第6卷 增刊2　　控制理论与应用　　Vol.6 Suppl.1. 2
1989年4月　　CONTROL THEORY AND APPLICATIONS　　April, 1989

多步自校正预报方法及其应用

杨自厚　李宝泽　胡国奋

（东北工学院自控系，沈阳）

摘　要

本文比较了已有两种多步自校正方法．提出了一种改进的多步自校正预报方法，给出了应用的仿真结果．

在生产控制和管理中常需要对过程参数的变化和设备的状态进行预测，除要求有足够的预测精度以外，还常要求多步预测。

在系统的模型参数未知情况下，可以采用自校正预报方法进行预报。

本文对文献〔1〕和〔2〕的多步预报算法进行了仿真研究，并给出了一种改进的多步预报算法。

一、两个多步预报方法的比较

为了比较文献〔1〕和〔2〕给出的两个多步预报方法，用下面的模型产生输出数据。

$$A_0(q^{-1})y(t)=B_0(q^{-1})u(t)+C_0(q^{-1})e(t).$$

模型（a）：$A_0(q^{-1})=1-1.5q^{-1}+0.7q^{-2}$，$B(q^{-1})=1.0q^{-1}+0.5q^{-2}$，

$C_0(q^{-1})=1-1.0q^{-1}+0.2q^{-2}$。

模型（b）：$A_0(q^{-1})=1-1.5q^{-1}+0.7q^{-2}$，$B(q^{-1})=1.0q^{-1}+0.5q^{-2}$，

$C_0(q^{-1})=1$.

递推式为　$y(t)=-[1-A_0(q^{-1})]y(t)+B_0(q^{-1})u(t)+C_0(q^{-1})e(t)$.

输入序列$u(t)$为幅值等于1的伪随机序列．用90组数据分别对两个多步预报方法进行仿真，比较如下指标：（1）K步预报相对均方误差$E1\%$，（2）命中率W.

作八步预报，共进行30个时刻．对模型（a）和（b），各取$\sigma=0.05$和$\sigma=0.1$，仿真计算结果绘于图1．从计算结果可以看出：

（1）在$\sigma=0.05$时，对于模型（b），文献〔2〕（以后称方法2）的方法的预报误差及命中率均优于文献〔1〕（以后称方法1）．对于模型（a），方法2的一步预报及命中率稍劣于方法1。

（2）在$\sigma=0.1$时，对于模型（b），除$W\leqslant5\%$的前二步命中率外，方法2均优于方法1．对于模型（a），除前三步预报误差外，方法2均优于方法1。

