

# 基于 PLC 的青贮圆草捆打捆机控制系统设计

肖章 刘亮东\* 王光辉 高东明 白阳 王德成

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

**摘要** 针对我国现有青贮圆草捆打捆机控制部分自动化程度较低,存在草捆缠网圈数不稳定、质量偏差大等问题,运用 STEP7-Micro/WIN 软件编程,设计研发一种以 PLC 控制器、人机接口触摸屏、模拟量模块为核心,配备相应传感器、执行器硬件的全自动打捆机控制系统。该系统带有可视、简洁的过程监视界面,采取软硬件结合防干扰措施。样机试验结果表明:在该控制系统工作下,草捆圈数合格率 100%,草捆密度最大相对误差 3.9%,其他各项作业功能均达到设计要求。

**关键词** 打捆机; 圆草捆; 控制系统; PLC; 防干扰

中图分类号 S 817.11<sup>+</sup>5

文章编号 1007-4333(2013)06-0175-05

文献标志码 A

## Control system design of silage round baler based on PLC

XIAO Zhang, LIU Liang-dong\*, WANG Guang-hui, GAO Dong-ming,  
BAI Yang, WANG De-cheng

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** For the problems of the low degree of automation of existing silage round baler control system, the unstable number of bale net laps and the big deviation of bale weight, a new automatic baler control system was designed by integrating PLC, human-machine interface touch screen and analog module and equipped with appropriate sensors and actuators with STEP7-Micro/WIN software for programming. This system had a visual, simple interface and took certain measures of software and hardware to avoid interference. Through test, the system was verified that baling laps qualification rate was 100%, baling density maximum relative error was 3.9%. The performance of the new design could meet the expected requirements.

**Key words** bundling machine; round baler; control system; PLC; anti-interference

近年来,随着农业机械化水平的提高以及农机购置补贴、禁止秸秆焚烧等政策的实施,我国饲草收获机械市场逐渐扩大。同时,各大奶牛饲养场对青贮饲料需求提高,使得农业青贮饲料收获机械前景看好,青贮圆草捆打捆机需求量也随之增加<sup>[1]</sup>。

目前,国外青贮圆草捆打捆机在控制系统设计方面,广泛采用可编程控制器(PLC)、工业控制机(IPC)、单片机等自动控制手段,具有人机界面友好、工作安全可靠等特点<sup>[2]</sup>。美国约翰·迪尔公司生

产的 447 型圆捆机,采用 BaleTrak™ 正面监视器和打捆张力调节系统,具有良好的操作性、安全性和打捆一致性<sup>[1]</sup>。德国克拉斯公司生产的 Rollant 系列圆捆机,采用视觉指示器、信号灯和电子指示器,具有草捆密度可调等特点。国内大多数圆草捆打捆机自动化程度不高,主要使用人工控制,部分使用单片机控制,或 PLC 控制<sup>[3-6]</sup>。人工控制耗费大量人力,效率低,且容易使生产者产生作业疲劳。单片机开发成本较低,但抗干扰能力差,不易扩展。PLC 抗

收稿日期:2013-02-25

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划课题(2011BAD20B04);公益性行业(农业)科研专项项目(201203024)

第一作者:肖章,硕士研究生,E-mail:xz\_827@163.com

通讯作者:刘亮东,副教授,主要从事机械电子工程研究,E-mail:lld62336512@126.com

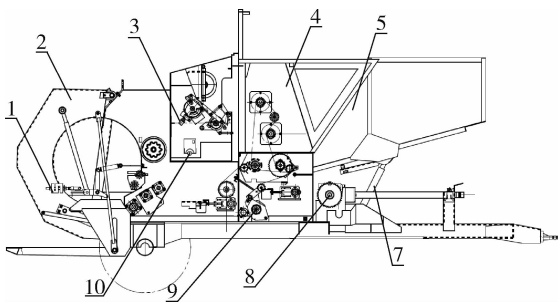
干扰能力强,扩展能力好,但当前国内使用 PLC 控制的打捆机,存在草捆缠网圈数不稳定、质量偏差大等问题,导致草捆产品质量不好,影响到青贮饲料的存储和运输。

