

# 基于 PLC 的茶叶滚筒杀青机温度控制系统设计

葛良志, 曹成茂\*, 吴正敏

(安徽农业大学工学院, 合肥 230036)

**摘要:** 茶叶杀青温度的控制是保证茶叶杀青质量的关键, 但目前茶叶加工中多采用的传统手工杀青及机械杀青过程中的杀青温度波动范围大, 难以稳定, 无法保证杀青品质的一致性。采用基于 PID 算法的 PLC 温度控制方法, 设计出茶叶滚筒杀青机的温度控制系统, 实现了对杀青温度的稳定控制。该系统工作稳定、茶叶杀青品质好, 具有良好的应用前景。

**关键词:** 滚筒杀青机; PLC 控制; 温度控制; PID 控制

中图分类号: TS272.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)04-0647-04

## Design of a temperature control system for the roller-type machine for water-removing from tea leaves based on PLC

GE Liangzhi, CAO Chengmao, WU Zhengmin

(School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** The temperature control is the key to ensure the quality in tea green fixation. However, the temperature control system for a traditional roller-type fixation machine or the manual water-removing process is not stable, which cannot guarantee the quality and consistency of the tea. In this paper, we designed a temperature control system for the roller-type tea green machine based on PLC and PID algorithm. This system was stable and could guarantee the high quality of water-removing from tea leaves; therefore it was of high efficiency, low consumption and would fully meet the requirements of the tea industry.

**Key words:** roller-type water-removing machine; temperature control; PLC control; PID control

杀青是茶叶加工中第一道工序, 是保证茶叶品质的关键技术环节。杀青是通过高温破坏和钝化鲜茶叶中的氧化酶的活性, 抑制鲜茶叶的茶多酚等的酶促氧化, 蒸发鲜茶叶中的部分水分, 使茶叶变软, 便于揉捻成形, 同时散发青臭味, 促进良好香气形成。

保持杀青过程中杀青温度的合理和稳定是获得良好杀青效果的关键。杀青温度过高会产生烟焦、断碎和白色爆点等现象, 而杀青温度过低会产生红梗、红叶等现象, 均会影响茶叶的色香味。目前国内使用最多的茶叶杀青机械为滚筒杀青机, 其在工作时, 主要由工作人员根据温度控制器并结合自己的经验来控制杀青温度。这种温度控制方式不精确, 抗干扰能力差, 温度波动大, 影响茶叶加工效果<sup>[1-3]</sup>。

作者运用西门子 S7-200PLC, SMART700IE 触摸屏等器件结合基于 PID 控制原理的温度控制方法, 设计了滚筒杀青机的温度控制系统<sup>[4-8]</sup>, 可使杀青机的杀青温度稳定在设定值, 使用者通过触摸屏可观测现场工况并且可随时根据现场杀青效果设定杀青温度。系统简单灵活, 抗干扰能力强, 避免了因环境变化和人为因素对杀青质量所造成的不良影响。

