

# 基于模糊神经网络的 智能混丝掺配 PID 控制模型研究

刘穗君, 杨林超, 张萍, 邱宗鹤

(河南中烟工业有限责任公司 南阳卷烟厂, 河南 南阳 473007)

**摘要:**为优化制丝工艺 PID 控制,提高混丝掺配瞬时精度,提出了基于模糊神经网络的智能混丝掺配 PID 控制模型 FNN-PID. 该模型依据制丝配比需求和生产动态数据计算当前瞬时精度,然后进行智能模糊量化,再通过对比专家知识库,结合推理机智能分析,决策出混丝掺配配比调差参数,并反馈参与 PID 控制. 实际应用效果表明,运用该模型控制相关参数,在瞬时精度显著提高的同时减少了系统波动,满足了高档香烟的加工工艺要求.

**关键词:**卷烟混丝掺配瞬时精度;模糊神经网络;PID 控制

**中图分类号:**TS411.1;TP273 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.3/4.009

## An intelligent PID control model of shredded tobacco blending based on fuzzy neural network

LIU Sui-jun, YANG Lin-chao, ZHANG Ping, QIU Zong-he

(Nanyang Cigarette Factory, China Tobacco He'nan Industrial Co., Ltd., Nanyang 473007, China)

**Abstract:** To optimize the PID control of tobacco primary processing and increase the instantaneous precision of shredded tobacco blending, an intelligent PID control model FNN-PID based on fuzzy neural network was proposed. The intelligent fuzzy quantization was conducted according to the demand of shredded tobacco blending ratio and production dynamic data. By comparing the expert knowledge base, and combining with the analysis of intelligent reasoning machine, the ratio adjustment parameter of shredded tobacco blending was decided to take part in the feedback PID control. The practical application results showed that by using this model to control the relative parameters, the instantaneous accuracy was improved significantly, and the system fluctuation was reduced, and consequently the processing requirements of high grade cigarette could be met.

**Key words:** instantaneous accuracy of shredded tobacco blending; fuzzy neural network; PID control

## 0 引言

混丝掺配指叶丝、梗丝、膨胀烟丝和薄片丝等

原料在卷烟制丝生产线上按一定配比均匀混合,是烟厂制丝工艺流程中非常重要的一个环节,其掺配精度对卷烟成品质量的影响举足轻重<sup>[1]</sup>,掺配精度

收稿日期:2014-12-10

作者简介:刘穗君(1976—),男,河南省南阳市人,河南中烟工业有限责任公司工程师,主要研究方向为卷烟工艺、数理统计及控制技术.

越高,越能体现配比系统的先进性<sup>[2]</sup>. 混丝掺配控制是一个多输入多输出系统,通过严格协调控制各核子称,实现对流量及时准确的检测和调节,进而使混丝掺配比例具有稳定性与均匀性. 目前针对混丝掺配工艺的研究多集中在计量模型分析和评价<sup>[3-4]</sup>、混丝模式<sup>[5]</sup>等方面,对掺配精度的控制主要依靠 PID 控制<sup>[6]</sup>. 但传统的 PID 控制针对制丝工艺中各个工艺点仍然存在整体精度虽较高而瞬时精度却较低的问题. 作为传统 PID 控制的改进,模糊 PID 控制结合模糊控制理论制定规则,在原有 PID 单回路架构的基础上引入模糊控制. 模糊神经网络是一种智能控制方法,它综合了模糊推理和神经网络二者的优点,不需要被控对象的精确数学模型,只需要用现场采集的有效数据对网络进行训练就能达到很好的控制效果. 因此,将模糊神经网络技术引入制丝工艺混丝掺配 PID 控制系统,既能有效利用语言信息,又具有强大的自学习和自适应能力;并且模糊神经网络中的结构和权值都有一定的物理含义,可以根据控制的复杂程度与精度要求,结合先验知识来构造相应的模糊神经网络模型. 同时,可根据先验知识人工选择模糊神经网络中权值的初始化,这样,网络的学习速度大大加快,也可在一定程度上回避梯度优化算法带来的局部极值问题.

