

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.01.025

# 基于数字信号处理的发面机自动发酵系统控制优化

## Design of automatic feeding system for pasta fermentation machinery

张丽华 董天飞 牛文昭

ZHANG Li-hua DONG Tian-fei NIU Wen-zhao

(赤峰工业职业技术学院, 内蒙古 赤峰 024005)

(Chifeng Industry Vocational Technology College, Chifeng, Inner Mongolia 024005, China)

**摘要:**提出了一种基于数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)的发面机自动发酵系统控制的优化方法。对自动发酵系统中的自动入料系统进行优化,采用误差反馈控制算法进行面食发酵机械自动入料控制设计,在算法设计的基础上进行面食发酵机械自动入料系统的硬件设计。结果表明:设计的面食发酵机械自动入料系统人机交互性较好,系统稳定性较强,控制误差在迭代500次时仅为0.1%,实现精度控制。

**关键词:**面食发酵;机械;自动入料;控制

**Abstract:** An optimization method of automatic fermentation system control based on digital signal processing (DSP) was proposed. Aiming at the optimization of the automatic feeding system in the automatic fermentation system, the error feedback control algorithm was used to design the automatic feeding control of the pasta fermentation machinery, and the hardware design of the automatic feeding system of the pasta fermentation machinery was based on the algorithm design. The results showed that the designed automatic feeding system of pasta fermentation machinery had good human-computer interaction and strong system stability, and the control error was only 0.1% when iterating 500 times to achieve precision control.

**Keywords:** pasta fermentation; machinery; automatic feeding; control

面食发酵制作过程繁琐,耗时、耗力,各个步骤都会影响最后的发酵效果。将自动化技术与面食的发酵制作结合起来诞生了发面机,简化了面食的发酵制作过程,具有比人工制作更好的效果。但在发面机整个发酵过程中,自动入料揉制面团时存在抖动幅度较大、难以控制等

不足,需进行控制系统的优化。

基于模糊积分控制<sup>[1]</sup>的发面机发酵系统采用非线性控制方法,不依赖于数学模型,对被控对象的参数变化不敏感,表现出极强的鲁棒性,但在模糊控制域的划分方面较为粗糙,无法实现高精度控制。基于BP控制<sup>[2]</sup>的发面机发酵系统的BP网络可表示任意非线性函数,具有自适应学习的特点,容错性较好,可适用于复杂非线性系统,但在控制入料进程时的运行较为繁琐,时效性较差。

文章拟提出一种基于数字信号处理的发面机自动发酵系统控制的优化方法。通过对发面机自动入料控制系统进行设计,从人机交互界面中进行面食发酵机械自动入料的人机交互和面板操作,优化面食发酵机械自动入料的运行工况,设计基于DSP控制的面食发酵机械自动入料系统。采用误差反馈控制算法进行面食发酵机械自动入料的控制算法设计,再进行面食发酵机械自动入料系统的硬件设计并进行仿真试验分析,以验证方法的系统稳定性和控制精度。

### 1 发酵入料系统的总体设计构架和功能器件组成

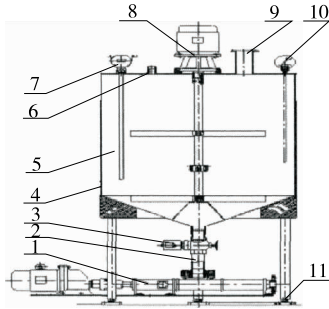
发面机自动入料控制系统主要包括总体设计构架、功能模块设计和控制算法设计。结合集成的信息处理器进行面食发酵自动入料系统的模糊控制设计等对发面机自动入料系统总体构架进行设计,试验方法优化的入料系统功能器件组成如图1所示。

总体设计构架如图2所示,采用PLC逻辑可编程芯片进行面食发酵机械自动入料过程中的模糊控制,通过对面食发酵机械自动入料控制的硬件模块化开发,设计面食发酵机械自动入料系统的上位机模块,采用集成的DSP信息处理器进行面食发酵机械自动入料系统的总线控制,采用ADSP21160作为核心处理器<sup>[3]</sup>进行面食发酵机械自动入料控制系统的集成信息处理和指令的收发转换设计,用ISA/EISA/Micro Channel扩充总线进行

