

压裂井极限抽汲返排率的确定

郭 权

(大庆油田有限责任公司试油试采分公司, 大庆 163412)

摘 要 本文利用离子浓度组成分析的方法, 计算了大庆油田试油井试油求产阶段的压裂液抽汲返排率, 定义并得出了压裂液的极限抽汲返排率。结果表明: 在抽汲返排水性稳定以后, 压裂液的返排率为 75% 左右, 即有 25% 左右的压裂液残留在地层中无法返排出来; 在抽汲排液阶段, 压裂液的抽汲返排率一般低于 15%, 压裂液的极限抽汲返排率为 15%, 即从地层中最多能抽汲出 15% 的压裂液。

关键词 离子浓度 试油 压裂液 返排率

中图法分类号 TE357.5; **文献标志码** B

水力压裂是重要的油气井增产措施, 水力压裂过程中压裂液在裂缝内外压差的作用下不可避免地会向地层内滤失, 会污染地层, 而压后的压裂液返排则是水力压裂作业过程中的重要环节, 确定压裂液返排率的大小对评价压裂效果起着重要的作用。汪翔^[1]等人对裂缝闭合过程中的压裂液返排机理进行了详细的阐述, 并建立了裂缝闭合过程中的返排量计算模型。胡景宏^[2]等人根据压裂液返排的物理过程, 建立了裂缝闭合前后返排量的计算模型, 得到了压裂液返排率, 然而他们都没有针对试油求产阶段的抽汲返排进行研究。本文将返排过程分为自喷阶段的返排和抽汲阶段的返排, 自喷阶段的返排可以通过油井压裂后放喷出来的液量确定, 但是在抽汲阶段, 因可能有地层水产出, 根据产出液量无法准确估算返排出的压裂液量。本文针对这一问题, 利用离子浓度组成分析方法, 对油田实际试油求产阶段的压裂液抽汲返排率进行了计算。

压裂液的抽汲返排率是指在抽汲排液阶段, 所抽汲出来的压裂液量占所泵入压裂液总量的百分比。在自喷返排结束后, 需要进行抽汲返排, 将残

留在缝内及滤失到地层中的压裂液抽吸返排出来。而压裂液抽汲返排率的最大值, 则定义为压裂液的极限抽汲返排率。

1 求解原理

在现场压裂液抽汲返排过程中, 由于自喷返排阶段压裂液并未完全返排出地面, 因此, 返排出的水中含有原始地层水, 也含有压裂施工过程中泵入地层的压裂液, 根据离子组成浓度分析的方法可以确定抽汲阶段所返排出水中的压裂液量, 从而可以确定压裂液的抽汲返排率^[3,4]。

返排液中一般含有 CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 离子, 本文中以 Cl^- 为研究对象, 在抽汲取样的任一时刻, 对返排液取样中 Cl^- 浓度进行分析, 用来判断抽汲返排液中压裂液和地层水的组成情况^[5]。首先, 已知所配制的压裂液中 Cl^- 的浓度为 $C_{\text{压裂液}}$, 以及原始地层水中 Cl^- 的浓度为 $C_{\text{地层水}}$, 假设任意时刻一个周期返排液取样的体积为 $V_{\text{取样}}$, 样品中 Cl^- 浓度为 $C_{\text{取样}}$, 取样中所含压裂液的体积为 $V_{\text{压裂液}}$, 取样中所含地层水的体积为 $V_{\text{地层水}}$ 。则根据公式(1)和公式(2):

$$C_{\text{取样}} V_{\text{取样}} = C_{\text{压裂液}} V_{\text{压裂液}} + C_{\text{地层水}} V_{\text{地层水}} \quad (1)$$

$$V_{\text{取样}} = V_{\text{压裂液}} + V_{\text{地层水}} \quad (2)$$

可推出公式(3):

$$V_{\text{压裂液}} = V_{\text{取样}} (C_{\text{地层水}} - C_{\text{取样}}) / (C_{\text{地层水}} - C_{\text{压裂液}})$$