## 1 控制系统整体设计

### 1.1 滚筒杀青机的整体结构与工作原理

安装有温度控制系统的茶叶滚筒杀青机的整体结构(如图 1)主要包括滚筒、电加热装置、电机、传动装置、拨板、滚筒壁、主支架、料斗和出料口,

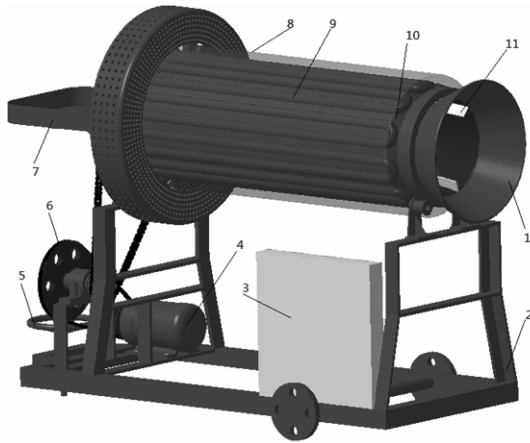
收稿日期: 2014-12-30

基金项目: 科技部科技型中小企业技术创新基金项目(14C26213401694)资助。

作者简介: 葛良志, 硕士研究生。E-mail: 397404833@qq.com

\* 通信作者: 曹成茂, 博士, 教授。E-mail: caochengmao@sina.com

前中后 3 个热电阻的安装支架和控制柜等。工作过程主要是杀青机工作在设定温度值下，滚筒两端分别支撑在主动托辊和辅助托辊上，驱动装置通过主动托辊驱动滚筒旋转，茶叶由于离心力所产生的与滚筒内壁之间的摩擦力被提升到一定高度，然后向斜上方抛出，落到滚筒内壁的另一侧，内部的螺旋形拨板起到辅助翻转的作用，如此循环往复。由于滚筒倾斜一定的角度，茶叶在滚筒内做回转运动的同时还沿着滚筒的轴向推移，当移动到滚筒的出料端时，从出料口落下，进而完成杀青全过程。



1. 出料口; 2. 主支架; 3. 控制柜; 4. 三相电机; 5. 倾斜度调节盘; 6. 传动装置; 7. 料斗; 8. 滚筒壁; 9. 电加热装置; 10. 滚筒; 11. 拨板

1. Outlet; 2. Main support; 3. Control cabinet; 4. Three-phase machine; 5. Setting pan for gradient; 6. Gearing; 7. Hopper; 8. Roller wall; 9. Electric heater unit; 10. Roller; 11. Panel

图 1 滚筒杀青机的结构示意图

Figure 1 The structure diagram of roller-type tea fixation machine

### 1.2 控制系统结构设计

控制系统的构成如图 2 所示，主要包括西门子 S7-200PLC (CPU226CN)，模拟量输入模块 EM231CN, SMART700IE 触摸屏, PT100 铂热电阻, SBWZ-2280 导轨式温度变送器, FDR3-D48402 三相固态继电器, PS207 电源模块等。工作过程是通过触摸屏输入所需杀青温度值，按下启动按钮，启动系统工作。3 个温度变送器分别接收安装在滚筒内前、中、后端的 3 个测温元件 PT100 的输出信号，经过稳压滤波、运算放大、非线性校正等处理，转换成与温度成线性关系的 0~10 V 电压信号输出。模拟量输入模块 EM231CN 接收 3 个温度变送器输出的 0~10 V 电压信号并将其转换为 0~32000 的整数分别存于 AIW0、AIW2 和 AIW4(AIW0、AIW2 和 AIW4 为模拟量输入模块 EM231CN 中的 3 个寄存器)中。CPU 读取存于 AIW0、AIW2 和 AIW4 中

的数据并取平均值，一方面将所得平均值进行运算得出实时温度并显示在触摸屏；另一方面，将该平均值作为 PID 控制的回路输入，进行 PID 运算，不断改写回路输出的占空比，改变固态继电器的导通与断开时间，使滚筒杀青机的温度稳定在所输入的杀青温度值。系统工作原理见图 3。

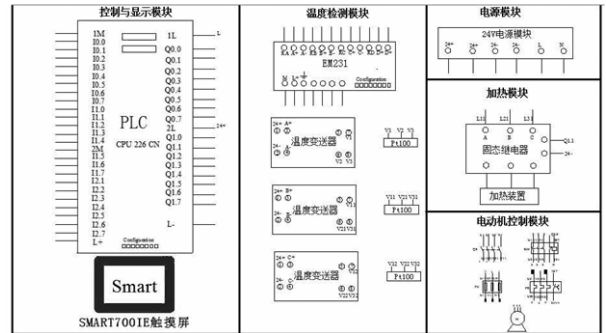


图 2 控制系统的构成示意图

Figure 2 The structure diagram of the control system

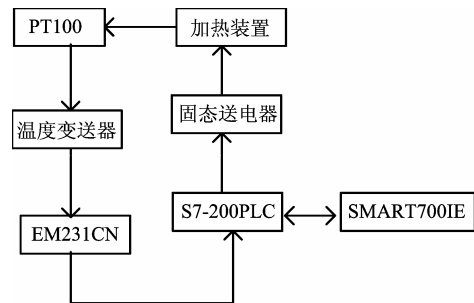


图 3 控制系统工作原理图

Figure 3 The schematic diagram of the control system

## 2 控制系统的算法与参数整定

### 2.1 控制系统的算法

本控制系统采用经典的 PID 控制算法。工作原理为：由于来自外界的各种扰动不断产生，要想达到现场控制对象值保持恒定的目的，控制作用就必须不断进行。若扰动出现使得现场控制对象值(即被调参数)发生变化，现场检测元件就会将这种变化记录并传送给 PID 控制器，改变过程变量值，经变送器送至 PID 控制器的输入端，并与其给定值(简称 sp 值)进行比较得到偏差值(简称 e 值)，调节器按此偏差并以预先设定的整定参数控制规律发出控制信号，使被调参数发生改变，并趋向于给定值(sp 值)，以达到控制的目的。PID 控制系统原理图见图 4。

