

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.09.014

猪舍轨道式自动送料系统设计与试验

庞昌乐¹ 程进¹ 张东旭¹ 陈刚²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 针对现有绞龙和塞盘等管道式输送粉状饲料方式存在残留量不易清理、送料量计量困难等问题,设计了一种由称量平台、送料车、平移轨道、高架轨道和控制系统组成的饲料自动输送系统。通过研究在送料车遍巡舍内圈栏位的基础上舍内圈栏与目标巡航时间的关系,确定送料车和轨道等硬件设计方案以及技术参数,结合称量传感器负反馈控制方法,设计WiFi无线控制系统,实现送料车装料和卸料的自动巡航控制,称量平台自动计量装料量,以及平移轨道机构对接称量平台与舍内双列圈栏轨道。以粉状饲料作为试验材料在中国农业大学上庄试验站进行了现场试验,结果表明:称量系统测量值与实际测量值的相对标准偏差平均值之差小于1%,系统测量值的最大相对标准偏差小于2.5%,满足精确供料要求;自动控制系统能够控制送料车按设计要求完成装料、巡航送料和卸料,具有实际应用价值。

关键词: 猪舍; 轨道式送料车; 称量平台; 在线监测; WiFi无线控制; Arduino

中图分类号: S817.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)09-0122-08

Design and Experiment of Orbital Feeding System for Pig Housing

PANG Changle¹ CHENG Jin¹ ZHANG Dongxu¹ CHEN Gang²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming at the problems of conveying powder feed by spiral springs and plug plates such as the clean of residue and the measurement of feed quantity, an automatic feeding conveying system consisted of weighing platform, feeding vehicle, translational orbit, overhead orbit and control system was designed. The design of feeding vehicle, orbit and parameters were determined by the relationship between the inner pigpen and the cruise time. Combined with the negative feedback control method of weighing sensor, the WiFi wireless control system was designed with Arduino control board. The system can realize automatic cruise control of feeding vehicle's loading and unloading, automatic measurement of loading quantity by weighing platform and the joint of weighing platform and the orbits by translational orbit mechanism. The experiment was made with powdery feed at China Agricultural University Shangzhuang Experimental Station. The results indicated that the difference between the relative standard deviation of the weighing system measured value and the actual measured value was less than 1%, the maximum relative standard deviation of the system measured value was less than 2.5%, and the weighing system had a high degree of accuracy. Additionally, controlled by the system, the feeding vehicle can complete loading, cruising and unloading functions according to requirements to realize two rows of pigpen feeding. The orbital feeding system had practical application value for precise feeding in the pig house.

Key words: pig housing; orbital feeding vehicle; weighing platform; online monitoring; WiFi wireless control; Arduino

0 引言

国内很多规模化养猪场育肥猪舍采用双列圈栏

饲养形式,饲养密度大,日常喂料是一项重复和繁重的劳动,近年来,随着人工成本和饲料成本的不断上升,迫切需要机械化和自动化饲养设备来提高养猪

收稿日期: 2018-04-04 修回日期: 2018-05-15

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA10230602)

作者简介: 庞昌乐(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事智能农业装备研究,E-mail: pangcl@cau.edu.cn

通信作者: 陈刚(1964—),男,副教授,主要从事设施养殖过程控制与环境研究,E-mail: chengang@cau.edu.cn

效益。自动输料系统能减少人员工作量,实现精确供料和节省饲料成本,提高饲喂效率,是规模化养猪场的重要配套设施^[1]。目前国内外养猪舍内的干饲料自动送料系统普遍采用绞龙输送和塞盘输送两种管道输料方式。饲料在管道内被绞龙或塞盘推向外料口后落入食槽,这种输料方式结构简单、输料速度较快,但管道易磨损,影响系统使用寿命,且容易产生管道堵塞、饲料粉末残留等问题,需定期清理^[2]。为了改进管道式供料的不足,叶浩等^[3]研究了轨道式自动喂料车向食槽供料,该车设置上下两层料箱,上层料箱暂时储存饲料,下层料箱向食槽供料,结构复杂,且料箱的出料口不够大,易引起箱内饲料结拱。

精确饲喂的实现主要有称量式和容积式两种计量方式^[4-6]。称量式计量主要应用于母猪的饲喂^[7],在保育、育肥方面应用很少。目前精确饲喂系统中大部分使用的是容积式计量,其包括简单的容器定容积计量和螺旋容积计量^[8-9],也有通过槽轮进行容积式计量的实例^[10],容积式计量方法简单易行,但与饲料密度密切相关,对料位、摩擦、挤压等与饲料密度有关的因素十分敏感。且容积式计量在双列圈栏、管道式连续输送系统中应用时每个食槽上方都要单独设置一套计量装置,通用性较差。

针对上述问题,本文设计一种应用于保育、育肥猪舍的高架轨道式饲料自动输送系统,该系统可实现送料车装料量精确计量、自动巡航卸料的自动化作业。配合料库自动装料系统和自动化饲喂食槽,可组成适用于规模化养猪场的自动饲喂系统。

