

基于 ANSYS 和 ADAMS 的玉米茎秆柔性体仿真*

崔 涛 刘 佳 张东兴 史 嵩
(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 玉米柔性体模型的建立是研究玉米植株与玉米收获机构刚柔耦合多体动力学系统的关键步骤。根据玉米植株参数,通过有限元软件 ANSYS 建立了茎秆模型,对模型进行网格划分和接触点定义,生成 ADAMS 需要的模态中性文件。将建立的收获机构模型和模态中性文件导入 ADAMS 后,施加载荷、约束和驱动,对茎秆的运动状态进行了模拟,得出茎秆位置、速度等试验数据,研究茎秆在机构间的运动状态,为后续分析提供依据。

关键词: 玉米茎秆 柔性体 仿真
中图分类号: S225.51 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)S0-0112-04

Flexible Body Simulation for Corn Stem Based on ANSYS and ADAMS

Cui Tao Liu Jia Zhang Dongxing Shi Song
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

The establishment of flexible corn model is a key process of the corn-harvest mechanism, which is a kind of rigid-flexible coupling multi-body system. A modal neutral file for ADAMS was created in ANSYS by meshing the stem model and defining the attach point. The model of harvest mechanism and the modal neutral file of corn stem were imported into ADAMS. The status of motion of stem was simulated by applying load, constraints, and drive. And from the simulation, the variation of location and velocity were obtained. The status of motion in the mechanism was studied.

Key words Corn stem, Flexible body, Simulation

引言

玉米机械化收获是实现玉米生产全程机械化的关键所在,是制约我国玉米耕种收综合机械化水平全面提高的瓶颈。现代农业发展规划(2011—2015年)中提出加快推进玉米收获机械化,但是目前收获损失偏高、茎秆粉碎效果不理想,机具适用性不佳、设计不合理等问题严重影响了我国玉米收获机械的推广应用^[1~3]。由于玉米收获作业的季节性对新机构的测试检验限制较大,因此对收获机构进行计算机辅助设计、仿真分析有利于缩短研发周期、降低研发成本。而其中一项重要的工作就是建立玉米茎秆模型。模型的准确性对收获机构的结构优化、

运动学和动力学仿真的合理性有很大的影响。若简单的以刚体模型来模拟玉米茎秆,会导致分析结果产生很大的误差。而按照实际情况将玉米茎秆视为柔性体,则可更好地描述其特性。本文用有限元软件 ANSYS 将玉米茎秆按其物理特性做成柔性体,划分网格之后再导入 ADAMS 中进行仿真计算。

1 原理

1.1 分析流程

玉米收获机构-玉米植株刚柔耦合机构需利用 ANSYS 和 ADAMS 结合来进行分析。首先在 ANSYS 中建立柔性部件的有限元模型,生成 ADAMS 所需要的柔性体模态中性文件。然后在

收稿日期: 2012-06-30 修回日期: 2012-07-16
* 玉米机械化生产工艺与装备优化研究与示范项目(200903059)、国家现代玉米产业技术体系建设项目(CARS-02)和农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室资助项目
作者简介: 崔涛,博士生,主要从事农业机械装备与计算机测控研究,E-mail: cuitao850919@163.com
通讯作者: 张东兴,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备与计算机测控研究,E-mail: zhangdx@cau.edu.cn

ADAMS 软件中建立刚性体模型,读入模态中性文件,指定部件之间的连接方式,施加必要的载荷进行系统动力学仿真。分析完成后输出 ANSYS 所需要的载荷文件,此文件记录了运动过程中柔性体的运动状态和受到的载荷。最后在 ANSYS 程序中,将载荷文件中对应时刻的载荷施加到柔性体上对柔性体进行应力应变分析。

1.2 柔体分析理论基础

弹性体中,约束、广义力、表达式均与标记点运动有关^[4]。

图 1 中,连接在节点 P 上的标记点的瞬时位置,相对于弹性体坐标系 B 是 3 个矢量的总和。在地面参考系中, P 点的瞬时位置表示为

$$\boldsymbol{r}_p = \boldsymbol{x} + {}^G\boldsymbol{A}^B(\boldsymbol{s}_p + \boldsymbol{u}_p) \tag{1}$$

其中
$$\boldsymbol{u}_p = \boldsymbol{\phi}_p \boldsymbol{q} \tag{2}$$

式中 $\boldsymbol{x}$ ——从地面坐标系到连体坐标系原点 B 的位置矢量,是地面惯性坐标系下的矢量, $\boldsymbol{x}$ 矢量的 3 个分量为 (x,y,z) ,是弹性体坐标系原点的通用坐标

