

程序控温算法研究

Research on Program Temperature Control Algorithm

殷华文

(南阳理工学院电子与电气工程学院,河南 南阳 473004)

摘要: 由于程序控温要进行升温-保温-降温曲线控制,因此,程序控温和定值控温的控制算法是不同的。首先,采用 PID 算法模块和温度曲线设定值发生器程序相结合的方式,对夹套锅炉的温度进行控制;接着,分别使用 P、PI、PD、PID 等控制规律进行控制,并对监控结果进行对比分析;最后,研究了程序控温过程的 P、I、D 运算的特点,总结了如何减少温度曲线穿越的控制经验,验证了以 PD 调节为主、结合微弱的 I 调节是较为合适的程序控温算法。该算法的实际控温精度小于 1 K。

关键词: 程序控温 温度曲线 PLC PID 算法 A/D 转换

中图分类号: TP272 **文献标志码:** A

Abstract: Due to program temperature control is based on heating-holding-cooling control curve; its control algorithm is different from the set-point temperature control. Firstly, by adopting PID algorithm module, and combining temperature curve set-point generation program, the temperature control for jacketed boiler is conducted. Then, with control rules of P, PI, PD, PID, etc., the results are compared and analyzed. Finally, the features of P, I, and D operations for program temperature control are researched, and the control experience for reducing cutacross of the temperature curves is summarized. It is verified that PD regulation combining with slight I regulation is the appropriate program temperature control algorithm. The practical temperature control accuracy of this algorithm is less than 1 K.

Keywords: Program temperature control Temperature curve Programmable logic controller PID algorithm A/D transform

0 引言

夹套锅炉是化工、生化领域中重要的生产设备,锅炉的温度控制是生产的重要保证。有些生产过程要求按照规定的升温-保温-降温曲线控制温度,即程序控温。程序控温和定值控温的特点是不同的,需要进行具体的研究来找出合适的控制算法。

作为目前主流的自动化控制器,PLC 普遍具有模

拟量处理和 PID 调节能力。因此,本文采用 PLC 对实际温度对象进行控制。在 Siemens Step7 平台中,配置有 PID 软件功能模块 FB41,但是 FB41 不具有程序控温功能,所以在 S7-300 PLC 中自主设计程序控温算法具有算法研究和工程实际的双重意义。

1 控制对象和控制系统硬件配置

程序控温系统硬件配置如图 1 所示。

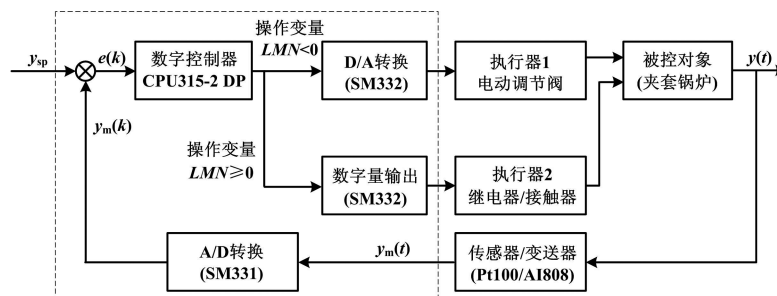


图 1 程序控温系统硬件配置图

Fig. 1 Hardware configuration of program temperature control system

程序控温系统中,被控对象是夹套锅炉,被控参数

是内胆水温。锅炉体高约 500 mm,内胆和夹套容积均约为 25 L。

修改稿收到日期:2012-12-13。

作者殷华文(1967-),男,1989年毕业于沈阳工业学院计算机应用专业,获学士学位,副教授;主要从事自动化方面的教学和科研工作。

2 控温算法设计

控温算法主要分为两大部分:①双极性 PID 控制,

可直接调用 FB41 实现;②温度曲线和温度值的设定,这需要自编算法程序实现。

Siemens Step7 平台中有专用的 PID 算法模块 FB41 和 PWM 算法模块 FB43。FB41 是基于位置型算法的 PID 软件模块^[1],通常它的 PID 运算输出 LMN (操作变量)为单极性,范围为 0~100,但是需要进行双极性控制。因此,需设置操作变量 LMN 输出为双极性,范围为-100~100。

当 $LMN > 0$ 时,需调用 PWM 功能块 FB43,生成占空比可调的脉冲波,经 SM322 数字量输出模块控制继电器/接触器的通断,从而控制电加热丝对内胆水进行加热;当 $LMN < 0$ 时,调用模拟量转换功能块 FC106,经 SM332 模拟量模块输出 4~20 mA 标准信号,以控制电动调节阀的开度,从而控制锅炉夹套冷却水流量,达到降温目的。

