

文章编号:1006-4095(2006)04-0031-03

注聚后水驱油藏含水变化规律研究

吕爱民¹,姚 军¹,薛兆杰²

(1. 中国石油大学(华东),山东东营 257061;2. 中国石化胜利油田有限公司孤岛采油厂)

摘要:采用多种方法对孤岛油田中一区 Ng4 注聚后水驱油藏的含水变化规律进行了分析,应用理论计算、动态数据回归、童氏图版对比等方法建立了该油藏含水率随采出程度变化的关系式。文中对建立的各种含水率预测模型进行了检验,模型优选出最佳预测模型,并在此基础上建立了含水上升率变化模型。

关键词:油藏;注聚后水驱;含水率;含水上升率

中图分类号:TE331

文献标识码:A

注聚后水驱阶段,由于前期注入的聚合物将长期滞留地下,直接影响开发动态,呈现出既不同于聚合物驱又有别于常规水驱的开发特征,因此对注聚后水驱油藏的含水变化规律进行研究便显得十分必要和迫切。

1 油田概况

中一区 Ng4 单元位于孤岛油田主体部位,南北被孤岛一号、二号大断层切割,东西两边分别与中二区和西区自然连接,西南部为中一区 Ng3-6 层系。中一区 Ng4 单元含油面积 11.8 km²,有效厚度 14.5 m,地质储量 2 857×10⁴ t,油藏埋深为 1 229.5 m,储层为河流相正韵律沉积的疏松砂岩油层,孔隙度 31.9%,油层温度 70 ℃,原始地层压力 12.35 MPa。地下原油粘度 50 mPa·s 左右,地面原油粘度 83~1 635 mPa·s,地面原油密度为 0.957 g/cm³。

1971 年 9 月中一区 Ng3、Ng4 合采投入开发,1974 年 9 月以 270×300 m 的反九点注水方式投入注水开发,1983 年 10 月细分为 Ng3、Ng4 两套层系,1997 年 1 月 Ng4 单元实施聚合物驱,实施后取得了明显降水增油效果,单元年产油比注聚前有较大幅度的提高。2000 年 7 月转入后续水驱,2000 年 7 月至 2001 年 4 月为含水小幅度下降阶段,历时 9 个月,含水由 86.2% 下降至 85.0%;日产油水平由 1 752 t 上升到 1 803 t。2001 年 5 月结束含水下降期,进入含水回返期。2003 年 4 月中一区 Ng4 单元采出程度 46.4%,综合含水 91.7%。

2 含水变化规律研究

2.1 流管法研究含水率与采出程度关系

含水率与采出程度关系理论曲线由流管概算法^[1]计算得到。该方法以一维两相渗流理论为基础,并考虑了油层渗透率的非均质性和水驱油的非活塞特点,可反映油田的基本特征。根据岩心分析渗透率或电测解释渗透率统计其渗透率分布规律;并选择能代表油田特征的油水相对渗透率曲线,便可应用流管法进行计算。油藏注聚后水驱的含水率与采出程度曲线应是聚合物驱与水驱综合作用的结果。将注入聚合物的孔隙体积倍数作为这一综合作用的权系数,便可得到注聚后水驱的综合含水与采出程度关系曲线(如图 1)。

图 1 显示,常规水驱与注聚后水驱两个阶段理论曲线和实际曲线符合程度均较高。表明计算过程中所选择的相渗曲线及油藏渗透率分布均可反映油藏实际情况,预测油藏未来动态时具有较高的可信度。流管法计算表明,该区块常规水驱至含水率 98% 时采收率为 44.1%,注聚后水驱至含水率 98% 时采收率可达 52.9%。

由于流管法计算相对比较复杂,综合含水变化规律难以用简单的数学公式加以描述,而从理论曲线上读点虽然直观,但不够方便准确。为了便于现场应用,用多项式对理论曲线进行逼近,得

收稿日期:2006-01-04;改回日期:2006-03-20

作者简介:吕爱民,讲师,1970 年生,1994 年毕业于石油大学石油工程专业,博士研究生,主要从事油气田开发方面的教学和研究工作。电话:0546-8391192

