

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.10.012

基于模糊PID的双闭环茶叶杀青控制系统研究*

沈 斌, 张 宪, 赵章风*, 钟 江

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要: 为了提高茶叶杀青质量,将模糊PID技术应用到茶叶杀青控制系统中,分析了茶叶杀青系统的结构、工作原理和杀青的原理;提出了以杀青叶含水率为控制目标,通过改变筒壁温度控制杀青叶含水率的方法;设计了基于模糊PID算法的含水率+温度的双闭环控制系统;最后,利用Matlab对系统进行了仿真,并且进行了杀青效果的对比实验。研究表明,模糊PID控制算法应用于茶叶杀青控制系统,系统阶跃响应的调节时间比常规PID控制算法要短,超调量小;以杀青叶含水率为控制指标的杀青方式能很好地适应鲜叶含水率变化的情况。

关键词: 杀青机; 模糊PID; 双闭环; 含水率

中图分类号: S24; TH39; TH86

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)10-1218-05

Research on double closed-loop tea fixation control system based on fuzzy PID

SHEN Bin, ZHANG Xian, ZHAO Zhang-feng, ZHONG Jiang

(Key Laboratory of E&M, Ministry of Education & Zhejiang Province, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to improve the effect of fixation, fuzzy PID technology was investigated. The structure of the fixation system and the operating principle and the methods of fixation were analyzed. The method was proposed that taking the moisture content of water-removing tea as the control index, together with changing the temperature of the cylinder wall to dominate the moisture content. A double closed-loop control system of moisture content and temperature based on fuzzy PID control algorithm was designed. Finally, the system was simulated by Matlab, and a comparative experiment about the effect of fixing was conducted. The results indicate that by applying fuzzy PID control algorithm to fixation system instead of using conventional PID control algorithm, the step response of the system costs less accommodation time and leads to smaller overshoot. It can well suit to the circumstances that tea moisture is changing based on the index of the moisture content of water-removing tea.

Key words: fixation machine; fuzzy PID; double closed-loop; moisture content

0 引 言

绿茶初制加工过程中,杀青是第一道工序,也是最关键的一道工序,对绿茶的品质起着决定性的作用。它主要是通过高温破坏和钝化鲜叶中的氧化酶活性,抑制鲜叶中的茶多酚等的酶促氧化,蒸发鲜叶

部分水分,以保持茶叶色泽和风味^[1]。目前,国内外针对杀青机的控制研究较少,彭秀英等^[2-6]研究了杀青机的筒壁温度控制,通过把筒壁温度稳定在某一特定值保证茶叶的杀青质量,但针对杀青叶含水率的控制研究还基本处以空白阶段。

本研究提出以杀青叶含水率为控制指标的双闭

收稿日期: 2013-06-04

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2011BAD29B12);浙江省科技厅重点科技创新团队资助项目(2011R09001)

作者简介: 沈 斌(1987-),男,浙江嘉兴人,主要从事机电一体化方面的研究。E-mail:shenbinjx@163.com

通信联系人: 赵章风,副教授,硕士生导师。E-mail:zhangzf@163.com

环杀青机控制系统,并且将模糊技术和PID技术相结合,能很好地适应鲜叶初始含水率变化的情况,有效避免恒温控制出现的杀不透现象。

1 杀青装置

笔者所研究的杀青系统主要由计量装置和滚筒杀青机组成。其中滚筒杀青机由筒体及排湿装置、传动机构、电热管等部分组成,杀青系统结构简图如图1所示。

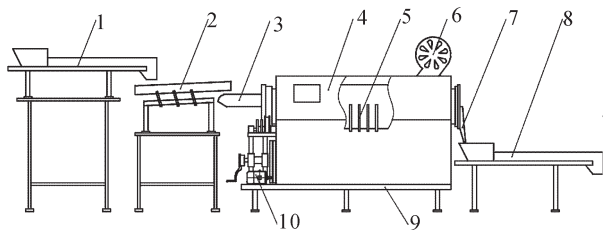


图1 杀青系统结构简图

1—前计量斗;2—输送振动槽;3—进料斗;4—筒体;5—电热管;
6—排湿装置;7—出料斗;8—后计量斗;9—机架;10—传动机构

筒体是滚筒杀青机最核心的部件。本研究采用经本团队优化后的三段式筒体^[7],主要结构特征为:筒体转速为33 r/min,导叶板的布置为进料口段布置8条导叶板、中后段布置5条导叶板,且导叶板为“L”形、倾角为17°。有研究表明该结构具有茶叶温度升高速度快、杀青效率高、杀青质量好等优点。

