

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.03.024

纤维素硝酸酯真空热脱水工艺含水量多值逻辑控制系统

韩智鹏, 汪炼, 王国英, 刘锡朋

(中国兵器工业第 58 研究所 工业自动化工程技术部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对传统 PID 控制器在大时滞、无精确模型匹配系统中不能获得理想的控制效果, 为保证纤维素硝酸酯真空热脱水后的残余水分含量和铺料厚度, 提出在高位槽出料流量控制策略中引入多值逻辑控制算法。介绍该算法的描述以及系统结构, 并在系统试车中试应用。实践表明, 该控制器能满足生产需要, 且多值逻辑控制算法具有鲁棒性、超调量、响应时间优于 PID 控制算法的优点, 可在工业控制领域推广应用。

关键词: 纤维素硝酸酯; 真空热脱水; 流量控制; 残余水分含量; 多值逻辑控制; 优于 PID

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Residual Moisture Content Multiple-Value Logic Control System for Vacuum-Pyroair Dehydration Process in Production of Nitrocellulose

Han Zhipeng, Wang Lian, Wang Guoying, Liu Xipeng

(Dept. of Industrial Automation Engineering Technology, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

Abstract: According to the bad performance of traditional PID controller in big time-delay and model-free system, for keeping the residual moisture content and the thickness on the material conveyor of vacuum-pyroair dehydrated nitrocellulose in a reasonable range, then suggest to introduce multiple-value logic control algorithm in head tank discharge flux control. Introduce the description of multiple-value logic control arithmetic and the system structure, and put it in the trial run. Practice shows that this controller meets the performance requirement in manufacture, and the multiple-value control arithmetic is superior to PID in robust stability, overshoot and response time, and it is applied to promote in the field of industrial control.

Keywords: nitrocellulose; vacuum-pyroair dehydration; flux control; residual moisture content; multiple-value logic control; superior to PID

0 引言

纤维素硝酸酯 (Nitrocellulose, NC) 真空热脱水工艺利用真空抽滤和高温气流烘干双重作用, 使 NC 浆料脱水后的含水量降低到 1.2%~1.7%, 保证在 NC 喷酒精后含水量保持在 ≤3% 的水平, 以满足新一代高氮量单基发射药对 NC 水分含量的要求。由于该工艺所用设备是根据用户的需求定制的, 系统构成复杂, 存在许多非线性、强耦合、纯滞后环节, 特别是真空热脱水段的含水量控制系统的输入变量涉及到了预定脱水后 NC 含水量、NC 层铺料厚度、热风罩内热风温度、脱水后 NC 含水量检测值等参数, 输出值直接影响到 NC 层厚度和脱水后 NC 含水量, 不能采取单一的控制策略, 笔者借鉴逻辑控制和 M-PID 原理思想, 设计一种基于 PLC 控制器平台的含水量控制系统, 以满足产品质量标准和安全生产要求。

1 问题分析

NC 浆料真空热脱水的工艺中真空热脱水段的流程如图 1, 在调浓间混合均匀的含水量为 80% 的 NC 浆料通过布料机构布置到铜滤网上, 在进入热风烘干区之前, 进行一次开放式常温真空滤水, 迅速驱除大部分水分, 之后进入热风烘干阶段, 铜网上部用热风罩隔离, 热风通过热风罩向下吹向铜网上的 NC 层, 铜网下部真空负压箱形成负压, 增加热风穿过棉层的流量和流速, 抽吸 NC 层中水分。铜网携带 NC 层穿过近 3 m 的热风段, 使 NC 中水分含量降低到 1.2%~1.7% 的水平。之后进行脱水 NC 的水分检测和酒精钝化。

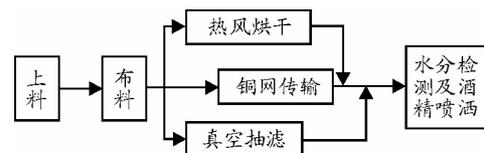


图 1 NC 浆料真空热脱水段流程

收稿日期: 2010-11-23; 修回日期: 2010-12-29

作者简介: 韩智鹏 (1983—), 男, 四川人, 研究生, 从事火工品生产工艺自动化研究。

主要的 NC 浆料脱水后的含水量影响因素有：热风温度、热风流量、真空抽滤量、NC 铺料厚度、铜网传输速度（直接关系到烘干时间）。硬件设计要考虑可靠性，热风源、真空源以及铜网传输系统有独立的控制系统。为保证穿流热风的温度和流量稳定，不在系统运行过程中对热风源控制参数进行修改；真空源为不可改变参数的系统；铜网传输速度也不可在线改变。那么 NC 浆料脱水后的含水量控制就转移到主要对 NC 层厚度进行控制。由于未喷酒精的干燥 NC 极为易燃，其粉尘为爆炸性粉尘，经验表明，干燥段内 NC 层必须保持在一定厚度以上，最大限度地减少 NC 粉尘的产生，提高系统的安全可靠性。因此，含水量控制系统的主要问题就转化为在保证 NC 脱水后水分含量的同时，还要保证 NC 铺料厚度。

