

# 模糊广义预测控制及其应用

张化光 吕剑虹 陈来九

(东南大学三系,南京 210018)

## 摘 要

本文将单变量广义预测控制原理应用到多变量模糊系统,提出了一种基于辨识模糊模型的多变量预测控制方法.仿真研究表明,该模糊广义预测控制方法适用于工业过程的动态辨识和控制,并能取得良好的效果.

**关键词:** 多变量系统,模糊辨识,模糊规则,广义预测控制.

## 一、引 言

自从 1974 年 E. H. Mamdani 等人研究成功第一台 Fuzzy 控制器以来<sup>[1]</sup>,已有一些报道模糊控制器在工业过程控制中应用的例子,例如水净化过程<sup>[2]</sup>,流体催化裂化装置<sup>[3]</sup>,核反应堆<sup>[4]</sup>.

模糊控制方法在过程控制中的应用是当今的一个研究热点.设计模糊控制器的关键是如何寻求适当的模糊控制规则.在实际中,有下面三种方法可以使用:

- 1) 根据现场熟练操作人员的运行经验和(或)领域专家的知识;
- 2) 根据对现场熟练操作人员操作过程的模糊辨识所得到的操作模型;
- 3) 根据被控制的生产过程的模糊模型.

第一种方法是建造专家系统常用的方法.至今所设计的大多数模糊控制器就是采用这种方法.在操作经验和知识起着主导作用时,这种方法是很有有效的.然而,在很多情况下,由运行经验总结控制规则是一件繁琐和困难的事情.

第二种方法是依据操作过程的输入输出数据建立操作过程的模糊模型.这里的模糊模型是指用模糊规则描述的输入输出关系,其形式与模糊控制规则相同.

然而,这两种方法的本质是相同的.仅当认为操作人员的控制效果令人满意时,才能使用这两种方法.注意到通过对操作人员操作过程的建模最多能够准确的模仿他的操作,而不会比他的操作效果更佳.

当被控过程很复杂时,就可能不存在任何操作人员能够很好地控制它.在这种情况下,就不能使用操作者的经验和(或)知识.显然,通过建立过程的数学模型,进而从理论上推导出一组控制规则是一种可行的方法.换言之,就是依据过程的模糊模型来建立模糊控制器.

本文的模糊广义预测控制是一种基于模糊模型的控制方法.类似于常规的自校正控

制方法,它是由模糊辨识和控制器设计两部分组成.

## 二、模糊模型的辨识

### 1. 模糊模型的构成

具有  $P$  个输入单个输出的 MISO 离散系统可以由  $n$  条模糊规则组成的集合表示<sup>[2,5]</sup>, 其中第  $i$  条模糊规则的形式为

$$\begin{aligned}
 R^i: & \text{ if } y(t-\tau) \text{ is } A_1^i, y(t-\tau-1) \text{ is } A_2^i, \dots, y(t-\tau-n_y) \text{ is } A_{n_y+1}^i, \\
 & u_1(t-\tau_1) \text{ is } A_{n_y+2}^i, \dots, u_1(t-\tau_1-n_1) \text{ is } A_{n_y+n_1+2}^i, \dots, u_p(t-\tau_p-n_p) \text{ is } \\
 & A_{n_y+n_1+\dots+n_p+p+1}^i, \\
 & \text{ then } y^i = P_1^i y(t-\tau) + P_2^i y(t-\tau-1) + \dots + P_{n_y+1}^i y(t \\
 & -\tau-n_y) + P_{n_y+2}^i u_1(t-\tau_1) + \dots + P_{n_y+n_1+2}^i u_1(t-\tau_1-n_1) + \dots \\
 & + P_{n_y+n_1+\dots+n_p+p+1}^i u_p(t-\tau_p-n_p), \tag{1}
 \end{aligned}$$

这里  $R^i$  表示第  $i$  条模糊规则,  $A_j^i$  是一个模糊子集, 其隶属函数中的参数称为前提参数;  $y^i$  是第  $i$  条模糊规则的输出;  $P_j^i$  是一个结论参数.  $u_1(\cdot), \dots, u_p(\cdot)$  是各个输入变量,  $y(\cdot)$  是输出变量.  $\tau, \tau_1, \dots, \tau_p$  是纯时间滞后,  $n_y, n_1, \dots, n_p$  是有关变量的阶数.

为方便起见,令

$$\left. \begin{aligned}
 x_1(t) &= y(t-\tau), \\
 x_2(t) &= y(t-\tau-1), \\
 &\vdots \\
 x_{n_y+1}(t) &= y(t-\tau-n_y), \\
 x_{n_y+2}(t) &= u_1(t-\tau_1), \\
 &\vdots \\
 x_m(t) &= u_p(t-\tau_p-n_p),
 \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

这里  $m = n_y + 1 + \sum_{i=1}^p (n_i + 1)$ . 于是方程(1)可以写成如下形式:

$$\begin{aligned}
 R^i: & \text{ if } x_1 \text{ is } A_1^i, x_2 \text{ is } A_2^i, \dots, x_m \text{ is } A_m^i, \\
 & \text{ then } y^i = P_1^i x_1 + P_2^i x_2 + \dots + P_m^i x_m, \tag{3}
 \end{aligned}$$

其中  $x_i$  是  $x_i(t)$  的简写,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

下面约定:  $x_j$  称为模糊模型的广义输入变量, 简称为输入变量; 在前提中, 如果“ $x_j$  is  $A_j^i$ ”略写, 则意味着  $x_j$  是无条件的. 本文中, 模糊子集的隶属函数取分段直线组成的凸函数形式.