1 自动送料系统组成与工作原理

自动送料系统既需要满足自动喂料要求,又需要避免生猪的过激反应,尽可能保证同一栏舍内猪群同时喂料和精确喂料^[11]。

猪舍内自动送料系统主要由装料系统、称量平台、送料车、平移轨道、高架轨道、圈栏接料系统和电控系统等组成,如图1所示。装料系统接收和存放舍外供料装置输送进来的饲料,向送料车卸料。送料车装料、行走和落料均由电控系统自动控制。

称量平台位于装料系统出料口正下方,上面设有轨道。送料车装料作业时,电控系统控制送料车行驶到称量平台上停止,将称量平台归零后,控制装料系统卸料机构向送料车排料,直至排料量达到设定值时停止;送料车启动前往目标圈栏过程中,平移轨道载着送料车自动连接到目标圈栏的轨道线上,送料车继续前行直到碰到目的地行程开关时停止,并打开卸料阀向食槽接料仓卸料。卸料完毕,送料

车自动返回储料箱下方继续装料,重复上述作业过程。当舍内设定的圈栏都巡航一遍后,圈栏落料系统打开所有接料仓的下料阀门同时向食槽卸料,送料车自动返回停泊位待命。

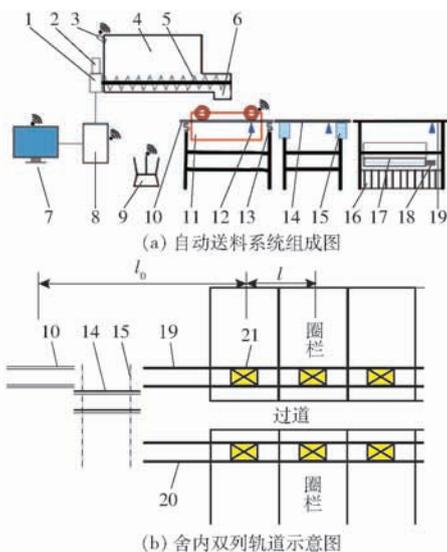


图1 猪舍饲料自动送料系统示意图

Fig. 1 Schematic diagrams of automatic feeding system for pig housing

1. 蜗轮蜗杆减速器 2. 料箱电动机 3. 储料箱监控摄像头
4. 储料箱 5. 下料绞龙 6. 出料口 7. 计算机 8. 控制箱
9. 路由器 10. 称量平台 11. 送料车 12. 行程开关 13. 称量传感器
14. 平移轨道 15. 平移槽轮滑轨 16. 圈栏栅栏
17. 圈栏接料仓 18. 落料阀门 19、20. 双列轨道 21. 食槽

2 自动送料系统设计

2.1 装料系统

装料系统由图1中1~6所组成,负责存贮舍外供应的饲料并向送料车卸料。其储料箱容积要大于送料车料仓容积,以保证向送料车稳定供料,其容积计算公式为

$$V_b = knV_c \quad (1)$$

其中 $1/3 \leq k \leq 1/2$

式中 V_b ——储料箱容积, m^3
 k ——系数,由放置储料箱的空间大小确定
 n ——舍内送料位个数
 V_c ——送料车料仓容积, m^3

储料箱底部设有并列双螺旋机构向送料车排料。

2.2 送料车

送料车实际上是一个移动的储料仓,运输粉状饲料时,由于粉状饲料含有一定的含水率,尤其是猪舍潮湿环境容易吸潮而具有较强的团聚性,加上车体振动压实而影响卸料,因此,送料车设计时应满足以下要求:送料车行走平稳,不能脱轨;卸料时,箱内料仓不发生结拱,一次性落完料,料仓内干净无残

留,防止粉尘飞扬。实现上述要求的送料车结构设计如图2所示。主要由车架、料仓、防尘盖、卸料蝶阀、电动机、集电器和控制箱等组成。车架根据轨道尺寸,设计为1320 mm×400 mm×400 mm的长方体结构,轴距970 mm,轮距580 mm,采用50 mm×30 mm×4.0 mm热镀锌矩形管作为车架材料,材质为Q235钢。使用两极滑触线集电器给移动送料车及其控制电路供电,可简化电缆供电的复杂结构。

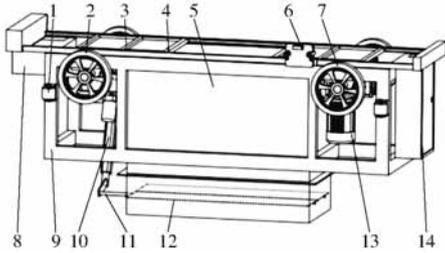


图2 送料车结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of feeding vehicle

1. 导向轮 2. 从动轮 3. 防尘盖 4. 防尘盖导轨 5. 料仓
6. 集电器 7. 驱动轮 8. 防尘盖驱动装置 9. 车架 10. 推杆电动机
11. 蝶阀开启杠杆 12. 蝶阀 13. 电动机 14. 控制箱

