

# 采用最优状态估计的主蒸汽温度动态矩阵控制方法

胡怀中, 张建博<sup>†</sup>, 杨清宇

(西安交通大学 电子与信息工程学院, 西安 710049)

**摘要:** 针对主蒸汽温度控制系统不可测扰动影响的问题, 提出一种基于最优状态估计的动态矩阵控制 (OSE-DMC) 算法. 首先分析主蒸汽温度系统的动态特性, 归纳出减温水量对主蒸汽温度影响的数学模型; 然后基于常规 DMC 算法, 利用最优估计理论对 DMC 算法的预测序列进行补偿修正, 有效抑制不可测扰动的影响, 并提出一种 Kalman 滤波的降维算法, 使其计算更加简洁、便于实际应用与在线计算. Simulink 仿真结果表明: 在不可测扰动影响下, 所提出方法抑制扰动效果比常规 DMC 算法提高 20%, 抑制扰动能力有显著提升.

**关键词:** 主蒸汽温度; 预测控制; 动态矩阵控制 (DMC) 算法; 最优状态估计

中图分类号: TP273

文献标志码: A

## Dynamic matrix control for main steam temperature control system based on optimal state estimation

HU Huai-zhong, ZHANG Jian-bo<sup>†</sup>, YANG Qing-yu

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** A method of dynamic matrix control based on optimal state estimation (OSE-DMC) is proposed for unmeasurable disturbances in a main steam temperature control system. Firstly, the dynamic characteristics and the mathematical model of main steam temperature with the disturbance of spray attemperator water are concluded based on the structure of the main steam temperature system. Then, a Kalman filter is designed to compensate the predictive sequence in the DMC algorithm according to the optimal state estimation theory. The influence of unmeasurable disturbance is effectively suppressed. In addition, a reduced-order algorithm for the Kalman filter is proposed to simplify calculation, which is convenient for practical application and on-line calculation. Simulation results show that the proposed method can increase the effect of disturbance suppression by 20% compared with the conventional DMC algorithm, and the capability of disturbance suppression is significantly improved.

**Keywords:** main steam temperature; predictive control; DMC algorithm; optimal state estimation

## 0 引言

在超临界火电机组中, 主蒸汽温度是生产与运行中的一项重要参数, 对火电机组的经济性与安全性都有重大影响. 如果主蒸汽温度过高, 则会导致过热器的管道与汽轮机的高压缸等设备产生高温变形而造成设备损坏; 如果主蒸汽温度过低, 则会使机组热效率降低并且汽轮机中蒸汽的湿度将会增大, 加速腐蚀汽轮机叶片, 危及机组安全. 因此, 主蒸汽温度控制是火电机组的热工自动控制系统中的关键环节. 目前, 大多数发电厂的主蒸汽温度控制系统采用常规串级 PID 控制方式, 结构简单、成本低廉. 然而, 主蒸汽温度具有非线性、大惯性、大延迟等特点, 串级 PID 控制策略难以取得良好的控制效果<sup>[1-2]</sup>. 近年来, 许多学

者针对主蒸汽温度控制提出了多种基于智能控制理论、现代控制理论等先进控制算法, 诸如自抗扰控制算法<sup>[3]</sup>、神经网络算法<sup>[4]</sup>、结合先进控制理论的改进 PID 算法<sup>[5]</sup>等. 文献[6]针对主蒸汽温度大惯性、大滞后的特点, 设计了基于下 Smith 预估的模糊 PID 控制器, 当系统模型精确时具有良好的控制品质<sup>[6]</sup>. 然而, Smith 预估控制对被控对象的参数变化十分敏感, 当系统出现模型失配的情况时, 控制效果将大幅下降. 文献[7]设计了一种自抗扰控制器, 该方法可以实时估计补偿系统扰动, 并且不依赖系统模型精度. 但是, 自抗扰控制器的参数整定过程过于繁复, 实际应用有一定困难. 文献[8]提出了基于系统阶跃响应的动态矩阵控制 (Dynamic matrix control), 该方法

收稿日期: 2017-12-25; 修回日期: 2018-04-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61673315); 西安交通大学基本科研业务费研究项目 (xjj2014048).

责任编辑: 刘向杰.

<sup>†</sup>通讯作者. E-mail: zjb15209275407@stu.xjtu.edu.cn.

