

# 固态发酵饲料自动发酵饲喂一体设备设计与试验

刘莫尘<sup>1,2</sup> 马郡祥<sup>1</sup> 韩守强<sup>1</sup> 李承<sup>1</sup> 李玉道<sup>1,2</sup> 李法德<sup>1,2</sup>

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 山东省园艺机械与装备重点实验室, 泰安 271018)

**摘要:** 针对固态发酵饲料在饲喂现场生产的需求和特点, 设计了自动发酵饲喂一体设备。该设备由上料发酵系统、控制系统、饲喂系统构成; 上料机构将饲料和菌液混合均匀送至发酵桶, 发酵完成后自动下料至饲喂车; 饲喂车能够准确定位到不同饲喂对象的食槽并进行定量布料; 操作者只需在人机交互界面设置上料体积、发酵时长、饲喂对象等参数, 整个发酵饲喂过程无需人工干预。饲喂系统由 48 V/100 A·h 的蓄电池供电, 充电一次可连续工作 4 d。试验结果表明, 发酵桶上料和饲喂车排料的料体积误差均不大于 6%, 饲喂车定位误差平均值 11.75 mm, 发酵时间、饲喂对象等参数控制准确。设备运行稳定可靠, 发酵和饲喂之间无缝对接, 显著减小了劳动强度, 满足发酵饲料现场固态发酵并饲喂的要求。

**关键词:** 固态发酵饲料; 自动上料; 智能饲喂

**中图分类号:** S817.3; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)11-0141-07

## Design and Experiment of Automatic Fermenting and Feeding Equipment for Solid-state Fermented Feed

LIU Mochen<sup>1,2</sup> MA Junxiang<sup>1</sup> HAN Shouqiang<sup>1</sup> LI Cheng<sup>1</sup> LI Yudao<sup>1,2</sup> LI Fade<sup>1,2</sup>

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China  
2. Shandong Provincial Key Laboratory of Horticultural Machineries and Equipments, Taian 271018, China)

**Abstract:** The microorganism fermented feed can improve the production performance, enhance immunity and improve meat quality in pigs, and the production of fermented feed is solid-state fermentation in domestic. In order to produce fermented feed in feeding field and automatic feeding, an automatic fermenting and feeding equipment was designed. The equipment was composed of feed fermentation system, PLC and PIC MCU control system and feeding system. The complete diet mixed with bacterial liquid was placed in the hopper, and conveyed to the transverse screw conveyor through the metering grooved wheel under the hopper, and then conveyed to the fermentor by a longitudinal screw conveyor. In the screw conveyors, bacteria and feed were fully mixed. The fermentor was designed with 100 L in volume and 7 in number, which can ensure punctual feeding for different breeding objects. When fermentation was over, feed was lay-out from the fermentor to the feeding vehicle automatically, and then discharged into different trough quantitatively. The PLC system and the PIC MCU system constituted the control system, and wireless communication was used between them. The operator only needed to pour the feed to be fermented into the hopper, and then set the parameters of the fermentation time, the volume of the feed and the feeding object in the human-computer interface. This equipment would automatically accomplish the whole process from fermentation to feeding. The test result showed that the volume errors of screw conveyors and feeding vehicle were both less than 6%; the positioning error of feeding vehicle to the troughs was less than 11.75 mm; the parameters included fermentation time, feeding object and feeding vehicle speed were controlled accurately. The equipment worked stable and reliable, which can reduce labor intensity significantly and meet the requirements of solid-state fermented feed production and feeding in feeding field.

**Key words:** solid-state ferment feed; automatic feeding; intelligent feeding

收稿日期: 2018-07-10 修回日期: 2018-08-25

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2015GNC112006)

作者简介: 刘莫尘(1980—), 女, 博士生, 副教授, 主要从事现代农业装备研究, E-mail: liu\_mochen@126.com

通信作者: 李法德(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业装备研究, E-mail: li\_fade@sdau.edu.cn

## 0 引言

微生物发酵饲料可以降解饲料中的抗营养因子、调节肠道微生态平衡、增强机体免疫功能和改善环境,作为功能性饲料,具有气味香、适口性好、动物喜食等优点<sup>[1-6]</sup>。研究表明,使用发酵饲料能够改善各生长阶段猪只的健康状况,提高生产性能和机体免疫力,并有效降低腹泻指数,节约医药费用<sup>[7-11]</sup>。