2.2.1 料仓设计

料仓设计重点考虑卸料时粉体饲料的流动型态和不出现结拱。不出现结拱的理想流动型态是整体流^[12],正确选用壁面材料和设计料仓的几何结构,使料仓中饲料向下流动的作用力始终大于摩擦力,是送料车卸料顺畅的关键。

粉体饲料在料仓内流动时受壁面摩擦力阻碍,摩擦力与壁面摩擦角有关,壁面摩擦角越小,摩擦阻力越小。聚四氟乙烯和304不锈钢是两种壁面摩擦角较小的壁面材料,其壁面摩擦角均优于碳钢、塑料等其它材料^[13]。

料仓几何结构设计主要是料仓底部出口形状和尺寸设计。当饲料在仓底出口处发生结拱时,饲料对底部侧壁的压力可分为下滑力与正压力两个分力,正压力 S 的反力就是引起结拱的支座反力^[14]。

$$S = Q \cos \theta \quad (2)$$

式中 Q ——饲料对料仓底部倾斜侧壁的压力

θ ——料仓底部侧壁倾角

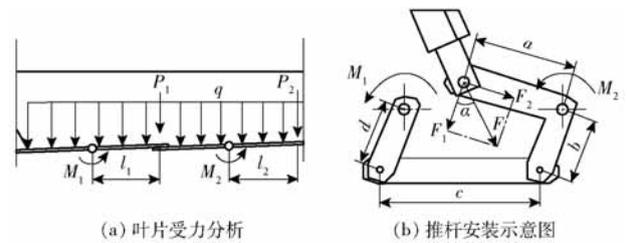
研究表明^[15-16]:出料口在条件允许的情况下,越大越有利于物料流动,圆形出料口直径一般大于300 mm,方形出料口边长一般大于200 mm,侧壁倾角大于饲料休止角 30° 。

综上分析,本文设计的送料车料仓壁面材料采用304不锈钢,厚度0.8 mm,将出料口设计为矩形,尺寸为340 mm×700 mm,侧壁设计为竖直壁结构,即 $\theta = 90^\circ$,料仓高度为550 mm。根据式(2)可得饲料对侧壁的正压力为零,卸料时料仓内饲料呈整体

流动,不会出现结拱现象。

2.2.2 蝶阀推杆电动机选型

采用双页蝶阀作为料仓出料口阀门,蝶阀由电动推杆驱动开闭,蝶阀叶片和推杆受力如图3所示。



(a) 叶片受力分析

(b) 推杆安装示意图

图3 叶片受力分析与推杆安装示意图

Fig. 3 Blade force analysis and electric actuator installation diagram

蝶阀在开启时,不仅受叶片上方饲料均布载荷的影响,还与饲料自身内部摩擦等因素有关,将蝶阀开启时作用在叶片上的载荷简化为等效载荷 P_1 、 P_2 ,如图3a,蝶阀开启力矩为

$$\begin{cases} M_1 = P_1 l_1 \\ M_2 = P_2 l_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中 M_1 、 M_2 ——蝶阀叶片开启力矩, N·m
 P_1 、 P_2 ——叶片上最大静力等效载荷, N
 l_1 、 l_2 ——叶片受力点到中心杆距离, m
分析图3b中杆件受力,得到

$$\begin{cases} F_1 = F \cos \alpha \\ F_1 a = M_1 + M_2 \end{cases} \quad (4)$$

式中 α ——电动推杆推力角, ($^\circ$)

F ——电动推杆推力 F_1 —— F 的分力

a ——连杆长度, m

由式(4)得电动推杆推力 F 的计算公式为

$$F = \frac{M_1 + M_2}{a \cos \alpha} \quad (5)$$

蝶阀实际开启力往往高于理论计算值^[17],为保证计算准确,本文采用试验加理论计算来测量蝶阀开启力。将80 kg饲料放入料仓内,使用数显拉力计实测蝶阀的开启力矩为29.56 N·m。考虑到安装空间问题,电动推杆选择150 mm行程,根据蝶阀开启角度 86° 计算出开启连杆长度 $a = 110$ mm,根据式(5)可得推杆至少需要有367.44 N的推力,所以选择推力为500 N的电动推杆,伸缩速度24 mm/s,作用到蝶阀驱动轴上的转矩为40.22 N·m,满足开启转矩要求。

2.3 称量平台

称量平台结构设计如图4所示,由1.5 m长轨道、称量传感器、支架和测量电路组成,轨道通过连接套与称量传感器连接。称量传感器采用电阻应变

片测力传感器,单个传感器量程为 50 kg,输出灵敏度为 $(1.0 \pm 0.1) \text{ mV/V}$,名义电阻为 $1\ 000 \ \Omega$ 。选取 4 个阻值相同的传感器组成电压灵敏度高的全桥测量电路,后接信号调节放大电路^[18]。称量平台最大满量程为 200 kg。为避免传感器过载损坏,设计满量程为 180 kg。