### 2. 模糊模型的辨识

假若给定一个输入向量  $(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{m0})$ , 那么由诸规则的输出  $y^i (i = 1, 2, \dots, n)$  的加权平均可求得输出  $\hat{y}$ :

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^n G^i y^i}{\sum_{i=1}^n G^i}, \tag{4}$$

这里  $n$  是模糊规则的数量, 权  $G^i$  代表对应于此输入向量的第  $i$  条规则的真值, 由下式计算:



$$G^i = \prod_{j=1}^m A_j^i(x_{j0}), \quad (5)$$

其中  $\Pi$  是模糊算子, 文中采用乘积运算。

由输入输出数据求取对象模型的模糊辨识方法由两部分组成: 结构辨识和参数辨识。结构辨识分为前提结构辨识和结论结构辨识; 参数辨识也分为前提参数的辨识和结论参数的辨识。有关辨识算法的详细介绍见文献[5]。图 1 给出了模糊模型辨识的流程图。

### 三、基于模糊模型的广义预测控制器

#### 1. 模糊模型的等价转换

直观上看, 模糊模型本质上是非线性时变模型, 因而其控制器的设计将是很困难的问题。然而, 注意到模糊模型中诸规则的结论都是由线性方程式描述的, 因此可试图利用线性控制理论来设计模糊控制器。

当过程仅有一个输出变量时, 并且当前采样时刻的输入向量为  $(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{m0})$ , 那么由(3), (4), (5)式可以推得

$$\hat{y} = f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots + f_m x_m, \quad (6)$$

这里

$$f_1 = \frac{\sum_{i=1}^n G^i P_1^i}{\sum_{i=1}^n G^i} = \frac{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m A_j^i(x_{j0}) P_1^i}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m A_j^i(x_{j0})},$$

$$\vdots$$

$$f_m = \frac{\sum_{i=1}^n G^i P_m^i}{\sum_{i=1}^n G^i} = \frac{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m A_j^i(x_{j0}) P_m^i}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m A_j^i(x_{j0})}.$$

注意到方程(6)中  $f_i (i = 1, 2, \dots, m)$  是时变参数, 但在某个采样周期内, 方程(6)是普通的线性方程式。

对于多输出系统, 首先划分成为多个单输出系统; 对于每个单输出系统, 再推导出形如(6)式的方程。

当获得了形如(6)式的方程式(或方程组)后, 就可以利用某种线性控制方法设计模糊控制器。Clarke 等人提出的单变量广义预测控制 GPC<sup>[6]</sup> 是基于对对象输出的多步预报, 因而使 GPC 算法对对象的纯滞后不敏感, 而且 GPC 也能适用于非最小相位和开环不稳定的对象, 是一种比较实用的方法。因此, 本文将模糊辨识与广义预测控制规律结合起来, 开创地提出模糊预测控制规律。下面首先将 Clarke 的单变量 GPC 直接推广到多变量系统。