**基金项目:**内蒙古自治区高等学校科学研究项目(编号: NJZY20263)

**作者简介:**张丽华(1974—),女,赤峰工业职业技术学院副教授,硕士。E-mail: 940820511@qq.com

**收稿日期:**2019-11-18



1. 面粉量控制系统 2. 出口 3. 控制阀门 4. 电加热膜 5. 发面装置 6. 自动注水口 7. 酵母入料口 8. 搅拌装置 9. 面粉入料口 10. 温度控制器 11. 重量控制器

图1 自动入料系统功能器件组成

Figure 1 Functional components of automatic feeding system

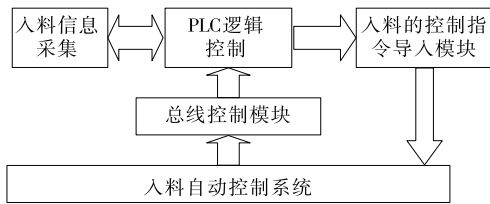


图2 发面机系统的总体设计构架

Figure 2 Overall design framework of the system

面食发酵机械自动入料控制系统的控制指令加载。

采用 ADSP21160 处理器系统作为面食发酵机械自动入料系统的主控芯片,结合 DSP 逻辑控制方法进行面食发酵入料的机械振动信息采集,主要采集物料的质量信息、密度信息和入料的样本属性特征信息<sup>[4]</sup>,根据信息采集结果进行面食发酵机械自动入料系统的参数信息融合。如图 3 所示,固态继电器(SSR)采用的是半导体元件组装而成的无触点开关,自动入料系统的设计过程中,主电路将固态继电器 S12 串联与振动控制器直接连接在一起。该自动入料控制系统由两个固定电阻( $R_{q1}$  和  $R_{q3}$ ) 和一个可变电阻( $R_{q2}$ ) 组成,可应对不同环境的影响,通过改变可变电阻的电阻值改变控制程序中的标准值,增强其控制程序控制稳定性。

采用 ADSP21160 作为核心处理器进行面食发酵机械自动入料系统的集成信息处理和接收控制指令的收发,采

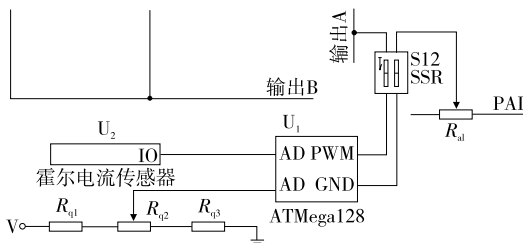


图3 自动发酵系统设计原理

Figure 3 Design principle of automatic feeding system

用嵌入式的交叉编译方法进行面食发酵机械自动入料系统的上位机通信,采用 VIX 总线控制技术实现面食发酵机械自动入料系统的总线集成控制<sup>[5]</sup>,包括面食发酵机械自动入料的信息采集模块、AD 信息输出转换模块、上位机通信模块、逻辑自动控制模块和人机交互控制模块等,发面机系统的功能结构<sup>[6]</sup>模块如图 4 所示。

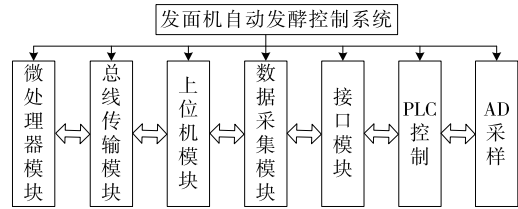


图4 发面机系统的功能结构模块

Figure 4 Functional structure module of the system

## 2 系统功能模块设计与实现

### 2.1 信息采集模块

设定发面机自动入料系统控制信息采集的动态范围为  $-22 \sim +25$  dB,采用 ISA/EISA 构架模式进行发面机自动发酵系统的总线开发设计,设计发面机自动发酵系统的总线传输协议,在 ARM 嵌入式微处理器环境下进行发面机自动入料系统的 AD 转换和信息采集<sup>[7]</sup>,构建发面机自动发酵系统的智能控制平台,信息采集模块如图 5 所示,其中对应英文为器件型号。

