

油菜收获机割台螺旋输送机间隙自适应调节机构研究

李海同^{1,2} 万星宇^{1,2} 徐 阳^{1,2} 蒋亚军^{1,2} 廖庆喜^{1,2}

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 农业部长江中下游农业装备重点实验室, 武汉 430070)

摘要: 针对油菜联合收获过程中由于喂入量波动导致割台螺旋输送机堵塞的问题,设计了一种割台螺旋输送机间隙自适应调节机构,实现喂入量变化时实时改变滑块位移以自动调节输送机与底板之间的间隙。输送机动力学与运动学分析确定了调节机构预紧弹簧最大预紧力和调节位移分别为 366 N 和 50 mm。运用扭矩传感器和高速摄像技术分别开展输送机扭矩和调节位移的性能试验,当弹簧预紧力和刚度分别为 293 N 和 12.65 N/mm 时,输送机扭矩为 8.267 N·m,减少了 40.7%,调节位移为 10.2 mm,调节机构性能较优。调节机构对输送机性能影响试验结果表明:增设间隙自适应调节机构可明显降低扭矩并增加最大喂入量,螺旋输送机转速为 150 r/min 时扭矩减小了 23%;转速为 200 r/min 时,最大喂入量增加至 3.5 kg/s,提高了 16.7%。喂入量在不大于 3.0 kg/s 范围内波动时,试验组最大扭矩小于对照组,说明调节机构可较好适应喂入量的波动。田间试验表明间隙自适应调节机构可提高输送机对喂入量的适应性,避免割台堵塞,后续的脱粒装置、清选装置等工作部件未发生堵塞,油菜联合收获机可正常工作。

关键词: 油菜联合收获机; 割台螺旋输送机; 间隙调节机构; 自适应

中图分类号: S225.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)11-0115-08

Clearance Adaptive Adjusting Mechanism for Header Screw Conveyor of Rape Combine Harvester

LI Haitong^{1,2} WAN Xingyu^{1,2} XU Yang^{1,2} JIANG Yajun^{1,2} LIAO Qingxi^{1,2}

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

2. Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-lower Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China)

Abstract: Aiming at solving the blocking of screw conveyor on header of rape combine harvester, an automatic clearance adjusting mechanism was designed. The maximum pretension and displacement were determined to be 366 N and 50 mm, respectively, through statics and kinematics analyses of the screw conveyor. Torque sensor and high-speed camera technique were used respectively to record torque on the shaft of conveyor and displacement, parameters tests of the mechanism were conducted and the results indicated when pretension was 293 N and stiffness was 12.65 N/mm, maximum torque of conveyor was 8.267 N·m, which was decreased by 40.7%, maximum displacement of the slider was 10.2 mm, and parameters of adjusting mechanism were optimal. The influence of the adjusting mechanism on performance of conveyor tests showed that adding the adaptive adjusting mechanism could obviously reduce torque and increase maximum feed quantity, when speed was in range of 150 ~ 300 r/min, the feed quantity was 1.5 ~ 3.5 kg/s. Torque was decreased by 23% when speed was 150 r/min, feed quantity was increased by 0.5 kg/s in experimental group, which was increased by 17.8%. When feed quantity was fluctuated from 1.0 kg/s to 3.0 kg/s and 1.0 kg/s and from 3 kg/s to 1.0 kg/s and 3.0 kg/s, maximum torque was decreased compared with steady feeding quantity of 3 kg/s. Field experiment showed that the clearance adaptive adjusting mechanism could adjust the clearance between screw conveyor and bottom plate in time according to the change of feed quantity during harvesting operation, therefore, it could improve the adaptability of header to fluctuation of feed quantity and relieve blocking.

Key words: rape combine harvester; screw conveyor; clearance adjusting mechanism; self-adaptation

收稿日期: 2017-08-30 修回日期: 2017-09-20

基金项目: 国家油菜产业技术体系专项(CARS-12)、农业部科研杰出人才及创新团队项目和湖北省技术创新专项重大项目(2016ABA094)

作者简介: 李海同(1987—),男,博士生,主要从事油菜收获技术与装备研究, E-mail: li1988@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 廖庆喜(1968—),男,教授,博士生导师,主要从事油菜机械化生产技术与装备研究, E-mail: liaoxq@mail.hzau.edu.cn

引言

割台是联合收获机的主要工作部件之一,作物被切割系统切断后由拨禾轮推送至割台螺旋输送机^[1](简称输送机),再由输送机将物料输送至中间输送装置。喂入量过大时引起输送机堵塞,为提高输送机对喂入量的适应性,相关学者设计了割茬调节机构提高割茬的稳定性和喂入量的均匀性^[2],设计二次切割机构以减小整机喂入量^[3],研发了水稻和小麦半喂入收获机^[4-5]和梳脱式收获机^[6-9],在捡拾机^[10]、打捆机^[11]、牧草收获机上也设计有调节或仿形机构以提高其对作物的适应性^[12-16]。脱粒和输送装置转动部件与罩壳之间的间隙对其工作性能影响较大^[17-23]。联合收获过程中由于油菜种植密度与植株个体差异较大、作业速度不稳定等原因,喂入量往往处于不均匀的波动状态,喂入量较大时油菜对输送器的阻力增加导致输送机堵塞停止运行。因此油菜联合收获机作业时存在喂入量不均匀导致输送机堵塞的问题,影响作业效率。

