

文章编号: 1000-5692(2003)03-0307-04

木材干燥过程控制策略与方法的研究

邵千钧¹, 徐群芳², 王伟龙³

(1. 浙江林学院 工程学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 理学院, 浙江 临安 311300;
3. 浙江省遂昌县竹业产业化办公室, 浙江 遂昌 323300)

摘要: 在微机控制的木材干燥过程中, 需要选用合理的控制策略与方法。根据木材干燥的特点, 对木材干燥中控制技术的应用与研究作了分析, 主要论述了PID控制、自适应控制和人工智能控制等方法在木材干燥中的应用研究。对比分析了各种方法的优点和局限性, 并指出PID及其变形控制器是目前木材干燥控制方法的主流, 而智能控制是其重要的发展方向。图4参12。

关键词: 木材学; 木材干燥; 控制策略; 智能控制
中图分类号: S781.71; TP273 **文献标识码:** A

木材干燥是一个复杂的过程, 包括预处理、干燥和后处理等不同阶段。在干燥过程中, 主要是通过干燥时间和木材实时含水率来判断所处的阶段, 并依据相应的干燥基准控制干燥窑的温度与湿度。它的优化目标是干燥质量、干燥时间和能耗。控制系统通过定时测定窑内的温度、湿度和木材实时含水率, 通过含水率和所选定的基准确定设定值, 将它们与实际值相比较获得相应的偏差, 然后采用控制算法得到调节值, 控制蒸汽阀和喷蒸管的开度以及进、排气门的启闭。由于它的纯滞后、非线性和时变性, 难以建立精确的数学模型, 所以对其控制策略进行研究, 选择合适的控制方法, 使木材干燥控制系统达到满意的控制效果, 具有重要的意义。

目前, 国内外有不少关于木材干燥优化控制方面的研究, 如以最小化的木材含水率梯度来提高木材干燥质量^[1], 除湿干燥中典型操作运行条件的优化^[2], 基于多级控制结构和干燥模型的控制方式, 达到最短干燥时间^[3]。在控制策略和方法上, 由于开始采用基于微机的木材干燥控制系统, 使各种复杂的控制算法得以实现^[4~6], 主要有PID控制^[4]、基于遗传算法的PID控制^[6]、基于模型的自适应控制^[3,7~8]、基于神经网络的智能控制^[9]和模糊控制^[10]等。

1 PID 控制

根据偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)进行控制(简称PID控制), 是目前工业中应用最广泛的一种控制方法, 也是木材干燥过程的控制中最常用的一种控制方式^[4], 它包括PI, PD和PID等几种形式。图1所示为PID控制器的结构框图, 其中 $Y(s)$ 为控制器输出, 即干燥窑的温湿度等物理量, $R(s)$ 为根据木材实时含水率确定的温度和湿度设定值。

在PID控制器中, 比例环节能及时成比例地反映控制系统的偏差信号; 积分环节的作用在于消除静差, 提高系统的无差度; 微分环节反映偏差信号的变化趋势, 并能在偏差信号变化过大之前引入一

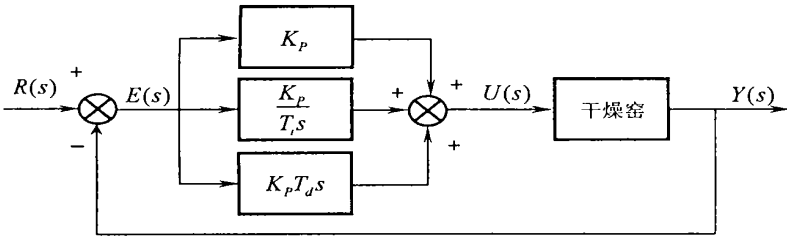


图 1 PID 控制器结构框图

Figure 1 Block diagram of PID controller

个有效的早期修正信号，从而加快系统的动作速度，使输出量更好地跟踪给定值。PID 控制器的最大优点是实现方便，而且不必利用精确的模型就能实现控制。

木材干燥过程中的控制对象如温度和湿度，具有一定的纯滞后、非线性和较大的惯性以及环境条件和被控对象参数的时变性，往往难以达到高精度要求。即使能达到，其调整时间也较长，不能兼顾高精度与快速性的双重要求。故在对干燥质量严格要求的控制系统中，可采用智能 PID 和 Fuzzy 控制相结合的方法^[11,12]，利用这种方法能达到精确控制的要求，但目前这种方法还较少用于木材干燥过程控制。文献 [6] 中采用了基于遗传算法的预测自适应 PID 控制（图 2），取得较好的控制效果。

