

SLPC 在状态反馈控制系统中的应用

刘如成

(南京师范大学控制科学与工程系, 南京, 210042)

[摘要] 状态反馈控制(SFC)系统是一种先进控制系统^[1]. 文章主要介绍了SFC系统状态控制器的设计方法, 利用SLPC可编程数字调节器进行实施. 结果表明, 对于SFC系统, 只要状态控制器各参数整定恰当, 可以得到良好的控制质量.

[关键词] SFC; 控制器; 目标函数; SLPC

[中图分类号] TP272; [文献标识码] B; [文章编号] 1008-1925(2001)03-0025-05

0 前言

对于炼油厂常减压工段中的加热炉原油出口温度的控制, 一般采用原油出口温度为被控变量, 将燃料气流量作为操纵变量, 组成图1所示的两种串级控制方案. (a)方案对于克服燃料

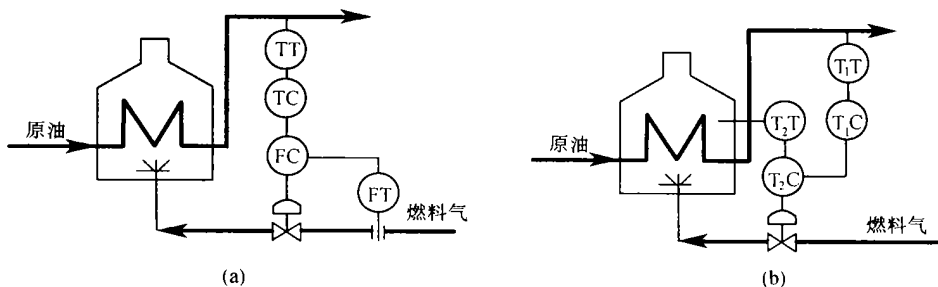


图1 串级控制系统原理图

气流量的波动具有较好的控制作用; (b)方案对于克服燃料热值波动或其它干扰引起炉膛温度的变化具有较好的控制作用. 但是在生产过程中, 往往燃料气流量及其热值等易受其它因素的影响而变化较大, 也较频繁, 很难达到工艺要求原油出口温度变化不大于 $\pm 2^\circ\text{C}$ 的要求, 一般变化范围为 $\pm 5^\circ\text{C}$. 综合图1两种控制方案的特点, 为满足工艺要求, 采用如图2所示状态反馈控制(SFC), 它选择了出口温度、炉膛温度、燃料气流量

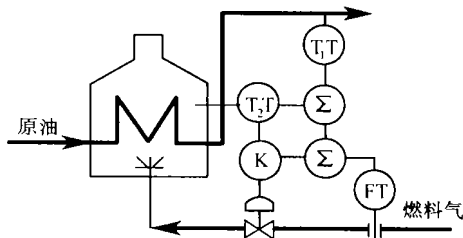


图2 加热炉出口温度的状态反馈控制系统原理图

三个状态变量, 达到控制出口温度的目的. 该方案结构上相当于在图1(b)串级控制系统炉膛温度副回路中又引入一个燃料气流量的副回路, 因而它具有串级控制系统的所有特点. 对于分

收稿日期: 2001-02-12

作者简介: 刘如成, 1960—, 南京师范大学控制科学与工程系实验师, 主要从事自动控制的应用研究.

别进入燃料气流量副回路的干扰和炉膛温度次副回路的干扰具有较强较快的克服能力,从而大大地减小对出口温度的影响,保证控制指标不大于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

1 状态控制器的设计

在状态反馈控制系统中,要获得很好的控制质量主要是状态控制器的设计.为了使系统在给定和扰动作用下没有余差,因此,必须在主状态变量(原油出口温度)回路中引入积分控制作用,把图 2 所示状态反馈控制(SFC)系统用图 3 所示的方块图来表示.图中, $1+1/T_I S$ 、 K 、 h_1 、 h_2 、 h_3 构成了状态控制器, T_I 为积分时间, K 为放大倍数, h_1 、 h_2 、 h_3 为反馈系数. $W_1(S)$ 、 $W_2(S)$ 、 $W_3(S)$ 为进入控制系统的干扰($W_1(S)$ 为燃料气压力波动, $W_2(S)$ 为燃料的热值波动等)。