#### 2. 多变量过程的输出最优预测

假若由模糊辨识方法求得了对象的 CARIMA 模型

$$A(q^{-1})\mathbf{y}(t) = B(q^{-1})\mathbf{u}(t-1) + \xi(t)/\Delta, \quad (7)$$

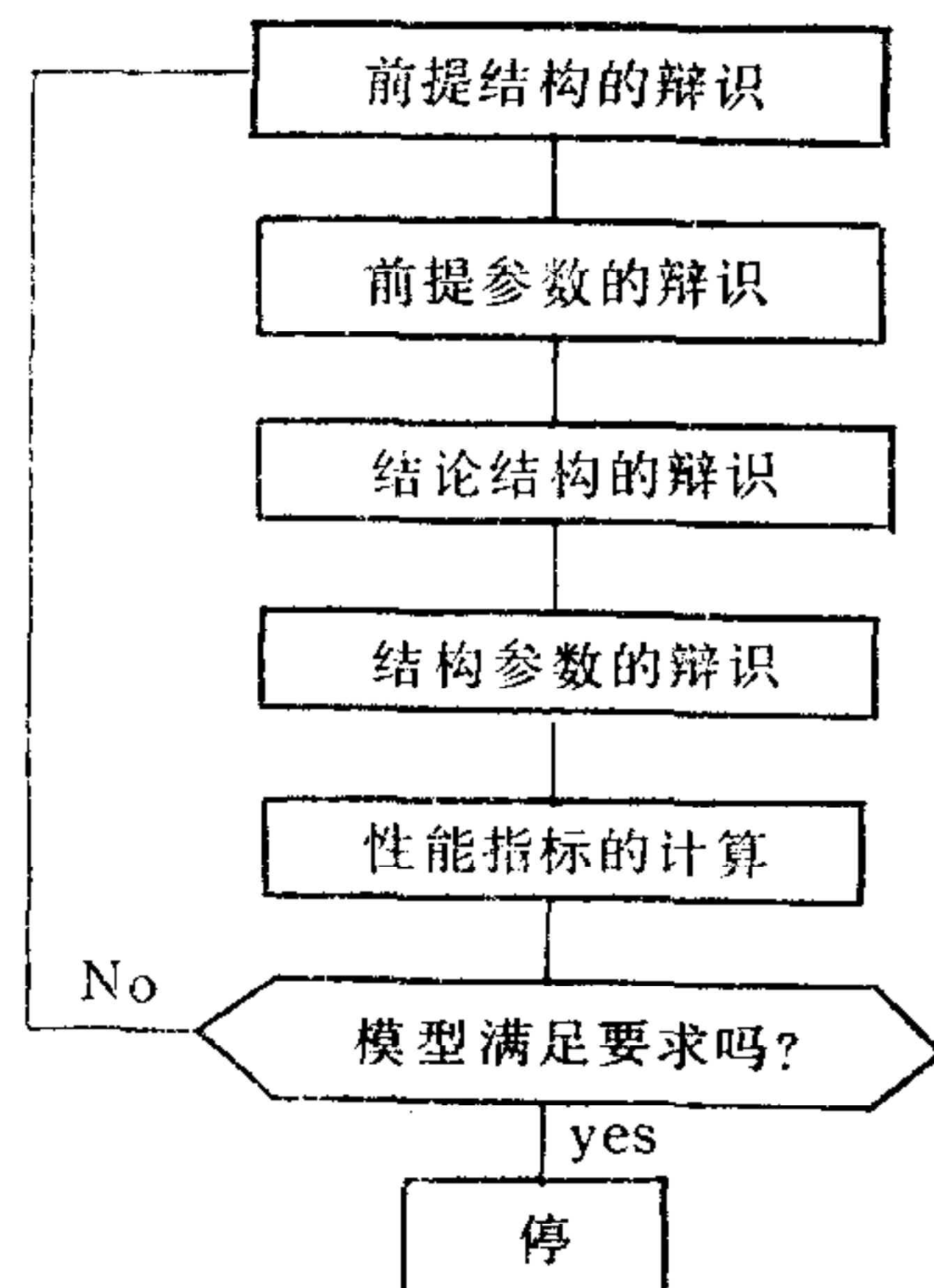


图 1 模糊辨识算法的流程图

式中  $\mathbf{y}(t), \mathbf{u}(t), \boldsymbol{\xi}(t)$  分别为  $m$  维输出、输入和零均值不相关的干扰向量;  $A(q^{-1}), B(q^{-1})$  为后移算子  $q^{-1}$  的矩阵多项式.

$$\left. \begin{aligned} A(q^{-1}) &= I + A_1 q^{-1} + A_2 q^{-2} + \cdots + A_{n_a} q^{-n_a}, \\ B(q^{-1}) &= B_0 + B_1 q^{-1} + B_2 q^{-2} + \cdots + B_{n_b} q^{-n_b}, \\ (A_i \in R^{m \times m}, B_i \in R^{m \times m}), \\ \Delta &= 1 - q^{-1}, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

由式(7),得

$$A(q^{-1})\Delta \mathbf{y}(t) = B(q^{-1})\Delta \mathbf{u}(t-1) + \boldsymbol{\xi}(t). \quad (9)$$

为求多变量对象的输出预测,定义矩阵多项式  $\varphi, \varphi^{[k]}, B^{[k]}$  如下:

$$\left. \begin{aligned} A(q^{-1})\Delta &= I - q^{-1}\varphi, \\ \varphi^{[k]} &= q^k \left[ \varphi - \sum_{j=0}^{k-1} \varphi_j q^{-j} \right], \\ B^{[k]} &= q^k \left[ B - \sum_{j=0}^{k-1} B_j q^{-j} \right], \quad (k = 1, 2, 3, \cdots). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

由(9),(10)式可求得对象输出的第  $k$  步最优预测为<sup>1)</sup>

$$\hat{\mathbf{y}}^*(t+k) = \mathbf{s}(t+k) + H_0 \Delta \mathbf{u}(t+k-1) + H_1 \Delta \mathbf{u}(t+k-2) + \cdots + H_{k-1} \Delta \mathbf{u}(t), \quad (11)$$

$$\mathbf{s}(t+k) = Y_{k-1} \mathbf{y}(t) + U_{k-1} \Delta \mathbf{u}(t-1), \quad (12)$$

其中,矩阵多项式  $Y_{k-1}, U_{k-1}$  和系数矩阵  $H_{k-1}$  可通过如下递推关系确定:

$$\left. \begin{aligned} Y_{k-1} &= \varphi^{[k-1]} + \sum_{j=0}^{k-2} \varphi_j Y_{k-2-j}, \\ U_{k-1} &= B^{[k]} + \sum_{j=0}^{k-2} \varphi_j U_{k-2-j}, \\ H_{k-1} &= B_{k-1} + \sum_{j=0}^{k-2} \varphi_j H_{k-2-j}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

### 3. 多变量广义预测控制规律

多变量 GPC 的控制目标是使多变量系统的各个输出以最优的方式跟踪各自的参考轨迹,即使如下性能指标最小:

$$J = E \left\{ \sum_{j=1}^N [\mathbf{y}(t+j) - \mathbf{y}_r(t+j)]^T P(j) [\mathbf{y}(t+j) - \mathbf{y}_r(t+j)] + \sum_{j=1}^{N_u} \Delta \mathbf{u}(t+j-1)^T \lambda(j) \Delta \mathbf{u}(t+j-1) \right\}, \quad (14)$$

式中  $E\{\cdot\}$  为数学期望;  $N$  为多变量对象输出的预测时间;  $N_u$  为控制增量时间;  $P(j), \lambda(j)$  分别为输出偏差及控制增量的权矩阵序列,  $\mathbf{y}_r(t+j)$  为  $j$  时刻各参考轨迹的数值向量.

