

油气田进入递减阶段开发指标预测

刘义坤¹ 毕永斌¹ 隋新光² 吴晓红¹

(1.大庆石油学院 2.中国石油大庆油田公司第一采油厂)

刘义坤等.油气田进入递减阶段开发指标预测.天然气工业,2007,27(3):100-102.

摘要 油气田进入递减阶段后,丙型水驱特征曲线不能预测开发指标与开发时间的关系,指数递减预测模型在动态预测中不能预测油气田的含水率、产水量、产液量、累积产水量和累积产液量等。针对该阶段含水率的变化特点,对丙型水驱特征曲线进行了改进,将丙型水驱特征曲线与指数递减预测模型相结合,提出了一种预测油气田进入递减阶段开发指标的联解法。把水驱开发成熟油气田的生产数据与该方法预测结果进行对比分析,结果表明该方法有效且实用。此外,大庆油气田开发的实践表明多数油气田在生产后期的产量递减规律比较符合指数递减,在今后的开发过程中可以利用该方法对开发指标进行预测,以指导实际的开发生产。

关键词 大庆 开发指标 递减率 水驱 预测

一、引言

丙型水驱特征曲线是油藏工程中重要的预测方法,但它只能预测累积产水量和累积产油量,以及累积液油比与累积产液量的关系,却不能预测开发指标与开发时间的关系。指数递减预测模型法虽能很好地预测油气田产油量随开发时间的变化特征,但却不能预测油气田的含水率、产水量、产液量及累积产水量和累积产液量,而这些开发指标的预测正是水驱开发油气田所必需的。笔者将指数递减预测模型与丙型水驱特征曲线相结合,提出了一种能够预测水驱油气田开发指标的联解法。针对油气田进入递减阶段含水率的变化特点,对丙型水驱特征曲线求解参数的方法进行了改进。该方法既能保持两种方法原有的预测功能,又克服了二者的局限性。同时,大庆的油气田开发实践表明,多数油气田在生产后期的产量递减规律比较符合指数递减,应用指数递减模型也可以较好地预测气田的开发指标。

二、方法研究

丙型水驱特征曲线是由纳扎罗夫^[1]和西帕切夫^[2]等人提出的,经文献^[3]完成了理论上的推导,其主要关系式为:

$$\frac{L_p}{N_p} = a + bL_p \quad (1)$$

丙型水驱特征曲线的预测含水率与累积产油量的关系式为:

$$f_w = 1 - \frac{(1 - bN_p)^2}{a} \quad (2)$$

指数递减预测模型^[4-6],具有预测油气田产油量、累积产油量和可采储量的功能。该模型的产油量与时间的关系式为:

$$Q_t = Q_i e^{-D_i t} \quad (3)$$

两边取对数并化简有:

$$D_i = \frac{\lg Q_t - \lg Q_i}{t \lg e} \quad (4)$$

累积产量随时间变化的关系式为:

$$N_p = \frac{Q_i}{D_i} [1 - \exp(-D_i t)] \quad (5)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时,便得到油气田的可采储量:

$$N_R = N_{pi} + \frac{Q_i}{D_i} \quad (6)$$

将式(5)代入式(2),即得联解法的含水率预测关系式:

$$f_w = 1 - \frac{\left[1 - \frac{bQ_i [1 - \exp(-D_i t)]}{D_i} \right]^2}{a} \quad (7)$$

当由式(3)、(5)和(7)得到预测的产油量、累积产油量和含水率之后,可由下式预测油气田的产水量、产液量、累积产水量以及累积产液量:

作者简介:刘义坤,1963年生,教授,博士生导师;1984年毕业于大庆石油学院,发表论文十余篇;现从事教学及科研工作。
地址:(163318)黑龙江省大庆市开发区。电话:(0459)6503531。E-mail:liuyik111@126.com

$$Q_w = Q_0 \left(\frac{f_w}{1 - f_w} \right) \quad (8)$$

$$Q_L = Q_0 \left(\frac{1}{1 - f_w} \right) \quad (9)$$

$$W_p = \sum_0^t Q_w \quad (10)$$

$$L_p = \sum_0^t Q_L \quad (11)$$

三、参数求解

据实际生产资料,首先将油气田的年产油量随时间的变化绘制于半对数坐标系下,确定出递减期初始产油量(Q_i),然后由式(4)求得递减率(D_i)。

由于指数递减模型预测的是递减初始点以后的开发指标,故在该联解模型中也是对递减初始点以后的开发指标进行预测。为了使丙型水驱特征曲线预测更加准确可靠,借鉴指数递减的递减率确定方法,可以在计算丙型水驱特征曲线 a 、 b 参数时,忽略前期累积产液量(L_p)和相应的累积产油量(N_p)对预测精度的影响,而将与指数递减相对应的递减初始点及递减后 t 时刻的含水率和累积产油量带入式(2),即将式(12)和式(13)联立求得 a 、 b 值。

