

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.020

小型玉米收获机分禾与摘穗装置性能仿真^{*}

杜岳峰 朱忠祥 宋正河 毛恩荣 李福强

(中国农业大学工学院,北京 100083)

【摘要】 对某小型卧辊式玉米收获机分禾与摘穗装置进行了仿真分析。运用 Pro/E 建立了该机割台三维模型,运用 ADAMS 建立了其虚拟样机模型,进行了分禾器与玉米植株以及摘穗辊运动学和动力学性能仿真试验。试验结果表明:该机型分禾器形状和底面锥角设计存在一定缺陷,植株推倒严重,导致玉米秸秆不能正常喂入;同时给出了摘穗辊工作的最佳转速为 800 ~ 1 000 r/min,最佳摘穗倾角为 30°。

关键词: 小型玉米收获机 分禾装置 摘穗装置 性能仿真

中图分类号: S225.5⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0100-06

Simulation of Divider and Snapping Roll for Small-scale Corn Harvester

Du Yuefeng Zhu Zhongxiang Song Zhenghe Mao Enrong Li Fuqiang

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

The performance simulation of a small-scale corn harvester's divider and snapping roll for hilly area was analyzed by using ADAMS. A 3-D model of the corn harvester header was established with Pro/E. The preprocessed model was imported into the ADAMS environment to build the virtual prototype model. A performance simulation of divider and snapping roll was done. The results showed that the design of the divider shape had some defects, which lead to the result that the cornstalks cannot be normally fed. Meanwhile, it gave the best values of speed and inclination of the snapping rolls, the optimal parameters were: snapping roll speed of 800 ~ 1 000 r/min, and snapping roll inclination of 30°.

Key words Small-scale corn harvester, Divider, Snapping roll, Performance simulation

引言

目前,我国玉米生产的种植环节基本实现机械化,而收获环节机械化程度却较为薄弱,机收水平仅为 16.9% 左右^[1],尤其是适应于丘陵山地的玉米收获机还未达到实用化程度,该类地区的玉米收获仍然沿用手工方式,劳动强度大,作业效率低。

本文以某农机公司生产的小型玉米收获机为例,运用 Pro/E 建立其三维模型,运用 ADAMS 对小型玉米收获机分禾及摘穗装置进行仿真分析,并提出改进意见,以期为进一步设计适合丘陵山地的小型玉米收获机提供理论依据。

1 虚拟样机模型建立

1.1 Pro/E 三维模型

利用 Pro/E 建立了小型玉米收获机整机的三维模型,为节约内存空间,减少求解时间,在不影响收获机工作性能的前提下,对收获机的整机部分部件进行了简化,组装好的整机模型如图 1 所示。整机的实测参数如表 1 所示。

1.2 三维模型导入 ADAMS

ADAMS/View 可以提供多种格式的模型数据交换接口,如 Parasolid、STEP、IGES、SAT、DXF 和 DWG 等^[2]。由于 Parasolid 格式文件导入到 ADAMS 时,

收稿日期:2012-07-04 修回日期:2012-08-01

^{*} “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B01)

作者简介:杜岳峰,博士生,主要从事车辆动力学和虚拟现实研究,E-mail:duyuefeng3705348@163.com

通讯作者:朱忠祥,副教授,主要从事虚拟现实、车辆电子控制及智能控制研究,E-mail:zhuzhongxiang@cau.edu.cn

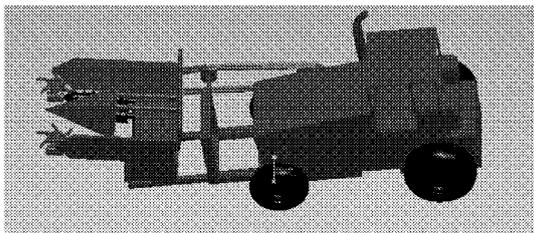


图1 小型玉米收获机三维模型

Fig.1 3-D model of small-scale corn harvester

信息丢失较少,保真度高,因此首先将 Pro/E 建立的整机模型保存为 *.X_T 的中间格式。由于 Pro/E 4.0 与 ADAMS 2005 不能实现模型的直接转换,故将 Pro/E 4.0 中保存的 *.X_T 文件导入 NX 7.5,由 NX 7.5 保存为 Parasolid 格式文件,再导入 ADAMS 中。