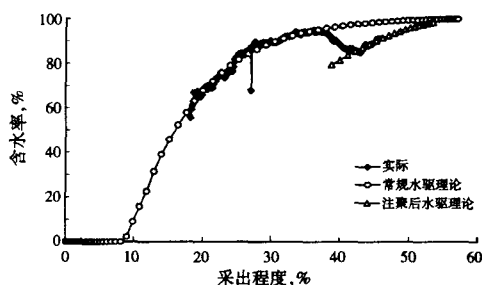


图1 孤岛中一区 Ng4 含水率与采出程度关系曲线

到了含水率与采出程度的二项式关系为:

$$f_w = -0.0299R^2 + 4.073R - 33.255 \quad (1)$$

$$r = 0.9996$$

式中: f_w ——油田的综合含水, %; R ——采出程度, %; r ——相关系数。

该关系式的相关系数高达 0.9996, 表明二项式规律可准确描述理论曲线的特征, 并可较好反映注聚后水驱的实际开发规律, 可作为孤岛油田中一区 Ng4 注聚后水驱含水动态预测的理论公式。

2.2 统计回归法研究综合含水与采出程度关系

为了全面研究孤岛中一区 Ng4 注聚后水驱含水率随采出程度的实际变化规律, 先后建立了多种数学模型, 并对油田实际开发数据进行了回归分析, 得到的预测公式如下:

(1) 二项式规律:

$$f_w = -0.2326R^2 + 22.571R - 454.69 \quad (2)$$

$$r = 0.965$$

(2) 对数式规律:

$$f_w = 86.806 \ln R - 240.54 \quad (3)$$

$$r = 0.961$$

(3) 指数式规律:

$$f_w = 33.142e^{0.222R} \quad (4)$$

$$r = 0.959$$

(4) 乘幂函数式规律:

$$f_w = 2.1301R^{0.9831} \quad (5)$$

$$r = 0.959$$

上述四种公式相关系数均较高, 可较好反映数据自身的规律性。

2.3 童氏图版法研究含水与采出程度关系

童氏含水率与采出程度图版的理论关系式^[2]为:

$$\lg \frac{f_w}{1-f_w} = 7.5(R - R_m) + 1.69$$

式中: R_m ——标定采收率, 小数。

每个油藏的开采特征表现在不同的 R_m 值, 其含水率与采出程度关系曲线也各不相同。如果以 R_m 为模数, 就可以在普通坐标纸上作出含水率与采出程度曲线群。将实际曲线与该曲线群对比(图2)即可得到描述该油藏含水率随采出程度变化规律的表达式。

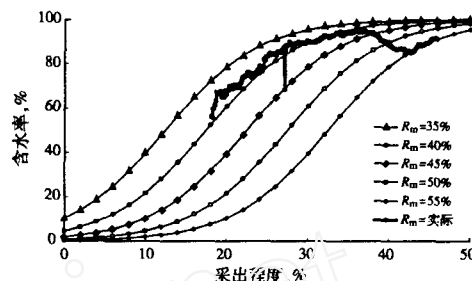


图2 孤岛中一区 Ng4 童氏含水与采出程度对比曲线

由图2可见, 孤岛中一区 Ng4 注聚后水驱的实际曲线与 $R_m = 55\%$ 的童氏曲线可达最佳拟合, 由此可得含水率与采出程度的关系式为:

$$f_w = \frac{10^{7.5(R-0.55)+1.69}}{1+10^{7.5(R-0.55)+1.69}} \quad (6)$$

2.4 公式的检验

前文用到的油田开发数据截至到 2002 年 11 月, 为了检验各公式的可靠性, 本次研究应用油田最新(2002 年以后)的开发数据, 对上述公式进行了检验(表1)。按照预测结果的均方误差大小分析, 各种关系式的预测精度由高到低依次为: 童氏公式、实际二项式、理论二项式。其它关系式预测结果的均方误差大于前者。

3 含水上升规律研究

含水上升率的变化规律可通过理论计算、实际数据回归及对已有的含水率与采出程度关系式进行数学处理来进行研究。由于油田实际含水率波动较大, 含水上升率经常出现正负交替现象, 规律性较差, 因此本次研究未采用实际数据回归的方法。

