

4UFD - 1400A1 型薯类联合收获机提升装置 运动分析与仿真

刘 星¹, 魏宏安¹, 杨小平¹, 李彦晶², 孙广辉¹, 胡忠强¹, 史明明¹

(1. 甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州工学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 采用 MAT-LAB 与 ADAMS 软件对 4UFD-1400A1 型薯类联合收获机提升装置接料与卸料过程进行了运动分析与仿真, 研究了其接料与卸料的运动规律, 模拟了运动过程, 分析确定了主要结构与运动参数, 为该种物料提升装置的设计提供了理论依据。仿真分析表明, 薯块提升装置设计合理, 输送顺畅, 对薯块损伤小, 满足输送要求。

关键词: 薯类收获机; 提升装置; 分析; 仿真

中图分类号: S225 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0264-05

Analysis and simulation on lifting device of 4UFD - 1400A1 potato combine harvester

LIU Xing¹, WEI Hong-an¹, YANG Xiao-ping¹, LI Yan-jing²,

SUN Guang-hui¹, HU Zhong-qiang¹, SHI Ming-ming¹

(1. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Lanzhou Institute of Technology, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The analysis and simulation of loading and unloading process of the lifting device in 4UFD - 1400A1 potato combine harvester were conducted with the software of MAT-LAB and ADAMS, so as to make clear of the motion law and motion process of loading and unloading potato and to determine the main structure and motion parameters of the lifting device. The study could provide a theoretical proof for this lifting device. The simulating results showed that the design of the lifting device was reasonable, the transportation was successful and the injury of potato was little. Therefore, the system could meet the delivery requirements.

Keywords: potato-harvester; lifting device; analysis; simulation

4UFD - 1400A1 型薯类联合收获机提升装置的主要功能是将分离了土壤、茎秆、地膜的薯块升运到上部的分级系统, 进行分级装袋^[1], 其结构及运动参数直接影响到薯块的顺利输送和伤薯率的大小。该提升装置设计为链式刮板结构^[2-4], 同一侧接料、卸料。刮板的结构形状、输送链接料与卸料段的参数设计对薯块的顺利输送和伤薯率大小起着决定性作用。传统产品开发手段仅限于现场试验、手工计算等, 且分析结果不够精确, 运用虚拟样机技术在制造物理样机之前, 就可以进行样机的测试, 及时找出和发现潜在的问题, 缩短产品开发周期, 降低开发成本^[5]。为此, 本研究应用虚拟样机技术(virtual proto-

typing)对 4UFD - 1400A1 型薯类联合收获机提升装置进行了设计和理论分析。

1 整机结构及工作原理

4UFD - 1400A1 型薯类联合收获机结构如图 1 所示, 整机通过拖拉机牵引行走, 动力全部由拖拉机提供。工作时, 仿形碎土辊压碎地表土块并进行地面仿形, 两侧切土圆盘刀滚动切开土壤, 防止壅土与缠草, 挖掘铲掘起薯块、土堡、茎秆和杂草等^[6]; 结块的土壤经一级土薯分离输送装置和二级土薯分离输送装置的抖动输送, 连同细碎的茎秆、杂草经输送带间隙落到地面, 较大的茎秆、杂草和地膜在茎秆分离

收稿日期: 2013-03-02

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(项目编号 2012BAD06B03)

作者简介: 刘 星(1988—), 男, 湖北黄冈人, 硕士, 研究方向为农业工程技术与装备。E-mail: 1463920466@qq.com。

通信作者: 魏宏安(1960—), 男, 甘肃定西人, 教授, 硕士生导师, 主要从事农业工程技术与装备方向研究。E-mail: weiha@gsau.edu.cn。

装置的作用下,从一级土豆分离输送装置与二级土豆分离输送装置的间隙落到地面^[7-8];薯块经过二级土豆分离输送装置后落入薯块垂直升运装置的刮板中,在导向轮的引导下垂直升运至顶部驱动轮位置时,在重力和离心力的作用下抛入轴辊链式分级装置中,进行分级装袋。整个垂直升运装置装有防护罩。