在杀青系统中,采用计量装置代替传统的传感器。计量装置的作用主要是测量杀青叶的含水率 M_1 。在已知鲜叶初始含水率 M_0 的情况下,两个计量称分别安装在杀青机的两端,通过称量杀青前后茶叶的重量(G_0 、 G_1),进而可以通过 $M_1=[M_0G_0-(G_0-G_1)]/G_1$ 计算出杀青叶的含水率。

2 杀青原理

杀青的目的是利用高温迅速破坏鲜叶中酶的活性,抑制茶多酚等化合物的酶促氧化,蒸发鲜叶部分水分,形成绿茶所特有的清汤绿叶的品质特征。目前有研究表明,鲜叶中多酚氧化酶的钝化临界温度为85℃左右。因此,研究者要对鲜叶迅速加热,在短时间内使其温度升高到85℃以上,并且保持一段时间就可以有效地抑制酶的活性。在杀青系统中,通过电热管对杀青机筒壁进行加热,鲜叶投入杀青机中,与筒壁接触,吸收热量,使鲜叶温度升高。鲜叶对热量的吸收大致可以分为两个阶段:在第1阶段,鲜叶吸收热量使其温度迅速上升至酶钝化的临界温度以上;在第2阶段,杀青叶的温度基本保持不变,其吸收的热量全部用于水分的蒸发,使杀青叶的含水率降低,同时破坏酶的结构,抑制酶的活性^[8]。

3 杀青机系统控制方案设计

通过上面的分析可知,整个杀青过程就是通过控制电热管功率决定杀青机滚筒筒壁温度,通过改变杀青机筒壁温度控制杀青叶含水率,系统中既有温度控制,又有含水率控制。并且在杀青过程中,要求鲜叶温度在短时间内上升到85℃以上,这就要求温度控制具有快速的响应速度,因此提出一种含水率+温度的双闭环控制系统。外环为含水率控制,其控制输出作为内环的给定输入,内环为温度控制。具体的控制系统结构框图如图2所示。

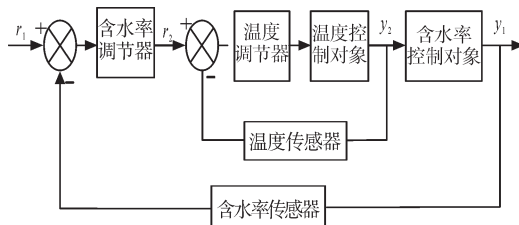


图2 杀青机控制系统结构框图

在系统中,外环含水率控制是一个定值控制系统,保证整个系统的稳态误差;内环温度控制是一个随动控制系统,要求其具有快速的响应速度。由于内环控制的存在,可以改善整个控制系统的动态特性、提高系统的工作频率。该系统中,由于温度控制模型和含水率控制模型都难以精确确定,外环含水率控制和内环温度控制都采用模糊PID控制。

4 模糊PID控制器的设计

4.1 模糊PID控制器结构

模糊PID控制器是PID控制算法和模糊控制算法的结合,是利用模糊控制规则对PID参数进行修改的一种自适应控制系统^[9]。模糊推理系统以杀青叶含水率设定值与含水率实际测量值的偏差 e 和偏差变化率 ec 为输入,根据事先确定的模糊控制规则采用模糊推理方法对PID参数 K_p 、 K_i 、 K_d 进行在线整定,以满足不同的偏差 e 和偏差变化率 ec 对PID控制器的要求,使被控对象具有良好的动态性能和静态性能。 K_p 、 K_i 、 K_d 进行在线修正的计算式如下:

$$K_p = K_{p0} + \Delta K_p \quad (1)$$

$$K_i = K_{i0} + \Delta K_i \quad (2)$$

$$K_d = K_{d0} + \Delta K_d \quad (3)$$

式中: K_{p0} 、 K_{i0} 、 K_{d0} —通过先比例、后积分、再微分的方法试凑得到的PID参数。

其具体步骤如下:① 首先只整定比例部分,先将 K_{i0} 、 K_{d0} 设为0,然后逐渐加大比例参数 K_{p0} ,观察系统响应情况;② 如果在比例控制的基础上,系统的静差

不能满足设计的要求,则加入积分环节 K_{i0} ;③若加入比例积分环节后,系统的动态响应效果仍旧不能满足要求,则加入微分环节 K_{d0} [10]。

4.2 输入输出信号的模糊化

模糊PID控制器是一个双输入三输出的模糊控制器。在模糊PID控制系统中,以杀青叶含水率设定值与含水率实际测量值的偏差 e 和偏差变化率 ec 的模糊集合作为输入变量,以PID控制器参数的变化量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的模糊集合作为输出变量。结合杀青叶含水率的实际变化,再加上操作人员对偏差的判断是正负对称的,于是将输入变量 e 和 ec 的模糊子集取7个语言变量值组成{负大NB,负中NM,负小NS,零ZO,正小PS,正中PM,正大PB},论域为 $\{-3,3\}$;由于PID控制器参数是正的,而模糊控制器输出的微分参数变量 ΔK_d 要超过PID控制器的初始参数 K_{d0} 才能满足控制要求。如果采用正负对称的论域,那么会导致PID控制器的微分参数出现负值。于是本研究将输出变量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的模糊子集取4个语言变量值组成{零ZO,正小PS,正中PM,正大PB},论域为 $\{0,3\}$,这样的论域既满足系统的控制要求,又保证PID控制器参数的合理性。

4.3 模糊控制规则

确定模糊控制规则的原则是确保茶叶杀青控制系统得到最佳的动态响应性能和静态特性。本研究根据参数 K_p 、 K_i 和 K_d 对系统输出特性的影响情况,设计给出了 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 3个参数的模糊控制规则表,如表1~3所示。

表1 ΔK_p 的模糊规则表

E	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PM	PS	PM	PM	PM	PS	PM
NM	PB	PM	PB	PB	PB	PM	PS
NS	PB	PM	PB	PB	PB	PM	PS
ZO	PB	PM	PB	ZO	PB	PM	PS
PS	PB	PM	PB	PB	PB	PM	PS
PM	PB	PM	PS	PB	PB	PM	PS
PB	PM	PS	PM	PM	PM	PS	PM

表2 ΔK_i 的模糊规则表

E	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	ZO	PS	PM	PB	PM	PS	ZO
NM	ZO	PS	PB	PB	PB	PS	ZO
NS	ZO	ZO	PB	PB	PB	ZO	ZO
ZO	ZO	ZO	PB	PB	PB	ZO	ZO
PS	ZO	ZO	PB	PB	PB	ZO	ZO
PM	ZO	PS	PB	PB	PB	PS	ZO
PB	ZO	PS	PM	PB	PM	PS	ZO

表3 ΔK_d 的模糊规则表

E	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	PB	PB	PS	PS	PB	PB
NM	PS	PS	PM	PM	ZO	PS	PS
NS	PS	ZO	ZO	PS	PM	ZO	PS
ZO	PB	PB	PS	PS	PS	PS	ZO
PS	ZO	PS	PM	ZO	PS	PS	PS
PM	PS	PS	PS	PS	PS	PM	PS
PB	PB	PB	PS	PS	PB	PB	PS

4.4 模糊推理

模糊控制器的推理机有两个主要任务:①匹配,根据当前的输入确定需要激活的规则;②推理,根据当前的输入查询规则库中相应规则的信息推导出结论。即:求取模糊关系 R 和控制量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 。