表1 整机实测参数

Tab.1 Measured parameter of machine

参数	数值
长度/mm	3 680
宽度/mm	1 350
生产效率 / $\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$	0.07 ~ 0.20
适用行距/mm	500 ~ 600
割茬高度/mm	60 ~ 100
配套动力/kW	17
收获行数	2
割台质量/kg	200
工作速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	1 ~ 5

1.3 在 ADAMS 中定义部件属性

导入到 ADAMS 的几何模型,为了便于约束添加,避免计算过程中出现错误信息,需对其部件的属性进行重新设置,主要包括:部件初始方位、质量信息、名称和外观等^[3]。修改部件初始方位主要目的是便于装配和创建运动副。导入的构件没有任何质量信息,需要用户对每个构件指定一个材料信息,以免在计算时出错。对质量信息的修改主要是通过选择材料类型、输入材料密度和用户自定义输入质量和转动惯量 3 种方法。由于各部件的材料都已知,所以本文采用选择材料类型的方法进行质量信息的修改。为便于添加约束,必须对部件进行重命名,以各个部件的实际名称命名,对不同部件施以不同颜色,便于区分和查找。

1.4 玉米秸秆柔性化模型建立

在 ADAMS 中利用离散柔性连接件的方法建立玉米秸秆的柔性体^[4]。首先定义两个 Marker 点 (Marker1 和 Marker2) 作为玉米秸秆的起始端和终端,其坐标分别为 Marker1 (0, 0, 0)、Marker2 (0,

2 000, 0), 选择【Build】→【Flexible Bodies】→【Discrete Flexible Link】,弹出设置离散柔性件对话框,在该对话框中设置玉米秸秆参数。查阅资料^[5-6],确定其泊松比为 0.33,模量为 1.1×10^{10} Pa,密度为 450 kg/m^3 ,玉米秸秆上一般有 10 ~ 20 个节,根据实测重庆收获期玉米植株物理参数,仿真时取 16 个节,玉米秸秆高度 2 000 mm,平均直径 25 mm,平均结穗高度 1 050 mm。建立的玉米植株柔性模型如图 2 所示。



图2 玉米秸秆离散柔性连接件

Fig.2 Cornstalk discrete flexible fittings

在 ADAMS 中运用 Bushing 连接来模拟秸秆和地面的连接情况。使秸秆与地面之间产生一对与相对位移和相对速度呈正比的三分量作用力。Bushing 参数设置如图 3 所示。

2 分禾器虚拟样机仿真

分禾器虽然结构简单,但对整机的性能影响较大。分禾器能够将倒伏的玉米秸秆扶起并喂入摘穗辊,减少落粒损失^[7]。建立分禾器三维模型如图 4 所示。将柔性化的玉米秸秆放置在分禾器工作的极限位置,仿真时间设为 1.0 s,仿真步数为 50,分禾器与地面相距 500 mm,在玉米秸秆平均结穗高度 1 050 mm 处建立 Marker 点,观察玉米秸秆结穗处于分禾器相互作用的运动变化规律。图 5 为分禾器在仿真初始阶段和仿真结束阶段的状态。

结穗点在 X、Y、Z 方向上位移随时间的变化曲线如图 6 所示。从图中可以看出,在 X 方向上,结穗点处的位移逐渐增大,当仿真进行到 0.87 s 时,X 方向的位移瞬间骤减,由此可以得出在 0.87 s 时,玉

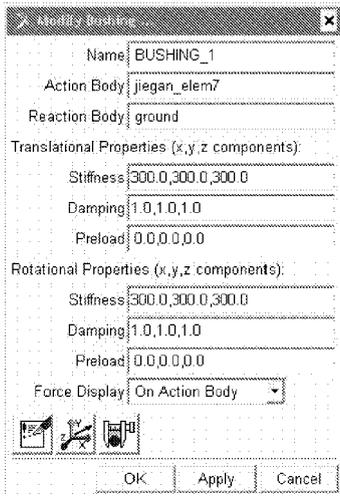


图3 柔性玉米秸秆与地面的 Bushing 连接设置

Fig. 3 Setting Bushing between flexible corn straw and ground

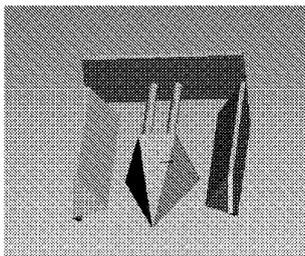
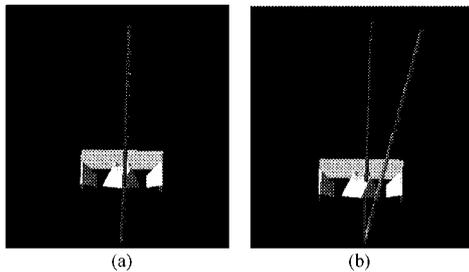