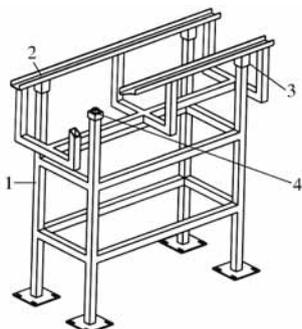


图4 称量平台结构示意图

Fig. 4 Structure diagram of weighing platform

1. 支架 2. 轨道 3. 连接套 4. 称量传感器

根据惠斯通电桥原理,称量平台输出电压 U_0 与加载力 F_0 的关系式为^[19]

$$U_0 = \frac{F_0}{F_m} U_{0m} = \frac{K_F U_i}{F_m} F_0 \quad (6)$$

式中 U_0 ——总输出电压,V

U_{0m} ——满量程输出电压,V

U_i ——桥路所加激励电压,V

K_F ——灵敏度,mV/V

F_m ——满量程力,N

F_0 ——加载力,N

送料车停止在轨道上装料,加载力是轨道、送料车和饲料三者重力的合力。对于设计的称量平台,激励电压、灵敏度等已知,可以通过加载标准砝码由式(6)标定加载力和输出电压 U_0 的关系(标定试验见 4.1 节),输出电压经调节电路放大后由单片机采集,即可计算实际加载力。称量时,先通过程序去除轨道和送料车空质量(即去皮质量),然后计算出料质量。

2.4 平移轨道机构与舍内轨道

在双列圈栏的食槽上方分别设置双列高架轨道,架设高度 1.8 m,采用 8 号槽钢,轨距 500 mm,轨道支撑立柱固定在栏间栅栏上。为了使称量平台旁边的单列轨道和舍内双列送料轨道对接,设计了如图 5 所示的平移轨道机构,轨道长度 1.5 m,平移轨道由曳引电动机驱动,可载运送料车在两列圈栏的送料轨道之间平移。

2.5 接料仓

接料仓结构如图 6 所示,其作用是暂时储存送料车送来的饲料,待所有圈栏送料结束后统一打开蝶阀向下方食槽内落料,确保喂料时间一致,防止猪

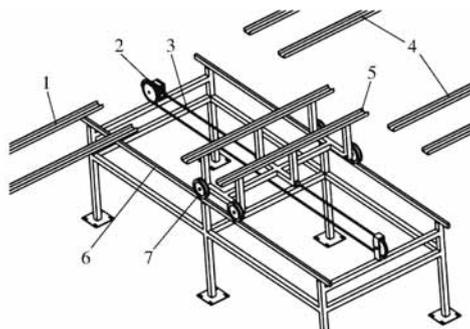


图5 平移轨道结构示意图

Fig. 5 Structure diagram of translational orbit

1. 单列轨道 2. 曳引电动机与曳引轮 3. 曳引绳 4. 双列轨道
5. 平移轨道 6. 槽轮轨道 7. 槽轮

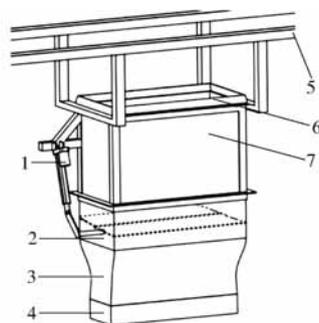


图6 接料仓结构示意图

Fig. 6 Structure diagram of receiving feed bin

1. 推杆电动机 2. 蝶阀 3. 柔性连接套 4. 食槽进料口 5. 送料轨道 6. 橡胶防溅套 7. 接料仓

群应激反应。送料车卸料口和接料仓上开口之间、接料仓和食槽之间都由软质的柔性橡胶套连接,有效限制了落料过程中粉尘的扩散。

2.6 送料车运行参数设计

2.6.1 总送料时间 T

送料车单次装料、卸料和巡航所耗时间 T_i (s) 的计算公式为

$$T_i = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (7)$$

式中 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 分别为轨道平移时间、装料时间、巡航时间、卸料时间和延时时间。其中,卸料时间和延时时间通过试验确定,巡航时间由送料车巡航速度确定。

设猪舍送料位数量为 n 个,其中有 n_p 个料位位于第 2 列,需要经过平移轨道,装料处与第 1 个送料位的距离为 l_0 ,相邻送料位间的距离为 l ,每次装料量为 m ,装料系统装料速度为 u_m (试验测定 $u_m = 1.1 \text{ kg/s}$),送料车巡航速度为 V ,送料车在装料位和卸料位处工作前后停止延时各 5 s (共计 20 s),试验测定卸料时间约为 10 s,轨道平移时间 27 s (含料车停止启动时间),根据式(7)可计算各次单独送料所耗时间。