本研究拟设计一个以 PLC 为核心的自动控制系统,并对该系统所受到的干扰采取必要防范措施,以达到精确控制打捆缠网圈数和草捆质量的目的。

## 1 主要结构及工作原理

国内大部分圆草捆打捆机主要用于干草收获,而针对青贮湿草收获的圆草捆打捆机产品不多。中国农业大学工学院研发的 9QBJ-850 型碎料青贮圆捆机可用于青贮湿草打捆。该碎料青贮圆捆机摒弃了传统的捡拾机构,在机具前部设置一个可活动的进料仓,这是与一般圆草捆打捆机的最主要区别。

青贮圆捆机工艺流程分为进料、成捆、缠网、切网和出捆 5 个作业段<sup>[7-12]</sup>。其中进料由进料仓、喂料轮等机构完成;成捆阶段在成捆辊内完成;缠网阶段由送网电机、缠网计数传感器等组成的缠网机构完成;切网阶段由切网刀、执行器等组成的切网机构完成;出捆阶段由液压控制的出捆仓门完成。机械结构见图 1。



1. 压力传感器; 2. 出捆仓门; 3. 送网电机; 4. 送料仓部分;
5. 翻斗仓部分; 6. 液压缸; 7. 喂料轮;
8. 传递齿轮; 9. 切网刀执行器。
1. Tention sensor; 2. Bundle outdoor; 3. Net motor;
4. Feeding bin; 5. Rolling over bin; 6. Hydraulic cylinder;
7. Feeding wheel gear; 8. Transmission gear;
9. Net cutting knives actuator.

图 1 9QBJ-850 型碎料青贮圆捆机总体结构

Fig. 1 Block diagram of the 9QBJ-850 silage round baler

本控制系统应用在 9QBJ-850 型碎料青贮圆捆机上,基于 PLC 的青贮圆草捆打捆机控制系统即把 5 个作业段有序的连接起来,完成圆草捆打捆机的自动打捆工作。

## 2 自动控制系统分析及设计

### 2.1 控制要求分析

系统输入信号主要包括进料斗位置、出捆仓门位置、草捆质量、缠网圈数、切网刀位置、电机起始位置等,由对应的传感器和行程开关完成信号采集。输出信号主要包括进料仓的升降、出捆仓门的升降、送网电机的启停、割网刀执行器转动、喂料轮的启停等,由对应执行器完成动作输出。PLC 系统有输入信号 11 个、输出信号 12 个。

控制系统由系统硬件和软件 2 部分组成。系统硬件主要由 PLC、触摸屏、切网刀执行器、液压电磁阀、送网电机、草捆张紧力传感器、缠网计数传感器、各行程限位开关以及手动控制开关组成。系统软件部分主要由 PLC 梯形图编写顺序控制程序。

### 2.2 硬件设计及选型

控制系统包含 9 个开关量输入,2 个模拟量输入,12 个开关量输出。考虑到一定的冗余,选择 PLC 型号为 CPU226。控制系统中包括 2 个模拟量输入,选择一个模拟量模块 EM231。触摸屏选择西门子 HMI 面板。本青贮圆草捆打捆机要求预设张紧力值可根据实际调,为保证精度,采用 2 个量程为 1 000 kg 的力传感器,理论精度为 $\pm 1$  kg,满足控制要求。切网机构中,切网刀的动作为旋转运动。初始时割网刀处于水平位置,当割网刀轴顺时针转过 $45^\circ$ 时,割网刀接触到网,网被割断,并且在打捆过程中可以使割网刀反方向旋转回位。根据试验要求,选用一个快速开关型割网刀执行器,2 s 内转动 $45^\circ$ ,满足快速割网的控制要求。由于出捆的缠网圈数要求精确可控,在相关的齿轮上安装缠网计数传感器,根据安装齿轮和转辊传动结构可以根据计算比例关系,由此采集到缠网圈数信号。输入信号还包括 7 个行程限位开关,分别是进料仓门上限开关、进料仓门下限开关、2 个出捆仓门上限开关、出捆仓门下限开关、割网刀执行器限位开关、送网限位开关。控制系统结构见图 2。