图4 分禾器三维模型

Fig. 4 3-D model of divider



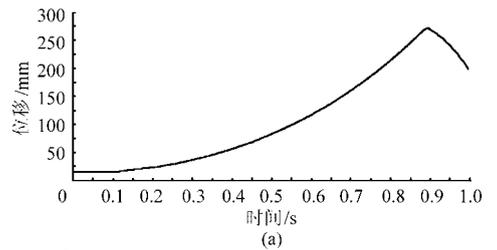
(a) (b)

图5 分禾器的仿真过程

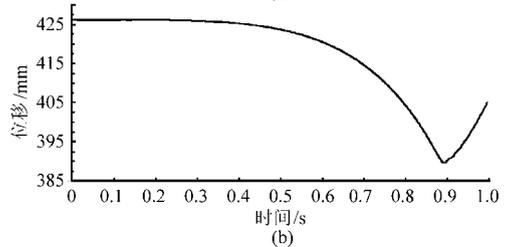
Fig. 5 Simulation process of divider

(a) 仿真初始阶段 (b) 仿真结束阶段

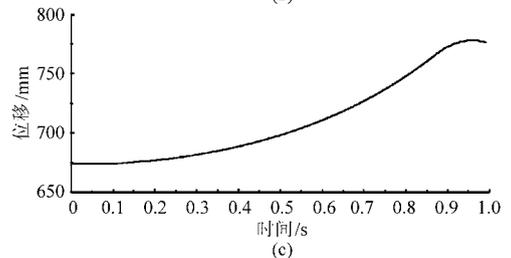
米秸秆受到较大振动,其并未继续沿 X 方向运动,而是向反方向运动。在 Y 方向上,结穗点位移逐渐减小,当仿真进行到 0.87 s 时,位移瞬间骤增,可以得出在 0.87 s 时,玉米秸秆受到较大振动,得出分禾器锥角和底面形状设计存在一定缺陷,导致玉米秸秆在受到较大震动时容易被推倒,影响分禾效果。在 Z 方向上,结穗点的位移逐渐增大,玉米秸秆在分禾器的作用下逐渐向内运动,在此方向上分禾器对玉米秸秆的作用较合理,未出现碰触现象。因此,在设计过程中,对分禾器的底端直角改为圆弧形设计,这样就相对减小了分禾宽度,使玉米秸秆更加顺畅的导入摘穗机构,减少了收获损失。改进后的模型如图 7 所示。



(a)



(b)



(c)

图6 结穗点在不同方向位移随时间的变化曲线

Fig. 6 Relationship of displacement with time under different directions

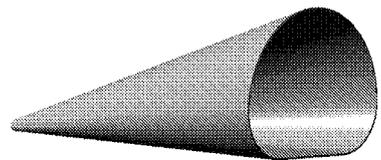
(a) X 方向 (b) Y 方向 (c) Z 方向

图7 改进后的分禾器模型

Fig. 7 Improved divider model

3 摘穗辊虚拟样机仿真

3.1 摘穗机构的运动学仿真

将摘穗机构导入 ADAMS 并定义方向,添加约束。摘穗辊之间的动力是由一对传动比为 1:1 的直齿齿轮提供,因此在两个摘穗辊之间添加齿轮副来进行动力的传递。首先得出 2 个齿轮的质心坐标,计算出齿轮副方向坐标系的原点,然后建立齿轮副的方向坐标系,摘穗辊的运动学仿真模型如图 8 所示。

添加驱动。摘穗辊的运转需要驱动,本文通过对摘穗辊施加旋转驱动 (Motion) 来实现。摘穗辊通过齿轮副传递动力,故只需添加一个 Motion 即可实现摘穗辊的相对旋转运动,分别仿真摘穗辊在不同转速下,内侧摘穗辊质心位移和角加速度随时间的变化规律。当转速 n 分别为 800、900、1 000、1 050、1 100、1 150 r/min 和 1 200 r/min 时,仿真时间设为 2 s,步长为 0.01,内侧摘穗辊质心角加速度随时间

