

# 马铃薯收获机摆动筛与块茎运动仿真分析

贾晶霞 张东兴

(中国农业大学工学院,北京 100083)

**摘要** 针对我国现有马铃薯收获机摆动筛设计手段落后、设计效率低等问题,应用基于特征的参数化造型软件 Inventor对摆动筛进行参数化造型,采用 ADAMS 机械仿真软件对收获机摆动筛的虚拟样机进行运动仿真;对摆动筛质心点运动的合成速度、加速度和位移曲线以及块茎质心点所受碰撞压力曲线进行分析。结果表明:当摆动筛摆动频率为 5.5 Hz,摆幅为 30 mm 时,摆动筛质心点的速度  $v < 500 \text{ mm/s}$ ,加速度  $a < 2.5 \text{ m/s}^2$   $a < 20 \text{ m/s}^2$ ,中、小块茎与筛面的碰撞压力分别为 120 和 250 N,均小于损伤压力,且输送顺畅,伤薯率  $< 4\%$ ,满足设计要求。

**关键词** 马铃薯收获机;摆动筛;参数化造型;仿真

**中图分类号** S 225.71

**文章编号** 1007-4333(2006)03-0079-04

**文献标识码** A

## Moving simulation analysis on swing sieve of potato harvester

Jia Jingxia, Zhang Dongxing

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

**Abstract** Owing to the unadvanced and inefficient design of a potato harvester, a feature-based parametric modeling software, Autodesk Inventor, was used for its modeling. The movement of swing sieve, a key part of potato harvester, was simulated using the ADAMS package. The complex velocity, acceleration and displacement curves as well as collision pressure curves were analyzed. The analytical results show that the centroid velocity of the swing sieve is lower than 500 mm/s, its acceleration higher than 2.5 m/s<sup>2</sup>, the collision pressures of little and middling potatoes are 120 N and 250 N respectively, which are all lower than the damage pressure, potatoes conveying freely and the damaged rate less than 4% when its frequency is 5.5 Hz and the swing amplitude 30 mm.

**Key words** potato harvester; swing sieve; parametric modeling; simulation

目前,我国马铃薯收获机多为小型,设计手段以传统方法为主,存在诸多不足:在修改设计时,需要花大量时间绘图,设计手段相对落后、设计效率低;不能实现零件的预装配,无法进行装配干涉检验;在制造之前无法看到零部件三维形状。发达国家马铃薯收获机的设计已广泛采用 Inventor 三维造型和 ADAMS 仿真技术手段,但主要用于大功率马铃薯联合收获机的设计,未见将该技术应用于小型马铃薯收获机设计的报道。

笔者采用 Inventor 软件对小型马铃薯收获机零部件进行参数化设计,用 ADAMS 软件建立小型马铃薯收获机的虚拟样机,并对其关键部件摆动筛进行运动仿真,以期对摆动筛模型运动参数进行优化,

为今后同类产品的设计提供参考。

## 1 基于特征的摆动筛参数化造型

### 1.1 摆动筛零部件分类与结构

笔者在参考国内其他同类马铃薯收获机摆动筛设计的基础上,采用 Inventor 设计新型马铃薯收获机摆动筛(图 1)。主要结构为:曲轴、筛框、吊臂、尾筛轴、筛条、筛轴支架和输送带。曲轴旋转带动筛体做往复摆动,输送带上铺放有随机排列的马铃薯。

### 1.2 零件模型建立与装配干涉检验

将摆动筛细分为系列特征,并将其存贮在特征库中。每个特征具有尺寸、基准等技术参数。以筛框为例建立零件模型。根据筛框形状得出其所需要

收稿日期:2005-03-30

基金项目:国家“十五”科技攻关计划资助项目(2004BA524B05)