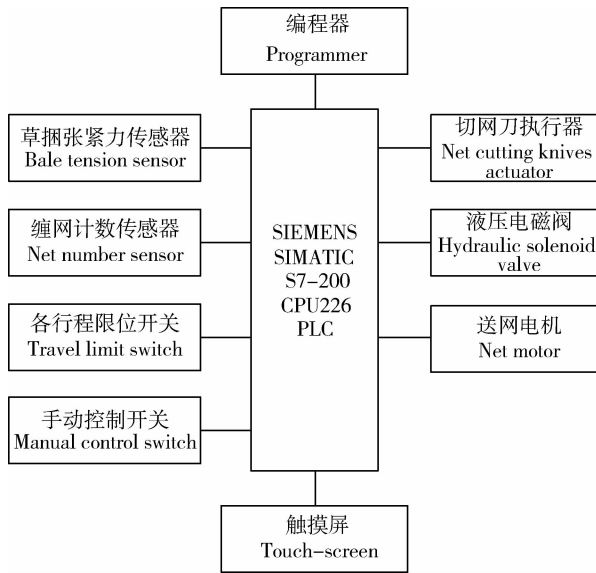


图 2 控制系统结构框图  
Fig. 2 System control structure

### 2.3 PLC 控制下的工作过程

系统启动后,程序开始进行初始化,进料仓处于低位,出捆仓门关闭。初始化完毕后,喂料轮开始运动,同时进料仓上升。进料仓在上升时间 10 s 到达最高点后停止,停止 2 s 后开始下降,回到原始位置停止 10 s 重新上升,如此反复运动。草料在进料仓上升过程中依靠重力和喂料轮的共同作用下,进入输送皮带。草料经过皮带进入卷筒,在卷筒中逐渐卷积成圆柱形草捆。当张紧力传感器检测到草捆张紧力达到要求时,启动送网电机,开始送网。与此同时,系统开始检测缠网圈数。当缠网圈数到达要求时,送网电机停止,同时割网刀执行器带动割网刀把网割断。出捆仓门立即打开。草捆在重力作用下出仓。延时 2 s 后出捆仓门关闭停止。至此,打捆工作完成 1 个循环。

### 2.4 软件设计

运用 STEP7-Micro/WIN 软件进行程序设计。软件系统包含主程序、计数采样中断程序和手动控制子程序。主程序根据青贮圆捆机的工艺流程采用顺序控制方法编写,具有自动初始化功能,程序中具有严格的逻辑控制和互锁功能<sup>[13]</sup>。

