

甘蔗切割器螺旋提升机构输送性能分析与改进

李尚平^{1,2}, 邓 雄², 叶才福², 王海波², 沈中华³

(1. 广西民族大学化学化工学院, 南宁 530008; 2. 广西大学机械工程学院, 南宁 530004;
3. 桂林理工大学机械与控制工程学院, 桂林 541004)

摘要: 为改善甘蔗收割机物流系统的堵塞问题, 以切割器螺旋提升机构为主要研究对象, 通过仿真模拟分析与试验研究手段, 探讨了摩擦系数等因素对甘蔗物流堵塞的影响, 通过 UG 和 ADAMS 建立虚拟样机仿真模型, 仿真结果表明, 增大螺旋的摩擦系数可以提高甘蔗的输送速度, 减少甘蔗平均滞留时间。高速摄影试验表明, 螺旋选用摩擦系数大的轮胎胶作为覆盖层时、当切割器转速在 750 r/min 左右时, 甘蔗的滞留时间较原钢筋螺旋缩短了 17% 左右, 可以改进切割器物流系统堵塞问题。基于上述机理, 设计了平面螺旋结构, 其与甘蔗的接触方式由原来的点接触变为线接触, 仿真分析表明, 面宽为 20 mm 的螺旋与原圆柱型螺旋相比, 甘蔗滞留时间缩短了 32%, 说明平面螺旋可以有效地抑制前端输送系统的堵塞现象; 适当加宽螺旋提升机构的面宽有利于减少甘蔗滞留时间, 单位时间内甘蔗输送更快、更稳定。该研究为后续试验研究及物理样机的改进设计提供了参考。

关键词: 农业机械; 计算机仿真; 农作物; 甘蔗收割机; 物流; 堵塞; 摩擦系数; 试验

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.003

中图分类号: S225.5⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-05-0021-08

李尚平, 邓 雄, 叶才福, 王海波, 沈中华. 甘蔗切割器螺旋提升机构输送性能分析与改进[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 21-28. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.003 http://www.tcsae.org

Li Shangping, Deng Xiong, Ye Caifu, Wang Haibo, Shen Zhonghua. Analysis and improvement of transportation performance of sugarcane cutter spiral lifting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(5): 21-28. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.003 http://www.tcsae.org

0 引言

甘蔗是中国南方的主要经济作物之一, 在中国农业中占有重要地位。目前中国甘蔗种植、收获大多地区还停留在人工作业, 因而大力开展甘蔗产业的机械化是重中之重。由于受到国内的种植情况、制糖工艺的限制, 小型整秆式甘蔗收割机深受甘蔗种植农户的亲睐^[1-3], 但此类机型在收获过程中普遍存在堵塞或效率过低等问题, 严重阻碍了甘蔗收割机的推广使用^[4]。

切割系统是甘蔗收割机的关键部件之一, 是整个物流系统的第一环, 切割系统的性能优劣直接关系到后续各部件的运作, 针对切割系统和物流系统, 国内外很多文献做了大量研究。Kroes 等^[5-6]和 Hurney 等^[7]对甘蔗宿根的破坏形式进行了一系列研究, 建立了茎秆撕裂模型, 指出压蔗辊和切割器时造成蔗茎破损的主要原因; Ripoli 等^[8]、Razavi 等^[9]研制了一种甘蔗切割器, 通过摆动装置研究了切割刀片和种植因素对甘蔗茎秆切割质量的影响; Davis 等^[10]研究在切割器前方增加辅助喂入辊的方式来提高甘蔗的输送能力; 相关专家^[11-15]对切割速度、切

割方式、切割力、轴裂纹、刀盘距蔗地地面高度等因素对甘蔗切割性能进行了大量试验; 麻芳兰等^[16]、史伟等^[16-17]为减少甘蔗的破头率和提高工作效率对切割系统进行了改进和振动测试; 傅隆正等^[18]、解福祥等^[19-20]设计了甘蔗收割机物流通道的主要参数, 并运用仿真软件 ADAMS 对整机及关键部件进行了动力学仿真, 研制了甘蔗收获机内物流排杂试验台以探讨甘蔗物流排杂机理; 周勇等^[21]、李立新^[22]为了提高甘蔗收割机的作业质量, 将甘蔗切割器喂入装置设计为斜置式, 对整机布局设计进行优化, 使得甘蔗破头率大大降低, 喂入能力也有很大提高。这些研究成果对甘蔗收获机的发展起了很大的推动作用, 降低了甘蔗的破头率和甘蔗的收割损失, 但是切割系统前端的堵塞问题依旧较明显, 需要对切割器进行进一步的分析研究和改进。

针对该问题, 以本课题组自主研究的甘蔗收割机为研究对象, 通过仿真分析和试验研究的方法, 研究甘蔗收割机切割器螺旋提升机构对甘蔗物流的输送机理以及对物流堵塞的主要影响因素, 并探讨结构及性能参数改进的措施, 以期为后续的试验研究及物理样机的改进设计提供参考。

1 切割器螺旋提升机构结构及原理

1.1 结构及工作原理

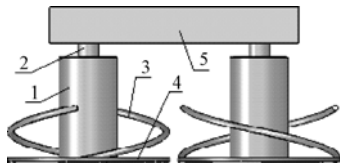
切割器螺旋提升机构的结构如图 1 所示, 包括套筒 1、

收稿日期: 2015-09-02 修订日期: 2016-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51465006)

※作者简介: 李尚平, 男 (汉族), 广西博白人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事先进制造技术、CAD/CAE 及制造技术信息化研究。南宁 广西民族大学化学化工学院, 530008。Email: spli501@vip.sina.com

