第 31 卷第 4 期
2015 年 7 月

FOOD & MACHINERY 食品与机械

Vol. 31, No. 4
Jul. 2015

DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2015.04.030

基于模糊 PID 的茶叶烘干机恒温控制系统研究

Research on control system of tea constant temperature drying machine based on fuzzy PID

吴晓强[1]　李亚莉[2]　周红杰[2]　赵永杰[3]

WU Xiao-qiang[1]　*LI Ya-li*[2]　*ZHOU Hong-jie*[2]　*ZHAO Yong-jie*[3]

(1. 内蒙古民族大学机械工程学院,内蒙古 通辽　028000;2. 云南农业大学普洱茶学院,云南 昆明　650201;3. 昆明铁道职业技术学院,云南 昆明　650208)

(1. *Inner Mongolia University for the Nationalities College of Mechanical Engineering College*, *Tongliao*, *Inner Mongolia* 028000, *China*; 2. *College of Pu'er Tea*, *Yunnan Agricultural University*, *Kunming*, *Yunnan* 650201, *China*; 3. *Kunming Institute of Railway Technology College*, *Kunming*, *Yunnan* 650208, *China*)

摘要:目前茶叶用烘干机的燃煤热风炉存在能耗高、热效率低的问题,而且大多采用人工控制,温度稳定性差,品质也难以保证。为此,采用模糊控制技术对热风温度进行恒温控制,根据热风炉热风温度的高低,通过变频器自动调节热风炉的排烟量,控制热风温度达到恒定,在满足烘干需要的同时,减小能量损耗,保证茶叶品质。同时,应用 MATLAB 软件对模糊 PID 恒温控制系统进行仿真。结果表明,该系统可以有效控制热风温度,达到恒温控制的目的。

关键词:茶叶烘干机;恒温控制;模糊 PID;变频技术;仿真

Abstract: The tea with a coal stove drying machine has high energy consumption, low thermal efficiency problems, mostly adopts manual control, causes the tea drying temperature is not stable, and effect of tea quality stability. Therefore, by using fuzzy control technology to control the temperature of hot air, according to the temperature of hot air from blast furnace, flue gas quantity is adjusted automatically through the inverter, to control hot temperature reaches a constant, to meet the need of drying at the same time, reduce the energy consumption, and ensure the quality of tea. Finally, the of fuzzy PID temperature control system is simulated by of MATLAB software, the results show that the system can effectively control the temperature of hot air, the temperature control of the objective.

Keywords: tea drying machine; temperature control; fuzzy PID; frequency conversion technology; simulation

烘干是茶叶生产过程中最重要的一道工序,除了蒸发水分使茶叶便于贮藏之外,还有增加口感,促进茶叶有机物质形成的作用[1,2]。常见的茶叶烘干机多采用燃煤热风炉作为供热设备,通过热风炉产生的热风实现茶叶干燥,所以热风温度的控制是烘干机控制的关键[3]。目前对热风温度的控制,大多采用人工控制方法,即当实际温度与设定温度偏差过大时,人为控制引烟机或热风机的关闭与开启[4],劳动强度大,燃烧效率低,控制效果也较差,因此,寻求一种能够对温度进行自动控制的智能控制系统成为目前研究人员关注的焦点。胡景川等[5]认为通过调节风机转速或进气风门开度,调节热风炉进风量可以改变热风温度,从而实现恒温控制;刑一丁等[6]对如何调节热风温度、提高燃烧稳定性进行了探讨,提出多目标协调控制方法。以上方法在进行温度调节的过程中,温度有明显滞后现象,不能从根本上解决热风炉燃烧不稳定、热风温度变化大等问题。基于此,本研究综合以上研究特点,拟设计一种基于模糊 PID 的恒温控制系统,通过控制变频风机的频率和转速,使引烟机的转速、煤炭燃烧状态、热风温度达到最佳匹配,从而自动控制空燃比,为节约燃煤、保护环境提供新的方法与途径。