通过使式(14)最小,求得多变量系统的广义预测控制规律如下:

1) 吕剑虹,预测控制在热工过程控制中的应用研究,东南大学博士研究生学位论文,1990年.



$$\Delta \mathbf{u} = (\mathbf{H}^T \mathbf{P} \mathbf{H} + \lambda)^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{P} (\mathbf{y}_r - \mathbf{s}), \quad (15)$$

式中  $\Delta \mathbf{u} = [\Delta \mathbf{u}^T(t), \Delta \mathbf{u}^T(t+1), \dots, \Delta \mathbf{u}^T(t+N_u-1)]^T$  为  $mN_u$  维控制增量向量； $\mathbf{y}_r = [\mathbf{y}_r^T(t+1), \mathbf{y}_r^T(t+2), \dots, \mathbf{y}_r^T(t+N)]^T$  为  $mN$  维参考轨迹向量； $\mathbf{s} = [\mathbf{s}^T(t+1), \dots, \mathbf{s}^T(t+N)]^T$  为  $mN$  维在  $t$  时刻可确定的输出预测向量； $\mathbf{P}, \lambda$  分别为  $mN \times mN$ ,  $mN_u \times mN_u$  维矩阵：

$$\mathbf{P} = \text{Block diag} \{P(1), P(2), \dots, P(N)\}, \quad (16)$$

$$\lambda = \text{Block diag} \{\lambda(1), \lambda(2), \dots, \lambda(N_u)\}, \quad (17)$$

$\mathbf{H}$  为如下  $mN \times mN_u$  维矩阵

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} H_0 & 0 & \cdots & 0 \\ H_1 & H_0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N-1} & H_{N-2} & \cdots & H_{N-N_u} \end{bmatrix}, \quad (H_i \in R^{m \times m}). \quad (18)$$

在方程(15)中,由矩阵  $[\mathbf{H}^T \mathbf{P} \mathbf{H} + \lambda]^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{P}$  中的前  $m$  行所组成的子矩阵记为  $R_g$ , 并将  $R_g$  分块成如下形式:

$$R_g = [R_{g1} : R_{g2} : \cdots : R_{gN}], \quad (19)$$

式中  $R_{gi}$  为  $m \times m$  维矩阵.

由式(15)得控制作用  $\Delta \mathbf{u}(t)$  为

$$\Delta \mathbf{u}(t) = R_g \cdot [\mathbf{y}_r - \mathbf{s}] = \sum_{i=1}^N R_{gi} \mathbf{y}_r(t+i) - \sum_{i=1}^N R_{gi} \mathbf{s}(t+i). \quad (20)$$

将(12)代入上式,得

$$\Delta \mathbf{u}(t) = R(q) \mathbf{y}_r(t) - R_y(q^{-1}) \mathbf{y}(t) - R_u(q^{-1}) \Delta \mathbf{u}(t-1), \quad (21)$$

式中  $\Delta \mathbf{u}(t) = \mathbf{u}(t) - \mathbf{u}(t-1)$ ;  $R(q), R_y(q^{-1}), R_u(q^{-1})$  为如下矩阵多项式:

$$\left. \begin{aligned} R(q) &= \sum_{i=1}^N R_{gi} q^i, \\ R_y(q^{-1}) &= \sum_{i=1}^N R_{gi} Y_{i-1}, \\ R_u(q^{-1}) &= \sum_{i=1}^N R_{gi} U_{i-1}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

## 四、应用示例

本节利用前面的方法对某火电厂 200MW 单元机组负荷系统进行自动控制, 并与常规的锅炉跟随方式的单元机组负荷系统进行比较.

### 1. 单元机组负荷系统的被控对象

单元机组负荷系统是一个具有强相互作用的多变量对象, 其输入输出关系可用式(23)表示

$$\begin{bmatrix} N_E \\ P_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{NT}(s) & W_{NB}(s) \\ W_{PT}(s) & W_{PB}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_T \\ u_B \end{bmatrix}, \quad (23)$$

式中  $N_E$ ,  $P_T$  分别为发电机实发功率和汽机机前主蒸汽压力;  $u_T$ ,  $u_B$  分别为汽机调门指令和锅炉燃烧率指令;  $W_{NT}(s)$ ,  $W_{PT}(s)$  分别为以  $u_T$  为输入,  $N_E$ ,  $P_T$  为输出的传递函数;  $W_{NB}(s)$ ,  $W_{PB}(s)$  分别为以  $u_B$  为输入,  $N_E$ ,  $P_T$  为输出的传递函数。

在设计过程中采用的对象模型是某电厂 200MW 燃煤机组的动态特性:

$$\left. \begin{aligned} W_{NT}(s) &= \frac{0.64}{1+6s} - \frac{0.64}{1+120s} \left[ \frac{MW}{\%} \right], \\ W_{PT}(s) &= - \left[ 0.028 + \frac{0.093}{(1+22.34s)(1+67.93s)} \right] \left[ \frac{MP_a}{\%} \right], \\ W_{NB}(s) &= \frac{2.447}{(1+10s)(1+280s)} \cdot \left[ \frac{MW}{T/H} \right], \\ W_{PB}(s) &= \frac{0.1506}{(1+54s)(1+53.6s)} \left[ \frac{MP_a}{T/H} \right]. \end{aligned} \right\} (24)$$

