

辊盘式圆捆机卷捆机理分析与试验

李叶龙^{1,2} 王德福¹ 李东红¹ 王沫¹ 江志国¹ 雷军乐¹

(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 罗定职业技术学院机电工程系, 罗定 527200)

摘要: 针对国产中小型钢辊式圆捆机收获完整稻秆时易于堵塞问题, 设计了侧圆盘与钢辊组合式(简称辊盘式)卷捆机构, 并利用自制辊盘式圆捆机试验装置对其卷捆过程进行了试验研究。通过高速摄像与运动学分析可知: 完整稻秆刚进入卷捆室后在钢辊及侧圆盘共同作用下沿钢辊做整周运动, 稻秆在卷捆室内运转一周重新到达卷捆室底部位置时, 两侧壁摩擦力会使其停止旋转, 而在卷捆室底部产生持续累积过程, 由侧圆盘对稻秆产生的摩擦带动力可缩短累积稻秆形成旋转草芯进程, 进而避免堵塞现象发生。据此以影响辊盘式圆捆机形成旋转草芯的主要因素——圆盘直径、圆盘转速、长宽比(稻秆长度与卷捆室宽度的比值)为试验因素, 将旋转草芯形成时的稻秆质量作为评价指标进行试验。试验表明各因素影响评价指标的主次顺序为圆盘直径、长宽比、圆盘转速; 取圆盘直径 380 mm、圆盘转速 135 r/min, 当长宽比为 1.00 时, 旋转草芯形成时的稻秆质量为 1.21 kg, 当长宽比为 1.26 时, 旋转草芯形成时的稻秆质量为 3.44 kg, 并且无堵塞现象发生。研究结果可为辊盘式圆捆机的设计及其作业参数优化提供理论及技术依据。

关键词: 圆捆机; 钢辊; 侧圆盘; 卷捆机理

中图分类号: S225.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)12-0045-08

Theoretical Analysis and Experiment of Baling Mechanism of Roll-disk Round Baler

Li Yelong^{1,2} Wang Defu¹ Li Donghong¹ Wang Mo¹ Jiang Zhiguo¹ Lei Junle¹

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Luoding Polytechnic, Luoding 527200, China)

Abstract: With respect to the collaring jam problem found when harvesting intact rice straw by using domestic small and medium-sized steel-roll round balers, the baling mechanism, which combines the side disk and steel rolls ("the roll-disk type" for short) was designed, and the baling process was experimented by the roll-disk round baler. Through high-speed photography and kinematic analysis, it was found that after being fed to the baling chamber, the intact rice straw can move circumferentially along the steel rolls of baling chamber under the combined effects of steel rolls and side disk; when the rice straw returned to the bottom of baling chamber after running a cycle in the baling chamber, the rice straw would stop rotating due to friction force on two side walls of the baling chamber, then it was continuously accumulated at the bottom of baling chamber; the friction driving force generated by side disk on rice straw can shorten the process of rice straw accumulation to form rotating straw core, which can prevent collaring jam. Based on this, the main factors that affected the formation of rotating straw core in the roll-disk round baler—disk diameter, disk rotation speed and length-width ratio (ratio of rice straw length to width of baling chamber) are chosen as the experimental factors, the rice straw mass when

收稿日期: 2016-05-15 修回日期: 2016-06-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(51405076)、高等学校博士学科点专项科研基金项目(20124105110004)和黑龙江科技攻关项目(GC13B604)

作者简介: 李叶龙(1978—),男,博士生,罗定职业技术学院讲师,主要从事畜牧机械研究,E-mail: 335906710@qq.com

通信作者: 王德福(1964—),男,教授,博士生导师,主要从事畜牧机械研究,E-mail: dfwang640203@sohu.com

forming rotating straw core was decided as the evaluation index, and then experiments were conducted. The experimental results showed that the sequence of various factors' influence on the evaluation index was disk diameter, length-width ratio and disk rotation speed. When the disk diameter was 380 mm, disk rotation speed was 135 r/min, length-width ratio was 1.00, rice straw mass when forming rotating straw core was 1.21 kg, and the length-width ratio was 1.26, the rice straw mass when forming rotating straw core was 3.44 kg, and there was no jam occurred. The research results can provide theoretical and technical basis for design of roll-disk round balers and optimization of its operating parameters.

Key words: round baler; steel rolls; side disk; baling mechanism

引言

我国稻秆年总产量达2亿吨以上,近年来随着生态环境保护、农业可持续发展战略的实施,稻秆作为生物质资源的综合利用得到了快速发展,但稻秆疏松的结构特点导致其收贮运成本较高,对稻秆进行打捆收获是降低其利用成本的必要措施^[1-7]。

钢辊式圆捆机由于结构简单、价格低等特点,成为我国秸秆收获的关键技术装备之一^[8-11]。近年来由半喂入式水稻收获机获得的完整稻秆资源越来越丰富^[12-14],而在利用现有国产中小型钢辊式圆捆机收获完整稻秆时易出现堵塞现象,从而限制了该机的推广与应用。

目前,国内外对圆捆机的相关研究报道主要集中于机构的设计、应用等方面^[15-21],对于其卷捆机理方面的研究报道较少,其中雷军乐等^[22]研究表明,旋转草芯对后续喂入的稻秆具有较大的牵带作用,堵塞现象的发生主要是由于钢辊式圆捆机在进行完整稻秆打捆作业时无法及时形成旋转草芯。

