意味着在这两个解释层段之间没有产出值;如果 $\Delta > 0$,则意味着在这两个解释层段内有产出,其产量值为 Δ ;如果 $\Delta < 0$ 则意味着有吸入情况出现,吸入量为 Δ 。通过这种方法,逐段比对、精细分析,可以准确找到产出层,再精确计算出产量值。

生产测井解释方法重点之一是要能准确计算出流体视速度 v_a 值和速度剖面校正系数 C_v 值^[4]。 v_a 值通过测量数据计算得到,测量方法有涡轮流体速度测量、示踪测量等。不同的测量方法,求取 v_a 值的方法也不一样,例如涡轮流体速度测量方法中,使用涡轮交会的方法求取 v_a 值^[5]。

该解释方法中提出用反演计算的方法计算 v_a 值。

$$v_a = Q / (C_v \times P_c) \quad (2)$$

式中: Q 为设定的产量值, m³/d; C_v 为流体速度剖面校正系数, P_c 为管径常数, m²。

C_v 值的求取过程,先计算相关几个重要的参数:套管内径 D 、管内液体的平均流速 v_m 、流体密度、流体

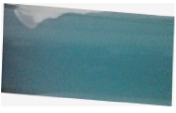
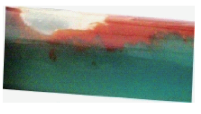
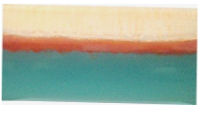
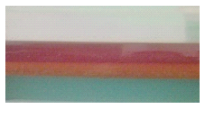
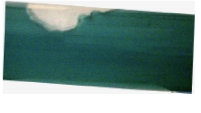
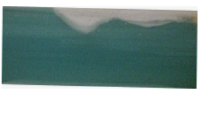
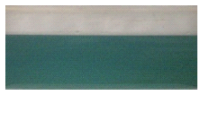
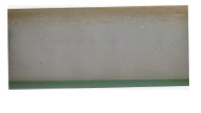
水/气/油流量/ (m ³ ·d ⁻¹)	93°	91°	90°	89°	87°
60/30/0					
30/30/30					
30/30/0					

图 1 水平井多相流数据实验相片

Fig. 1 Experiment photograph of multiphase flow in horizontal wells

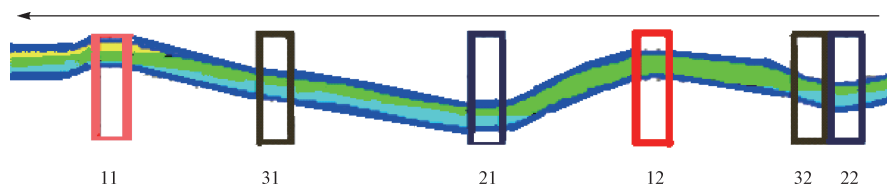


图2 同倾斜角度比对解释方法设计

Fig. 2 Design of equal-tilt-angle comparison based interpretation method

黏度^[7-8]。由这几个参数计算出雷诺数,再根据插值算法,计算雷诺数对应的速度剖面校正系数 C_v 值。 P_c 为管径常数(由仪器参数计算得到)^[6]。如果 Q 值与实际产量值相等,计算得到的 v_a 值与测井曲线实测得到的 v_a 值一致,则设定的 Q 即为所求产量值。否则对 Q 值进行优化处理,直至反演计算得到的 v_a 值与实测数据计算得到的 v_a 值接近时,停止优化处理过程。这时得到的 Q 值即为所求产量值。再根据公式(1)计算每个解释层段对应的产量值。

2.1 计算原理设计

根据前面研究,提出一种同倾斜角度产液剖面流量值计算模型,其计算流程如图3所示。

具体计算过程如下所述。

第一步:首先绘制水平井井眼轨迹,根据井眼轨迹定性判断出水平井近水平段,再根据倾斜角度值划分出同倾斜角度的解释层段。

第二步:根据井下相态,给定一个假设的全流量层初始产量值,计算流体平均速度值,根据雷诺数与速度剖面之间的关系计算出速度剖面校正系数,再计算视流体速度值。

第三步:根据漂流模型或滑脱模型,计算出漂流速度或滑脱速度,接着计算各相持率值。如果计算得到的各相持率值与相应的实测持率值一致或者比较接近,则说明给定的初始产量值与实际产量值比较符合,否则利用计算得到的各相持率作为已知参数,再进行运算。设计产量值替代解释层段初始产量值,再计算各相持率值。重复执行第二步至第三步。