国内普遍采用的益生菌发酵剂固态发酵饲料,是微生物在有少量游离水的固态湿培养基上,在适当温度下发酵而成的饲料,固态发酵过程不需严格无菌,具有无废水排出、生产成本低和产出率高等优点<sup>[12]</sup>。目前,比较典型的养殖户随产随用的固态发酵饲料生产方式,主要有呼吸膜袋装发酵和堆放式发酵池发酵<sup>[13]</sup>。这两种方式均需要人工将饲料和菌液混合均匀后,再装入发酵袋或者发酵池,人工操作繁琐、劳动强度大;而直接购买饲料生产厂家发酵完成的饲料,存在营养损失大、运输成本高的问题<sup>[14]</sup>。在饲喂环节中,市场上有针对液体发酵饲料的集约化饲喂系统<sup>[15]</sup>,尚无适用于固态发酵饲料的饲喂系统,只能人工饲喂,严重制约了固态发酵饲料的推广和使用。

本文设计一种固态发酵饲料自动发酵饲喂一体设备,在饲喂现场实现从饲料的上料发酵到饲喂整个过程的自动化。

## 1 设备整体设计

### 1.1 设计要求

本设备针对固态厌氧发酵的全价料,在单个饲喂车间内使用,设计的基本要求是:实现饲料的定量搅拌上料;实现定时密闭发酵,发酵完成后对不同养殖对象定量饲喂;能保证饲喂的连续性,操作简单,所需人工操作少,适合中小养殖户使用。

### 1.2 整机结构与工作流程

本设备分为主控制台、上料发酵系统和饲喂系统3部分,如图1所示:主控制台用于上料发酵系统的控制和与饲喂系统的通讯,并具有人机交互功能;上料发酵系统可实现定量上料、定时发酵、自动排料等功能;饲喂系统在发酵完成后对不同的食槽进行定量布料。

本设备的工作流程如下:人工将混合过接种菌液的全价料倒入上料料斗,在主控制台设置饲喂对象、上料体积、发酵时长等参数;水平螺旋输送机内将饲料和菌液混合均匀,由螺旋提升机送料至发酵桶,发酵完成后,发酵桶排料给饲喂车,饲喂系统根据主控

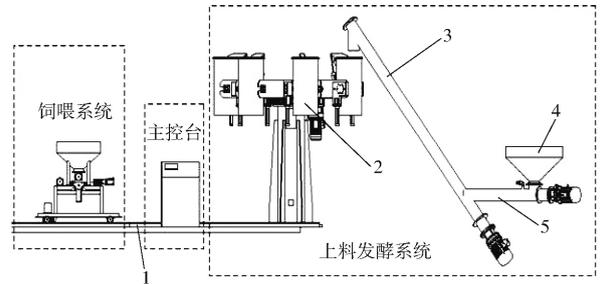


图1 设备整体结构图

Fig.1 Overall structure sketch of automatic fermenting and feeding equipment

1. 导轨 2. 发酵桶 3. 螺旋提升机 4. 上料料斗 5. 水平螺旋输送机

台指令,进行不同食槽的定量布料。

## 2 主要部件设计

### 2.1 上料发酵系统

#### 2.1.1 上料机构

上料机构由上料料斗、水平螺旋输送机、螺旋提升机组成。

单次发酵饲料体积最大值为100 L,设计料斗体积163 L(图2a);料斗底部计量槽轮用于计量下料(图2b),其单个槽截面积 $s$ 为 $726 \text{ mm}^2$ ,槽轮长度 $l$ 为 $0.16 \text{ m}$ ,共6个槽。

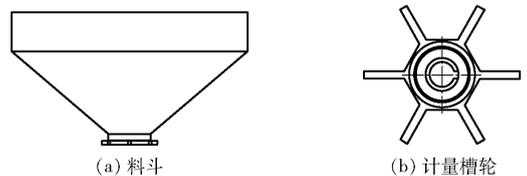


图2 料斗及计量槽轮示意图

Fig.2 Structure sketches of hopper and metering roller

槽轮充填系数为1,转动一圈下料体积计算式为

$$V = 6sl = 0.7 \text{ L} \quad (1)$$

步进电机带动槽轮转动,选择步进电机型号86BYG250H,保持力矩 $12 \text{ N}\cdot\text{m}$ ,额定电压 $24 \text{ V}$ ,减速器减速比 $i$ 为5。设置步距角 $\theta$ 为 $1.8^\circ$ ,步进电机频率 $f$ 为 $1500 \text{ Hz}$ ,则槽轮每秒输出体积 $V'$ 计算公式为