$\boldsymbol{s}_p$ ——在连体坐标系下由原点指向未发生变形时的 P 点的位置矢量,是连体坐标系上的矢量,常矢量

${}^G\boldsymbol{A}^B$ ——连体坐标系向地面惯性基的转换矩阵,也称为从连体坐标系指向惯性基的方向余弦阵

$\boldsymbol{u}_p$ —— P 点平移的位置矢量,也是连体坐标系中的矢量,是一个模态的叠加

$\boldsymbol{\phi}_p$ ——模态矩阵的一部分,该矩阵与节点 P 的平动自由度相对应

$\boldsymbol{q}$ ——模态向量坐标

对式(1)进行求导得到 P 点相对于惯性基的实时平动速度^[1]

$$\dot{\boldsymbol{v}}_p = \dot{\boldsymbol{x}} + {}^G\dot{\boldsymbol{A}}^B(\boldsymbol{s}_p + \boldsymbol{u}_p) + {}^G\boldsymbol{A}^B\dot{\boldsymbol{u}}_p \tag{3}$$

弹性体的运动方程为

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\boldsymbol{\xi}}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \boldsymbol{\xi}} + \frac{\partial \boldsymbol{F}}{\partial \dot{\boldsymbol{\xi}}} + \left[\frac{\partial \boldsymbol{\psi}}{\partial \dot{\boldsymbol{\xi}}}\right]^T \boldsymbol{\lambda} - \boldsymbol{Q} = 0 \quad (\boldsymbol{\psi} = 0) \tag{4}$$

其中
$$\boldsymbol{L} = \boldsymbol{T} - \boldsymbol{V} \tag{5}$$

式中 $\boldsymbol{L}$ ——拉格朗日算子

$\boldsymbol{T}$ ——动能 $\boldsymbol{V}$ ——势能

$\boldsymbol{F}$ ——能量耗损函数,是阻尼参数

$\boldsymbol{\psi}$ ——约束过程

t ——时间, s

$\boldsymbol{\lambda}$ ——约束的拉格朗日系数

$\boldsymbol{\xi}$ ——广义坐标系

$\boldsymbol{Q}$ ——作用在广义坐标系 $\boldsymbol{\xi}$ 上的作用力

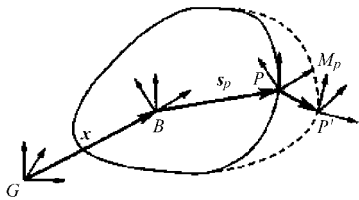


图 1 柔性体标记点运动示意图

Fig.1 Motion of flexible body's marker points

2 模型建立

2.1 模型参数

在 ADAMS 中,共有 3 种建立柔性体的方法:①离散柔性连接件(discrete flexible link)。②从 ANSYS 或其他有限元软件中划分网格生成模态中性文件(modal neutral file 文件,经由 ADAMS/Flex 模块导入)。③直接用 ADAMS/AutoFlex 模块划分网格生成模态中性文件^[5~6]。3 种方法中,从有限元软件生成并导出模态中性文件虽然耗费较多时间,但是采用的单元体类型能够较好地模拟真实玉米茎秆的结构,仿真最能反映其力学特性。通过 ANSYS 软件与 ADAMS 软件之间的双向接口,可以很方便地考察柔性体部件对机械系统运动的影响,并得到基于精确动力学仿真结果的应力应变分析结果,提高分析精度。

通过对郑单 958 玉米收获期茎秆的生长参数进行测量,得到所需的植株参数,如表 1 所示。

表 1 植株参数
Tab.1 Plant parameters

参数	平均值	标准偏差
植株高度/cm	254.7	20.8
结穗高度/cm	105.0	18.3
植株穗下直径/mm	23.9	1.8
茎节直径/mm	29.5	2.2

实体建模将以上数据作为参考,尽量保证模型与真实玉米的外形的一致性。取玉米高度为 256 cm,结穗高度 105 cm,茎秆直径 24 mm,茎节结构直径为 30 mm;共分为 16 节,节与节之间圆弧平滑过渡。玉米的物理参数选取泊松比为 0.33,弹性模量为 $1.1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$,密度为 450 kg/m^3 ^[7~8]。

选取 solid45 单元类型,具有塑性、蠕变、膨胀、应力强化、大变形和大应力能力,适用于构造三维模型^[9]。划分网格时,出于计算精度和时间的考虑,选取网格精度为 2 mm,网格划分完成后的茎秆如图 2 所示。

