

# 焦炉加热微型机最优控制系统

汪浩 周俊林 严德昆 李英凡

(中国科学院新疆物理研究所)

## 摘 要

本文介绍了焦炉加热微型机控制系统的设计及应用,叙述了该系统的结构及控制方法所使用的随机采样二次型最优调节器的计算机辅助设计问题。

## 一、引 言

降低焦炉加热煤气消耗,提高焦炭的质量和产量,减少污染是焦化行业追求的重要目标。影响这个目标的一个重要因素是焦炉加热的控制技术。目前国内焦炉加热基本上是由人工检测和调节,由于测量误差大,加上调节不及时,因此,焦炭温度、荒煤气温度波动,空气过剩系数偏高,焦炭块度较小,强度降低和热耗量增加。为了改变这种状况,应实现焦炉加热的最佳控制。从1981年7月起研制焦炉加热微机最优控制系统,于1983年6月正式交付使用。一年多的运行表明该系统的使用降低了能耗、稳定了焦炭质量,达到了预期的目的。

## 二、控制系统的硬件配置

焦炉加热控制系统可分为温度控制和废气控制两部分。前者以插入炉体蓄热室的二十二支热电偶为测量元件,以煤气流量调节为主要控制手段;后者以插入分烟道的两支氧量表为测量元件,以调节烟道吸力为主要控制手段。系统还包括若干报警、辅助测量及燃烧系统换向等装置。

根据系统的功能要求,配置了一百个低电平模拟量输入点,四个模拟量输出点,十六个随检开关量输入和开关量输出点。该系统的主要特点是控制精度较高,为 $1160 \pm 5^\circ\text{C}$ 。相应的测量精度应达到0.1%以上。控制机房现场外部动力干扰很大,某些测量点交流共模干扰电压达50伏以上。根据系统特点,系统以64K内存的Z-80机作为主机,配置了小型汉字库软盘,能满足控制、制表等要求。系统模入由自行研制的一百点精密采样器和 $6\frac{1}{2}$ 位数字电压表构成。温度分辨率为 $0.1^\circ\text{C}$ ,精度可满足系统要求。模入、模出、开

人、开出采用了隔离放大器、光电耦合及与现场隔离的继电器,消除了现场共模干扰及设备之间的互扰。在通道与主机之间采用了自行研制的 4PIO 板统一接口,以避免所有通道都挂在系统总线上。计算机和通道外设的供电用电源滤波器、隔离变压器组合供电。对来自电网的共模干扰(0—1 MHz)抑制比大于 80dB;对 10K Hz 以上的串模干扰抑制比大于 40dB。由于系统具有良好的隔离措施,因此原来的常规仪表的测量值可不经改造直接进入计算机通道。另外,在可靠性方面,在设计时也采取了一些措施,从而系统的可靠性大大提高。系统已累计运行一万小时以上。

### 三、控制系统设计

焦炉计算机控制系统的主要目的在于稳定直行平均温度,控制合理的空气过剩系数。由于后者的调节过程较温度的调节过程快得多,因此经适当处理后可简化为两个单输入单输出调节系统,即直行平均温度调节系统及废气含氧量调节系统。

#### 1. 直行平均温度调节系统

经测试,被控对象温度的过渡过程时间为八小时左右,基本属于二阶过阻尼环节。为满足工艺上提出的温度精度要求,分别用数字 PID、自校正控制和随机二次型最优调节器等控制方法进行了试验。运行结果表明,用随机二次型最优调节器较好。为保证温度采样的对应性,焦炉加热工艺要求采样间隔时间为 40 分钟。对于过渡过程为八小时的对象来说这个采样时间是合乎要求的。根据计算机辅助设计程序的要求,在建立对象数学模型时,笔者根据阶跃响应直接得出对象的传递函数,用辅助变量法辨识对象的差分方程,并近似估算出 Kalman 滤波器设计中所需的两个噪声方差阵。

计算机控制系统属于采样控制系统。根据分离定理,控制器的两部分参数可分别进行设计。

二次型性能指标可按连续系统给出<sup>[1]</sup>:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt.$$