$$f_{wi} = 1 - \frac{(1 - bN_{pi})^2}{a} \quad (12)$$

$$f_{wt} = 1 - \frac{(1 - bN_{pt})^2}{a} \quad (13)$$

将所求得的 D_i 、 a 和 b 值代入式(3)、(5)~(11)中,即可求得油气田的可采储量以及各个阶段的产油量、产水量、产液量、累积产油量、累积产水量、累积产液量以及含水率。

四、实例应用

大庆油田高台子油气层到2004年已开采了31 a,由图1的实际年产油量在半对数坐标系下的变化曲线可知,该开发层系于1994年开始递减并呈直线变化,可认为该油气田产量在后期是按指数递减规律变化的。据对图1及表1的分析, $Q_i = 706.52 \times 10^4 \text{ t}$, $t = 10 \text{ a}$,与此相对应的 $Q_t = 272.1010^4 \text{ t}$, $f_{wi} = 62.42\%$, $f_{wt} = 88.18\%$, $N_{pi} = 6788.24 \times 10^4 \text{ t}$, $N_{pt} = 11135.27 \times 10^4 \text{ t}$ 。将以上数据带入式(4)、(12)和(13),求得模型参数分别为: $D_i = 0.09947 \text{ a}^{-1}$, $a = 0.9369$, $b = 5.9914 \times 10^{-5}$ 。将 D_i 、 N_{pi} 值代入式(6)得:

$$\begin{aligned} N_R &= 6788.24 + \frac{706.52}{0.09947} \\ &= 13890.96 \times 10^4 \text{ (t)} \end{aligned}$$

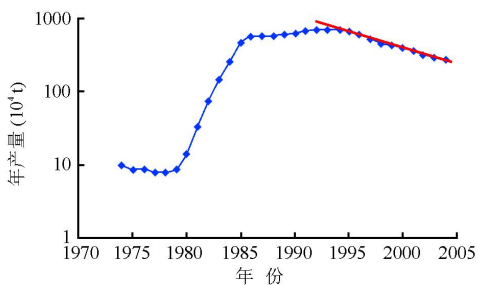


图1 大庆油田高台子油气层产量递减曲线

表1 大庆油田高台子油气层实际与预测数据对比表

年份	t (a)	$Q_0 (10^4 \text{ t/a})$		$N_p (10^4 \text{ t})$		$f_w (\%)$	
		实际	预测	实际	预测	实际	预测
1974		9.85		9.86		17.04	
1975		8.74		18.6		22.19	
1976		8.77		27.37		28.92	
1977		7.96		35.34		37.77	
1978		8.01		43.35		41.74	
1979		8.73		52.08		44.68	
1980		13.88		65.96		41.97	
1981		32.78		98.74		32.43	
1982		73.91		172.65		32.24	
1983		143.4		316.05		30.78	
1984		259.48		575.53		25.91	
1985		452.73		1028.25		24.26	
1986		569.77		1598.03		26.62	
1987		572.12		2170.14		32.07	
1988		588.48		2758.63		40.06	
1989		604.95		3363.57		45.6	
1990		632.72		3996.29		49.12	
1991		671.47		4667.77		52.63	
1992		711.62		5379.38		54.63	
1993		702.34		6081.73		58.28	
1994	0	706.52	706.52	6788.24	6788.24	62.43	62.43
1995	1	663.91	639.62	7452.16	7460.76	66.71	67.36
1996	2	616.55	579.06	8068.71	8069.59	69.77	71.52
1997	3	526.14	524.23	8594.85	8620.78	74.58	75.05
1998	4	461.21	474.59	9056.06	9119.78	78.56	78.04
1999	5	437.15	429.66	9493.21	9571.54	80.88	80.58
2000	6	395.39	388.98	9888.6	9980.52	82.87	82.75
2001	7	365.49	352.15	10254.1	10350.77	84.61	84.6
2002	8	321.63	318.8	10575.72	10685.97	86.2	86.18
2003	9	287.46	288.62	10863.18	10989.43	87.36	87.55
2004	10	272.1	261.29	11135.27	11264.16	88.17	88.17
2005	11		236.55		11512.88		89.73
2006	12		214.15		11738.04		90.6
2007	13		193.88		11941.89		91.36
2008	14		175.52		12126.44		92.02
2009	15		158.9		12293.51		92.59
2010	16		143.86		12444.76		93.09

