

联合收获机脱粒滚筒的PID恒负荷控制^{*}

卢文涛 张东兴 邓志刚

【摘要】 采用驱动联合收获机脱粒滚筒无级变速液压缸的油压力来表示脱粒滚筒的负荷,并通过脱粒滚筒无级变速带轮的受力分析建立了脱粒滚筒扭矩与油压力的关系方程;分析了脱粒滚筒负荷与喂入量的关系,建立了脱粒滚筒负荷模型。在此基础上建立了脱粒滚筒PID恒负荷自动控制系统,仿真结果表明,该控制系统有效可行。

关键词: 联合收获机 脱粒滚筒 负荷 PID控制

中图分类号: S225.3

文献标识码: A

Constant Load PID-control of Threshing Cylinder in Combine

Lu Wentao¹ Zhang Dongxing¹ Deng Zhigang²

(1. China Agricultural University, Beijing, 100083, China

2. China Harvest Machinery Corporation, Beijing, 100825, China)

Abstract

The pressure of hydraulic cylinder, driving the infinite variable speed assemble of threshing cylinder, was used to indicate threshing cylinder load, and the function between the pressure and threshing cylinder torque was concluded by analyzing the force of the infinite variable speed belt pulley in the threshing cylinder. The relation between threshing cylinder load and feed rate was analyzed and the dynamic model of threshing cylinder was built. Based on that, the threshing cylinder load PID-control system was set up and simulated in Matlab. The simulation results proved the effectiveness and practicability of this control system.

Key words Combine harvester, Threshing cylinder, Load, PID-control

引言

目前对联合收获机脱粒滚筒负荷的研究还集中在控制滚筒转速恒定方面。DEER公司开发了脱粒滚筒负荷自动控制系统并已投入生产^[1]。对于脱粒性能一定的联合收获机,为保证脱粒质量,脱粒滚筒的角速度及负荷均应控制在预期的范围内。联合收获机的发动机有一定的储备功率,当脱粒滚筒负荷增大,发动机若能在0.4 s内响应,脱粒滚筒角速度则变化不大,还可在短时间内自动恢复到原来的角速度,而脱粒滚筒扭矩相应增大。可见,脱粒滚筒扭矩能及时、准确反映脱粒滚筒负荷。因此本文采

用脱粒滚筒的扭矩来反映脱粒滚筒负荷,对脱粒滚筒恒负荷控制系统加以研究,以降低联合收获机故障率,充分发挥联合收获机生产率,降低机手劳动强度。

1 脱粒滚筒负荷的检测原理

采用脱粒滚筒的扭矩来反映脱粒滚筒的负荷,扭矩可以由扭矩传感器直接测得,也可由传动带的张力间接测得。考虑脱粒滚筒轴的安装条件,采用传动带的张力来表示脱粒滚筒扭矩,而传动带的张力则由驱动脱粒滚筒无级变速的液压缸的油压力 p_t 来反映。通过调节油缸油量来控制变速比,油量

收稿日期: 2008-01-02

^{*} “十一五”国家科技支撑计划项目(项目编号:2006BAD28B03)和农业部、财政部支撑项目

卢文涛 中国农业大学工学院 博士生, 100083 北京市

张东兴 中国农业大学工学院 教授

邓志刚 中国收获机械总公司研发中心 助理工程师, 100825 北京市

一定时脱粒滚筒转速一定。油量在工作前调定,在工作中没有特殊情况不调节。

设带轮的楔角为 θ ,动盘有向左运动的趋势,对无级变速带轮动盘进行受力分析(如图1),得动盘轴向受力的平衡方程式为^[2]

$$F_N \cos \frac{\theta}{2} = F_{\mu} \sin \frac{\theta}{2} + F_t + F_f \quad (1)$$

$$M_{KP} = M_P \quad (2)$$

其中 $F_{\mu} = \mu F_N = \frac{1}{2} F_{ec}$ (3)

式中 F_N ——传动带对带轮的正压力

F_t ——油缸对动盘的推力

F_f ——带轮与轴的摩擦力(摩擦因数较小,可忽略不计)

