

谷物联合收获机喂入量建模与试验*

卢文涛¹ 刘宝² 张东兴³ 李晶⁴

(1. 洛阳理工学院机械工程系, 洛阳 471023; 2. 河南理工大学机械与动力工程学院, 焦作 454000;
3. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 4. 北京信息职业技术学院机电学院, 北京 100015)

【摘要】 设计了谷物联合收获机脱粒滚筒液压无级变速系统, 对该系统中封闭液压油的压力进行测量, 用该油压力表示喂入量。通过台架试验, 得出喂入量与油压力之间的关系方程, 并与脱粒滚筒转速表示喂入量的方法进行了对比。结果表明: 在联合收获机稳定工作, 物料物理特性一致时, 油压力随喂入量的增加呈线性上升, 而此时脱粒滚筒转速可以视为常量, 所以油压力能够准确地反映喂入量。

关键词: 联合收获机 喂入量 数学模型 油压力

中图分类号: S225.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0082-04

Experiment and Feed Rate Modeling for Combine Harvester

Lu Wentao¹ Liu Bao² Zhang Dongxing³ Li Jing⁴

(1. Department of Mechanical Engineering, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang 471023, China
2. School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China
3. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
4. Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Information Technology College, Beijing 100015, China)

Abstract

Feed rate of combine harvester was affected by many factors and difficult to be detected directly. A hydraulic stepless transmission system of threshing cylinder was designed, and the oil pressure was monitored. The oil pressure was used to represent the feed rate. By the engine bench tests, the relation equation between feed rate and oil pressure was obtained, and the distinguished method of oil pressure and threshing cylinder rotate speed which indicated feed rate was compared. Experiment results showed that the oil pressure could indicate feed rate timely and accurately, oil pressure was linear with the feed rate when the combine harvester was in the stable operation and crop properties were in the same. The threshing cylinder rotate speed could be considered as a constant.

Key words Combine harvester, Feed rate, Mathematical model, Oil pressure

引言

喂入量是谷物联合收获机设计中最重要参数之一, 各个部件的工作能力都与此密切相关。谷物联合收获机作业时, 若喂入量大于额定喂入量, 则会造成发动机及各工作部件超负荷工作, 发生堵塞甚至故障, 降低可靠性; 若喂入量小于额定喂入量, 则联合收获机负荷不足, 效率低下。因而保持稳定

的喂入量是联合收获机高效工作的重要条件。联合收获机喂入量受较多因素影响, 不易直接测量。目前国内常采用脱粒滚筒转速表示喂入量, 着重研究控制系统, 忽略了喂入量自身模型, 从而影响了控制效果^[1-3]。本文设计联合收获机脱粒滚筒液压无级变速系统, 对驱动该系统的油压力进行测量, 采用该油压力表示喂入量, 对两者之间的关系进行试验研究, 并与脱粒滚筒转速表示喂入量进行对比。

收稿日期: 2011-07-16 修回日期: 2011-08-15

* 国家自然科学基金资助项目(61004085)

作者简介: 卢文涛, 讲师, 博士, 主要从事联合收获机智能控制研究, E-mail: mengmeng_lu@163.com

通讯作者: 张东兴, 教授, 博士生导师, 主要从事收获机设计与控制研究, E-mail: zhangdx@cau.edu.cn

1 试验系统

1.1 试验样机

图1为试验样机,采用新疆-3稻麦联合收获机,额定喂入量为3 kg/s。该联合收获机为双滚筒结构,第一滚筒为切流滚筒,主要起部分脱粒作用,第二滚筒为横轴流滚筒,起脱粒与分离作用。滚筒液压无级变速系统胶带盘安装在第二滚筒与中间轴上。试验时去掉拨禾轮,采用平带输送机输送作物到割台上。平带输送机宽1 m,长25 m,可以实现变频调速(频率范围0~80 Hz),输送带速度范围为0~1.2 m/s。