单列情况下,第 1 个送料位耗时为

$$T_1 = \frac{m}{u_m} + 2 \frac{l_0}{V} + 30$$

第2个送料位耗时为

$$T_2 = \frac{m}{u_m} + 2 \frac{l_0 + l}{V} + 30$$

第 n 个送料位耗时为

$$T_n = \frac{m}{u_m} + 2 \frac{l_0 + (n-1)l}{V} + 30$$

将 n 个送料位单独送料所耗时间和 $2n_p$ 次轨道平移的时间相加得到送料总时间为

$$T = \frac{n}{3600} \left(\frac{m}{u_m} + 2 \frac{l_0}{V} + 30 \right) + \frac{l}{1800V} \sum_{i=1}^{n-1} i + \frac{3n_p}{200} \quad (8)$$

2.6.2 送料车巡航速度 V

先根据生产实际情况初步确定总送料时间 T , 然后根据式(8)确定送料车运行速度 V 。文中, $l_0 = 5 \text{ m}$, $l = 3 \text{ m}$, 送料位 $n = 30$, 第2列料位 $n_p = 15$, 每个送料位送料 80 kg , 设定总送料时间为 $2.5 \sim 3.5 \text{ h}$, 则根据式(8)计算出送料车巡航速度 V 为 $0.334 \sim 0.569 \text{ m/s}$ 。

2.6.3 送料车减速器选型及电动机功率

(1) 减速器选型

送料车车轮驱动轴与电动机之间设有减速器, 拟采用单相4级异步电动机, 转速 1400 r/min 。减速器减速比 i 为

$$i = \frac{\pi n_c d}{60V} \quad (9)$$

式中 n_c ——电动机输出转速, r/min

d ——车轮直径, 取 0.25 m

将已知数值代入式(9)计算出减速比 i 为 $1/54 \sim 1/32$ 。选择减速比为 $1/50$ 的 NMRV50 型蜗轮蜗杆减速机, 效率 40% , 具有良好的自锁性能。

综上计算出送料车巡航速度为 0.367 m/s 。代入式(8)计算出送料时间为 3.28 h , 符合设计要求。

(2) 电动机功率

电动机功率根据其所受阻力计算。送料车在水平轨道匀速行驶, 车速较低, 空气阻力可以忽略, 所需功耗 $P(\text{kW})$ 为^[20]

$$P = \frac{m_{\max} g f V}{1000 \eta} \times 1.25 \quad (10)$$

式中 η ——机械系统和电气系统总效率, 蜗轮蜗杆减速机效率 0.4 , 电气系统效率 0.95 , 则总效率为 0.38

m_{\max} ——最大整车质量, 200 kg

g ——重力加速度, 9.8 m/s^2

f ——滚动阻力系数, 取 0.1

按式(10)计算得送料车正常行驶所需功耗为 0.24 kW 。

综上, 送料车选择功率 370 W 单相4级异步电动机, 配合速比为 $1/50$ 的 NMRV50 型减速器, 输出扭矩为 $47.12 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。

3 控制系统设计

控制系统主要负责控制送料车装料、装料量计量、自动巡航和卸料, 协调整个系统的运行。

3.1 硬件设计

控制电路硬件可分为主控制箱电路、装料系统电路、送料车控制系统电路3部分, 由上位机或主控箱按键控制。控制电路中包含了电源、单片机控制单元、通信模块、电动机驱动模块、称量信号处理电路等。主控单元和送料车控制单元采用 Arduino 系列单片机, 两单片机通过 WiFi 无线模块建立通信联系, 系统控制电路图和硬件配置分别如图7和表1所示。

3.2 软件设计

系统软件设计包括上位机控制界面设计和下位机编程设计。下位机包括主控单片机和控制送料车单片机, 完成实际设备的监控。控制系统软件设计采用 Arduino 编程语言, 控制流程图如图8所示。

上位机控制界面使用 LabVIEW 软件设计, 如图9所示, 其主要功能是监控下位机, 通过 RS232 串口向下位机发送相关控制指令。上位机控制界面由6个功能区块组成:

(1) 手动/自动切换区: 在上位机控制模式下, 切换手动/自动控制模式, 包括系统急停按钮也在此区。

(2) 送料车控制区: 在手动控制模式下, 可以操作此区按钮来控制送料车的前进、后退以及卸料蝶阀的关闭。

(3) 平移轨道控制区: 用户可在此查看平移轨道位置, 在手动控制模式下, 通过此区控制平移轨道与送料轨道的对接。

(4) 送料量设定区: 用户可以通过旋钮设定送料量。在储料箱内料量不足时, 报警灯报警提醒加料。

(5) 系统信息显示区: 用户可在此查看 WiFi 的连接情况、储料箱饲料是否充足、送料是否结束、送料车是否在停泊位, 从而根据这些信息进行系统的操作。

(6) 送料圈栏选择区: 可全选或单独选择某一个或多个按钮作为送料车送料的目标圈栏位。

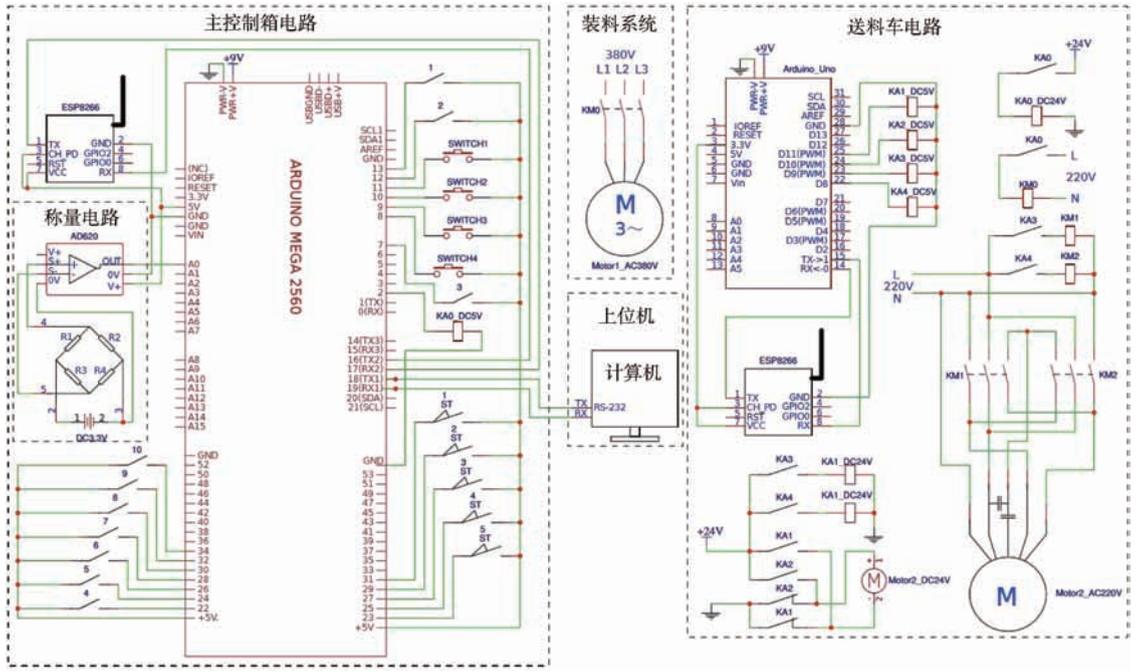


图7 控制系统电路图

Fig.7 Control system circuit diagram

表1 控制系统硬件配置

Tab.1 Control system hardware

设备名称	规格型号
主控单片机	Arduino MEGA 2560
控制送料车单片机	Arduino UNO R3
WiFi 无线模块	ESP8266
降压模块	RisymLM2596S
称量信号调理模块	AD620



图9 上位机控制界面

Fig.9 Interface of control software

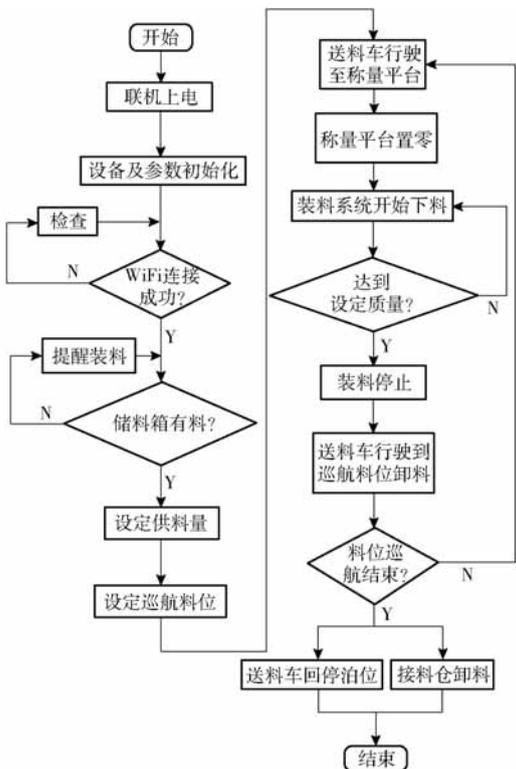


图8 控制系统流程图

Fig.8 Flow chart of control system

4 试验与结果分析

4.1 称量平台标定试验

试验设备:10~80 kg 砝码和本文设计的称量平台系统。

试验方法:采用不带车的砝码加载标定。标定时,每隔5 kg 采样一次,同一组重复进行6次,取平均值作为本组实测值。

根据式(6)对称量平台进行标定。试验数据(环境温度为8℃)如表2所示。由表2可知,不带车标定时,在线监测数据的相对标准偏差在1%以内,系统测量精度较好,数据可靠。