在本系统中, $\mathbf{x}$  为二维状态向量, $\mathbf{u}$  为控制向量(一维)。选择

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 15.2 & 0 \\ 0 & 7.55 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R} = 1.$$

笔者编制了随机采样最优调节器的计算机辅助设计程序。考虑到程序的通用性,性能指标化为响应式,即

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \mathbf{r}^T \mathbf{Q}_1 \mathbf{r} dt.$$

为使两个代价函数等价,适当组成响应方程,令

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= [x_1 \ x_2 \ u]^T, \\ \mathbf{r} &= \mathbf{H}_1 \mathbf{x} + \mathbf{D}_1 \mathbf{u}, \end{aligned}$$

选择

$$H_1 = \begin{bmatrix} I \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad D_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$Q_1 = \begin{bmatrix} Q & \\ & R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15.2 & 0 & 0 \\ 0 & 7.55 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

本系统的状态方程为

$$\dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} + B\mathbf{u},$$

式中

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.904 & -1.49 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.904 \end{bmatrix}.$$

该程序首先将状态方程和性能指标离散化。由于在每个采样区段内状态是连续变化的,故性能指标离散化后将包含状态和控制作用的交叉项。经过适当变换,将其化成标准的离散最优调节器问题进行求解。对焦炉加热系统,最优反馈阵为

$$K_1 = [149 \ 133].$$

由于本系统是线性定常、能控能观的,故 Kalman 递推公式中滤波增益阵最后收敛为一个常阵<sup>[2]</sup>,这使最优滤波的在线计算大为简化。最优增益阵的计算机辅助设计结果是

$$K_2^T = [0.972 \ 0.841].$$

这样本控制系统的在线控制计算算式为

(1) 由温度采样值  $y_k$  算出状态估计  $\hat{\mathbf{x}}_k$ ,

$$\hat{\mathbf{x}}_{k/k-1} = F \cdot \hat{\mathbf{x}}_{k-1} + G \cdot \mathbf{u}_{k-1},$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_{k/k-1} + K_2(y_k - H \cdot \hat{\mathbf{x}}_{k/k-1}).$$

(2) 计算控制量  $\mathbf{u}_k$ ,

$$\mathbf{u}_k = -K_1 \hat{\mathbf{x}}_k.$$

式中状态转移矩阵  $F = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.288 & 0.974 \end{bmatrix}$ ; 控制转移矩阵  $G^T = [2.42 \times 10^{-3} \ 2.58 \times 10^{-3}]$ ; 量测矩阵  $H = [1 \ 0]$ ;  $K_1, K_2$  已由前面计算得出。

## 2. 废气含氧量调节系统

对一般的工业燃烧炉,为保证炉内良好的燃烧状态,应通过风门翻板开度调节废气含氧量,通过烟道吸力调节炉压。这两方面的调节是互相耦合的。由于焦炉炉体结构的限制,将风门翻板固定在合适的位置,然后根据废气含氧量的偏差调节烟道吸力,并根据炉压对吸力调节限幅。关于废气调节系统控制器的设计这儿就不赘述了。

焦炉加热微型机控制系统框图见图 1。

焦炉加热微型机控制系统投入工业运行一年多来,取得了明显的效果:

- (1) 温度测量误差由原来的  $\pm 20^\circ\text{C}$  缩小到  $\pm 1^\circ\text{C}$ , 直行平均温度控制精度由原来  $\pm 7^\circ\text{C}$  缩小到  $\pm 5^\circ\text{C}$ , 月平均合格率为 99%;
- (2) 直行温度分布控制范围由  $\pm 20^\circ\text{C}$  缩小到  $\pm 15^\circ\text{C}$ , 月平均合格率为 99%;
- (3) 节约能源,耗热量降低 2%, 年节约煤气 146 万立方米。

