

研究与开发

人造板甲醛释放量快速检测箱的 温度模糊 PID 控制

苗虎, 程放, 周玉成, 安源, 侯晓鹏, 张国梁

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 在人造板甲醛释放量快速检测装置中, 温度控制过程具有非线性、时滞性、时变性的特点, 难以建立精确的数学模型。为此开发了模糊 PID 温度控制系统, 在线自动调整 PID 控制参数, 适应被控过程参数的变化。应用结果表明, 与常规 PID 控制算法相比, 该算法的系统稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等均有明显改进, 控制效果良好。

关键词: 人造板; 甲醛释放量; 快速检测装置; 温度控制; 模糊 PID 算法

中图分类号: TP273; TS67

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2014)01-0023-04

Fuzzy-PID Algorithm for Temperature Control of Conditioning Chambers for Accelerated Testing Formaldehyde Emissions from Wood-Based Panels

MIAO Hu, CHENG Fang, ZHOU Yu-cheng, AN Yuan, HOU Xiao-peng, ZHANG Guo-liang

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Wood Science and
Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: In chambers for accelerated testing formaldehyde emissions from wood-based panels, temperature was indirectly regulated by water circulation. Due to non-linearity, time delay and time variation of the temperature control, it was hard to build a precise mathematical model for the process. A fuzzy adaptive Proportion-Integration-Differentiation (PID) controller was designed and developed, which could automatically adjust the PID parameters and to adapt changing arguments in the controlled process. Compared with conventional PID control algorithms, the control effect of a fuzzy-PID algorithm could greatly improve system stability, responding speed, overshoot and steady state accuracy.

Key words: wood-based panel; formaldehyde emission; fast testing device; temperature control; Fuzzy-PID control algorithm

气体分析法是欧洲普遍采用的一种人造板游离
甲醛释放量的快速检测方法, 该方法通过提高检测环

境温度, 使人造板及其制品中的游离甲醛加快释放,
从而快速测定试样的甲醛释放量, 具有操作简单、精
度高、检测周期短等优点, 能够适应快节奏的市场变
化和进出口货物的通关要求, 目前已经被我国所采
用, 并形成国标 GB/T 23835-2009《人造板及其制品
中甲醛释放量测定气体分析法》^[1-2]。

中国林科院木材工业研究所设计了国内首台人
造板甲醛释放量快速检测装置, 采用常规 PID

收稿日期: 2013-10-29; 修改日期: 2013-12-16

基金项目: 林业科技成果推广计划项目“人造板甲醛释放量快速检测
技术的应用与推广”(1691216000305)。

作者简介: 苗虎(1986—), 男, 中国林科院木材工业研究所博士研
究生。

责任作者: 周玉成, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士
生导师。

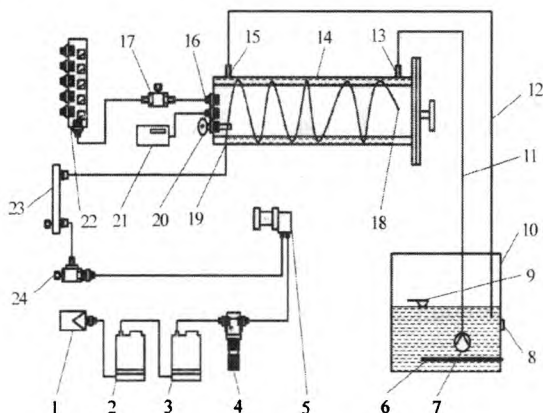
(Proportion-Integration-Differentiation, 比例-积分-微分)控制算法,实现该装置的温度控制,可满足 GB/T 23835-2009 的要求,并取得了良好的应用效果^[3-4]。但是在实际使用中发现,装置的动态性能不良,适应性较差。当出现随机干扰时,系统无法快速随检测箱的温度变化并进行调整,容易产生震荡。