刀轴 2、螺旋提升机构 3、切割器刀盘 4、减轮箱 5 等。切割器采用的是双刀盘的切割器结构,两刀盘上分别安装一对螺旋提升机构,以便于甘蔗的提升与输送。



1.套筒 2.刀轴 3.螺旋提升机构 4.切割器刀盘 5.减轮箱
1.Sleeve 2.Cutter shaft 3.Spiral lifting conveying device 4.Disc cutter 5.Reduction gearbox

图 1 切割器二维简图

Fig.1 Cutter two-dimensional diagram

切割器的工作原理是,在甘蔗收割机前进的过程中,双刀盘切割器切断甘蔗,随后甘蔗随螺旋提升机构提升与向后输送,螺旋提升机构有一定的摩擦力,给予甘蔗施加一个向后的输送力,收割机的向前行驶也增加了甘蔗向后的输送力。

螺旋提升机构的主要功能有 2 个:1) 输送功能,将甘蔗向后输送;2) 提升功能,将甘蔗提升至后续的物流通道的入口;3) 储蓄与分流功能,将甘蔗纵向提升,分层储蓄,逐层送入后续物流通道,因此螺旋提升机构在甘蔗物流的前端输送中具有重要的作用,须对其输送的机理及功能进行分析^[23]。

1.2 切割器螺旋提升机构的堵塞机理分析

在甘蔗收割机工作时,刀盘旋转使螺旋提升机构将甘蔗向上提升,当甘蔗收获机械的前进速度过大时易产生甘蔗的重叠,若向后输送的摩擦作用力不足时,容易造成甘蔗的滞留,而当一根甘蔗变成一簇甘蔗时就会相互挤压堆叠,螺旋的向上提升能力与向后输送能力就会受到影响,此时容易产生前端的堵塞。

1.2.1 螺旋提升机构输送机理的分析

螺旋提升机构的摩擦系数对甘蔗输送性能有重要的影响。由动量定理有

$$F \cdot \Delta t = m \cdot v_2 - m \cdot v_1 \quad (1)$$

式中 F 为螺旋提升机构对甘蔗的摩擦力, N; Δt 为甘蔗所受摩擦力持续时间, s; m 为甘蔗质量, kg; v_1 为甘蔗在螺旋提升机构的初速度, m/s; v_2 为甘蔗在 Δt 时刻的速度, m/s。

由式 (1) 可知,当甘蔗所受摩擦力 F 越大、摩擦力作用持续时间 Δt 越长,则甘蔗通过切割器所受到的动量越大,甘蔗的向后输送速度就越大,越有利于提高甘蔗的输送性能,有效地抑制堵塞。

现有的螺旋提升机构由截面为圆柱型的钢筋焊接而成,在传输过程中,甘蔗与圆柱型螺旋表面的接触方式为点接触,螺旋提升机构通过点接触对甘蔗产生向后的摩擦力;同时通过甘蔗收割机自身的前进速度产生向后运动的惯性力,为甘蔗向后输送提供了输送动力。当前进速度一定时,若螺旋提升机构的摩擦输送力不足,则容易导致甘蔗在切割器的滞留时间增长,从而加大了甘

蔗在切割器前端的堵塞率。

1.2.2 切割器刀盘转速影响的分析

切割器刀盘转速不仅影响砍蔗质量,而且还影响甘蔗输送的通畅性。在一定范围内,刀盘转速变大时,螺旋提升机构随刀盘加速旋转,甘蔗在螺旋提升机构上的向上提升速度和向后输送速度也变大,使甘蔗在螺旋提升机构上的平均滞留时间减少,从而使堵塞率降低。但当刀盘转速超过一定限度后,加速旋转的螺旋提升机构对甘蔗产生的瞬间冲击力也增大,甘蔗可能会跳动起来,此时甘蔗停留在螺旋提升机构处的平均滞留时间反而延长,反而易导致甘蔗的堵塞率增加。

2 切割器螺旋提升机构的仿真分析

采用计算机模拟仿真的办法来研究螺旋提升机构表面的不同摩擦系数对甘蔗输送能力的影响,为切割器螺旋提升机构的结构的改进提供了参考。

2.1 试验设计与安排

本试验采用单因素试验,试验变量为螺旋提升机构的摩擦系数,采用 3 种不同摩擦系数的材料;试验的指标为甘蔗向后的输送距离和输送速度。螺旋提升机构上附加的材料及摩擦系数如表 1 所示。

表 1 试验材料的摩擦系数

Table 1 Friction coefficient of experimental materials

材料 Material	静摩擦系数 Static coefficient f_0	动摩擦系数 Dynamic coefficient f_1
轮胎内胎胶 Tyre rubber	0.5	0.35
钢筋 Rebar	0.35	0.25
聚乙烯薄膜 Polyethylene film	0.13	0.09

2.2 虚拟样机模型的建立

切割器螺旋提升机构是在三维建模软件 UG6.0 中完成,将对试验结果不影响或影响很小的一些结构(如车架)略去,进行适当简化后导入虚拟样机仿真分析软件 ADAMS^[24]。现将甘蔗进行柔性化处理^[25-26],柔性化处理方法主要有 3 种:离散梁法、Flex 法和 AutoFlex 法。本文选用 Flex 法将甘蔗用有限元软件 ANSYS 进行网格划分等处理后以 mnf 格式文件导入到 ADAMS 中,因为使用 Flex 法虽然仿真耗时较多,但是更能较好地模拟真实甘蔗的结构且更能反映甘蔗的力学特性。定义甘蔗的仿真参数如表 2 所示^[27-28]。

表 2 甘蔗的属性

Table 2 Attribute of sugarcane

项目 Items	参数 Parameter
高度 Height/mm	2 500~2 700
直径 Diameter/mm	26.5
泊松比 Poisson's ratio	0.33
弹性模量 Elastic modulus/(N·mm ⁻²)	11 000
分布密度 Distribution density/(kg·m ⁻³)	1 100

