

# 一种新型天然气产量预测模型<sup>\*</sup>

袁爱武<sup>1</sup> 孙桂生<sup>2</sup> 杨先勇<sup>3</sup> 陈刚<sup>3</sup> 郑晓松<sup>1</sup>

(1. 中国石油辽河油田公司钻采工艺研究院 2. 中国石油辽河油田公司茨榆坨采油厂  
3. 中国石油辽河油田公司特种油开发公司)

袁爱武等. 一种新型天然气产量预测模型. 天然气工业, 2007, 27(2): 84-86.

**摘 要** 随着气田进入开发后期, 采气成本逐年增加, 有必要加强天然气开采短、中、长期规划工作, 以最大限度地降低采气成本, 提高经济效益。为了保证天然气开采规划方案的科学性和顺利实施, 提高天然气产量预测的精确度, 根据天然气开采过程中的产量变化规律, 选取了广义翁氏模型和一次指数平滑模型这两种常规预测模型, 并应用最优化理论综合考虑了其特性, 建立了一种新型天然气产量预测模型——最优化模型。通过对实际生产数据的拟合分析, 可以看出: 该模型一方面保持了广义翁氏模型的特征, 另一方面又弥补了一次指数平滑模型的不足, 实现了二者的最优组合, 且具有更好的拟合预测效果。从现场实际应用来看, 该模型预测结果较准确, 适用于天然气产量预测。

**主题词** 气藏 产量预测 数学模型 费用 经济效益

## 一、引 言

国内大部分气田都已进入开发后期, 产气量进入递减阶段, 采气成本逐年增加。为了最大限度地降低采气成本, 提高经济效益, 有必要进行短、中、长期规划工作。而在编制规划方案时, 需要对规划区块今后产气量的变化进行预测。因此, 产气量预测精确度的高低直接影响着规划编制的科学性、合理性和规划方案的实施。目前, 常用于天然气产量预测的方法是 Arps 递减曲线法<sup>[1]</sup>, 该方法已在油田生产中广泛应用并得到验证; 20 世纪 80 年代, 翁氏模型<sup>[2]</sup>的提出为进行更深入的研究奠定了坚实的基础; 随后, 国内又相继出现了其他预测模型<sup>[3,4]</sup>; 灰色理论<sup>[5]</sup>和神经网络理论<sup>[6]</sup>也已应用到油气田产量预测中。然而, 这些模型都为单一预测模型, 它们所用的信息有限。因此, 笔者根据天然气开发过程中的产量变化规律, 综合考虑广义翁氏模型<sup>[7]</sup>和一次指数平滑模型<sup>[8]</sup>的特征, 建立了一种新型预测模型。

## 二、数学模型

### 1. 广义翁氏模型

气田开发的实践经验表明, 无论气田的储集类

型、驱动类型和开发方式如何变化, 就它们开发的全过程而言, 都可以划分为产量上升阶段、产量稳产阶段和产量递减阶段, 这三个连续开发阶段的综合, 构成了气田开发的模式。气田的这种变化趋势, 与生命体系和经济增长体系的兴起、成长、成熟和衰退的过程基本一致。因此, 采用由文献<sup>[7]</sup>推导的广义翁氏预测模型来预测产气量的变化。

广义翁氏预测模型为:

$$Q = at^b e^{-t/c} \quad (1)$$

$$t = y - y_0$$

式中:  $a, b, c$  分别为 3 个模型常数;  $t$  为生产时间;  $y$  为预测的年份;  $y_0$  为预测产量的起始年份。

为同时求解广义翁氏预测模型中的  $a, b, c$  数值, 可将式(1)两边取自然对数, 得

$$\ln Q = A + b \ln t + Ct \quad (2)$$

$$A = \ln a \quad C = -1/c$$

然后采用最小二乘法即可求解。

### 2. 一次指数平滑模型

气田开发过程中, 除油气藏自身的变化影响产气量外, 关井、修井技术的进步以及其他不可预测因素也影响着天然气产量的变化, 从而使得气井产量这一时间序列的期望值随时间的变化而变化, 这种

