

大林算法与 Smith 预估法在温度控制中的优效研究

欧阳鑫玉 赵楠楠

(鞍山钢铁学院 电子与信息工程学院 辽宁 鞍山 114002)

摘要 工业中有很多具有纯滞后性的被控对象,为了改善纯滞后对系统带来的不良影响,将大林算法和 Smith 预估法用于此类系统中,且以炉温控制系统为例,详细地介绍了两种算法的工作原理、数学模型及仿真结果,并将其与 PID 算法进行了讨论,结果表明,大林算法具有更好的控制效果.

关键词 大林算法 Smith 预估法 温度控制 PID

中图分类号 TP273 文献标识码 A 文章编号 1000-1654(2001)04-0277-04

在工业生产中,经常会遇到具有纯滞后特性的被控对象,并常将这种被控对象看成是带有纯滞后的
一阶惯性环节或二阶惯性环节,其传递函数分别为

$$W_d(S) = \frac{K_A e^{-\tau s}}{T_A s + 1} \quad \tau = NT \quad (1)$$

$$W_d(S) = \frac{K_A e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad \tau = NT \quad (2)$$

式中, T_A, T_1, T_2 分别为对象的时间常数; τ 为对象的纯滞后时间,一般假定它是采样周期 T 的整数倍;
 N 为正整数; K_A 为对象的放大倍数.

这类系统,一般要求具有较好的动态特性和稳定性,处理起来比较麻烦.实践证明,这类系统采用最小拍设计方法并不妥当,而一般的 PID 算法控制效果也不佳.为了改善纯滞后给系统带来的不良影响,国内外已经作过大量的研究工作,常用的方法有大林算法和 Smith 预估法.

下面以炉温控制系统为例,研究一下两种算法的有效性和可行性.

1 系统的组成及原理

炉温控制系统的硬件原理如图 1 所示.系统采用可控硅交流调压器,输出不同的电压控制电阻炉温

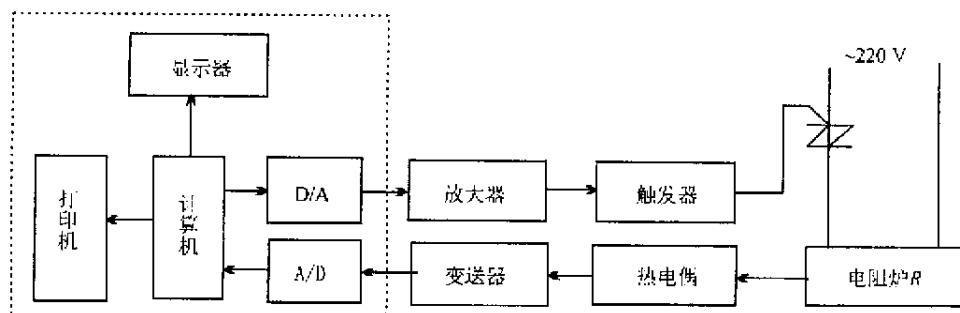


图 1 炉温控制系统的硬件原理

Fig. 1 Hardware Principle of Furnace-Temperature Control System

度的大小,温度通过热电偶检测,再经过变送器变成 0~5 V 的电压信号送入 A/D 转换器使之变成数字量,此数字量通过接口送到微机,这是模拟量输入通道.在微机内部,主机将采样值与给定值比较后进行控制算法计算,再经 D/A 转换器变成模拟量,然后经放大器放大后输入调压器,调节电压的大小,以达到控制温度的目的.

系统采用 IBM-PC 工控机,检测元件选用镍铬-镍铝热电偶,分度号为 EU,其输出信号为 0~41.32 mV. 变送器输出 0~10 mA,然后经过电流-电压变换电路转换为 0~5 V 的标准电压信号.

本系统中被控对象可以近似认为是一带有纯滞后的一阶惯性环节,其传递函数如式(1).

2 大林算法

大林算法是由美国 IBM 公司的大林(Danlin)于 1968 年针对工业过程控制中的纯滞后特性而提出的一种控制算法. 该算法的设计目标是设计一个合适的数字控制器,使整个系统的闭环传递函数为带有原纯滞后时间的一阶惯性环节,即

$$W_B(S) = \frac{e^{-\tau S}}{T_0 S + 1} \quad \tau = NT \quad (3)$$

此系统中 A/D 环节近似为一采样开关,D/A 环节近似为一临界器,传递函数为 $W_D(S) = \frac{1 - e^{-TS}}{S}$,故系统是一具有零阶保持器的单变量调节系统. 整个闭环系统的脉冲传递函数为

$$W_B(Z) = \frac{Y_z}{X_z} = Z \left[\frac{1 - e^{-TS}}{S} \frac{e^{-NTS}}{T_0 S + 1} \right] = \frac{Z^{-N-1}(1 - e^{-T/T_0})}{1 - e^{-T/T_0} Z^{-1}}$$