切割系统的仿真模型及仿真过程如图 2 所示,仿真过程如下:当收获机运动时,甘蔗不动(甘蔗与地面采用 Bushing 连接来模拟甘蔗在蔗地的生长情况),切割器

和各输送辊以 0.4 m/s 的速度转动；当甘蔗与压蔗辊接触时，甘蔗被压蔗辊压至一定角度，此时甘蔗与切割器刀盘接触，而 Bushing 连接失效（即甘蔗与地面脱离），在螺旋的作用下，甘蔗产生向上的提升和向后运动。仿真参数设定为：压蔗辊转速固定为 160 r/min，压蔗角度为 60°，刀盘转速为 700 r/min，喂入辊转速为 200 r/min。

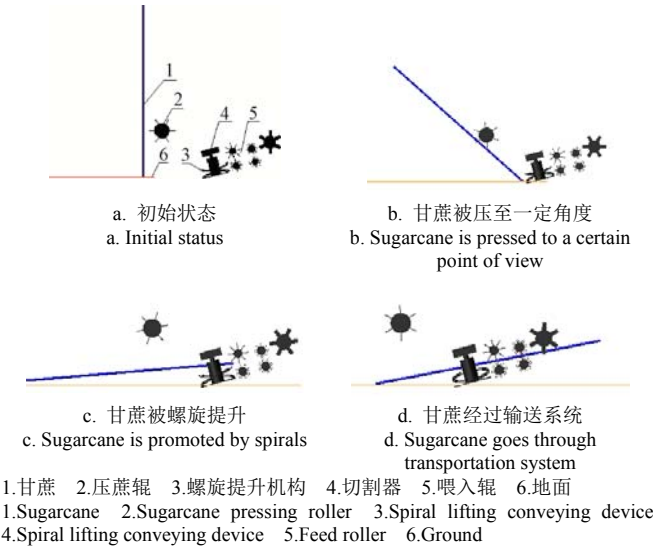


图 2 切割系统的仿真模型及仿真过程
Fig.2 Simulation model and process of cutting system

2.3 仿真试验结果与分析

仿真采用单因数试验，螺旋提升机构选取 3 种不同水平的摩擦系数，其他参数保持不变。取甘蔗头部为 mark 点为标记，以记录仿真的输出结果，图 3a 为 3 种不同摩擦系数下甘蔗向后运动距离的仿真结果对比，其中曲线的参照基准为喂入辊的中轴线；图 3b 为 3 种不同摩擦系数下甘蔗沿着 x 轴运动速度轨迹，其中曲线的参照基准为地面。

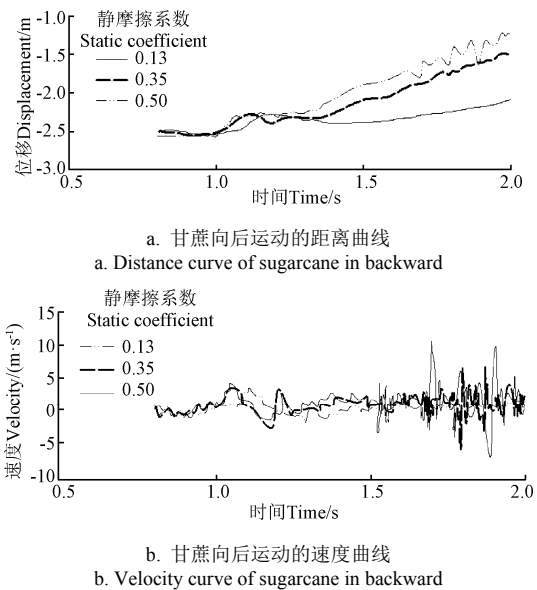


图 3 甘蔗向后运动的仿真曲线

Fig.3 Simulation curves of sugarcane in backward

由图 3 可知，在滑动摩擦的带动下甘蔗在物流通道中输送，在 3 种情况下，甘蔗在 1.0 s 左右进入螺旋提升处，甘蔗产生跳动前进；在 1.5 s 后速度曲线有些波动，这是因为螺旋随刀轴高速旋转的作用；此时依靠螺旋的输送作用和收获机的前行的合成运动使得甘蔗实现向后的输送。由图 3b 可知，当螺旋提升机构的材料从摩擦系数为 0.13 的聚乙烯薄膜变为摩擦系数为 0.5 的轮胎内胎胶时，甘蔗向后运动的最大瞬时速度由 5 提高到了 7.5 m/s，提高了 50% 左右。

由图 3 中 6 条曲线可统计出仿真试验结果（如表 3 所示），即比较在 3 种情况下，甘蔗向后输送的绝对位移、甘蔗相对收割机向后运动的平均速度。由表 3 可知，当螺旋提升机构的试验材料为轮胎内胎胶时，与聚乙烯薄膜的试验材料相比较，甘蔗进入螺旋提升处后 1.0 s 内，甘蔗相对收割机向后运动的平均速度由 0.476 提高到了 1.312 m/s，甘蔗向后输送的绝对位移由 0.476 提高到了 1.312 m，两者均提高了约 1.76 倍。

表 3 仿真试验结果统计		
Table 3 Simulation experiment result statistics		
材料 Material	绝对位移 Absolute displacement/m	平均速度 Average speed/(m·s ⁻¹)
聚乙烯塑料薄膜 Polyethylene plastic film	0.476	0.476
钢筋 Rebar	1.088	1.088
轮胎内胎胶片 Tyre rubber	1.312	1.312