针对该装置的温度变化具有非线性、时滞性和时变性,难以建立数学模型的特性,笔者利用模糊控制具有的不依赖于系统的精确数学模型、对系统参数变化不敏感、且具有很强鲁棒性等优点^[5-9],将模糊控制理论和常规 PID 控制算法相结合,设计出一种模糊自适应 PID 温度控制系统。

该系统以常规 PID 为基础,可以根据系统当前的参数变化,通过模糊控制,动态调整 PID 控制参数(比例系数、积分系数、微分系数),从而实现检测箱内温度的精确控制,为进一步提高我国人造板甲醛释放量快速检测设备的可靠性和稳定性,提供技术支持。

1 快速检测装置的总体结构及温度系统工作原理

人造板甲醛释放量快速检测装置的总体结构,如图 1 所示。



- 1 塑料消声器; 2 洗气瓶; 3 干燥瓶; 4 空气过滤器;
5 气泵; 6 加热器; 7 水泵; 8 水箱温度传感器;
9 液位开关; 10 水箱; 11 进水管; 12 回水管;
13 进水口; 14 检测箱; 15 出水口; 16 混合空气出口;
17 单向截流阀; 18 加热空气出口; 19 加热空气进口;
20 检测箱温度传感器; 21 压力传感器; 22 电磁阀组;
23 空气流量计; 24 单向截流阀

图 1 人造板甲醛释放量快速检测装置结构示意图

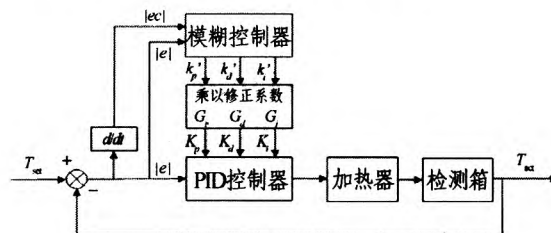
Fig. 1 Sketch structure for accelerated testing formaldehyde emissions for wood-based panel

系统中温度子系统由图 1 中的 6—15 和 20 组成。其工作原理:

控制系统通过检测箱的温度传感器 20,实时采集检测箱 14 内的温度,并与设定值进行比较;经过特定的控制算法,计算出水箱 10 中加热器 6 的输出量,从而对水箱中的水进行加热。同时,通过水泵 7,使水箱中的水经过进水管 11,注入到检测箱内外壁的夹层中,然后经回水管 12 回到水箱中,形成循环水路。循环水在经过检测箱内外壁夹层时,间接对检测箱中的空气进行加热,使其达到系统设定值;同时加热了缠绕在检测箱内外壁夹层中的气管,对进入到检测箱中的空气进行预热。

2 温控系统模糊 PID 控制器的设计

模糊 PID 控制器设计如图 2 所示。



注: T_{set} 为设定温度; T_{act} 为实际温度; $|e|$ 为温度误差绝对值; $|ec|$ 为温度误差变化率绝对值; k_p' 为比例系数调校参数; k_i' 为积分系数调校参数; k_d' 为微分系数调校参数; K_p 为比例系数; K_i 为积分系数; K_d 为微分系数; $\otimes$ 为比较环节; d/dt 为第 n 次温度误差与第 $(n-1)$ 次温度误差的差值,在采样周期内的变化(n 为 >1 的自然数)。

图 2 温控系统的模糊 PID 控制器原理示意图

Fig. 2 Principle of sketch structure for Fuzzy-PID controller of temperature control

温度误差绝对值 $|e|$ 和温度误差变化率绝对值 $|ec|$ 的计算公式见式(1)。

$$\begin{aligned} |e| &= |T_{set} - T_{act}| \\ |ec| &= d \frac{d}{dt} |T_{set} - T_{act}| \end{aligned} \quad (1)$$