本课题组针对油菜联合收获机链耙式输送机结构复杂、输送路程长、存在堵塞的问题,设计了4LYZ-1.8型油菜联合收获机,主要由分体组合式割台、集成式纵轴流脱粒分离装置、旋风分离清选系统、行走系统等工作部件组成。

油菜联合收获机田间收获作业时集成式纵轴流脱粒分离装置可实现对油菜的输送、抓取、脱粒分离功能,茎秆流动顺畅未出现堵塞现象^[24],但喂入量波动大于3.0 kg/s的设计喂入量时,割台螺旋输送机转速降低甚至出现堵塞现象。为解决这一实际问题,本文设计一种油菜联合收获机割台螺旋输送机间隙自适应调节机构(简称调节机构),根据油菜联合收获过程中喂入量的变化,输送机一端可在滑槽内运动一定的位移,从而实时自动调节输送机与底板之间的间隙,以适应不同喂入量的要求和喂入量的波动,避免因喂入量过大造成输送机堵塞,提高割台对喂入量的适应性。

1 调节机构组成与工作原理

调节机构安装于输送机非传动端,主要包括滑块、导轨、支撑板、预紧弹簧、预紧螺母、预紧螺杆、缓冲弹簧、缓冲导轨、限位板等部件,如图1所示。固定板、支撑板和限位板固定于滑槽内,滑槽固定于机架上,支撑板固定于滑槽内,滑块位于支撑板上,缓冲导轨固定于滑块上端,缓冲弹簧套置于缓冲导轨外下端与滑块接触,两平行导轨下端固定于支撑板上依次穿过滑块和限位板,预紧弹簧穿过支撑板与

滑块底部接触提供一定的预紧力。预紧力大小可通过改变预紧螺母的上下位置进行调节,向上调节预紧螺母,预紧弹簧压缩量增加,预紧力增加;向下调节预紧螺母,预紧弹簧压缩量减小,预紧力减小。

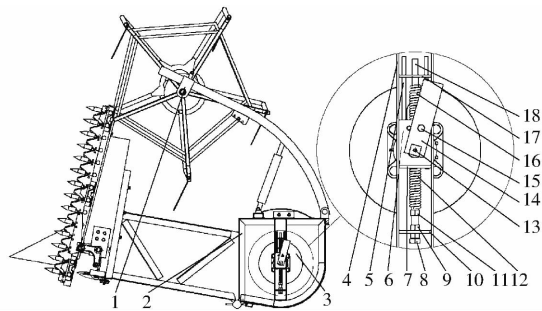


图1 调节机构示意图

Fig.1 Structure schematic of clearance adjusting mechanism

1. 拨禾轮 2. 侧板 3. 输送机 4. 滑槽 5. 导轨 6. 滑块
7. 支撑板 8. 预紧螺杆 9. 定位螺母 10. 固定板 11. 预紧螺母 12. 预紧弹簧 13. 输送机轴 14. 伸缩拨指调节板 15. 定位螺钉 16. 缓冲弹簧 17. 限位板 18. 缓冲导轨

非工作状态时,输送机在轴承支撑力、支撑板支撑力、重力和预紧弹簧预紧力的作用下处于平衡状态。工作时,输送机在输送物料的过程中对物料产生挤压力则物料对输送机有反作用力,当喂入量增加到一定程度时支撑板的支撑力为零,滑块在预紧力和物料反力作用下向上运动,增加输送机与底板之间的间隙,提高输送机输送能力,油菜及时输出防止堵塞。调节机构可依据作业时喂入量的大小通过调节输送机上下位置实时自动调节输送机与底板之间的输送间隙以优化输送机的工作性能,提高输送机对喂入量的适应性。

2 输送机动力学与运动学分析

输送机可视为一端固定一端移动的简支梁,其平衡包括静平衡和动平衡两方面,静平衡保证输送机所受的合力为零,动平衡保证输送机运行所需的扭矩同时减轻输送机的振动。运动学分析保证输送机运行时与其他工作部件不发生干涉。

2.1 输送机静力学分析

工作状态下输送机处于水平位置,竖直方向的受力情况如图2所示。

输送机在竖直方向受力平衡方程组为

$$\begin{cases} \sum F_x = N_1 + F + N_2 + P_1 - (G + P_2) = 0 \\ \sum M_x = Gl_2 + P_2l_1 - (P_1 + N_2)l_1 - Fl_3 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$\begin{cases} G = mg \\ P_1 = k_1 \Delta x_1 \\ P_2 = k_2 \Delta x_2 \end{cases} \quad (2)$$