本研究采用的是 Mamdani 型模糊推理算法,以 ΔK_p 为例进行计算。

模糊推理的规则为 R :if e 为 E , and ec 为 EC , then Δk_p 为 ΔK_p ;则其表达的模糊关系 $R=E \times EC \times \Delta K_p$;当实际输入的 e 为 E' , and ec 为 EC' ,且模糊关系的合成运算采用“极大—极小”运算,则模糊推理的结论为 $\Delta K_p'=(E' \times EC') \cdot R$ 。

4.5 输出信号的去模糊化

本研究采用的去模糊化方法为重心法,即求出模糊集合隶属度函数曲线和横坐标包围区域面积的中心,选取这个中心对应的横坐标值,作为这个模糊集合的代表值^[11]。设论域 U 上集合 A 的隶属度函数为 $A(u)$, $u \in U$,则面积中心对应的横坐标 u_{cen} 具体可以用下式表示:

$$u_{cen} = \frac{\int_U A(u)u du}{\int_U A(u) du} \quad (4)$$

5 仿真结果及分析

为了验证模糊PID控制算法的合理性和适应性,本研究利用 Matlab/Simulink 仿真平台对茶叶杀青控制系统进行仿真,比较模糊PID控制算法与常规PID控制算法,双闭环控制系统与单闭环控制系统控制效果的差异性。

本研究中杀青叶含水率被控对象采用的传递函数模型是 $0.31e^{-20s}/(69s+1)$,杀青机筒壁温度被控对象采用的传递函数模型是 $2.04e^{-9s}/(80s+1)$,系统的仿真框模型如图3所示。内环的参数设置如下: $k_{p0}=2.7$, $k_{i0}=0.031$, $k_{d0}=3$;量化因子 $k_e=0.1$, $k_{ec}=1$,比例因