对主蒸汽温度模型精度要求低,对主蒸汽温度大惯性、大滞后对象控制效果好.同时,DMC算法参数整定简单,在线计算方便.文献[9-10]采用了一种基于模糊神经网络模型的分布式监督预测控制方法,不但保留了原有预测控制的优势,而且引入了经济性能指标,兼顾了现代电厂经济与环保双需求.文献[11]利用分形理论进行多模型切换预测控制,通过判断负荷工况的变化在不同模型之间切换,从而提高系统的稳定性和鲁棒性.但是,上述方法都仅考虑了一般负荷扰动对系统的影响,缺少针对不可测扰动的抑制策略.传统的预测控制与鲁棒控制对于大惯性、大滞后对象的不可测扰动的控制效果较差.

为了抑制不可测扰动的影响,本文提出了最优状态估计下的DMC算法(Optimal state estimation dynamic matrix control),在常规DMC算法预测模型基础上进行扩展,通过估计不可测扰动补偿预测序列,提高了DMC算法所欠缺的不可测扰动抑制能力.同时提出一种Kalman滤波的降维算法,以降低算法实现所需的时间与空间,便于工程实现.

### 1 锅炉主蒸汽温度的特性分析及其模型建立

火电机组的主蒸汽温度系统的结构组成如图1所示.从汽水分离器分离出来的饱和蒸汽首先经过导前区过热器加热,然后通过喷水减温器,与减温水混合后再经过惰性区过热器加热,最后引入汽轮机.

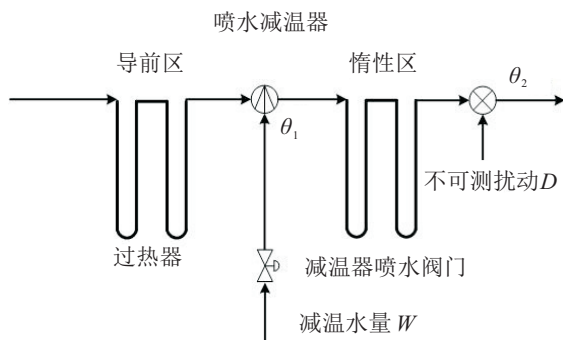


图1 火电机组的主蒸汽温度系统结构

当采用喷水减温来调节主蒸汽温度时,一般将过热器分为两个区域.减温器前为导前区,喷水减温器出口蒸汽温度为 $\theta_1$ ;减温器后为惰性区,惰性区过热器出口蒸汽温度为 $\theta_2$ ,即主蒸汽温度.蒸汽温度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 与减温水量 $w$ 的数学模型<sup>[12]</sup>为

$$G_1(s) = \frac{\theta_1(s)}{w(s)} = \frac{K_1}{(1 + T_1s)^{n_1}}, \quad (1)$$

$$G_2(s) = \frac{\theta_2(s)}{w(s)} = \frac{K_2}{(1 + T_2s)^{n_2}}. \quad (2)$$

其中: $K_1$ 、 $T_1$ 为减温水流量作用下的蒸汽温度 $\theta_1$ 的

放大系数与时间常数, $K_2$ 、 $T_2$ 为减温水流量作用下的蒸汽温度 $\theta_2$ 的放大系数与时间常数.

主蒸汽温度控制的难点在于影响主蒸汽温度变化的因素太多,例如锅炉负荷变化、锅炉给煤量变化、送风工况变化、锅炉给水量及给水温度的变化、减温水量及减温水温度的变化等.其中,大部分扰动都是不可测扰动,无法得到其准确的数学模型和变化趋势.通过现场实验与经验总结,不可测扰动对主蒸汽温度的影响可以通过一阶惯性环节 $G_d$ 简化表示,有

$$G_d(s) = \frac{\theta_2(s)}{D(s)} = \frac{K_d}{1 + T_d s}. \quad (3)$$

其中 $K_d$ 、 $T_d$ 为不可测扰动 $D$ 作用下的主蒸汽温度 $\theta_2$ 增益与时间常数, $K_d$ 、 $T_d$ 为未知量,只能通过输入输出的情况进行估计.