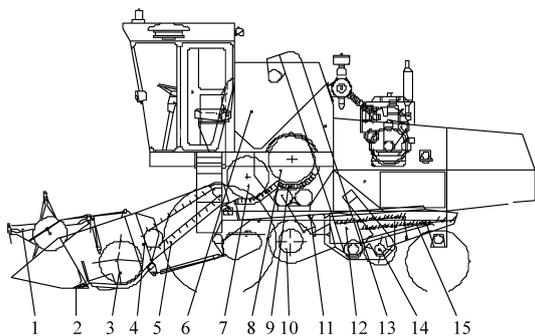


图1 新疆-3型联合收获机结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of Xinjiang No.3 combine harvester

1. 拨禾轮 2. 切割器 3. 割台螺旋输送机 4. 输送链耙 5. 倾斜输送机 6. 粮箱 7. 切流滚筒 8. 轴流滚筒 9. 凹板 10. 风机 11. 抖动板 12. 籽粒升运器 13. 上筛 14. 复脱器 15. 下筛

试验时在脱粒滚筒轴头与发动机输出轴处安装霍尔传感器来测量脱粒滚筒转速与发动机转速,在脱粒滚筒液压无级变速系统油路中安装有压力传感器测量油压力。压力传感器输出4~20 mA模拟电流信号,由信号处理电路转换为电压输出,输出范围为0~3 300 mV。

1.2 脱粒滚筒液压无级变速机构

新疆-3型联合收获机脱粒滚筒的转速不能无级变速调节,本文设计了脱粒滚筒液压无级变速装置(图2)。无级变速主动轮胶带盘由定盘和动盘构成,动盘与液压缸缸体刚性连接,柱塞与缸体采用花键连接,柱塞轴向固定,缸体可以进行轴向移动。油道开在轴的中心,压力油经过油道进入到柱塞与缸体之间,由缸体推动胶带的动盘轴向移动,迫使胶带沿着胶带盘斜面径向移动,改变胶带有有效作用半径,从而改变传动比。缸体的可移动距离为连续量,从而实现脱粒滚筒的无级变速。胶带传递功率为20 kW,传动比为0.49~1.60,缸体的最大移动距离为40 mm。

联合收获机收获不同作物时脱粒滚筒转速有不同的最佳值,但脱粒滚筒转速要求在收获前进行调

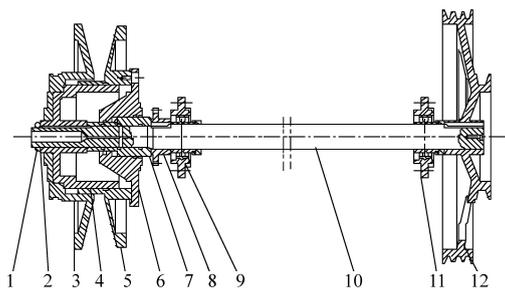


图2 脱粒滚筒液压无级变速机构主动盘示意图

Fig.2 Schematic diagram of assembly active plate of hydraulic stepless transmission system of threshing cylinder

1. 锁紧螺栓 2. 锁紧垫片 3. 定盘 4. 轮毂 5. 动盘 6. 缸体 7. 柱塞 8. 链轮 9. 带座轴承 10. 中间轴 11. 带座轴承 12. 中间轮

定,而在收获过程中要求脱粒滚筒转速恒定,即传动比一定。当传动比一定时,缸体不再移动,此时喂入量增加时轴扭矩增加,胶带张紧力增加,油压力随之增大。

1.3 脱粒滚筒液压无级变速机构液压系统

在新疆-3型联合收获机原有液压系统基础上,增加了脱粒滚筒液压无级变速机构的液压系统(图3),系统额定压力16 MPa,流量为 $5.5 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 。由脱粒滚筒液压无级变速工作原理分析可知:柱塞与缸体组成单作用柱塞式油缸,液压系统需要设计进油、回油和保压回路。换向阀与试验样机中其他换向阀一致,采用手动三位六通阀进行换向。系统采用液控单向阀进行保压,单向节流阀实现进、回油和缸体移动速度调节。