由于 Step7 中没有设定值发生器功能块,因此在温控程序中自编了一个温度曲线设定值发生器,用于实现温度曲线的设置。控温过程中,温度设定值随温度-时间曲线动态产生。

对于不同的生产工艺,温度曲线的段数和升降温斜率都是不同的, $t_1 \sim t_6$ 这六段温度曲线设定示意图如图 2 所示。

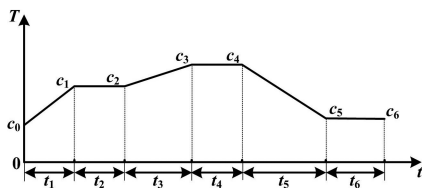


图 2 温度曲线设定示意图

Fig.2 Schematic diagram of temperature curve setting

对于第一段温度的设定,需要设定三个参数:起点温度 c_0 、终点温度 c_1 和本段控温时间 t_1 。当已知这三个参数后,可计算出斜率 $k = \frac{c_1 - c_0}{t_1}$ 、截距 $b = c_0$ 。依据温度曲线的斜截式方程 $y = kt + b$,计算某时刻 t 的温度设定值 y ,则 y 就是 t 时刻的 FB41 的温度设定值 SP_INT。其他段的设定方式类似,保温段的斜率 $k = 0$ 。

3 不同控制规律的研究

本控制对象为不自衡的一阶积分对象,并且升降温过程都有比较大的滞后。PID 运算放置在 OB35 定时中断服务程序中,中断周期为 100 ms, PID 控制周期为 4 s。分别采用 P、PI、PD、PID 规律对升降温斜率均为 1.5 K/min 的温度设定曲线进行控制。

3.1 P 调节

设置 FB41.GAIN,即 $P = 50$ s,则 P 调节控制结果如图 3 所示。

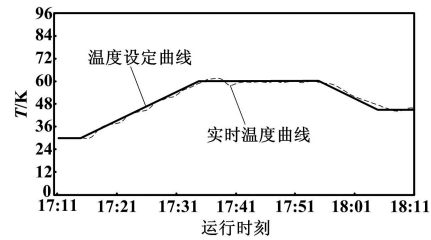


图 3 P 调节监控曲线图

Fig.3 P regulation monitoring curves

升温段最大偏差为 2.2 K;保温段最大正偏差为 1.3 K,最大负偏差为 2.2 K;降温曲线位于设定曲线上方。

因为 P 调节是有差调节,所以曲线跟随性较差。在升温 and 保温段,实时曲线基本都位于曲线的下方,说明 P 偏小;而降温段实时曲线都位于曲线的上方,说明 P 偏大。因此,升温 and 降温过程的惯性是不同的。

3.2 PI 调节

设置 $P = 50$ s、 $I = 150$ s,则 PI 调节控制结果如图 4 所示。

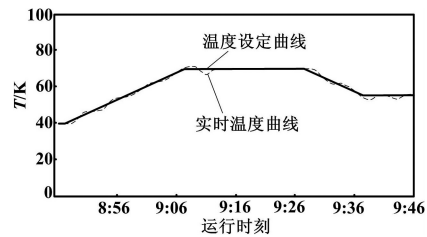


图 4 PI 调节监控曲线图

Fig.4 PI regulation monitoring curves

积分有消除余差的作用,使得曲线的跟踪效果优于 P 调节,保温段的稳态误差最终稳定在 0.4 K,明显小于 P 调节。

由于加热滞后和冷却滞后(主要是调节阀动作滞后)的存在,再加上积分滞后的影响,使得各个曲线拐点的偏差和升降温段偏差增大。

3.3 PD 调节

设置 $P = 80$ s、 $D = 10$ s,偏差死区宽度 $W_{DEAD} = 0.1$,控制结果如图 5 所示。从图 5 可以看出实时曲线整体位于设定值曲线下方,曲线穿越现象明显改善,但无法有效消除余差。升温曲线没有出现穿越现象,偏差维持在 1.2 K,但余差不能消除;保温段没有超调,最大偏差为 0.6 K,没有出现穿越现象,控制曲线平缓;降温段出现小幅度穿越,最大偏差为 1.4 K。