综上所述，螺旋提升机构的摩擦系数越大，甘蔗通过切割器的输送距离也较远、甘蔗的平均输送速度越大，越有利于抑制甘蔗堵塞的问题。

3 样机试验

在试验样机上进行试验，采用高速摄影的方式进行研究分析^[29-30]，以滞留时间作为试验指标，研究摩擦力与切割器转速对甘蔗物流输送的影响，并验证仿真试验的分析结果。

3.1 试验设备和材料

试验在本课题组自行研制的小型整杆式甘蔗收割机（性能参数：最大瞬时负载功率为 31.0 kW；收割行走速度为 0.4 m/s；生产率 4~6 t/h；爬坡<15°；破头率<7%~10%；含杂率<2%）上进行，样机实照如图 4 所示。



图 4 整杆式收割机
Fig.4 Whole stalk harvester

测试仪器主要包括 philips226v4 型显示器和

DH/DVR2104C-W/AF-DVR-11-A/4-0 微型录像机, 其中微型录像机包括 XTXSM 摄像头、USB-1504X 型视频采集卡、录像机专用电源 (WH-1220) 等。试验甘蔗品种为桂糖 1 号。为方便试验, 选用未剥叶、长度约为 2 000 mm、无明显破损、蔗杆较直的甘蔗。摩擦材料 3 种: 甘蔗收割机原安装的圆柱型螺旋钢筋、包裹螺旋钢筋的聚乙烯薄膜、包裹螺旋钢筋的轮胎内胎胶。

3.2 试验方法

在甘蔗收割机行走速度为 0 的情况下, 仅靠螺旋提升机构 (其螺旋线高度为 150 mm, 圈数为半圈, 螺距为 300 mm, 螺旋直径为 437 mm, 其横截面直径为 16 mm) 为甘蔗输送提供源动力, 采用单因素试验, 每组进行 10 次重复试验。布置测点时选取甘蔗收割机的切割器刀盘前端处、切割器螺旋提升机构与喂入辊结合处, 主要通过观测甘蔗通过切割器 (其套筒直径为 165 mm, 两刀轴距离 480 mm, 刀盘直径为 380 mm 且与地面成 5° 夹角) 的作用规律和甘蔗在螺旋处的滞留时间, 考察不同摩擦系数在不同刀盘转速下对甘蔗输送性能的影响。

试验时, 通过人工将甘蔗送入切割器, 由切割器的螺旋提升机构将甘蔗带入物流通道内。通过视频采集卡和摄像头将甘蔗的输送状态记录下来, 然后由存储器保存, 通过显示器即可看到甘蔗的运动状态, 并分析甘蔗在切割器不同参数下的运动规律。

3.3 试验结果与分析

通过 180 次试验, 测得不同试验材料下的甘蔗通过螺旋提升机构处的平均滞留时间 (滞留时间=蔗头进入螺旋时刻-蔗尾离开螺旋时刻), 得到不同摩擦系数下甘蔗滞留时间的折线图, 如图 5 所示。

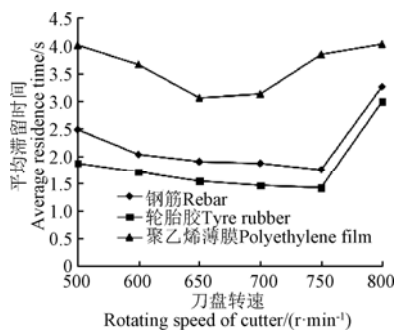


图 5 不同试验材料甘蔗的滞留时间

Fig.5 Residence time of different test material of sugarcane

1) 由图 5 可知, 当试验材料为圆柱型钢筋结构时 (不附加任何包裹材料), 随着刀盘转速的提升, 甘蔗在切割器的滞留时间逐渐减少, 在 750 r/min 左右出现低谷, 事实上, 本课题组前期研究发现刀盘转速在 750 r/min 左右时, 甘蔗宿根破头率也很低, 可满足要求。当刀盘转速提升至 803 r/min 时, 甘蔗在切割器处的滞留时间明显增大, 反而增加了甘蔗的滞留时间, 更易引起甘蔗的堵塞。

2) 当试验材料为轮胎内胎胶时, 其摩擦系数大于原有钢筋的摩擦系数, 对甘蔗向后输送的摩擦力更大。由图 5 可知, 相比在刀盘转速相同的情况下, 轮胎胶材料

可大大缩短甘蔗在切割器处的滞留时间, 在同为最佳转速 750 r/min 下, 滞留时间可缩短约 17%。

3) 当试验材料为聚乙烯薄膜时, 与圆柱型钢筋结构相比较, 光滑的聚乙烯薄膜摩擦力小于钢筋的摩擦力, 滞留时间大大增长, 主要是因为聚乙烯薄膜的摩擦系数较小, 对甘蔗的输送能力降低, 导致甘蔗一直在螺旋提升机构上跳动而不能迅速地进入喂入辊。

在上述 3 种试验情况下, 随着刀盘转速的提高, 甘蔗在切割器处的滞留时间逐渐缩短。但是当切割器的转速超过 750 r/min 左右后, 由于甘蔗与螺旋的不充分接触, 摩擦作用力减少, 甘蔗在螺旋上的跳动增加, 甘蔗受到的冲量减小, 由动量冲量守恒定律可知, 若甘蔗的动量减小, 则向后输送的速度也就越小, 滞留时间明显增加, 因此刀盘转速的提高对降低堵塞率有一定的局限性, 会产生不利的影响。

由上试验分析可知, 摩擦力是增加甘蔗在螺旋提升机构冲量的最有效也是最可行的办法, 随着摩擦系数的变化, 相同转速下的甘蔗滞留时间也随之变化; 摩擦系数越大 (即甘蔗输送过程中受到的摩擦力越大), 甘蔗在切割器处的滞留时间越短, 越有利于甘蔗的输送。