在连续控制系统中，信号均为连续变化的模拟量。设  $sp(t)$  为给定值， $pv(t)$  为过程变量（反馈量），误差  $e(t)=sp(t)-pv(t)$ ，PID 控制器的输出量=比例项+积分项+微分项+输出的初始值，即

$$M(t) = K_c \left( e + \frac{1}{T_I} \int_0^t e dt + T_D de / dt \right) + M_{initial} \quad (1)$$

式中,  $M(t)$  是控制器的输出;  $M_{initial}$  是回路输出的初始值;  $K_C$  是 PID 回路的增益;  $T_I$  和  $T_D$  分别是积分时间和微分时间。比例 (P)、积分 (I)、微分 (D) 部分分别与误差、误差的积分和微分成正比。

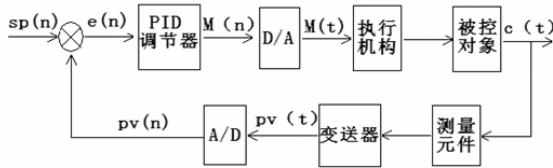


图 4 PID 控制系统原理图

Figure 4 The system principle diagram of the PID control system

假设采样周期为  $T_s$ , 系统开始运行的时刻为  $t=0$ , 用矩形积分来近似精确积分, 用差分近似精确微分, 将式 (1) 离散化, 第  $n$  次采样时控制器的输出为

$$M_n = K_c e_n + (K_I \sum_{j=1}^n e_j + M_{initial}) + K_D (e_n - e_{n-1}) \quad (2)$$

式中,  $e_n$  是第  $n$  次采样时的误差值;  $e_{n-1}$  是第  $n-1$  次采样时的误差值;  $K_C$ 、 $K_I$  和  $K_D$  分别是 PID 回路的增益、积分项的系数和微分项的系数。将式 (2) 简化为 (3), 每一次计算只需要保存上一次的误差值  $e_{n-1}$  和上一次的积分项  $MX$ 。

$$M_n = K_c e_n + (K_I e_n + MX) + K_D (e_n - e_{n-1}) \quad (3)$$

西门子 s7-200PLC 的 CPU 实际使用的改进型 PID 算法的算式为:

$$M_n = MP_n + MI_n + MD_n \quad (4)$$

式中, 右边 3 项依次是比例项、积分项和微分项。比例项

$$MP_n = K_c (SP_n - PV_n) = K_c e_n \quad (5)$$

式中,  $SP_n$  和  $PV_n$  分别是第  $n$  次采样时的给定值和过程变量值 (即反馈值)。积分项与误差的累加和成正比, 其计算公式为:

$$MI_n = K_c (T_s / T_I) (SP_n - PV_n) + MX = K_I + MX \quad (6)$$

式中,  $T_s$  是采样时间间隔;  $T_I$  是积分时间;  $MX$  是前面所有积分项之和。每次计算出  $MI_n$  后, 需要用它去更新  $MX$ 。在第 1 次计算时  $MX$  的初始值为控制器输出的初始值  $M_{initial}$ 。微分项  $MD$  与误差的变化率成正比, 其计算公式为:

$$MD = K_c (T_D / T_s) [(SP_n - PV_n) - (SP_{n-1} - PV_{n-1})] = K_D (e_n - e_{n-1}) \quad (7)$$