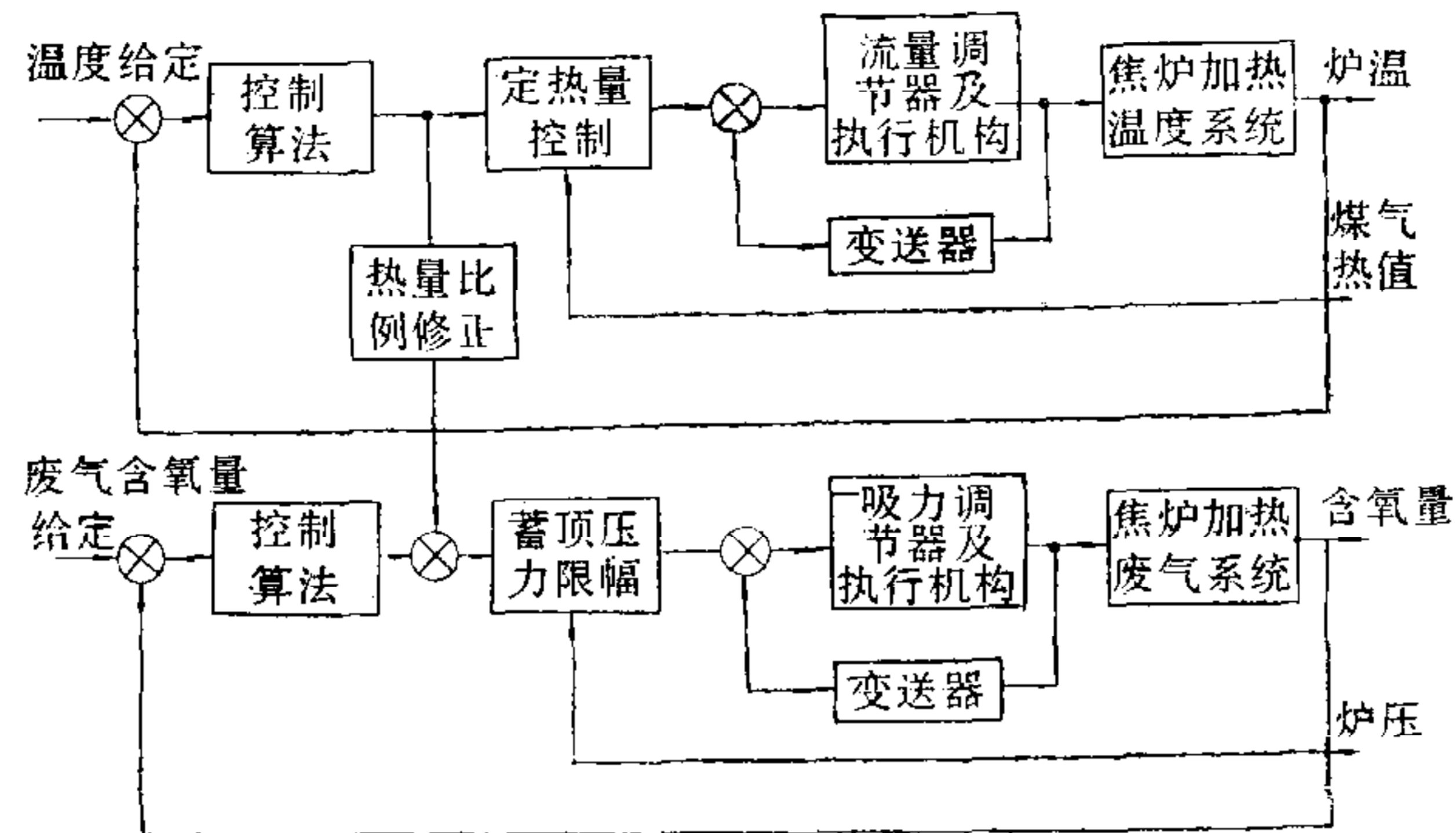


图 1

## 参 考 文 献

- [1] Anderson, B. D. O., Moore, J. B., Linear Optimal Control, Prentice-Hall, 1971.  
 [2] 中国科学院数学研究所概率组, 离散时间系统滤波的数学方法, 国防工业出版社, 1975.

## A MICROCOMPUTER OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR COAL COKING

WANG HAO ZHOU JUNLIN YAN DEKUN LI YINGFAN  
 (Xinjiang Institute of Physics, Academia Sinica)

### ABSTRACT

A practical design and application of microcomputer optimal control system for a coal coking plant is described. The hardware construction of this system and the computer aided design problem for the sampling linear quadratic gaussian optimal regulator used in the design of the control method are discussed.