(3)

由此可计算出任一时刻一个周期内返排液取样中压裂液和地层水所占的比例,即其中含有多少压裂液和地层水。

下面以实际井为例,分析抽汲返排时,取样的每一时刻的一个周期中返排出的压裂液量。

2 实例计算

以现场实际试油排液求产曲线数据为基础,以自喷返排放喷出口处记录的Cl⁻浓度作为压裂液的Cl⁻浓度,以抽汲后期水性稳定时的Cl⁻浓度作为地层水Cl⁻的浓度,即区域水性的Cl⁻浓度,根据式(3)计算每一排液周期所抽汲出的返排液中压裂液所占的体积。再将每一排液周期中返排出的压裂液量求和,得出抽汲阶段返排的压裂液累积产出量,最后根据此压裂液累积产出量即可求出压裂液抽汲返排率。

下面以大庆油田扶杨油层 A1 井为例进行计算分析。表 1 给出了 A1 井的压裂液累积产出量及压裂液的抽汲返排率。已知累计排液量和每一取样周期中的氯离子浓度,根据前面的求解原理,即可求出返排液中的压裂液量。已知放喷出口处的氯离子浓度为 95.4 mg/L,以此作为压裂液的氯离子浓度,水性稳定时的氯离子浓度为 2 430 mg/L,以此作为地层水的氯离子浓度,进行计算。由表中的已知数据及计算结果可以看出,自喷返排液为 60 m³,一般自喷返排液全部都是压裂液,那么抽汲到最后,压裂液的累积产量为 72.88 m³,则抽汲返排阶段共抽汲出压裂液 12.88 m³,该井压裂施工阶段共打入压裂液 98.6 m³,所以抽汲返排液中压裂液所占全部泵入压裂液的比率为 13.06%,即该井压裂液抽汲返排率为 13.06%。该井现场实际的以总产液量计算的返排率为 103.1%,而以产出压裂液计算的返排率为 73.91%,可以看出其差值为 29.19%,此部分不是压裂液,而是地层产出的水。

表 1 A1 井计算的相关数据

取样累积 时间/h	取样地点	累计排液 /m ³	周期产 液量/m ³	氯离子 /(mg·L ⁻¹)	返排液中压 裂液量/m ³	压裂液累积 产量/m ³	以总产液量计算 的返排率/%	以产出压裂液 计算的返排率/%
16.5	放喷出口	60.00		95.4		60.00	60.85	60.85
21	抽汲出口	67.70	7.70	1 310	3.69	63.69	68.66	64.60
27	抽汲出口	69.50	1.80	1 280	0.89	64.58	70.49	65.50
57	抽汲出口	75.78	6.28	1 330	2.96	67.54	76.86	68.50
77	抽汲出口	79.64	3.86	1 730	1.16	68.70	80.77	69.67
89	抽汲出口	81.82	2.18	1 840	0.55	69.25	82.98	70.23
101	抽汲出口	83.92	2.10	1 840	0.53	69.78	85.11	70.77
113	抽汲出口	85.76	1.84	1 850	0.46	70.24	86.98	71.23
125	抽汲出口	87.58	1.82	1 790	0.50	70.73	88.82	71.74
137	抽汲出口	89.34	1.76	1 800	0.47	71.21	90.61	72.22
149	抽汲出口	90.98	1.64	2 150	0.20	71.41	92.27	72.42
161	抽汲出口	92.52	1.54	2 220	0.14	71.54	93.83	72.56
173	抽汲出口	94.02	1.50	2 220	0.13	71.68	95.35	72.70
185	抽汲出口	95.48	1.46	1 840	0.37	72.05	96.84	73.07
197	抽汲出口	96.84	1.36	1 800	0.37	72.42	98.22	73.44
209	抽汲出口	98.08	1.24	1 800	0.33	72.75	99.47	73.78
221	抽汲出口	99.26	1.18	2 390	0.02	72.77	100.67	73.80
233	抽汲出口	100.44	1.18	2 390	0.02	72.79	101.87	73.82
241	抽汲出口	101.26	0.82	2 180	0.09	72.88	102.70	73.91
245	抽汲出口	101.66	0.40	2 430	0.00	72.88	103.10	73.91