代入直接数字控制系统

$$D(Z) = \frac{W_B(Z)}{W_f(Z) \cdot [1 - W_B(Z)]}$$

$$\text{可得 } D(Z) = \frac{1}{W_f(Z)} \frac{Z^{-N-1}(1 - e^{-T/T_0})}{[1 - e^{-T/T_0} Z^{-1} - Z^{-N-1}(1 - e^{-T/T_0})]}$$

$$\text{由于 } W_f(Z) = Z \left[\frac{1 - e^{-TS}}{S} \frac{K_A e^{-NTS}}{T_A S + 1} \right] = K_A Z^{-N-1} \frac{1 - e^{-T/T_A}}{1 - e^{-T/T_A} Z^{-1}}$$

代入得

$$D(Z) = \frac{(1 - e^{-T/T_A} Z^{-1})(1 - e^{-T/T_0})}{K_A (1 - e^{-T/T_A}) [1 - e^{-T/T_0} Z^{-1} - Z^{-N-1}(1 - e^{-T/T_0})]} = \frac{A - B Z^{-1}}{1 - C Z^{-1} - (1 - C) Z^{-N-1}}$$

$$\text{式中 } A = \frac{1 - e^{-T/T_0}}{K_A (1 - e^{-T/T_A})} \quad B = A e^{-T/T_A} \quad C = e^{-T/T_0}$$

$D(Z)$ 即为所求的直接数字控制器. 用仿真软件 MATLAB5.3 里的 SIMULINK 工具箱容易对其进行编程和仿真.

3 Smith 预估法

Smith 预估法也叫纯滞后补偿法,设计的目标是引入一个纯滞后环节 $D_c(S)$,即 Smith 预估器,与被控对象相并联,使补偿后的被控对象的等效传递函数不包括纯滞后项 $e^{-\tau S}$,如图 2 所示.

$$D_c(S) + W_p(S) e^{-\tau S} = W_p(S)$$

即

$$D_c(S) = W_p(S) (1 - e^{-\tau S})$$

实际上 Smith 预估器并不并联在被控对象上,而是并联在调节器上,等效为带 Smith 预估器的调节器,如图 3 所示.