3.1 对理论计算值进行函数逼近

选用了一系列典型函数对理论计算值进行逼近, 结果表明直线关系相关性最好, 可较好反映含水上升率的变化特征, 其关系式为:

$$f'_w = -0.092R + 5.5378 \quad (7)$$

$$r = 0.994$$

式中: f'_w ——含水上升率, %。

表 1 含水率与采出程度关系式检验结果

采出程度	实际含水	理论二项式	童氏公式	实际数据回归			
				指数式	对数式	二项式	乘幂式
45.92	91.1	90.55	91.08	91.86	91.66	91.30	91.69
46.05	90.9	90.73	91.26	92.12	91.90	91.45	91.94
46.16	91.3	90.88	91.41	92.35	92.11	91.58	92.16
46.27	91.4	91.02	91.56	92.57	92.32	91.69	92.36
46.38	91.7	91.17	91.70	92.80	92.52	91.81	92.59
均方误差		0.43	0.18	1.07	0.84	0.32	0.89

3.2 对已有含水率关系式进行数学处理

前文中预测精度最高的三种公式对采出程度求导,即可得含水上率的关系式。

(1)流管法结果的再处理:

式(1)两端对 R 求导可得:

$$f'_w = -0.0598R + 4.073$$

$$r = 0.959 \quad (8)$$

(2)由童氏图版所得结果的再处理:

式(6)两端对 R 求导可得:

$$f'_w = \frac{17.27 \times 10^{7.5(R-0.55)+1.69}}{[1 + 10^{7.5(R-0.55)+1.69}]^2}$$

$$r = 0.959 \quad (9)$$

(3)由实际回归含水率关系式导出含水上率:

式(2)两端对 R 求导可得:

$$f'_w = -0.4652R + 22.571$$

$$r = 0.959 \quad (10)$$

3.3 含水上率关系式的对比

以上四种含水上率关系式的对比如图 3。

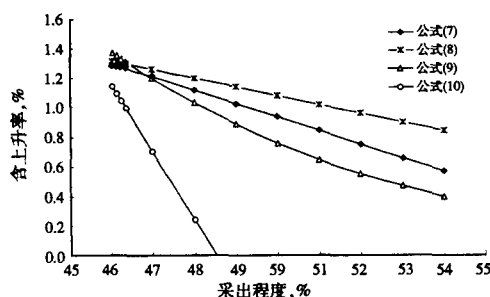


图 3 各含水上率关系式对比曲线

由图 3 可见,各种含水上率预测公式预测的含水上率趋势各不相同。其中公式(10)由实

际数据回归的含水与采出程度关系式再处理得到,预测结果合理性较差,原因在于实际数据的规律性相对较差,对回归(近似)后的公式再处理将产生误差的积累,以至产生预测结果偏离实际的情况。而其它三种公式都直接或间接来源于理论计算,数据规律性较强,故得到的曲线趋势基本合理,可供预测时选用。

4 结 论

(1)应用童氏图版法得出的含水率预测公式,可较好的反映注聚后水驱特征,且预测结果的均方误差最小,可作为今后含水预测的首选模型。

(2)理论计算与实际数据回归均可较好反映油藏动态特征,且具有较高预测精度。对于后续水驱时间较长的油藏,可采用实际数据回归的方法建立含水预测模型;对于后续水驱时间较短的油藏,可采用流管法计算并根据注入聚合物 PV 数加权处理的方法预测油藏含水变化。

(3)由不同含水率预测公式得到的含水上率变化趋势各不相同,其中公式(10)预测结果合理性较差,表明对含水上率的预测不宜采用实际生产数据直接回归的方法。而由其它三种公式得到的曲线趋势基本合理,可供预测时选用。

参考文献

- 1 陈钦雷. 油田开发设计与分析基础[M]. 北京:石油工业出版社,1982.125~149
- 2 童宪章. 油井产状和油藏动态分析[M]. 北京:石油工业出版社,1981.36~106

编辑:彭刚