2.2 定义接触点

ANSYS 中生成的模态中性文件不施加任何约束,导入到 ADAMS 中是一个自由悬浮子结构。但

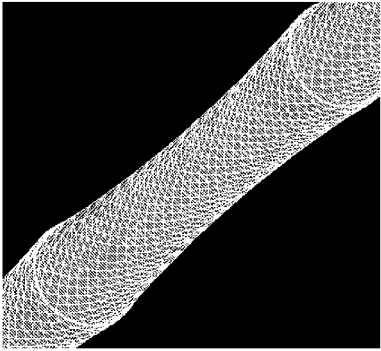


图2 茎秆网格划分
Fig.2 Meshing of corn stalk

ADAMS 中的约束必须施加在接触点上,因此需在 ANSYS 中先定义模型的接触点。由于定义一个接触点相当于向 ADAMS 加入了 6 个自由度,一般根据柔性体和刚体接触的具体情况,应尽量少定义接触点。这里以相邻两节玉米茎秆为一个单位在茎节上建立接触点,结果见图 3。

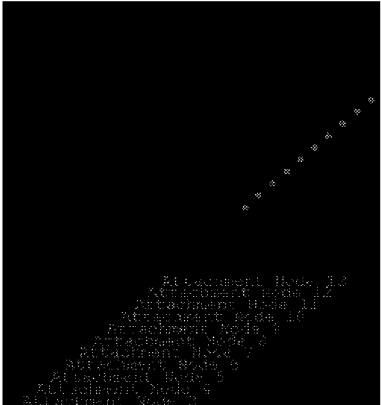


图3 定义接触点
Fig.3 Attachment point

2.3 柔性体导入

在 ADAMS 环境中,通过 Build—Flexible bodies—Adams/Flex—Creat a Flexible Body 路径,导

入在 ANSYS 中生成的模态中性文件,阻尼率使用默认值^[10-11]。

ADAMS 中不可以直接向柔性体施加柔性联结,如 Bushing, beams, Field elements 等。要施加此类柔性联结必须在柔性体上固结一个哑物体(即将物体的质量、转动惯量都设为零,仅保留几何体)。将玉米与地面的联结方式在虚拟环境下简化为一个球铰链约束加一个柔性联结 Bushing,相对地面有 3 个方向的旋转自由度。Bushing 的存在使得玉米受到前进割台施力的同时,地面会给它一个反作用力。施加完约束的仿真模型如图 4 所示。

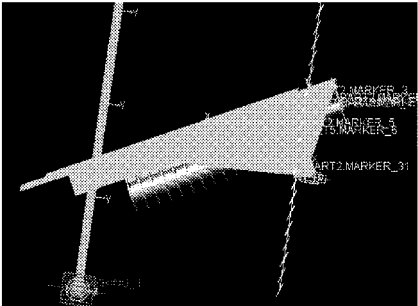


图4 仿真模型
Fig.4 Simulation model

3 仿真分析

虚拟样机技术仿真分析研究中,通过 ADAMS 软件完成对机构的动力学和运动学分析。将玉米茎秆和拉茎辊及摘穗板间的相互作用简化为 3 个接触力。并对其施加前进方向的约束力矩,以模拟田间玉米收获情况。

取茎秆上茎节单元 3、4 进行分析。图 5、6 显示了 2 个柔体单元的位置和速度变化。 x 轴表示茎秆在辊间的摆动,单元 3 由于处于辊间,受到两拉茎辊和基圆的交替作用,摆动幅度较大,而单元 4 由于还

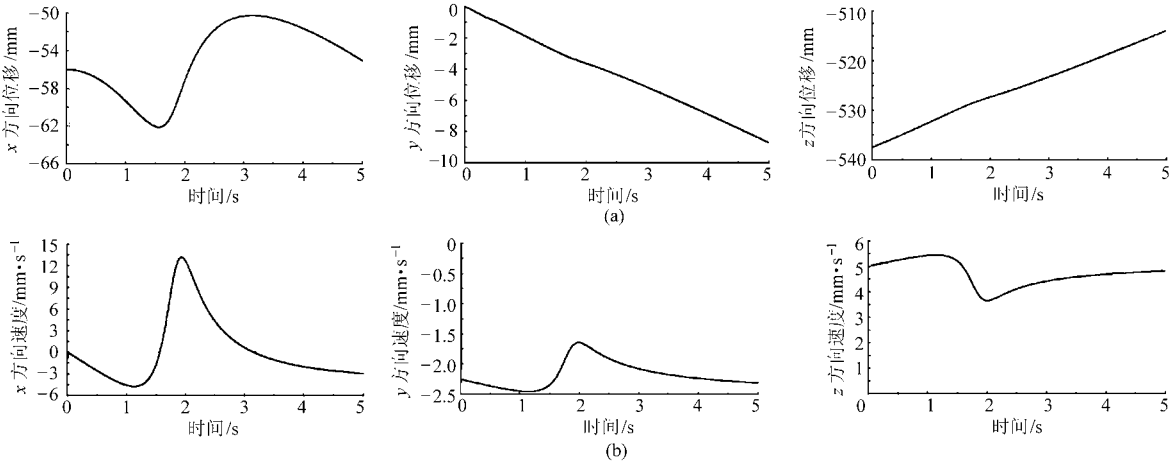


图5 茎秆单元3质心位移、速度仿真曲线
Fig.5 Location and velocity of corn stalk element No. 3
(a) 质心位移 (b) 质心速度