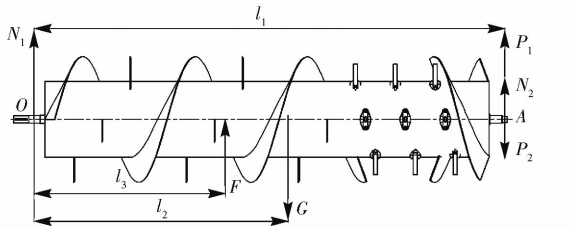


图 2 输送机受力分析简图

Fig. 2 Force diagram of conveyor

式中 N_1 ——左端轴承支撑力, N
 G ——输送机重力, N
 F ——物料对输送机作用力, N
 N_2 ——支撑板对输送机支撑力, N
 P_1 ——弹簧预紧力, N
 P_2 ——缓冲弹簧压缩力, N
 l_1 ——滑块与左端轴承水平距离, 为 1 875 mm
 l_2 ——输送机质心与左端轴承水平距离, 为 958 mm
 l_3 ——物料质心与左端轴承水平距离, mm
 m ——输送机质量, 为 73 kg
 k_1 ——预紧弹簧刚度, N/mm
 k_2 ——缓冲弹簧刚度, N/mm
 Δx_1 ——预紧弹簧压缩量, mm
 Δx_2 ——缓冲弹簧压缩量, mm

输送机静止时, 物料对其作用力 F 和缓冲弹簧压缩力 P_2 为零, 当支撑板支撑力 N_2 为零时, 由式(1)、(2)可得弹簧预紧力 P_1 的最大值 $P_{1\max} = 366$ N。油菜堆积特性试验^[25]表明: 油菜对输送器的压强随喂入量的增加而增加, 喂入量越大则物料对输送器的作用力 F 越大。

影响输送机平衡的主要作用力为物料对输送器的作用力 F 和预紧弹簧的预紧力 P_1 , 其中物料对输送器的作用力主要由喂入量和输送间隙决定, 预紧力 P_1 由预紧弹簧的刚度系数和初始压缩量确定。

2.2 输送机动力学分析

输送机处于工作状态时的受力分析如图 3a 所示。物料在输送机挤压力作用下沿轴线方向轴向运动, 同时在摩擦力作用下绕输送机切向运动。输送机与物料的摩擦因数很小因此物料的切向运动速度很小, 可设油菜在输送机与底板之间的空间内运动的切向速度 $v_t = \lambda \omega r$ 。由动力学普遍方程^[26]可知

$$M(O) = 0 \quad (3)$$

式中 $M(O)$ ——作用于输送机上的总力矩, N·m

将式(3)应用于图 3 可得

$$(T_1 - T_2)r_1 + (T_3 - T_4)r_2 - fr - q(1 - \lambda)\omega r^2 - M_r - J_o \frac{d\omega}{dt} = 0 \quad (4)$$

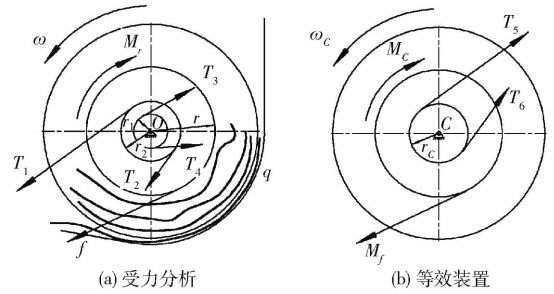


图 3 输送机工作状态受力分析与等效装置图

Fig. 3 Force analysis and equivalent device diagrams of conveyor

其中

$$\omega = n\pi/30$$

式中 T_1 ——驱动电动机对输送机带轮紧边拉力, N
 T_2 ——驱动电动机对输送机带轮松边拉力, N
 r_1 ——输送机传动带轮半径, m
 T_3 ——拨禾轮、切割器等其他装置对输送机传动带紧边拉力, N
 T_4 ——拨禾轮、切割器等其他装置对输送机传动带松边拉力, N
 r_2 ——其他装置过渡带轮半径, m
 r ——输送器的内半径, m
 f ——输送机与底板间油菜对输送器的摩擦力, N
 q ——输送机与底板之间油菜的质量, kg
 λ ——油菜切向运动速度系数
 M_r ——输送机运动副摩擦阻力矩与空气阻力矩之和, N·m
 J_o ——输送机转动惯量, kg·m²
 ω ——输送机角速度, rad/s
 n ——输送机转速, r/min

力矩分为动力矩和阻力矩两类, 驱动轮传动带紧边拉力力矩和其他装置对输送机传动带紧边拉力力矩为动力矩, 其余为阻力矩。除物料摩擦阻力矩外, 其他力矩均为传动部件扭矩, 因此将图 3a 输送机受力状态等效为图 3b 中的等效装置, 动力学平衡方程为

$$(T_5 - T_6)r_c - M_f - M_c - J_c \frac{d\omega_c}{dt} = 0 \quad (5)$$

式中 T_5 ——等效装置带轮紧边拉力, N

T_6 ——等效装置带轮松边拉力, N

r_c ——等效装置传动带轮半径, m

M_f ——输送机与底板间油菜对输送器的摩擦阻力矩, N·m

M_c ——等效装置运动副摩擦阻力矩与空气阻力矩之和, N·m

J_c ——输送机等效转动惯量, kg·m²

ω_c ——输送机等效角速度, rad/s

式(5)中, M_c 可基本视为常量, M_f 、 M_c 及空载扭矩影响输送机扭矩的大小, 其中摩擦阻力矩 M_f 与喂入量有关, 空载扭矩与输送机转动惯量、转速有关。