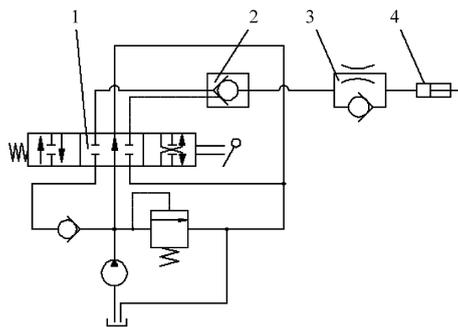


图3 脱粒滚筒液压无级变速机构液压回路

Fig.3 Hydraulic circuit of hydraulic stepless transmission system of threshing cylinder

1. 换向阀 2. 液控单向阀 3. 单向节流阀 4. 液压缸

由图3可知:换向阀中位工作时系统压力油直接回油箱,液控单向阀关闭,油缸中的液压油被封闭在油缸中,液控单向阀起保压作用。此时缸体不移动,即液压无级变速机构传动比一定。当换向阀左位工作时,液压油顶开液控单向阀,通过节流阀向油缸供油,缸体向左移动,传动比减小。当换向阀右位

工作时,压力油作为先导油顶开液控单向阀,压力油通过单向节流阀中的单向阀回油缸,缸体向左移动,传动比增大。联合收获机工作时,滚筒转速一般不作调节,换向阀应处于中位。

1.4 信息采集系统

图4为信息采集系统。速度与压力传感器的数据经过信号处理,接入芯片ARM2138,由其进行数据处理,实时计算油压力、滚筒转速和发动机转速,并存储到计算机中。其中转速采用精度较高的等精度算法计算。

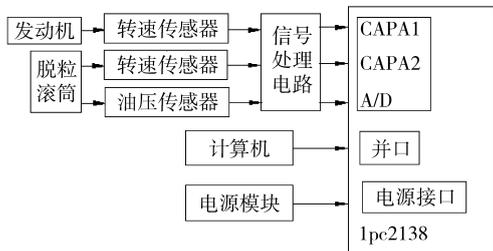


图4 信息采集系统

Fig.4 Information collection system

2 试验步骤

首先对油压力传感器进行标定: $y = 4\ 800x$,式中 y 为油压力, x 为测量电压。相关度 $R = 0.985$ 。可见电压与油压力呈线性关系。为减小误差,本试验直接用测量电压来表示油压力大小。

利用电子秤称取一定质量的水稻,平铺在输送台上进行喂入,模拟喂入量的大小。试验步骤为:①启动收获机,稳定发动机转速在 $2\ 400\text{ r/min}$,将脱粒滚筒转速调至 837 r/min ,锁定脱粒滚筒液压无级变速系统,此时油压力测量电压为 598 mV 。②调定输送带速度,使输送带按照 0.8 m/s 运行。③按照试验设定喂入量称取一定质量的水稻,均匀铺放在输送平台上,长度 10 m 。④启动输送带,启动电器模块记录无级变速装置油压力测量电压、脱粒滚筒速度和发动机转速数据。试验时喂入量设定为 2.00 、 2.25 、 2.50 、 2.75 、 3.00 、 3.25 、 3.50 、 4.00 kg/s 。

3 试验结果分析

图5是不同喂入量下油压力、脱粒滚筒转速和发动机转速变化曲线。由图5可见,在同一喂入量下,油压力、脱粒滚筒转速和发动机转速变化不大,基本平稳。当喂入量在 3.50 kg/s 以内时,发动机转速在 $2\ 400\text{ r/min}$ 左右,脱粒滚筒转速在 837 r/min 左右,而油压力一直处于稳定增大状态;喂入量达到 4.00 kg/s 时,发动机转速快速下降,其值低于 $1\ 900\text{ r/min}$,同时脱粒滚筒转速下降到 500 r/min 附