除了对控制系统主程序设计之外,并且对进料仓控制和人机界面也进行了相关设计。主程序控制流程图见图 3,进料仓控制程序流程图见图 4。

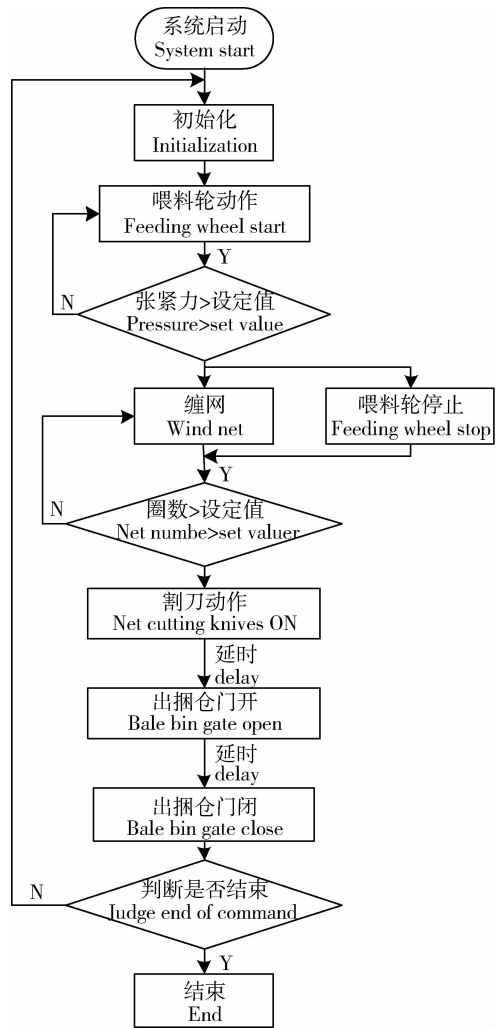


图 3 PLC 主程序流程图  
Fig. 3 Main program flowchart

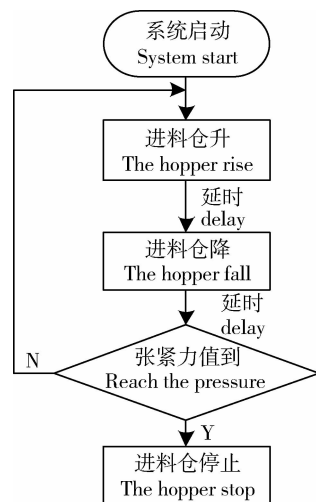


图 4 进料仓控制程序流程图  
Fig. 4 The hopper control program flowchart

## 2.5 控制系统的信号干扰及解决方案

### 2.5.1 软件防干扰措施

在张紧力数据采集过程中,由于青贮圆捆机工作环境比较恶劣、机械本身震动波动较大,导致张紧力采集信号存在干扰。试验过程中,遇到草捆张紧力值采样波动较大的现象。当打捆机处于进料阶段时,不正常波动的张紧力值如果超过预设的张紧力值,则系统会立即停止送料,进行缠网。这不正常的波动,往往导致草捆质量偏小,不符合草捆设计要求。所以必须对所采集的不正常波动幅度较大信号进行排除。

1)为了避免无效的信号干扰,在张紧力采集部分程序中采用有效性判断的多次采样取平均值的算法<sup>[14]</sup>来减小误差。

在本控制系统中,CPU226 处理数据速度较快,张紧力信号取样时间在  $\mu\text{s}$  级,多次采样取平均值存储后输入的信号采集时间为 ms 级,仍满足信号采集的实际要求。

2)在 PLC 程序中采用矩形窗来截取有效的张紧力信号<sup>[15]</sup>。从喂料轮开始启动,到张紧力值到达预设值,对张紧力信号  $x(t)$  进行截取采样,将其化为离散函数  $x(n\Delta t)$ ,其频谱即为  $X(f)$ ,加一个有限长的矩形窗函数  $w(t)$

$$w_n(t) = \begin{cases} 1 & t_1 \leq n \leq t_2 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

式中:  $t_1$  为喂料轮启动时间,  $t_2$  为送网电机启动时间。对可以用的信号加窗处理,即将离散信号函数与窗函数相乘

$$x_n(t) = x(t) \times w_n(t) = \begin{cases} x(t) & t_1 \leq n \leq t_2 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

在选定的采样时间范围内截取信号,其他范围舍去。

### 2.5.2 硬件防干扰措施

由于张紧力传感器使用的是车载电源,模拟量模块 EM231 使用的是 24 V 电源,当模块和传感器的电源电压不同时,将产生一个上下振动的共模电压,影响张紧力传感器的信号输出,即影响张紧力值。试验中可观察到张紧力值在一定范围内不停跳跃。在试验过程中将传感器的电源负端与模拟量模块的 M 端短接,可以有效消除共模电压,得到准确张紧力值。

## 3 试验及结果分析

为验证该控制系统的作用效果,于 2012-10 在河北石家庄市科研基地进行试验。打捆使用含水率 50% 的玉米秸秆。草捆尺寸为直径 1 m,高度 0.8 m,体积  $0.628 \text{ m}^3$ ,试验打捆压力值预设值 400 kg,打捆圈数满足预设值 5 圈。试验打捆 10 个,成捆率 100%,缠网圈数合格率 100%。打捆草捆质量、密度数据见表 1。