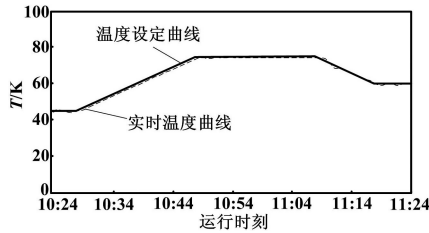


图5 PD调节监控曲线图

Fig. 5 PD regulation monitoring curves

由图5可知,PD控制规律的应用明显改善了控制品质,这似乎有悖于随动控制慎用微分分量的经验。因为微分量容易受高频干扰的影响,从而使控制系统不稳定,控制品质下降。考虑温度设定值是线性随动的,即按一定的斜率递增或递减,但温度设定值并非等同于串级控制中内环的给定值,所以它对系统的干扰作用很弱^[2];在升降温阶段,由于加热滞后和冷却滞后造成实时曲线在设定值曲线上、下穿越,所以从微分超前控制的作用考虑,微分分量的加入有利于控制品质的改善。

在升温阶段,如果减弱微分作用,会明显观察到实时曲线的平滑度降低;而在降温阶段,应改变PD参数,减小比例,以减少实时曲线的穿越次数,增大微分,使实时曲线更加平缓地靠近设定曲线,避免因冷却水的加入而出现曲线骤降现象。

微分控制总是力图抑制被控量的振荡,它具有提高控制系统稳定性的作用。但是由于比例调节和微分调节都是有差调节^[2-4],所以PD调节仍会出现余差。为了消除余差,下一步尝试加入积分作用。

3.4 PID调节

设置升温保温段参数 $P=70\text{ s}$ 、 $I=300\text{ s}$ 、 $D=15\text{ s}$,而降温段 $P=50\text{ s}$ 、 $I=300\text{ s}$ 、 $D=20\text{ s}$;偏差死区 $W_{\text{DEAD}}=0.1$,则PID调节监控曲线如图6所示。

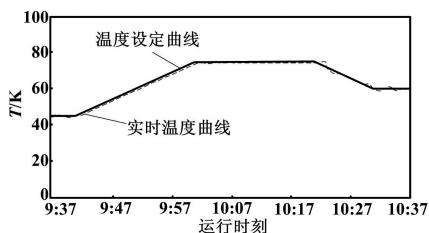


图6 PID调节监控曲线图

Fig. 6 PID regulation monitoring curves

从图6可以看出,升温段滞后30s,最大偏差为1K,稳态误差为0.2K,实时曲线平缓,基本上没有穿越现象;保温段在曲线拐点处出现最大偏差0.9K,之后没有较大的波动和穿越现象;降温段滞后97s,最大

偏差为2K。

积分控制的特点是无差调节^[5-7]。在PD调节的基础上,加入微弱的积分作用,有效消除了余差,提高了控制精度。通过较强的比例和微分作用,有效解决了滞后和超调问题,使控制精度小于1K。当加入积分作用后,在PD控制的基础上适当减小比例值,但要略微增加微分作用,以弥补积分加入带来的滞后影响。

4 程序控温积分运算的特点

定值控温和程序控温积分量累积如图7所示。

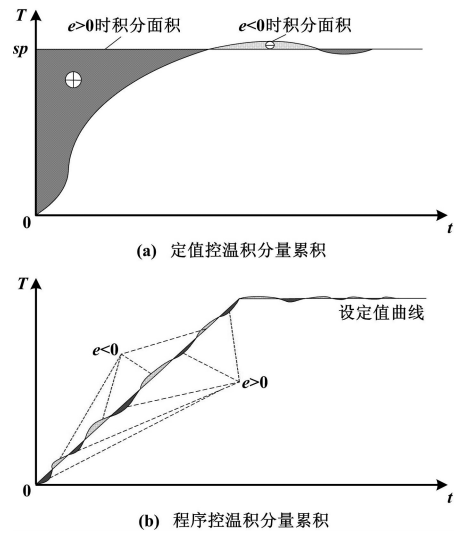


图7 定值控温和程序控温积分量累积示意图

Fig. 7 Integral accumulation of set-point temperature control and program temperature control

在定值控温PID运算中,由于开始阶段的当前值和设定值相差较大,偏差 e 为正值且数值较大。随着当前值逐渐接近设定值, e 越来越小,但是 e 对时间的积分累积却在不断增加,定值控温积分量累积示意图如图7(a)所示。积分饱和的产生正是由于这个原因。当产生超调后, e 变为负值,负偏差的累积量相对较小,与正偏差累积量抵消后差值仍较大,致使积分分量在输出值中所占分量较大,所以需采用积分分离、积分清零等抗积分饱和措施。

本控制过程中,由于当前值对设定值有良好的跟随性,积分的正负累积量都比较小,即积分分量在输出值中所占分量较小,控制作用不明显,程序控温积分量累积示意图如图7(b)所示,不会产生积分饱和。但适当地加入积分作用有利于减少余差,不过积分作用不宜过强。

(下转第18页)