$$V' = \frac{\theta f V}{360i} = 0.53 \text{ L/s} \quad (2)$$

水平螺旋输送机、螺旋提升机均采用实体面型螺旋叶片输送机,在输送饲料的同时,起到充分均匀混合菌液和饲料的作用。螺旋输送机输送量计算公式<sup>[16]</sup>为

$$Q = 60 \times \frac{\pi}{2} D^2 S n_1 \rho \varphi C \quad (3)$$

式中  $D$ ——螺旋直径,  $\text{m}$

$S$ ——螺距,  $\text{m}$

$n_1$ ——螺旋转速, r/min

$\rho$ ——物料密度, t/m<sup>3</sup>

$\varphi$ ——物料充填系数  $C$ ——倾斜系数

水平输送和螺旋提升的螺旋直径均为 0.25 m, 螺距 0.2 m, 物料密度 0.9 t/m<sup>3</sup>, 物料充填系数 0.38。两个三相异步电机分别为两个输送机提供动力: 水平方向倾斜系数为 1, 运行转速 100 r/min; 提升方向倾斜系数为 0.67, 运行转速 175 r/min。根据式(3), 计算得到水平输送量为 20 t/h, 提升输送量 23.6 t/h。

螺旋输送机运行功率计算公式<sup>[17]</sup>为

$$P = \frac{Q}{367\eta}(L\omega + H) \quad (4)$$

式中  $P$ ——物料运行所需功率, kW

$L$ ——输送长度, m

$H$ ——升运高度, m

$\eta$ ——电机及减速机效率

$\omega$ ——阻力系数

水平螺旋输送机输送长度 1.5 m; 螺旋提升机输送长度 2 m, 升运高度 2.1 m; 物料阻力系数 2.2, 电机及减速机效率 0.8, 由式(4)计算可得水平电机功率为 0.23 kW, 提升电机功率为 0.55 kW。

考虑到启动功率以及现场其他损耗功率<sup>[18-19]</sup>, 故选择的输送机应有较大的功率储备, 水平方向电机型号 Y80M1-4, 功率 0.55 kW, 提升电机型号 Y90S-4, 功率 1.1 kW。

### 2.1.2 发酵系统

发酵系统由发酵桶、转盘、料斗、电机等部分组成, 如图 3 所示。本设备设计要求: 每日发酵饲料 1 400 kg 以上, 单次发酵时间根据室温条件的不同在 6~12 h 之间, 完成 14 次饲喂。故设计 7 个发酵桶轮流发酵, 每个体积 100 L, 能够满足一个饲喂车间连续饲喂的需求。

每个发酵桶有翻转与开盖两个独立动作, 均由两套对应的电磁阀和气缸完成。

发酵桶由转盘转动, 根据需要自动在上料位置和下料位置停止。位置传感器选用电感式磁感应接近开关, 型号 DM1204NE, 检测距离为 4 mm, 迟滞时间为 0.1 s, 工作电压(直流) 10~30 V。接近开关安装在转盘固定立柱上, 对应 7 个不同工位, 1 个感应铁块安装在转盘上, 跟随转盘转动, 感应铁块转到接近开关位置, 接近开关动作。

转盘转动由三相异步电机带动, 选择额定转速  $n_2$  为 910 r/min, 减速机减速比 187。转盘最大负载量  $W$  为 1 800 kg, 转盘半径  $R$  为 1.7 m, 启动时间  $t$  为 1 s。计算可得负载转矩  $T$ , 计算公式<sup>[20]</sup>为

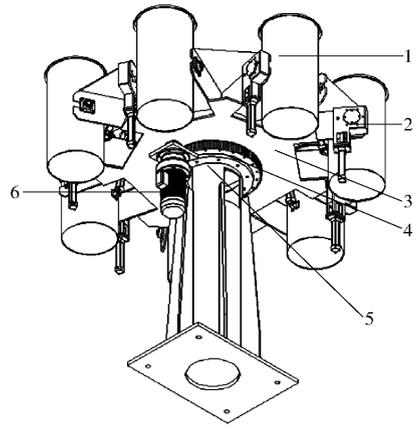


图 3 发酵系统示意图

Fig. 3 Sketch of fermentation system

1. 发酵桶 2. 气缸 3. 转盘 4. 接近开关 5. 感应铁块 6. 电机及减速机

$$T = \frac{1}{4}WR^2 \times 2\pi \frac{n_2}{60it} = 663 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (5)$$