### 2 最优状态估计下的动态矩阵控制

针对主蒸汽温度这类大滞后、大惯性被控对象,DMC算法由于通过预测输出的未来值滚动优化控制量,具有良好的控制效果.同时,DMC算法是建立在阶跃响应基础上的一种模型预测控制算法,因此对控制对象数学模型的要求不高.DMC算法主要包括预测模型、滚动优化、反馈校正3个部分,原理如图2所示.其中: $Y(k)$ 为主蒸汽温度的预测序列, $\hat{y}(k)$ 为主蒸汽温度的测量序列, $Y(k|k-1)$ 为基于时刻 $k$ 的一步预测序列, $Y(k|k)$ 为滤波后序列.常规DMC算法的预测模型与状态估计方程如下所示:

$$Y(k) = MY(k-1) + S\Delta u(k-1), \quad (4)$$

$$Y(k|k) = Y(k|k-1) + H[\hat{y}(k) - NY(k)]. \quad (5)$$

其中

$$Y(k) = [y_0(k), y_1(k), \dots, y_{n-1}(k)],$$

$$M = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & I & I \end{bmatrix},$$

$$N = [I \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 0 \ 0],$$

$$S = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_{n-1} \\ S_n \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_{n-1} \\ h_n \end{bmatrix},$$

$$S_i = [a_{1,i} \ a_{2,i} \ \dots \ a_{m,i}], \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

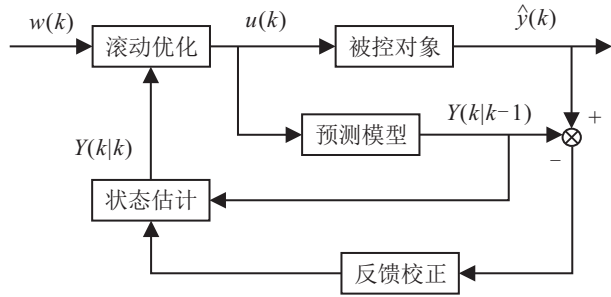


图2 动态矩阵控制算法原理

预测序列  $\mathbf{Y}(k)$  表示未来  $n$  个时刻主蒸汽温度的估计,  $\mathbf{y}_i(k)$  表示基于时刻  $k$  对  $k+i$  时刻的系统输出的估计. 矩阵  $\mathbf{M}$  为移位阵. 动态矩阵  $\mathbf{S}$  由被控对象的阶跃采样序列  $\{a_{m,i}, i = 1, 2, \dots, n\}$  构成. 阶跃采样序列  $\{a_{m,i}, i = 1, 2, \dots, n\}$  为第  $m$  项输入对系统输出阶跃响应的第  $i$  步采样.  $\Delta u(k)$  为输入的增量. 矩阵  $\mathbf{H}$  为误差反馈系数矩阵, 一般取为全1阵.

为了提高动态矩阵控制对主蒸汽温度系统中不可测扰动的抑制效果, 在常规预测模型的基础上进行拓展. 拓展后的预测模型继承了常规预测模型只需要控制对象的阶跃响应序列而不要求精确数学模型的特点, 同时预估了不可测扰动的影响, 使得预测序列更加准确. 拓展后的预测模型如下所示:

$$\mathbf{Y}'(k) = \mathbf{M}'\mathbf{Y}'(k-1) + \mathbf{S}'\Delta u(k-1) + \mathbf{T}\Delta d(k-1), \quad (6)$$

$$\hat{\mathbf{y}}(k) = \mathbf{N}\mathbf{Y}'(k) + \mathbf{v}(k). \quad (7)$$

其中

$$\mathbf{Y}'(k) = [\mathbf{y}_0(k), \mathbf{y}_1(k), \dots, \mathbf{y}_{n-1}(k), \mathbf{x}_p(k), \mathbf{x}_d(k)],$$

$$\mathbf{M}' = \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{I} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{I} & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \mathbf{I} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \mathbf{I} & \mathbf{I} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \mathbf{I} & \mathbf{C}_d \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \mathbf{A}_d \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{S}' = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_1 \\ \mathbf{S}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{S}_{n-1} \\ \mathbf{S}_n \\ \mathbf{S}_{n+1} - \mathbf{S}_n \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \mathbf{B}_d \end{bmatrix}.$$

对比常规DMC算法, 式(6)预测序列  $\mathbf{Y}'(k)$  中扩展了两项状态  $\mathbf{x}_p(k)$ 、 $\mathbf{x}_d(k)$ ,  $\mathbf{x}_p(k)$  为  $n$  时刻后阶跃响应序列残余部分,  $\mathbf{x}_d(k)$  为主蒸汽温度系统中不可测扰动的状态.  $\Delta d(k)$  为扰动的增量,  $\mathbf{v}(k)$  为量测噪

声, 在实际工程中  $\Delta d(k)$  和  $\mathbf{v}(k)$  一般视为白噪声. 协方差矩阵分别为  $\mathbf{W}$  和  $\mathbf{V}$ .