2.3 调节位移分析

当调节位移为零时输送机的位置如图 4 中 $PQEF$ 所示, 输送机处于水平状态, 与两侧板 C_1 、 C_2 的距离 $\Delta_0 = 10$ mm。当调节位移为 h 、输送机右端在滑槽内向上运动至 $P'Q'E'F'$ 位置时, 输送机与水平方向的夹角为 θ , 为保证输送机工作时不与两侧板发生干涉, 需保证 Δ 大于零。

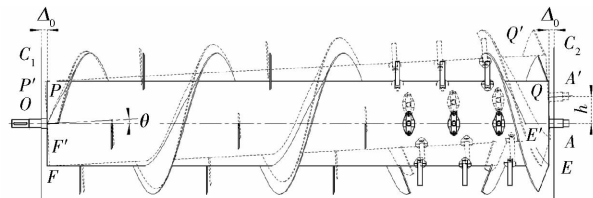


图4 输送机运动分析

Fig.4 Movement analysis of conveyor

图4中由几何关系可知

$$\tan\theta = \frac{h}{l_1} \quad (6)$$

式中 θ ——输送机与水平方向的夹角, ($^\circ$)

h ——调节位移, mm

E 、 E' 两点在水平方向上的距离为

$$\Delta' = R \tan\theta \quad (7)$$

式中 R ——输送机外半径, 为 250 mm

为保证输送机运行时不发生干涉, 须满足 $\Delta_0 - \Delta' > 0$, 则由式(6)、(7)可得滑块向上运动的最大距离 $h_{\max} = 75$ mm。设计中为保证输送机顺利运行, 缓冲弹簧上端与限位板的距离设计为 50 mm, 即最大调节位移为 50 mm。

3 试验

由输送机动力学与运动学分析可知, 影响调节结构性能的主要因素是预紧弹簧的预紧力和刚度系数; 影响输送机扭矩的主要因素是转速和喂入量。为探究调节机构对输送机性能的影响, 开展调节机构性能试验, 以弹簧预紧力和刚度系数为试验因素确定得出调节结构的较优参数; 在此基础上以输送机转速和喂入量为试验因素进行调节机构对输送机性能影响的试验, 设置试验组和对照组, 试验组增设调节机构, 对照组(CK)则未安装。

3.1 试验材料与方法

台架试验在自行研制的调节机构试验台上进行, 试验设备如图5所示, 主要有割台、间隙自适应调节机构、高速摄影系统(德国PCO公司生产, pco. dimax HD)、扭矩传感器及其记录存储系统(北

京天宇恒创传感技术有限公司生产, CYT-302型)等部件。扭矩传感器安装于输送机与驱动电动机之间, 高速摄影系统放置于调节机构一侧拍摄滑块在滑槽内的运动状态。试验材料为适收期的机播油菜, 人工自田间收割并运送至试验场地。

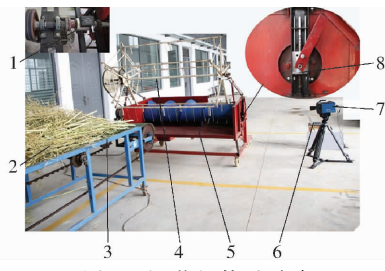


图5 调节机构试验台

Fig.5 Test bench of adjusting mechanism

1. 扭矩传感器 2. 试验油菜 3. 输送带 4. 拨禾轮 5. 割台
6. 计算机 7. 高速摄像机 8. 自适应间隙调节机构

试验时将一定质量的试验油菜铺放于输送带上, 驱动电动机带动输送机匀速运转, 输送带以恒定速度将试验油菜喂入割台以提供所需的喂入量, 使用扭矩传感器记录试验过程中输送机的扭矩和转速, 同时利用高速摄影机拍摄滑块在滑槽内的运动状态。

3.2 试验设计

弹簧的最大预紧力已确定为 366 N, 试验水平为 0、73、146、220、293、366 N。设计中预紧螺杆直径为 12 mm, 选取内径为 12 mm、刚度分别为 2.03、3.3、5.76、12.65、26.33 N/mm 共 5 种弹簧。调节机构性能试验时, 首先固定预紧弹簧的刚度, 通过调节预紧螺母的位置得到扭矩和调节位移随预紧力变化而变化的规律。然后固定弹簧预紧力, 通过更换不同弹簧得到扭矩和调节位移随刚度变化而变化的规律。

试验中没有物料喂入情况下, 输送机转速不大于 300 r/min 时, 预紧力 P_1 保持不变; 当转速达到 350 r/min 时, 预紧力 P_1 随输送机转动呈周期性波动规律。没有物料喂入情况下, 为保证预紧力 P_1 保持不变, 输送机转速不应大于 300 r/min。因此, 试验中输送机转速选取 150、200、250、300 r/min 共 4 个试验水平。自行设计的 4LYZ-1.8 型油菜联合收获机割幅为 1 800 mm, 设计喂入量 3.0 kg/s, 试验中喂入量选取 1.5、2.0、2.5、3.0、3.5 kg/s 共 5 个水平。调节机构对输送机性能影响试验时, 首先固定喂入量, 通过调速器改变输送机转速得到扭矩和调节位移随输送机转速变化而变化的规律。然后固定输送机转速, 改变喂入量得到扭矩和调节位移随喂入量变化而变化的规律。