1　烘干机理论

1.1　茶叶烘干机的分类

烘干机是使茶叶干燥的重要设备,按干燥方式分,主要包括热风干燥、金属传导、辐射干燥烘干机;按热量来源分燃煤、电力、油气等类型[7]。

不同的干燥方法有着不同的传热方式,不同传热方式对待烘干茶的叶温度变化、干燥速率、口感物质形成及最终品质均有不同的影响。金属传导传热速度快,需要不断翻炒,使叶温交替变化,但易产生受热不均匀的现象。辐射干燥是利用红外、微波等方法使茶叶内部分子发生振动、碰撞以及摩擦,从而产生热能。这种方法穿透能力差,且容易伤害茶叶质地,口感变差。热风干燥以空气导热为主,传热快且均

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31260197);国家科技支撑计划项目课题(编号:2007BAD58B02)

作者简介:吴晓强(1986-),男,内蒙古民族大学讲师,博士生。E-mail:wangzai8402@163.com.

收稿日期:2015-05-15

匀，利于色香味等有机物质的转化，是目前应用较为普遍的干燥方法。

1.2　结构与工作原理

本研究以自动链板式茶叶烘干机为例。其结构包括箱体、传动系统、送料装置和热风炉[8]，其中热风炉是烘干机的核心，控制效果的好坏，不仅关系到燃烧效率，还影响着茶叶的品质。热风炉结构见图 1。

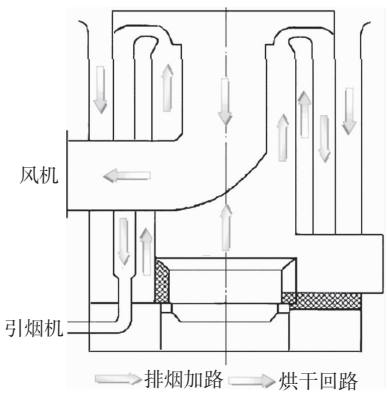

图 1　热风炉结构

Figure 1　Structure of hot blast stove

烘干机的干燥过程是热空气与茶叶进行热交换的过程：引烟机促使燃烧产生的烟气由烟囱排出，在烟气流动过程中对炉管进行加热，炉管内被加热的空气通过风机输送到烘干箱中，然后利用对流加热方式与茶叶进行热交换，去除茶叶中的水分，使茶叶含水率达到要求。

2　恒温控制策略

目前中国对于热风炉燃烧控制的方法大多仍为人工手动控制(引烟风机和风机转速和频率都是恒定的，只能人为频繁开关引烟机，以达到控制热风温度的目的)。此法不仅增加劳动强度、浪费能源，而且控制效果也受到很大影响[9,10]。因此迫切需要建立一个恒温控制系统，以保证烘干温度稳定。

2.1　模糊 PID 控制

传统 PID 控制器结构简单，容易实现，应用较为广泛。但是由于控制器参数不能自动调节，使其应用范围受到一定限制[11]。为达到最佳控制效果，将模糊推理运用于 PID 参数的整定，结构见图 2。

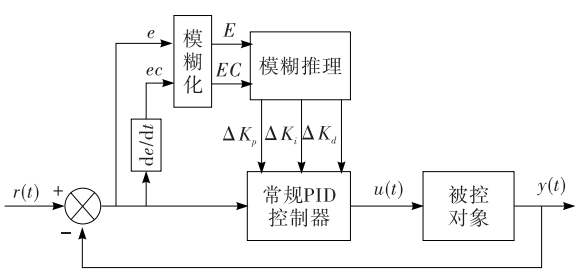

图 2　模糊 PID 控制结构框图

Figure 2　Structure diagram of fuzzy PID control

2.2　模糊控制规则

取热风温度偏差 E 和偏差变化率 EC 为控制器的输入变量，论域范围为[−8.2，8.2]和[−0.5，0.5]，相应的模糊论域为[−7，7]、[−3，3]；ΔK_p，ΔP_i，ΔP_d 为输出变量，论域范围是[−750，750]，对应的模糊论域为[−1，1]。定义输入、输出变量的模糊子集为：E，EC，ΔK_p，ΔP_i，ΔP_d ={NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、ZO(零)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大)}，量化因子 k_e 和 k_{ec} 的取值分别为 0.68 和 7.60，比例因子 k_u 的取值为 140，隶属函数采用三角函数。结合实际工作经验，制定模糊控制规则[12−14]，见表 1～3。