考虑启动转矩和电机减速机效率, 选择电机额定功率为 1.1 kW, 型号为 90L-6, 额定电流为 3.2 A。

### 2.2 饲喂系统

饲喂系统由导轨、饲喂车、位置传感器 3 部分组成, 如图 4 所示。

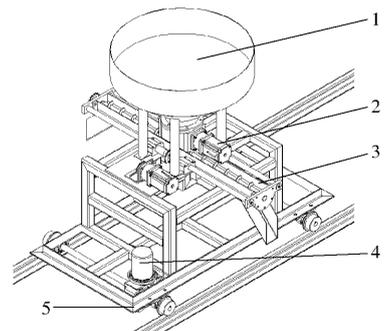


图 4 饲喂系统示意图

Fig. 4 Sketch of feeding system

1. 料斗 2. 下料步进电机 3. 排料臂 4. 直流电机 5. 位置传感器

饲喂车由料斗、排料臂、电机、控制系统组成。料斗设计为圆柱圆锥形, 体积 100 L, 底部下料计量槽轮设计与上料系统相同, 每秒输出体积为 0.35 L。

饲料由槽轮排至排料臂(图 5), 排料臂是长 0.9 m、宽 0.1 m 的“U”型螺旋输送机。向左侧料斗排料时, 排料臂向左侧伸出, 输送机螺旋叶片正向转动; 向右侧料斗排料时, 排料臂向右侧伸出, 输送机螺旋叶片反向转动。排料臂的左右移动由图 5 中左右步进电机及减速机经齿轮链条传动, 带动丝杠左右移动; 螺旋叶片的正反转动由图 5 中正反旋转步进电机及减速机经齿轮链条驱动。步进电机均选择 86BYG250H 型, 工作电压 48 V, 保持力矩 12 N·m, 减速比 10。

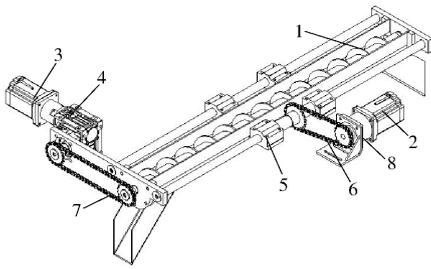


图5 排料臂原理图

Fig.5 Schematic of discharge arm

- 1.螺旋叶片 2.左右移动步进电机 3.正反旋转步进电机  
4.8.减速机 5.丝杠 6,7.传动齿轮及链条

饲喂车由直流电机驱动在导轨上运行,食槽对称分布在导轨两侧,饲喂车排料完成后返回上料原点。饲喂车满载质量  $m$  为 240 kg,饲喂车所需功率计算公式为

$$P_1 = mg(\mu_1 + \mu_2)v = 241 \text{ W} \quad (6)$$

式中  $g$ ——重力加速度,  $\text{m/s}^2$

$v$ ——运行速度,  $\text{m/s}$

$\mu_1$ ——车轮与钢轨的摩擦因数

$\mu_2$ ——轴承摩擦因数

考虑启动转矩及功率裕量,选择电机功率为 500 W。车轮直径 0.08 m,设计速度为 0.5 m/s,故选择电机型号为 MY1020,额定转速  $n_3$  为 2 800 r/min,减速比 24,饲喂车运行速度计算公式为

$$v = \frac{\pi d n_3}{60i} \quad (7)$$

式中  $d$ ——车轮直径,  $\text{m}$

位置传感器安装在饲喂车底部,选用型号为 DM1204NE 的电感式磁感应接近开关,工作电压(直流) 10 ~ 30 V,感应铁块放置在食槽的位置。

饲喂车上的步进电机、直流电机、传感器、控制装置均由 48 V 蓄电池供电。步进电机的实测平均电流为 2 A,直流电机的平均工作电流为 10 A,其他器件总工作电流 0.5 A。步进电机和直流电机间隔运行,每次饲喂行走时间 400 s,排料时间 800 s,每次饲喂消耗电量 6 200 A·s,折合 1.72 A·h。选择 100 A·h 的蓄电池,饲喂车充电一次可以完成 58 次饲喂,按照每天 14 次饲喂,可以工作 4 d。

### 3 控制系统设计

#### 3.1 控制系统总体方案

本设备控制系统以 PLC(可编程逻辑控制器)和 PIC 单片机为控制核心,PLC 控制上料、发酵桶动作、发酵时间等,PIC 单片机控制饲喂车行进与排料,结构框图如图 6 所示。PLC 通过触摸屏进行人机交互操作,与 PIC 单片机通信完成饲料发酵过程