基于扩展后的预测模型, 一步预测方程与滤波方程可以表示为

$$\mathbf{Y}'(k|k-1) = \mathbf{M}'\mathbf{Y}'(k-1|k-1) + \mathbf{S}'\Delta u(k-1), \quad (8)$$

$$\mathbf{Y}'(k|k) = \mathbf{Y}'(k|k-1) + \mathbf{K}[\hat{\mathbf{y}}(k) - \mathbf{N}\mathbf{Y}'(k|k-1)]. \quad (9)$$

其中:  $\mathbf{Y}(l|m)$  为根据  $m$  时刻的测量对  $l$  时刻主蒸汽温度的估计;  $\mathbf{K}$  为卡尔曼滤波系数, 可以计算为

$$\mathbf{K} = \Sigma_s \mathbf{N} (\mathbf{N} \Sigma_s \mathbf{N} + \mathbf{V})^{-1}. \quad (10)$$

矩阵  $\Sigma_s$  为下列Ricaati差分方程的稳定解:

$$\begin{aligned} \Sigma(k) = & \mathbf{M}'\Sigma(k-1)\mathbf{M}'^T - \\ & \mathbf{M}'\Sigma(k-1)\mathbf{N}^T(\mathbf{N}\Sigma(k-1)\mathbf{N}^T + \\ & \mathbf{V})^{-1}\mathbf{N}\Sigma(k-1)\mathbf{M}'^T + \mathbf{T}\mathbf{W}\mathbf{T}^T. \end{aligned} \quad (11)$$

由于式(11)中存在矩阵求逆计算, 当矩阵维度较大时卡尔曼滤波系数  $\mathbf{K}$  计算十分复杂. 因为主蒸汽温度系统预测模型的特殊性,  $\mathbf{y}_1(k), \dots, \mathbf{y}_{n-1}(k)$  可由  $\mathbf{y}_0(k)$  递推, 可以通过构建降维预测模型简化卡尔曼滤波系数  $\mathbf{K}$  的计算. 预测模型降维后表示为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{y}_0(k) \\ \mathbf{x}_p(k) \\ \mathbf{x}_d(k) \end{bmatrix} = \tilde{\mathbf{M}} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_0(k-1) \\ \mathbf{x}_p(k-1) \\ \mathbf{x}_d(k-1) \end{bmatrix} + \tilde{\mathbf{T}}\Delta d(k-1), \quad (12)$$

$$\hat{\mathbf{y}}(k) = \tilde{\mathbf{N}} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_0(k) \\ \mathbf{x}_p(k) \\ \mathbf{x}_d(k) \end{bmatrix} + \mathbf{v}(k). \quad (13)$$

其中:  $\tilde{\mathbf{M}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{I} & 0 \\ 0 & \mathbf{I} & \mathbf{C}_d \\ 0 & 0 & \mathbf{A}_d \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{T}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{B}_d \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{N}} = [\mathbf{I} \ 0 \ 0].$

这样, 原预测模型的卡尔曼滤波系数  $\mathbf{K}$  可以通过降维后的预测模型求解出的卡尔曼滤波系数  $\begin{bmatrix} \mathbf{K}_a \\ \mathbf{K}_b \\ \mathbf{K}_c \end{bmatrix}$  来表示, 有

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{I} \\ \mathbf{I} \\ \mathbf{I} \\ \vdots \\ \mathbf{I} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \mathbf{K}_a + \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{I} \\ 2\mathbf{I} \\ 3\mathbf{I} \\ \vdots \\ (n-2)\mathbf{I} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \mathbf{K}_b + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_a \\ \mathbf{K}_b \\ \mathbf{K}_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ C_d \\ 2C_d + C_d A_d \\ \vdots \\ \sum_{j=0}^{n-3} \sum_{i=0}^j I^{j-i} C_d A_d^i \\ \sum_{i=0}^{n-2} I^{n-2-i} C_d A_d^i \\ A_d^{n-1} \end{bmatrix} K_c \quad (14)$$