目前模糊 PID 控制在烟草工艺控制上已有一些应用<sup>[7-9]</sup>,但对模糊控制隶属度参数的确定和规则库的建立多依靠主观经验,缺乏客观性,故实时性和适应性较差<sup>[10]</sup>. 本文拟提出一种基于模糊神经网络的混丝掺配 PID 控制模型 FNN-PID (fuzzy neural network PID),通过智能模糊量化、对比面向混丝掺配工序的专家知识库、结合推理机智能分析等环节构建模糊控制规则,参与 PID 控制以达到适时调整控制参数、提高工序瞬时控制精度的目的.

### 1 FNN-PID 模型

从系统控制角度来看,混丝掺配工艺是一个具有大惯性、纯滞后、强耦合的非线性时变系统,很难建立精确的数学模型,传统的 PID 控制策略对其并不适用. 本文采用模糊神经网络系统的模型进行辨识,将模糊控制与神经网络相结合,通过神经网络来实现模糊逻辑,同时利用神经网络的自学习能力,动态调整隶属度函数,在线优化控制规则,并利用模糊神经网络在线调整 PID 控制参数,使控制器

既具有模糊神经网络的自学习能力,又能充分发挥 PID 的控制优势<sup>[11]</sup>.

#### 1.1 FNN-PID 模型架构

在制丝生产流程中,由于各种先进工艺和控制技术的广泛采用,产生和积累了大量各种类型的历史数据和当前生产的实时动态数据,这些数据包含生产和管理的大量有价值的信息和知识. 为了能够为过程监测、诊断、能效分析、先进控制、优化、调度和管理等各层次提供决策支持,使制丝内在品质达到最优,通过数据挖掘把制丝工艺流程产生的大量深层次知识和信息挖掘出来,提取这些数据的整体特征、关联及发展趋势预测等信息,建立面向混丝掺配工序的专家知识库,以提高烟丝质量指标或工艺参数的控制精度和烟丝生产过程的质量控制能力.

FNN-PID 模型主要由数据处理模块、知识库模块、PID 控制模块组成,如图 1 所示. 数据处理模块采用 ETL(extraction transformation loading)技术,负责将卷烟制丝工序中各 PLC 数据提取出来,进行清洗、转换,加载存储在数据仓库中,按照一定的规则发现并纠正数据文件中可识别的错误,包括检查数据一致性、处理无效值和缺失值等. 知识库模块是在数据挖掘基础上建立起来的,包括数据库和规则库. PID 控制模块中的智能控制采用融合式结构,即神经网络和模糊逻辑推理机相结合:一方面,模糊推理能够加快人工神经网络学习的速度,然后用此神经网络来构造高性能的模糊逻辑系统;另一方面,神经网络能够从推理机中提取模糊规则,并对模糊规则进行纠偏和优化,为模糊控制提供决策支持,使模糊逻辑系统在一定程度上拥有自学习能力.

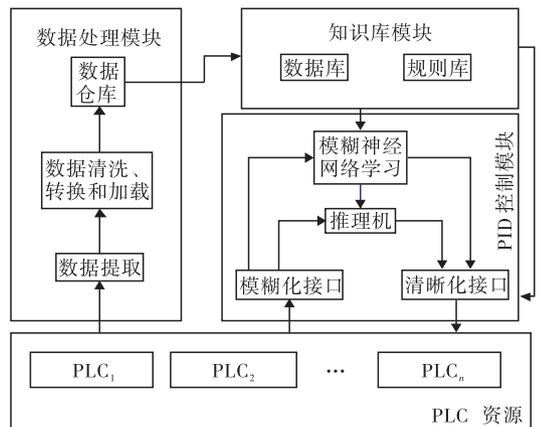


图 1 FNN-PID 模型架构

FNN-PID 模型的控制流程为:控制模型根据 PLC 采集到当前制丝牌号配比需求和生产动态数据,计算当前瞬时精度,并将混丝配比误差  $e(k)$  和混丝配比误差变化率  $e_c(k)$  通过模糊神经网络得出对混丝掺配 PID 在线调节参数  $k_p, k_i$  和  $k_D$ ,使混丝掺配瞬时精度性能指标达到最优;进行智能模糊量化,通过对比专家知识库,结合推理机智能分析,决策出混丝掺配配比调差参数,反馈给 PLC 适时调整控制参数,提高混丝掺配工序瞬时控制精度. 由于 PLC 的处理能力有限,上述模块均安装部署在性能较高的服务器上,通过工业以太网与 PLC 相连,采集相关信息,并将控制量的输出信息传回给 PLC 资源,从而减轻 PLC 的负担.