表 1　ΔK_p 模糊控制规则表

Table 1　Fuzzy rule table of ΔK_p

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

表 2　ΔP_i 模糊控制规则表

Table 2　Fuzzy rule table of ΔP_i

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

表 3　ΔP_d 模糊控制规则表

Table 3　Fuzzy rule table of ΔP_d

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

2.3　茶叶烘干机恒温控制系统设计

通过传感器在线采集热风炉热风温度和排烟温度,通过热风温度与烘干温度的设定值作比较,应用模糊 PID 控制器对偏差进行控制,根据偏差大小,利用智能化变频技术调节引烟机转速,自动控制空燃比,在节能减排的基础上实现恒温控制的目的,控制原理见图 3。

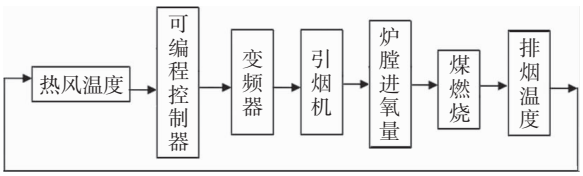

图 3　茶叶烘干机恒温控制系统原理

Figure 3　Principle of tea dryer temperature control system

3　仿真分析

把模糊 PID 控制器应用于烘干机热风炉恒温控制系统中,并在 MATLAB 软件中建立恒温系统(T-S)的仿真模型,见图 4。

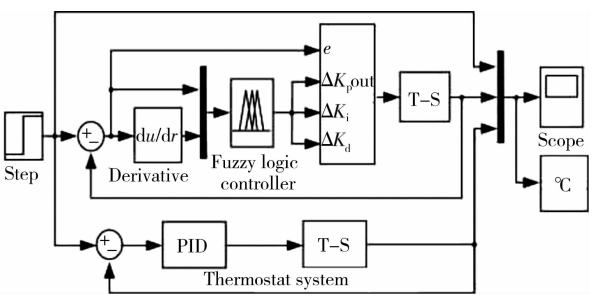

图 4　恒温控制系统仿真模型

Figure 4　Simulation model of the constant temperature control system

在仿真过程中,理想热风温度设定为 165 ℃时,周期为 30 min,引烟机转速为 1 350 r/min,采用智能变频控制技术,仿真过程与手动控制相对比,手动过程中引烟机频率为 50 Hz。仿真结果见图 5～7。