第四步:得到各相持率值后,接着计算各相流体速度值。判断各相流体速度值与实测流速值是否吻合,如果接近一致,则继续计算各相密度值,否则重新设定初始产量值,再计算各相持率、各相流速值。重复执行第二步至第四步,直至各相持率值、各相密度值与相应的实测数据吻合,即停止循环过程。

第五步:在各相持率值、流体速度值计算准确的基础上,接着计算各相密度值,如果计算得到的各相密度值与实测的密度值基本一致,则停止计算过程。否则重新设置初始产量值,重复第二步至第五步操作,直至计算得到的各相持率值、各相流体速度值、各相密度值

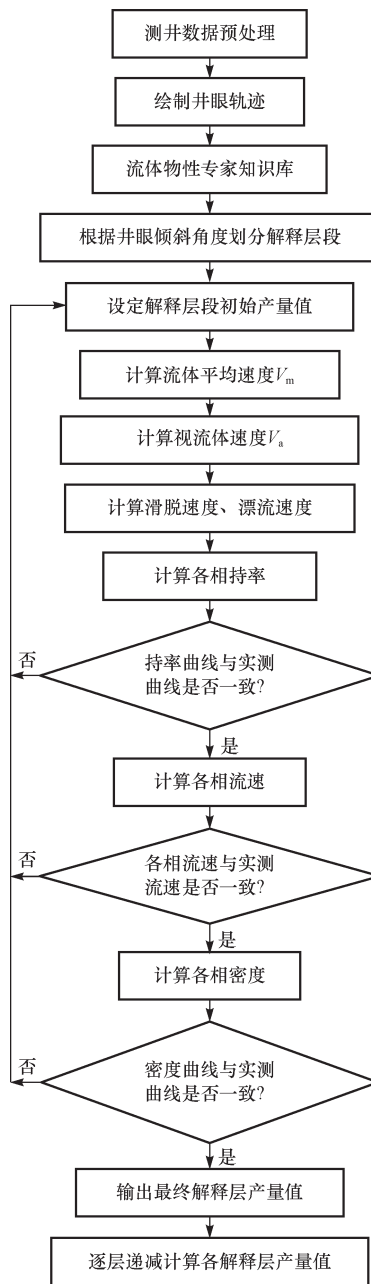


图3 同倾斜角度产液剖面反演计算设计流程

Fig. 3 Design process of inversion calculation of equal-tilt-angle production profile

与相对应的实测持率值、流体速度值、密度值基本一致,则结束优化过程。最后得到的产量值则为所求,相应计算得到的流体平均速度、视流体速度、滑脱速度、漂流速度、各相持率值、各相流体速度值、各相流体密度值即为所求。

第六步:根据流体物性专家知识库中计算的参数值,结合第五步中所求的值,采用全流量层逐层递减的方法,计算各解释层对应的各相流量值。

以油水两相流为例,详细介绍同倾斜角度产液剖面反演优化计算全流量层产量值、流体平均速度、视流体速度、滑脱速度、漂流速度、各相持率值、各相流体速度值、各相流体密度值。井筒内流型为油水两相流,采用滑脱模型来计算。

根据井眼轨迹,划分同倾斜角度的解释层。首先利用公式(3)计算管径常数^[9]。

$$P_c = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

式中: P_c 为管径常数, m^2 ,下同,表示井筒管径截面积; D 为井筒管径的内径, m 。接着用公式(4)计算流体平均速度。

$$v_m = \frac{Q_o + Q_w}{P_c} \quad (4)$$

式中: v_m 为流体速度, m/min ,下同; Q_o 为油相流量值, m^3/d ,下同; Q_w 为水相流量值, m^3/d ,下同。再根据 C_v 值(其取值范围0.5~0.83,无量纲),结合公式(5)计算视流体速度值 v_a (单位 m/min ,下同)。