4 螺旋提升机构的改进与仿真试验

4.1 螺旋提升机构改进思路

通过上述虚拟仿真及试验研究分析结果可知, 螺旋提升机构材料的摩擦系数对甘蔗的输送性能有显著的影响, 而滑动摩擦力的大小与接触面的压力大小、接触面的粗糙程度有关。因此拟采用增大接触面积的方法来增加螺旋提升机构对甘蔗的摩擦力。

式 (1) 反映了力对时间的累积效应 (冲量), 其增量是力在时间上的积累, 可以推广为质点系的动量定理, 即系统内动量的增量和等于合外力的冲量。其积分形式的动量定理积分式为

$$m \cdot v_2 - m \cdot v_1 = \int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_i F \right) dt = \sum_i \int_{t_1}^{t_2} F dt \quad (2)$$

式中 $\int_{t_1}^{t_2} F dt$ 为时间间隔 ($t_2 - t_1$) 内作用于第 i 个质点上的外力的冲量, $N \cdot m$; t_1 为甘蔗开始受 F 作用的时刻, s ; t_2 为甘蔗不受 F 作用的时刻, s 。

式 (2) 表明, 质点系总动量的改变量等于某个时间段内作用于质点系所有外力的冲量的矢量和。亦可理解为: 当被作用的物体的末速度增加时, 可表明该物体所受作用力增大。

根据上述原理, 将原有的切割器螺旋提升机构的圆柱钢筋进行结构改进, 设计为螺旋平面 (如图 6 所示), 可使甘蔗与螺旋提升机构的接触方式实现由原来点接触到线、面接触的转变。

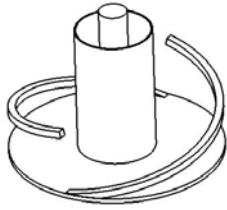


图6 切割器螺旋提升机构螺旋平面简图

Fig.6 Diagram of spiral cutter lifting and conveying device of spiral plane

这样可增大两者的接触面积,增加甘蔗所受到的摩擦力和冲量,从而增大甘蔗向后输送的速度和加速度,缩短甘蔗停留在螺旋提升机构处的平均滞留时间,有利于提升对甘蔗物流向后输送的能力、抑制甘蔗的堵塞。

4.2 改进后螺旋提升机构的仿真分析

为了分析验证改成螺旋平面后螺旋提升机构的输送效果,通过使用 ADAMS 虚拟仿真分析的方法来分析不同螺旋面宽条件下甘蔗的输送情况。

本试验采用单因素仿真试验,试验的因素为比较不同的螺旋表面,即和圆柱形螺旋相比,设计 12、16、20、24 mm 4 种不同面宽(设计考虑 16 mm 是因为该尺寸与原圆柱螺旋截面直径相当,设计 12、20、24 mm 是为了进行优化对比)的螺旋提升机构;试验的指标为甘蔗物流的输送速度、输送位移以及甘蔗对螺旋提升机构的作用力情况。

以甘蔗头部的 mark 点为标记点,记录仿真结果的输出,圆柱型钢筋以及 4 种不同面宽的仿真输出的速度曲线、位移曲线如图 7 所示,其中位移曲线参照基准为喂入辊中轴线,速度曲线的参照基准为地面,螺旋提升机构对甘蔗作用力曲线如图 8 所示。

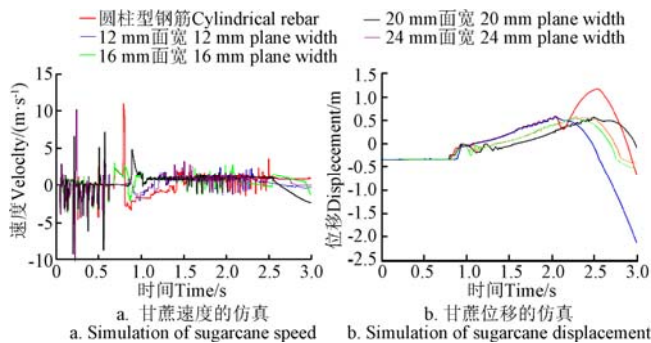


图7 甘蔗仿真曲线图

Fig.7 Sugarcane simulation curves

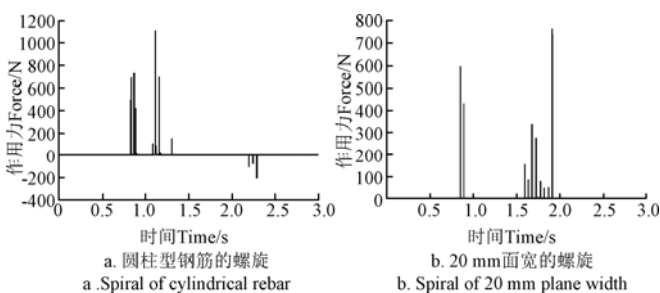
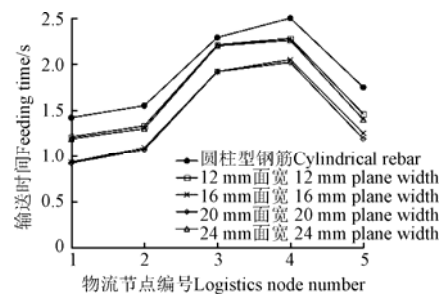


图8 螺旋对甘蔗作用力的仿真

Fig.8 Simulation of forces acting on sugarcane

由图 7 可统计和比较甘蔗蔗头进入喂入辊时间、甘蔗向后输送速度开始趋于平稳的时间、甘蔗结束提升时间、甘蔗蔗尾离开螺旋所需时间、以及甘蔗在螺旋提升机构上的滞留时间(如图 9 所示)。