作者简介:贾晶霞,博士研究生;张东兴,教授,博士生导师,主要从事机械装备与计算机测控研究,E-mail: zhangdx@cau.edu.cn

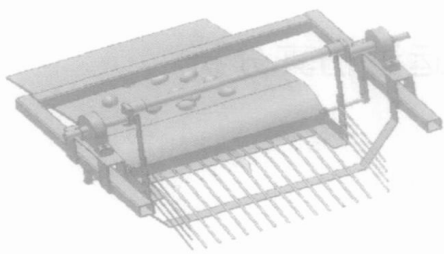


图1 马铃薯收获机振动筛仿真模型

Fig. 1 Simulation model of swing sieve of potato harvester

的特征,包括拉伸和打孔,筛框长度为400 mm、宽度600 mm,尾筛轴固定孔直径10 mm。输入参数形成实体模型,修改模型只需修改相应的参数值。尺寸间的几何约束关系在创建模型时创建,修改模型时,约束关系保持不变,设计意图也不变。

利用软件的装配功能装配各零件。通常情况下,每个零件都有6个自由度,装配过程就是分析每个零件在工作中的作用和6个方向的自由度,选择适当的装配方式固定零部件。装配体产生后进行干涉检验,确定零件设计及配合的合理性<sup>[4-5]</sup>。

## 2 摆动筛运动仿真

### 2.1 仿真模型的建立

摆动筛安装在机器尾部,其功能是将升运链上的物料(马铃薯块茎及部分土壤)进行二次筛分,并把薯块成条状铺放于机器尾部。摆动筛是收获机最后一个对马铃薯流进行加工的部件,筛上物料大部分是马铃薯块茎,没有足够的土壤对其保护,其摆动频率和摆幅大小与块茎的损伤关系较为密切。凸轮机构参数决定摆动筛的运动规律,因此需要建立摆动筛及其凸轮机构的仿真模型,根据仿真结果确定其运动参数。将 Inventor 实体模型的数据格式转换为 Parasolid 格式,通过 ADAMS/ Exchange 图形接口模块导入 ADAMS 中,重新建立完整的几何实体模型。

### 2.2 约束类型及载荷添加

收获机后输送链驱动轴通过皮带轮将转矩传递给摆动筛轴,筛轴通过拐臂带动摆动筛往复摆动。吊臂与筛框之间为铰接,约束位置处的运动均为转动。摆动筛约束位置为:筛左右侧悬臂轴、左右侧连接短轴、筛左右侧吊臂和尾筛左右端,约束类型均为旋转副。

变速箱将动力传递给输送链后驱动轴,一侧带动输送链转动,另一侧通过皮带轮将动力传递给摆

动筛筛轴,筛轴转动带动吊臂旋转,从而使摆动筛摆动。在悬臂轴两侧添加旋转驱动,使两个悬臂轴的转向和转速相同。

### 2.3 摆动筛设计要求

为了合理选择摆动筛的运动参数,需先分析筛上物料的运动特性。依据作业要求,马铃薯块茎在不跳离筛面的情况下,向筛口滑动(前滑)的距离应大于向筛尾滑动(后滑)的距离。

1) 摆动频率和摆幅。摆动筛的摆动频率和摆幅对物料通过筛子的能力有较大影响。通常摆动筛的运动参数根据选定物料的运动状态选取。一般地,为使马铃薯损伤率 5%,摆动筛质心的运动速度应满足  $v < 600 \text{ mm/s}$ ,摆幅应当满足  $15 \text{ mm} < A < 35 \text{ mm}$ 。

2) 摆动筛加速度。为了使马铃薯在输送铺条过程中尽量避免或减少其摩擦损伤,要求马铃薯块茎在不跳离筛面的情况下,向前滑动的距离大于向后滑动的距离。根据马铃薯在筛面上的受力分析(图2),马铃薯向前、向后和抛离运动时的加速度应分别满足以下条件:

前滑

$$2r > \frac{\sin(\theta - \alpha)g}{\cos(\theta + \alpha)} \tag{1}$$

后滑

$$2r > \frac{\sin(\theta + \alpha)g}{\cos(\theta - \alpha)} \tag{2}$$

抛离

$$2r < \frac{\cos(\theta)g}{\sin(\theta - \alpha)} \tag{3}$$

式中:  $\omega$  为筛轴角速度,  $\text{rad/s}$ ;  $r$  为摆动筛凸轮的旋转半径,  $\text{m}$ ;  $g$  为重力加速度,  $\text{m/s}^2$ ;  $\theta$  为筛面倾角,  $(^\circ)$ ;  $\alpha$  为摆动筛摆动方向角,  $(^\circ)$ ;  $\phi$  为块茎与筛面的摩擦角,  $(^\circ)$ 。

