

油田产量的自适应预报

韩志刚

(黑龙江大学应用数学研究所, 哈尔滨)

摘 要

在本文中, 作为应用实例分析, 我们报告了最近对某油田的产油量和产水量的实际预报结果。

一、引 言

对于注水开发油田按年和按季计算的产油量和产水量的动态变化研究是十分重要的。因为它直接关系到油田近期开发工作量与计划的制定和远期开发规划的安排。

实际工作要求我们不断地提出对油田的产油量和产水量的向前一年和向前五年的预报值, 为此我们在1983年于文献[1]中建立了关于油田产油量自然递减和产水量自然递增的描述性模型。基于这种模型, 应用多层递阶预报方法^[2], 对某油田的产油量和产水量进行了预报, 得到了满意的结果^[1]。

描述性模型的基本结构是:

$$y(k) = \alpha(k) + \beta(k) \cdot k^{\gamma(k)} \quad (1)$$

其中, k 为时间, $y(k)$ 为产油量或产水量, $\alpha(k)$ 、 $\beta(k)$ 、 $\gamma(k)$ 为时变参数。这个模型是由对产油量的自然递减曲线和产水量的自然递增曲线进行拟合而得到的。

在文献[3]中我们说明了, 如果应用多层递阶预报方法, 那么非线性的预报模型, 可被参数时变的线性预报模型所代替。所以当又一次处理某油田的产量预报问题时, 我们引进了一组时变参数的线性模型。

依据上述两类模型, 对油田的产油量和产水量, 应用多层递阶方法进行了预报。本文中所报告的是实际预报的结果。

二、多层递阶预报方法的步骤

为了叙述方便, 我们简单的介绍多层递阶预报方法的基本步骤:

1. 依据观测数据, 寻求预报模型时变参数的估值。

(1) 线性情形

此时, 预报模型一般的可以写成下述的形式:

$$y(k) = \varphi(k) \cdot \theta(k) \quad (2)$$

$y(k)$ 是系统的输出 (被预报量), $u(k)$ 是系统的输入 (预报因子), $\varphi(k)$ 是由观测数据

集 Y_{k-1} 、 U_{k-1} 的某些元素构成的向量, 而

$$Y_{k-1} = \{y(0), y(1), \dots, y(k-1)\}$$

$$U_{k-1} = \{u(0), u(1), \dots, u(k-1)\}$$

$\theta(k)$ 是随机时变参数。它的估值 $\hat{\theta}(k)$ 可通过下述的跟踪公式来确定:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \frac{1}{\|\varphi(k)\|^2} \varphi(k) \{y(k) - \varphi(k)^T \hat{\theta}(k-1)\} \quad (3)$$

初值的选取可参看[4]。

(2) 非线性情形

此时, 向前一步预报的模型一般的可以写成下述形式:

$$y(k) = f[Y_{k-1}, U_{k-1}, \theta(k), k],$$

其中, $\theta(k)$ 是随机时变参数, $f[\cdot, \cdot, \theta(k), \cdot]$ 是已知函数。 $\theta(k)$ 的估值 $\hat{\theta}(k)$ 可由下述的跟踪公式来确定:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \frac{\delta}{\|\nabla_{\hat{\theta}(k-1)} f[k, \hat{\theta}(k-1)]\|^2} \nabla_{\hat{\theta}(k-1)} f[k, \hat{\theta}(k-1)] \cdot \{y(k) - f[Y_{k-1}, U_{k-1}, \hat{\theta}(k-1), k]\} \quad (4)$$

其中, δ 为适当的常数, 它的取法可参看[5], 而

$$\nabla_{\hat{\theta}(k-1)} f[k, \hat{\theta}(k-1)] = \left. \frac{\partial}{\partial \theta} f[Y_{k-1}, U_{k-1}, \theta, k] \right|_{\theta = \hat{\theta}(k-1)}$$

通过上述的跟踪公式[3]或[4], 依据观测数据可以得出时变参数的估值序列:

$$\hat{\theta}(1), \hat{\theta}(2), \dots, \hat{\theta}(N) \quad (5)$$

此处 N 是观测终止时刻。

2. 基于时变参数的估值序列寻求它的预报估值 $\hat{\theta}(N+1), \hat{\theta}(N+2), \dots, \hat{\theta}(N+h)$, h 是预报的步长, 具体方法可参看[6]。

