

# 多变量广义预测控制算法及其应用研究

赵志远

(抚顺石油学院自动化系·抚顺, 113001)

**摘要:** 基于实际应用中的特点对广义预测控制算法进行了应用研究, 在加热炉温度控制中的应用表明, 广义预测控制算法运用范围广, 提高了控制精度, 取得了较好的效益。

**关键词:** 广义预测控制; 集散控制系统; 组态; 算法

## The Study of the Generalized Predictive Control Algorithm with the MIMO and Its Applications

Zhao Zhiyuan

(Department of Automation, Fushun Petroleum Institute·Fushun, 113001, P. R. China)

**Abstract:** The study of the generalized predictive control algorithm with the MIMO and its applications is proposed. It is applied in the heating furnace. The application results show the algorithm is effective. It has improved the control precision and got better economic benefit.

**Key words:** generalized predictive control; distribute control system; configuration; algorithm

### 1 引言 (Introduction)

预测控制算法是针对工业生产过程都有一定的非线性和时变性, 往往还存在着纯滞后和不确定性这一特点而提出的一种算法. 广义预测控制 (GPC) 在 80 年代后期得到了迅速的发展, 相继涌现出许多改进算法<sup>[1,2]</sup>.

本文利用现有算法, 根据现场的实际情况, 采取了一些技术手段 (诸如, UD 分解、递推求逆、阀位限幅、无扰切换、变化的控制参数等). 在原有控制系统的基础上, 合理地进行了组态, 生成了一个预测控制、PID 控制兼容, 四种控制方式 (手操、单回路、串级、预测) 兼备且任意两种间可进行无扰切换的系统. 在加热炉温度控制过程中的应用表明, 该算法适用范围广, 提高了控制精度, 减轻了操作人员的劳动强度, 取得了较好的效益.

### 2 加热炉出口温度控制的广义预测算法 (GPC algorithm of the heating furnace's temperature)

加热炉出口温度控制的广义预测算法由提供的控制算法<sup>[1]</sup>, 按下列顺序进行:

首先辨识预测模型中多项式系数  $A, B$  和  $C$

$$Y(t+1) = \sum_{i=1}^n A_{1,i} Y(t+1-i) +$$

$$\sum_{i=0}^m B_{1,i} \Delta U(t-d-i) + \sum_{i=0}^r C_{1,i} e(t+1-i).$$

其中,  $Y$  为系统的输出;  $U$  为控制输入;  $e$  为外部白噪声;  $d+1$  为系统纯滞后.

然后由下式递推计算  $p$  步的预测输出, 构成向量  $Y_m$ .

$$Y_m(t+k) = \sum_{i=1}^n A_{1,i} Y_m(t+k-i) + \sum_{i=1}^m B_{1,i} \Delta U(t+k-d-1-i/t) + \sum_{i=0}^r C_{1,i} e(t+k-i/t).$$

其中  $k=1, 2, \dots, p, p$  为预测长度.

接下来考虑系统的滞后, 由下式递推计算  $p-d$  步参考轨迹, 构成向量  $Y_r$ .

$$Y_r(t+d) = Y_m(t+d),$$

$$Y_r(t+d+j) = \alpha Y_r(t+d+j-1) + (1-\alpha) Y_s,$$

其中  $\alpha$  为柔化系数;  $Y_s$  为设定值.

最后我们希望加热炉出口温度偏差应尽量小, 阀门开度变化也不要过于频繁, 故取目标函数为:

$$J = \min \{ (Y_r - Y)^T - (Y_r - Y) + \beta^2 \Delta U^T \Delta U \}.$$

其中  $\beta^2$  为加权系数.

极小化目标函数得  $t$  时刻的控制输入为:

$$U(t) = U(t-1) + (1, 0, \dots, 0) (G^T G + \beta^2 I)^{-1} G^T (Y_r - Y_m).$$

### 3 方案的实施(Implementation of the plan)

#### 3.1 预测软件的编制(Draw up a predicting software)

预测软件分为四个部分:

·初始化软件(包括辨识初始化).对预测模型的阶次、柔化系数、加权系数等赋初值,以及定义数组.

·辨识软件.采样输入输出数据,构成信息阵.由渐消记忆递推最小二乘法,利用矩阵元素构成的特殊性,进行了矩阵分解,计算出待辨识参数,同时进行收敛性判断.若收敛,则转入求逆软件部分,否则返回采样数据程序入口.