为了避免给定值变化引起微分部分的跳变, 可以令给定值不变 ( $SP_n = SP_{n-1}$ ), 微分项的算式变为:

$$MD_n = K_c (T_D / T_s) (PV_{n-1} - PV_n) = K_D (PV_{n-1} - PV_n) \quad (8)$$

为了下一次计算, 必须保存本次的过程变量  $PV_n$ , 作为下一次的  $PV_{n-1}$ 。初始化时令  $PV_{n-1} = PV_n$ 。

### 2.2 参数整定

本控制系统采用扩充响应曲线法与凑试法对 PID 参数进行整定。由于如果预设的初始值与理想参数相差甚远, 将会给以后的参数整定带来很大的困难, 所以首先采用扩充响应曲线法初步确定  $K_C$ 、 $T_I$ 、 $T_D$  和  $T_S$  4 个参数。

断开系统反馈, 令  $K_C=1$ ,  $T_I = \text{“INF”}$ ,  $T_D=0$ , 即令控制器为  $K_C=1$  的纯比例控制器, 在系统输入端加一个阶跃信号, 测量并得出系统的开环阶跃响应曲线, 在曲线上最大斜率出作切线如图 5 所示。

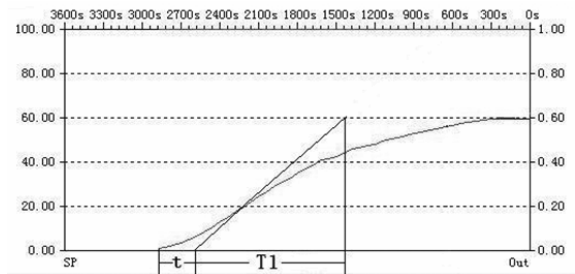


图 5 系统开环阶跃响应曲线

Figure 5 The step response curve of the open-loop system

表 1 扩充响应曲线法参数整定

Table 1 The parameter setting of expanding response curve method

控制度 Control degree	控制方式 Control method	$K_C$	TI	TD	TS
1.05	PI	0.84T1/t	3.4t	-	0.1t
	PID	1.15T1/t	2.0t	0.45t	0.05t
1.2	PI	0.78T1/t	3.6t	-	0.2t
	PID	1.0T1/t	1.9t	0.55t	0.16t
1.5	PI	0.68T1/t	3.9t	-	0.5t
	PID	0.85T1/t	1.62t	0.65t	0.34t
2.0	PI	0.57T1/t	4.2t	-	0.8t
	PID	0.6T1/t	1.5t	0.82t	0.6t

求得纯滞后时间  $\tau$  和上升时间  $T_I$  分别为  $\tau = 300$  s,  $T_I = 1140$  s。求出系统的控制度。控制度是指计算机直接数字控制 (DDC) 与模拟控制器的控制效果之比, 而控制效果一般用误差二次方的积分值函数来表示, 即控制度 =  $\frac{[\int_0^{\infty} e^2(t) dt]_{DDC}}{[\int_0^{\infty} e^2(t) dt]_{模拟}}$ 。根据求出的

$\tau$ ,  $T_I$  和控制度的值, 查表 1 便可求得参数  $K_C$ 、 $T_I$ 、 $T_D$  和  $T_S$ 。本文直接选取不同控制度下的参数作闭环调试。

将不同控制度下的参数一一作闭环调试, 观察

调试结果,发现控制度为 1.05 的 PID 控制方式下的参数  $K_C=4.37$ ,  $T_I=10$  min,  $T_D=2.25$  min,  $T_S=15$  s 相对较佳,响应曲线如图 6 所示,图中曲线 1 为实际温度值,曲线 2 为设定值,曲线 3 为输出占比。

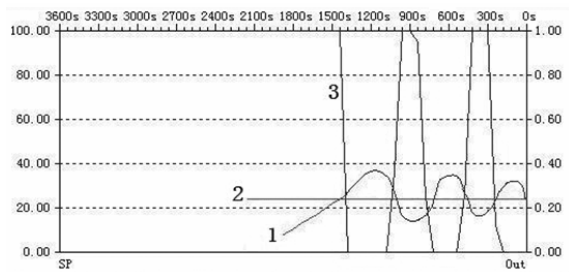


图 6 系统闭环响应曲线 1

Figure 6 The response curve of the closed-loop system one

表 2 温度采样值方差

Table 2 The variance of the temperature samples

整定组数 Class number of setting	$K_C$	$T_I/\text{min}$	$T_D/\text{min}$	$T_S/\text{s}$	方差 Variance
1	4.37	10	2.25	15	98.35
2	3.8	10	2.25	15	87.48
3	3.8	15	2.25	15	70.05
4	3.8	20	2.25	15	51.26
5	3.3	20	2.25	15	36.71
6	3	20	2.25	15	30.26
7	3	25	2.25	15	15.64
8	3	27	2.25	15	1.72
9	3	27	2	15	0.61
10	3	27	1.8	15	0