和饲喂过程的衔接。系统的操作具有手动控制和自动控制两种运行模式。

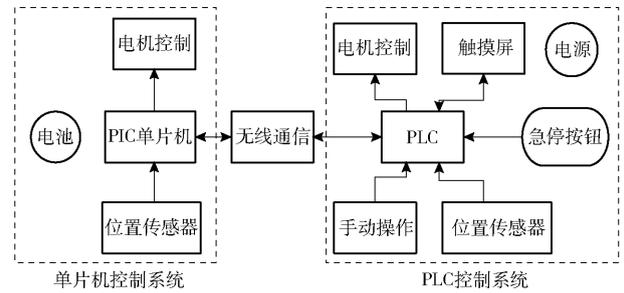


图6 控制系统结构框图

Fig.6 Block diagram of control system

#### 3.2 PLC 控制系统设计

PLC 控制系统由 PLC、液晶触摸屏、步进电机驱动器、稳压电源以及通信模块等基本部分组成。PLC 选用三菱公司的 FX1N-40MT-D,具有 24 个输入点,16 个输出点,附加 8 个输出点的扩展模块(型号 FX2N-8EYT)<sup>[21]</sup>。由于需要输出脉冲信号以驱动步进电机控制器,故选择晶体管型输出的 PLC。PLC 控制对象有:水平螺旋输送和螺旋提升步进电机的控制器、发酵桶旋转电机、发酵桶翻转、发酵桶开盖、饲喂系统。输入输出点设置如表 1 所示。

表 1 PLC 输入输出点设置

Tab.1 PLC I/O configuration

输入输出点	用途
X0 ~ X6	桶 1 ~ 7 位置传感器输入
X7	布料车初始位置传感器输入
Y0	槽轮步进电机脉冲
Y1	水平输送电机、提升电机控制
Y2	转盘电机控制
Y3 ~ Y7, Y10 ~ Y11	桶 1 ~ 7 翻转电磁阀
Y12 ~ Y17, Y20	桶 1 ~ 7 开盖电磁阀
Y21 ~ Y23	饲喂系统

PLC 控制系统流程图如图 7 所示。用户需要设置上料发酵参数,发酵饲喂过程系统自动完成。

#### 3.3 人机交互界面设计

人机交互界面组态程序根据发酵系统的动作流程设计,选用深圳显控 SA-7A 型触摸屏,使用 SamDraw 4.0.1 组态软件进行界面设计。

系统没有进行发酵或是已经发酵结束进行布料时,界面显示待机界面(图 8a);当接受外界信息时,界面跳转到饲喂对象选择界面(图 8b)。点击每种饲喂对象进入其参数设定及显示界面(图 8c),此界面输入发酵时间和上料体积,参数保存于 PLC 数据寄存器内,设定后可以作为下次使用的默认参数值。点击确定后 PLC 控制各个电机进行上料,进入正在上料界面(图 8d),此时不允许用户操作。上料结束