近,接近堵塞,油压力大幅升高,压力传感器输出电压值达到 $1\ 252\text{ mV}$ 。

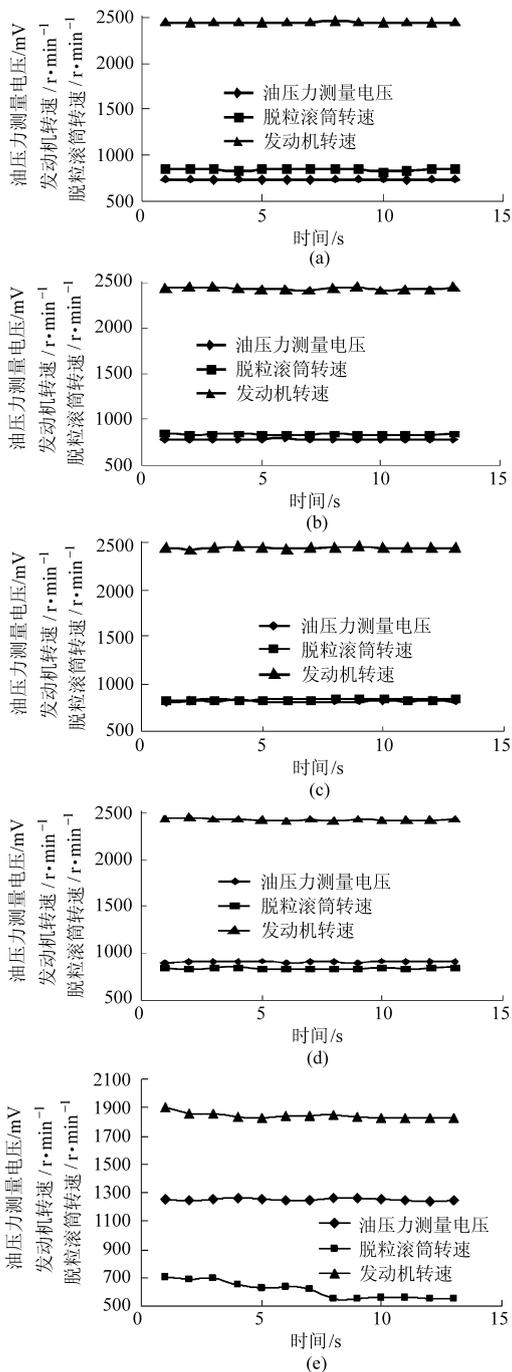


图5 不同喂入量下油压力、滚筒转速、发动机转速变化曲线

Fig.5 Curves of oil pressure, threshing cylinder rotate speed, and engine rotate speed under different feed rates
(a) 2.00 kg/s (b) 2.50 kg/s (c) 3.00 kg/s
(d) 3.50 kg/s (e) 4.00 kg/s

取喂入量分别为 2.00 、 2.50 、 3.00 、 3.50 、 4.00 kg/s 时所对应的油压力测量电压的均值,得到油压力与喂入量的关系曲线如图6所示。由图可以看出,喂入量在 3.50 kg/s 以下时,喂入量与油压力基本呈线性变化。新疆-3联合收获机额定喂入量为 3.00 kg/s ,喂

入量为 4.00 kg/s 时发动机转速下降,系统已是超负荷工作,所以不考虑喂入量为 4.00 kg/s 时的油压力。取喂入量在 3.50 kg/s 以内的数据进行线性拟合,得到拟合方程式,拟合数据如表 1 所示,拟合曲线如图 7 所示。

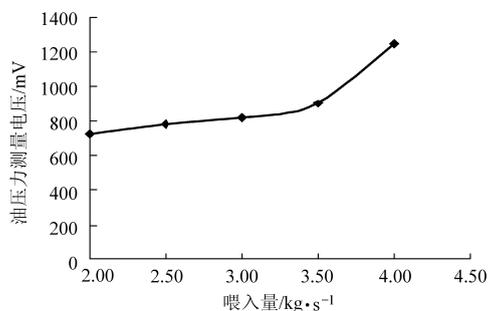


图 6 油压力与喂入量的关系曲线

Fig. 6 Relationship between oil pressure and feed rate

表 1 油压力实测值与计算值结果对比

Tab. 1 Oil pressure comparison between measured value and calculated value

参数	喂入量/kg·s ⁻¹						
	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50
实际测量电压/mV	715	743	782	809	821	862	905
拟合测量电压/mV	720	749	778	807	836	865	894
相对误差/%	0.71	0.81	0.50	0.25	1.80	0.33	1.24