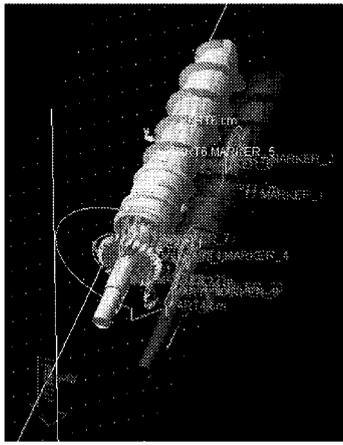


图8 摘穗辊仿真模型

Fig.8 Pick roller simulation model

的变化曲线如图9所示。

通过分析质心角加速度与时间的变化曲线可以得出,当 n 小于1000 r/min,摘穗辊质心角加速度随时间的变化在 $0 \sim 0.008 (^{\circ})/s^2$ 之间波动,变化非常小;随着转速的增加,当 n 大于1000 r/min时,摘穗辊的质心角加速度逐渐变大,摘穗辊的震动范围也逐渐变大,在摘穗过程中对玉米的损坏作用也会增大,

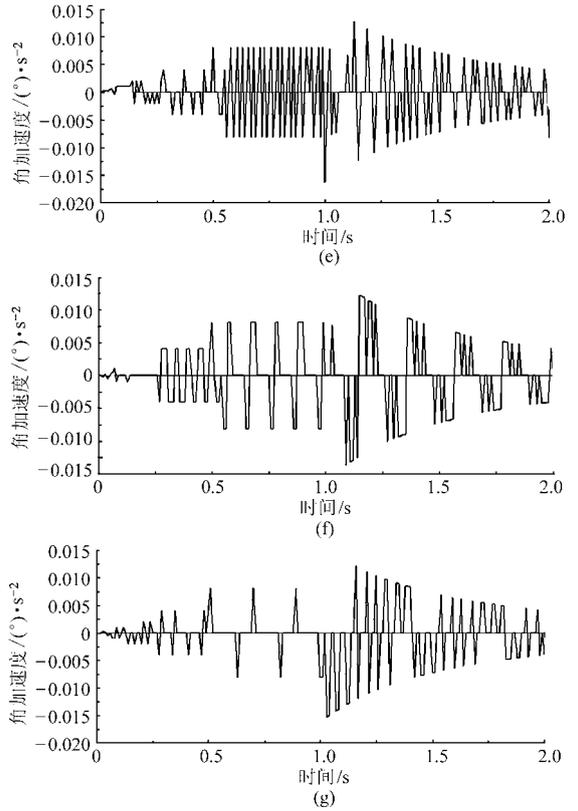
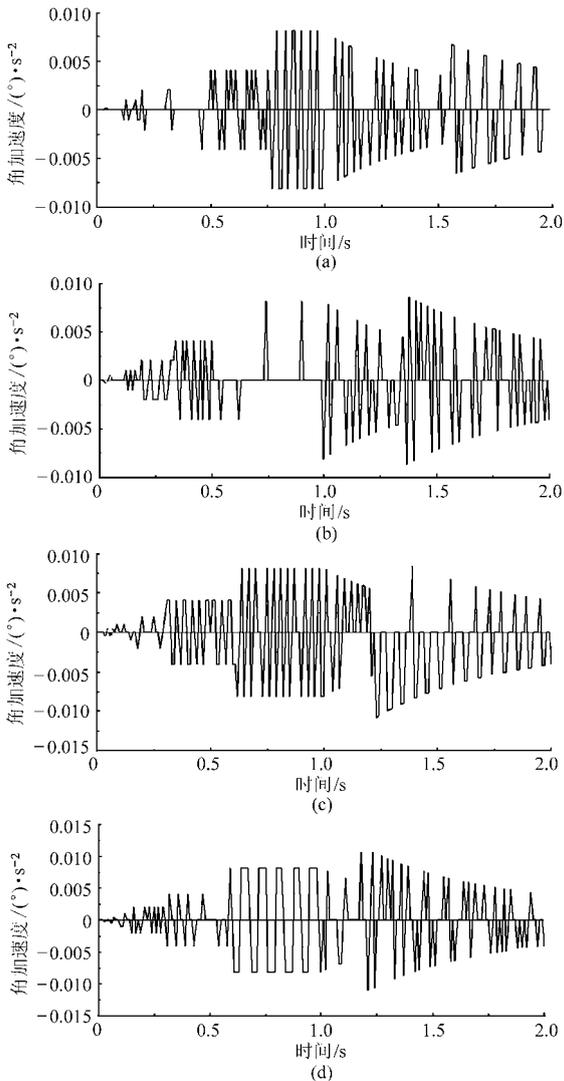