3. 应用所得到的参数预报估值, 对被预报量进行预报。

以向前一步预报为例, 在线性的情形, 预报公式是:

$$\hat{y}(N+1|N) = \varphi(N+1)^T \hat{\theta}(N+1)$$

非线性情形的预报公式是:

$$\hat{y}(N+1|N) = f[Y_N, U_N, \hat{\theta}(N+1), N]$$

详细的可参看[2]。

三、线性模型的预报结果

我们用 $y(k)$ 和 $z(k)$ 分别表示 k 时刻的产油量和产水量。表 1 给出的是某油田产油量自然递减和产水量自然递增的历史数据。

表 1

k	1	2	3	4	5	6
y(k)	135.479	134.88	133.7	131.388	130.6	129.645
z(k)	197.005	206.138	213.263	221.923	223.002	229.4
k	7	8	9	10	11	12
y(k)	128.779	125.885	125.136	121.855	119.251	117.712
z(k)	238.763	250.274	258.8	263.386	269.704	277.079
k	13	14	15	16	17	18
y(k)	116.065	113.726	107.273	104.28	100.516	99.264
z(k)	292.2	299.968	298.448	302.198	308.4	322.408
k	19	20	21	22	23	24
y(k)	98.825	95.818	89.636	86.419	83.764	83.076
z(k)	332.046	338.267	340.775	345.003	353.187	367.729
k	25	26	27	28	29	30
y(k)	83.075	79.773	77.395	73.961	71.65	70.432
z(k)	384.141	384.298	392.691	394.2	394.853	404.106
k	31	32	33	34	35	
y(k)	66.117	65.899	62.261	59.673	57.024	
z(k)	410.417	415.1	424.57	433.492	436.024	

依据这些数据,应用多层递阶辨识方法^[7]可以得出产油量满足下述的两层模型:

$$y(k) = a_1(k)y(k-1) + a_2(k)y(k-2)$$

其中, $a_1(k)$ 、 $a_2(k)$ 为随机时变参数, 它们分别满足:

$$a_1(k) = \alpha_1 a_1(k-1) + \alpha_2 a_1(k-2) + \alpha_3 a_1(k-3) + \alpha_4 a_1(k-4) + e_1(k)$$

$$a_2(k) = \beta_1 a_2(k-1) + \beta_2 a_2(k-2) + \beta_3 a_2(k-3) + \beta_4 a_2(k-4) + e_2(k)$$

$e_1(k)$ 、 $e_2(k)$ 皆为零均值的白噪声, α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 、 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 皆为非时变参数。

对于这类模型, 多层递阶预报方法已有了适用的软件包。应用这个软件包, 我们得出了产油量的向前9步的预报值。现把这些预报值与其实值的比较结果列表2。

同样, 应用多层递阶辨识方法, 得出了产水量所满足的两层模型。应用多层递阶预报方法的软件包, 得出了产水量的预报值, 其结果如表3。

从表的比较分析可以看出, 无论是产油量还是产水量, 其预报结果的相对误差都不超过3%, 而用其它方法, 一般情况下, 预报的相对误差将大于5%。

表 2

k	36	37	38	39	40
真 实 值	56.339	54.579	51.158	49.706	47.827
预 报 值	56.752	54.852	52.849	51.088	49.228
相 对 误 差	- 0.6%	- 0.5%	- 3%	- 2.7%	- 3%
k	41	42	43	44	
真 实 值	46.835	44.735	43.657	41.671	
预 报 值	47.369	45.706	43.838	42.105	
相 对 误 差	- 1%	- 2%	- 0.4%	- 1%	

表 3

k	36	37	38	39	40
真 实 值	441.952	443.371	445.416	471.764	475.286
预 报 值	440.163	445.899	451.602	458.587	465.969
相 对 误 差	0.4%	- 0.6%	- 1%	2.7%	1.9%
k	41	42	43	44	
真 实 值	486.215	488.958	490.237	496.299	
预 报 值	474.113	481.06	486.085	490.154	
相 对 误 差	2.4%	1.6%	0.8%	1.2%	

四、非线性模型的预报结果

为了与前述预报结果进行比较，我们应用非线性描述性模型，对同样的问题进行了预报。仍然用 $y(k)$ 和 $z(k)$ 分别表示 k 时刻的产油量和产水量，则有：

$$y(k) = \alpha_1(k) - \beta_1(k)k^{\gamma_1(k)}$$

$$z(k) = \alpha_2(k) + \beta_2(k)k^{\gamma_2(k)}$$

其中， k 是时间， $\alpha_1(k)$ 、 $\alpha_2(k)$ 、 $\beta_1(k)$ 、 $\beta_2(k)$ 、 $\gamma_1(k)$ 、 $\gamma_2(k)$ 都是非负的时变参数。