针对钢辊式圆捆机收获完整稻秆时出现的堵塞问题,本文设计一种钢辊与侧圆盘组合式(简称辊盘式)卷捆机构,并利用自制辊盘式圆捆机试验装置对其卷捆机理进行分析与试验。

1 试验方法

1.1 试验装置与仪器设备

辊盘式圆捆机试验装置如图1所示,主要由辊盘式圆捆机(所打草捆尺寸为 $\Phi 450\text{ mm} \times 720\text{ mm}$,图中钢辊编号为1~10)、带式输送机组成。辊盘式圆捆机总体结构尺寸为 $1\ 070\text{ mm} \times 1\ 540\text{ mm} \times 820\text{ mm}$,主要由弹齿捡拾器、卷捆钢辊(直径为150 mm)、侧圆盘、捆绳装置、传动系统、液压系统等组成,其中卷捆钢辊沿卷捆室周向布置,而侧圆盘安装在卷捆室单侧侧壁中心处,圆捆机工作时钢辊和侧圆盘同时转动,在侧圆盘与钢辊对稻秆摩擦力的组合作用下完成卷捆过程;带式输送机的总体结构尺寸为 $4\ 000\text{ mm} \times 700\text{ mm} \times 300\text{ mm}$;用3台电动机

(型号为Y132M2-6、Y112M-6、XWD2-11-0.75)分别驱动圆捆机、输送机、侧圆盘,另配2台FR-F740-45K-CHT1型变频器和1台MICROMASTER440型变频器分别控制卷捆速度、稻秆喂入速度、侧圆盘转速。

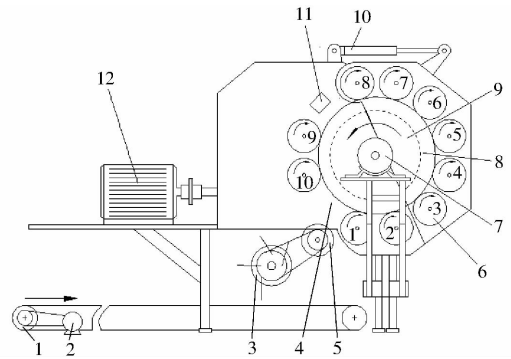


图1 辊盘式圆捆机试验装置示意图

Fig. 1 Experimental equipment of roll-disk round baler

1. 带式输送机 2. 输送电动机 3. 弹齿捡拾器 4. 卷捆室喂入口
5. 导入辊 6. 后室钢辊 7. 圆盘电动机 8. 卷捆室 9. 侧圆盘
10. 液压缸 11. 捆绳装置 12. 圆捆电动机

仪器设备还有美国 Vision Research 公司生产的 V5.1 型数字式高速摄像机(1 200 帧/s, 4 GB)以及用来称量旋转草芯形成时稻秆质量的台秤。

1.2 试验材料及方法

采用半喂入式水稻收获机获得的完整稻秆,平均长度 950 mm,含水率 12%。

将稻秆均匀铺放在输送带上并以 1 kg/s 速度喂入圆捆机,直至形成旋转草芯,旋转草芯形成后立即放出、称量并记录其质量,每组重复 5 次,试验结果取其平均值;在卷捆过程中利用高速摄像机对旋转草芯形成过程进行观测,将捆绳装置卸下作为观测口 1,将卷捆室侧壁安装有机玻璃板作为观测口 2。

1.3 试验因素与评价指标

1.3.1 试验因素

经试验分析,辊盘式圆捆机工作时由侧圆盘(以下简称圆盘)与钢辊对稻秆摩擦力的组合作用完成卷捆过程,圆盘尺寸、转速及稻秆对卷捆室侧壁的压力对其工作效果都有较大影响,因而选择圆盘

直径、圆盘转速、长宽比 3 个因素进行研究,具体取值说明如下:

(1) 圆盘直径

根据预试验及辊盘式圆捆机的结构特点,圆盘直径的最小值宜在卷捆室直径的 40% ~ 50% 范围内选取,圆盘直径的最大值宜在卷捆室直径的 85% ~ 90% 范围内选取,本试验装置中卷捆室直径为 450 mm,同时考虑卷捆过程高速摄像观测需要,故取圆盘直径范围 220 ~ 380 mm。

(2) 圆盘转速

形成旋转草芯后,草芯边缘线速度与钢辊边缘线速度相近,故圆盘转速需等于草芯转速,才能使草捆与圆盘同步旋转,避免形成草捆后钢辊与圆盘互为阻碍,预试验表明当钢辊转速过低时无法实现卷捆过程,过高时机器会发生剧烈振动,经试验分析与计算,本试验取圆盘转速范围 55 ~ 135 r/min,圆盘转速计算公式为

$$v_1 = v_2 \quad (1)$$

$$v_1 = n_1 \frac{z_2 z_4 f_2}{z_1 z_3 f_1} \frac{2\pi r_1}{60} \quad (2)$$

$$v_2 = n_2 \frac{2\pi r_2}{60} \quad (3)$$

$$n_2 = n_1 \frac{z_2 z_4 f_2 r_1}{z_1 z_3 f_1 r_2} \quad (4)$$

$$n_3 = n_2 \quad (5)$$

式中 v_1 ——钢辊边缘线速度, m/s
 v_2 ——草芯边缘线速度, m/s
 n_1 ——圆捆电动机转速, r/min
 z_1 ——齿轮箱大齿轮齿数
 z_2 ——齿轮箱小齿轮齿数
 z_3 ——传动大齿轮齿数
 z_4 ——传动小齿轮齿数
 f_2 ——变频器实际控制频率, Hz
 f_1 ——标准频率, 取 50 Hz
 r_1 ——钢辊半径, m
 n_2 ——草芯转速, r/min
 r_2 ——草捆半径, m
 n_3 ——圆盘转速, r/min