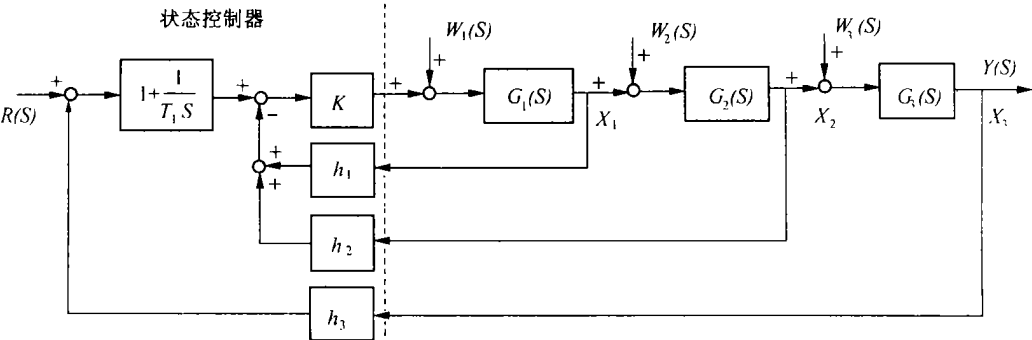


图 3 具有积分作用的状态反馈控制系统方块图

对于定值控制系统及干扰 $W_2(S)$, 根据图 3 有:

$$\frac{Y(S)}{W_2(S)} = \frac{G_2(S) G_3(S) (1 + K h_1 G_1(S))}{1 + K h_1 G_1(S) + K h_2 G_1(S) G_2(S) + K h_3 (1 + \frac{1}{T_I S}) G_1(S) G_2(S) G_3(S)}$$

(1)

为简化方便,先假定 $K=1$ (K 的大小可通过 h_1 、 h_2 、 h_3 反馈系数来修正),并令:

$$G_1(S) = \frac{K_1}{T_1 S + 1}, \quad G_2(S) = \frac{K_2}{T_2 S + 1}, \quad G_3(S) = \frac{K_3}{T_3 S + 1}$$

因而有:

$$\frac{Y(S)}{W_2(S)} = \frac{K_2 K_3 (T_1 S + 1 + K_1 h_1) S}{T_1 T_2 T_3 S^4 + A S^3 + B S^2 + C S + K_1 K_2 K_3 h_3 T_I^{-1}}$$

(2)

式中: $A = T_1 T_2 + T_2 T_3 + T_3 T_1 + K_1 h_1 T_2 T_3$; $B = (T_1 + T_3 + T_3) + K_1 h_1 (T_2 + T_3) + K_1 K_2 h_2 T_3$; $C = 1 + K_1 h_1 + K_1 K_2 h_2 + K_1 K_2 K_3 h_3$

闭环系统的极点分布无疑是决定过程控制品质的关键因素.在 S 复平面上,闭环极点都位于虚轴以左是系统稳定的充分必要条件.通常,还必须有足够的稳定裕度.采用状态反馈控制后,可以首先确定目标函数 $J(S)$,通过调整状态控制器的参数来影响极点位置,以获得良好的控制品质.

由(2)式可看到,分子的零点中含有 h_1 (变量)无法消除,故需要配置一极点 p_1 而不影响系统的主导极点行为.对于此系统,可采用二阶系统(3)式作为目标函数^[2].

$$J(S) = \frac{\omega_0^2}{S^2 + 2 \zeta \omega_0 S + \omega_0^2}$$

(3)

这是因为二阶系统的衰减系数 ζ 决定了控制过程的衰减程度, 这样我们可根据不同的系统自由地选择 ζ , 以满足工艺的要求; 又因为二阶系统的自然频率 ω_0 和衰减系数 ζ 决定了控制系统的工作频率, 即:

$$\omega = \sqrt{1 - \zeta^2} \omega_0$$

这样可以根据控制对象的大致特性, 在较大范围内自由地选择操作周期 T ($T = 2\pi/\omega$), 从而确定 ω_0 . 由此可见, 如需一个超调量为 y_m , 回复时间为 T_s 的控制过程, 只要按:

$$y_m = \frac{K}{\omega_0^2} e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad T_s = -\frac{\ln(0.05 \sqrt{1-\zeta^2})}{\zeta\omega_0}$$

的关系确定 ζ 和 ω_0 , 即可得到希望的控制过程.