$$v_a = \frac{v_m}{C_v} \quad (5)$$

利用公式(6)计算出油的表观速度 v_{so} (单位 m/min ,下同)。表观速度是指单位时间内,井筒内流量值除以井筒横截面积的值。

$$v_{so} = \frac{Q_o}{P_c} \quad (6)$$

利用公式(7)计算出水的表观速度 v_{sw} (单位 m/min ,下同)。

$$v_{sw} = \frac{Q_w}{P_c} \quad (7)$$

计算出 v_m, v_{so}, v_{sw} 值,结合测量数据 ρ_w (地层水密度,单位 g/cm^3)、 ρ_o (原油密度,单位 g/cm^3)、 θ (水平井倾斜角度,单位为度)等参数,再根据二元一次方程组公式(8),计算出水平井校正后的滑脱速度 v_s 和持水率 Y_w ^[10-11]。 v_s 表示油和水的真实速度之差值。

$$\begin{cases} v_s = 12.013(\rho_w - \rho_o)^{\frac{1}{4}} \exp \left[-0.788(1 - Y_w) \ln \frac{1.85}{\rho_w - \rho_o} \right] (1 + 0.04\theta) \\ v_{so} = (1 - Y_w)v_m + Y_w(1 - Y_w)v_s \end{cases} \quad (8)$$

通过式(8)计算出持水率 Y_w ,持油率 Y_o 可以用式(9)计算得到。

$$Y_o = 1 - Y_w \quad (9)$$

最后用公式(10)和公式(11)计算出油实际流速 v_o (单位 m/min)、水实际流速 v_w (单位 m/min)。

$$v_o = \frac{v_{so}}{1 - Y_w} = \frac{Q_o}{P_c(1 - Y_w)} \quad (10)$$

$$v_w = \frac{v_{sw}}{Y_w} = \frac{Q_w}{P_c Y_w} \quad (11)$$

上述公式即为反演计算关键曲线数据值过程,将反演计算结果与测量数据进行对比,即可判断公式(4)中的初始设置产量 Q_o 和 Q_w 值是否准确^[12-13]。如果反演推算得到的数据,与测量的数据基本一致,说明计算结果准确(此时得到的产量值即为所求),反之计算的结果数据存在一定的误差,需要进一步优化求解。

通过上述方法计算得到水平井各解释层段产液剖面值 Q_o 和 Q_w ,再结合公式(1)计算得到同倾斜角度之间的差值,以准确找到产出层及其相应参数值。

2.2 计算模型仿真

利用软件工程的设计思想,结合工程设计的思路,通过计算机软件实现所研究的解释方法,其仿真软件计算得到产液剖面解释结果如图4所示。

图4中基本曲线有磁定位曲线CCL、自然伽马曲线GR(单位API)、测流速曲线8条(TS01, TS02, TS03, TS04, TS05, TS06, TS07, TS08, 单位 m/min)、涡轮响应曲线8条(FL01, FL02, FL03, FL04, FL05, FL06, FL07, FL08, 单位RPS)、参考曲线有温度曲线(单位 $^{\circ}C$)、压力曲线(单位MPa)、持水率计数曲线(单位CPS)、密度曲线(单位 g/cm^3)、井筒中填充示例是射孔层的标识^[14-15]。每个射孔层对应的单层产量计算结果和产出剖面填充如图4右边两列填充图所示,产量单位 t/d 。利用同倾斜角度对测井数据进行解释,将解释结论与实测数据进行比对,以验证解释方法的合理性,完善该解释模型。

3 解释结果精度验证

为了验证该解释方法的科学性,总共分析了22口生产测井产液剖面解释数据,将测井解释结果数据与井口计量实测数据进行比对分析。表1中数据是该软件模块多相流解释结果与井口实测数据误差分析表。