(3) 长宽比

将稻秆长度与卷捆室宽度的比值定义为长宽比,长宽比直接影响稻秆对卷捆室两侧壁压力的大小,是影响旋转草芯快速形成的因素之一,依据现有中小型钢辊式圆捆机的卷捆室宽度参数^[23],本试验取长宽比范围 1.00 ~ 1.26。

1.3.2 评价指标

在稻秆喂入速度一定时,旋转草芯形成时的稻

秆质量越少,表明形成旋转草芯的时间越短,越不易出现堵塞现象,为此将旋转草芯形成时的稻秆质量作为评价指标。

1.4 试验因素水平

根据辊盘式圆捆机试验装置的工作原理,对圆盘直径、圆盘转速、长宽比进行三因素三水平正交试验,试验因素与水平如表 1 所示,每组做 5 次试验,结果取平均值。

表 1 试验因素与水平

Tab. 1 Experimental factors and levels

水平	因素		
	圆盘直径/mm	圆盘转速/(r·min ⁻¹)	长宽比
1	220	55	1.00
2	300	95	1.13
3	380	135	1.26

2 旋转草芯形成机理

2.1 旋转草芯形成过程高速摄像分析

试验中取圆盘直径为 380 mm,圆盘转速为 95 r/min,试验时将稻秆与输送带宽度方向呈 15°角均匀铺放在输送带上并以 1 kg/s 速度喂入圆捆机。

图 2 (k_1 为圆盘; k_2 为卷捆室侧壁; k_3 、 k_4 为 3、4 号钢辊; t 表示卷捆时间) 所示为经观测口 1 观察稻秆进入卷捆室后形成松散圆柱形草芯过程,从中可见稻秆呈倾斜姿态进入卷捆室,并逐渐接近卷捆室一侧侧壁,经测试知在接近卷捆室侧壁时稻秆在卷捆室内倾斜角度 θ 范围为 50° ~ 55°,此过程稻秆并未与卷捆室侧壁接触,只在钢辊摩擦力、后续稻秆推力及自身重力作用下运动,之后稻秆端部开始接触卷捆室侧壁并沿钢辊上升,在 $t = 1.19$ s 时开始有大量稻秆接触卷捆室侧壁,上升到 5 号钢辊处 ($t = 1.25$ s, 因拍摄角度关系 5 号钢辊不可见) 时出现大量稻秆与圆盘接触,并沿钢辊及圆盘端面做圆周运动,越过 8 号钢辊 ($t = 1.39$ s) 稻秆迅速充满整个卷捆室形成松散圆柱形草芯,松散圆柱形草芯形成后(稻秆重新运动到卷捆室底部),因两侧壁摩擦力的作用,草芯会在卷捆室内累积一段时间,当稻秆累积到一定量后才又重新转动进而形成旋转草芯,由此可见旋转草芯的形成中经历了 2 次转动过程。

同时经高速摄像分析发现,在稻秆第 1 次旋转运动中的非圆盘侧,稻秆进入卷捆室后始终处于卷捆室底部并紧压卷捆室侧壁,稻秆另一端以此端为铰接点转动至 8 号钢辊处,当稻秆越过 8 号钢辊后才瞬间整秆旋转,如图 3 (d_s 为稻秆穗部; k_8 、 k_9 为 8、9 号钢辊) 所示;其原因是稻秆长度大于卷捆室宽度,当整秆进入卷捆室后穗部始终处于弯折变形状

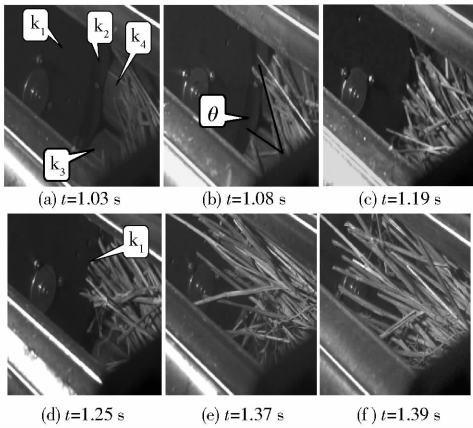


图2 卷捆室内圆盘侧稻秆运动过程

Fig. 2 Movement process of rice straw in disk side

态,在稻秆穗部弹性恢复力作用下,其穗部紧压在卷捆室侧壁难以上移,故起到类似铰接点的作用,而随着稻秆另一侧的上移,卷捆室内容纳稻秆的空间长度不断增大,稻秆运动到8号钢辊处,容纳稻秆的空间长度最大(840 mm),稻秆穗部弹性恢复力最小,此刻卷捆室侧壁对稻秆的摩擦力(压力)最小,而圆盘对稻秆的摩擦力、钢辊对稻秆的摩擦力变大(卷捆室内稻秆量增加)、同时此部分稻秆的重力成为旋转动力,在上述因素的共同作用下,瞬间整秆做圆周运动。