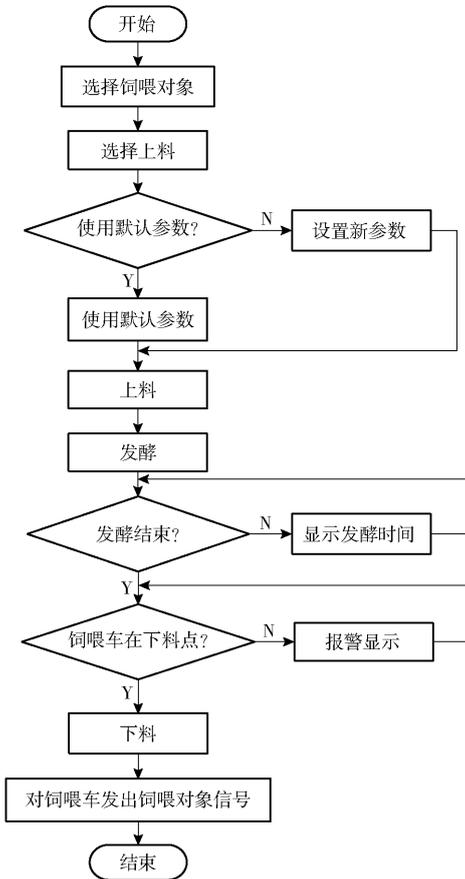


图 7 PLC 控制系统流程图  
Fig. 7 PLC control flow chart

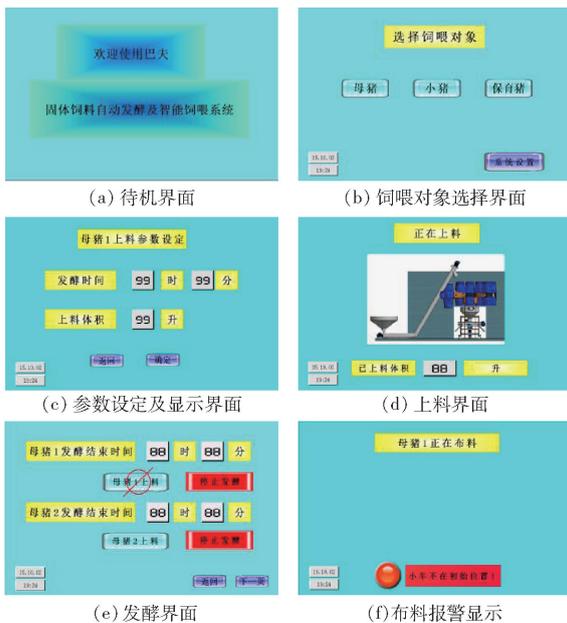


图 8 人机交互界面组态图

Fig. 8 Diagrams of man - machine interface

后,界面自动跳转,进入发酵界面,显示剩余发酵时间,此时正在发酵的桶(图 8e 中“母猪 1”)上料按钮设定为禁止使用。发酵完成后,自动跳转进入布料界面,此界面设置警报指示灯,当传感器检测到饲喂车不在发酵桶下方时,进行警报(图 8f)。布料结束之后,自

动发酵控制系统返回首界面等待下次发酵运行。

### 3.4 单片机控制系统设计

饲喂车控制系统主控单元选择 PIC16F873A 单片机,开发环境为 MPLAB IDE v8.89。饲喂车控制系统软件主程序流程图如图 9 所示。

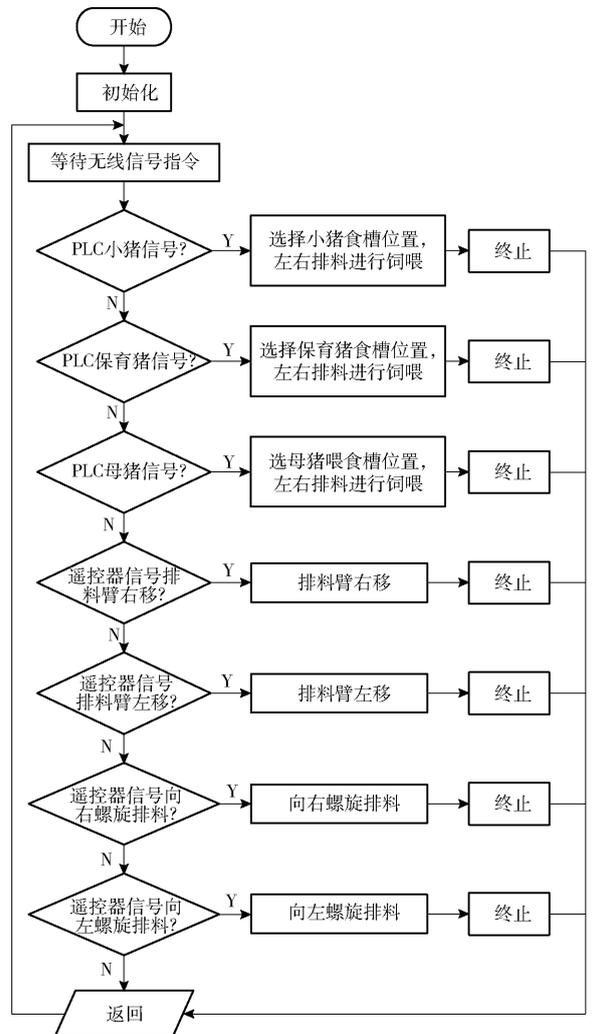


图 9 PIC 系统主程序流程图

Fig. 9 Flow chart of PIC main program

主程序描述为:首先各个端口初始化,接收 PLC 信息,进行饲喂对象的选择,针对不同饲喂对象,根据位置传感器的信号输入判断不同饲喂对象的食槽位置,左右移动排料臂进行排料操作。每个食槽布料量由专家系统给出,通过料斗下料槽轮步进电机步数来计量下料量。饲喂结束之后,布料饲喂车返回到初始位置,等待下次饲喂通知。手动模式下,可以通过手动遥控器来控制小车左右移动排料的动作。