通过表1数据分析可知,软件模块解释最大误差为9.8%是三相流水平井,误差相对较小的是油水两相流水平井。单相流解释结果数据如表2所示。

通过表2可知,与井口实测数据对比可知分层流量误差最大为7.8%,最小误差为0.7%。总流量误差统计分析数据如表3所示。

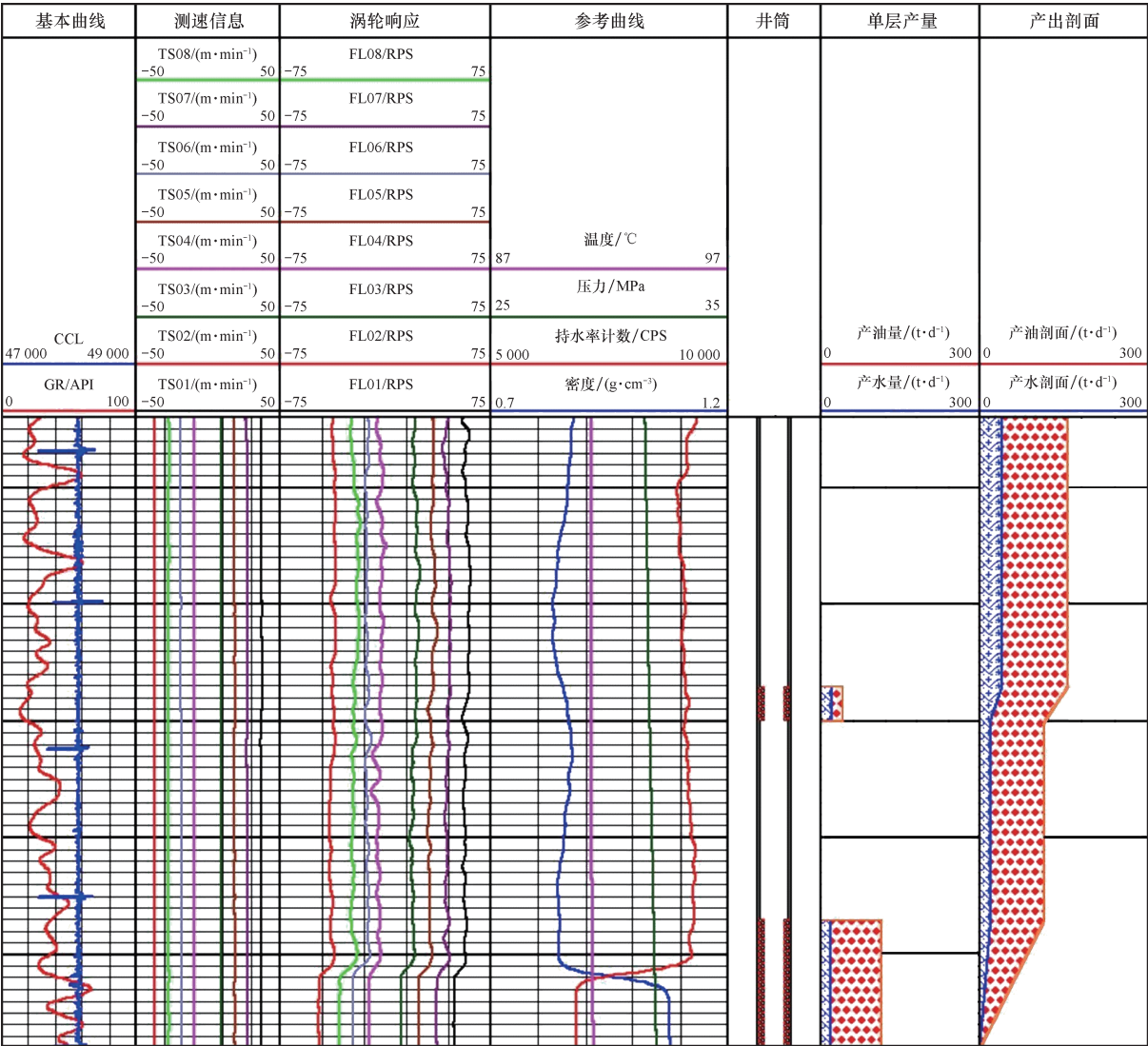


图 4 同倾斜角度产液剖面解释结果

Fig. 4 Simulation software of equal-tilt-angle production profile

表 1 多相流解释结果与井口实测数据对比

Table 1 Comparison of the interpretation results with well head measurement of multiphase flow