3.3 输送机性能试验结果与分析

每组试验结束后将存储的扭矩数据导出, 获取

输送机扭矩 T 随时间变化的曲线,如图 6 所示,将高速摄像机拍摄的照片进行处理获取调节位移 h ,图 7 所示为调节位移 h 的变化过程,表明输送机与底板之间油菜增加时,调节位移由 0 逐步增加至 14 mm 以增加输送能力,防止堵塞,油菜减少时调节位移减小以优化输送器的输送性能。

3.3.1 预紧力与输送机性能关系试验结果与分析

试验中预紧弹簧的刚度为 12.65 N/mm,通过调节预紧螺母的位置得到最大扭矩和调节位移随预紧力变化而变化的曲线,如图 8 所示。最大扭矩随预紧力的增加而减小,由预紧力为 0 时的 13.94 N·m



图6 扭矩变化曲线
Fig. 6 Torque variation curve

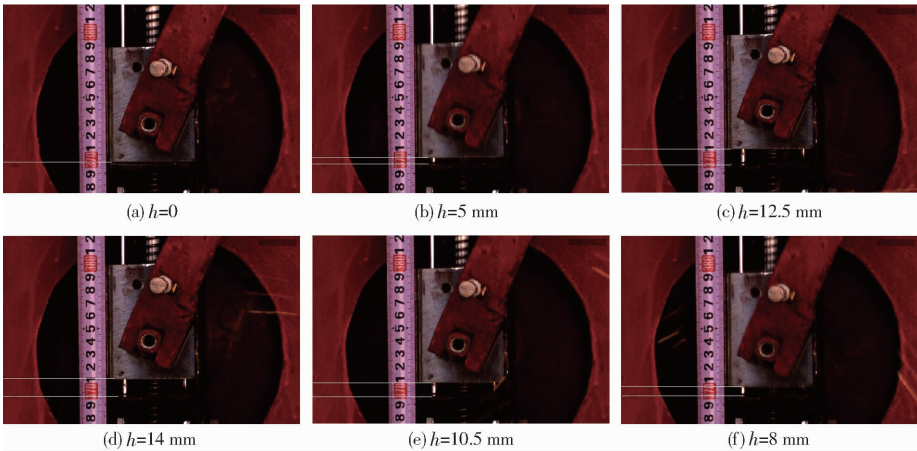


图 7 调节位移变化过程
Fig. 7 Adjusted displacement processes

降低为预紧力为 366 N 时的 7.268 N·m,降低了 47.86%。预紧力在 146 ~ 220 N 范围内扭矩减小较为明显,在 220 ~ 336 N 范围内扭矩有所降低但较为平缓。扭矩的斜率即扭矩减小量与预紧力增加量的比值,反映扭矩随预紧力变化的速率。预紧力在 0 ~ 220 N 范围内时,斜率随预紧力的增加而减小,预紧力继续增加时斜率先增加后减小,在 293 N 时最大。

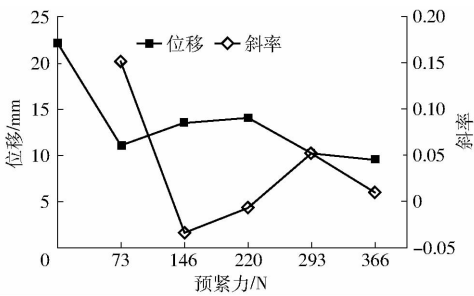


图 9 不同预紧力时的调节位移与斜率
Fig. 9 Displacement and slope at different pretensions

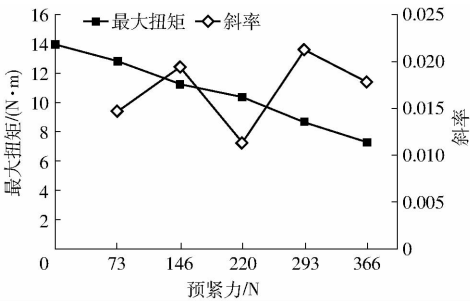


图 8 不同预紧力时的最大扭矩与斜率
Fig. 8 Maximum torque and slope at different pretensions

如图 9 所示,预紧力为 0 时调节位移为 22 mm,同时输送机扭矩达到最大,预紧力在 73 ~ 220 N 范围内,调节位移随预紧力的增加先减小后增大,预紧力大于 293 N 时调节位移有所减小。此外,预紧力为最大值 336 N 时输送机在空载状态下已有

2.5 mm 的位移,割台振动较大。
调节位移的斜率即调节位移与预紧力增加量的比值反映位移随预紧力变化的速率。预紧力为 293 N 时扭矩较小、斜率最大且调节位移较小,为降低扭矩同时减轻振动,预紧力取为 293 N。