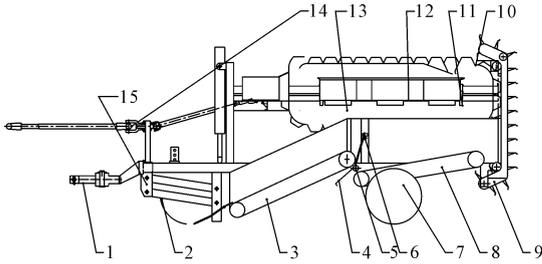


图 1 4UFD-1400A1 薯类联合收获机结构示意图

Fig. 1 The structure diagram of 4UFD-1400A1 potato combine harvester

- 1. 牵引装置 Draught attachment; 2. 挖掘装置 Digging device; 3. 一级土豆分离装置 First soil separation device; 4. 导草装置 Straw orientation device; 5. 摘薯棍 Picking potato roll; 6. 茎秆分离装置 Stalk separation device; 7. 行走装置 Travel device; 8. 二级土豆分离装置 Second soil separation device; 9. 提升装置 Lifting device; 10. 分级薯块输送装置 Graded potato transportation device; 11. 横向输送装置 Lateral transportation device; 12. 装袋装置 Bagging device; 13. 机架 Frame; 14. 动力输入装置 Power-input device; 15. 支撑轮组合 Supporting wheel combination

2 提升装置设计

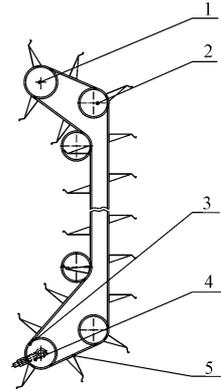
2.1 结构与工作原理

提升装置由驱动轮、导向轮、从动轮、张紧装置、提升链构成,如图 2 所示。接料部分位于二级土豆分离输送装置后端,通过导向轮形成一定倾角,薯块从二级土豆分离装置抛出后落入提升链刮板间,在驱动轮的作用下向上提升运动^[9],直到提升链上刮板与驱动轮相切的位置,此时薯块在离心力与重力的共同作用下,向上提升运动^[9],直到提升链上刮板与驱动轮相切的位置,此时薯块在离心力与重力的共同作用下,被卸到分级系统中,如此循环实现薯块的提升作业。

2.2 主要参数确定

2.2.1 接料主要参数分析 接料段要使薯块能准确落入提升链刮板间隙,且不损伤薯块,同时具有漏土功能。为此,提升链除接料段须有适当的倾角 γ 外,其运动速度必须小于其接料的封闭速度(即薯块不能进入刮板间的速度)。如图 3 所示,以薯块为研究对象,将二级土豆分离装置上物料的复杂运动简化为质点的运动,物料之间的相互作用可以忽略不

计。故薯块从二级土豆分离装置上的最高点落入提升链刮板间隙的运动就可看做是具一定初速度 v_0 的抛物运动。因薯块的初速度较小,故可忽略空气阻力的影响。以二级土豆分离装置最高点 O 为原点建立坐标系,薯块运动的参数方程^[10-11]为



1. 驱动轮 Drive sprocket; 2. 导向轮 Guiding sprocket; 3. 从动轮 Driven sprocket; 4. 张紧装置 Tension device; 5. 提升链板 Lifting scraper

图 2 薯块提升装置

Fig. 2 Lifting device of potato-harvester

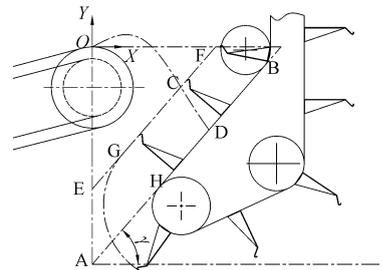


图 3 提升装置接料运动模型

Fig. 3 The motion model of receiving potato in lifting device

$$\begin{cases} x = v_0 t \cos \theta \\ y = v_0 t \sin \theta - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (1)$$

因为 $v_0 = r \cdot \omega = 2\pi n_2 r$, 故(1)式可转化为

$$\begin{cases} x = 2\pi n_2 r t \cos \theta \\ y = 2\pi n_2 r t \sin \theta - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (2)$$

