

文章编号: 0253-9985(2009)03-0384-04

油气田产量预测模型应用新方法

刘传喜, 王树平, 刘延庆

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 预测油气田产量的模型较多, 其中应用较广的有 HCZ、Logistic、Weibull 等模型, 它们得以应用的基本条件是油气田开发进入中、后期, 产量进入递减阶段。在油气田开发初期, 生产数据较少, 这些产量预测模型的应用都存在一定的不适应性。对预测模型参数计算方法进行了改进, 利用油气田开发初期少量数据即可获得模型参数, 使产量预测模型的应用范围拓展到了油气田开发初期。同时, 提出了模型优选方法, 为不同油气田选择合理的产量预测模型提供了依据。

关键词: 模型参数; 产量预测模型; 油气田产量

中图分类号: TE328 文献标识码: A

New application of the forecast model of oil/gas output

Liu Chuanxi, Wang Shuping, Liu Yanqing

(SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract Weibull, HCZ and Logistic models are widely used to forecast output of oil/gas fields. They are only suitable for oil/gas fields in middle or late stage of development and in declining. However, they are not applicable to fields in early development stage due to the shortage of production data. In this paper, the calculation methods of parameters are improved for obtaining the parameters of these models with the limited data in the early stage of development. In this way, the range of application of these production forecast models can be extended for use in the early stage of development. In addition, methods of model optimization are also presented to provide a basis for choosing the proper model for production forecast of different oil/gas fields.

Key words parameter for a model; output forecast model; oil/gas output

在油气田开发过程中, 产量预测模型对于合理规划油气田开发规模、制定生产运行计划有着重要的意义。目前产量预测模型较多, 其中陈元千、胡建国等人提出的预测油气田产量的广义模型^[1~9]应用较广, 该模型通过选取不同的模型参数或简化, 就可得到我们目前广泛用于预测油气产量的 HCZ 模型、Logistic 模型、Weibull 模型, 以及 Arps 双曲线递减模型等 12 个预测模型。但它们应用的基本条件是油气田进入中、后期, 产量进入递减阶段, 利用生产数据回归出模型的参数, 进而预测下一阶段的产量。在油气田开发初期, 生产数据较少, 这些产量预测模型的应用都存在一定的不适应性。本文经理论推导, 采用新的计算

方法, 优选适合该油气田的产量预测模型, 在油气田开发初期较少生产数据情况下即可预测中、长期的油气田产量。

1 产量预测模型应用存在问题

利用模型预测油气田产量, 首先要确定模型中的参数, 以 Weibull 模型^[2]为例:

$$Q = \frac{N_R \alpha}{\beta} t^{\alpha-1} e^{-(t^\alpha/\beta)} \quad (1)$$

式中: Q 为年产量, 10^4 t/a; t 为时间, a; N_R 为可采储量, 10^4 t; α 、 β 为模型参数, 无量纲。

首先必须确定模型参数 α 、 β 和 N_R 的数值, 方

表 1 前苏联罗马什金油田实际生产数据

Table 1 Actual production data of the Romashkino oilfield of the former Soviet Union							
年份	$Q/(10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$	年份	$Q/(10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$	年份	$Q/(10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$	年份	$Q/(10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$
1952	200	1959	3 050	1966	6 800	1973	8 000
1953	300	1960	3 800	1967	7 000	1974	8 000
1954	500	1961	4 400	1968	7 600	1975	8 000
1955	1 000	1962	5 000	1969	7 900	1976	7 775
1956	1 400	1963	5 600	1970	8 150	1977	7 500
1957	1 900	1964	6 040	1971	8 000	1978	7 230
1958	2 400	1965	6 600	1972	8 000	1979	6 800

可建立具体的预测模型。而这 3 个参数的确定, 要利用已经取得的实际生产数据进行拟合最优化求解, 文献 [2] 提出线性回归试差分析的最小二乘法是目前求解该模型参数的一个主要方法。经推导转换, 将 (1) 式改写为:

$$\lg \frac{Q}{t^{\alpha-1}} = a - bt^{\alpha}$$

(2)

其中

$$a = \lg \frac{N_R \alpha}{\beta}$$

(3)

$$b = \frac{1}{2.303\beta}$$

(4)