对于式(2)传递函数, 假定目标函数为式(3), 为了消除稳态误差, 则可配置二个闭环极点 p_1, p_2 , 使它远离主导极点, 以不影响二阶系统行为. 试验已证明, 当 $p_1, p_2 \geq 5\zeta\omega_0$ 时, 不会降低二阶系统的品质. 因此目标函数应修改为:

$$\begin{aligned} J'(S) &= \frac{K_2 K_3 (T_1 S + 1 + K_1 h_1) S}{(S^2 + 2\zeta\omega_0 S + \omega_0^2)(S + p_1)(S + p_2)} \\ J'(S) &= \frac{K_2 K_3 (T_1 S + 1 + K_1 h_1) S}{S^4 + A_1 S^3 + B_1 S^2 + C_1 S + p_1 p_2 \omega_0^2} \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $A_1 = 2\zeta\omega_0 + p_1 + p_2$ $B_1 = 2\zeta\omega_0(p_1 + p_2) + \omega_0^2 + p_1 p_2$ $C_1 = (p_1 + p_2)\omega_0^2 + 2\zeta\omega_0 p_1 p_2$

比较式(2)与(4)特征方程的系数, 可确定状态控制器的 K 、 h_i 和 T_1 .

2 控制系统的实施

在设计状态反馈控制(SFC)系统时, 必须获得控制对象的数学模型, 确立控制的目标函数, 从而得到状态控制器各参数, 根据计算得到的参数去实施. 原油加热炉的动态模型可以通过时域方法^[3]来获得, 经现场测试其近似数学模型为:

$$G_1(S) = \frac{0.85}{2S + 1}, \quad G_2(S) = \frac{1.2}{40S + 1}, \quad G_3(S) = \frac{0.5}{65S + 1}$$

但是, 控制对象的数学模型一般是在许多假定和局部限制条件下获得的, 很难获得准确的动态模型, 而进入控制系统的干扰是随机的和各种各样. 因此, 状态控制器各参数必须通过现场整定的方法, 根据不同工况, 适时修正各参数, 才能获得最佳参数. 另外, 图2所示的控制方案, 必须使用3台常规控制器来实现其控制要求. 显然, 这样既不经济, 又给操作带来不便. 为此, 采用可编程数字调节器SLPC来实现状态反馈控制, 一台SLPC可代替数台模拟仪表. 因为SLPC具有以下特点:

- 实现了仪表与计算机一体化;
- 具有丰富的运算、控制功能;
- 通用性强, 使用方便;
- 具有通信功能, 便于系统扩展;
- 具有专家系统, 实现PID参数的自动最佳整定;
- 可靠性高, 维护方便.

2.1 控制流程

图4为实现状态反馈控制的控制程序流程图. 图中PV1、PV2分别为出口温度和炉膛温度

在SLPC面板上的指示值,它们通过CSC控制方式实现串级控制.状态反馈系数 h_2 、 h_3 有CSC中的主副控制器(CNT1、CNT2)比例度给定, h_1 由SLPC的侧面 P_1 键设定.主控制器给定值根据所控制的出口温度($389\text{ }^{\circ}\text{C}$)及变送器量程($0\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$)确定,在SLPC正面给定按键设定.CSC串级控制输出减去燃料气流量经开方后与 $P_1(h_1)$ 相乘的数值,最后与校正放大系数 K 的乘积输送到控制阀.

2.2 正反作用的确定

状态控制器的正反作用是保证系统实现负反馈、能正常工作的必要条件.对于图2所示的控制系统,根据工艺条件,其控制阀应采用气开阀.这时 $G_1(S)$ 、 $G_2(S)$ 、 $G_3(S)$ 均为正工作极性,而测量变送环节也为正.为保证系统的负反馈,CNT1、CNT2、 K 、 h_3 的工作极性应为正,所以CNT1、CNT2均为反作用.

2.3 参数整定

由图3可以发现,状态反馈控制系统实际上是副回路中又包含了一个副回路的串级控制系统.因而,其参数整定的方法可以完全参考串级控制系统.

状态控制器的CNT1控制规律应为比例积分作用,积分时间先置大一些,CNT2为比例作用. K 一般为1,只有当 h_1 、 h_2 、 h_3 各参数在状态控制器运算中,超过了允许范围,才把 h_1 、 h_2 、 h_3 各参数作适当缩小,同时把 K 按比例放大.现场整定时 h_1 由小到大变化,CNT1和CNT2比例度应由大到小变化,积分时间应由大到小变化.控制器参数整定的主要步骤:

(1)SLPC在手动状态,改变手动输出,逐步改变 $P_1(h_1)$ 的数值,观察燃料气流量跟随其输出变化的趋势,使燃料气流量略有超调为止(超调量随着 $P_1(h_1)$ 值的增大而增大).注意,每改变一个 $P_1(h_1)$,均需改变一下手动输出,观察变化的趋势.