由图 7b、图 9 分析可知,相比圆柱型钢筋,甘蔗在平面螺旋上的滞留时间缩短了 32%,对甘蔗的提升速度更快,输送更稳定、输送更远,甚至还有甘蔗在离开螺旋后以上抛形式输出,很显然其输送力度比圆柱型螺旋的大;而在对不同宽度螺旋平面的对比中发现,当面宽由 12 增大到 20 mm 时,甘蔗在螺旋上滞留时间缩短了 18.5%;若继续增大面宽到 24 mm,相比 20 mm 面宽,甘蔗滞留时间反而增加了 17.6%,说明可通过适当加宽螺旋提升机构的面宽来减少甘蔗滞留时间。



注:横坐标 1~5 物流节点编号依次表示甘蔗蔗头进入喂入辊时间、甘蔗向后输送速度开始趋于平稳的时间、甘蔗结束提升时间、甘蔗蔗尾离开螺旋所需时间以及甘蔗在切割器螺旋提升机构上的滞留时间。

Note: Logistics node numbers from 1 to 5 are expressed in turn that time of sugarcane head entering into feeding roller, time of sugarcane conveying speed in backward tending to be stable, time of sugarcane finishing lifting, time of sugarcane tail leaving spirals and retention time of sugarcane in cutter spiral lifting and conveying device.

图9 甘蔗在螺旋上各时刻曲线图

Fig.9 Different times curves of sugarcane on spirals

由图 8 并结合仿真过程可统计和比较甘蔗蔗头进入螺旋后以及甘蔗蔗尾离开螺旋前,螺旋对甘蔗的作用次数、作用时间、最大作用力以及冲量变化,具体数据如表 4 所示。

由表 4 及图 8 分析可知,甘蔗受螺旋作用主要分布在两处,一是甘蔗蔗头进入螺旋后,二是甘蔗蔗尾离开螺旋前。当蔗头进入螺旋后,圆柱型螺旋对甘蔗作用次数较多,作用时间较长,而当蔗尾离开螺旋前,螺旋对甘蔗的作用方向与甘蔗输送方向相反,但甘蔗仍被辊夹持向后输送;相比圆柱型钢筋,蔗头进入螺旋后,12 和 24 mm 面宽螺旋对甘蔗作用次数相对较少、作用时间较短,甘蔗更易进入喂入辊;但蔗尾离开螺旋时,螺旋对甘蔗产生不利冲击的程度更大,更不利于甘蔗的输送。16 mm 面宽的螺旋不仅具有 12 和 24 mm 面宽螺旋的优点,而且克服了其缺陷,蔗头进入螺旋时所需作用时间更短,且对甘蔗的最大冲击力较大,蔗尾离开螺旋前,螺旋对甘蔗仍然产生有利的冲击,其冲量变化达到了 11.1 N·s,说明 16 mm 面宽有利于甘蔗更加快速进入喂入辊且输送速度更快。20 与 16 mm 面宽螺旋相比,蔗头进

入螺旋时冲量更大,更易使甘蔗进入喂入辊,且蔗尾离开螺旋前,螺旋对甘蔗的有利作用次数较多,作用较集中且受力均衡,甘蔗向后输送较快且相对平稳。

综合上述分析可知,在螺旋提升机构中,螺旋平面

的设计更有利于甘蔗的输送,可增加对甘蔗的作用力,使甘蔗滞留的时间更短,有利于降低甘蔗收割机的堵塞率。依此规律,可对原有切割器螺旋提升机构开展进一步的机理研究和结构参数优化设计研究。

表 4 螺旋对甘蔗的作用比较
Table 4 Comparison of effect of spirals on Sugarcane

5 种螺旋 Five kinds of spirals	蔗头进入螺旋后 After cane head enters spiral				蔗尾离开螺旋前 Before cane tail leaves spiral			
	作用次数 Loading times/次	作用时间 Loading time/ms	冲量变化 Impulse change/(N·s)	最大作用力 Maximum force/N	作用次数 Loading times/次	作用时间 Loading time/ms	冲量变化 Impulse change/(N·s)	最大作用力 Maximum force/N
圆柱型钢筋 Cylindrical rebar	11	88.1	8.1	1 105	-3	20.2	4.6	-209
12 mm 面宽 12 mm plane width	3	28.6	5.1	905	-11	72.5	1.2	-287
16 mm 面宽 16 mm plane width	4	21.8	5.4	2 347	5	40.1	11.1	843
20 mm 面宽 20 mm plane width	2	8.6	9.1	593	8	69.1	13.1	738
24 mm 面宽 24 mm plane width	4	25.4	11.5	1 625	-12	98.8	-3.01	-666

注:表中作用次数为负表示螺旋对甘蔗的作用力方向与甘蔗输送方向相反。
Note: Number of functions in table is negative means force direction of sugarcane from spirals is opposite for sugarcane conveying direction.

5 结 论

1) 建立了切割器螺旋提升机构的虚拟模型。仿真结果表明,增大螺旋提升机构的摩擦系数可以提高甘蔗的输送速度,进而可以有效抑制堵塞问题。

2) 高速摄影的试验验证了仿真结果的正确性,同时也表明刀盘转速提高到 750 r/min 左右时甘蔗在切割系统上滞留时间相对较短,但刀盘转速的提高对降低堵塞率有一定的局限性。

3) 改进后的平面螺旋与甘蔗的点接触变为线、面接触,仿真试验结果表明:改进后面宽为 20 mm 的螺旋对甘蔗产生有利的冲击力普遍较大、且更加集中,与原圆柱型钢筋相比,甘蔗在切割器螺旋提升机构上的滞留时间缩短了 32%;同时,仿真结果也表明适当加宽螺旋提升机构的面宽有利于减少甘蔗滞留时间,单位时间内甘蔗输送更快、更稳定。该项研究为后续的试验研究及物理样机的改进设计提供了参考。

[参 考 文 献]

[1] 贵州益众兴业实业有限责任公司. 整杆式甘蔗收割机[P]. 中国专利: 201310132368.9, 2013-06-26.