井名	解释层段深度/m	产出量/(m ³ ·d ⁻¹)						误差/%		
		仿真软件			实测数据					
		油	气	水	油	气	水	油	气	水
OG1	2 091. 93 ~ 2 099. 82	63. 34	215. 36	0	66. 63	226. 20	0	5. 10	5. 10	0
OG1	2 124. 76 ~ 2 127. 98	52. 74	179. 32	0	56. 37	191. 70	0	6. 80	6. 90	0
OG2	1 879. 93 ~ 1 886. 3	47. 53	123. 58	0	52. 52	135. 57	0	9. 50	9. 70	0
OG2	1 911. 13 ~ 1 915. 08	41. 07	106. 79	0	45. 67	118. 94	0	9. 20	9. 30	0
OW1	3 810. 39 ~ 3 816. 20	120. 37	12 131. 22	80. 59	123. 72	12 640. 56	80. 59	2. 70	4. 10	0. 50
OW1	3 840. 15 ~ 3 846. 67	101. 42	12 112. 27	61. 64	104. 76	12 621. 61	61. 64	3. 30	4. 20	0
OGW2	3 047. 715 ~ 3 057. 617	91. 33	7 903. 52	41. 16	95. 14	8 205. 81	53. 79	0. 10	0. 10	0. 30
OGW2	3 068. 741 ~ 3 079. 743	72. 38	7 884. 57	22. 21	76. 19	8 186. 86	24. 84	5. 20	3. 80	9. 80

通过分析表 3 中 14 口测试井的计量数据可知,井中有气体时解释误差明显偏大为 9. 68%,单相流解释精度较高,最大误差仅为 4. 42%。

通过表 1、表 2、表 3 数据分析,解释精度达到了 90% 以上,能满足生产测井解释要求。

4 结论

由于在低流量时,倾斜角度的变化对流型变化有着较大影响,因此在前人研究的基础上,针对多相流的

表 2 单相流解释结果与井口实测数据对比

Table 2 Comparison of the interpretation results with well head measurement of single-phase flow

井名	解释层段深度/m	产出量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)		误差/%
		仿真软件	实测数据	
W1	全流量层	169.30	168.10	0.70
W1	1 602.99 ~ 1 607.43	49.90	48.80	2.20
W1	1 633.40 ~ 1 641.09	55.38	59.72	7.80
W2	全流量层	482.56	489.72	1.50
W2	1 388.9 ~ 1 395.5	131.60	135.00	2.50
W2	1 408.45 ~ 1 411.25	59.30	60.10	1.30
O1	全流量层	1 233.50	1 251.70	1.45
O1	1 627.25 ~ 1 632.95	200.31	210.54	4.86
O1	1 660.45 ~ 1 673.15	415.75	401.59	3.53
O2	全流量层	826.30	838.30	1.43
O2	1 966.45 ~ 1 984.95	551.10	565.80	2.59
O2	2 042.65 ~ 2 054.80	272.00	278.20	2.23
O3	全流量层	900.50	921.50	2.28
O3	1 419 ~ 1 421	187.26	192.19	2.57
O3	1 655 ~ 1 658	667.58	703.14	5.06

表 3 软件模块解释总流量数据与井口实测数据对比

Table 3 Comparison of the interpretation results with well head measurement of total flow

井名	井口实测结果			仿真软件			相对误差		
	总产液/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	含水率/ %	产气量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	总产液/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	含水率/ %	产气量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	总产液/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	含水率/ %	产气量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
O1	16.9			17.6			4.14		
O2	63.3			60.5			4.42		
W1	168.1			169.3			0.71		
W2	489.7			482.6			1.45		
W3	1251.7			1 233.5			1.45		
G1			80 856.9			77 258.5			4.45
GW1	73.6		146 350.0	70.1		145 875.1	4.76		0.30
OW1	295.7	90.2	680.1	298.1	90.2	745.9	0.83	0.04	9.68
OW2	67.8	60.7	238.7	68.7	64.6	231.5	1.36	6.49	2.99
OW3	61.8	39.2	550.4	61.5	40.1	562.4	0.51	2.19	2.18
OW4	119.9	62.8	695.6	121.5	66.1	691.1	1.29	5.26	0.66
OW5	201.4	40.2	12 131.3	199.6	44.0	11 265.1	0.88	9.37	7.14
OG1	55.2		4 077.5	56.6		4 428.3	2.65		8.60
OGW3	58.4	32.3	1 197.5	57.9	30.2	1 296.4	0.86	6.54	8.26

流型机理及解释方法进行了研究与分析。深入分析大斜度井与水平井近水平段的流体形态,提出一种同倾斜角度计算模型,用于计算产液剖面值。并且根据该方法设计出解释模型的算法流程图,且以油水两相流推理出相关的算法模型及公式。最后结合软件工程设计思想,根据设计的算法实现了仿真软件模块。结合

测井数据,分析并完善了同倾斜角度计算模型,提高了水平井解释精度。

参 考 文 献

[1] 王晓冬,于国栋,李治平. 复杂分支水平井产能研究[J]. 石油勘探与开发,2006,33(6):729-733.