(2)把 $P_1(h_1)$ 所在的回路看成(等效)一个环节,按串级控制系统的参数整定^[4]方法,整定CNT1和CNT2的比例度及CNT1的积分时间.或者,利用SLPC的专家自整定系统,整定控制器的参数.

2.4 试验结果

根据原油加热炉对象,利用SLPC可编程数字调节器实现状态反馈控制.经现场调试运行,状态控制器各参数为: $K=1$, $P_1(h_1)=1.25$,CNT2的比例度为60%,CNT1的比例度为

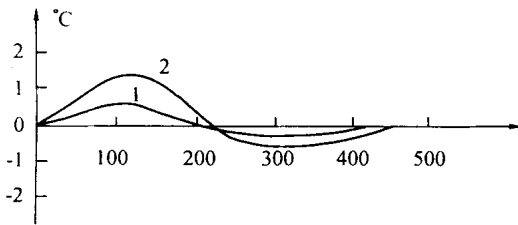


图 5 单位阶跃扰动下原油出口温度的响应曲线

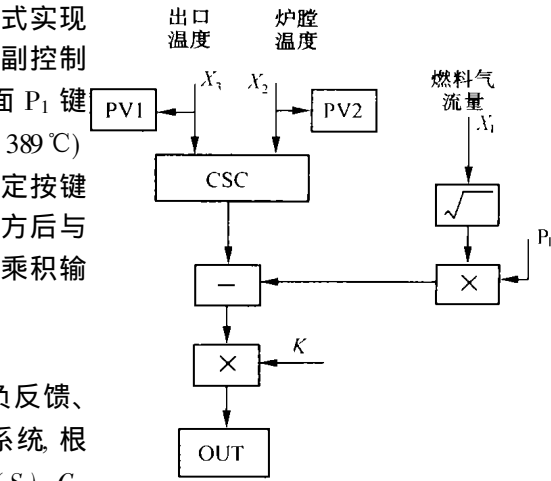


图 4 SLPC 控制程序流程图

45%、积分时间 $T_I=45\text{ s}$.这里,控制器各参数不是唯一的,因为它们之间是相互影响的.图5为阶跃扰动下原油出口温度的响应曲线,曲线1为燃料气流量的扰动(5%),曲线2为燃料气热值的扰动(5%).从图中看到,原油出口温度仍能满足工艺允许的范围($389\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

3 结束语

状态反馈控制系统在原油加热炉的温度控制系统中的实现,取得了良好的控制效果.它充分体现了状态反馈控制系统,具有串级控制系统的特点,对于进入内回路的干扰有较强的克服能力;又由于它包含了系统的各个状态,因而对于干扰引起状态的变化能起到及时而准确的校正作用.只要状态控制器各参数整定恰当,状态反馈控制系统能得到很好的控制质量.可以确信,状态反馈控制系统在现代工业过程控制中,将会得到广泛的应用.

[参考文献]

- [1] 蒋慰孙,俞金寿.过程控制工程(第2版)[M].北京:中国石化出版社,1999
- [2] 吴麒.自动控制原理(上册)[M].北京:清华大学出版社,1990
- [3] 庞国仲,白方周,濮洪钧.多变量控制系统实践[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1990
- [4] 王骥程.化工过程控制工程[M].北京:化学工业出版社,1983
- [5] 吴勤勤.控制仪表及装置[M].北京:化学工业出版社,1997

Application of SLPC to State Feedback Control System

Liu Rucheng

(Department of Control Science and Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing, 210042, PRC)

Abstract: State Feedback Control (SFC) system is a progressive control system. The paper primarily concerns with the design of state controller and putting it into practice by SLPC programmable digital controller. The result shows that only when the designer of state is correct, can be a good control quality achieved.

Key words: SFC, controller, object function, SLPC

[责任编辑:刘健]

(上接第20页)

The High Accurate Detecting System of Synchronous Generators

Gu Juping^{1,2}, Li Jianzhong¹, Qian Yushou¹, Hu Minqiang¹

(1. Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing, 210096, PRC;

2. Department of Information Engineering, Nantong Institute of Technology, Nantong, 226007, PRC)

Abstract: A detecting system with high accuracy is designed for synchronous generators, the transient signals are saved as quickly as possible to the expanded RAM and the data can be sent to PC by an interface. Steady signals can show lively and dynamically by CRT. When the generators break down, one will be warned of the accident by the detecting system with sound and light. The system possesses high stability and practicability. Several means are used to ensure its accuracy. The whole accuracy of this system is up to 0.1%.

Key words: high accurate measurement, data acquisition, single-chip microcomputer

[责任编辑:刘健]