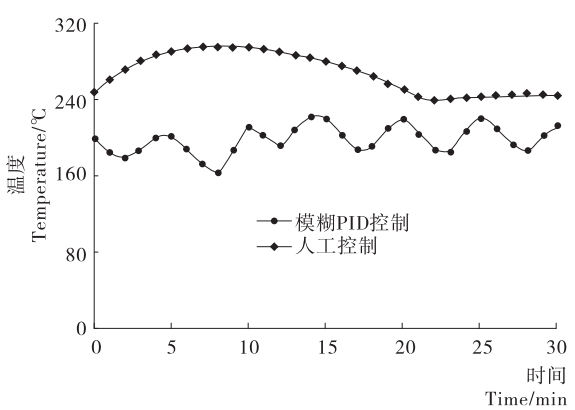

图 5　不同控制方式排烟温度变化曲线

Figure 5　Curve of the discharge temperature of the smoke control modes

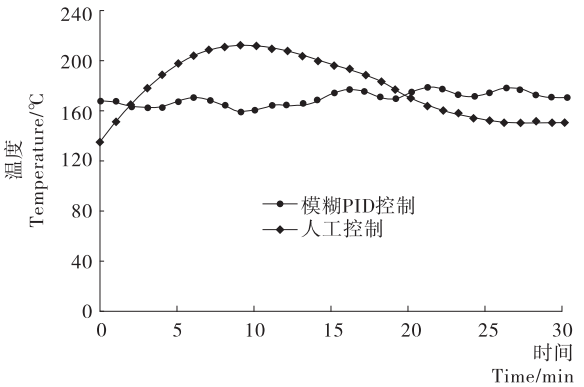

图 6　不同控制方式热风温度变化曲线

Figure 6　Curve of the hot blast temperature under different control mode

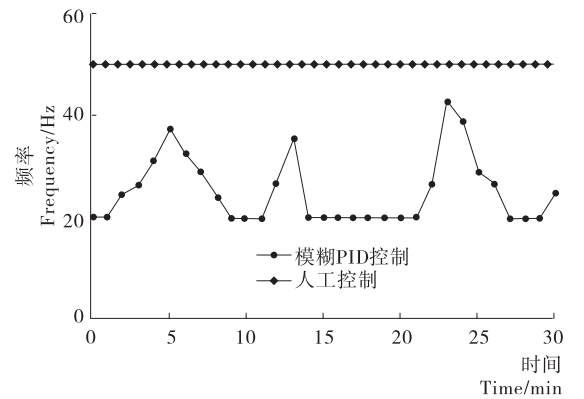

图 7　不同控制方式引烟机频率变化曲线

Figure 7　Lead the frequency curve of range hood

为进一步说明智能温度控制效果,把图 5～7 曲线中各数据进行列表分析,结果见表 4。

表 4　两种控制方法数据对比结果

Table 4　Comparison results of two control methods

控制方法	热风温度		引烟温度		引烟机频率	
	平均值/℃	误差比/%	平均值/℃	误差比/%	平均值/℃	误差比/%
人工控制	178.0	7.9	260.0	44.0	50.0	0.0
模糊 PID	170.0	3.0	196.0	8.9	23.8	30.8

由表 4 可知,人工控制热风温度变化幅度较大,且响应速度也较为缓慢,不能及时根据外部条件变化进行调节;模糊 PID 恒温控制的温度变化幅度较平缓,温度升高和降低时系统能及时根据温度偏差进行调节,使温度变化范围减小,基本实现恒温控制功能;人工控制引烟机的频率为定值,不能自动调节,这必然增加电能的损耗,造成不必要的浪费。而模糊 PID 控制的引烟机通过变频技术,可根据设定温度要求,自动改变电机频率和转速,在实现恒温控制的同时,减少能量损耗,达到节能减排的目的。

(下转第 255 页)

72 魏决,罗雯. β-葡聚糖对改善面包品质的研究[J]. 食品科技,2010,35(11):174～178.

73 翟爱华,安宇,姜倩. 燕麦营养面包的研制[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2006,18(6):67～70.

74 Franca Marangoni, Andrea Poli. The glycemic index of bread and biscuits is markedly reduced by the addition of a proprietary fiber mixture to the ingredients[J]. Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases, 2008, 18(9):602～605.

75 Cavallero A, Empilli S, Brighenti F, et al. High (1-3,1-4)-glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemic response[J]. Journal of Cereal Science, 2002, 36(1): 59～66.

76 夏延斌. 食品风味化学[M]. 北京:化学工业出版社,2008.

77 Gomez M, Ronda F, Blanco C A, et al. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality[J]. European Food Research and Technology, 2003, 216(1):51～56.

78 刘海燕,尚珊,黄卫宁,等. 糯麦粉对冷冻面团发酵流变特性和面包烘焙特性的影响[J]. 食品科学,2012,33(3):77～81.

79 Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke W S, et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality[J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16(1～3):12～30.

80 Maeda T, Morita N. Flour quality and pentosan prepared by polishing wheat grain on breadmaking[J]. Food research international, 2003, 36(6):603～610.

81 Costas G Biliaderis, Marta S, Onkar Rattan. Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours[J]. Food chemistry, 1995, 53(2):165～171.

82 Paras Sharma, Hardeep Singh Gujral. Anti-staling effects of β-glucan and barley flour in wheat flour chapatti[J]. Food Chemistry, 2014, 145:102～108.