M_{KP} ——脱粒滚筒负荷扭矩

M_P ——带轮扭矩 μ ——摩擦因数

F_{μ} ——动盘与传动带接触面圆周摩擦力的合力

F_{ec} ——传动带有效拉力

F_{ec} 所传递名义功率 P 为

$$P = F_{ec} v_p / 1000 = M_P \omega_p / 1000 \quad (4)$$

油缸对动盘的推力与油压力的关系为

$$p_t = \frac{F_t}{10^6 A_0} \quad (5)$$

由式(1)~(5)可推得动盘所受油压力与脱粒滚筒扭矩的关系式为

$$p_t = \frac{\cos \frac{\theta}{2} - \mu \sin \frac{\theta}{2}}{2 \mu r_p A_0 \times 10^6} M_{KP} \quad (6)$$

式中 A_0 ——动盘与油缸油腔的接触面积

ω_p ——带轮动盘的角速度

v_p ——带轮的线速度 r_p ——动盘半径

由式(6)可以看出油压力与滚筒扭矩成比例关系,只要测得油压力就可换算出脱粒滚筒的负荷。

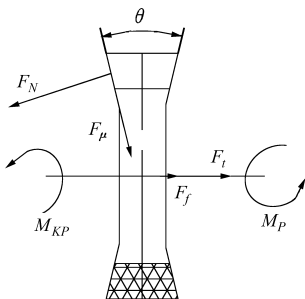


图1 带轮动盘受力分析图

Fig. 1 Stress analysis on movable plant

2 脱粒滚筒负荷模型的建立

脱粒滚筒工作中消耗的功率包括脱粒滚筒空转

功率 N_0 和脱粒滚筒上总工作阻力所消耗的功率 N_1 。脱粒滚筒的空转功率与脱粒滚筒转速的关系为

$$N_0 = A\omega + B\omega^3 = M_0\omega \quad (7)$$

式中 ω ——脱粒滚筒的角速度 A 、 B ——系数

M_0 ——脱粒滚筒空转所需扭矩

脱粒滚筒上总工作阻力所消耗的功率和脱粒有效功率 N_T 的关系为^[3-5]

$$N_1 = 102 N_T = 102 \frac{M_T \omega}{1000} \quad (8)$$

式中 M_T ——脱粒滚筒脱粒有效扭矩

根据文献[6],总脱粒阻力所消耗的功率具体形式可表现为

$$N_1 = \frac{qr^2\omega^2}{2(1-f)} \frac{\gamma+\lambda}{1+\gamma} \quad (9)$$

$$q = \rho v H \quad (10)$$

由式(7)~(10)可得出脱粒滚筒扭矩与行走速度之间的关系式为

$$M_{KP} = M_0 + M_T = A + B\omega^2 + 9.8 \frac{\rho H r^2 \omega}{2(1-f)} \frac{\gamma+\lambda}{1+\gamma} v \quad (11)$$

式中 q ——喂入量 γ ——谷草比

λ ——谷物出口速度比 ρ ——作物密度

v ——行走速度 r ——脱粒滚筒半径

H ——割幅 f ——脱粒滚筒搓擦系数

对于一定的联合收获机和作物,只有 ρ 、 v 是变量,作物密度不可控制,改变联合收获机的行走速度可保持稳定的喂入量,使脱粒滚筒负荷稳定。

在联合收获机上采用静液压系统来改变行走速度,操作方便,且利于实现自动控制,静液压系统通常采用液压泵与液压马达闭式传动系统,其传递函数可看作二阶系统

$$G_1(s) = \frac{k_2}{T_1 s^2 + T_2 s + 1} \quad (12)$$

式中 T_1 、 T_2 ——行走系统时间常数

k_2 ——行走系统的比例增益

可见将脱粒滚筒作为被控对象就是将行走速度作为控制对象,控制系统通过分析脱粒滚筒的负荷状态给出指令速度,改变联合收获机的行走速度,从而控制脱粒滚筒的扭矩,使脱粒滚筒负荷稳定。

3 PID 控制

将PID控制技术应用在脱粒滚筒恒负荷控制中,就是对驱动脱粒滚筒无级变速的油缸油压力的误差进行比例、积分、微分控制,以确定行走速度的变化量。采用不完全微分PID控制形式,其传递函数为

$$G_0(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \eta T_d s} \right) \quad (13)$$