其中  $K_a$ 、 $K_b$ 、 $K_c$  的计算可通过下式得出:

$$\begin{bmatrix} K_a \\ K_b \\ K_c \end{bmatrix} = \tilde{\Sigma}_s \tilde{N} (\tilde{N} \tilde{\Sigma}_s \tilde{N} + V)^{-1}.$$

矩阵  $\tilde{\Sigma}_s$  为下列 Riccati 差分方程的稳定解:

$$\begin{aligned} \tilde{\Sigma}(k) = & \tilde{M} \tilde{\Sigma}(k-1) \tilde{M}^T - \tilde{M} \tilde{\Sigma}(k-1) \tilde{N}^T \times \\ & (\tilde{N} \tilde{\Sigma}(k-1) \tilde{N}^T + V)^{-1} \tilde{N} \tilde{\Sigma}(k-1) \tilde{M}^T + \tilde{T} W \tilde{T}^T. \end{aligned} \quad (15)$$

根据预测序列  $Y(k|k)$  与给定值  $w(k)$  的偏差和控制量增量定义二次性能指标  $J(k)$ , 通过最小化性能指标  $J(k)$  计算出最优控制量  $\Delta u(k)$ , 有

$$\begin{aligned} \min J(k) = & \|w(k) - [I_{n \times n} \ 0] Y'(k|k)\|_Q^2 + \|\Delta u(k)\|_R^2. \end{aligned} \quad (16)$$

式(16)中  $Q = \text{diag}(q_1, q_2, \dots, q_n)$ ,  $R = \text{diag}(r_1, r_2, \dots, r_m)$  分别表示误差权重矩阵和控制权重矩阵. 通过极值必要条件

$$\frac{dJ(k)}{d\Delta u(k)} = 0,$$

可得最优控制量  $\Delta u(k)^{[13]}$ , 有

$$\Delta u(k) = [1 \ 0 \ \dots \ 0] (S^T Q S + R)^{-1} S^T Q. \quad (17)$$

### 3 仿真研究

为了验证 OSE-DMC 控制策略的抗干扰能力, 在 Matlab/Simulink 仿真平台中, 针对主蒸汽温度 OSE-DMC 控制系统进行仿真实验. 以某 600 MW 机组 30% 负荷工作点为例, 主蒸汽温度系统的导前区与滞后区传递函数如下:

$$G_1(s) = \frac{8.07}{(24s + 1)^2}, \quad (18)$$

$$G_2(s) = \frac{1.48}{(46.6s + 1)^4}. \quad (19)$$

广义被控对象的阶跃响应如图3所示, 取采样时间  $t_s = 1$  s, 得到阶跃采样序列  $\{a_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ .

设计不可测扰动为一组方差为1的白噪声积分

后经过一阶惯性环节  $G_d$  加入系统中, 生成单调下降、波动上升、先后后升3种典型趋势的不可测扰动. 有

$$G_d(s) = \frac{1.25}{80s + 1}. \quad (20)$$

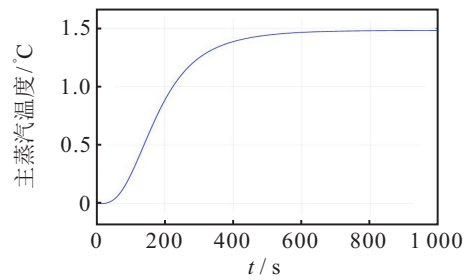


图3 广义被控对象的阶跃响应

在3种典型趋势的不可测扰动影响下, 对比 OSE-DMC 算法与常规 DMC 算法的控制效果, 仿真结果如图4~图6所示.