未进入辊间,在单元 3 和摘穗板作用下,朝一个方向偏移。 y 轴反映了茎秆在竖直方向的位置变化,较好反映了茎秆的下拉过程。作用中的茎秆受摘穗辊的下拉作用稳定,而由于茎秆的弹性特性,上部茎秆单元 4 的位移出现小幅反复。 z 轴位移的增加表示随着摘穗机构的前进,茎秆逐渐向机构后方

移动;通过比较不同单元的速度图像,可以看出由于茎秆是一柔性体,上部单元 4 同单元 3 相比,在保持了运动一致性的基础上,速度变化较为缓和,减小了机构对上部茎秆的冲击,有助于减少茎秆折断现象的发生。仿真结果真实地反映了收获机构与茎秆的作用过程。

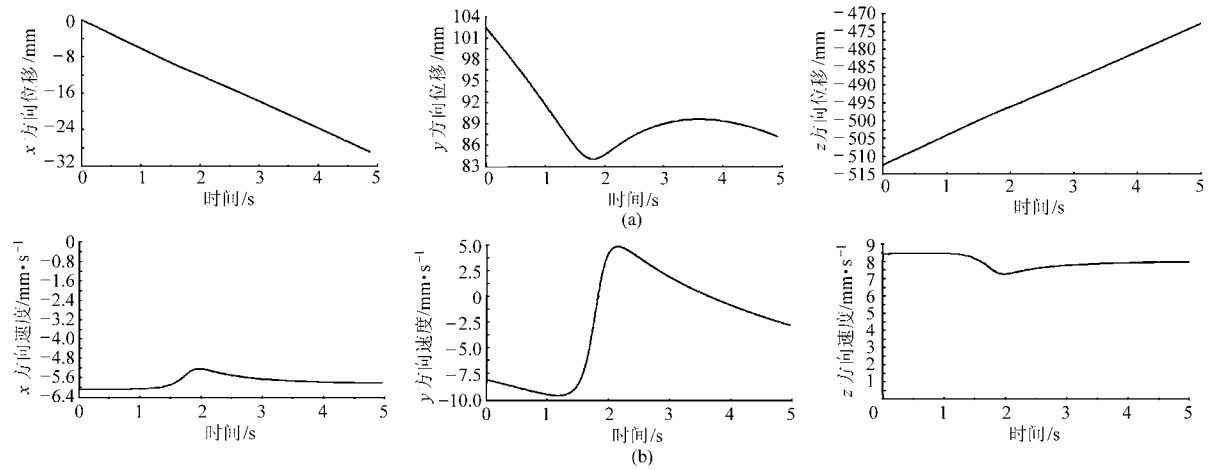


图 6 茎秆单元 4 质心位移、速度仿真曲线
Fig. 6 Location and velocity of corn stalk element No. 4
(a) 质心位移 (b) 质心速度

4 结束语

经由 ANSYS 和 ADAMS 接口,根据收获期玉米植株参数,在 ANSYS 中建立了玉米茎秆的柔性体分节模型,并定义了接触点,向 ADAMS 输出了所需的

模态中性文件;在 ADAMS 中导入收获机构模型和茎秆柔性体文件,建立仿真模型,通过模型的仿真,研究了收获机构对茎秆的作用过程,为进一步分析收获过程和收获机构的结构优化提供了依据。

参 考 文 献

- 贺俊林, 佟金. 我国玉米收获机械的现状及其发展[J]. 农机化研究, 2006, 28(2): 29~31, 36.
He Junlin, Tong Jin. Situation of corn-harvesting mechanization and suggestions for its developing in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006, 28(2): 29~31, 36. (in Chinese)
- 籍俊杰, 刘焕新, 郝金魁, 等. 国内外玉米收获机械发展综述[J]. 当代农机, 2006 (4): 18~21.
- 郝付平, 陈志. 国内外玉米收获机械研究现状及思考[J]. 农机化研究, 2007, 29 (10): 206~208.
Hao Fuping, Chen Zhi. Actuality of domestic and foreign corn harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 29(10): 206~208. (in Chinese)
- 邢俊文. MSC. ADAMS_FLEX 及 Autoflex 培训教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- 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)
- 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- 高梦祥, 郭康权, 杨中平, 等. 玉米秸秆的力学性能测试研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4): 47~49, 52.
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): 47~49, 52. (in Chinese)
- 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)
- 张朝晖. ANSYS 12.0 结构分析工程应用实例解析[M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- Mechanical dynamics Inc. Adams/Flex[M]. MDI, 2008.
- 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.