式中 K_P ——比例系数 T_i ——积分时间常数
 T_d ——微分时间常数 η ——微分比例系数

由式(11)可以看出,当脱粒滚筒角速度也作为变量时,脱粒滚筒扭矩为非线性,文献[4]认为在进行动态计算时,可近似取脱粒滚筒角速度为常数。本系统设定脱粒滚筒负荷的增大值在发动机储备功率范围内,发动机的响应速度小于 0.4 s。从而脱粒滚筒的角速度在短时间内可以恢复,不影响脱粒质量,认定为常数。由式(11)取扭矩的传递函数为

$$G_2(s) = 9.8 \frac{\rho H r^2 \omega}{2(1-f)} \frac{\gamma + \lambda}{1 + \gamma} \quad (14)$$

由式(6)可得扭矩与油压力的传递函数为

$$G_3(s) = k_1 \quad (15)$$

其中

$$k_1 = \frac{\cos \frac{\theta}{2} - \mu \sin \frac{\theta}{2}}{2 \mu r_p A_0 \times 10^6}$$

由传递函数建立控制系统(如图 2),利用 PID 控制参数的工程整定法——衰减曲线法确定 PID 初始控制参数^[7],通过仿真加以调整,得到 K_P 、 T_i 、 T_d 、 η 如表 1。

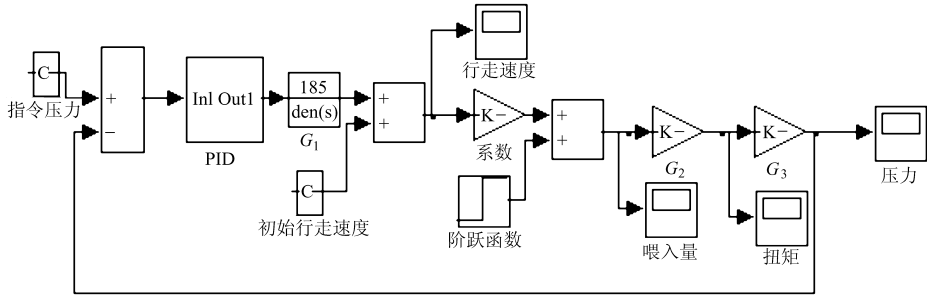


图 2 脱粒滚筒 PID 恒负荷控制系统框图

Fig. 2 PID control system of threshing cylinder for constant load

表 1 仿真参数

Tab.1 Parameters and values on simulation

变量	数值	变量	数值	变量	数值	变量	数值
H/m	3.8	K_P	1.5	γ	0.8	T_2	190
f	0.8	T_i	1.1	λ	0.5	k_1	0.04
$\omega/\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$	83	T_d	0.6	$v_0/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	1.05	k_2	221
$\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	1.7	η	0.019	T_1	87	p_{t0}/MPa	9

以上函数在线性基础上得出,在实际应用中, PID 参数应做适当调整,脱粒滚筒的负荷应在一定范围恒定,这个范围由具体试验确定,以增强系统的实用性与鲁棒性。

4 仿真

利用 Matlab 中的 Simulink 模块建立脱粒滚筒恒负荷控制系统并进行了仿真,仿真结果如图 3 所示,仿真参数如表 1,其中 PID 参数由仿真得到,其余参数为联合收获机参数。其中 v_0 为初始行走速度, p_{t0} 为指令油压力。假如作物密度在 5 s 时发生变化,使喂入量产生阶跃,由 6 kg/s 增加到 7 kg/s。可以看到经过 4 s 左右的调整,脱粒滚筒扭矩、油压力、喂入量都恢复到原来的水平,达到稳定状态,行走速度的调节比较平稳,易实现。且动态误差较小,无稳态误差,无超调与震荡。

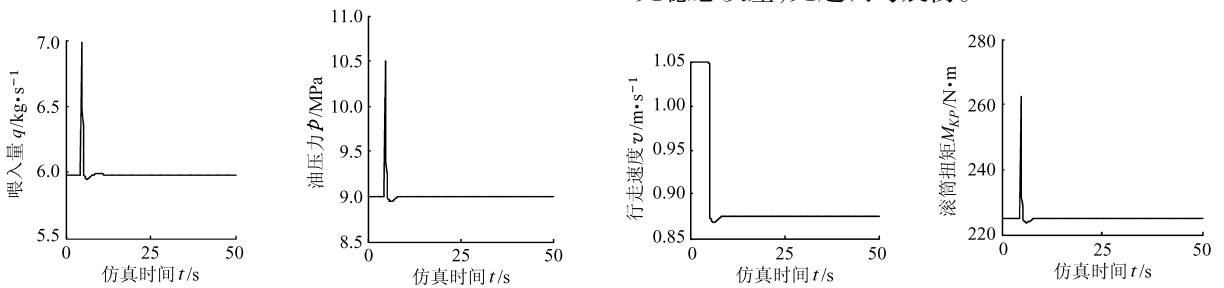


图 3 脱粒滚筒 PID 恒负荷控制仿真结果

Fig. 3 Simulation results of constant load PID-control of threshing cylinder in combine