$$D'(S) = \frac{D(S)}{1 + D(S) W_p(S) (1 - e^{-\tau S})}$$

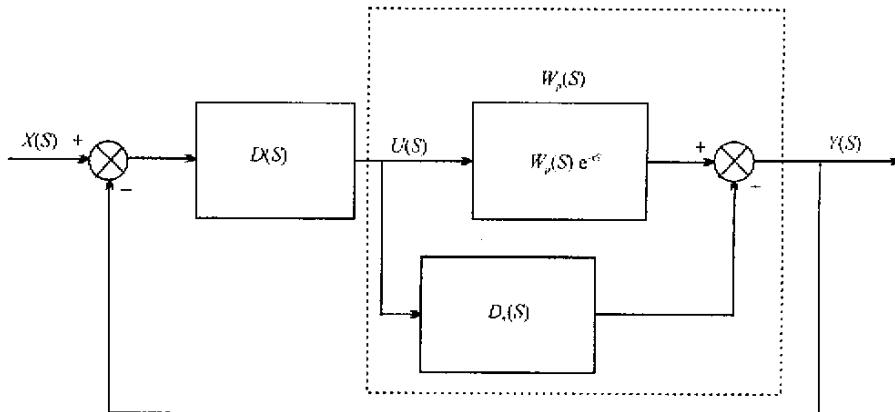


图 2 Smith 补偿方框图

Fig. 2 Frame-Chart of Smith Compensation

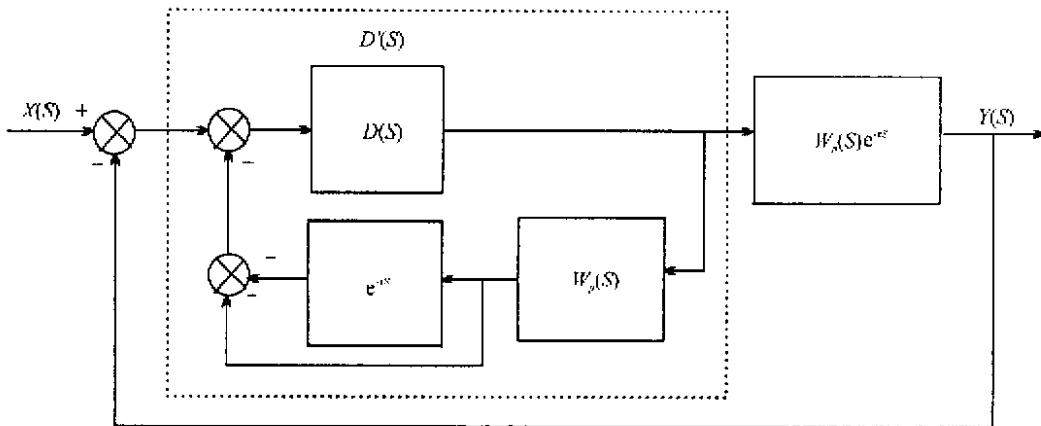


图 3 Smith 补偿后的等效结构

Fig. 3 Equivalent Frame-Chart of Smith after Being Compensated

因此,闭环传递函数为

$$W_B(S) = \frac{D'(S)W_p(S)e^{-\tau S}}{1 + D'(S)W_p(S)e^{-\tau S}} = \frac{D(S)W_p(S)e^{-\tau S}}{1 + D(S)W_p(S)} \quad (4)$$

式中, $W_p(S) = \frac{K_A}{T_A S + 1}$.

由式(4)可以看出,经 Smith 补偿后,闭环系统的特征方程中不含有纯滞后项 $e^{-\tau S}$,说明纯滞后被消除了,但是它的输出响应推迟一个纯滞后时间.

这里 $D(S)$ 采用 PID 控制算法,用仿真软件 MATLAB5.3 里的 SIMULINK 工具箱容易对其进行编程和仿真.

4 仿真结果

炉子的传递函数参数可以通过参数辨识得到,在这里取 $K_A = 5$, $\tau = 60$ s, $T_A = 50$ s. 设给定温度为 50 °C,采样时间 $T = 10$ s.

当采用大林算法进行仿真时,由 $N = \tau/T = 6$,可以调节 T_0 ,使闭环系统的指标达到最佳. 在实际整定中发现,当 T_0 小于 6 小时,调整快,但容易引起系统振荡; T_0 太大时,系统稳定性好,但响应变慢. 仿真结果

如图 4 所示,从图中可以看出,用大林算法几乎没有超调,调节时间也比较小,较其它两种算法具有良好的效果。从实际整定中发现,当 τ 很小时,采用 Smith 预估法和 PID 算法控制效果差不多,但当 $\tau/T_A \geq 0.5$ 时,Smith 预估法就比 PID 算法达到的效果好得多。

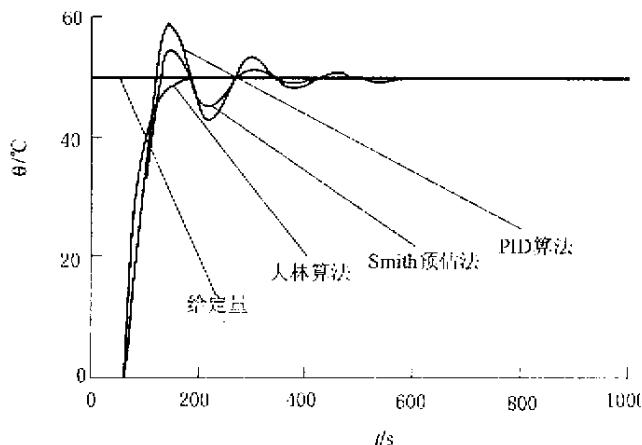


图 4 炉温控制系统在 $T_0 = 25$ s, $T = 10$ s 时不同算法的仿真响应曲线

Fig.4 Simulative Responding-Curves of Furnace-Temperature Control System with Diferent Arithmetic when $T_0 = 25$ s, $T = 10$ s

参 考 文 献 :

- [1] 张国范,顾树生.微型计算机控制技术[M].沈阳:东北大学出版社,1997.121-125,144-150.
- [2] 俞挺,陈应麟.达林算法在管道温度控制中的应用[J].电气自动化,1998,20(4):11-12.
- [3] 陈刚,郑载满,曲延滨,等.Smith 法在水轮机电动调速器中的应用[J].电气传动自动化,1998,20(2):24-27.
- [4] 杨自厚.自动控制原理(第 2 版)[M].北京:冶金工业出版社,1990.37-46,310-335.
- [5] 晨曦工作室,苏晓生.MATLAB5.3 实例教程[M].北京:中国电力出版社,2000.167-201.
- [6] 方崇智,曹德云.过程辩识[M].北京:清华大学出版社,1988.146-177.

Research on Effect of Danlin Arithmetic and Smith Arithmetic in Temperature Control

OUYANG Xin-yu, ZHAO Nan-nan

(School of Electronic and Information Engineering, Anshan Institute of I. & S. Technology, Anshan 114002, China)

Abstract: There are many lagging objects in industry, Danlin arithmetic and Smith arithmetic are used to avoid the effect of the lagging on the system. This paper introduces their working principle, mathematical model and emulation result, and compare them with PID arithmetic in furnace-temperature control system. The result shows that Danlin arithmetic has better effect than the others.

Key Words: Danlin arithmetic, Smith arithmetic, temperature control, PID

(Received May 30, 2001)