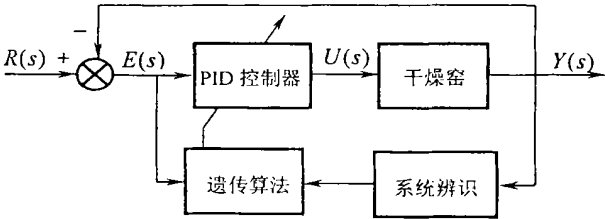


图 2 基于遗传算法的预测 PID 控制器框图

Figure 2 Block diagram of GA-based PID controller

2 基于模型的自适应控制

由于木材干燥过程的纯滞后、非线性和时变性，采用传统的控制方法易导致控制精度差，使得木材干燥质量的可预测性、可靠性和可重复性都不高。在控制精度和性能要求较高的场合，必须考虑控制对象参数乃至结构的变化、非线性的影响、运行环境的改变以及环境干扰等时变的不确定的因素，才能得到满意的控制效果。自适应控制主要用于过程较慢的系统和特性变化速度不是很快的对象，木材干燥过程是适用的。

模型参考自适应系统如图 3 所示，其参数模型是基于木材含水率的。木材干燥过程通过一套非线性偏微分方程来描述，然后将其分解为多个子模型和若干干燥阶段^[8]。文献 [3] 中也采用了类似多级控制结构的方式。由于目前还没有比较精确的木材干燥模型，所以采用自适应控制要达到较准确的控制仍有一定的难度，而采用模糊自适应控制器，能收到良好效果^[7]。

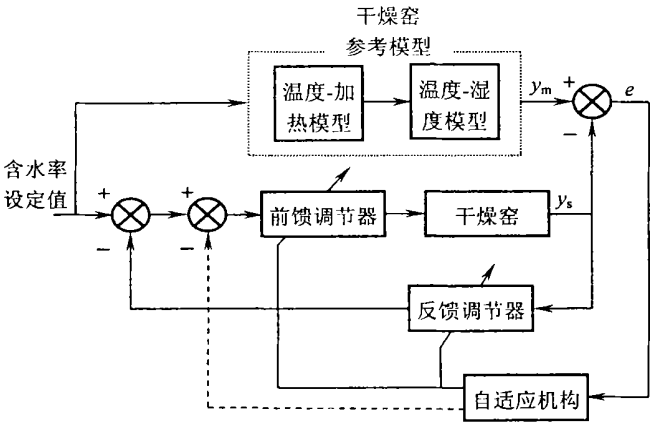


图 3 模型参考自适应系统框图

Figure 3 Block diagram of model reference adaptive control system

3 基于人工智能的控制方法

系统的不确定性是控制中最困难的问题，也是对传统控制的^{最大挑战}，智能控制策略在控制工程实践中应运而生。20 世纪 70 年代后期以来，人工智能的研究得到了极大进展，并迅速以其新颖丰富的思想和强有力的问题求解能力渗透到各种领域中。

基于模糊和神经网络的控制可以不需要了解控制对象的模型，特别是在非线性理论还不像线性控制理论那样完善的情况下，模糊控制器和神经网络控制器的这个优点显得更为突出。所以在基于模型的控制算法发展的同时，基于人工智能的木材干燥过程控制方法也开阔了许多研究者的思路。

模糊控制最为突出的特点是较为容易实现，对硬件系统的要求不高，所以在木材干燥控制系统的研究中已开始应用^[7, 10]。图 4 为在前馈通道采用模糊控制器的控制框图，模糊控制器的输入为温度、湿度和循环风速，易于工程实现。模糊控制器的规则形成需要一定的知识和经验，而语言变量的子集、量化因子和比例因子等值可根据实际情况加以选定，所以模糊控制器的优化设计有待进一步探讨。