## 4 试验

### 4.1 试验条件与方法

为了验证样机的性能和可靠性,分别于 2017 年 1 月和 7 月在山东省泰安市宁阳县乡饮乡巴夫农庄黑猪养殖基地进行了为期各 31 d 的试验。试验期

间使用山东宝来利来生物工程股份有限公司生产的固本康 803 型微生物发酵剂发酵全价料(含玉米 59%、膨化豆粕 8%、蛋白粉 10%、鱼粉 4%、乳清粉 8%、磷酸氢钙 1.2%、玉米油 2%、石粉 0.8%、微量元素等 7%),发酵菌液和全价料混合后容重为  $0.98 \text{ kg/m}^3$ 。饲喂种类有保育猪、小猪、母猪 3 种,饲喂次数保育猪每天 5 次、其他每天 3 次,发酵时间 1 月为 10~12 h,7 月为 6~7 h。样机整体试验如图 10 所示。

#### 4.2 试验结果与分析

在 1 月和 7 月的试验数据中,分别随机选取保育猪、小猪、母猪的数据各 2 组,主要作业性能指标如表 2 所示。发酵桶上料体积小于 20 L 时,实际上



图 10 样机试验

Fig. 10 Test of prototype

料体积与设定值差值较大,在 10% 左右,而上料体积较大时,误差小于 5%;饲喂车速度在满载时,在  $0.4 \sim 0.65 \text{ m/s}$ ,定位误差不大于 20 mm(平均值 11.75 mm),食槽排料体积误差不大于 6%,能够准确地将饲料投入食槽。

表 2 现场性能试验结果

Tab.2 Field experiment performance results

序号	发酵桶号	上料体积/ L	上料体积 误差/%	发酵时间/ h	饲喂对象	饲喂槽 个数	饲喂车定位 误差/mm	饲喂车速度/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	排料体积 误差/%
1	1	25	12	6.5	小猪	6	10	0.65	5
2	2	20	8	7.0	小猪	6	18	0.60	4
3	2	30	5	12.0	小猪	6	20	0.65	3
4	1	40	4	10.5	小猪	6	17	0.60	2
5	3	10	10	7.0	保育猪	4	10	0.50	6
6	3	15	11	6.0	保育猪	4	8	0.50	4
7	4	15	8	11.5	保育猪	4	18	0.60	5
8	5	12	8	10.0	保育猪	4	12	0.40	3
9	6	70	2	6.0	母猪	10	0	0.45	4
10	7	75	1	7.0	母猪	10	5	0.40	1
11	6	65	2	10.0	母猪	10	8	0.60	5
12	7	55	3	11.0	母猪	10	15	0.60	3

试验结果表明,饲料发酵结果符合饲喂要求,能够保证 3 种不同饲喂对象的连续饲喂,设备可连续作业超过 30 d。发酵时间控制、饲喂槽定位及定量左右布料,均符合设计要求。上料体积较小时误差比较大的原因,是未充分考虑输送机在输送时启动和结束时的误差。

## 5 结论

(1) 针对固态发酵饲料特点,设计了自动发酵饲

喂一体设备,实现了固态发酵饲料的生产和饲喂无缝对接,自动化程度高,减小了劳动强度,为发酵饲料在养殖中的推广提供了技术基础和相应设备。

(2) 针对养殖现场的需求,设计了螺旋输送上料、多桶轮流发酵的发酵设备,上料体积误差小。

(3) 设计自动饲喂系统,实现了发酵后自动下料,并根据需求实现饲喂对象的定点定量饲喂,饲喂槽左右布料控制精准,饲喂时定位误差较小(小于 20 mm)。

## 参 考 文 献

- 岑加福,韦其荣,朱国胜. 微生态发酵饲料及其发展现状[J]. 当代畜牧,2014(18):39-43.
- LUO Hongzhen, YANG Rongling, ZHAO Yuping, et al. Recent advances and strategies in process and strain engineering for the production of butyric acid by microbial fermentation[J]. Bioresource Technology, 2018, 253: 343-354.
- GUO Hongwei, CHANG Juan, YIN Qingqiang, et al. Effect of the combined physical and chemical treatments with microbial fermentation on corn straw degradation[J]. Bioresource Technology, 2013,148: 361-365.
- KUNG Limin, SHAVER R D, GRANT R J, et al. Silage review: interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages[J]. Journal of Dairy Science, 2018,101(5): 4020-4033.
- JOHNSON M C, DEVINE A A, ELLIS J C, et al. Effects of antibiotics and oil on microbial profiles and fermentation in mixed cultures of ruminal microorganisms[J]. Journal of Dairy Science, 2009,92(9): 4467-4480.
- 陶蕾,周玉岩,赵凤舞. 微生物发酵饲料在畜禽养殖中的发展现状及应用[J]. 安徽农业科学, 2015,43(13): 167-169.