运用同样的方法以 A2 井、A3 井、A4 井、A5 井、A6 井、A7 井、A8 井、A9 井、A10 井抽汲返排阶段的试油排液求产数据进行计算,在水性稳定后,计算的压裂液最终返排率如表 2 所示。由表 2 可见:油井实际返排率均大于压裂液返排率,且部分油井的实际返排率大于 100%,这是因为返排液中含有产出的地层水。分析表 2 如下:

(1) 10 口井的压裂液返排率介于 23. 5% ~ 73. 91% 之间。A5 井的压裂液最终返排率最低,为 23. 5%, A1 井的压裂液最终返排率最高,为 73. 91%, A1 井有 26. 09% 的压裂液渗入地层不能够返排出来,即有约 25% 的压裂液不能返排出来。可以看出,在抽汲结束后,返排率最高的井仍有 25% 左右的压裂液无法返排出来。

(2) 在水性稳定后,10 口井抽汲阶段产出压裂液占总泵入压裂液的比率为 0. 52% ~ 14. 97%。可以认为,抽汲阶段,从地层中抽汲出的压裂液占总泵入压裂液的比率一般不超过 15%,即抽汲返排率一般低于 15%,根据前面的定义,压裂液的极限抽汲返排率为 15%。

3 结论

(1) 在水性稳定以后,压裂液不再产出,压裂液的返排率为 75% 左右。

(2) 压裂液的抽汲返排率一般低于 15%,压裂液的极限抽汲返排率为 15%。

表 2 10 口井的压裂液最终返排率

序号	井号	油井实际 返排率 /%	计算的压 裂液返排 率/%	抽汲阶段产出压裂 液占总泵入压裂 液的比率/%
1	A1 井	103. 1	73. 91	13. 06
2	A2 井	96. 96	64. 97	14. 97
3	A3 井	87. 92	61. 78	0. 62
4	A4 井	82. 43	65. 86	8. 16
5	A5 井	78. 62	23. 5	13. 56
6	A6 井	77. 55	71. 34	3. 97
7	A7 井	77. 47	71. 4	9. 98
8	A8 井	72. 24	59. 11	0. 52
9	A9 井	67. 31	53. 79	10. 56
10	A10 井	35. 21	26. 96	6. 46

参 考 文 献

1 汪 翔. 裂缝闭合过程中压裂液返排机理研究与返排控制. 北京:中国科学院渗流流体力学研究所,2004

2 胡景宏. 压裂液返排模型及应用研究. 重庆:西南石油大学,2007

3 胡景宏,何顺利,李勇明,等. 压裂液返排率的理论计算. 钻采工艺,2008;31(5): 99—102

4 卢拥军. 压裂液对储层的损害及其保护技术. 钻液与完井液, 1995; 12(5): 23—24

5 熊湘华. 低压低渗透油气田的低伤害压裂液研究. 重庆:西南石油学院博士论文,2003

The Determine of Limited Swabbing Flowback Rate of Fracturing Wells

GUO Quan

(Well Testing and Oil Extraction Company, Daqing Oilfield Co. Ltd. , Daqing 163412, P. R. China)

[Abstract] The swabbing flowback rate of fracturing fluid in the stage of well testing in Daqing Oilfield can be calculated by using the method of analyzing ion concentration. The definition of limited swabbing flowback rate of fracturing fluid is also exhibited here. The results show that the fracturing fluid flowback rate is 75% when the Ion concentration of the water which is flowed back from the reservoir. That is to say that 25% of the quantity of fracturing fluid is detained in the reservoir. The swabbing flowback rate is always less than 15%. So the limited swabbing flowback rate is 15%.

[Key words] ion concentration oil extraction fracturing fluid flowback rate