## 1.2 模糊神经网络结构

模糊神经网络是 FNN-PID 模型的核心,其结构如图 2 所示. 其中, A, B 层主要完成模糊化功能; C 层主要完成模糊推理功能; D, E 层完成模糊判决功能. 根据混丝掺配工序中某掺配丝的  $e(k)$  和  $e_c(k)$ , 通过模糊神经网络的计算得出针对某掺配丝控制的调差参数.

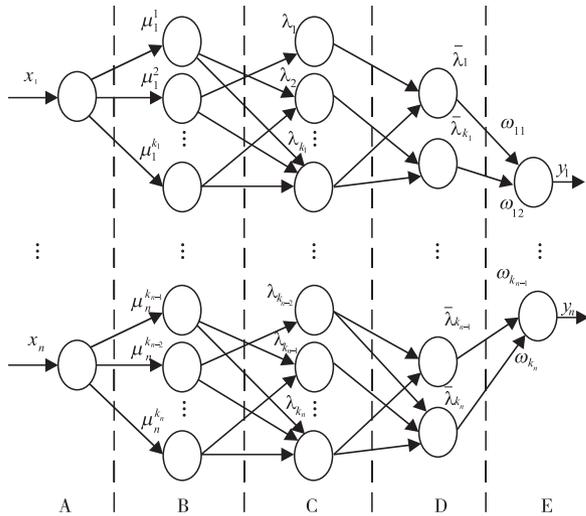


图 2 FNN-PID 模型的模糊神经网络结构

A 层为输入语言层,负责各结点直接与输入向量的各分量  $x_i$  相连. 混丝掺配工序要同时控制多种混丝的掺配比例,因此该层中  $x_i$  为混丝掺配工序中某掺配丝(如梗丝、膨胀烟丝和薄片丝)的  $e(k)$  或  $e_c(k)$ , 该层可以把输入值  $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  直接传到 B 层,其结点数  $N_A = n$ .

$$f_i^{(A)} = x_i^{(A)} = x_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

B 层为模糊化层,一个结点代表一个模糊语言变量值,它的作用是完成各输入分量(例如梗丝掺配的  $e(k)$ ) 模糊集合的隶属函数  $\mu_i^j$  的计算,从而实

现输入变量的模糊化. 该层中需要学习的是隶属函数的参数,其中  $\mu_i^j = \mu_{a_j}(x_i), i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, k_i; n$  为输入分量的维数;  $k_i$  是  $x_i$  的模糊分割数. 在 B 层,其结点数为  $N_B = \sum_{i=1}^n k_i$ .

$$f_{ij}^{(B)} = \frac{(x_i^{(i)} - c_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} x_{ij}^{(B)} = \mu_i^j = e^{-\frac{(x_i - c_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}}$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, k_i$$

C 层为模糊推理层,负责依据模糊逻辑的条件推理,一个结点代表一条混丝掺配中各种混丝比例的模糊控制规则,该层计算模糊推理规则前件的适用度,其结点数  $N_C = k$ ,即

$$f_j^{(C)} = \mu_1^1 \mu_2^2 \dots \mu_n^n \quad x_j^{(C)} = f_j^{(C)}$$

其中

$$i_1 \in \{1, 2, \dots, k_1\}, i_2 \in \{1, 2, \dots, k_2\}, \dots,$$

$$i_n \in \{1, 2, \dots, k_n\}$$

$$j = 1, 2, \dots, k \quad k = \prod_{i=1}^n m_i$$

当一个输入量进入模糊神经网络后,靠近输入点的模糊变量值具有较高的隶属度值,而远离输入点的模糊变量值很低,甚至为 0.

D 层负责计算混丝掺配中各种混丝比例规则后件的隶属度,实现归一化运算,即

$$\bar{\lambda}_j = f_j^{(D)} = x_j^{(C)} / \sum_{i=1}^k x_j^{(C)} = \lambda_j / \sum_{i=1}^k \lambda_j$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

E 层为输出层,主要作用是进行模糊判决,实现混丝掺配中各种混丝比例控制的清晰化,即

$$y_i = f_j^{(E)} = \sum_{j=1}^k \omega_{ij} x_j^{(D)} = \sum_{j=1}^k \omega_{ij} \bar{\lambda}_j$$

$$i = 1, 2, \dots, k$$

其中,  $y_i$  为混丝掺配中某掺配丝的调差控制参数.