在实际的硬件系统中，NC 浆料是通过高位槽（缓存 NC 浆料并调节布料流量的容器）的出料阀门流入布料机构，布料机构的出料流量和高位槽的出料流量一致，当出料阀开度一定时，高位槽出料流量受高位槽的料位影响，所以，NC 铺料厚度直接与高位槽的料位相关。而在开启高位槽出料阀门的情况下，其料位变化分成了进料泵流量波动、进料棉浆罐切换流量瞬时跌落、棉浆罐出料完毕不再向高位槽进料 3 种模态，中间有的模态时滞大，有的模态非线性特性强，普通的 PID 控制算法在这里不适合，而需要不间断在线辨识的预估控制在实现上过于复杂而且不存在可操作性，所以在实际设计中采用鲁棒性更强而且易于实现的基于泛布尔代数的逻辑控制。

2 逻辑控制

在控制领域中，可将控制条件简化为不同的因素，并按照泛布尔函数的规律进行控制。由于其控制结果是多值逻辑的，又可简称为逻辑控制。逻辑控制的基本形式产生于对控制器运行机理的分析，获得的控制规则可用泛布尔代数逻辑来描述。系统的稳定性可用误差、误差变化图上九点构成的相平面规则来分析。依照误差 e 和误差变化量 \dot{e} 对系统运行状态闭环逻辑调整。

按照泛布尔代数理论设计的 9 点逻辑控制器控制策略如表 1。表 1 中， e_0 和 \dot{e}_0 分别表示误差和误差变化量在相平面的划分阈值； $K_{i+/-}$ 表示 9 点控制器采取的控制策略（实际系统中为控制器输出的增益或者直接控制系数），分别表示强加、稍加、弱

加、微加、保持、微减等 9 种控制策略；下标 i 表示控制作用的强度（ $i=0, 1, 2, 3, 4$ ）；下标 $+/-$ 表示控制作用方向（加 / 减）。

表 1 相平面分区控制器控制策略符号化

	$(x_2^3)\dot{e} \geq \dot{e}_0$	$(x_2^2) \dot{e} < \dot{e}_0$	$(x_2^1)\dot{e} \leq -\dot{e}_0$
$(x_1^3)e \geq e_0$	K_{4+}	K_{3+}	K_{2+}
$(x_1^2) e < e_0$	K_{1+}	K_0	K_{1-}
$(x_1^1)e \leq -e_0$	K_{2-}	K_{3-}	K_{4-}

3 NC 浆料铺料控制系统设计

NC 浆料铺料系统的硬件组成如图 2。开始时高位槽的出料口调节阀关闭，供料泵通过进料口将 NC 浆料泵入高位槽，其中安装的料位传感器将料位反馈给中央控制器，当料位超过溢流口高度并动态稳定后，中央控制器启动流量逻辑控制器，逻辑控制器开始控制调节阀的开度，NC 浆料流入缓冲布料器，缓冲布料器有一定容积，当 NC 浆料溢流至布料板布设至铜网时，流量已经稳定在允许的范围内，不会在铜网上出现 NC 层由极小逐渐增加到预定值的情况。之后，出料阀阀门的开度在逻辑控制器的控制策略下改变。

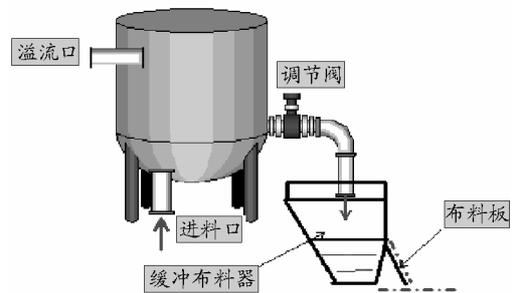


图 2 NC 浆料铺料系统

按照逻辑控制器理论，结合被控对象 NC。所得 NC 浆料铺料厚度逻辑控制器框图如图 3。

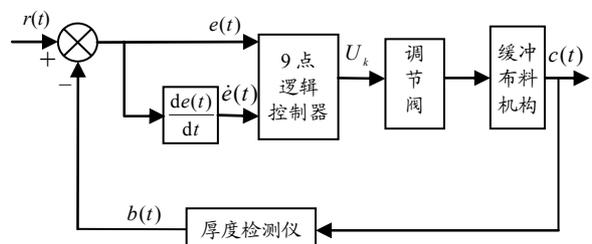


图 3 NC 浆料铺料厚度控制系统组成框图

逻辑控制器的设计按表 1 中的 9 点逻辑控制器控制策略进行，其中， e 和 \dot{e} 分别表示铺料厚度误差及其变化率， $\pm e_0$ 和 $\pm \dot{e}_0$ 分别表示系统允许厚度偏差和偏差变化率上下限。 $K_{i+/-}$ 表示的控制作用如

下:

K_{4+} 为强正控制力,在铺料厚度远小于设定值且变化率超出允许值时施加,此项影响系统性能指标“负超调量”; K_{3+} 为较强正控制力,此时铺料厚度远小于设定值,偏离速度稍快,故施加稍强(快变)的正向控制加大调节阀开度,此项影响系统性能指标“延迟时间”; K_{2+} 为次强正控制力,铺料厚度远小于设定值,但厚度正在以较快速度接近预设值,故施加弱正向控制,缓慢加大调节阀开度,此项影响系统性能指标“上升时间”; K_{1+} 为较弱正控制力,此时系统运行在设定值附近(铺料厚度在预设范围之内)而要克服下降惯性,稍微加大调节阀开度即可; K_0 为保持控制力,此时只需保持阀门的设定值即可; K_4 为强负控制力,此时铺料厚度大于允许的误差范围并迅速增加,故施加强力负向控制,迅速改变系统的偏离趋势,此项影响系统性能指标“正超调量”; K_{3-} 为较强负控制力,此时铺料厚度远大于设定值,偏离速度稍快,故施加稍强(快变)的负向控制减小调节阀开度,此项影响系统性能指标“最大正超调量”; K_{2-} 为次强负控制力,铺料厚度远大于设定值,但厚度正在以较快速度接近预设值,故施加强正向控制,缓慢减小调节阀开度,此项影响系统下降趋势与速度; K_{1-} 为较弱负控制力,此时系统运行在设定值附近(铺料厚度在预设范围之内)而要克服上升惯性,稍微减小调节阀开度即可。不同控制力对应不同时刻需要输出的多值逻辑控制量大小。

4 应用结果

在实际应用中,根据系统的试车实验,确定9点逻辑控制器的各个输出控制系数($K_{i+/-}$)为: $K_{4+}=15$; $K_{3+}=10$; $K_{2+}=7$; $K_{1+}=4$; $K_0=0$; $K_{1-}=-5$; $K_{2-}=-8$; $K_{3-}=-13$; $K_{4-}=-18$ 。系统允许误差和误差的导数取值为: $e_0=2.5$; $\dot{e}_0=0.5$ 。系统动态过程由9个控制力的交互作用完成,最终稳定在 K_0 的作用下得到实际的铺料厚度控制曲线如图4,经系统真空热脱水后NC的含水量控制曲线如图5。

由图4和图5可见许多微小震荡,这是逻辑控制的一个主要缺陷,是由于逻辑控制是一个强时变的多值开关控制,开关的点数(相平面分区数)直接影响微小震荡的能量与时间密度,同一系统中点数越多能量越小时间密度越大,点数越少能量越大时间密度越小。

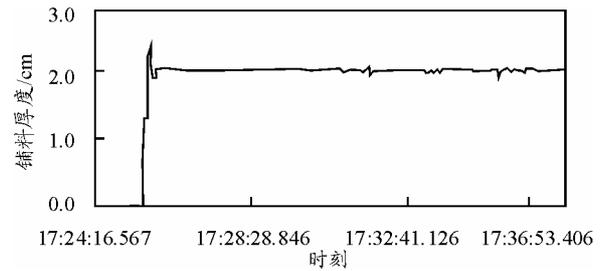


图4 最终系统 NC 浆料铺料厚度控制曲线

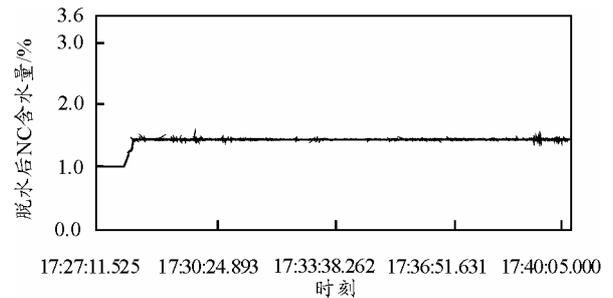


图5 经系统脱水后 NC 的含水量控制曲线

5 结束语

应用结果表明,基于泛布尔代数的多值逻辑控制器在被控模型不够精确时,如使用逻辑控制器强约束,运用逻辑推理、判断,能作出在异常情况下保证过程稳定安全运行的控制决策,在一定程度上解决了PID控制系统的鲁棒性问题,应用结果满足了生产的实际要求。同时,也证实了相关文献对多值逻辑控制在Matlab中的仿真测试^[4]中表现出的超调量小、稳定性好、响应时间快和鲁棒性强的特点。该控制器结构简单,能模拟人在控制中的思维习惯,物理背景明确,数学概念清晰,算法实现简单,在现有的工业控制器应用基础上,易于在化工、矿山、陶瓷等工业领域推广应用。

参考文献:

- [1] 曹吉花. 基于 PLC 的啤酒生产过程控制研究与实现[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.
- [2] 张南纶, 邱国廷, 季玲莉. 九点五态控制器及其仿真分析[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2004: 2570-2574.
- [3] 邱国廷. 基本泛布尔代数的若干系统分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
- [4] 杜亚江, 欧志新. 基于泛布尔代数的多值逻辑控制与 PID 控制的仿真比较[J]. 兰州交通大学学报, 2009, 28(6): 35-39.
- [5] 马云富. 我国弹药药装药装配技术现状及发展对策[J]. 兵工自动化, 2009, 28(9): 1-3.