对比扰动曲线与扰动估计曲线, OSE-DMC 算法可以十分准确地估计扰动从而改善控制效果. 统计

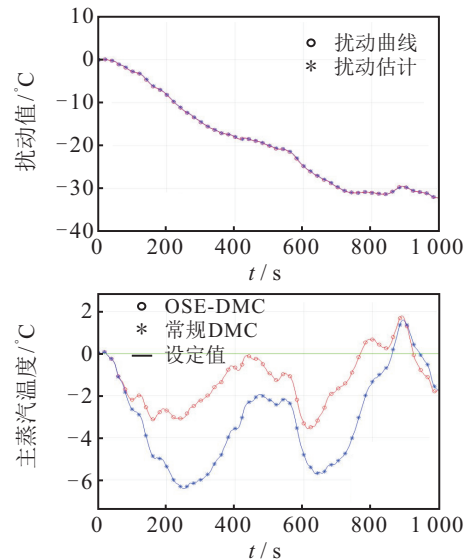


图4 在典型不可测扰动a下控制效果对比

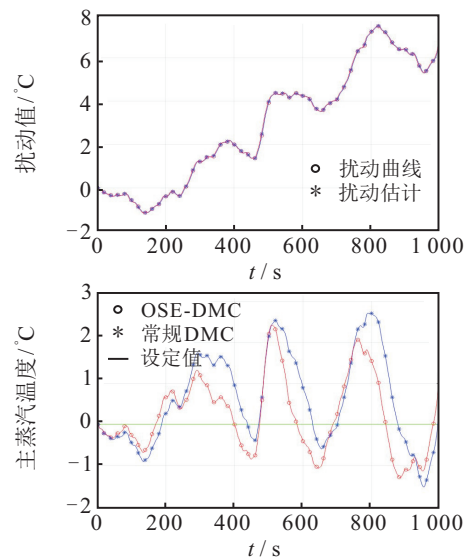


图5 在典型不可测扰动b下控制效果对比

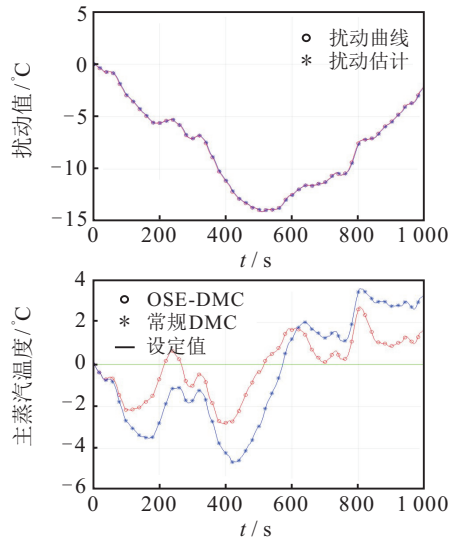


图6 在典型不可测扰动c下控制效果对比

表1 OSE-DMC算法与常规DMC算法的控制效果对比

扰动类型	扰动最大值/°C	常规DMC算法输出偏差最大值/°C	OSE-DMC算法输出偏差最大值/°C	偏差最大值抑制比/%	常规DMC算法输出IAE	OSE-DMC算法输出IAE	输出IAE抑制比/%
单调下降	32.28	6.41	3.57	55.6	3185.9	1503.4	47.2
波动上升	7.46	2.72	2.43	89.3	996.5	772.1	77.5
先降后升	14.05	4.67	2.82	60.4	2313.9	1174.3	50.7

### 4 结论

本文针对主蒸汽温度系统中不可测扰动的影响,提出了OSE-DMC算法,并对算法进行了简化降维处理,使得算法更便于工程实现。Simulink仿真结果表明,OSE-DMC算法相比于常规DMC算法,对不可测扰动的抑制效果有明显提升,能够将不可测扰动的影响降低至55%以下。

### 参考文献(References)

[1] 刘敏,张智,吴飞君,等. 一台660MW单元机组主蒸汽温度控制系统的设计与调试[J]. 现代电力, 2006, 2: 60-63.  
(Liu M, Zhang Z, Wu F J, et al. The design and debugging of main steam temperature control system of 660 MW unit[J]. Modern Electric Power, 2006, 2: 60-63.)

[2] 王沛然. 主汽温新型控制系统设计与研究[D]. 北京: 华北电力大学控制与计算机工程学院, 2005.  
(Wang P R. Study on the application of main stream temperature control system based on auto disturbance rejection technique[D]. Beijing: School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, 2005.)