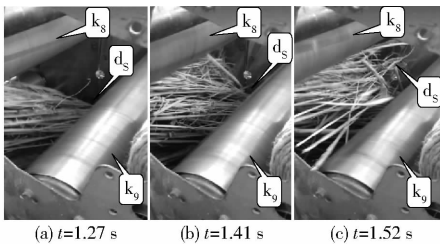


图3 卷捆室内非圆盘侧稻秆运动过程

Fig. 3 Movement process of rice straw in non-disk side

为反映稻秆第1次沿钢辊转动过程中的运动规律,通过观测口2跟踪一标记稻秆,如图4(k_0 为标记稻秆; k_1 为圆盘; $k_3 \sim k_7$ 分别为3~7号钢辊)所示,以高速摄像观测口的右下角为坐标原点,测量得到标记点到达不同钢辊处的位移及两观测点间的平均速度,如图5所示。

由图5 稻秆到达不同钢辊处位移可见,稻秆到达5号钢辊位置后其运动轨迹具有明显前抛特征,

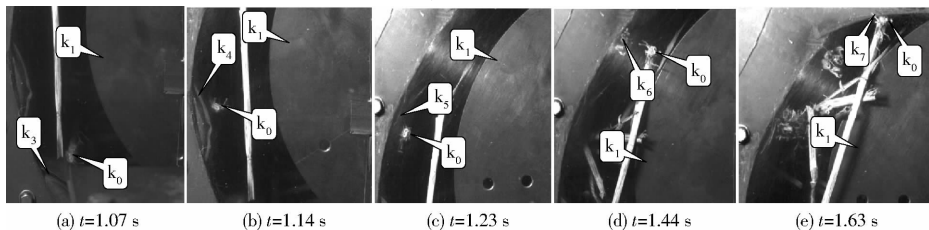


图4 标记稻秆在卷捆室内运动过程

Fig. 4 Movement process of marked rice straw in baling chamber

说明稻秆接触到5号钢辊后发生了前抛运动(当此处稻秆密集时,前抛运动体现在稻秆的整体运动趋势上,如图2d所示),可见5号钢辊对上升运动中的稻秆具有前抛作用,于是产生了圆盘对稻秆的摩擦带动作用。

由图5 稻秆在不同时间段平均速度趋势可见,稻秆在4~5号钢辊位置间平均速度相对3~4号钢辊位置间平均速度具有降低趋势,稻秆在5~6号钢辊位置间平均速度相对4~5号钢辊位置间平均速度降低趋势更为明显,而在6~7号钢辊位置间平均速度相对5~6号钢辊位置间平均速度具有一定上升趋势;其原因主要是稻秆在弹齿捡拾器的作用下进入卷捆室,在弹齿捡拾器及1、2号钢辊的作用下获得较高的运动速度及一定加速度,由于自身重力原因稻秆离开2号钢辊后加速度开始变小,到达4号钢辊处加速的方向为负(钢辊摩擦力小于稻秆自身重力),故导致稻秆运动速度自4号钢辊处开始明显降低,当稻秆到达5号钢辊位置处时,其前抛作用及后续稻秆的累积效果致使卷捆室内稻秆与圆盘的接触面积增大,并且在圆盘摩擦力作用下,稻秆始终与钢辊有接触(图2e),在圆盘与钢辊对稻秆的摩擦力组合作用下稻秆在6~7号钢辊位置间的速度得以保持或略有提高,从而实现观测口内近似半圆形运动轨迹,并由此可推断出稻秆第一次沿钢辊转动过程中因圆盘的作用其在卷捆室内的运动轨迹近似圆形(试验已证实)。

2.2 旋转草芯形成过程中运动分析

从上述高速摄像观测可知,在稻秆长度大于卷捆室宽度情况下,旋转草芯的形成经历了2次转动过程,为便于分析,以下均以稻秆束为研究对象,图6中A、B分别代表圆盘和卷捆室侧壁,稻秆束靠近圆盘一端称为稻秆束A端,靠近卷捆室侧壁一端称为稻秆束B端, x 轴箭头为稻秆束在穗部弹性恢复力作用下的前进方向, y 轴箭头为稻秆束沿钢辊上升方向。