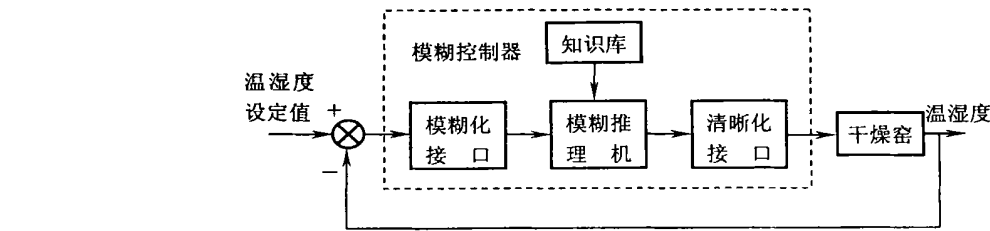


图 4 模糊控制系统原理框图
Figure 4 Block diagram of fuzzy control system

神经网络具有无限逼近非线性函数的能力，它通过一定的数据训练就可以用神经网络代替模型的非线性函数。它具有并行处理、分布式存贮、容错和自适应能力。

神经网络有许多优点，但神经网络结构（网络的层数、每层的节点数以及各层间的相互连接关系等）的优化设计仍需要进一步研究。神经网络在线训练时需要很大的计算量，但木材干燥过程控制对实时性要求不高，可以得到实际应用。目前将神经网络控制方法用于木材干燥仍处于起步阶段，在木材干燥中采用单神经元自适应 PID 控制器取得一定成效^[9]。

4 结语

在木材干燥过程控制中主要的几种控制策略和方法作了分析和初步的应用实践，各种策略均有不同的优缺点。

基于 PID 控制器及其变形控制器以及模糊控制器在木材干燥过程控制应用中容易实现。而模糊控制器由于其本身适用于非线性复杂控制系统的特点，在干燥参数和一些变化较大的情况下使用效果会好于 PID 控制器。

基于现代控制理论的控制算法计算量大，并且其系统模型的辨识也要求快速收敛的算法，它对木材干燥模型的依赖性仍然较大，而目前还没有准确可参照的木材干燥模型，这将影响控制系统的控制精度。

基于神经网络的控制方法的优点在于它不需要了解控制对象的模型，而且它和模糊系统一样可以很好地应用于非线性复杂控制系统，但可靠的神经网络控制系统需要大量的学习样本。

在现阶段中，基于 PID 及其变形控制器是木材干燥过程控制中工程应用的主流，将传统 PID 与自适应模糊控制器、神经网络相结合的控制方法是应用研究的重要方向。

参考文献:

- [1] Huang B J, Wang C H, Liou C T. Optimal operational strategy for wood in batch drying system [J]. *Can J Chem Eng*, 1994, **72** (4): 594—601.
- [2] Sun Z F, Carrington C G. Dynamic modeling of a dehumidifier wood drying kiln [J]. *Drying Technol*, 1999, **17** (4): 711—729.
- [3] Tarasiewicz S, Ding F, Kudva T, *et al*. Fast and slow generation of a multi level control for the wood drying process [J]. *Drying Technol*, 2000, **18** (8): 1 709—1 735.
- [4] 邱增处, 于瑛, 李增超, 等. 木材干燥微机控制现状及发展 [J]. 西北林学院学报, 2001, **16** (2): 93—96.
- [5] 邵千钧, 刘志坤, 张文标. 木材干燥柔性控制系统 [J]. 东北林业大学学报, 2001, **29** (6): 42—45.
- [6] 蒋宗良. 木材干燥过程的计算机监控与仿真 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2001.
- [7] Wang X G, Liu W, Gu L Z, *et al*. Development of an intelligent control system for wood drying processes [A]. Bruno S. 2001 *IEEE/ ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings* [C]. Como: IEEE/ ASME, 2001. 371—376.
- [8] Tarasiewicz S, Kucukada K, Point N. Modeling simulation and control of the wood drying process. Part 3. Programming and computer solutions [J]. *Drying Technol*. 1998, **16** (6): 1 101—1 118.
- [9] 刘亚秋. 木材干燥窑神经网络控制与仿真 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2001.
- [10] 左建华. 干燥窑温度模糊控制策略 [J]. 木材加工机械, 1999, (3): 15—17.
- [11] 宋明刚, 樊尚春. 1 种高精度温度控制的复合方法及其应用 [J]. 北京航空航天大学学报, 2001, **27** (5): 560—563.
- [12] 师黎, 丁海. PID 控制的参数模糊自整定方法 [J]. 郑州工业大学学报, 2001, **22** (3): 25—27.

Control strategies and methods of wood drying process

SHAO Qian-jun¹, XU Qun-fang², WANG Wei-long³

(1. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Science, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Bamboo Industry Office of Suichang County, Suichang 323300, Zhejiang, China)

Abstract: In the PC controlled wood drying process, the reasonable control strategies and methods shall be selected. According to the characters of wood drying, the application of control techniques such as PID control, adaptive control and artificial intelligent control to the wood drying is analyzed. In the contrastive research, the merits and limitations of each method are analyzed. PID and its transformation controller is the mainstream method of wood drying control, while intelligent control is its important developing trend. [Ch. 4 fig. 12 ref.]

Key words: wood science; wood drying; control strategy; intelligent control