若给予不同的 α 值, 利用 (2) 式进行线性试差法求解, 能够得到相关系数最高的直线的 α 值, 即为欲求的 α 值。此时, 当由线性回归方法求得直线的截距 a 和 b 值之后, 就可求得模型中的 β 和 N_R 的数值。因此, 模型参数求解对油气田的实际生产数据有一定的要求, t^{α} 和相应的 $\lg(Q/t^{\alpha-1})$ 的数值绘制的曲线必须出现直线段。本文通过实例来分析其模型求解条件。前苏联罗马什金油田实际生产数据如表 1。

若干油田的实际应用表明, α 值一般在 2 左右, 取不同的 α 值, 利用表 1 中全部生产数据, 绘制 t^{α} 和相应 $\lg(Q/t^{\alpha-1})$ 的曲线时出现直线段的时间点各不相同 (图 1)。

由图 1 可知, 当 $\alpha=2.5$ 时, t^{α} 和 $\lg(Q/t^{\alpha-1})$ 关系曲线上出现直线点的时间为生产的第 10 年; 当用于拟合参数的生产数据少于出现直线点时, 将无法求取模型参数, 同时模型也将无法用于油气产量预测。因此可以说, 线性试差法求解模型参数的使用条件就是: 用于拟合模型参数的实际生产数据点要在 t^{α} 和 $\lg(Q/t^{\alpha-1})$ 关系图上出现直线段。那么何时出现直线段呢?

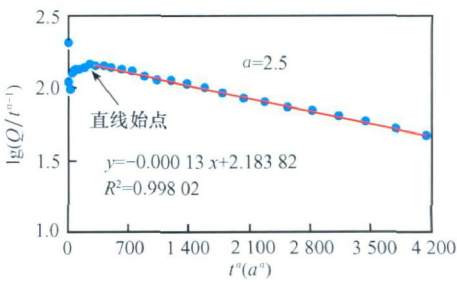


图 1 $\alpha=2.5$ 时, t^{α} 与 $\lg(Q/t^{\alpha-1})$ 的关系

Fig. 1 The correlation of t^{α} vs $\lg(Q/t^{\alpha-1})$ at $\alpha=2.5$

从公式 (1) 可知, α 和 β 都为正值, 由此可知式 (2) 中 a 和 b 也为正值, 图 1 中拟合出的直线斜率必为负值, 因此可得线性试差法求解模型参数的使用条件是: 当 $t_1 < t_2$ 时, 必须满足

$$\lg \frac{Q_1}{t_1^{\alpha-1}} < \lg \frac{Q_2}{t_2^{\alpha-1}}$$

(5)

式中: Q_1 为 t_1 时刻对应的产量, 10^4 t/a ; Q_2 为 t_2 时刻对应的产量, 10^4 t/a 。

从以上分析可知, 目前的求解 Weibull 模型参数方法制约了模型使用的条件, 当油气田开发时间较短, 实际生产数据较少, 利用线性试差法求解模型参数在 t^{α} 和 $\lg(Q/t^{\alpha-1})$ 关系图上无法出现直线段, 因此 Weibull 模型此时无法应用。HCZ 和 Logistic 模型也存在同样的问题。

2 产量预测模型应用及优选方法

通过前面分析可知, 目前该模型的应用方法在油气田开发初期生产数据较少的情况下是无法预测其中后期产量的。针对这种情况, 本文提出一个新的方法。设油气田开发初期实际生产数据有 m 个 $[Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_m]$ 。在公式 (1) 中首先采用经验公式、相似油气田类比法或数值模拟等

方法^[3~6]获取油气田的可采储量 N_R , 此时公式 (1) 中只有 α β 是未知的。若给定一个 α_1 值, 利用 (1) 式使用试凑法求解不同时刻 $[Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_m]$ 对应的 $[\beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{13}, \dots, \beta_{1m}]$, 再对所得 $[\beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{13}, \dots, \beta_{1m}]$ 加权平均得到给定 α_1 对应的 $\bar{\beta}_1$ 值。此时公式 (1) 中未知数都已知, 就可利用该公式预测出一组产量数据 $[Q_{11}, Q_{12}, Q_{13}, \dots, Q_{1m}]$ 。利用此法计算出多组不同 α 下的产量并与给定实际生产数据 $[Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_m]$ 比较, 利用均方差拟合误差最小为原则来选取 α 和其对应 $\bar{\beta}$ 此时就可得到了该油气田预测产量的 Weibull 模型参数。该方法计算流程如图 2。