2.2.1 第1次转动过程运动分析

(1) 稻秆束在弹齿捡拾器作用下进入卷捆室,因稻秆倾斜铺放且长度大于卷捆室宽度,故稻秆束

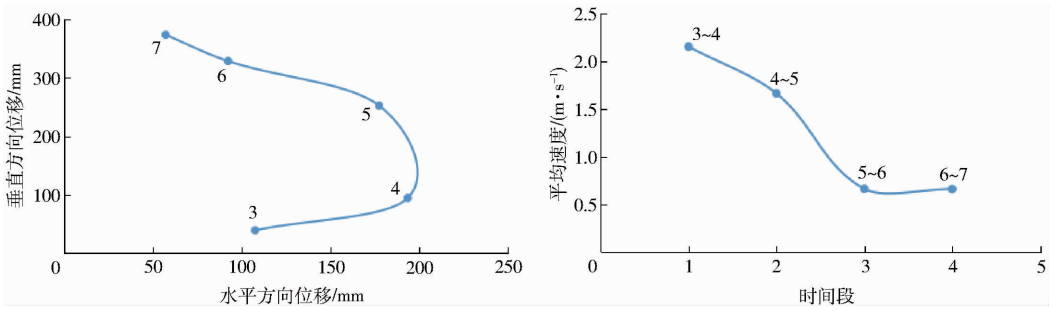


图 5 标记稻秆的运动轨迹及速度

Fig. 5 Trajectory and speed of marked rice straw

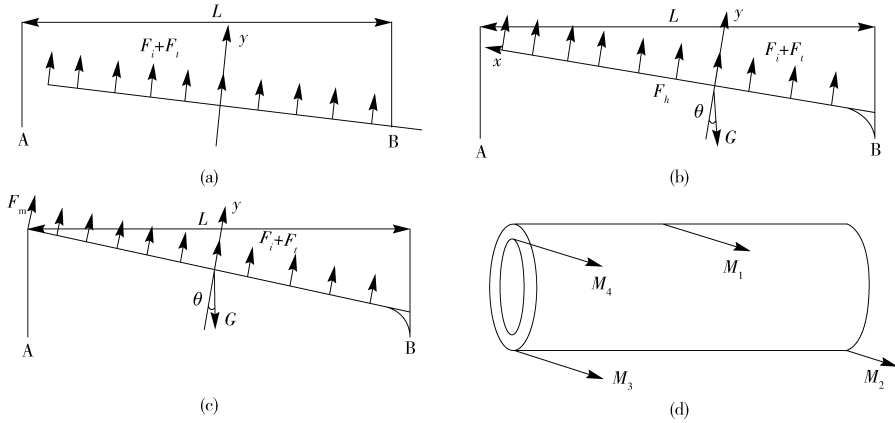


图 6 稻秆束运动过程受力分析

Fig. 6 Force analysis and movement process of rice straw

A 端先进入喂入口, B 端则处于喂入口外, 由于卷捆室侧壁的阻挡, 稻秆束绕 B 端向卷捆室内转动, 如图 6a 所示, 此刻稻秆束受到绕其 B 端转动力矩 M_B 的作用, 其受力方程为

$$M_B = \frac{(F_i + F_l)L_1}{2} \quad (6)$$

其中 $L_1 = \frac{L}{\cos\theta}$ (7)

式中 M_B ——稻秆束绕其 B 端转动力矩, $N \cdot m$

F_i ——钢辊对稻秆束摩擦力, N

F_l ——后续稻秆推力, N

L_1 ——稻秆束在卷捆室内的长度, m

L ——卷捆室宽度, m

(2) 随后, 稻秆束运动一定角度 ($50^\circ \sim 55^\circ$) 后, 在钢辊摩擦力及后续稻秆推力的作用下, 稻秆束 B 端进入卷捆室内部, 并且穗部发生弯折变形, 在稻秆穗部弹性恢复力、钢辊摩擦力及后续稻秆推力作用下, 稻秆束沿钢辊做倾斜上升运动, 如图 6b 所示, 其受力方程为

$$F_x = F_h - G\sin\theta \quad (8)$$

$$F_y = F_i + F_l - G\cos\theta \quad (9)$$

式中 F_x ——沿稻秆束前进方向的合力, N

F_y ——沿稻秆束上升方向的合力, N

F_h ——稻秆束穗部弹性恢复力, N

G ——稻秆束自身重力, N

θ ——稻秆束相对水平方向的倾角, ($^\circ$)

(3) 由高速摄像观测可知, 当稻秆到达 5 号钢辊位置处时, 其前抛作用及后续稻秆的累积效果致使卷捆室内稻秆与圆盘的接触面积增大, 圆盘对稻秆的摩擦带动效果开始明显, 并且在圆盘摩擦力作用下, 稻秆始终与钢辊有接触 (图 2d、2e), 此时稻秆束受到后续稻秆推力 F_l 、自身重力 G 、圆盘摩擦力 F_m 、钢辊摩擦力 F_i 的作用, 而由于稻秆束穗部弹性恢复力的作用, 稻秆束 B 端始终处于卷捆室底部并紧压卷捆室侧壁, 起铰接点作用, 如图 6c 所示, 故稻秆束在此过程中的受力方程为

$$M_B = F_m L_1 + \frac{(F_i + F_l)L_1}{2} - \frac{1}{2}GL_1 \cos\theta \quad (10)$$

式中 F_m ——圆盘对稻秆束的摩擦力, N

试验发现当稻秆穗部朝向圆盘侧时, 其运动过程与上述分析相同。

2.2.2 第 2 次转动过程运动分析

稻秆束到达 8 号钢辊处, 容纳稻秆的空间长度最大, 瞬间整秆旋转, 并快速运动到卷捆室底部, 因容纳稻秆的空间长度突然变短 (720 mm), 故卷捆室侧壁对稻秆的压力突然增大, 使已旋转的稻秆停止转动, 随着卷捆室内稻秆的逐渐累积, 在圆盘和钢辊的摩擦力带动下才又重新转动形成旋转草芯, 在稻