5 结束语

采用脱粒滚筒的扭矩来反映脱粒滚筒负荷,建立脱粒滚筒恒负荷控制系统,其中脱粒滚筒扭矩由驱动脱粒滚筒无级变速的液压缸的油压力来表示,

给出了脱粒滚筒负荷模型和控制结构,并将 PID 控制策略应用到该控制系统。仿真结果表明,控制系统使脱粒滚筒负荷稳定在指令值附近,该控制系统与方法有效可行。

入脱粒空间后迅速形成薄层,并在脱粒部件和导向叶片的联合作用下,旋转向前涌动。当稻谷层受到冲击和梳刷作用时,瞬间被压缩,随之被抛离,呈蓬松状态,使被脱下的籽粒有机会穿过蓬松茎秆层分离出去。

(2) 多数籽粒脱粒后沿着螺旋以及脱粒叶片面

的法线方向呈一定角度运动,被脱下籽粒在无外界干扰时作直线运动。籽粒的初始速度明显低于脱粒部件的相应位置线速度,一般在 $3\sim 8\text{ m/s}$,少部分籽粒的运动初速度接近或高于脱粒部件的初速度。

(3) 籽粒脱粒过程不是对自由质点的碰撞过程,而是板齿对受牵扯的自由籽粒的打击。

参 考 文 献

- 1 Huynh V M, Powell T. Threshing and separating process—a mathematical model[J]. Transactions of the ASAE, 1982, 20(1):65~73.
- 2 王岳.轴流装置脱粒和茎叶破碎机理的研究[J].农业机械学报,1987,18(3):81~90.
- 3 王岳.作物在轴流脱粒装置内运动的机理分析和试验研究[J].粮油加工与食品机械,1989(6):11~18.
- 4 孙进.谷物脱粒损伤机理的研究现状及分析[J].农业装备技术,2005(4):25~26.
- 5 王岳,王秀梅,苏迎晨.轴流脱粒装置湿缠堵的机理和实验研究[J].农业机械学报,1989,20(3):57~64.
- 6 董成茂.立置轴流分离复脱清选三合一装置及其理论和试验研究以及水稻站秆整秧直接还田工艺的探索研究[D].哈尔滨:东北农学院,1988.
- 7 蒋恩臣.割前摘脱装置及其吸运系统[M].北京:高等教育出版社,2002.
- 8 王立军.气吸式割前摘脱联收机惯性分离室机理研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2006.
- 9 衣淑娟,李敏,孟臣.谷物脱粒与分离装置试验数据采集系统[J].农业机械学报,2005,36(1):100~103.

(上接第51页)

参 考 文 献

- 1 Taylor R K, Hohhy H M, Schrock M D. Evaluation of an automatic feedrate control system for a grain combine[C]. ASAE Paper 051143,2005.
- 2 邱宣怀,郭可谦,汤绍模,等.机械设计[M].北京:高等教育出版社,1997.
- 3 张兰星,何月娥.谷物联合收获机理论与计算[M].长春:吉林人民出版社,1980.
- 4 卢里耶 A Б,格罗姆博切夫斯基 A A.农业机械的设计和计算[M].袁佳平,汪裕安,顾永康,译.北京:中国农业机械出版社,1983.
- 5 卡那沃依斯基 Cz.收获机械[M].曹崇文,吴春江,柯保康,译.北京:中国农业机械出版社,1982.
- 6 张认成,桑正中.轴流脱粒滚筒功耗模型的研究[J].农业工程学报,1999,15(4):121~125.
- 7 王锦标.计算机控制系统[M].北京:清华大学出版社,2004.
- 8 吕淑萍,李文秀.数字控制系统[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002.
- 9 张认成,桑正中,张际先.联合收获机自动控制研究现状与展望[J].江苏理工大学学报,1998,19(2):11~16.