3.3.2 刚度与输送机性能关系试验结果与分析

在预紧力与输送机性能关系试验中,弹簧预紧力为 293 N/mm,通过更换不同刚度的弹簧得到扭矩和调节位移随刚度变化而变化的曲线,如图 10 所示。刚度小于 12.65 N/m 时最大扭矩随刚度的增加而减小,刚度大于 12.65 N/mm 时最大扭矩有所增加,调节位移先增加后减小再增加,刚度为 12.65 N/mm 时出现极小值点。调节机构在减小扭

矩的同时尽量减小调节位移以减轻振动,因此设计中预紧弹簧的刚度为 12.65 N/m,此时最大扭矩为 8.267 N·m,减少了 40.7%。

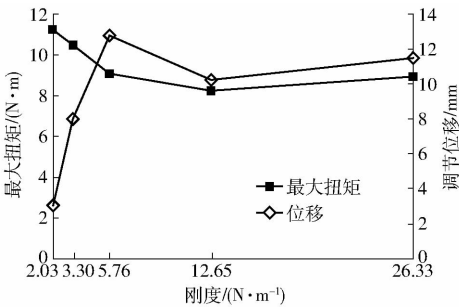


图 10 不同刚度时的最大扭矩与调节位移
Fig. 10 Torque and displacement at different stiffness coefficients

3.4 调节机构对输送机性能的影响试验

3.4.1 调节机构对转速的影响

依据调节机构性能试验结果,调节机构预紧弹簧预紧力和刚度分别为 220 N 和 12.65 N/mm。转速在 150 ~ 300 r/min 范围内,试验组与对照组的最大扭矩均随输送机转速增加而减小(图 11),每个试验水平下试验组扭矩均小于对照组,转速越低差值越明显,输送机转速为 150 r/min 时扭矩减小了 23%。调节位移随转速增加呈现先减小后增加的趋势。转速小于 200 r/min 时调节位移随转速增加而减小,大于 200 r/min 时调节位移随转速增加而增加。

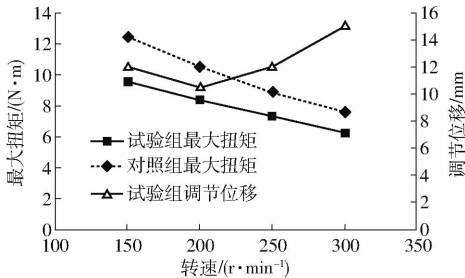


图 11 不同转速时的扭矩对比以及试验组调节位移
Fig. 11 Torque contrast at different speeds and displacement

综合分析转速与扭矩、调节位移之间的变化规律可知,输送机转速为 200 r/min 时工作性能较优。

3.4.2 调节机构对喂入量的影响

输送机转速为 200 r/min,喂入量对扭矩和调节位移影响结果(图 12)表明,喂入量在 1.5 ~ 3.5 kg/s 范围内变化时,试验组与对照组的最大扭矩均随喂入量增加而增加,每个试验水平下试验组的扭矩均小于对照组,喂入量越大扭矩减小越明显。喂入量为 3.0 kg/s 时对照组最大扭矩达到 14 N·m,且输送机由于扭矩过大基本停止运行,试验组最大扭矩为 10.648 N·m,相比减小了 23.94%。试验组喂入量

增加至 3.5 kg/s,输送机扭矩增加至 14.389 N·m。调节位移随喂入量增加而增加,与扭矩变化规律一致。综合来看,喂入量较大时调节机构可显著减小输送机扭矩增加输送机的工作性能,喂入量提高了 16.7%,增加了割台对喂入量的适应性。

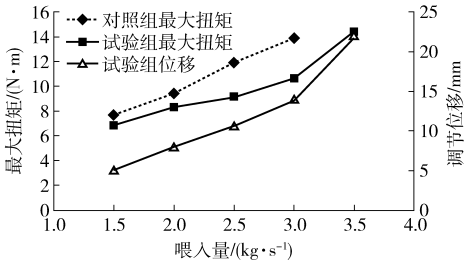


图 12 不同喂入量时的扭矩对比以及试验组调节位移
Fig. 12 Torque contrast at different feed quantities and displacement

油菜联合收获过程中由于种植密度和植株个体差异较大、作业速度不稳定等因素,喂入量并不均匀,为研究调节机构对喂入量波动的适应性,设置喂入量以 1.0-2.0-3.0-2.0-1.0 kg/s 规律变化,结果显示试验组扭矩小于对照组扭矩(图 13),表明调节机构可较好适应喂入量的波动。

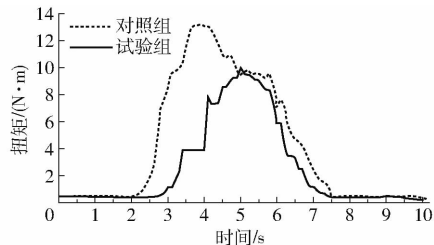


图 13 喂入量波动时的扭矩变化曲线
Fig. 13 Torque variation curves during fluctuation of feed volume