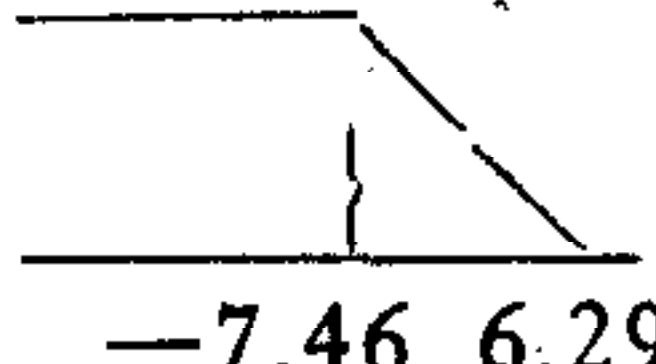
## 2. 单元机组负荷系统的模糊广义预测控制

分别在输入  $u_T$  和  $u_B$  迭加互不相关的伪随机序列, 使单元机组负荷系统得到充分的激励。这里两个伪随机序列的步长取为 16 秒, 幅值为 0.5, 阶数分别为 5 和 6。

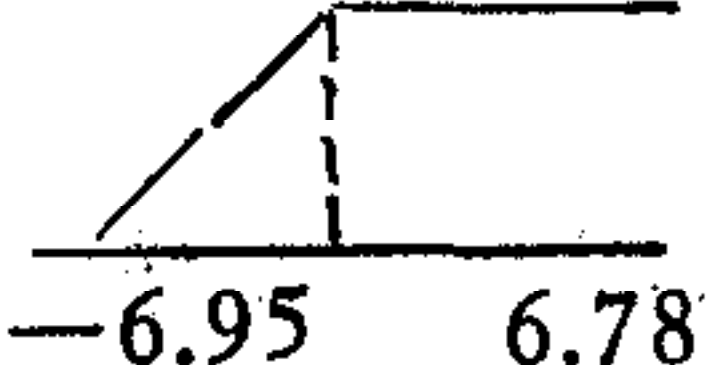
采用最近测量的 40 组数据供辨识用, 辨识周期取为 8 秒。对功率模型, 取输入变量为  $x_1 = N_E(t-1)$ ,  $x_2 = N_E(t-2)$ ,  $x_3 = N_E(t-3)$ ,  $x_4 = N_E(t-4)$ ,  $x_5 = u_T(t-1)$ ,  $x_6 = u_T(t-2)$ ,  $x_7 = u_T(t-3)$ ,  $x_8 = u_T(t-4)$ ,  $x_9 = u_B(t-1)$ ,  $x_{10} = u_B(t-2)$ ,  $x_{11} = u_B(t-3)$ ,  $x_{12} = u_B(t-4)$ , 输出变量  $y_1 = N_E(t)$ 。对压力模型, 取输入变量为  $x'_1 = P_T(t-1)$ ,  $x'_2 = P_T(t-2)$ ,  $x'_3 = P_T(t-3)$ ,  $x'_4 = P_T(t-4)$ ,  $x'_5 = x_5$ ,  $x'_6 = x_6, \dots, x'_{12} = x_{12}$ , 输出变量  $y_2 = P_T(t)$ 。

为了满足在线辨识的实时性要求, 提出了快速模糊辨识算法。限于篇幅, 此处不作介绍, 有兴趣的读者请参阅文献[5]。

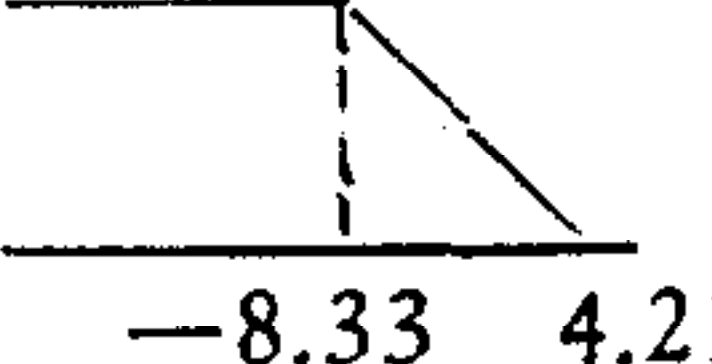
在每个辨识周期内, 分别对功率和压力对象进行辨识, 得到了系统的动态模型。例如在第一个辨识周期内, 系统的动态模型为

if  $N_E(t-1)$  is  then  $N_E(t) = 1.54N_E(t-1) - 0.37N_E(t-2)$

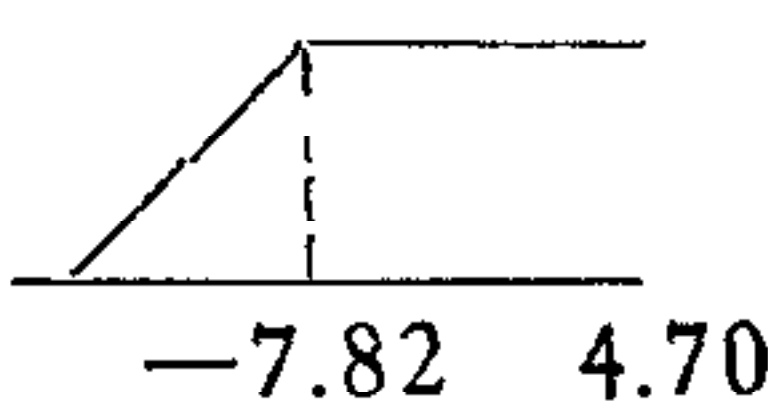
$$- 0.153N_E(t-4) + 0.108U_T(t-1) + 0.671U_T(t-2) - 0.769U_T(t-3) - 0.0103U_B(t-2),$$