将有关设计参数带入式(1)~(3)计算摆动筛质

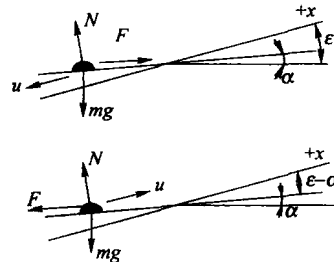


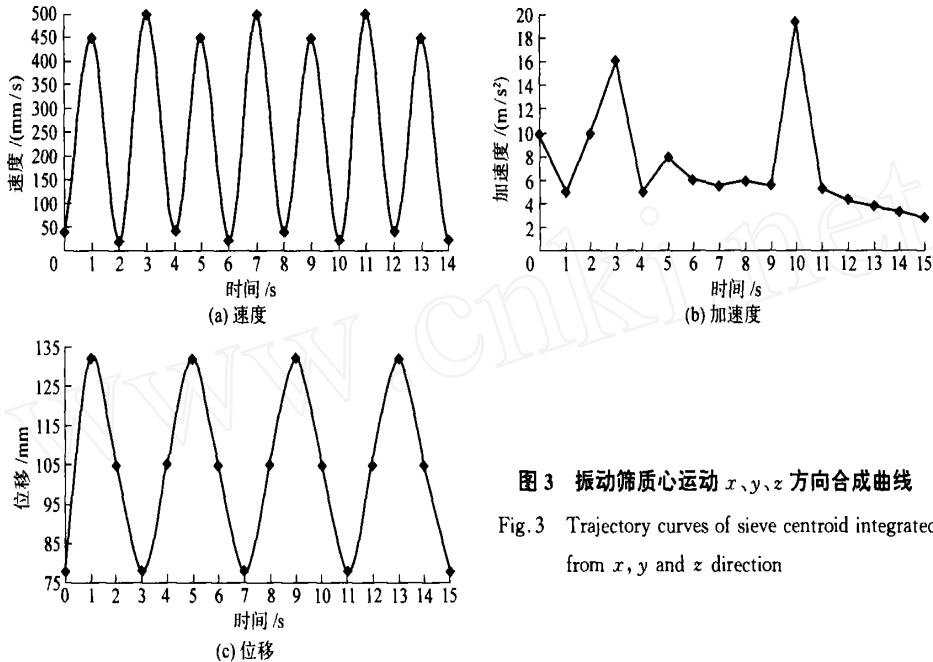
图2 筛面上马铃薯受力分析

Fig. 2 Force analysis of potato on swing sieve

心运动的加速度为  $2.5 \text{ m/s}^2 \sim 20 \text{ m/s}^2$ 。

### 2.4 摆动筛仿真结果及分析

在 ADMAS 软件中,运动初始条件的输入只能给移动副或转动副。摆动筛运动输入的初始条件是角速度,将驱动力加到悬臂轴转动中心,对虚拟样机中摆动筛与马铃薯块茎仿真分析,求得摆动筛质心



点的合成速度、加速度和位移曲线(图 3),可见:摆动筛质心点速度  $v = 500 \text{ mm/s}$ ,满足马铃薯损伤率的要求;加速度  $a$  为  $2.5 \text{ m/s}^2 \sim 20 \text{ m/s}^2$ ,由此值可推出加速度比满足式(1)、(2)和(3),筛上物料能够被顺利输送到筛口;位移相对于初始位置变动范围为  $75 \sim 135 \text{ mm}$ ,摆幅  $A = 30 \text{ mm}$ ,符合设计要求。

图 3 振动筛质心运动  $x, y, z$  方向合成曲线

Fig.3 Trajectory curves of sieve centroid integrated from  $x, y$  and  $z$  direction