[3] 管志敏,林永君,王兵树,等. 自抗扰控制器在火电厂主蒸汽温度控制中的仿真研究[J]. 热力发电, 2009, 38(4): 26-30.  
(Guan Z M, Lin Y J, Wang B S, et al. Simulation study of main steam temperature control of thermal power plant based on auto-disturbance rejector controller[J]. Thermal Power Generation, 2009, 38(4): 26-30.)

[4] 王勇. 基于混沌粒子群的神经网络主汽温控制系

统[J]. 计算机仿真, 2012, 29(8): 322-325.  
(Wang Y. Main steam temperature control system based on CPSO and neural network[J]. Computer Simulation, 2012, 29(8): 322-325.)

OSE-DMC算法与常规DMC算法的输出和扰动数据,如表1所示。3种典型不可测扰动下,OSE-DMC算法输出偏差最大值分别为常规DMC算法输出偏差最大值的55.6%、89.3%、60.4%。

根据绝对误差积分IAE(Integral absolute error)准则衡量两种算法的控制效果,如下所示:

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)|dt. \quad (21)$$

OSE-DMC算法输出IAE相比常规DMC算法输出IAE明显减小,减小比例分别为47.2%、77.5%、50.7%。

综上所述,本文提出的OSE-DMC算法通过对预测序列补偿不可测扰动的影响,有效抑制了不可测扰动的干扰。

[5] 贾立,柴宗君. 火电机组主蒸汽温度神经模糊-PID串级控制[J]. 控制工程, 2013, 20(5): 877-881.  
(Jia L, Chai Z J. Neuro-fuzzy based PID cascade control of main steam temperature of fire electrical engineering set[J]. Control Engineering of China, 2013, 20(5): 877-881.)

[6] 程启明,王勇浩. 基于Smith预估的模糊-PID串级主汽温控制系统仿真[J]. 电工技术学报, 2007, 3: 143-147.  
(Cheng Q M, Wang Y H. Simulation study of fuzzy / PID cascade control system based on Smith predictive estimate on main steam temperature[J]. Trans of China Electrotechnical Society, 2013, 3: 143-147.)

[7] 竹瑞博,董泽,冉宁. 自抗扰控制在火电厂主蒸汽温度控制中的应用[J]. 电力科学与工程, 2012, 28(5): 46-49.  
(Zhu R B, Dong Z, Ran N. Application of active disturbance rejection control in main steam temperature control of thermal power plant[J]. Electric Power Science and Engineering, 2012, 28(5): 46-49.)

[8] 王国玉,韩璞,王东风. 预测函数控制及其应用研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 8: 1087-1091.  
(Wang G Y, Han P, Wang D F. Predictive functional control and its application study[D]. J of System Simulation, 2002, 8: 1087-1091.)

[9] 孔小兵,范昌,刘向杰. 超临界机组主汽温分布式监督预测控制[J]. 上海交通大学学报, 2017, 51(10): 1252-1259.  
(Kong X B, Fan C, Liu X J. Distributed supervisory

- predictive control of main steam temperature for ultra-supercritical unit[J]. J of Shanghai Jiaotong University, 2017, 51(10): 1252-1259.)
- [10] Liu Xiangjie, Chan C W. Neuro-fuzzy generalized predictive control of boiler steam temperature[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2006, 5(1): 1027-1032.
- [11] 张华, 沈胜强, 郭慧彬. 多模型分形切换预测控制在主汽温度调节中的应用[J]. 电机与控制学报, 2014, 18(2): 108-114.  
(Zhang H, Shen S Q, Guo H B. Application of multi-model fractal switching predictive control in main steam temperature[J]. Electric Machines and Control, 2014, 18(2): 108-114.)
- [12] 杨献勇. 热工过程自动控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 189.  
(Yang X Y. Automatic control of thermal process[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000: 189.)
- [13] 谢亚军, 丁宝苍, 陈桥. 动态矩阵控制中基于Kalman滤波的开环预测方法[J]. 控制与决策, 2017, 32(3): 419-426.  
(Xie Y J, Ding B C, Chen Q. Open-loop prediction method in dynamic matrix control based on Kalman filter[J]. Control and Decision, 2017, 32(3): 419-426.)