将 D 、 a 和 b 值分别带入式(3)、(5)和式(7),得到预测大庆油田高台子油气层的产油量、累积产油量和含水率的相关公式:

$$Q_0 = Q_t = 706.52e^{-0.09947t} \quad (14)$$

$$N_p = \frac{706.52}{0.09947} [1 - \exp(-0.09947t)] \quad (15)$$

$$f_w = 1 - \frac{\left[1 - \frac{5.9914 \times 10^{-5} \times 706.52 \times [1 - \exp(-0.09947t)]}{0.09947} \right]^2}{0.9369} \quad (16)$$

当给定不同的开发时间,由式(14)、(15)和(16)预测出大庆油田高台子油气层理论的产油量、累积产油量和含水率(见表1),并绘制成图(见图2),与实际值对比表明拟合效果较好。

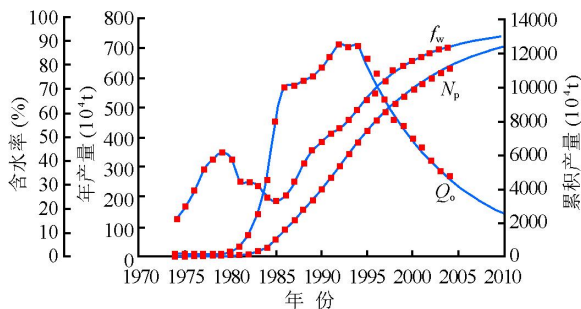


图2 大庆油田高台子油气层预测与实际值对比

五、结论

(1)笔者提出的丙型水驱特征曲线与指数递减预测模型联立求解的方法,可以预测开发后期递减阶段在不同时间的开发指标,克服了这两个模型单独使用时所暴露出的局限性。

(2)通过对大庆油田高台子油气层的实际应用表明,改进后的联解法对递减阶段开发指标的预测值与实际值符合程度比较好,具有较高的应用价值。

(3)大庆的油气田开发实践表明,多数油气田在生产后期的产量递减规律比较符合指数递减,应用指数递减模型也可以较好的预测气田的开发指标。

符号说明

a 为丙型水驱特征曲线直线的截距; b 为丙型水驱特征曲线直线的斜率; t 为开发时间; a ; L_p 为累积产液量, 10^4 t; Q_i 为递减初始的产油量, 10^4 t/a; Q_t 为递减后 t 时刻的产油量, 10^4 t/a; Q_0 为产油量, 10^4 t/a; Q_L 为产液量, 10^4 t/a; Q_w 为产水量, 10^4 t/a; W_p 为累积产水量, 10^4 t; N_{pi} 为递减初始的累积产油量, 10^4 t; N_{pt} 为递减后 t 时刻的累积产油量, 10^4 t; N_p 为累积产油量, 10^4 t; N_R 为可采储量, 10^4 t; f_{wi} 为递减初始的含水率; f_{wt} 为递减后 t 时刻的含水率; f_w 为含水率,%; D 为初始递减率。

参考文献

- [1] Назаров С Н. Исследование Определяющих Параметр Нефтеотдачи ИВУЗ[J]. Нефть и ГЗ, 1982, 15(6): 25-30.
- [2] Сипачев Н В, Посевич А Г. О характеристиках вытеснения нефти водой, Ивуз[J]. Нефть и Газ, 1981, 15(12): 26-32.
- [3] 陈元千.对 Назаров(纳扎罗夫)确定可采储量经验公式的理论推导及应用[J].石油勘探与开发,1995,22(3):63-68.
- [4] 陈涛平,胡靖邦.石油工程[M].北京:石油工业出版社,1999:461-465.
- [5] 王振,等.预测油气田采收率的两种新方法[J].天然气工业,2003,23(6): 62-64.
- [6] 俞启泰.七种递减曲线的特性研究[J].新疆石油地质,1994,15(1):49-55.

(修改回稿日期 2006-11-10 编辑 韩晓渝)