### 2.5 块茎碰撞仿真结果及分析

以中小尺寸(平均长度  $40 \sim 60 \text{ mm}$ ,宽  $40 \sim 50 \text{ mm}$ ,厚  $40 \sim 50 \text{ mm}$ )的马铃薯为主,研究块茎运动时的碰撞压力。为了不损伤马铃薯,块茎从输送链下落到摆动筛时所受的碰撞压力应当小于表 1 所给的

压力极限值<sup>[6]</sup>。马铃薯所受碰撞压力仿真结果见图 4。可见:小、中尺寸马铃薯由输送链下落到摆动筛时所受的碰撞压力的最大值分别为 120 和 250 N,均小于使之破碎的压力。

图 5 示出摆动筛摆动频率与块茎损伤率之间的

表 1 马铃薯损伤的压力极限值

Table 1 Force of potato damage

马铃薯尺寸	长/mm	宽/mm	厚/mm	质量/g	横截面积/ $\text{mm}^2$	压力极限值/N	压强/ $(\text{N}/\text{cm}^2)$
小尺寸	40~50	40~45	40~45	40~50	1 650	576	30.6
中尺寸	50~60	45~50	45~50	60~70	2 130	792	37.2

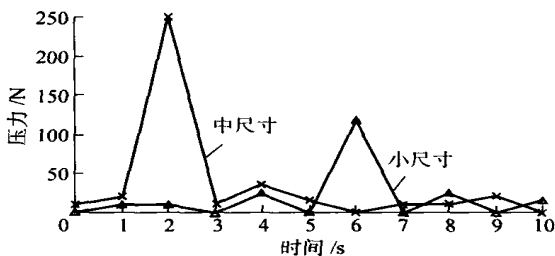


图 4 马铃薯所受碰撞压力仿真结果

Fig.4 Collision force of potato

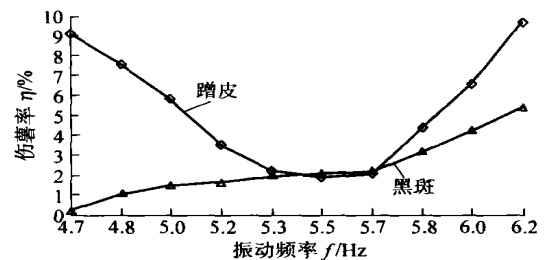


图 5 振动频率与伤薯率之间的关系

Fig.5 Relation between frequency and damaged rate

关系。当摆动筛频率  $f$  为 5.5 Hz 时, 伤薯率 4%, 满足设计要求<sup>[7-8]</sup>。

### 3 结束语

采用基于特征参数化造型软件 Inventor 对马铃薯收获机的零部件进行造型, 提高了农业机械改型设计和系列化设计的效率, 可确保较高的设计精度和工作性能。采用 ADAMS 软件对小型马铃薯收获机摆动筛的虚拟样机进行仿真分析, 能准确计算出不同摆动频率和摆幅条件下块茎与筛面碰撞的压力, 为减少收获过程中马铃薯的损伤提供理论依据, 为今后摆动筛的设计提供参考。

本研究未考虑土垡中马铃薯块茎的弹性、马铃薯残余根系的牵连和空气对筛上物料的运动阻力, 这些现实因素十分复杂, 需进一步研究。

### 参 考 文 献

[1] 杨福增, 傅向华, 杨芳, 等. 基于 Pro/E 的播种机零部

件参数化造型[J]. 农业机械学报, 2002, 33(4): 323-350

[2] Liu Xiaodong. Computer frame work for feature-base design process planning[J]. Computer Aided Design, 2000, 32(7): 397-408

[3] 高兆法, 华顺刚, 欧宗瑛. Pro/E 特征造型分析与应用[J]. 工程设计 CAD 与智能建筑, 1999(8): 52-54

[4] 杨旭静, 盛晓敏, 邓乾旺. 基于 Pro/E 的快速原型技术研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 1999, 26(5): 39-42

[5] 王志华, 陈翠英. 基于 ADAMS 的联合收割机振动筛虚拟设计[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4): 53-56

[6] 中国农业机械化科学研究院编. 农业机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990

[7] 王国强, 张进平, 马若丁. 虚拟样机技术及其在 ADAMS 上的实践[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2002

[8] NY/T648—2002 马铃薯收获机质量评价技术规范[S]