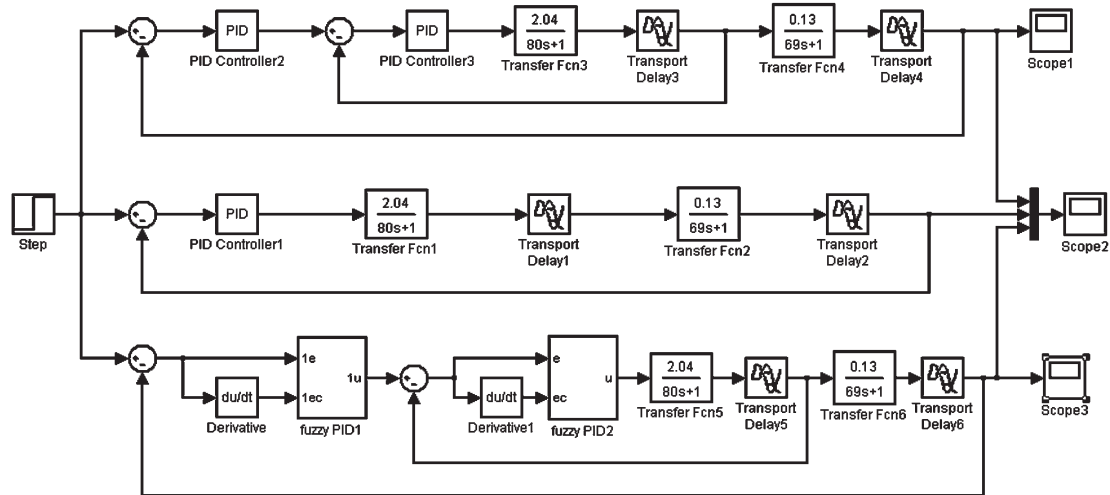


图3 含水率控制系统的仿真结构图

子 $l_p=0.28$, $l_i=0.001$, $l_d=3$; 外环的参数设置如下: $k_{p1}=6.5$, $k_{i1}=0.1$, $k_{d1}=4$; 量化因子 $k_{e1}=1$, $k_{ec1}=10$, 比例因子 $l_{p1}=0.6$, $l_{i1}=0.003$, $l_{d1}=0.5$; 单闭环PID控制器的参数摄入如下: $k_{p2}=4$, $k_{i2}=0.035$, $k_{d2}=3$ 。系统的阶跃响应仿真结果如图4所示: 单闭环常规PID控制的超调量 $\sigma_p=15\%$, 调节时间 $t_s=700$ s; 双闭环常规PID控制的超调量 $\sigma_p=3.3\%$, 调节时间 $t_s=420$ s; 双闭环模糊PID控制的超调量 $\sigma_p=0.83\%$, 调节时间 $t_s=240$ s。由此可知, 在杀青叶含水率控制系统中, 双闭环控制比单闭环控制效果要好, 双闭环模糊PID的控制效果要优于双闭环常规PID的控制效果。

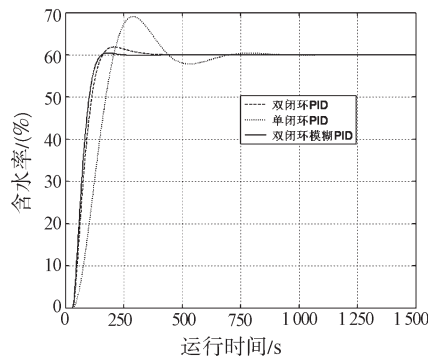


图4 含水率控制系统响应曲线

6 实验验证

6.1 模糊PID控制算法在PLC上的实现

模糊PID控制算法在PLC上的实现方法是通过离线计算模糊控制表并且存储于PLC中, 在控制程序中, 系统根据含水率的偏差和偏差的变化量在线查表获得PID参数的变化量, 调节PID参数控制杀青叶的含水率。其控制程序流程图如图5所示。

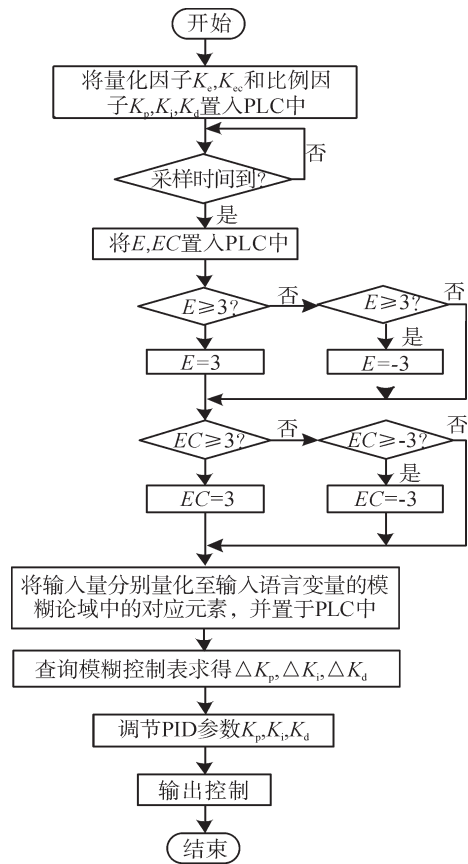


图5 模糊PID控制程序流程图

6.2 实验结果

为了比较以筒壁温度为控制指标的杀青效果和以杀青叶含水率为控制指标的杀青效果的差异性, 本研究进行了实验对比, 实验装置如图6所示。当鲜叶含水率升高时的杀青效果如图7、图8所示。实验结果表明, 当鲜叶初始含水率升高时, 以筒壁温度为控制指标的杀青方式会出现杀不透的现象, 以杀青叶含水率为控制指标的杀青方式能很好地适应鲜叶初始含水率升高的情况。

(下转第1263页)

数据为输入量运用LS-SVM方法对微电网净负荷进行滚动预测,在此基础上协调控制系统内可控从电源的输出,提前响应系统内非计划负荷变动,释放出主电源功率调节裕量,减轻主电源调节压力。最后的算例结果表明,文中的预测方法、控制策略是可行和有效的。该工作作为独立微电网运行控制的研究提供了一条新思路。

参考文献(References):