[2] 柳州固瑞机械有限公司. 整杆式甘蔗联合收割机[P]. 中国专利: 201310166622.7, 2013-08-28.

[3] 广西大学, 钦州学院, 广西钦州力顺机械有限公司. 适于丘陵地区的整杆式甘蔗联合收割机[P]. 中国专利: 201210142754.1, 2013-08-28.

[4] 李明, 黄晖等, 邓干然. 甘蔗种植机械的研究现状与分析[J]. 农业机械, 2008(22): 54—64.

[5] Kroes S, Harris H D, Egan B T. Effects of cane harvester base cutter parameters on the quality of cut[C]//Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists, Mackay. 1994: 169—177.

[6] Kroes S. The specific splitting energy of sugarcane[J]. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol, 1998(20): 349—356.

[7] Hurney A P, Croft B J, Grace D, et al. Influence of Harvester Base Cutters on Ratooning of Sugarcane[M]. BSES Limited Publication, 2005.

[8] Ripoli T C, Ripoli L C, Gamero C A. Effects of two different base cutters in green cane mechanical harvest[C]//2003 International Annual Meeting Sponsored by ASAE Riviera Hotel and Convention Center Las Vegas, 2003.

[9] Razavi J, Kardany M, Masoumi A. Effects of some cutting blades and plant factors on specific cutting energy of sugarcane stalk[C]//Proceeding of CIGR XVIIth World Congress, Canada, 2010: 13—17.

[10] Davis R J, Norris C P. Improving the feeding ability of sugarcane harvesters[C]//Proceedings of the 2002 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists Held at Cairns, Queensland, Australia, 2002: 190—198.

[11] 刘庆庭, 区颖刚, 卿上乐, 等. 甘蔗茎秆切割力试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 90—94.

Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. Cutting force test of sugarcane stalk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(7): 90—94. (in Chinese with English abstract)

[12] 刘庆庭, 区颖刚, 卿上乐, 等. 光刃刀片切割甘蔗茎秆破坏过程高速摄像分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(10): 31—35.

Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. High-speed photography analysis on the damage process in cutting sugarcane stalk with smooth-edge blade[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(10): 31—35. (in Chinese with English abstract)

- [13] 刘庆庭, 区颖刚, 卿上乐, 等. 甘蔗茎秆在光刃刀片切割下根茬破坏试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 103—107.
Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. Stubble damage of sugarcane stalks in cutting test by smooth-edge blade[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(3): 103—107. (in Chinese with English abstract)
- [14] 魏道高, 胡美玲, 马倩, 等. 含轴裂纹甘蔗切割器系统非线性动力学特性分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊2): 80—85.
Wei Daogao, Hu Meiling, Ma Qian, et al. Nonlinear dynamic characteristics of sugarcane cutter system with cracked shaft[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.2): 80—85. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张亮. 甘蔗联合收割机刀盘仿形随动控制系统的设计与研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2013.
Zhang Liang. Study and Design of Cutting Platform Following Control System of Combined Sugarcane Harvester[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [16] 麻芳兰, 韦荣发, 范志达, 等. 小型整秆式甘蔗收割机切割系统的改进与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 18—24.
Ma Fanglan, Wei Rongfa, Fan Zhida, et al. Improvement and experiment on cutting system of small whole-stalk sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(15): 18—24. (in Chinese with English abstract)
- [17] 史伟, 魏道高, 区颖刚, 等. 甘蔗收割机旋转刀盘减振装置设计研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2013, 51(9): 17—24.
Shi Wei, Wei Daogao, Ou Yinggang, et al. Study on damping device design of the sugarcane harvester rotating cutter[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2013, 51(9): 17—24. (in Chinese with English abstract)
- [18] 傅隆正, 蒙艳玫, 董政, 等. 整秆式甘蔗联合收获机整机物流设计与仿真[J]. 农机化研究, 2012, 34(2): 19—23.
Fu Longzheng, Meng Yanmei, Dong Zheng, et al. Design and simulation for logistics channel of whole-stalk sugarcane harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(2): 19—23. (in Chinese with English abstract)
- [19] 解福祥, 区颖刚, 刘庆庭, 等. 甘蔗收割机物流虚拟试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 90—94.
Xie Fuxiang, Ou Yinggang, Liu Qingting, et al. Virtual experiment on flow simulation of sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 90—94. (in Chinese with English abstract)
- [20] 解福祥, 区颖刚, 刘庆庭, 等. 整秆式甘蔗收获机内物流排杂高速摄影分析[J]. 农机化研究, 2012(3): 203—206.
Xie Fuxiang, Ou Yinggang, Liu Qingting, et al. Impurity discharging and logistics movement of sugarcane harvester based on high-speed photography[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012(3): 203—206. (in Chinese with English abstract)
- [21] 周勇, 区颖刚, 莫肇福. 斜置式甘蔗切割喂入装置设计及试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 17—23.
Zhou Yong, Ou Yinggang, Mo Zhaofu. Design and experiment of oblique cutting and feeding device for sugarcane[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(14): 17—23. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李立新. 小型丘陵甘蔗联合收割机整机布局设计及物流仿真[D]. 南宁: 广西大学, 2008.
Li Lixin. The Whole Machine Layout Design and Simulation of Small Hill Sugarcane Harvester[D]. Nanning: Guangxi University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [23] 梅磊. 螺旋卸船机垂直输送机理及试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
Mei Lei. Conveying Mechanical Analysis and Experiment of Vertical Upgrading of Screw Unloader[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [24] 葛正浩. ADAMS 2007 虚拟样机技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [25] 宋融融. 小型甘蔗收获机台架物流仿真及动态分析与设计[D]. 南宁: 广西大学, 2006.
Song Rongrong. the Linematics Simulation and Dynamic Analysis and Design of the Mini-type Sugarcane Harvester's Uplift[D]. Nanning: Guangxi University, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [26] 蒲明辉, 吴江. 基于 ADAMS 的甘蔗柔性体模型建模研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 7(4): 1930—1932.
Pu Minghui, Wu Jiang. Study on flexible sugarcane modeling based on ADAMS software[J]. Journal of System Simulation, 2009, 7(4): 1930—1932. (in Chinese with English abstract)
- [27] 蒲明辉. 小型甘蔗收割机虚拟设计及仿真[D]. 南宁: 广西大学, 2005.
Pu Minghui. The Virtual Design and Simulation for Small-scale Type Sugarcane harvester[D]. Nanning: Guangxi University, 2005. (in Chinese with English abstract)
- [28] 孙绣花. 小型甘蔗联合收获机运动学、动力学虚拟仿真研究[D]. 南宁: 广西大学, 2005.
Sun Xiuhua. Kinematics and Dynamics Virtual Studying of the Mini-type Sugarcane Harvester[D]. Nanning: Guangxi University, 2005. (in Chinese with English abstract)
- [29] 牟向伟, 区颖刚, 吴昊, 等. 甘蔗叶鞘在弹性剥叶元件作用下破坏高速摄影分析[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 85—89.
Mou Xiangwei, Ou Yinggang, Wu Hao, et al. Damage of sugarcane leaf Sheath under action of elastic leaf-stripping