以 $|e|$ 及 $|ec|$ 作为模糊控制器的输入变量,经过模糊推理,输出量为 k_p' 、 k_i' 、 k_d' (均为 0~1 之间的值),然后乘以相应的修正系数 G_p 、 G_i 、 G_d 后,得到 PID 控制参数 K_p 、 K_i 、 K_d ,如式(2)所示。

$$\begin{aligned} K_p &= G_p \times k_p' \\ K_i &= G_i \times k_i' \\ K_d &= G_d \times k_d' \end{aligned} \quad (2)$$

2.1 模糊控制器的输入、输出论域及隶属度函数

该控制器为两输入、三输出变量的模糊控制器,以 $|e|$ 及 $|ec|$ 作为输入变量,以 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 作为输出变量。根据装置的温度控制要求,设 $|e|$ 的基本论域为 $[0,60]$, $|ec|$ 的基本论域为 $[0,60]$, k_p' 、 k_i' 、 k_d' 的基本论域均为 $[0,1]$ 。模糊控制器模糊推理的对象是模糊变量,需要对输入、输出变量进行模糊化处理。

定义相应的模糊输入变量为 $|E|$ 、 $|EC|$,其中 $|E|$ 的量化论域为 $|E|=\{0,1,2,3,4,5\}$,对应的模糊子集为 $|E|=\{Z(\text{零}),S(\text{小}),M(\text{中}),B(\text{大})\}$, $|EC|$ 的量化论域 $|EC|=\{0,1,2,3,4,5\}$,对应的模糊子集为 $|EC|=\{Z(\text{零}),S(\text{小}),M(\text{中}),B(\text{大})\}$ 。量化因子 $\lambda_{|E|}=1/12,\lambda_{|EC|}=1/12$ 。

定义相应的 3 个模糊输出语言变量为 K_P' 、 K_I' 、 K_D' ,其量化论域均为 $\{0,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0\}$,对应的模糊子集均为 $\{Z(\text{零}),S(\text{小}),M(\text{中}),B(\text{大})\}$,量化因子均为 1。

对于输入变量 $|e|$ 、 $|ec|$ 与其模糊子集 $\{Z(\text{零}),S(\text{小}),M(\text{中}),B(\text{大})\}$,及输出变量 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 与其模糊子集 $\{Z(\text{零}),S(\text{小}),M(\text{中}),B(\text{大})\}$ 的从属关系,分别为图 3a 和 3b 所示的三角形隶属度函数。

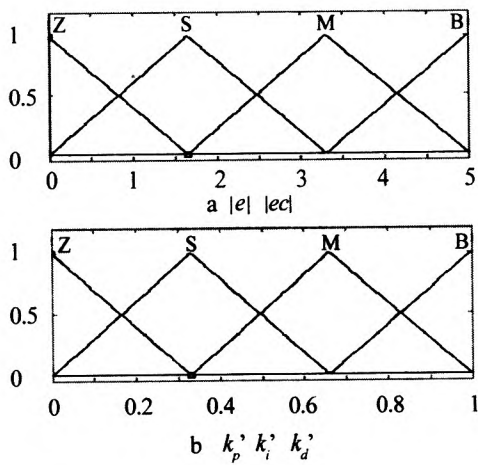


图 3 $|e|$ 、 $|ec|$ 与 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 的隶属度函数

Fig. 3 Membership function of $|e|$ 、 $|ec|$ and k_p' 、 k_i' 、 k_d'

2.2 模糊控制规则的建立

公式(2)所示,PID 控制参数 K_p 、 K_i 、 K_d 与 PID 调校参数 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 成正比关系,因此,通过相关的理论分析和通用调整规则^[10],结合本装置多次操作的经验,归纳出 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 的模糊控制规则,见表 1。

表 1 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 模糊控制规则

Tab. 1 Rule table of fuzzy control of k_p' 、 k_i' 、 k_d'

		E				
		Z	S	M	B	
k_p'	EC	Z	Z	M	S	M
		S	B	B	S	M
		M	B	B	M	B
		B	M	M	M	B
k_i'	EC	Z	Z	B	Z	Z
		S	B	B	Z	Z
		M	B	M	S	Z
		B	B	M	S	Z
k_d'	EC	Z	Z	S	B	B
		S	S	S	B	B
		M	Z	S	M	M
		B	Z	Z	M	S