- Wang Xiaodong, Yu Guodong, Li Zhiping. Productivity of horizontal wells with complex branches[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(6): 729–733.
- [2] Wang Jialu, Jiang Ruyi. Physical modeling of a sidetrack horizontal well production to improve oil recovery[J]. Science in China (Series E: Technological Sciences), 2002, 45(4): 353–364.
- [3] Lum J Y L, Lovick J, Angeli P. Dual continuous horizontal and low inclination two-phase liquid flows [J]. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 2004, 83(2): 303–315.
- [4] Yue Ping, Du Zhimin, Chen Xiaofan et al. Critical parameters of horizontal well influenced by semi-permeable barrier in bottom water reservoir [J]. Journal of Central South University, 2015, 22(4): 1448–1455.
- [5] 廉黎明, 秦积舜, 杨思玉, 等. 水平井渗流模型分析评价及发展方向[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(6): 821–827.
- Lian Liming, Qin Jishun, Yang Siyu, et al. Analysis and evaluation on horizontal well seepage models and their developing trends[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(6): 821–827.
- [6] 计秉玉. 国内外油田提高采收率技术进展与展望[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 111–117.
- Ji Bingyu. Progress and prospects of enhanced oil recovery technologies at home and abroad[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 111–117.
- [7] Marwan N, Wessel N, Meyerfeldt U et al. Recurrence plot based measures of complexity and its application to heart rate variability data[J]. Physical Review E, 2002, 66(2): 267–272.
- [8] 许杰, 董宁, 朱成宏, 等. 致密砂岩地震预测在水平井轨迹设计中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 909–913.
- Xu Jie, Dong Ning, Zhu Chenghong, et al. Application of seismic data to the design of horizontal well trajectory in tight sandstone reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 909–913.
- [9] 翟路生, 金宁德, 郑希科, 等. 水平井生产测井组合仪模拟井测量数据分析与模型建立[J]. 地球物理学报, 2012, 55(4): 1411–1421.
- Zhai Lusheng, Jin Ningde, Zheng Xike. The analysis and modeling of measuring data acquired by using combination production logging tool in horizontal simulation well [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(4): 1411–1421.
- [10] 唐钦锡. 水平井地质导向技术在苏里格气田开发中的应用——以苏10和苏53区块为例[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(3): 388–393.
- Tang Qinxi. Application of geosteering technology in the development of Sulige gas field—case studies of the Su10 and Su53 blocks[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 388–393.
- [11] 宗艳波. 倾斜及水平油水两相管流流动特性测量[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- Zong Yanbo. Measurement of the Properties of Oil-Water Two-Phase Flow in Inclined and Horizontal Pipes[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009.
- [12] Liu D H, Zhang G W, Sun J, et al. Optimization design of horizontal wells development in low permeability gas reservoir in Su 53–4 Well Area[J]. Procedia Engineering, 2011, 18(11): 398–404.
- [13] Yue P, Du Z M, Chen X F, et al. The critical rate of horizontal wells in bottom-water reservoirs with an impermeable barrier[J]. Petroleum Science, 2012, 9(2): 223–229.
- [14] Afsar J A, Shahab S, Hassan D. Analyzing the production data of fractured horizontal wells by a linear triple porosity model: Development of analysis equations[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2013, 16(10): 478–483.
- [15] Lu Jing, Wu Xiling. Experimental study of gas-water elongated bubble flow during production logging[J]. Petroleum Science, 2011, 8(6): 157–162.

(编辑 张亚雄)

《石油与天然气地质》荣获第八届全国石油和 化工行业优秀报刊评选一等奖

由中国石油和化学工业联合会、中国化工情报信息协会组织开展的第八届全国石油和化工行业优秀报刊评选活动结果揭晓,《石油与天然气地质》以优异的成绩荣获了第八届全国石油和化工行业优秀报刊评选一等奖。《石油与天然气地质》编辑部感谢广大读者的关注,将会再接再厉,再创佳绩!

张亚雄 供稿