\* 本文为中国石油辽河油田公司“十一五”规划专题研究项目(编号: 油辽计 2004-7-5)部分内容。

作者简介: 袁爱武, 女, 1974 年生, 高级工程师, 博士研究生; 现主要从事油田规划与方案设计工作。地址: (124010) 辽宁省盘锦市。电话: (0427) 7822954。E-mail: 1022song@sina.com

变化比较长期且变化具有一定的方向性,具有趋势时间序列的特征。因此,选择一次指数平滑模型来预测天然气产量的变化。

一次指数平滑法<sup>[8]</sup>就是将时刻 $(t+1)$ 的预测值看成是原先时刻 $t$ 的预测值与时刻 $t$ 的新观察值这两者的加权平均。其模型的表达式为:

$$\hat{x}_{t+1} = \alpha x_t + (1 - \alpha)\hat{x}_t \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (3)$$

或 
$$\hat{x}_{t+1} = \hat{x}_t + \alpha(x_t - \hat{x}_t) = \hat{x}_t + \alpha e_t \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (4)$$

当 $\alpha=1$ 时, $\hat{x}_{t+1}=x_t$ ,即预测值为当前时刻 $t$ 的观察值,成为“自然预测”;如果 $\alpha=0$ ,预测值仍为原来的预测值,并没有得到修正。对于 $\alpha=0$ 的取值,用均方拟合误差最小为原则来选择。

### 3.最优化模型

为了充分综合上述两种模型的预测结果,提高预测精度,对这两种模型赋予不同的权重,并建立目标函数,通过最优化算法确定最佳的预测方法组合,即求取目标函数中的组合权值,从而可以得出最优化预测模型。最优化模型组合权重的优化算法如下。

设 $n$ 为数据个数, $m$ 为选择的预测方法个数,实际历史数据值为 $y_0(i)(i=1,2,\dots,n)$ , $m$ 种预测方法的输出结果分别为 $y_1(i),y_2(i),\dots,y_m(i)(i=1,2,\dots,n)$ , $w_j(j=1,2,\dots,m)$ 为第 $j$ 种模型在最优化模型中的权重,权重之和为1,则可建立目标函数为:

$$\begin{aligned} \min: & \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m w_j y_j(i) - y_0(i) \right]^2 \\ \text{s.t.} & \begin{cases} \sum_{j=1}^m w_j = 1 \\ 0 \leq w_j \leq 1 \quad (j=1,2,\dots,m) \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

则可得最优化预测模型为:

$$y_z(i) = \sum_{j=1}^m w_j y_j(i) \quad (6)$$

## 三、计算实例及其结果分析

为了便于上述模型的综合分析,应用VB语言编制了相应的计算机程序,并应用辽河油田某天然气开采区块2005年1~12月共12个月的数据进行参数估计和预测,各种模型的拟合结果见表1。

对于广义翁氏模型,根据实际开发数据,采用最小二乘法可以得出 $a=19.9255, b=2.9920, c=3.6610$ ,即: $Q(t)=19.9255t^{2.9920}e^{-t/3.6610}$ 。

表1 实际月产气量与拟合值比较及有关数据表

时间 (mon)	实际 ( $10^4 \text{ m}^3$ )	拟合 ( $10^4 \text{ m}^3$ )		
		广义翁氏 模型	一次指数 平滑模型	最优化 模型
1	16.30	15.16	16.30	15.53
2	33.80	35.13	16.30	29.06
3	47.90	51.28	33.45	45.53
4	55.30	61.94	47.61	57.32
5	55.30	67.46	55.15	63.49
6	79.30	68.80	55.30	64.44
7	88.20	67.07	78.82	70.86
8	81.10	63.25	88.01	71.24
9	59.30	58.15	81.24	65.60
10	37.80	52.41	59.74	54.78
11	41.30	46.48	38.24	43.82
12	45.30	40.68	41.24	40.86
均方误差		10.59	13.77	9.45