从计算时间看，方法2快于方法1。

本文于1986年10月28日收到．1987年8月20日收到修改稿．

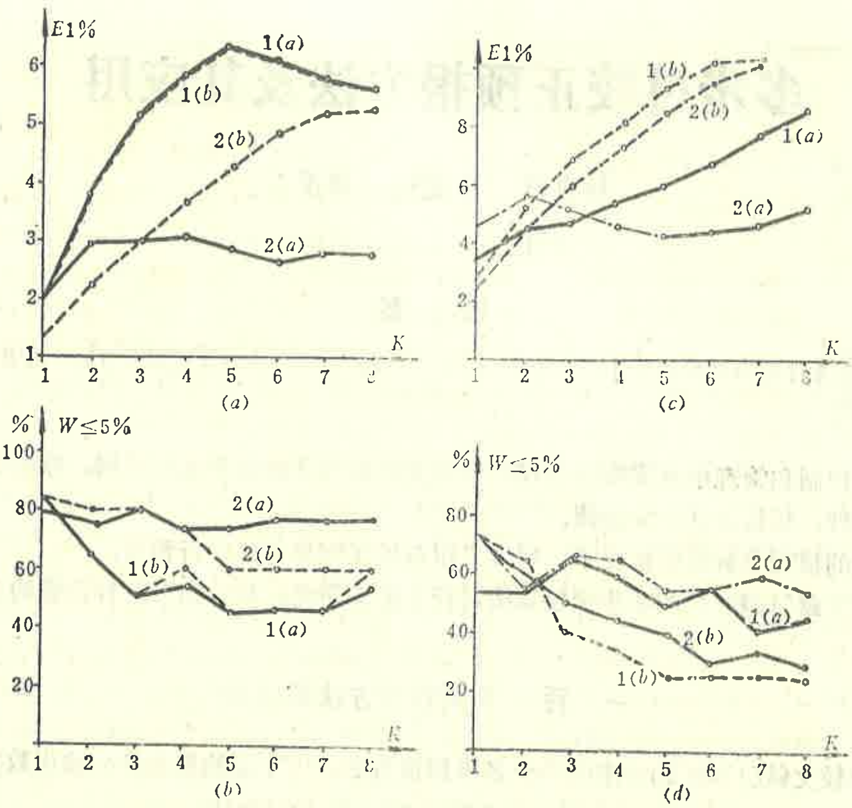

图 1 两种预报方法的比较

(a)、(b)：$\sigma=0.05$的情况； (c)、(d)：$\sigma=0.1$的情况

曲线1：方法1， 曲线2：方法2

曲线(a)：模型(a)； 曲线(b)：模型(b)

二、改进的多步自正校预报方法——校正预报法

考虑如下ARMAX模型

$$A(q^{-1})y(t)=B(q^{-1})u(t)+C(q^{-1})\xi(t), \tag{2.1}$$

其中，$A(q^{-1})=1-a_1q^{-1}-\cdots-a_nq^{-n}$； $B(q^{-1})=b_0+b_1q^{-1}+\cdots+b_nq^{-n}$； $C(q^{-1})=1+c_1q^{-1}+\cdots+c_nq^{-n}$；

$\xi(t)$—零均值方差为σ^2的高斯白噪声，与输入u不相关。

式(2.1)两边乘除以$A(q^{-1})$，得

$$y(t)=\sum_{i=0} b_i' u(t-i)+\sum_{i=1} c_i' \xi(t-i)+\xi(t), \tag{2.2}$$

式中，系数c_i'为

$$c_i'=\sum_{k=1}^{i} a_k c_{i-k}' + c_i, \quad i=1, 2, \cdots$$

其中，$c'_0=1$，

$$c_i=0,\ i>n;\ a_j=0,\ j>n.$$

系数b'_i可类似于c'_i得到。

在式(2.2)中用$t+l$代替t，得

$$y(t+l)=\sum_{i=0}^{\infty}b'_i\ u(t+l-i)+\sum_{i=l}^{\infty}c'_i\ \xi(t+l-i)+\sum_{i=0}^{l-1}c'_i\ \xi(t+l-i). \quad (2.3)$$

设$\hat{y}(t+l|t)$是基于$u(t+l)$，$u(t+l-1)$，…；$\xi(t)$，$\xi(t-1)$，…的最优线性预报器，使$E[y(t+l)-\hat{y}(t+l|t)]^2$最小，得

$$\hat{y}(t+l|t)=\sum_{i=0}^{\infty}b'_i\ u(t+l-i)+\sum_{i=l}^{\infty}c'_i\ \xi(t+l-i). \quad (2.4)$$

其预报误差方差为

$$E[y(t+l)-\hat{y}(t+l|t)]^2=\sigma^2(1+c_1'^2+\cdots+c_{l-1}'^2).$$

令$t=t+1$，代入式(2.4)，得

$$\hat{y}[(t+1)+l\,|\,(t+1)]=\sum_{i=0}^{\infty}b'_i\ u[t+(l+1)-i]$$

$$+\sum_{i=l+1}^{\infty}c'_i\ \xi[t+(l+1)-i]+c'_l\ \xi(t+1). \quad (2.5)$$

比较式(2.4)和(2.5)，有

$$\hat{y}[(t+1)+l\,|\,(t+1)]=\hat{y}[t+(l+1)\,|\,t]+c'_l\xi(t+1). \quad (2.6)$$

上式左侧表示$t+1$时刻的l步预报，以后用$\hat{y}_{t+1,l}$表示。右侧第一项为t时刻的$l+1$步预报，以后用$\hat{y}_{t,l+1}$表示，右侧第二项表示校正量。也就是说，现时刻的l步预报等于前一时刻的$l+1$步预报加上一个校正量，放称为校正预测法：