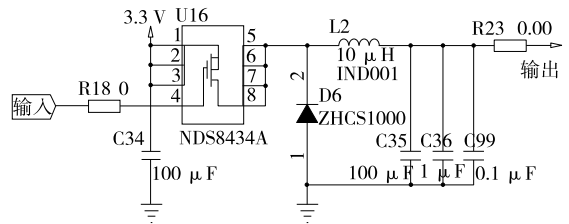


图5 信息采集模块

Figure 5 Information acquisition module

### 2.2 AD 转换模块

AD 转换模块实现对发面机自动发酵系统的控制信息采集和数模转换功能,采用 Flash、RAM、SOC 作为发面机自动发酵系统控制的嵌入式调度,采用 ADSP-BF537BBC-5A 实现发面机自动发酵系统控制总线设计,结合嵌入式的 ARM 进行发面机自动发酵系统的总线输出控制设计<sup>[8]</sup>。在信息集成处理模块中实现发面机自动发酵系统控制的智能信息处理和人机交互设计,AD 转换模块设计如图 6 所示。

### 2.3 逻辑自动控制模块

逻辑自动控制模块是整个系统的核心控制终端,在嵌入式环境下进行发面机自动入料控制系统的程序加载,采用逻辑 PLC 控制方法进行发面机自动发酵的自适应控制,在 ZigBee 组网协议中进行发面机自动入料控制,

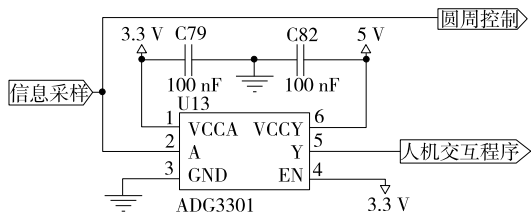


图 6 AD 转换模块设计

Figure 6 AD conversion module design

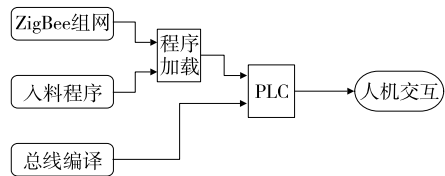


图 7 逻辑自动控制模块设计

Figure 7 Design of logic automatic control module

构造发面机自动入料控制的总线编译控制器,在节能控制过程中实现发面机自动入料控制和人机交互,采用ISA/EISA 构架模式进行发面机自动发酵系统的逻辑自动控制设计,在信息集成处理模块中实现发面机自动入料控制的智能信息处理,逻辑自动控制模块如图 7 所示。

### 2.4 人机交互控制模块

人机交互控制模块实现发面机自动发酵系统的人机交互设计功能,采用 APLC21160 逻辑处理器芯片作为发面机自动入料控制的数字处理芯片,通过 DSP 发送发面

机自动发酵系统控制指令,在 PLC 中进行发面机自动发酵系统控制系统的总线控制和接口转换,在执行器中进行发面机自动发酵系统的控制指令收发转换,结合嵌入式的 ARM 进行发面机自动发酵系统的入料感应控制设计,通过 LCDDMA、LPC3600 进行发面机自动发酵系统的中央控制,得到人机交互控制模块的硬件设计的总体结构。在嵌入式的 ARM 环境下构建发面机自动入料控制指令传输协议,结合集成 DSP 高速信息处理器进行发面机自动发酵系统的硬件集成设计,得到系统的集成设计电路图如图 8 所示。