图9 不同转速时质心角加速度随时间变化曲线

Fig.9 Relationship of centroid angle acceleration with time under different rotate speeds

- (a) $n = 800$ r/min (b) $n = 900$ r/min (c) $n = 1000$ r/min
- (d) $n = 1050$ r/min (e) $n = 1100$ r/min (f) $n = 1150$ r/min
- (g) $n = 1200$ r/min

因此合适收获玉米的最佳转速 n 小于1000 r/min。当摘穗辊转速 n 小于800 r/min时,摘穗辊对果穗穗柄的拉力偏小,摘穗时间过长,对玉米果穗啃伤增加。综上分析可得,摘穗辊最佳转速范围为800 ~ 1000 r/min。

3.2 摘穗辊倾角对玉米收获的影响

卧式摘穗辊主要由一对相对旋转的摘穗辊组成,摘穗辊轴线一般与水平面呈 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 倾角,秸秆沿摘穗辊轴线方向喂入。本文主要仿真了当摘穗辊轴线与水平面为 30° 和 40° 时,摘穗辊对玉米秸秆收获性能的影响。

当倾角为 30° 时, X 、 Y 、 Z 方向玉米秸秆与摘穗辊的接触力随时间变化曲线如图10所示。结穗点在 X 、 Y 、 Z 方向上位移随时间的变化曲线如图11所示。

当倾角为 40° 时, X 、 Y 、 Z 方向玉米秸秆与摘穗辊的接触力随时间变化曲线如图12所示。结穗点在 X 、 Y 、 Z 方向上位移随时间的变化曲线如图13所示。

通过比较可以发现,当摘穗辊倾角为 30° 时,玉

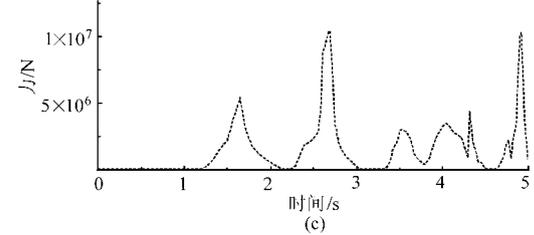
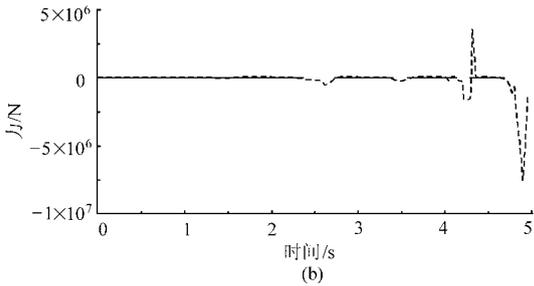
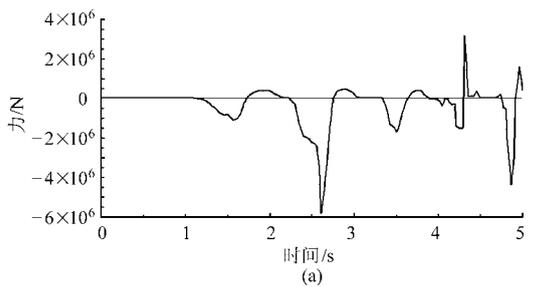


图 10 倾角 30°时不同方向上接触力随时间的变化曲线

Fig. 10 Relationship of contact force with time under snapping roll inclination of 30°
(a) X方向 (b) Y方向 (c) Z方向