$$\hat{y}_{t+1,l}=\hat{y}_{t,l+1}+c'_l\xi(t+1). \quad (2.7)$$

在式(2.3)和(2.4)中，令$l=1$，得

$$\xi(t)=y(t+1)-\hat{y}_{t,1}. \quad (2.8)$$

在实际应用中，如果在每时刻想要得到第h步预报，则有

$$\hat{y}_{t+1,h}=\hat{y}_{t,h+1}+c'_h\xi(t+1). \quad (2.9)$$

但是在上一时刻t没有$h+1$步，而只有到h步的预报值。在每时刻的第h步预报采用Box-Jenkins递推方法计算，算式是

$$\hat{y}_{t+1,h}=\sum_{i=1}^{n}a_i\ \hat{y}_{t+1,h-i}+\sum_{i=0}^{n}b_iu_{t+h-i+1}, \quad (2.10)$$

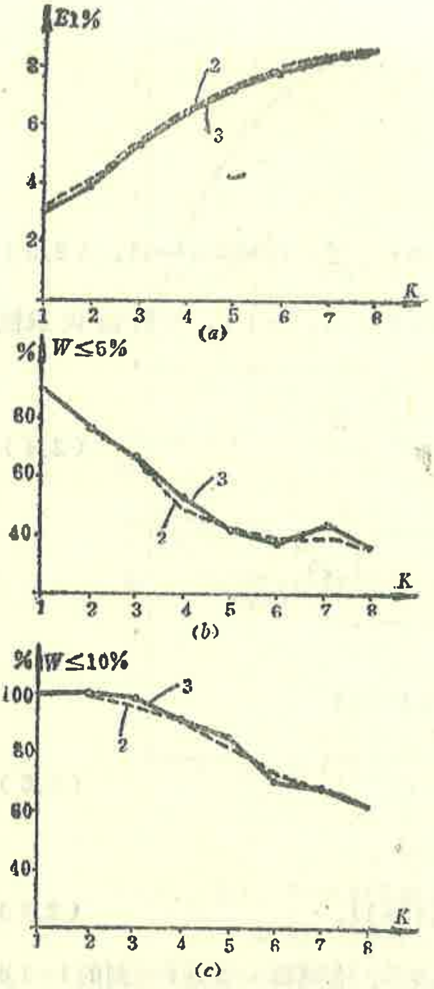

图 2 氧气储罐压力预报仿真结果

一般 $h \gg n$。

如果模型的参数未知，则分两步进行，第一步：参数估计。估计参数$\hat{a}_i$、$\hat{b}_i$和$\hat{c}_i$，并用式（2.8）算出$\hat{\xi}(t+1)$作为$\xi(t+1)$的估计值。第二步：预报。将参数估计值$\hat{a}_i$、$\hat{b}_i$、$\hat{c}_i$和$\hat{\xi}(t+1)$代入式（2.7）（$l=1,\cdots,h-1$时）和式（2.10）（$l=h$时），就得到多步预报值。

三、校正预测方法应用

本方法曾应用于某钢厂氧气储罐压力预报，每15分钟采集一次数据，共采集300组数据，其中200组用于辨识参数，100组用于预测检验。共进行八步预报，即$h=8$。预测结果绘于图2 曲线3。为了进行比较，用前述预测方法2进行同样的预测计算，其结果绘于图 2 曲线2。

从预测计算结果可以看出：

（1）用校正预测法，一步预报误差 $E1\%=2.94\%$；命中率随预报步数K的增大而减小，但一步和两步预报误差全部控制在10%以内。

（2）校正预测法与预报方法2相比，预测精度稍有改进，预报命中率基本相同。

但由于校正预测法计算项数较少，计算时间约为预报方法2的70%。

参考文献

〔1〕 De Keyser, Van Cauwenberghe A. R., Self-Tuning Multistep Predictor Application, Automatica, 17:1, (1981), 167—174.

〔2〕 邓自立、郭一新等，多变量多步自校正递推预报器及其应用，自动化学报，9:4,(1983), 241—247.

Self-tuning Multistep Predictor and It's Application

Yang Zihou, Li Baoze, Hu Guofeng

(Department of Automatic Control, Northeast University of Technology, Shenyang)

Abstract

This paper studies and compares two self-tuning multistep predictors. An improved self-tuning multistep predictor is proposed and the simulation results of an applieation by use of the proposed prediction method are given.