4.2 验证试验

为验证在线监测系统的性能及可靠性,开展了饲料装载试验,如图10所示。试验饲料为育肥用粉状饲料,含水率11.62%,休止角37.763°。试验时

表2 加载标定数据

Tab.2 Load calibration data

砝码质 量/kg	读取值/kg						平均 值/kg	相对标准 偏差/%
	试验1	试验2	试验3	试验4	试验5	试验6		
10	9.90	9.95	9.90	9.98	9.97	10.05	9.96	0.561
15	14.95	15.01	14.90	14.87	14.97	15.07	14.96	0.486
20	19.85	20.10	20.15	20.00	20.10	20.00	20.03	0.539
25	24.90	25.05	25.10	25.02	24.95	24.97	25.00	0.290
30	30.15	29.70	29.90	29.95	29.95	29.97	29.94	0.483
35	35.25	35.00	35.10	35.05	34.90	34.87	35.03	0.398
40	40.10	39.75	40.02	39.90	40.60	39.90	40.05	0.741
45	45.11	44.95	45.13	44.95	45.00	45.50	45.11	0.461
50	50.10	50.05	49.85	49.05	50.05	50.45	49.93	0.943
55	54.90	54.20	54.90	54.90	55.00	55.00	54.82	0.558
60	60.00	59.30	60.15	60.75	60.15	60.15	60.08	0.773
65	64.85	64.45	64.85	65.05	65.05	65.80	65.01	0.685
70	69.70	70.00	70.00	70.12	70.00	69.10	69.82	0.544
75	75.10	75.10	75.85	75.62	74.87	74.90	75.24	0.534
80	79.10	80.65	80.10	80.10	80.65	80.10	80.12	0.707

(环境温度4℃),先将饲料倒入储料箱中,并将送料车停止在储料箱下方,然后控制系统按设定值向送料车排料,系统自动记录测量值,同时将落下的料全部收集后进行人工称量,每组设定值重复6次试验,



图10 验证试验现场

Fig.10 Test site

结果如表3所示。

4.3 结果与讨论

系统测量值相对标准偏差平均值为1.22%,实际落料量相对标准偏差平均值为1.52%,两者之差小于1%,系统测量值的最大相对标准偏差小于2.5%,精度满足计量要求。如表3所示系统测量结果与实际测量结果十分接近,准确度较高,可满足实时监测功能需求和精度要求。表3中有些实际测量值较系统测量结果偏大,原因是试验时存在风的干扰,在落料电动机停止旋转后风将储料箱出料口处的部分残余粉料吹落到送料车中。

表3 系统测量值与实际值统计

Tab.3 Summary of system measurement and actual values

试验 序号	参数	送料量设定值/kg							
		10	20	30	40	50	60	70	80
1	系统测量值/kg	10.23	20.12	29.86	40.27	50.30	60.62	70.35	79.74
	实际值/kg	10.50	20.00	30.00	40.65	49.90	61.00	71.00	80.00
2	系统测量值/kg	9.54	19.13	29.94	39.62	49.52	59.96	69.80	79.63
	实际值/kg	9.90	19.55	30.15	39.65	49.35	58.75	70.50	79.85
3	系统测量值/kg	9.63	20.32	29.94	40.01	50.20	60.08	70.12	80.62
	实际值/kg	9.93	20.70	30.10	40.25	50.80	60.30	69.93	81.05
4	系统测量值/kg	9.74	19.68	29.15	39.65	49.30	60.74	69.70	79.88
	实际值/kg	9.95	20.10	29.30	40.00	51.20	61.05	70.50	80.20
5	系统测量值/kg	9.89	19.70	29.03	40.32	50.62	60.32	71.20	80.26
	实际值/kg	10.10	20.00	29.15	41.60	52.00	61.05	70.50	81.05
6	系统测量值/kg	9.72	19.81	29.65	39.62	50.38	60.28	71.20	79.92
	实际值/kg	10.05	20.05	29.95	39.93	50.65	61.35	71.60	80.00
系统测量平均值/kg		9.79	19.79	29.60	39.92	50.05	60.33	70.40	80.01
实际测量平均值/kg		10.07	20.07	29.78	40.35	50.65	60.58	70.67	80.36
系统值标准差/kg		0.24	0.41	0.41	0.33	0.52	0.30	0.66	0.37
实际值标准差/kg		0.22	0.37	0.43	0.70	0.94	0.96	0.57	0.55
系统相对标准偏差/%		2.498	2.078	1.375	0.826	1.043	0.500	0.945	0.460
实际相对标准偏差/%		2.216	1.836	1.459	1.735	1.852	1.590	0.802	0.681

5 结论

(1)猪舍轨道式自动送料系统能够通过WiFi无线控制系统实现送料车装料、称量、巡航、定位卸料和统一向食槽投料的全过程自动控制,满足舍内饲料机械化、自动化的精确供料要求。

(2)采用高架轨道平移方案解决了一套设备为多列圈栏送料的问题,同时,高架轨道充分利用圈栏上方空间,不妨碍舍内其它正常作业,对猪群的干扰小,因此,该方案适用于单列、双列或多列圈栏猪舍舍内自动化送料设备使用。

(3)送料车装载饲料称量试验结果显示,系统

测量值与实际落料量相对标准偏差平均值之差小于 1%, 系统测量值的最大相对标准偏差小于 2.5%, 表明称量平台精度满足精确饲喂计量要求, 可作为饲料在线监测装置使用。