秆累积过程中与圆柱形草芯旋转有关的力主要有:各钢辊摩擦力、卷捆室侧壁摩擦力、圆盘摩擦力,如图6d所示,各钢辊摩擦力的作用效果等效为力矩 M_1 (与稻秆的质量呈正相关),卷捆室两侧壁摩擦力的作用效果等效为力矩 M_2 、 M_3 ,圆盘摩擦力的作用效果等效为力矩 M_4 ,因圆柱形草芯刚形成较为松散,故假定圆柱形草芯对卷捆室侧壁不同部位的压力相同,其受力方程为

$$M_1 = \int_0^{2\pi} F_{\Delta\alpha} R d\alpha \quad (11)$$

$$F_{\Delta\alpha} = (N_{\Delta\alpha} + G_{\Delta\alpha})\mu \quad (12)$$

$$M_2 = \int_0^R N_y \mu_1 dR \quad (13)$$

$$M_3 = \int_{R_1}^R N_y \mu_1 dR \quad (14)$$

$$M_4 = \int_0^{R_1} N_y \mu_1 dR \quad (15)$$

$$M = M_1 + M_4 - M_3 - M_2 \quad (16)$$

式中 M_1 ——钢辊对草芯的摩擦力矩, N·m

$\Delta\alpha$ ——任意小角度, ($^\circ$)

$F_{\Delta\alpha}$ —— $\Delta\alpha$ 角内钢辊对草芯摩擦力, N

$N_{\Delta\alpha}$ —— $\Delta\alpha$ 角内圆柱形草芯对钢辊胀力, N

$G_{\Delta\alpha}$ ——稻秆重力在 $\Delta\alpha$ 角内分力, N

μ ——钢辊与稻秆间的摩擦因数

M_2 ——非圆盘侧卷捆室侧壁对圆柱形草芯的摩擦力矩, N·m

M_3 ——圆盘侧卷捆室侧壁对圆柱形草芯的摩擦力矩, N·m

M_4 ——圆盘对圆柱形草芯的摩擦力矩, N·m

M ——促使圆柱形草芯旋转的有效力矩, N·m

R ——卷捆室半径, m

R_1 ——圆盘半径, m

N_y ——草芯对卷捆室侧壁的平均压力, N

μ_1 ——稻秆与卷捆室侧壁间的摩擦因数

由式(11)~(16)可知, R_1 越大, M_4 越大, M_3 越小,总阻力矩越小,总动力矩越大,为此圆盘直径越大促进旋转草芯快速形成的效果越好。

综合上述分析可知,利用辊盘式圆捆机收获完整稻秆时,圆盘在形成旋转草芯过程中的作用:一是使刚进入卷捆室内的稻秆的运动变得更加快捷和顺畅,二是缩短累积稻秆形成旋转草芯进程,进而避免发生堵塞现象。

3 试验结果与分析

试验结果如表2所示, y_1 为旋转草芯形成时的稻秆质量。

表2、3分析表明,圆盘直径、长宽比对评价指标

表2 正交试验安排与结果

Tab.2 Results of orthogonal experiment

试验序号	圆盘直径	圆盘转速	长宽比	y_1/kg
	A/mm	B/(r·min ⁻¹)	C	
1	220	55	1.00	3.51
2	220	95	1.13	6.12
3	220	135	1.26	6.52
4	300	55	1.13	4.81
5	300	95	1.26	4.45
6	300	135	1.00	2.23
7	380	55	1.26	3.91
8	380	95	1.00	1.24
9	380	135	1.13	1.96
K_1	5.38	4.07	2.33	
K_2	3.83	3.94	4.30	
K_3	2.37	3.57	4.96	
极差	3.01	0.51	2.63	

表3 方差分析

Tab.3 Analysis of variance

因素	平方和	自由度	F	$F_{0.05}$	显著性
圆盘直径	13.625	2	15.055	6.940	*
圆盘转速	0.411	2	0.454	6.940	
长宽比	11.255	2	12.436	6.940	*
误差	1.81	4			

注: *表示显著($F > F_{0.05}$)。

具有显著性影响,各因素对旋转草芯形成时的稻秆质量影响主次顺序为圆盘直径、长宽比、圆盘转速;在上述试验中,当旋转草芯形成时的稻秆质量低于4 kg时无堵塞现象发生,而大于4 kg时出现堵塞现象的几率在20%以上,并且随着稻秆质量的增加,出现堵塞现象的几率不断增大,故为避免堵塞现象的出现,旋转草芯形成时的稻秆累积质量不应超过4 kg。

从各因素对评价指标影响趋势(图7)可见,旋转草芯形成时的稻秆质量随圆盘直径增大而减小,说明圆盘直径越大越利于旋转草芯的形成,与由式(11)~(16)所推出结论相符;旋转草芯形成时的稻秆质量随长宽比的增大而增大,说明长宽比越大越难以快速形成旋转草芯,原因是长宽比变大导致稻秆对卷捆室侧壁压力变大,卷捆室侧壁对草芯摩擦阻力随之变大,这是导致草芯在卷捆室内停止旋转而出现持续累积过程的重要因素;圆盘转速对旋转草芯形成时的稻秆质量影响不明显,但旋转草芯形成时的稻秆质量随圆盘转速增大有一定减小趋势,说明圆盘转速的增大对促进旋转草芯的快速形成仍有一定效果,故在合理范围内圆盘转速越大效果越佳。