- TAO Lei, ZHOU Yuyan, ZHAO Fengwu. Development status and application of microbial fermentation feed in livestock and poultry breeding[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015,43(13): 167-169. (in Chinese)
- 7 CANIBE N, JENSEN B B. Fermented liquid feed—microbial and nutritional aspects and impact on enteric diseases in pigs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 173(1): 17-40.
- 8 涂小丽, 钟芳, 邓伏清, 等. 微生物发酵饲料对生长猪生产性能和营养物质利用率的影响[J]. 饲料工业, 2015, 36(4): 36-38.
- TU Xiaoli, ZHONG Fang, DENG Fuqing, et al. Effect of fermented feed on growth performance and digestibility of nutrients in growing pigs[J]. Feed Industry, 2015, 36(4): 36-38. (in Chinese)
- 9 崔艳红, 韩庆功, 崔艺佳, 等. 益生菌复合发酵料对断奶仔猪消化环境、血清生化指标和代谢激素水平的影响[J]. 西北农业大学学报, 2018, 27(1): 16-23.
- CUI Yanhong, HAN Qinggong, CUI Yijia, et al. Effects of probiotics composite fermentation feed on gastrointestinal circumstance, serum biochemical and metabolic hormones indexes of weaning piglets [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2018, 27(1): 16-23. (in Chinese)
- 10 周映华, 胡新旭, 卞巧. 无抗发酵饲料对生长育肥猪生长性能、肠道菌群和养分表观消化率的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(3): 870-877.
- ZHOU Yinghua, HU Xinxu, BIAN Qiao. Effects of fermented feed without antibiotic on growth performance, intestinal flora and nutrient apparent digestibility of growing-finishing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(3): 870-877. (in Chinese)
- 11 李涛, 曾东, 倪学勤. 乳酸杆菌发酵饲料对猪生长性能和肉质及血清抗氧化性能的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(2): 192-195.
- LI Tao, ZENG Dong, NI Xueqin. Effect of lactic acid bacteria fermented feed on growth performance, meat quality and serum antioxidant activity of pigs[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2014, 40(2): 192-195. (in Chinese)
- 12 张秀林, 魏小兵, 欧长波, 等. 益生菌发酵饲料对仔猪生长和免疫功能影响的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2017, 44(2): 476-481.
- ZHANG Xiulin, WEI Xiaobing, OU Changbo, et al. Research progress of probiotics fermented feed effects on growth performance and immune function in piglets [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2017, 44(2): 476-481. (in Chinese)
- 13 陆文清. 猪用发酵饲料的生产与应用[J]. 北方牧业, 2009(10): 8-9.
- 14 高翔, 虞宗敢, 周荣. 我国常用发酵饲料加工设备概述[J]. 粮食与饲料工业, 2014(9): 47-55.
- GAO Xiang, YU Zonggan, ZHOU Rong. Summary of common fermented feed processing equipment in China[J]. Cereal & Feed Industry, 2014(9): 47-55. (in Chinese)
- 15 马京汉, 程存仁, 王影, 等. 集约化猪场液体饲料自动饲喂系统研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增刊2): 88-91.
- MA Jinghan, CHENG Cunren, WANG Ying, et al. Research on liquid feeding system for a large-scaled intensive pig farm[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(Supp. 2): 88-91. (in Chinese)
- 16 王德芝, 池永红, 范文斌, 等. 发酵工程设备[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2014.
- 17 庞美荣, 王春维. 螺旋输送机的功率计算[J]. 起重运输机械, 1995(8): 17-20.
- 18 李萍萍, 吴硕, 张西良, 等. 番茄秸秆与发酵菌种立式螺旋混合设备参数优化[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(11): 114-120. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20161115&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20161115&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.015
- LI Pingping, WU Shuo, ZHANG Xiliang, et al. Parameter optimization of vertical screw mixing for tomato straw and fermentation strains[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 114-120. (in Chinese)
- 19 杨非, 赵磊. 螺旋输送机动力及有限元疲劳分析[J]. 煤矿机械, 2014, 35(12): 128-129.
- YANG Fei, ZHAO Lei. Dynamic and finite element fatigue analysis on screw conveyor[J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(12): 128-129. (in Chinese)
- 20 中国农业机械化科学研究院. 实用机械设计手册[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1985.
- 21 赵金辉, 刘立晶, 杨学军, 等. 基于 PLC 的苔藓播种机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(增刊): 84-89. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=2016s013&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s013&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.013.
- ZHAO Jinhui, LIU Lijing, YANG Xuejun, et al. Design and experiment of tef seeder based on PLC[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(Supp.): 84-89. (in Chinese)