在一次指数平滑模型中,其参数值 $\alpha=0.98$ ,其拟合均方误差为13.77。

根据上述两种模型的拟合值,由式(5)可以得出最优化模型的组合权重 $w_1=0.677$ 和 $w_2=0.323$ ( $w_1, w_2$ 分别代表广义翁氏模型、一次指数平滑模型的权重),最优化模型的拟合均方误差为9.45,具有更高的预测精度。并将广义翁氏模型、一次指数平滑模型和最优化模型的拟合值与实际值进行了比较(见图1),可以看出最优化模型的拟合曲线能够较好地逼近实际曲线,在绝大部分区段优于一次指数平滑模型和广义翁氏模型的拟合结果。这是因为最优化模型综合考虑了广义翁氏模型和一次指数平滑模型的特征,它集结了多种单一模型所包含的信息,有着更好的预测效果。

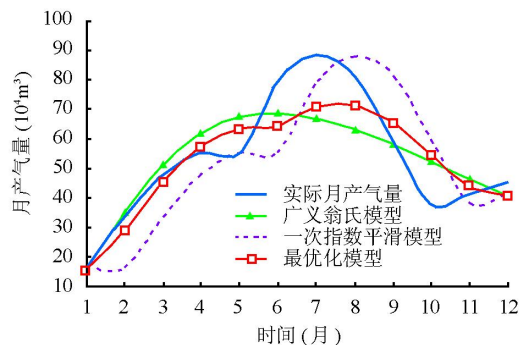


图1 最优化模型拟合曲线对比图

最后,利用该最优化模型可以得出2006年1~3月的产气量,并与现场实际生产数据作了比较(见表2)。可以看出,应用最优化模型进行天然气产量预测是可行的。

表 2 最优化模型的预测结果表  $10^4 \text{ m}^3$ 

时间	实际 产气量	广义翁 氏模型	一次指数 平滑模型	最优化 模型
2006-01	41.50	35.20	45.22	38.44
2006-02	36.38	30.18	41.57	33.85
2006-03	25.27	25.66	36.48	29.15

#### 四、结论与认识

(1) 通过目标函数的建立和最优化算法, 得出一种新型天然气产量预测模型, 即最优化模型。

(2) 依据本原理所形成的预测程序易于掌握和便于操作, 不仅可以运用于天然气产量预测, 在其他不同领域也具有一定的应用价值。

(3) 最优化模型通过权重的不同, 既保持了广义翁氏模型的特征, 又弥补了一次指数平滑模型的不足, 从而实现了广义翁氏模型和一次指数平滑模型最优组合, 有着更高的预测精度, 能够达到更好的拟合预测效果。

(4) 从最优化模型的实际应用来看, 预测结果较

符合生产实际, 进一步验证了该算法的合理性和技术可行性。

#### 参 考 文 献

- [1] ARPS J J. Analysis of decline [J]. AIME, 1945, 160: 228-247.
- [2] 陈元千. 对翁氏预测模型的推导及应用[J]. 天然气工业, 1996, 16(2): 22-26.
- [3] 胡建国, 陈元千.  $t$  模型的应用及讨论[J]. 天然气工业, 1995, 15(4): 26-29.
- [4] 郭新江, 王小平, 靳正平. 现代产量递减曲线自动分析方法[J]. 天然气工业, 2002, 22(3): 69-71.
- [5] 鞠武, 潘尔顺. 基于 GM(1, 1) 模型的东辛采油厂产量预测研究[J]. 工业工程与管理, 2004: 21-25.
- [6] 赵军, 夏宏泉, 刘红歧. 基于 BP 神经网络的油气产量历史预测[J]. 西南石油学院学报, 1998, 20(2): 23-26.
- [7] 陈元千. 油气藏工程实用方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [8] 杨叔子. 时间序列分析的工程应用[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992.

(修改回稿日期 2006-10-13 编辑 韩晓渝)