## 1.3 FNN-PID 控制结构

FNN-PID 控制结构如图 3 所示. FNN-PID 利用模糊神经网络分别建立  $e(k)$  和  $e_c(k)$  与 PID 控制器三个参数 ( $k_p, k_i, k_D$ ) 的二元函数关系:  $k_p = f_1(e(k), e_c(k)), k_i = f_2(e(k), e_c(k)), k_D = f_3(e(k), e_c(k))$ . 其中,  $f_1, f_2, f_3$  表示模糊神经网络.

根据 PLC 采集到的某种混丝的核子称称得的质量,计算当前瞬时精度,并将  $e(k)$  和  $e_c(k)$  通过模糊神经网络 FNN 映射关系,得出对混丝掺配 PID 的在线调节参数  $k_p, k_i$  和  $k_D$ ,使混丝掺配瞬时精度性能指标达到最优. 混丝掺配 PID 模块最终控制被控对象,包括各个混丝的掺配核子称,实现对流量及时准确的检测和调节,从而使混丝掺配比例具有稳定性与均匀性.

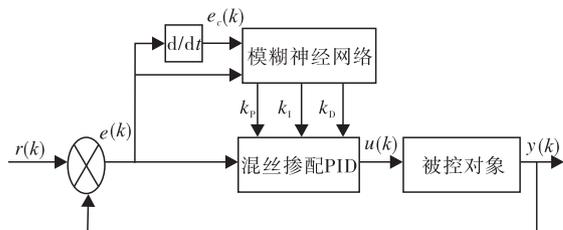


图3 FNN-PID 控制结构图

## 2 应用效果

### 2.1 评测方法

在制丝生产混丝掺配工序中,一般以叶丝称为主称,其他称为从称,从称根据工艺要求的配方比例实时跟踪叶丝主称,完成混丝掺配工艺任务.若某牌号卷烟某一从称与主称配比比例为 $k_1$ ,在混丝掺配工序的设备运行及物料流量正常的情况下,每间隔一定时间(如1 min)分别记录两种物料的累计量,用后1 min值减前1 min值,分别得到从称和主称每min实际施加值 $W_{从}$ 和 $W_{主}$ ,则该时间间隔内该从称的瞬时精度<sup>[10]</sup>

$$\delta_{从} = (W_{从}/W_{主} - k_1)/k_1 \times 100\%$$

其他配方组分的瞬时精度计算方法与此类同.

### 2.2 评测结果

为了验证两种控制方案的控制效果,根据制丝工艺稳定度控制原理和方法要求,选取某一牌号卷烟同一加工批次前后两个时段:前一时段采用传统PID进行控制,后一时段采用FNN-PID进行控制.选取梗丝、叶丝配比工序,梗丝与叶丝的配比比例为1:10,即 $k_1$ 为0.1,当控制系统稳定后,分别提取两个时段中央控制室相关数据,利用2.1评测方法,得到1 min梗丝量、叶丝量、瞬时精度数据,因数据量较大,这里截取20 min数据列于表1和表2.

从表1和表2可以看出,在某牌号卷烟同一批次梗丝、叶丝掺配控制中:采用传统PID控制时段,瞬时精度最大偏差达到4.1772%,20 min瞬时精度波动较大,在 $\pm 4.2\%$ 之间;采用FNN-PID控制时段,瞬时精度最大偏差为-0.5323%,20 min瞬时精度波动较小,在 $\pm 0.54\%$ 之间.前后对比效果明显:采用FNN-PID的混丝掺配控制系统,在提高瞬时控制精度的同时也减少了系统波动,满足高档香烟的加工工艺要求.