式中, r 为二级土豆分离装置主动轮半径(mm); n_2 为二级土豆分离装置主动轮转速($r \cdot s^{-1}$); θ 为二级土豆分离装置与水平面的夹角($^\circ$); t 为薯块抛出后运动的时间(s)。

刮板根部接料段 FG 运动轨迹方程:

$$y_{ef} = x \tan \gamma - l_{oe} \quad (3)$$

式中, l_{oe} 为刮板根部接料段运动轨迹延长线 EF 与 y 轴的截距(mm); γ 为提升链接料段倾角($^\circ$)。

刮板根部接料段 BH 运动轨迹方程:

$$y_{ab} = x \tan \gamma - l_{oa} \quad (4)$$

式中, l_{oa} 为刮板根部接料段运动轨迹延长线 AB 与 y 轴的截距(mm)。

由公式(2)、(3) 得薯块从抛出到落到 C 点的时间 t_c :

$$t_c = \frac{2\pi n_2 r (\sin\theta - \cos\theta \tan\gamma)}{g} + \frac{\sqrt{4\pi^2 n_2^2 r^2 (\sin\theta - \cos\theta \tan\gamma)^2 + 2gl_{oe}}}{g}$$

由公式(2)、(4) 得薯块从抛出到落到 D 点的时间 t_d :

$$t_d = \frac{2\pi n_2 r (\sin\theta - \cos\theta \tan\gamma)}{g} + \frac{\sqrt{4\pi^2 n_2^2 r^2 (\sin\theta - \cos\theta \tan\gamma)^2 + 2gl_{oa}}}{g}$$

则薯块从 C 点到 D 点所需时间: $t_1 = t_d - t_c$

则封闭速度:

$$v < \frac{(T - D)\sqrt{g}}{\sqrt{4\pi^2 n_2^2 r^2 (\sin\theta - \cos\theta \tan\gamma)^2 + 2gl_{oa}} - \sqrt{4\pi^2 n_2^2 r^2 (\sin\theta - \cos\theta \tan\gamma)^2 + 2gl_{oe}}}$$

式中, v 为提升链运动速度($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$); T 为刮板间距(mm); D 为薯块的直径(mm)。

2.2.2 卸料主要参数分析 提升链的线速度、刮板倾角等参数对顺利卸料有直接影响。提升装置的刮板倾角应适当,在提升链的线速度一定时,刮板倾角太小,薯块在提升过程中容易从刮板滑落;太大,薯块不能准确卸到分级系统中,容易被回带向后卸落于地面,实现不了提升的功能,且会对薯块造成很大的损伤。如图 4 所示,以分级系统从动轮轴心为坐标原点, A 为导向轮轴心,设坐标 (x_a, a) , B 为主动轮轴心设坐标 (b, y_b) , EH 是刮板的宽度(设为 l),刮板运行到与驱动轮相切点 H 为能够卸料的极限位置,以此为基点并以薯块为研究对象进行分析,将薯块简化为质点,分析其在刮板折弯处的受力情况,分析此极限位置的薯块受到离心力 P ,自身重力 G ,摩擦力 f ,刮板折边的支撑力 N 的共同作用,要使其能够从刮板顺利卸除,必须满足条件:

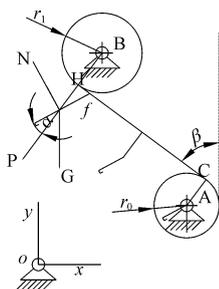


图 4 提升装置卸料段示意图

$$P \cos \alpha + G \cos(90^\circ - \beta + \alpha) \geq \mu [P \sin \alpha + G \sin(90^\circ - \beta + \alpha)] \quad (5)$$

在倾斜段 CH 满足薯块不滑落:

$$G \cos(90^\circ - \beta + \alpha) < \mu G \sin(90^\circ - \beta + \alpha) \quad (6)$$

式中, μ 为薯块与刮板的摩擦系数; α 为刮板折弯角($^\circ$); β 为链杆与垂直面的夹角($^\circ$)。

薯块的离心力:
$$F = \frac{MV^2}{L}$$

式中, V 为薯块的线速度($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$); L 为薯块离主动轮轴心的距离(mm)。