83 Purhagen J K, Sjoo M E, Eliasson A C. The use of normal and heat treated barley flour and waxy barley starch as anti-staling agents in laboratory and industrial baking processes[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(3):414～421.

84 Courtin C M, Delcour J A. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making[J]. Journal of Cereal Science, 2002, 35(3):225～243.

85 Marija Knez, Cathy Abbott, James C R, et al. Changes in the content of fructans and arabinoxylans during baking processes of leavened and unleavened breads[J]. Eur Food Res Technol, 2014, 239(5):803～811.

86 S Renzetti, C M Courtin, J A Delcour, et al. Oxidative and proteolytic enzyme preparations as promising improvers for oat bread formulations: rheological, biochemical and microstructural background[J]. Food Chemistry, 2010, 119(4):1 465～1 473.

87 Elizabeth M Nelles, Philip G Randall, John R N Taylor. Improvement of brown bread quality by prehydration treatment and cultivar selection of bran[J]. Cereal Chem., 1998, 75(4): 536～540.

88 何粉霞. 小麦麸皮中阿魏酸的提取、结构修饰及生物活性的研究[D]. 郑州:河南工业大学,2011.

(上接第 113 页)

4 结论

烘干炉是茶叶加工过程中的必要设备,烘干效果在很大程度上影响着茶叶有机物质的合成速度和品质,对茶叶色、香、味等品质有着很重要的影响。传统的烘干炉多为人工控制,不仅浪费人力,烘干效果也不是很理想。本研究以烘干机燃煤热风炉为研究对象,以建立恒温控制为目标,把模糊 PID 应用到热风炉的烟机控制系统上,采用变频技术自动控制引烟机的转速和频率,使热风温度能在很小的范围内变化,从而获得很好的烘干效果;在提高茶叶品质的同时,降低燃煤损耗,减少有害气体排放。

参考文献

1 吴泽球,陶中南. 茶叶烘干机械的技术现状及研究进展[J]. 食品与机械,2014,30(1): 263～265.

2 张春龙,刘国海,黄兆春. 多路温度自适应控制系统的研究[J]. 计算机测量与控制,2002(4):56～58.

3 张喜梅,吴雪辉,李昌宝,等. 油菜籽的热风干燥特性及数学描述[J]. 华南理工大学学报,2010,38(8): 116～118.

4 Wang J, Xi Y S. Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 68(4):505～511.

5 胡景川,蔡亚军. 热风炉温度的可调控性能[J]. 茶叶机械杂志,2002(2):11～14.

6 刑一丁,温治,刘训良,等. 高炉热风炉高效送风策略的研究进展及发展趋势[J], 工业炉, 2008(5):10～13.

7 张德炎,李国军. 外燃式热风炉的自动控制[J]. 机械与电子,2010(15):89～91.

8 Feng Yan-ling, Huang Xin. Design of constant temperature control system based on fuzzy control[J]. Modern Electronics Technique, 2010(19):135～138.

9 Fudholi A, Sopian K, Ruslan M H, et al. Review of solar dryers for agricultural and marine products[J]. Renewable and Suatainable Eeergy Reviews, 2010, 14(1):1～30.

10 S J Temple, A J B van Boxtel. Control of fluid bed tea dryers: controller design and tuning[J]. Computers and Electronics in Agricultere, 2000, 26(2):159～170.

11 张秦权,文怀兴,袁越锦. 远红外联合低温真空干燥设备研究与设计[J]. 食品与机械,2013,29(1):157～150.

12 赵永洁,黄云战,周红杰,等. 普洱茶发酵车间测控系统的设计与实现[J]. 食品与机械,2012, 28(2):98～101.

13 吴绍帅,李亚莉,黄云战,等. 普洱茶发酵自动化生产专利技术的研发[J]. 食品与机械,2011, 27(6):183～185.

14 李界家,付平,片锦香,等. 参数自调整模糊控制在炉温控制中的应用[J]. 控制工程,2004,11(1):14～16.