油气田其他产量预测模型, 如 HCZ 模型、Logistic 模型都可采用上述方法求解模型参数, 从而在油气田开发初期就可预测油气田中后期产量变化。同时利用上述方法可优选产量预测模型, 优选原理如下。

设油气田开发初期实际生产数据有 m 个 $[Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_m]$, 利用图 2 求解参数方法, 计算得到 Weibull 模型参数, 利用公式 (1) 预测得该油气田开发初期产量为 $[Q_{w1}, Q_{w2}, Q_{w3}, \dots, Q_{wm}]$ 。同理, 利用 HCZ 和 Logistic 模型预测得到该油气田开发初期的两组产量数据 $[Q_{H1}, Q_{H2}, Q_{H3}, \dots, Q_{Hm}]$ 和 $[Q_{L1}, Q_{L2}, Q_{L3}, \dots, Q_{Lm}]$ 。将 Weibull HCZ 和 Logistic 模型预测的 3 组产量与该油气田开发初期实际生产数据进行对比, 以相关系数最大者为最优,

从而得到该油气田合理的产量预测模型。

3 应用实例

以中原油田古近系沙河街组一段下亚段油藏实际生产数据为例, 油藏可采储量为 582×10^4 t 前 6 年实际生产数据如表 2。利用本文提出的计算方法和流程, 通过计算程序处理, 得到该油藏 Weibull(W), HCZ(H) 和 Logistic(L) 3 种预测模型的参数。

1) Weibull 模型:

$$Q = \frac{N_R \alpha}{\beta} t^{\alpha-1} e^{-(t^\alpha/\beta)} \\ = \frac{203\ 100 \times 2.6}{4\ 439.871} t^{2.6-1} e^{-(t^{2.6}/4\ 439.871)} \quad (6)$$

2) HCZ 模型:

$$Q = N_R \beta \exp[-(\beta/\alpha) \exp(-\alpha t) - \alpha t] \\ = 203\ 100 \times 0.742 \exp \\ [- (0.742/0.105) \exp(-0.105t) - 0.105t] \quad (7)$$

3) Logistic 模型:

$$Q = \frac{\alpha \beta N_R \exp(-\alpha t)}{[1 + \beta \exp(-\alpha t)]^2} \\ = \frac{0.31 \times 252.572 \times 203\ 100 \exp(-0.31t)}{[1 + 252.572 \exp(-0.31t)]^2} \quad (8)$$

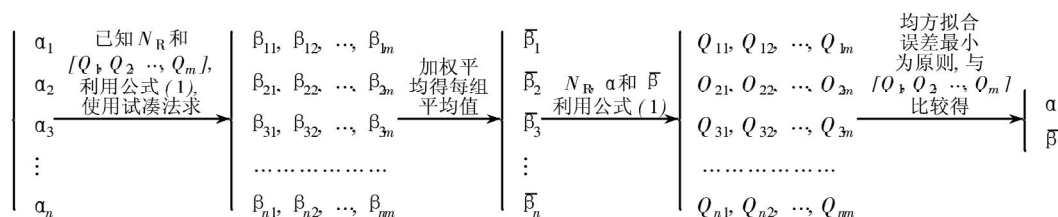


图 2 模型参数求解流程

Fig. 2 Flow chart for determining the parameters of the model

表 2 Weibull(W), HCZ(H) 和 Logistic(L) 模型预测值与实际生产数据对比

Table 2 Comparison between the actual production data and predictions from Weibull(W), HCZ(H) and Logistic models

年份	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年	第 6 年	相关系数
实际产量 $/ (10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$	14.03	34.56	35.60	41.27	50.99	87.96	
W 预测值 $/ (10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$	3.51	13.61	29.19	47.93	66.17	79.58	0.905
H 预测值 $/ (10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$	7.46	15.23	28.11	43.68	66.23	88.06	0.938
L 预测值 $/ (10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$	6.77	13.68	23.68	44.15	67.15	88.51	0.930