薯块的线速度:
$$V = \frac{L}{r_1} V_0$$

式中, V_0 为驱动轮的线速度($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$); r_1 为驱动轮半径(mm)。

则公式(5)、(6) 简化得:

$$\frac{gr_1^2}{V_0^2 L} \leq \frac{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}{\mu \cos(\beta - \alpha) - \sin(\beta - \alpha)} \quad (7)$$

$$\beta - \alpha < \arctan \mu \quad (8)$$

顺利卸掉薯块的几何条件:

$$-\cot \beta = \frac{a + r_0 \sin \beta - y_b + r_1 \sin \beta}{x_a + r_0 \cos \beta - b + r_1 \cos \beta}$$

式中, x_a 为导向轮 A 的横坐标(mm); a 为导向轮 A 的纵坐标(mm); b 为主动轮 B 的横坐标(mm); y_b 为主动轮 B 的纵坐标(mm); r_0 为导向轮半径(mm)。

为了合理选择提升装置的参数,在 MAT - LAB^[12] 中作 a 与 β 、 L 与 α 、 α 与 β 的拟合曲线,如图 5、图 6、图 7 所示(仿真时取参考值 $V_0 = 400 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, $x_a = 237 \text{ mm}$, $y_b = 340 \text{ mm}$, $b = 102 \text{ mm}$, $\mu = 0.3$)。

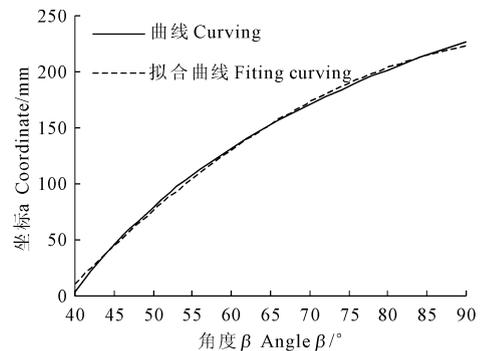


图 5 a 与 beta 的拟合曲线

Fig.5 Fitting curve of a and beta

通过对图 4,图 5 的分析可知,可以定位好导向轮的位置,刮板的宽度以及折弯角度, $a = 4 \text{ mm}$, $L = 120 \text{ mm}$,刮板宽度 $l = 70 \text{ mm}$, $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 45^\circ$ 。将其数据导入 ADAMS 中仿真分析,验证本文设计的理论数据是否满足要求。

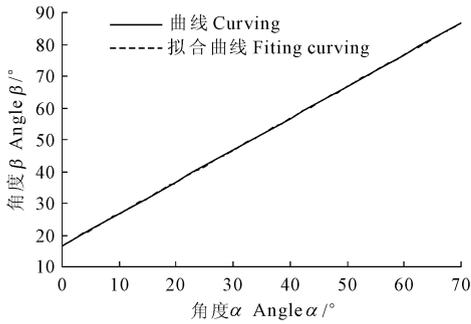


图 6 α 与 β 的曲线

Fig.6 Fitting curve of α and β

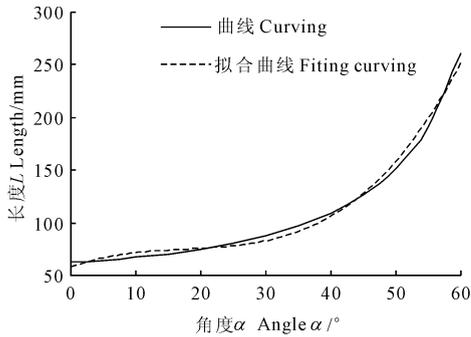


图 7 L 与 α 的拟合曲线

Fig.7 Fitting curve of L and α

3 提升装置卸料部分模型的建立、装配与仿真分析

3.1 模型的建立与装配

由于提升输送装置机构涉及零部件数目较多,而多体系统动力学仿真软件 ADAMS 本身的建模功能有限,因而选用建模功能较为强大的软件 Proe 建立链式输送机构的三维实体模型^[13],然后导入到 ADAMS 中进行动力学仿真分析^[14]。