利用仿真分析软件 MATLAB(Matrix Laboratory)对上述模糊控制规则进行仿真分析,得到调校参数 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 的控制曲面,如图 4 所示。

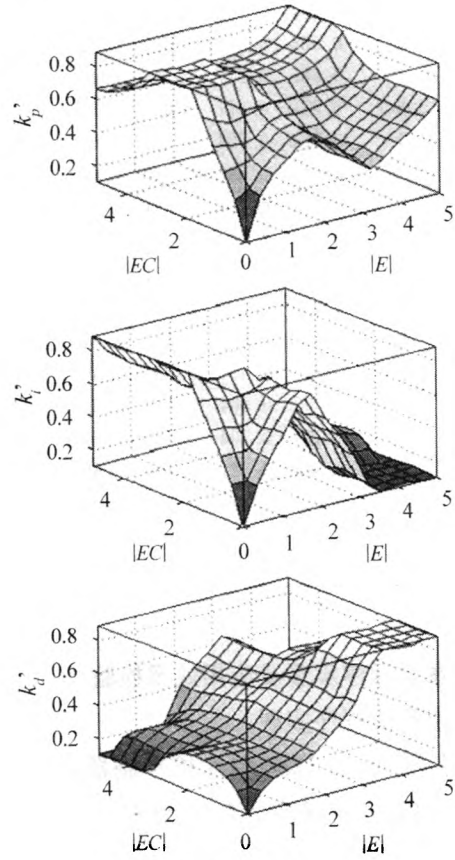


图 4 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 的控制曲面

Fig. 4 Control surfaces of k_p' 、 k_i' 、 k_d'

图 4 显示,控制曲面都呈非线性,且光滑平整,表明本研究所设计的模糊控制器的模糊规则,适合甲醛释放量快速检测装置温度控制的实际情况。

2.3 模糊控制查询表

对于任意时刻的 $|e|$ 、 $|ec|$ ，系统必须进行复杂且大量的矩阵运算，才能得到 k_p' 、 k_i' 和 k_d' 的输出量，因此，在线实时推理对控制系统运算速度的要求非常高。

为使系统的运算量降到最低程度，提高系统的响应速度，笔者首先利用 MATLAB 的模糊逻辑工具箱，计算出模糊控制器输入变量 $|e|$ 、 $|ec|$ 取值不同时，输出变量 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 的对应取值，得到 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 的控制查询表(表 2)。在系统控制过程中，已知 $|e|$ 、 $|ec|$ 后，即可从控制查询表中查到相应的 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 控制值，完成一次控制输出。

表 2 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 的控制查询表

Tab. 2 Control query table of k_p' 、 k_i' 、 k_d'

控制值	$ EC $	$ E $					
		0	1	2	3	4	5
k_p'	0	0.107	0.519	0.580	0.406	0.475	0.663
	1	0.564	0.563	0.622	0.426	0.475	0.664
	2	0.885	0.877	0.648	0.426	0.486	0.672
	3	0.886	0.877	0.662	0.597	0.612	0.791
	4	0.724	0.724	0.724	0.671	0.693	0.876
	5	0.663	0.664	0.663	0.663	0.693	0.890
k_i'	0	0.107	0.564	0.681	0.301	0.121	0.107
	1	0.564	0.564	0.655	0.328	0.121	0.120
	2	0.885	0.765	0.631	0.353	0.234	0.111
	3	0.886	0.691	0.578	0.409	0.302	0.110
	4	0.876	0.691	0.571	0.416	0.302	0.121
	5	0.890	0.691	0.580	0.406	0.302	0.107
k_d'	0	0.107	0.304	0.419	0.668	0.876	0.890
	1	0.304	0.304	0.429	0.643	0.876	0.877
	2	0.322	0.321	0.429	0.662	0.763	0.780
	3	0.205	0.304	0.426	0.597	0.671	0.670
	4	0.121	0.302	0.396	0.570	0.522	0.522
	5	0.107	0.120	0.355	0.588	0.522	0.330