## 3 结论

本文利用模糊神经网络技术对混丝掺配PID控制器进行了改进,提出了FNN-PID模型.该模型应

表1 某牌号卷烟PID控制掺配计量与瞬时精度

时间	梗丝量/kg	叶丝量/kg	瞬时精度/%
9:05	59.2	598.1	-1.019 9
9:06	60.2	605.5	-0.578 0
9:07	58.8	602.2	-2.358 0
9:08	59.9	596.6	0.402 3
9:09	61.3	597.4	2.611 3
9:10	60.8	603.1	0.812 5
9:11	60.3	601.8	0.199 4
9:12	57.9	600.2	-3.532 2
9:13	59.5	597.9	-0.485 0
9:14	60.2	599.5	0.417 0
9:15	62.1	596.1	4.177 2
9:16	60.2	605.2	-0.528 8
9:17	60.3	610.7	-1.260 8
9:18	61.9	608.6	1.708 8
9:19	60.2	597.3	0.786 9
9:20	57.6	599.2	-3.871 8
9:21	60.0	595.7	0.721 8
9:22	59.1	605.2	-2.346 3
9:23	59.6	603.3	-1.210 0
9:24	62.1	598.7	3.724 7
9:25	60.1	607.3	-1.037 4

表2 某牌号卷烟FNN-PID控制掺配计量与瞬时精度

时间	梗丝量/kg	叶丝量/kg	瞬时精度/%
9:40	59.2	606.2	-0.362 9
9:41	60.2	599.5	0.083 4
9:42	58.8	596.1	0.318 7
9:43	59.9	598.6	0.066 8
9:44	61.3	603.2	-0.364 7
9:45	60.8	601.0	0.000 0
9:46	60.3	599.2	-0.200 3
9:47	57.9	597.3	0.284 6
9:48	59.5	605.1	-0.512 3
9:49	60.2	602.6	-0.265 5
9:50	62.1	601.8	0.033 2
9:51	60.2	602.0	-0.498 3
9:52	60.3	601.2	-0.532 3
9:53	61.9	601.8	-0.299 1
9:54	60.2	602.3	-0.215 8
9:55	57.6	598.5	0.083 5
9:56	60.0	602.3	0.116 2
9:57	59.1	601.4	-0.066 5
9:58	59.6	598.8	-0.133 6
9:59	62.1	598.6	-0.100 2
10:00	60.1	599.7	0.216 8

用于制丝工艺中混丝掺配工序的控制,充分发挥了神经网络的自学习和模糊系统基于规则的推理能力,具有较强的自适应性,提高了系统的控制效果.应用效果表明,采用FNN-PID模型的混丝掺配控制系统,在提高瞬时控制精度的同时也减少了系统波动,可满足高档香烟的加工工艺要求,并可进一步延伸到卷烟生产的整个过程.

#### 参考文献:

- [1] 储国海. 稳定均匀——制丝工艺管理的目标[J]. 烟草科技,1994(5):24.
- [2] 袁书豪,宋克强. 实现混丝掺配精度预警[J]. 设备管理与维修,2013(S12):112.
- [3] 段玲,陈建军. 卷烟加香加料和混丝掺配工艺过程的稳定度控制[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版,2002,17(1):24.
- [4] 夏永明,韦小玲,谢伟强,等. 混丝掺配系统计量模型分析[J]. 烟草科技,2011(5):26.
- [5] 温若愚,席年生,张大波,等. 不同混丝模式对烟丝掺配效果的影响[J]. 烟草科技,2008(9):13.
- [6] 文杰,唐着宽,杨明权,等. 过程能力分析在制丝工艺技术改进中的应用[J]. 烟草科技,2012(3):12.
- [7] 戴滔. 基于PLC的模糊-PID控制在梗丝流化床干燥控制系统中的应用研究[D]. 重庆:重庆大学,2007.
- [8] 张红亮. 制丝线瞬时加料比例的计算与应用[J]. 烟草科技,2013(1):20.
- [9] 乔俊飞,王会东. 模糊神经网络的结构自组织算法及应用[J]. 控制理论与应用,2008,25(4):703.
- [10] 杜鹃,张楠,许自成,等. 烤烟不同部位烟叶主要化学成分与感官质量的关系[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版,2011,26(2):16.
- [11] 刘畅,欧亚非,胡林,等. 影响卷烟烟气稳定性的主要因素源分析[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版,2014,29(5):44.

---

## 本刊数字网络传播声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品、万方数据资源系统、维普网等中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。其相关著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明。