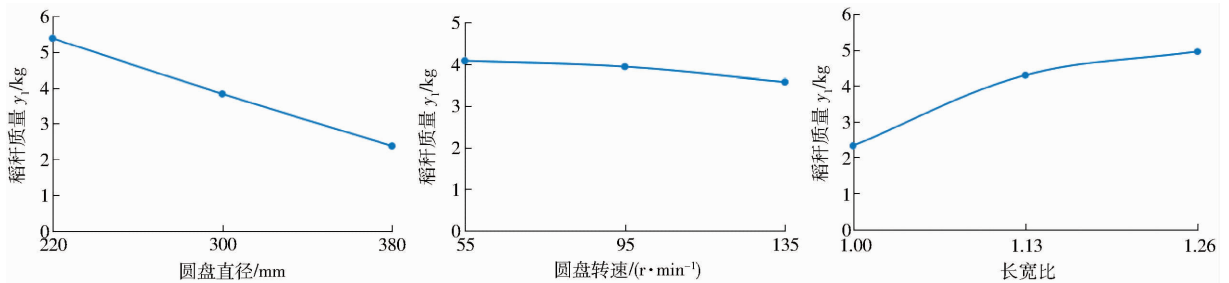


图7 各因素对评价指标的影响趋势

Fig. 7 Influencing trends of factors on evaluation index

由上述分析可知,在本试验范围内,最优组合为 $A_3B_3C_1$,在实际工作中不同型号的圆捆机卷捆室宽度固定,而不同地区不同品种稻秆长度不同^[24],故同一机型在不同使用条件下会产生不同长宽比,为进一步研究辊盘式圆捆机对不同长宽比的适应性,即长宽比在一定范围内波动时的卷捆效果,故分别取 $A_3B_3C_1$ 和 $A_3B_3C_3$ 2组合作进一步试验研究,试验表明,取圆盘直径380 mm、圆盘转速135 r/min,当长宽比为1.00时,旋转草芯形成时稻秆质量为1.21 kg,当长宽比1.26时,旋转草芯形成时稻秆质量为3.44 kg,两组合分别进行5次试验,在各自5次试验中均未发生堵塞,说明辊盘式卷捆机构形成旋转草芯性能较好,并且对不同长宽比的适应性也较好。

4 结论

(1)通过高速摄像分析与试验研究表明,辊盘式圆捆机在圆盘与钢辊对稻秆摩擦力的组合作用下完成卷捆过程,圆盘与钢辊对稻秆的组合作用可缩短稻秆累积形成旋转草芯的进程,进而避免堵塞现象发生。

(2)在本试验范围内,试验因素对旋转草芯形成时的稻秆质量影响主次顺序为圆盘直径、长宽比、圆盘转速;取圆盘直径380 mm、圆盘转速135 r/min,当长宽比为1.00时,旋转草芯形成时的稻秆质量为1.21 kg,当长宽比为1.26时,旋转草芯形成时的稻秆质量为3.44 kg。

参 考 文 献

- 1 申宝营,丁为民,李毅念,等. 捆型秸秆运输存储参数的确定[J]. 江苏农业科学,2011,39(5):513-515.
- 2 李明文,王珊珊,张广胜. 辽宁省水稻主产区农户秸秆利用行为调查研究[J]. 沈阳农业大学学报:社会科学版,2013,15(4):385-389.
LI Mingwen, WANG Shanshan, ZHANG Guangsheng. Farmer households' behavior of straw utilization in the main rice production area of Liaoning province[J]. Journal of Shenyang Agricultural University: Social Sciences Edition, 2013, 15(4): 385-389. (in Chinese)
- 3 朱建春. 陕西农业废弃物资源化利用问题研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.
ZHU Jianchun. Study on the problem of Shaanxi agricultural wastes resource utilization[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014. (in Chinese)
- 4 高海,李国东,刘伟,等. 农作物秸秆综合利用现状及技术[J]. 现代农业科技,2011(18):290-291.
- 5 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报,2002,18(3):87-91.
HAN Lujia, YAN Qiaojuan, LIU Xiangyang, et al. Straw resources and their utilization in China[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(3): 87-91. (in Chinese)
- 6 李伟,蔺树生,谭豫之,等. 作物秸秆综合利用的创新技术[J]. 农业工程学报,2000,16(1):14-17.
LI Wei, LIN Shusheng, TAN Yuzhi, et al. Innovated techniques on comprehensive utilization of crop straw[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(1): 14-17. (in Chinese)
- 7 李玉侠. 作物秸秆开发利用的方式及发展方向[J]. 现代农业科技,2014(22):184-185.
LI Yuxia. Utilization types and development direction of crop straw[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(22): 184-185. (in Chinese)
- 8 王春光. 钢辊外卷式圆捆机结构与原理[J]. 农业机械,2008(12A):43-45.
- 9 王德福,蒋亦元,王吉权. 钢辊式圆捆打捆机结构改进与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(12):84-88.
WANG Defu, JIANG Yiyuan, WANG Jiquan. Structure-improving and experiment of steel-roll round baler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 84-88. (in Chinese)
- 10 王春光,敖恩查,刑冀辉,等. 钢辊外卷式圆捆打捆机设计与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(增刊):102-106.
WANG Chunguang, AO Encha, XING Jihui, et al. Design and experiment on round baler with revolute steel roller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.): 102-106. (in Chinese)
- 11 王琛,黄东明,周益君,等. 9YY-550型小型秸秆捡拾圆捆机的设计[J]. 中国农机化,2008(4):67-68.