试验中草捆密度的最大相对误差为 3.9%,打捆草捆密度稳定,满足作业要求,满足 GB/T 14290—2008《圆草捆打捆机》,其中成捆率  $\geq 99\%$ ,草捆密度  $\geq 115 \text{ kg/m}^3$ 。

试验过程中样机工作过程安全可靠、平稳协调。打捆机作业技术性能达到了设计要求。整个作业过程没有发生堵塞现象,草捆密度均匀,可提高青贮打捆作业效率。

表 1 打捆质量、密度试验数据

Table 1 Data of bale quality and density

试验编号 Test number	草捆质量/kg Bale quality		草捆密度/(kg/m <sup>3</sup> ) Density of bale	
	试验值 Test value	平均值 Average value	试验值 Test value	平均值 Average value
1	190.5	187.9		
2	193.6	308.2		
3	185.1	294.7		
4	181.9	289.6		
5	187.2	298.1	303.3	299.2
6	186.5	296.9		
7	195.3	310.9		
8	188.8	300.6		
9	184.2	293.3		
10	186.2	296.5		

## 4 结论

1)根据 9QBJ-850 型碎料青贮圆捆机的机械结构特点和控制需求,设计了一套实现青贮圆捆机进料-草捆成型-草捆缠网-割网-草捆出仓整个过程的

自动控制系统。

2) 本控制系统应用了多次采样取平均值算法、添加窗函数的软件方法和合理接线等硬件措施防止系统干扰。根据现场试验, 工作过程中张紧力采样受环境干扰减小, 并且能有效防止传感器和 PLC 间产生的共模电压。

3) 打捆试验结果表明: 在该控制系统作用下, 草捆缠网圈数合格率 100%, 草捆密度最大相对误差 3.9%, 圆捆机运行可靠, 作业快速精准。

### 参 考 文 献

- [1] 农业部农业机械化管理司. 牧草生产与秸秆饲用加工[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005
- [2] 李大鹏, 刘向阳. 饲草产业化与饲草打捆机的开发[J]. 饲料广角, 2002(15): 10-12
- [3] 王德福, 张全国. 青贮稻秆圆捆打捆机的改进研究[J]. 农业工程学报, 2008, 23(11): 168-171
- [4] 丛宏斌, 李汝莘. 青贮玉米收获机打捆装置自动控制系统设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11): 42-45
- [5] 丛宏斌, 李明, 李汝莘, 等. 4YQK-2 型茎秆青贮打捆玉米收获机的设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 96-100
- [6] 李大鹏. MASTER-K 系列可编程控制器在牧草打捆机上的应用[J]. 机械与电子, 2002(2): 67-68
- [7] Borreani G, Bisaglia C, Tabacco E. Effects of a new-concept wrapping system on alfalfa round-bale silage[J]. Transactions of the ASABE, 2007, 50(3): 781-787
- [8] Taylor R K, Blasi D A, Shroyer J P. Storage losses in net-wrapped, large round bales of alfalfa[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1994, 10(3): 317-320
- [9] Shinnars K J, Huenink B M, Muck R E, et al. Storage characteristics of large round alfalfa bales: Dry hay [J]. Transactions of the ASABE, 2009, 52(2): 409-418
- [10] Viesselmann K P. Wrap material operation sensor for a round baler: US, 6,774,805[P]. 2004-08-10
- [11] 高东明, 王德成, 王光辉, 等. 圆草捆自动缠网装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(8): 99-104
- [12] 中国农业大学. 圆草捆自动缠网装置及缠网方法: 中国, 201110048512. 1[P]. 2011-02-28
- [13] 高安邦, 田敏, 俞宁, 等. 西门子 S7-200PLC 工程应用设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011
- [14] 瓮福(集团)有限责任公司. 一种提高 PLC 模拟量信号抗干扰能力的方法: 中国, 201110299058. 7[P]. 2012-04-18
- [15] 佟德纯, 姚宝恒. 工程信号处理与设备诊断[M]. 北京: 科学出版社, 2008

责任编辑: 刘迎春