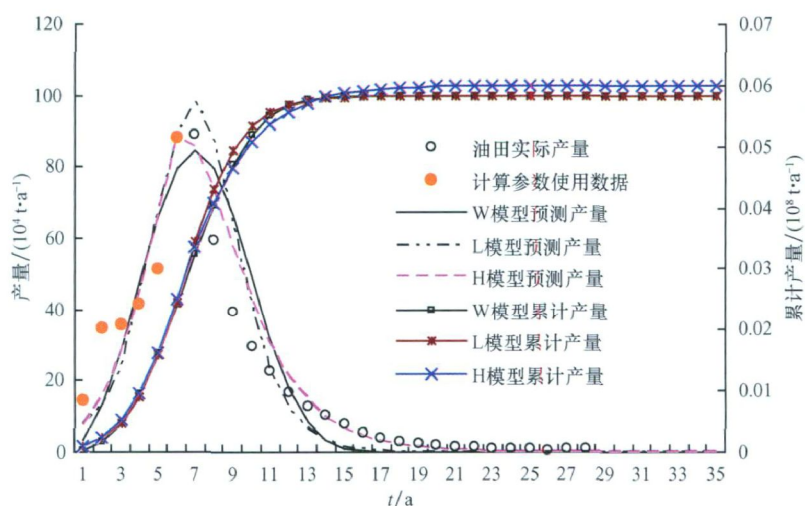


图 3 模型预测与实际产量对比

Fig. 3 Diagram showing comparison between the actual and model-predicted production data

3种模型预测值与该油藏前6年实际产量数据对比如表2所示。

从表2可知, Logistic(L)和 HCZ(H)模型预测结果与实际生产数据的相关系数分别为0.930和0.938,而 Weibull(W)模型相关系数为0.905。利用公式(6)、公式(7)和公式(8)预测该油藏产量和累计产量并绘图(图3)。

从图3中可知,3种模型早期预测结果与实际生产数据都具有较好的相关性,因此在生产数据较少的情况下,利用本文提出的计算模型参数方法能够拓展 Weibull、HCZ 和 Logistic 等模型的使用范围。

但在实际应用中应当看到,随着油田生产数据不断增加,不同模型预测趋势与实际生产数据会出现不同程度的偏差,其中 Logistic(L)模型偏差较大,因此在油气田开发过程中,根据生产动态数据的变化,不断的跟踪优选预测模型是必要的。

4 结论

1) 目前产量预测模型的应用存在一定的不适应性。以 Weibull模型为例,应用线性试差法求解模型参数时,实际生产数据必须满足 t^a 和 $\lg(Q/t^{a-1})$ 关系图上出现直线段,但在油气田开发初期生产数据较少时则无法达到求解条件,因而产量预测模型主要应用于油气田开发中后期。

2) 提出了产量预测模型参数求解新方法。

在生产数据较少的情况下即可预测油气田中、长期产量变化,拓展了此类预测模型的应用范围。

3) 利用较少生产数据获得模型参数后,通过对比模型预测结果与实际生产数据的相关性大小,以及利用不断增加的开发数据对预测模型进行验证和筛选,从而优选出适合不同油气田产量变化的预测模型。

参 考 文 献

- 1 陈元千. 油气藏工程实用方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
- 2 胡建国. 油气藏工程实用预测方法文集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002
- 3 SY 5367-98 石油可采储量计算方法[S].
- 4 陈元千. 预测油田天然气可采储量的方法[J]. 断块油气田, 1998, 6(1): 26~30
- 5 彭敦陆, 徐士进, 王汝成, 等. 神经网络专家系统在预测石油可采储量上的应用——以胜利樊家油区为例[J]. 石油与天然气地质, 1999, 22(2): 129~132
- 6 陈志海, 常铁龙, 刘常红. 缝洞型碳酸盐岩油藏动用储量计算方法[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 315~319, 328
- 7 陈志海, 刘常红, 杨坚, 等. 缝洞性碳酸盐岩油气藏开发对策——以塔河油田主体开发区奥陶系油气藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 623~629
- 8 刘传喜, 姚合法, 严谨. 低渗岩性气藏开发选区评价方法研究[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 697~702
- 9 陈方方, 贾永禄, 张福祥, 等. 三重介质部分射开渗流模型研究与试井曲线分析[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6): 801~805

(编辑 陈喜禄)