3 控制算法程序实现及应用效果检验

3.1 控制算法程序实现

基于 ATmega 1280 单片机控制器，开发出模糊 PID 算法的温度控制程序流程，如图 5 所示。

3.2 应用效果检验

实际生产中，分别采用常规 PID 算法和模糊 PID 算法控制检测装置的温度，得到检测箱温度变化曲线如图 6 所示。当设备开始运行时的初始条件均相同：根据 GB/T 23835-2009 要求，选用标准规格的测试试件，温度设定值 60 °C。

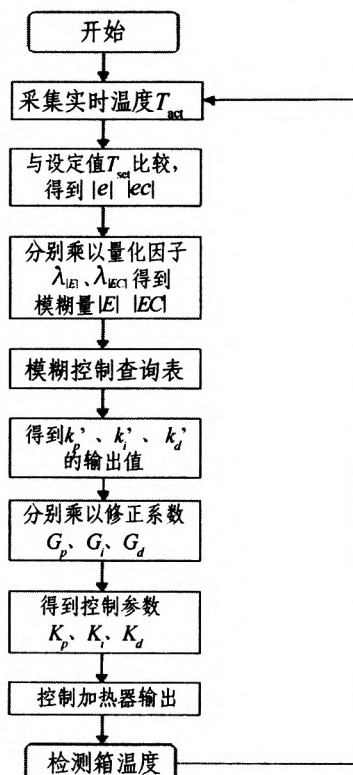


图 5 模糊 PID 算法控制流程图

Fig. 5 Program flowchart of Fuzzy-PID control

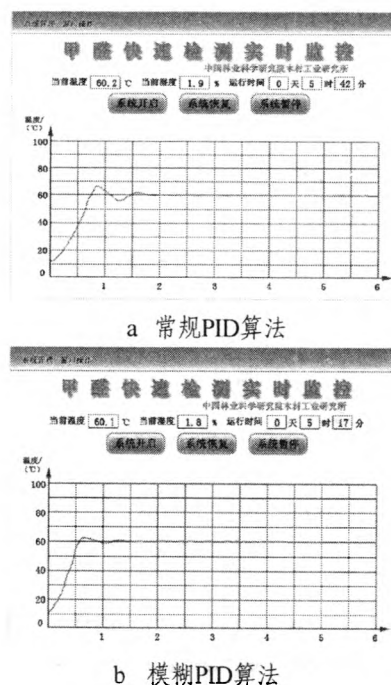


图 6 分别应用常规 PID 和模糊 PID 算法的检测箱温度曲线

Fig. 6 Temperature curve of testing chambers with conventional PID and Fuzzy-PID algorithm

(下转第 30 页)

纤维长度、长径比均有影响显著。

2) 基于纤维板生产实际,可根据磨片齿刃比负荷和纤维形态之间的线性关系,进行纤维尺寸预估,并作为热磨机磨片选型及齿形结构设计的参考依据。但在实际生产中,还应全面考虑纤维原料特性、原料蒸煮时间与温度、磨片的其他结构参数等,对纤维形态质量的影响。

3) 热磨机磨片齿形结构参数对纤维形态质量的影响,将在后续研究中进一步探讨。

参考文献:

- [1] 陈光伟,花军,贾娜,等. 影响热磨机磨片齿形结构设计要素分析[J]. 林业机械与木工设备,2008,36(6): 11-13.
- [2] 徐大鹏,陈光伟,张绍群,等. 纤维分离过程力学模型的建立及其运动状态分析[J]. 东北林业大学学报,2012,40(1): 90-93.
- [3] 王忠奎. 热磨机磨片对中密度纤维板纤维分离质量影响机理的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2003.
- [4] 刘存芬,陈国平,谭宁华. 提高磨浆效率提升纸浆品质和降低磨浆电耗[J]. 江苏造纸,2006(2): 31-33.
- [5] 刘长恩. 造纸工业中磨浆理论与设备[M]. 哈尔滨:黑龙江科学

技术出版社,1994.