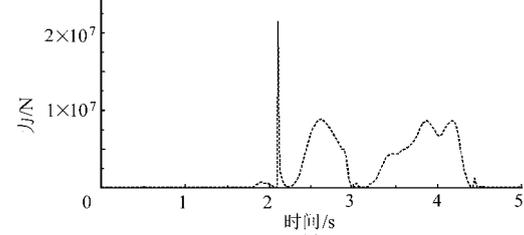
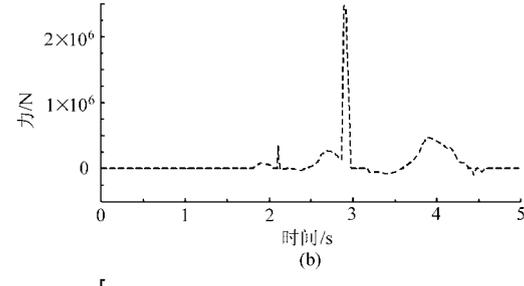
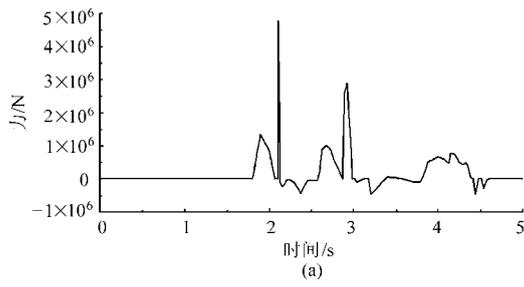


图 12 倾角 40°时不同方向上接触力随时间的变化曲线

Fig. 12 Relationship of contact force with time under snapping roll inclination of 40°
(a) X方向 (b) Y方向 (c) Z方向

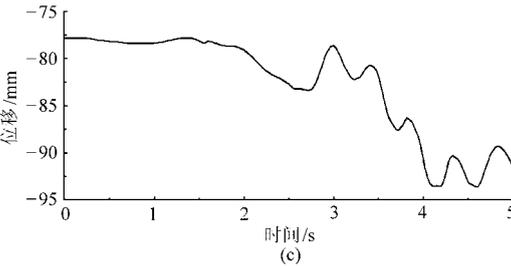
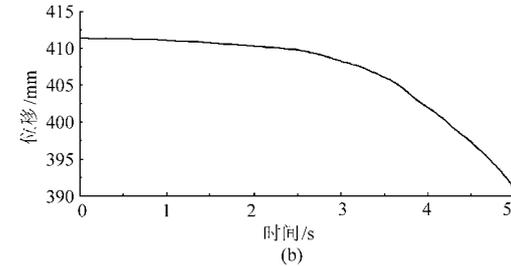
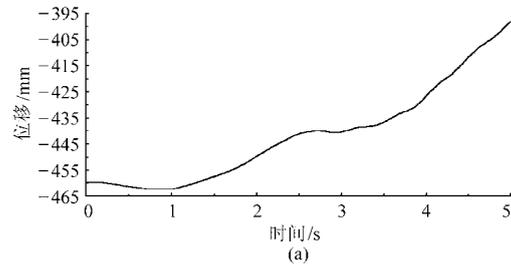


图 11 倾角 30°时结穗点不同方向位移随时间的变化曲线

Fig. 11 Relationship of displacement with time under snapping roll inclination of 30°
(a) X方向 (b) Y方向 (c) Z方向

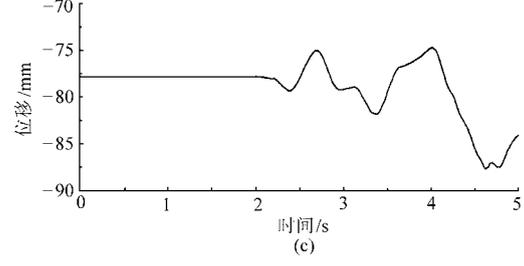
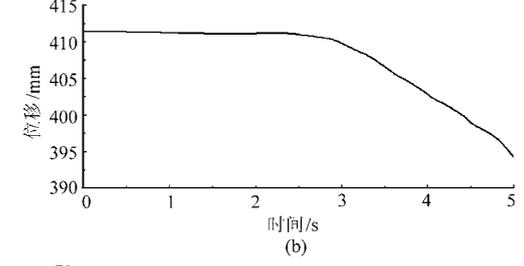
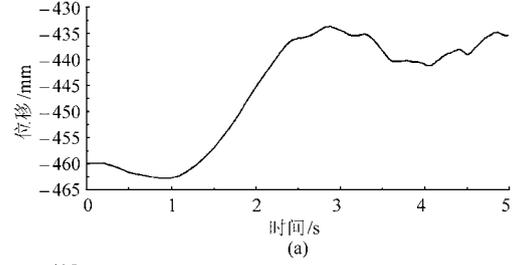