if  $N_E(t-1)$  is  then  $N_E(t) = 1.41N_E(t-1) - 0.44N_E(t-2)$

$$- 0.0098U_T(t-2) + 0.019U_B(t-2) + 0.0094U_B(t-3) + 0.0049U_B(t-4),$$

if  $P_T(t-1)$  is  then  $P_T(t) = 1.16P_T(t-1) - 0.12P_T(t-3)$

$$- 0.075P_T(t-4) - 0.13U_T(t-1) - 0.41U_T(t-2) + 0.47U_T(t-3) + 0.024U_B(t-4),$$

if  $P_T(t-1)$  is  then  $P_T(t) = 1.64P_T(t-1) - 0.63P_T(t-2)$

$$- 0.028P_T(t-4) + 0.019U_B(t-2) + 0.014U_B(t-3).$$

然后, 采用前述的等价变换方法, 得到如下的两个线性差分方程:

$$N_E(t) = f_{1,1}N_E(t-1) + f_{1,2}N_E(t-2) + f_{1,3}N_E(t-3) + f_{1,4}N_E(t-4) \\ + f_{1,5}U_T(t-1) + f_{1,6}U_T(t-2) + f_{1,7}U_T(t-3) + f_{1,8}U_T(t-4) \\ + f_{1,9}U_B(t-1) + f_{1,10}U_B(t-2) + f_{1,11}U_B(t-3) + f_{1,12}U_B(t-4),$$

$$P_T(t) = f_{2,1}P_T(t-1) + f_{2,2}P_T(t-2) + f_{2,3}P_T(t-3) + f_{2,4}P_T(t-4) \\ + f_{2,5}U_T(t-1) + f_{2,6}U_T(t-2) + f_{2,7}U_T(t-3) + f_{2,8}U_T(t-4) \\ + f_{2,9}U_B(t-1) + f_{2,10}U_B(t-2) + f_{2,11}U_B(t-3) + f_{2,12}U_B(t-4).$$

也可以写成  $A(q^{-1})\mathbf{y}(t) = B(q^{-1})\mathbf{u}(t-1)$  的形式.

这里

$$\mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} N_E(t) \\ P_T(t) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}(t-1) = \begin{bmatrix} U_T(t-1) \\ U_B(t-1) \end{bmatrix}.$$

采用前述的预测控制方法, 对单元机组负荷系统进行控制. 控制周期也采用 8 秒, 且取  $N_u = 2, N = 5, P = I_{10 \times 10}, \lambda = \text{diag}\{0.1, 0.1, 1, 1\}$ .

图 2 为在加入幅值为 0.5 的伪随机序列情况下, 功率指令阶跃改变 +9MW 时模糊广义预测控制系统的动态响应.

为了进一步验证单元机组负荷系统模糊广义预测控制方法的效能, 现将它与常规的锅炉跟随系统(设计方法见文献[7])进行比较, 假定功率指令  $N_0$  阶跃改变 +9MW, 两控制系统的响应如图 3 所示.