·求逆软件.由预测模型计算  $G$  阵的构成元素.根据递推公式,求解一阶逆矩阵.然后循环计算,直到达到  $n$  阶为止,从而计算出  $(G^T G + \beta^2 I)^{-1} G^T$ .

·预测软件.进行控制方式判断,计算预测输出向量、参数轨迹和控制增量以及变控制参数的设置,从而得到控制输出值.

#### 3.2 仿真试验(Simulation test)

仿真试验是在和用户使用的相同的控制装置上进行的,且利用和现场装置特性相近的对象模型,使用 YP-BASIC 语言编程.对象容量滞后 100 秒;纯滞后 90 秒,预测长度取 28.当容量滞后由 100 秒变为 140 秒时(其它参数不变),其预测控制和 PID 串级控制的 20 分钟的趋势记录曲线分别见图 1 和 2.

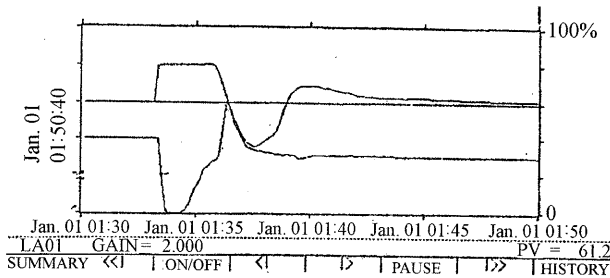


图 1 预测控制实时趋势画面  
Fig. 1 Simulation results of GPC

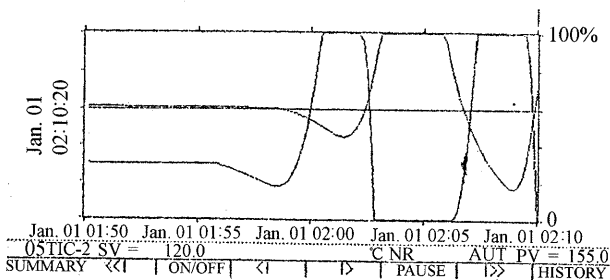


图 2 PID串级控制实时趋势画面  
Fig. 2 Simulation results of PID control

图中部的横线是设定值;下部曲线是阀位值;另一条曲线是测量值.由图 1 可知,当对象特性变化后,系统的输出立即发生变化.此时,程序通过辨识

进行预测,对  $U(t)$  快速进行了调整,并使系统趋于稳定(约 15 分钟).可见预测控制具有较强的自适应能力.当然,也可通过调整柔化系数和加权系数来使输出更快地达到设定值,但这要以降低稳定性作为代价.

在同样情况下,利用 PID 串级控制方法也进行了试验.先对主调和副调的参数进行整定,使系统稳定.由图 2 可知,当对象特性变化后,PID 控制产生震荡.

#### 3.3 控制方案及控制效果(Controlling plan and results)

某厂重整加氢装置采用 YEWPACK MARK II 系统控制,使用 PID 串级和单回路可双向无扰切换的控制方案,见图 3(除去 MGPC 和 SW02 部分).由于系统滞后较大,其中主、副调节器(03TIC-3 和 03FIC-11)虽经工人多年经验整定,但在大干扰信号时,控制效果仍不理想,PID 调节常引起震荡.所以此时只能切至手操调节,增加了劳动强度,也影响产品质量.

采用预测后的控制方案见图 3.

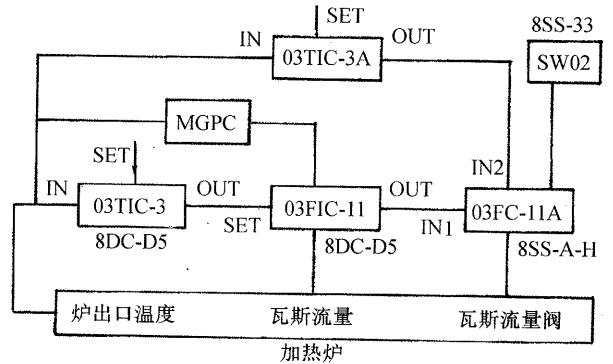


图 3 加热炉出口温度的预测控制方案

Fig. 3 Plan of predictive control that apply to heating furnace

图中 MGPC 是编制的预测程序,其输出值直接作为副调的手操输出值;SW02 是切换开关单元,用以进行不同控制方式的操作;03TIC-3,03FIC-11 和 03TIC-3A 分别为主、副调节器和单回路 PID 调节器;03FC-11A 是选择单元,其作用是在 SW02 指令下,分别选择单回路、串级和预测控制.