- [1] LASSETER R H, AKHIL A, MARNAY C. Integration of distributed energy resources: the CERTS microgrid concept [R]. Berkeley, CA, USA: Consortium for Electric Reliability Technology Solutions, 2002.
- [2] 刘振亚. 中国电力与能源[M]. 北京:中国电力出版社, 2011.
- [3] 王成山, 王守相. 分布式发电供能系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(20):1-4.
- [4] HATZIARGYRIOU N, ASANO H, IRAVANI R, et al. Microgrids[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2007, 5(4): 78-94.
- [5] LOPES J A P, MOREIRA C L, MADUREIRA A G. Defining control strategies for microgrids islanded operation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006, 21(1): 916-924.
- [6] TSIKALAKIS A G, HATZIARGYRIOU N D. Centralized control for optimizing microgrids operation[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2008, 23(1):241-248.
- [7] 丁明, 张颖媛, 茆美琴, 等. 集中控制式微网系统的稳态建模与运行优化[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(24):78-82.
- [8] 刘小平, 丁明, 张颖媛, 等. 微网系统的动态经济调度[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(31):77-84.
- [9] FAN S, CHEN L. Short-term load forecasting based on an adaptive hybrid method [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006, 21(1):392-401.
- [10] 陈亮宏, 罗毅初, 龙雪涛. 基于支持向量机的短期负荷预测[J]. 机电工程技术, 2012, 41(12):18-20.
- [11] 牛东晓, 刘达, 陈广娟, 等. 基于遗传优化的支持向量机小时负荷滚动预测[J]. 电工技术学报, 2007, 22(6):148-153.

[编辑:洪炜娜]

(上接第1221页)



图6 杀青实验装置图



图7 以筒壁温度为控制指标的杀青效果



图8 以杀青叶含水率为控制指标的杀青效果

7 结束语

本研究以杀青叶含水率为控制指标,利用计量装置测量杀青叶的含水率,使其更适用于茶叶自动化生产线。此外,本研究将模糊PID技术与双闭环技术相结合,应用于茶叶杀青控制系统。研究表明:基于模糊PID的双闭环茶叶杀青控制系统的超调量约为0.83%,调节时间为240 s,稳态误差约为0,大大提高了系统的动态性能和静态性能,具有较强的自整定性和适应性。以杀青叶含水率为控制指标的杀青方式能很好地适应鲜叶含水率变化的情况,能满足工程实际的需要。

参考文献(References):

- [1] 袁英芳. 绿茶杀青技术研究概述[J]. 茶叶通讯, 2010, 37(1):37-39, 43.
- [2] 彭秀英, 陈亚, 罗艳蕾. 基于PLC控制的电加热滚筒杀青机温度控制系统[J]. 农机化研究, 2011(4):186-189.
- [3] 方华, 刘文峰, 何伟强. 茶叶杀青工序自适应控制系统的优化设计[J]. 广西科学院学报, 2009, 25(4):303-304, 307.
- [4] 林启军. 基于模糊技术的滚筒式茶叶杀青机温度控制[D]. 长沙:中南大学信息学院, 2010.
- [5] 王行平. 单神经元PID算法在包装机温控系统中的应用[J]. 包装与食品机械, 2013(3):69-72.
- [6] 郝朝会. 滚筒式红外茶叶杀青机的设计研究[D]. 淄博:山东理工大学农业工程与食品科学学院, 2012.
- [7] 何磊. 基于离散元的茶叶杀青过程数值模拟与杀青机结构参数优化研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院, 2013.
- [8] 郭有超. 传热学原理在绿茶杀青技术的应用[J]. 茶叶通报, 1982(5):25-28.
- [9] CHE G L, HUA L. Adaptive Fuzzy Control based on Variable Universe and its Application to Humidity Control in Tobacco First Banking[C]//Proceeding of the 8th world Congress on Intelligent Control and Automation. Portugal: [s. n.], 2010:4570-4575.
- [10] 施春宁, 张中华, 王涛. 谈PID控制的理论分析[J]. 山西建筑, 2012, 38(3):238-240.
- [11] 石辛民, 郝整清. 模糊控制及其Matlab仿真[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.

[编辑:洪炜娜]