- elements based on high-speed photography[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 85—89. (in Chinese with English abstract)
- [30] 朱忠祥, 岳小微, 杜岳峰, 等. 玉米果穗剥皮的运动仿真与高速摄像试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 42—48.
- Zhu Zhongxiang, Yue Xiaowei, Du Yuefeng, et al. Dynamic

simulation and high-speed photography experiment on corn-ear husking[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(6): 42—48. (in Chinese with English abstract)

Analysis and improvement of transportation performance of sugarcane cutter spiral lifting mechanism

Li Shangping^{1,2}, Deng Xiong², Ye Caifu², Wang Haibo², Shen Zhonghua³

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530008, China;

2. College of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;

3. College of Mechanical and Control Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to improve the blocking issue of logistics system in sugarcane harvester, by the methods of simulation analysis and experimental research, the cutter spiral lifting mechanism and the effects of friction coefficient and working parameters on the sugarcane material flow were studied and discussed. The average residence time of sugarcane in the transmission device of the screw conveyor was considered as test index and the virtual prototype simulation model was established by the software ADAMS and Unigraphics. Simulation results indicated that increasing friction coefficient of cutter spiral lifting mechanism could improve the delivery rate of the sugarcane and effectively inhibit the clogging problem. The high-speed photography results of experimental prototype showed that while a tyre rubber with high friction coefficient was used as the covering layer for the cutter spiral lifting mechanism and the cutter speed was about 750 r/min, the retention time of sugarcane was shortened by 17% compared to original rebar spiral lifting mechanism. This characteristic could improve the congestion problem of logistics system, and verify that the friction coefficient was exactly the main affecting factor. Based on this principle, this paper worked out the structure improvement of the cutter spiral lifting mechanism. The helical circular cross section was changed into a helical rectangular cross section, which made the contact way of the cutter spiral lifting mechanism and sugarcane change from point contact originally to line contact. The computer simulation experiments under different structures' transmission speed, displacement, force and so on were conducted, and the analysis indicated that for the 20 mm cutter spiral lifting mechanism that was improved, the sugarcane residence time was shortened by 32% comparing with the original cylindrical spiral. Meanwhile, after the sugarcane head entered the spirals, the loading time from the spiral to the sugarcane head relatively decreased and the time of the loading process was shorter, and the universal impact force for the sugarcane was bigger, which made the cane's feeding into the system more easily and rapidly. Before the sugarcane tail left the spiral, the favorable impact from spiral still existed, its impulse changed by 11.1 N·s, and the backward displacement of the sugar cane increased. And in the comparison of different width of spiral plane, the spiral retention time of sugarcane decreased by 18.5% when the plane width increased from 12 to 20 mm. If the width of spiral plane continued to increase to 24 mm, the trapped time of sugarcane increased by 17.6% compared to 20 mm width. When sugarcane tail left the spiral, the spiral with 12 and 24 mm width would have an adverse impact on sugarcane, which was unfavorable to the sugarcane conveying, while the spiral with 16 and 20 mm width would not only make the time of cane heading into the spiral shorter, but also produce more favorable impact when sugarcane tail left the spiral. Consequently, the experimental results showed that it could increase the friction conveying force and reduce the sugarcane retention time by appropriately widening the cutter spiral lifting mechanism width. It was advantageous to improve the transportation performance of sugarcane. Compared with 16 mm wide spiral, 20 mm wide spiral offered the equivalent total impulse after the sugarcane head entered the spiral. That made it easier for the sugarcane to enter the feeding roller, and before the sugarcane's tail left the spiral, the loading time from the spiral to the sugarcane's tail was more concentrated, the impact force was more balanced, and the backward transmission of the sugarcane was faster and more stable, which could effectively restrain the blocking problem of the front end of conveying system. The results provide the design basis for the construction of the late test platform and the development of the physical prototype.

Keywords: agricultural machinery; computer simulation; crops; sugarcane harvester; logistics; blocking; friction coefficient; test