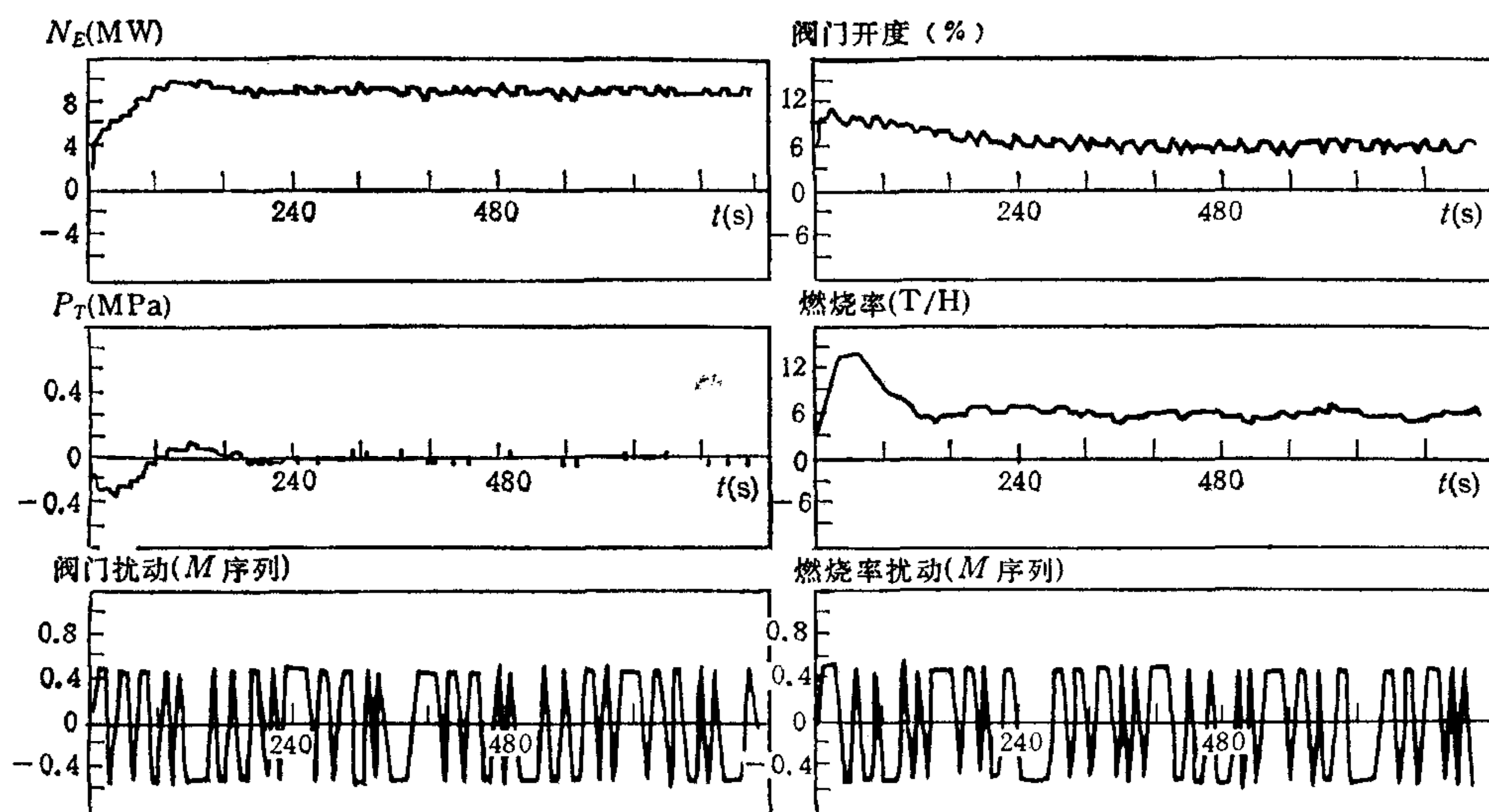


图 2 当功率指令  $N_0$  阶跃改变 +9MW 时模糊广义预测控制系统的响应



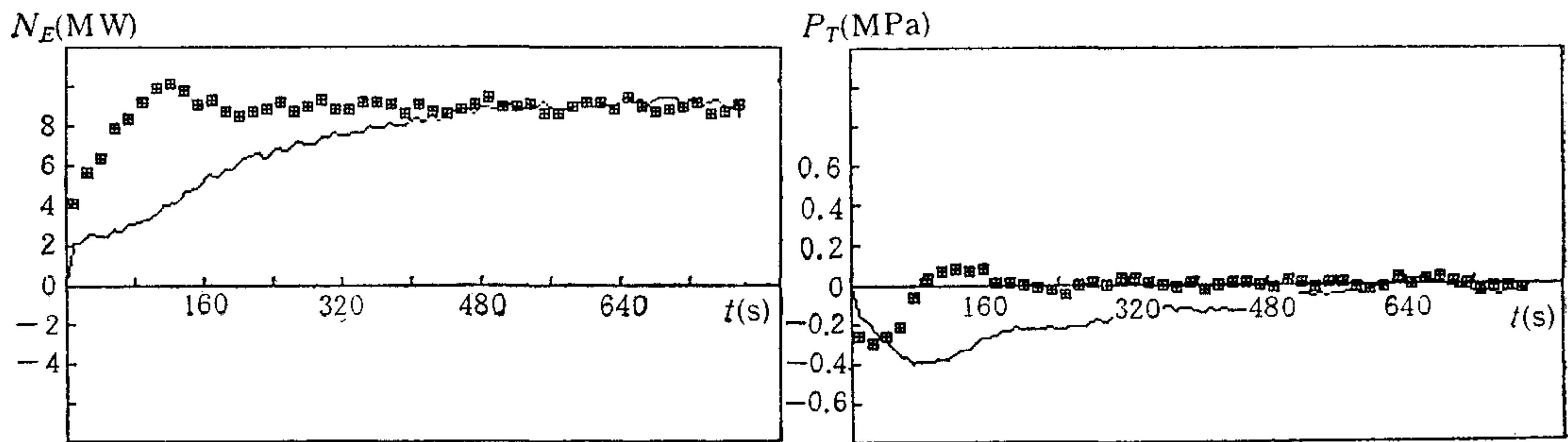


图 3 两种系统响应的比较

田——模糊广义预测控制系统 实线——常规控制系统

## 五、结 论

本文利用多变量模糊辨识算法对某 200MW 单元机组负荷系统进行在线辨识, 收到了理想的效果。

本文将 Clarke 等人的单变量 GPC 原理推广应用到模糊多变量系统的设计是有效的。前述示例研究表明: 与常规的锅炉跟随系统相比, 模糊广义预测控制系统的功率跟踪速度较快, 并使机前压力变化比较平稳, 抗干扰能力增强。