3.5 田间试验

根据上述理论分析和台架试验结果,调节机构弹簧预紧力和刚度分别为 293 N 和 12.65 N/mm,将调节机构安装于 4LYZ-1.8 型油菜联合收获机割台螺旋输送机上,选取油菜密度较为均匀的地块开展田间试验。试验油菜品种为华油杂 62,种植方式为机直播,平均植株高度 1 564 mm,作业速度为 2.8 km/h,喂入量为 3.2 kg/s。结果显示对照组输送机已出现堵塞,而试验组输送机、集成式纵轴流脱粒分离装置、清选装置等工作部件均可正常运行,未出现堵塞,如图 14 所示。表明喂入量在设计值附近波动时,间隙自适应调节机构可依据收获作业时喂入量的变化及时自动调节输送机与底板之间的间隙,提高输送机对喂入量的适应性,减轻割台堵塞,后续的集成式纵轴流脱粒分离装置、清选装置等工作部件均正常工作,可提高油菜联合收获机的适



图 14 田间试验

Fig. 14 Field experiments

应性。

4 结论

(1) 设计了一种油菜联合收获机割台螺旋输送机间隙自适应调节机构, 实现喂入量变化实时改变滑块的位移以自动调节输送机与底板之间的间隙。应用动力学与运动学分析确定了最大预紧力和调节位移分别为 366 N 和 50 mm, 并建立了输送机扭矩与转速、喂入量等因素的动力学模型。

(2) 运用扭矩传感器和高速摄像技术开展的输送机扭矩和调节位移性能试验, 确定了预紧力和刚

度分别为 293 N 和 12.65 N/mm 时, 输送机最大扭矩为 8.267 N·m, 减少了 40.7%, 调节位移为 10.2 mm, 调节机构性能较优。

(3) 调节机构对输送机性能影响试验表明, 增设间隙自适应调节机构可明显降低扭矩和增加最大喂入量, 转速为 150 r/min 时扭矩减小了 23%; 转速为 200 r/min 最大喂入量增加了 0.5 kg/s, 对比提高 16.7%。喂入量波动时, 试验组最大扭矩小于对照组, 表明调节机构可较好适应喂入量的波动。

(4) 田间试验结果显示, 喂入量为 3.2 kg/s 时对照组输送机已出现堵塞而试验组可正常作业。表明喂入量在设计值附近波动时, 割台螺旋输送机间隙自适应调节机构可依据油菜联合收获机作业过程中喂入量的波动实时自动调节输送机与底板之间的间隙, 以优化输送机的工作性能, 提高割台对喂入量波动的适应性、减轻堵塞, 后续的集成式纵轴流脱粒分离装置、清选装置等工作部件均工作正常, 提高了油菜联合收获机的适应性。

参 考 文 献

- 陈翠英, 王新忠, 何增富. 谷物联合收获机油菜收获割台的设计[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 54-60.
CHEN Cuiying, WANG Xinzong, HE Zengfu. Design of header for rape harvesting using grain combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(5): 54-60. (in Chinese)
- 王岳. 联合收割机的二次切割分向输送部件研究[J]. 农业机械学报, 1995, 26(4): 84-89.
WANG Yue. Research on apparatus with two cutters and conveyers in two ways for the combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1995, 26(4): 84-89. (in Chinese)
- 杨天明, 杨青, 杨银辉, 等. 基于超声波传感器的割台高度控制系统设计[J]. 农机化研究, 2008, 30(3): 134-136, 156.
YANG Shuming, YANG Qing, YANG Yinhui, et al. An ultrasonic-based combine header height control system [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(3): 134-136, 156. (in Chinese)
- 魏宵, 谢方平, 李仲凯, 等. 4LBZ-125 型半喂入水稻联合收割机割台性能试验[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2012, 38(3): 337-340.
WEI Xiao, XIE Fangping, LI Zhongkai, et al. Functional experiments on cutting table of 4LBZ-125 head-feed rice combine [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2012, 38(3): 337-340. (in Chinese)
- 伊健, 姚丽华, 陈兰, 等. 半喂入水稻联合收割机新型喂入深度调节机构设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(6): 1-3, 9.
YI Jian, YAO Lihua, CHEN Lan, et al. Design of a new type feeding depth adjustment device for semi-feeding rice combine harvester[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(6): 1-3, 9. (in Chinese)
- 韩豹, 蒋亦元, 吴文福. 倒伏超级稻割前摘脱台试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 90-94.
HAN Bao, JIANG Yiyuan, WU Wenfu. Experiments on stripping header for harvesting lodging super rice[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(6): 90-94. (in Chinese)
- 蒋恩臣, 蒋亦元. 气吸式割前摘脱装置的研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(3): 46-48.
JIANG Enchen, JIANG Yiyuan. Studies on the stripping unit with air suction [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(3): 46-48. (in Chinese)
- 张建瓴, 赵华海, 周学成, 等. 珠江-130 型梳脱式联合收获机的部件试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 63-67.
ZHANG Jianling, ZHAO Huahai, ZHOU Xuecheng, et al. Experimental research on modules of stripping combine harvester Zhujiang-130 [J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(5): 63-67. (in Chinese)
- 徐立章, 李耀明, 马朝兴. 梳脱式联合收割机新型割台得研究[J]. 农机化研究, 2002, 24(3): 75-77.
XU Lizhang, LI Yaoming, MA Chaoxing. Design of the new stripping header [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2002, 24(3): 75-77. (in Chinese)
- 王文明, 王春光. 弹齿滚筒式拾捡装置参数分析与仿真[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 82-89. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20121015&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.10.015.
WANG Wenming, WANG Chunguang. Parameter analysis and simulation of spring-finger cylinder pickup collector [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 82-89. (in Chinese)
- 尹建军, 刘丹萍, 李耀明. 方捆机捡拾器高度自动仿形装置参数分析与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 86-92. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140814&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.08.014.