### 作者简介

胡怀中(1974—), 男, 副教授, 博士, 从事智能控制理论、机器视觉、信号处理及其应用等研究, E-mail: huhuaizhong@mail.xjtu.edu.cn;

张建博(1994—), 男, 硕士生, 从事预测控制相关领域的研究, E-mail: zjb15209275407@stu.xjtu.edu.cn;

杨清宇(1974—), 男, 教授, 从事智能感知与工业大数据、故障诊断与容错控制等研究, E-mail: yangqingyu@mail.xjtu.edu.cn.

(责任编辑: 郑晓蕾)

## 第31届中国控制与决策会议在南昌召开

**本刊讯** 2019年6月3日~5日, 第31届中国控制与决策会议(2019 CCDC)在江西省南昌市滨江宾馆隆重召开。

本次盛会由东北大学和中国自动化学会信息物理系统控制与决策专业委员会联合主办, 华东交通大学承办, IEEE控制系统协会(CSS)、中国自动化学会控制理论专业委员会和东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室协办。来自海内外高等院校和科研机构的1021位代表出席了会议。其中: 海外代表分别来自美国、澳大利亚、加拿大、新加坡、韩国、伊朗、塞黑、香港等10余个国家和地区。大会涵盖了控制与决策领域的相关课题, 包括控制理论与工程、决策理论与系统和机器人系统3个学术方向, 共设大会报告3个、杰出讲座10个、1个会前研讨会、3个特别专题, 以及分会场报告117场, 共发表1170篇论文, 全部论文将进入IEEE数据库, 并被EI检索。这是一次国际学术盛会, 学界、业界精英齐聚一堂, 分享学术成果, 交流科研经验, 探讨热点问题, 现场充满了浓厚的学术气氛。

在6月3日上午举行的开幕式上, 大会总主席、东北大学信息科学与工程学院院长杨光红教授主持开幕式, 大会组委会主席、东北大学王福利教授致开幕辞, 华东交通大学副校长陈梦成教授致欢迎辞, 国际程序委员会主席、新加坡南洋理工大学Changyun Wen教授介绍了会议程序。大会邀请了13位国际著名教授就当前控制与决策领域的最新科研成果和前沿热点做大会报告和杰出讲座。3位大会报告人分别是: 美国加利福尼亚大学Bob Bitmead教授、香港中文大学Ben M. Chen教授和华东理工大学杜文莉教授。10位杰出讲座报告人分别是: 东北大学丁进良教授, 美国密歇根大学Ian A. Hiskens教授, 南京航空航天大学姜斌教授,

美国加州大学伯克利分校Javad Lavaei教授, 美国华盛顿大学Mehran Mesbahi教授, 塞浦路斯大学Marios M. Polycarpou教授, 加拿大维多利亚大学Yang Shi教授, 美国华盛顿大学Bruno Sinopoli教授, 美国弗吉尼亚大学Gang Tao教授, 日本芝浦工业大学翟贵生教授。报告现场, 权威专家们对前沿学科的热点问题进行了阐述和评论, 分享了经验观点和前瞻理念, 使与会代表开阔了视野和思路, 受到了代表们的普遍欢迎。分会现场, 代表们分别宣读了论文, 并就共同关心的问题进行了深入研讨, 气氛热烈。

为了鞭策和激励年轻一代学者以张嗣瀛院士为楷模, 潜心钻研、奋发向上, 从而推动整体学术水平的提高, 会议设置了张嗣瀛(CCDC)优秀青年论文奖。本届评奖活动有5位学者获得该奖项提名, 经过现场公开答辩, 来自北京大学的封雪博士凭借其优秀的论文和出色的报告得到评奖委员会和现场代表的认可, 最终赢得此奖项。在6月4日举行的颁奖典礼上, 大会总主席、东北大学杨光红教授向获奖者颁发了证书和奖金。本届会议优秀论文奖奖金1万元, 提名奖奖金3000元。与此同时, 《控制与决策》2018年度期刊优秀论文奖也在颁奖仪式上一并颁发, 有3位学者获此奖项, 分别是: 西安交通大学蔡远利教授、中南大学朱桂菊博士、重庆大学任浩博士。《控制与决策》主编、CCDC组委会主席、东北大学王福利教授为获奖者颁发了证书和奖金。

下届承办单位代表——安徽大学电气工程与自动化学院院长陶骏教授介绍了将于2020年在合肥举办的第32届中国控制与决策会议(2020 CCDC)的筹备情况, 并欢迎各位代表积极参加会议。