- [6] 徐登伟,周定国. 草木纤维一步分离磨片设计初探[J]. 木材加工机械,2012(3): 26-29.
- [7] Bae, J-H, Kim, et al. A new method for measuring fiber length and fiber coarseness using image analysis [J]. Technical Association of the Pulp and Paper Industry of Korea, 2002, 34: 13-21.
- [8] J Y Zhu, G S Wang, X J Pan, et al. Specific surface to evaluate the efficiencies of milling and pretreatment of wood for enzymatic saccharification [J]. Chemical Engineering Science, 2009, 64(3): 474-485.
- [9] 沈立新. $\phi 450$ 双圆盘磨浆机切断长与比刀缘负荷的测算[J]. 上海造纸, 1996, 27(3): 131-134.
- [10] 张辉,李忠正. 盘式磨浆机技术研究进展与趋势[J]. 中国造纸, 2007, 26(10): 40-45.
- [11] 陈国平. 低强度打浆在造纸过程中的应用[J]. 纸和造纸, 2008, 27(1): 6-7.
- [12] 王玉,谭敏. 现代电子技术在造纸纤维测量仪中的应用[J]. 中国造纸, 2008, 27(5): 69-72.
- [13] 陈光伟. 热磨法磨片纤维分离机理的模型分析与实验研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2012.

(责任编辑 向琴、孟凡丹)

(上接第 26 页)

从图 6 中看出,与常规 PID 控制相比,模糊 PID 控制波动度小,超调量小,稳定度好,过渡时间短,有较强的鲁棒性。

4 结论

1) 笔者设计的模糊自适应 PID 温度控制系统,能够在线自动调整控制参数,适应被控过程参数的变化;并利用 MATLAB 模糊逻辑工具箱,计算出模糊控制器输入变量 $|e|$ 、 $|ec|$ 取不同的值时,输出变量 k_p' 、 k_i' 、 k_d' 对应的控制查询表。

2) 应用结果表明,与常规 PID 控制算法相比,模糊自适应 PID 算法在系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等方面均有明显改进。

参考文献:

- [1] 顾浩飞,刘闯,章雅玲,等. 人造板甲醛释放量不同检测方法之

间的相关性分析[J]. 木材工业,2013,27(2): 33-37.

- [2] 周少英,杨建华,海凌超. 人造板游离甲醛释放量测试方法概述[J]. 木材加工机械,2010,21(1): 46-47, 37.
- [3] 安源. 甲醛释放量快速检测装置的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2006.
- [4] 安源,周玉成,侯晓鹏,等. 甲醛释放量气体分析法快速检测装置的设计与实现[J]. 林业科学,2009,45(6): 116-120.
- [5] 周玉成,程放,李晓群. 一类非线性系统的鲁棒自校控制器设计[J]. 木材工业,2003,17(3): 10-12.
- [6] 周玉成,程放,安源,等. 具有通讯约束的线性状态反馈控制系统的可控性[J]. 林业科学,2003,39(6): 131-135.
- [7] 周玉成,程放,范留芬,等. 离散时间奇异系统的可测扰动解耦[J]. 控制与决策,2004,19(7): 787-790.
- [8] 王晓员. 基于模糊自适应 PID 的温度控制系统[J]. 成都大学学报(自然科学版),2011,30(4): 361-363.
- [9] 张胜生,胡丹,宋春华. 模糊 PID 控制在硫化机温度控制中的应用[J]. 仪表技术与传感器,2012, (10): 73-75, 78.
- [10] 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.

(责任编辑 张一萍)

欢迎订阅 2014 年《木材工业》杂志,邮发代号 2-311

订单下载请登录: www.criwi.org.cn/mcgy_zz/