参 考 文 献

- 1 朱军, 麻硕士, 慕厚春, 等. 种猪自动精细饲喂系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 174-177.
ZHU Jun, MA Shuoshi, MU Houchun, et al. Design of auto-precision feeding system for pigs[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 174-177. (in Chinese)
- 2 吴同山. 使用母猪自动送料系统遇到的问题及改进措施[J]. 猪业科学, 2016, 33(3): 94-95.
WU Tongshan. Problems and improvement measures of sow automatic feeding system[J]. Swine Industry Science, 2016, 33(3): 94-95. (in Chinese)
- 3 叶浩, 肖世德, 孟祥印, 等. 大型养猪场自动喂料小车的设计与实现[J]. 农机化研究, 2010, 32(1): 146-148.
YE Hao, XIAO Shide, MENG Xiangyin, et al. Design and implementation of the automatic feeding vehicle in the large-scale breeding farm of pigs[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(1): 146-148. (in Chinese)
- 4 倪志江, 高振江, 蒙贺伟, 等. 智能化个体奶牛精确饲喂机设计与实验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 205-209.
NI Zhijiang, GAO Zhenjiang, MENG Hewei, et al. Design and experiment on intelligent precising feeding machine for single dairy cow[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 205-209. (in Chinese)
- 5 蒙贺伟, 高振江, 坎杂, 等. 等径变螺距奶牛精确饲喂给料装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 103-107.
MENG Hewei, GAO Zhenjiang, KAN Za, et al. Design and experiment on dairy cow precision-feeding device based on equal-diameter and variable-pitch[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 103-107. (in Chinese)
- 6 XU M, SHEN G, NI J. Research on PLC-based automatic liquid pig-feeding system[J]. Key Engineering Materials, 2011, 480-481: 335-340.
- 7 SLADER R W, GREGORY A M S. An automatic feeding and weighing system for ad libitum fed pigs[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 1988, 3(2): 157-170.
- 8 蒙贺伟, 郭跃虎, 高振江, 等. 双模自走式奶牛精确饲喂装备设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 52-56. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130211&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.02.011.
MENG Hewei, GUO Yuehu, GAO Zhenjiang, et al. Design and experiment on dual-mode self-propelled precise feeding equipment for dairy cow[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 52-56. (in Chinese)
- 9 陈小江. 分娩母猪自动饲喂系统的设计与研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
CHEN Xiaojiang. Study on automatic feeding system for delivered sows[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- 10 舒娟, 易烈运, 彭安, 等. 基于RFID的生猪自动饲喂控制系统的研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(2): 73-75.
SHU Juan, YI Lieyun, PENG An, et al. Research on intelligent feeding control system for pigs based on RFID[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(2): 73-75. (in Chinese)
- 11 潘金林. 机械化自动喂料设备在猪场中的应用效果[J]. 农机使用与维修, 2016(3): 71-72.
PAN Jinlin. Application of mechanical automatic feeding equipment in pig farms[J]. Farm Machinery Using & Maintenance, 2016(3): 71-72. (in Chinese)
- 12 蔡国华, BERRY R J, DENG Tong. 基于粉体流动测试仪的水泥流动性分析[J]. 中国粉体技术, 2016(1): 97-100.
CAI Guohua, BERRY R J, DENG Tong. Analysis on flowability of cement based on powder flow tester [J]. China Powder Technology, 2016(1): 97-100. (in Chinese)
- 13 陈长冰. 基于整体流型的粉体料仓设计分析[J]. 化工设备与管道, 2006, 43(3): 34-38.
CHEN Changbing. Design and analysis of silos with mass flow[J]. Process Equipment & Piping, 2006, 43(3): 34-38. (in Chinese)
- 14 朱世浩. 粉料仓的“结拱”分析及粉料仓的形状[J]. 饲料工业, 1980(3): 11-16.
ZHU Shihao. Powder barn “knot arch” analysis and shape[J]. Feed Industry Magazine, 1980(3): 11-16. (in Chinese)
- 15 袁洪岭. 饲料料仓结拱的原因及防治[J]. 西部粮油科技, 1998(1): 44-46.
YUAN Hongling. Cause and remedies of feed bin bridging[J]. Western Cereals and Oils Science and Technology, 1998(1): 44-46. (in Chinese)
- 16 张万全. 饲料的结拱和破拱[J]. 饲料研究, 1981(1): 15-17.
ZHANG Wanquan. Knotted and broken arch of feed[J]. Feed Research, 1981(1): 15-17. (in Chinese)
- 17 张长森. 粉体技术及设备[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2007: 49.
- 18 姜学文. 半导体应变片全桥电路的补偿[J]. 仪表技术, 1989(4): 7-10, 23.
- 19 李晓莹, 张新荣, 任海果, 等. 传感器与测试技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 110-117.
- 20 陈清泉, 孙逢春, 祝嘉光. 现代电动汽车技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.