如何进一步提高模糊广义预测控制方法的计算速度, 使其能够适应于更快速的动态响应过程, 以及如何分析模糊广义预测控制系统的闭环稳定性, 都是值得进一步研究的问题。

## 参 考 文 献

- [1] Mamdani, E. H. and Assilian, S., An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, *Int. J. Man Mach. Studies*, 1(1975), 1—13.
- [2] Takagi, T. and Sugeno, M., Fuzzy Identification of Systems and Its Application to Modelling and Control, *IEEE Trans. Syst. Man & Cyber.*, 1(1985), 116—132.
- [3] Min, He. et al., A Heuristic Strategy for Product Distribution Optimization of FCCU, Proc. of IFAC Workshop on AIRTC, Shenyang, China, (1989), 160—165.
- [4] Bernard, J. A., Use of Rule-based System for Process Control, *IEEE Contr. Sys. Mag.*, 5(1988), 3—13.
- [5] Zhang Huaguang, et al., Multivariable Fuzzy Model Identification of Industrial Processes. Proc. of Asia-Pacific Conference on Measurement & Control, Guangzhou, China, (1991), 398—403.
- [6] Clarke, D. W., Mohtad, C., and Tuffs. P. S., Generalized Predictive Control—Part I: the Basic Algorithm, *Automatica*, 2(1987), 137—148.
- [7] 顾立钧、吕震中、瞿佳晋, 单元机组负荷系统分析和整定, 南京工学院学报, 4(1988), 83—91.



## FUZZY GENERALIZED PREDICTIVE CONTROL AND ITS APPLICATION

ZHANG HUAGUANG LÜ JIANHONG CHEN LAIJU

(Third Depart., Southeast University, Nanjing 210018)

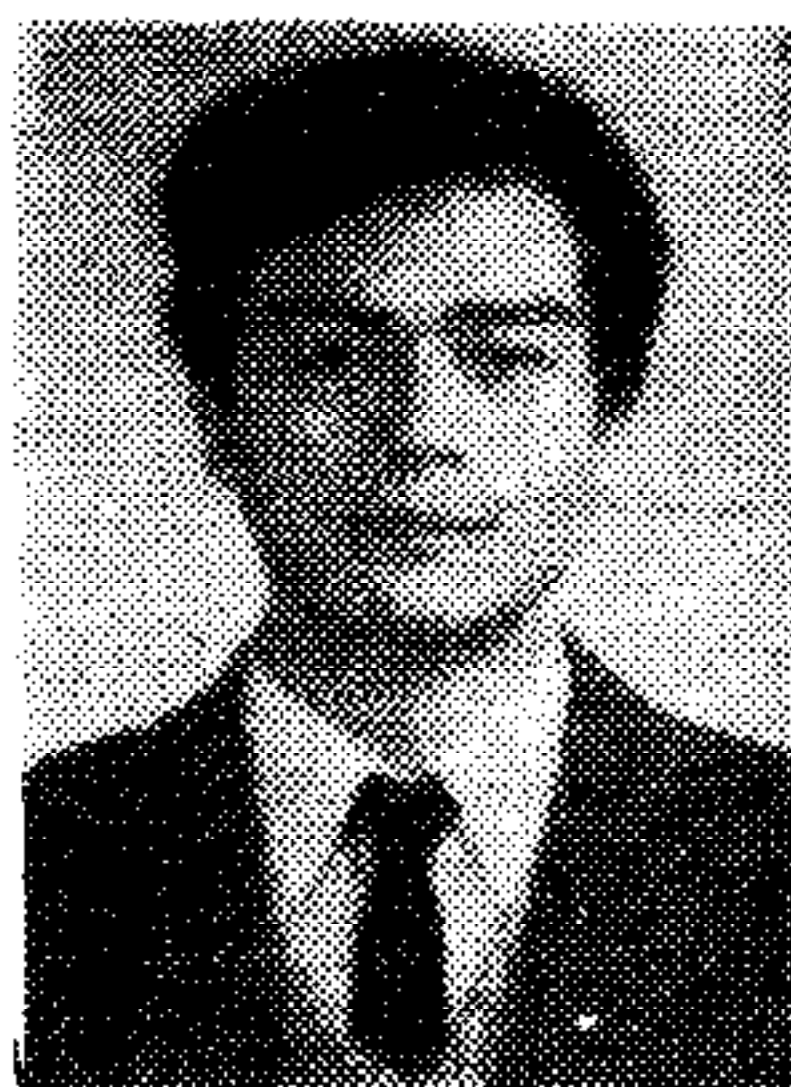
### ABSTRACT

In this paper, the principle of single-variable generalized predictive control has been applied to multivariable fuzzy systems and a multivariable predictive control approach based on the identified fuzzy model has been put forward. The simulation study shows that the fuzzy generalized predictive control approach is very effective for the dynamic identification and control of industrial processes.

**Key words:** Multivariable system; fuzz identification; fuzzy rule; generalized predictive control.



**张化光** 1959年5月生, 1982年和1985年在东北电力学院分别获得工学学士和硕士学位, 现在东南大学电厂热能动力及其自动化学科攻读博士学位。研究兴趣为: 模糊控制理论及应用, 现代时域控制理论及应用, 智能控制理论及应用。已发表学术论文30多篇。



**吕剑虹** 1964年6月生, 1985年7月毕业于南京东南大学动力工程系, 1990年10月在该校被授予电厂热能动力及其自动化学科博士学位, 毕业后留校工作。感兴趣的研究领域: 预测控制理论及其在热工过程控制中的应用; 火电厂集散控制系统的应用。



**陈来九** 1929年出生, 1952年毕业于厦门大学机械系。长期从事热工过程自动控制理论及其应用方面的教学和科研工作。现为东南大学动力系教授, 电厂热能动力及其自动化学科的博士生导师。中国动力工程学会自动控制专业委员会主任委员, 能源部高等学校热能动力类教学委员会主任委员。