- 12 董亚娜. 半喂入式水稻联合收割机结构特点及存在问题[J]. 农机使用与维修, 2014(10):53.
- 13 杨磊, 肖丽萍, 耿兆奎, 等. 我国半喂入水稻联合收割机的现状与发展趋势分析[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(1):8-10.
YANG Lei, XIAO Liping, GENG Zhaokui, et al. Present situation and development trend analysis of head-feed rice combine in China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(1):8-10. (in Chinese)
- 14 李玖祥, 刘仁鑫. 江西水稻联合收割机应用现状及发展趋势[J]. 湖南农机, 2014, 41(11):7-9.
LI Jiuxiang, LIU Renxin. Application status and development trend of Jiangxi rice combine harvester[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2014, 41(11):7-9. (in Chinese)
- 15 高东明, 王德成, 李杰, 等. 青饲圆捆机对数螺旋式成形装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7):118-122.
GAO Dongming, WANG Decheng, LI Jie, et al. Design and test of logarithmic spiral round baler chamber[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7):118-122. (in Chinese)
- 16 王春光, 马卫民, 马赛, 等. 钢辊预压式圆捆机设计[J]. 农业工程, 2011, 1(2):17-20.
WANG Chunguang, MA Weimin, MA Sai, et al. Design on round baler with prepressing device[J]. Agricultural Engineering, 2011, 1(2):17-20. (in Chinese)
- 17 华荣江, 唐遵峰, 叶宏艳, 等. 国内外圆捆机械研究与发展趋势[J]. 中国农机化, 2012, 33(3):23-26.
HUA Rongjiang, TANG Zunfeng, YE Hongyan, et al. Research and development tendency about baler in domestic and overseas [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2012, 33(3):23-26. (in Chinese)
- 18 GALANT J C, VAN DE L M. Baler and method of baling: EP 2012/004278[P]. 2012-10-12.
- 19 LEED H, KIM Y J, CHUNG S O, et al. Analysis of the PTO load of a 75 kW agricultural tractor during rotary tillage and baler operation in Korean upland fields[J]. Journal of Terramechanics, 2015, 60:75-83.
- 20 Tenbult H T H. Agricultural baler: EP 2015/063873[P]. 2015-06-19.
- 21 雷军乐, 王德福, 张全超, 等. 完整稻秆卷压过程应力松弛试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8):76-83.
LEI Junle, WANG Defu, ZHANG Quanchao, et al. Experiment on stress relaxation characteristics of intact rice straw during rotary compression[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(8):76-83. (in Chinese)
- 22 雷军乐, 王德福, 李东红, 等. 钢辊式圆捆机旋转草芯形成影响因素分析与优化[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12):18-25.
LEI Junle, WANG Defu, LI Donghong, et al. Influence factors anlysis and optimization of forming rotary straw core by steel-roll round baler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12):18-25. (in Chinese)
- 23 杜韧, 张立志. 圆捆机成型室原理与发展趋势[J]. 农业机械, 2007(18):78-79.
- 24 张忠旭, 隋国民, 华泽田, 等. 中高秆弯曲穗型杂交粳稻抗倒伏能力分析[J]. 杂交水稻, 2008, 23(4):65-68.
ZHANG Zhongxu, SUI Guoming, HUA Zetian, et al. Analysis on lodging resistance of japonica hybrid rice with higher stems and drooping panicles[J]. Hybrid Rice, 2008, 23(4):65-68. (in Chinese)

(上接第7页)

- 13 王永维, 唐燕海, 王俊, 等. 蔬菜钵苗高速移栽机吊杯式栽植器参数优化[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1):91-100.
WANG Yongwei, TANG Yanhai, WANG Jun, et al. Parameter optimization for dibble-type planting apparatus of vegetable pot seedling transplanter in high-speed condition[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1):91-100. (in Chinese)
- 14 金鑫, 杜新武, 杨传华, 等. 移栽机曲柄滑槽式栽植机构设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5):83-90.
Jin Xin, Du Xinwu, Yang Chuanhua, et al. Design and experiment on crank-chute planting mechanism of transplanting machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5):83-90. (in Chinese)
- 15 LAWRENCE M J, BUCKMASTER D R, LAMONT W J. A pneumatic dibbling machine for plastic mulch[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2007, 23(4):419-424.
- 16 PRASANNA K G V, RAHEMAN H. Development of a walk-behind type hand tractor powered vegetable transplanter for paper pot seedlings[J]. Biosystems Engineering, 2011, 110(2):189-197.
- 17 EDATHIPARAMBIL V T. Development of a mechanism for transplanting rice seedlings[J]. Mechanism and Machine Theory, 2002, 37(4):395-410.
- 18 孙国祥, 汪小昆, 何国敏, 等. 穴盘苗移栽机末端执行器设计与虚拟样机分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10):48-53.
SUN Guoxiang, WANG Xiaokun, HE Guomin, et al. Design of the end-effector for plug seedlings transplanter and analysis on virtual prototype[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10):48-53. (in Chinese)
- 19 蒋焕煜, 施经挥, 任焯, 等. 机器视觉在幼苗自动钵作业中的应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5):127-131.
JIANG Huanyu, SHI Jinghui, REN Ye, et al. Application of machine vision on automatic seedling transplanting[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(5):127-131. (in Chinese)
- 20 SATPATHY S K, GARG I K. Effect of selected parameters on the performance of a semi-automatic vegetable transplanter[J]. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2008, 39(2):47-51.
- 21 TSUGA K. Development of fully automatic vegetable transplanter[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 2000, 34(1):21-28.