实际控制效果如图 4 和图 5 所示.图 4 为系统主扰瓦斯压力曲线,其最大波动达 0.1Mpa;图 5 为一反对应的温度曲线(均为两天的历史趋势画面).由图可见,在预测控制下系统仍能趋于稳定.正常状态下,控制精度(设定值为 499℃)为 1~2℃.

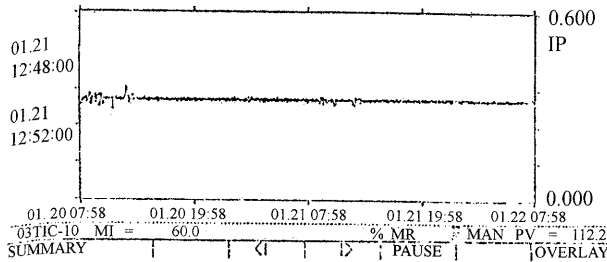


图 4 主扰瓦斯压力曲线  
Fig. 4 Curve for gas pressure

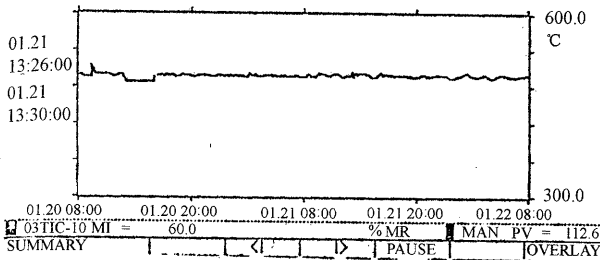


图 5 预测控制温度曲线  
Fig. 5 Curve for temperature of predictive control

### 3.4 组态中的几个问题 (A few questions in configuring)

组态是在原组态基础上进行,不变动任何硬件,只是增加了一个软开关系统(SW02)和一个预测程序(MGPC).其具体操作涉及到顺控元件、工位号、顺控表、组画面、实时趋势的生成以及组态内容的下装、程序的输入等,均根据文献[3]进行.

根据现场的实际情况,组态中作了如下几项技术处理:

- 阀位限幅.为保证加热炉不灭火和温度不超限,根据工艺需要在组画面上设置阀位上下限,避免发生事故.

- 无扰切换.为保证无扰切换,在组态中生成顺控表.顺控表采样开关单元的状态,在预测控制时,令 03FIC-11 呈手操态且三个 PID 调节器的设定值分别等于各自的测量值,预测程序的输出分别作为

03FIC-11 和 03TIC-3A 的输出值.这样即可实现预测向串级或单回路控制的无扰切换;在串级控制时,令 03TIC-3A 的设定值等于其测量值且将串级控制的输出赋予预测程序和 03TIC-3A,分别作为它们的输出值.这样就可实现串级向单回路和预测控制的无扰切换;在单回路控制时,令 03FIC-11 的设定值等于其测量值且将单回路的输出赋予预测控制和 03FIC-11 分别作为它们的输出值.这样即可实现单回路向预测和串级控制的无扰切换.

- 参数可变.指柔化系数和加权系数可变.在预测程序中实现大偏差时采用小的柔化系数和加权系数,使输出快速跟踪给定;在接近稳态时,采用大的柔化系数和加权系数,保证系统的稳态性能.

- 方便操作.为使控制方式切换方便,将增设的开关单元置于生成的组画面内.这样用键盘的单触操作即可容易地实现各种控制方式的切换.

## 4 结语 (Conclusion)

将 GPC 算法应用于加热炉出口温度控制的实践表明,控制系统实现简单,能有效地克服干扰,提高了控制精度(为  $1 \sim 2^\circ\text{C}$ ),同时也减轻了工人的劳动强度.广义预测的温控算法具有良好的应用前景.

## 参考文献 (References)

- 1 金元郁,顾兴源.改进的多变量广义预测控制算法.信息与控制,1990,19(6):20-23
- 2 徐宁寿等.改进的广义预测控制算法.北京工业大学学报,1989,15(2):12-23
- 3 赵志远.YEWPACK MARK II 系统实用操作指南.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1991

## 本文作者简介

赵志远 1944年生.现为抚顺石油学院自动化系副教授.长期从事调节装置的教学及在生产过程中的应用研究.