以产油量为例，为得出时变参数的预报模型，首先依据观测数据，应用跟踪公式（4）求得时变参数的估值序列如表4、表5。

表 4

k	17	18	19	20	21	22
$\hat{\alpha}_1(k)$	136.1131	136.1133	136.1133	136.1133	136.1133	136.1133
$\hat{\beta}_1(k)$	0.8017	0.7965	0.7892	0.7903	0.7998	0.7999
$\hat{\gamma}_1(k)$	1.339	1.3269	1.31	1.31	1.3353	1.3358

表 5

k	30	31	32	33	34	35
$\hat{\alpha}_1(k)$	136.1133	136.1133	136.1133	136.1133	136.1133	136.1133
$\hat{\beta}_1(k)$	0.7865	0.7885	0.7849	0.7859	0.7854	0.7852
$\hat{\gamma}_1(k)$	1.3011	1.3064	1.2968	1.2993	1.2982	1.2973

依据以上参数估值, 可以得出时变参数的预报算法如下:

$$\hat{\alpha}_1(35+h) = 136.1133$$

$$\hat{\beta}_1(35+h) = \hat{\beta}_1(35) + h^{\frac{1}{Q}} \Delta \beta_1, \Delta \beta_1 = -0.001186$$

$$\hat{\gamma}_1(35+h) = \hat{\gamma}_1(35) + h^R \Delta \gamma_1, \Delta \gamma_1 = -0.003091$$

$$Q = 0.55, R = 0.55,$$

应用多层递阶预报方法, 得出产油量的预报值结果如表6。

表 6

k	36	37	38	39	40
真实值	56.399	54.579	51.158	49.706	47.827
预报值	55.106	53.239	51.423	49.659	47.947
相对误差	2.3%	2.45%	-0.5%	0.01%	-0.3%
k	41	42	43	44	
真实值	46.835	44.735	43.65	41.671	
预报值	46.287	44.68	43.125	41.622	
相对误差	1%	0.01%	1%	0.01%	

用同样的方法, 我们得出了产水量的预报值, 其结果如表7。

表 7

k	36	37	38	39	40
真 实 值	441.925	443.371	445.416	471.764	475.286
预 报 值	442.45	448.709	454.872	460.936	466.901
相 对 误 差	-0.1%	-1%	-2%	2.3%	1.8%
k	41	42	43	44	
真 实 值	486.215	488.958	490.237	496.299	
预 报 值	472.764	478.525	484.183	489.737	
相 对 误 差	2.7%	2.1%	1.2%	1.3%	

可以看出,用描述性模型所得的预报结果也是令人满意的。

五、简短的结论

1. 线性两层模型和非线性描述模型的实际预报结果是令人满意的。
2. 从预报的结果可以看出,两种模型的预报结果没有本质的差别,所以在实际工作中采用哪一种模型都可以。
3. 应用多层递阶预报方法提高预报精度的关键是对时变参数有较准确的估值和预报值,关于这一点我们将在另外的文章中进一步讨论。
4. 在解决某些新的预报问题时,为避免非线性建模时所遇到的困难,一般的可以采用线性多层模型(参看[3])。

参 考 文 献

- [1] 赵永胜、韩志刚等,大庆油田开发规划经济数学模型的研究,石油学报,4:3, (1983), 46—56.
- [2] 韩志刚,动态系统预报的一种新方法,自动化学报,9:3, (1983), 161—168.
- [3] 韩志刚,天气系统的建模与预报,控制理论与应用,3:2, (1986), 64—71.
- [4] 韩志刚,多层递阶预报方法参数估值的初值选择,控制与决策,1, (1986), 25—29.
- [5] 张捍东,森林系统树木生长的数学模型及辨识,控制理论与应用,3:4, (1986),
- [6] 汤兵勇,关于动态系统时变参数的预报算法,黑龙江大学自然科学学报,1, (1983), 18—26.
- [7] 韩志刚,多层递阶辨识方法,自动化学报,14:5, (1988), 383—386.

The Adaptive Prediction of Oilfield Output

Han Zhigang

(Institute of Applied Mathematics Heilongjiang University Harbin)

Abstract

In this paper, to regard as the case of study, the new real prediction results of Oil-output and Water-output of some oilfield have been presented.