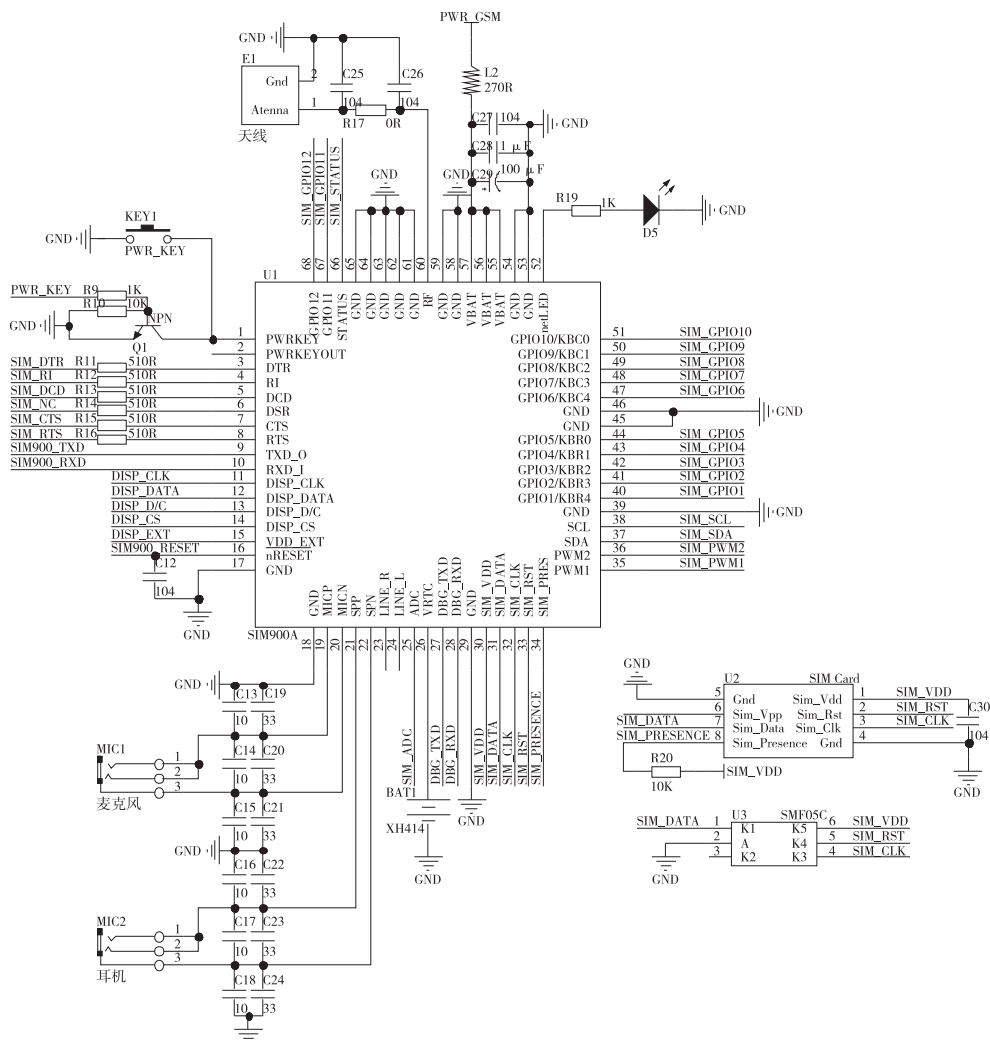


图 8 系统的集成设计电路图

Figure 8 Integrated design circuit diagram of the system

### 3 控制算法设计

在上述进行发面机自动发酵系统的总体设计构架和功能模块设计的基础上,进行系统的控制算法设计,采用模糊反馈自适应调节控制的方法进行面食发酵机械自动入料系统的自动控制设计,构造专家系统进行入料过程中的自适应调节,得到调节系数<sup>[9-10]</sup>:

$$u_{eqx} = \lambda(-\dot{f}_x - \lambda_x \dot{e}_x - \alpha_x \ddot{\sigma}_x + \ddot{x}_d) / (\lambda g_x + g_\theta) \quad (1)$$

调节发面机入水隔网定向角度,采用非线性时变补偿的方法,得到面食发酵机组件结构控制模型表示为:

$$u_{sw} = -Ksat[S(t)/\mu] / (\lambda g_x + g_\theta) \quad (2)$$

确定不同规格发面机自动发酵的密度,初始通量调节的不等式:

$$\eta(0, t_1) = \int_0^{t_1} v^T w dt \geq -r_0^2 \quad (3)$$

确定发面机自动入料的线性补偿规则,在相同运行压力条件下,得到自适应控制律为:

$$(s^2 + \lambda_x s + \alpha_x) \lambda e_x(s) + (s^2 + \lambda_\theta s + \beta_\theta) e_\theta(s) = \lambda(s + 1 + \lambda_x) e_x(0) + (s + 1 + \lambda_\theta) e_\theta(0) \quad (4)$$

发面机自动发酵的条件转移概率密度分布函数为:

$$H(s) = D [sI - A_m]^{-1} I \quad (5)$$

在运行压力增长的条件,采用多通道加权控制的方法,得到流体密度调节误差收敛于:

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} s e(s) = \lim_{s \rightarrow 0} [\lambda e_x(s) + e_\theta(s)] = \\ \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\lambda s(s + 1 + C) e_x(0)}{s^2 + Cs + C} + \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s(s + 1 + C) e_\theta(0)}{s^2 + Cs + C} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