采用 Proe 软件进行模型建立与装配,零件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。利用该软件的装配功能装配各零件,每个零件都有 6 个自由度,3 个平动自由度,3 个旋转自由度。装配过程就是分析各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装配零部件,装配体产生后进行干涉检验,确保零件设计及装配的合理^[15]。

3.2 约束类型及载荷添加

将 proe 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 软件中,重新建立或添加完整的几何实体模型(图 8)。

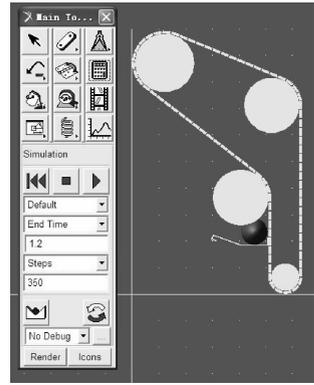


图 8 重新添加约束副后的装配图

Fig.8 Assembly drawing after re-adding constraint of kinematic pair

3.3 仿真结果及参数分析

3.3.1 仿真结果 为保证仿真分析的顺利进行,应对模型进行最后的检验,排除建模过程中隐含错误,并在交互式仿真过程中调试样机(图 9),由 FFT(快速傅立叶变换)得出薯块质心速度、加速度、位移曲线、与刮板连接的连接板速度(图 10~图 13)。

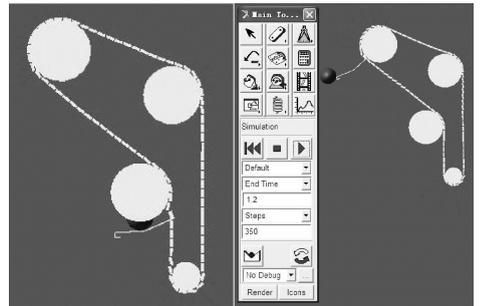


图 9 虚拟样机调试

Fig.9 Solver of virtual prototype

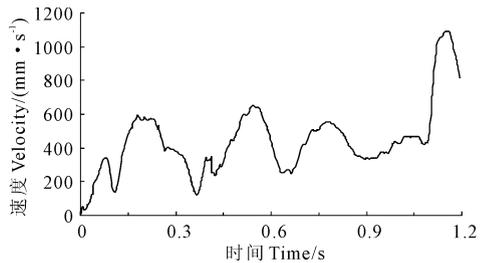


图 10 薯块质心速度曲线

Fig.10 Velocity curve of mass center of potato

3.3.2 参数分析 在 ADMAS 软件中,对薯块提升装置卸料部件虚拟样机进行仿真分析,并对薯块多个参数图像分析,薯块在提升链的作用下 0.45 s 刚好运行到导向轮切点,分析 0.45 s 到 1 s 薯块速度的振幅 0.37 m · s⁻¹,薯块在此段时间运行平稳无突变,有微小震动,通过分析可知,薯块到达驱动轮时

速度($1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)最大,顺利卸掉薯块,满足设计要求,分析图 13 可知,刮板(连接板)在提升链抖动的作用下产生了震动,这对薯块的平稳运动产生不利影响。