图中实际值迅速接近设定值,并且出现了很大的上超调,然后又出现了严重的下超调,响应曲线处于震荡运动中。利用凑试法对所得参数继续进行整定。不断根据闭环响应曲线将不同的参数值输入系统,作闭环调试,得出系统的闭环响应曲线图。输入参数,在系统第一次达到设定值后,每隔 20 s 采集一次温度值,共采集 60 组。将设定值作为采样值的平均值,计算采样值的方差,利用方差来度量实际温度值与设定之间的偏离程度。当实际温度值在设定值附近波动较大时,各个采样值与设定值的差的平方和较大,方差就较大;当实际温度值较接近于设定值时,各个采样值与设定值的平方和就小。因此方差越大,实际温度值较设定值波动越大;方差越小,实际温度值较设定值波动越小。不同参数下,温度采样值的方差如表 2 所示。

从表 2 的结果可以看出,随着参数的不断整定,温度的波动越来越小。当将参数设定为  $K_C=3$ ,  $T_I=27$  min,  $T_D=1.8$  min,  $T_S=15$  s 时,方差为 0,实际温度

值与设定值几乎完全重合,效果极佳。其闭环响应曲线如图 7 所示。

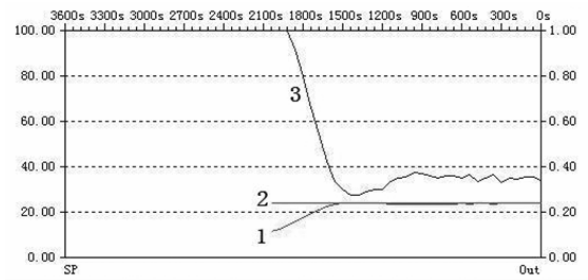


图 7 系统闭环响应曲线 2

Figure 7 The response curve of the closed-loop system two

图 7 中响应曲线迅速达到设定值并平稳的维持在设定值,基本不出现波动, PID 参数整定完成。利用 PID 控制实现了对滚筒杀青机杀青温度的稳定控制,使得系统抗干扰能力强,温度波动极小。

### 3 结论

本文所述茶叶滚筒杀青机温度控制系统,采用西门子 S7-200PLC 与 SMART700IE 触摸屏等器件结合基于 PID 控制原理的温度控制方法,设计了滚筒杀青机的温度控制系统,使滚筒杀青机的杀青温度可稳定在任意设定值,使用者通过触摸屏可观测现场工况并且可随时根据现场杀青效果设定杀青温度。系统简单灵活,抗干扰能力强,避免了温度波动和人为因素对杀青质量所造成的不良影响,操作性能良好,工作稳定且能显著提高茶叶的加工品质、节约茶叶的加工成本,具有良好的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 蔡雅娟. 茶叶的干燥技术研究进展[J]. 福建茶叶, 2005(3): 22-23.
- [2] Afzal T M and Abe T. Diffusion in potato during far infrared radiation drying[J]. Journal of Food Engineering, 1998, 67(4): 353-365.
- [3] 权启爱. 茶叶杀青机的类别及其性能[J]. 中国茶叶, 2006(4): 12-13.
- [4] 廖长初. S7-200PLC 编程及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 8.
- [5] 瞿裕兴. 茶叶生产机械化[M]. 北京: 农业出版社, 1980.
- [6] 权启爱, 叶阳. 远红外烘干机的结构及其在名优绿茶加工中的应用[J]. 中国茶叶, 2007(2): 20-21.
- [7] Mavroudis N E, Mavroudis, Dejmek P, et al. Osmotic-treatment-induced cell death and osmotic processing kinetics of apples with characterized raw material properties[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63: 47- 56.
- [8] 孙少华, 张文斌. 茶叶杀青设备比较研究[J]. 中国农机化, 2010, 229(3): 47-50.