从表 1 及图 7 可以看出,油压力的计算值精度较高,相关度达到 0.98,高度拟合,与实际值的最大相对误差为 1.80%,最小误差为 0.25%。这说明在本试验条件下该试验所得的线性模型具有较高的准确性,即在联合收获机稳定工作,作物物理特性一致,喂入均匀时,喂入量与油压力呈线性变化。

由图 7 拟合得

$$y = 115.8X + 488.5$$

参 考 文 献

- 李国栋,李勇智,张际先,等. 联合收割机脱粒滚筒的 PID 恒速控制[J]. 农业机械学报, 2000,31(1):48~51.
Li Guodong, Li Yongzhi, Zhang Jixian, et al. PID control of constant palstance of a combine cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000,31(1):48~51. (in Chinese)
- 李国栋,韩金仓,桑正中. 联合收割机脱粒滚筒恒速智能控制器设计[J]. 控制工程,2007,14(2):154~156.
Li Guodong, Han Jincang, Sang Zhengzhong. Design of intellignent controller of constant palstance of cylinder of the combine [J]. Control Engineering of China,2007,14(2):154~156. (in Chinese)
- 姬江涛,王荣先,符丽君. 联合收获机喂入量灰色预测模糊 PID 控制[J]. 农业机械学报,2008,39(3):63~66.
Ji Jiangtao, Wang Rongxian, Fu Lijun. Grey prediction fuzzy PID control of the feeding quantity in combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(3):63~66. (in Chinese)
- 卢文涛,张东兴,邓志刚. 联合收割机脱粒滚筒的 PID 恒负荷控制[J]. 农业机械学报,2008,39(5):54~57.
Lu Wentao, Zhang Dongxing, Deng Zhigang. The constant load control of threshing cylinder in combine by PID-control[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(5):54~57. (in Chinese)

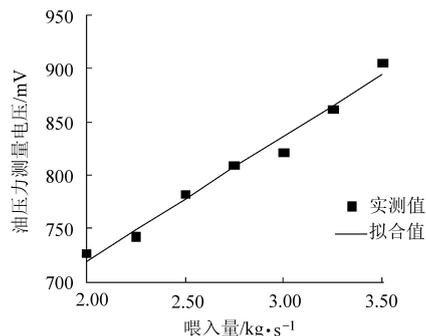


图 7 油压力实测值与拟合值对比

Fig. 7 Oil pressure comparison between measured value and calculated value

该方程可应用在新疆-3 稻麦联合收获机的喂入量控制系统中,当测得的实际喂入量小于额定喂入量时,通过合适的控制方法增加行走速度来增加喂入量;当实际喂入量大于额定喂入量时,说明系统超载,应尽快降低行走速度,降低实际喂入量,使喂入量恒定。

4 结 论

(1) 滚筒转速只有在过载时,才出现明显的下降趋势,所以不能准确反映喂入量。

(2) 脱粒滚筒转速在发动机不过载时基本稳定,可以看作常量,这也验证了在进行动态计算时,可近似取脱粒滚筒角速度为常数的结论。

(3) 在联合收获机稳定工作、作物物理特性一致、喂入均匀时,喂入量与油压力基本呈线性变化。随着喂入量的增大,油压力处于线性上升状态。

(4) 油压力能够比较准确反映喂入量,因而采用油压力表示喂入量建立控制系统,有利于控制系统参数的整定与控制规则的建立,提高控制系统的稳定性、可靠性和实用性。