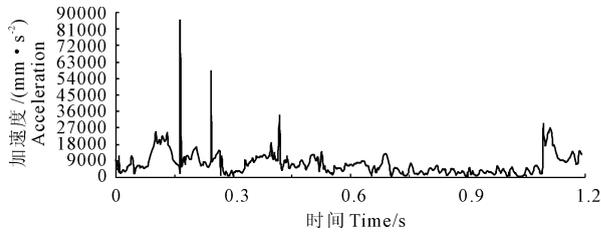


图 11 薯块质心加速度曲线

Fig. 11 Acceleration curve of mass center of potato

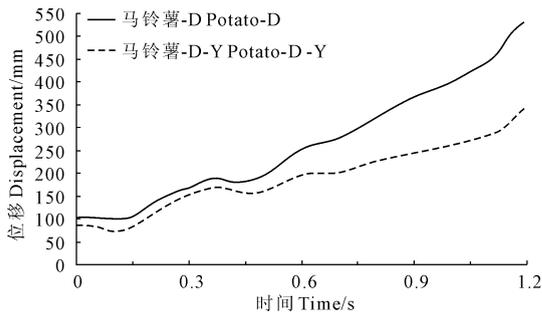


图 12 薯块质心位移曲线

Fig. 12 Displacement curve of mass center of potato

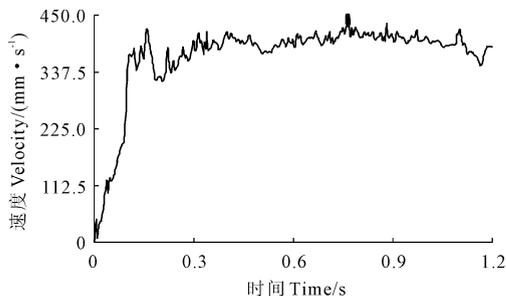


图 13 连接板速度曲线

Fig. 13 Velocity curve of link plate

为了降低伤薯率,分析图像提出几点改进意见:

(1) 提升链的抖动对薯块的稳定输送有一定的影响,为此可以适当增加导向轮的对数(本机可以增加一对),减少链轮之间的传递距离。(2) 由于链轮的多边效应^[12],链轮在工作中,链速和从动链轮的转速都是瞬时变化的,因而会引起变化的惯性力及相关的动载荷,节距越大,链轮的转速越高,齿数越少,则冲击越严重,可以在满足设计的要求下,适当地调整转速或是选择小节距的链轮等。(3) 由于链式提升各机构工作循环中存在间歇性冲击,对提升装置的远动精度有一定的影响,这是无法避免的,但可以提高各部件的装配精度来降低其影响。

4 结 论

1) 本文选取的 $a = 4 \text{ mm}$, $L = 120 \text{ mm}$,刮板宽度 $l = 70 \text{ mm}$, $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 45^\circ$ 既保证顺利卸掉薯块,同时也避免了接薯时的封闭速度对薯块的损伤,此时薯块远动较平稳。

2) 采用 proe 对薯块收获机提升输送装置建模,并应用 MAT-LAB 进行运动仿真,提高了提升装置设计的效率,可确保较高的设计精度。采用 ADAMS 软件对薯类收获机提升输送装置的虚拟样机进行仿真分析,能准确计算出薯块的位移和加速度,并分析其不足之处,为进一步减少收获过程中马铃薯的损伤提供理论依据。

3) 链式提升装置减少了薯块提升运输到分级系统的行程,结构紧凑,接料、卸料可靠,对薯块损伤小,有效解决了 4UFD-1400 型马铃薯联合收获机薯块升运过程存在堆积死角、输送距离较长、容易伤薯等问题,可一次完成薯块的提升作业。

参 考 文 献:

- [1] 甘肃农业大学. 分级袋装薯类联合收获机: 中国, 10139566. 1 [P]. 2011-11-02.
- [2] 杨宝才. 某链式传输机构的方案设计和动力学分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [3] 高连兴, 邵志刚, 焦维鹏, 等. 斗式提升机输送大豆的机械损伤特征与机理[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊 1): 26-32.
- [4] Luo Haifeng, Tang Chuzhou, Wu Mingliang, et al. Development of chain-driving lever type machine for rape stalkdividing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(2): 24-28.
- [5] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [6] 李彦晶, 魏宏安, 孙广辉, 等. 4UFD-1400 型马铃薯联合收获机挖掘铲的参数优化[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(5): 132-136.
- [7] Cz. Kallufojski, T. Karwowski 著. 曹崇文, 吴春江等译. 收获机械[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1983: 456-531.
- [8] 张 建, 魏宏安. 4M-2 型马铃薯联合收获机土薯分离运动仿真[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(3): 153-157.
- [9] 电机工程手册编辑委员会. 机械工程手册第二版物料搬运设备卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [10] 东南大学机械学学科组. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996: 9-64.
- [11] 王少怀. 机械设计师手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [12] 郭仁生. 机械工程设计分析和 MATLAB 应用第三版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [13] 钟日铭. Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 中文版机械设计实例教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [14] 赵武云, 刘艳妍, 吴建民, 等. ADAMS 基础与应用实例教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [15] 西北工业大学机械原理及机械零件教研室. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 165-185.