确定补偿规则,根据截面几何形状,得到发面机自动入料的流体控制模型方程为:

$$\begin{aligned} \dot{V}_s = S(t) \dot{S}(t) = K_m S(\lambda \lambda_x \dot{e}_x + \lambda_\theta \dot{e}_\theta + \lambda v_x + v_\theta) \delta = \\ K_m S(\lambda \lambda_x \dot{e}_x + \lambda_\theta \dot{e}_\theta + \lambda f_x + \lambda d_x + f_\theta + d_\theta + (g_\theta + \\ \lambda g_x)(g_\theta + \lambda g_x)^{-1} [-f_\theta - \lambda_\theta e_\theta + \ddot{\theta}_d - \beta_\theta \sigma_\theta - K \operatorname{sgn}(S/\mu) - \\ \lambda f_x - \lambda \lambda_x \dot{e}_x + \lambda \ddot{x}_d - \lambda \alpha \dot{\sigma}_x]) \delta = K_m S[\lambda \Delta f_x + \Delta f_\theta + \\ \lambda d_x + d_\theta - \lambda \alpha \dot{\sigma}_x - \beta_\theta \sigma_\theta - K \operatorname{sgn}(S/\mu)] \delta \leq -\eta \theta | S/\mu | - \\ \alpha \theta | \lambda \mu | - \beta \theta | \mu | \leq 0, \end{aligned} \quad (7)$$

式中:

$K_m$  —— 流体密度,  $g/cm^3$ ;

$\delta$  —— 入料流体流速,  $m/s$ ;

$\theta$  —— 进水隔网偏移角度(其中  $\sin \theta_p = \theta_p, \cos \theta_p = 1$ ), ( $^\circ$ )。

使用上述算法进行发面机自动入料的自动控制,提高发面机自动入料的优化控制能力,达到优化发面机自动发酵控制系统。

### 4 仿真试验

#### 4.1 控制性能

为了验证试验方法在实现发面机自动入料控制中的

性能,进行仿真试验,并对结果进行分析。设置面食发酵机械自动入料控制的载频为 120 Hz,低频转换频率为 10 Hz,发面机的电机输入电压为 100~220 V,时钟电平输出  $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m,控制指令的调频幅度在 4 V 以内,根据上述仿真环境和参数设定,将试验方法与基于模糊积分控制和基于 BP 控制方法进行发面机自动入料控制。由图 9 可知,试验方法进行发面机自动入料控制的自适应性较好,且控制性能较稳定,试验方法具有良好的控制性能。

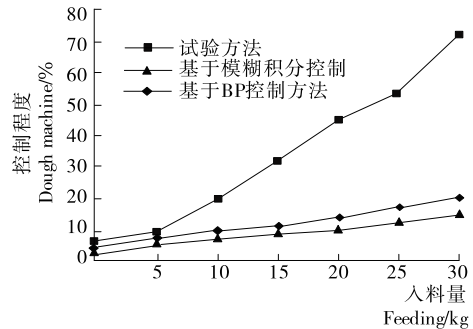


图 9 发面机自动入料的控制性能曲线

Figure 9 Control performance curve of automatic feeding of dough machine

#### 4.2 控制误差

由表 1 可知,试验方法进行发面机自动入料控制在不同迭代步数下的误差均低于基于模糊积分控制和基于 BP 控制方法,说明试验方法具有高精度控制性能。

表 1 控制误差值对比结果

Table 1 Error comparison of three methods after iteration

控制方法	迭代步数				
	100 次	200 次	300 次	400 次	500 次
试验方法	0.134	0.103	0.043	0.002	0.001
模糊积分控制	0.324	0.235	0.135	0.102	0.045
BP 控制	0.236	0.135	0.056	0.022	0.015

### 5 结论

针对发面机发酵时入料过程中揉制面团的抖动幅度较大导致入料控制性能差的问题,提出一种基于数字信号处理的发面机自动发酵系统控制的优化方法。针对自动发酵系统中的自动入料系统,通过实现面食发酵入料的自动配置和优化配比控制,设计集成信息处理和收发转换的控制指令,通过对系统的信息采集模块、AD 信息输出转换模块、上位机通信模块、逻辑自动控制模块和人机交互控制,完成自动入料系统的优化。仿真结果表明,试验设计的控制系统稳定性优于基于模糊积分控制和基

(下转第 156 页)