- YIN Jianjun, LIU Danping, LI Yaoming. Design and parameters analyses of automatic height profiling device of quadrate-bale baler pickup[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 86–92. (in Chinese)
- 12 贾洪雷, 王文君, 庄健, 等. 仿形弹性镇压辊减粘防滑结构设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(6): 20–27. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150604&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.06.004.
- JIA Honglei, WANG Wenjun, ZHUANG Jian, et al. Design and experiment on reducing soil adhesion and anti-slip structure of profiling elastic press roller[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(6): 20–27. (in Chinese)
- 13 赵建柱, 郭海林, 王枫辰, 等. 苜蓿草压扁试验台设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(增刊): 119–123. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2014s120&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.020.
- ZHAO Jianzhu, GUO Hailin, WANG Fengchen, et al. Design and test of alfalfa flattening test bench[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(Supp.): 119–123. (in Chinese)
- 14 陈凯, 赵春花, 罗亚兰, 等. 牧草压扁机压扁间隙调节装置的设计与试验研究[J]. 干旱地农业研究, 2015, 33(3): 278–282.
- CHEN Kai, ZHAO Chunhua, LUO Yalan, et al. Design and test research of flattening gap adjustment device of mower conditioner[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(3): 278–282. (in Chinese)
- 15 刘志刚, 王德成, 郝兴玉, 等. 自走式灌木平茬机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(增刊): 95–98.
- LIU Zhigang, WANG Decheng, HAO Xingyu, et al. Experiment on self-propelled shrub cutter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.): 95–98. (in Chinese)
- 16 邬备, 王德成, 王光辉, 等. 小型自走式割草机仿形装置仿真分析与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(7): 123–129. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150719&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.019.
- WU Bei, WANG Decheng, WANG Guanghui, et al. Simulation analysis and experiment of profiling device of small self-propelled mower[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7): 123–129. (in Chinese)
- 17 李耀明, 唐忠, 徐立章, 等. 纵轴流脱粒分离装置功耗分析与试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 93–97.
- LI Yaoming, TANG Zhong, XU Lizhang, et al. Power analysis and experiment on longitudinal axial-threshing unit test-bed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 93–97. (in Chinese)
- 18 钟挺, 胡志超, 顾峰玮, 等. 4LZ-1.0Q型稻麦联合收获机脱粒清选部件试验与优化[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 76–81. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20121014&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.10.014.
- ZHONG Ting, HU Zhichao, GU Fengwei, et al. Optimization and experiment for threshing and cleaning parts of 4LZ-1.0Q cereal combine harvester[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 76–81. (in Chinese)
- 19 唐忠, 李耀明, 徐立章, 等. 切纵流联合收获机小麦脱粒分离性能评价与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 14–19.
- TANG Zhong, LI Yaoming, XU Lizhang, et al. Experiment and evaluating indicators of wheat threshing and separating on test-bed of longitudinal axial-threshing unit[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 14–19. (in Chinese)
- 20 李耀明, 王成红, 徐立章, 等. 切纵流联合收获机脱粒分离装置田间试验与参数优化[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(11): 111–116. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141117&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.11.017.
- LI Yaoming, WANG Chenghong, XU Lizhang, et al. Parameter optimization and field test of threshing and separation device in tangential longitudinal combine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(11): 111–116. (in Chinese)
- 21 李耀明, 陈洋, 徐立章, 等. 斜置切纵流联合收获机脱粒分离装置结构参数优化[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(9): 56–61. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160909&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.09.009.
- LI Yaoming, CHEN Yang, XU Lizhang, et al. Optimization of structural parameters for threshing and separating device in oblique tangential longitudinal combine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(9): 56–61. (in Chinese)
- 22 李心平, 熊师, 杜哲, 等. 浮动式玉米单穗脱粒装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(7): 104–111. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170713&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.07.013.
- LI Xiping, XIONG Shi, DU Zhe, et al. Design and experiment on floating corn single panicle threshing device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(7): 104–111. (in Chinese)
- 23 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 2007.
- 24 李海同, 万星宇, 王华, 等. 油菜联合收获机集成式纵轴流脱粒装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(5): 108–116. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170513&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.013.
- LI Haitong, WAN Xingyu, WANG Hua, et al. Design and experiment on integrated longitudinal axial flow threshing and separating device of rape combine harvester[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5): 108–116. (in Chinese)
- 25 金鑫. 4SY-1.8型油菜割晒机输送系统的研制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- JIN Xin. Design on conveying system of 4SY-1.8 rape windrower[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 26 宁小波, 陈进, 李耀明, 等. 联合收获机脱粒系统动力学模型及调速控制仿真与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 25–34.
- NING Xiaobo, CHEN Jin, LI Yaoming, et al. Kinetic model of combine harvester threshing system and simulation and experiment of speed control[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(21): 25–34. (in Chinese)