图 13 倾角 40°时结穗点在不同方向位移随时间的变化曲线

Fig. 13 Relationship of displacement with time under snapping roll inclination of 40°
(a) X方向 (b) Y方向 (c) Z方向

米秸秆在各个方向所受到的接触力与倾角为 40° 相比时较小,玉米秸秆在各个方向上的位移也比倾角为 40° 时变化波动小。所以本文所述的小型玉米收获机摘穗辊轴线与地面夹角为 30° 时对玉米植株的收获性能更好。

4 结束语

通过分析分禾器与玉米秸秆相互作用的仿真曲

线和摘穗辊运动学仿真曲线,得出玉米收获机分禾器在设计上存在的问题并进行了改进设计,摘穗辊的最佳工作参数:转速 n 为 $800 \sim 1\,000$ r/min、倾角为 30° 。仿真分析结果为小型玉米收获机的改进设计提供了理论依据,同时为玉米收获机提供了一种低能高效的试验方法。

参 考 文 献

- 1 杨维宇.我国玉米收获机发展现状及建议[J].农业科技与装备,2011(2):132~134.
Yang Weiyu. Present development in China's maize harvesters and proposals[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2011(2):132~134. (in Chinese)
- 2 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M].北京:国防工业出版社,2008.
- 3 陈军. MSC. ADAMS 技术与工程分析实例[M].北京:中国水利水电出版社,2008:157~205.
- 4 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,2009,21(7):1 930~1 932.
Pu Minghui, Wu Jiang. Study on flexible sugarcane modeling based on ADAMS software [J]. Journal of System Simulation, 2009,21(7):1 930~1 932. (in Chinese)
- 5 高梦祥,郭康权,杨中平,等.玉米秸秆的力学特性测试研究[J].农业机械学报,2003,34(4):114~118.
Gao Mengxiang, Guo Kangquan, Yang Zhongping, et al. Study on mechanical properties of cornstalk [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(4):114~118. (in Chinese)
- 6 张彦河.玉米秸秆破碎力学特性的研究[J].黑龙江八一农垦大学学报,2003,15(4):43~45.
Zhang Yanhe. A study of mechanics characteristics on breaking up corn straw[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2003,15(4):43~45. (in Chinese)
- 7 张道林,刁培松,张士新,等.基于 ADAMS 玉米收获机关键机构的三维动态仿真[J].农业装备与车辆工程,2007(10):35~37.
Zhang Daolin, Diao Peisong, Zhang Shixin, et al. 3D solid animated simulation of main movement organ of corn harvest machine cutter based on ADAMS[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2007(10):35~37. (in Chinese)

(上接第 99 页)

- 7 王琦.谷物联合收获机测产系统智能监视器研究[D].北京:中国农业大学,2005.
Wang Qi. Research on an intelligent monitor for yield mapping system of grain combine harvester [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 8 高华江.基于 CAN 总线的产量监控系统研究开发[D].北京:中国农业大学,2006.
Gao Huajiang. Development of yield monitor system with CAN-bus [D]. Beijing: China Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 9 Wu Guan, An Xiaofei, Li Minzan, et al. Development of an impact-based yield monitor with CAN-bus[J]. Sensor Letters, 2011, 9(3):974~980.
- 10 李民赞,张文革,李相平,等.谷物实时测产技术研究[C]//中国数字农业与农村信息化学术研究研讨会论文集,北京,2005.
- 11 周俊,刘成良.平行梁冲量式谷物质量流量传感器弹性元件设计[J].农业工程学报,2007,23(4):110~114.
Zhou Jun, Liu Chengliang. Load cell design for parallel beam impact-based grain mass sensor[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,23(4):110~114. (in Chinese)
- 12 王薄,李民赞,张成龙,等.冲击式谷物流量传感器设计与性能试验[J].农业机械学报,2009,40(增刊):52~56.
Wang Bo, Li Minzan, Zhang Chenglong, et al. Development of grain flow sensor for yield monitor system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(Supp.):52~56. (in Chinese)
- 13 薛正平,杨星卫,段项锁,等.土壤养分空间变异及合理取样数研究[J].农业工程学报,2002,18(4):6~9.
Xue Zhengping, Yang Xingwei, Duan Xiangsuo, et al. Spatial variability of soil nutrient and reasonable sampling number [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002,18(4):6~9. (in Chinese)