

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.02.023

纸箱提手整理装置凸轮机构设计

Design of cam mechanism of carton handle arrangement device

牛振华 许洪振 刘姣娣 李强

NIU Zhen-hua XU Hong-zhen LIU Jiao-di LI Qiang

(桂林理工大学机械与控制工程学院, 广西 桂林 541006)

(College of Mechanical and Control Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541006, China)

摘要:对纸箱提手整理装置凸轮机构进行设计,以实现纸箱提手整理装置工作过程中的提手挂取、无效提手剔除与提手整理功能。根据整理装置挂取和剔除提手时推杆的运动要求,设计得出凸轮机构基本参数和数学模型。通过 SolidWorks 软件建立了纸箱提手整理装置凸轮机构的三维模型,采用 ADAMS 软件对机构从动件导轨速度和位移进行仿真分析,表明凸轮从动件的运动规律可以实现提手剔除整理的工作要求。样机试验表明纸箱提手整理装置能够正常完成提手的挂取、剔除动作,提手剔除装置运行正常,单根提手挂杆平均挂取提手 20 根,剔除装置平均有效剔除率 83.6%,试验结果满足设计目标。

关键词:提手整理;凸轮机构;运动仿真;试验

Abstract: The cam mechanism of the carton handle sorting device is designed to realize the functions of picking up the handle, removing invalid handles and sorting the handle during the working process of the carton handle sorting device. According to the movement requirements of the push rod when the finishing device picks up and removes the handle, the mathematical model of the cam mechanism design is established to obtain the actual contour curve of the cam. The three-dimensional model of the cam mechanism was established through SolidWorks software. The ADAMS software was used to simulate and analyze the speed and displacement of the guide rod of the mechanism follower, which showed that the movement law of the cam follower could achieve the work requirements of removing the handle. The prototype test showed that the carton handle finishing device could normally complete the picking and removing actions of the handle. The handle removing device operated normally. The average handle of

a single handle hanging rod was 20 and the average effective rejection rate of the removing device was 83.6%. The test results met the design goals.

Keywords: handle arrangement; cam mechanism; motion simulation; experiment

食品饮料包装领域多采用纸箱包装。中国在纸箱包装领域的市场份额大,越来越多的产品为提高便利性,通常采用提手纸箱包装形式,提手纸箱需求量不断增长^[1-2]。目前,在中国纸箱提手的安装方式仍以人工安装为主,效率低,用人成本高^[3],能否实现机械自动化安装,成为制约纸箱包装行业快速发展的关键问题。刘庆峰等^[4]设计的包装箱提手安装设备,能够对已整理好的提手进行自动安装,但是无法实现零散提手的整理;程超等^[5]研究的纸箱提手穿带装置能够对新型提手带(无纺布带、特制纸带)等进行安装,但是无法实现承受力更大的塑料提手的安装。目前未见有关零散提手整理装置的台架试验研究的相关报道。

研究拟提出一种纸箱提手自动整理装置,能够实现零散提手的自动整理,并对提手挂取阶段可能出现的提手重叠、倒挂、反挂等进行剔除,通过解析法设计整理装置的关键部件凸轮机构,对其进行运动学仿真和静力分析,并通过台架试验验证机构设计的合理性,以为纸箱提手的自动安装提供思路。

1 纸箱提手整理装置结构及工作原理

纸箱提手整理装置主要由凸轮、提手挂杆、剔除推杆、提手输送装置等部分组成,如图 1 所示。提手挂杆由链条带动,剔除推杆与凸轮轮廓接触,通过凸轮的转动进行往复运动,从而实现提手的挂取和剔除,最终由提手输送装置将整理好的提手输送至后续的提手安装工位。其中,对凸轮轮廓曲线的设计是能否实现提手挂取和剔除的关键^[6]。

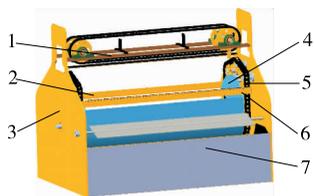
基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:51605312)

作者简介:牛振华,男,桂林理工大学在读硕士研究生。

通信作者:许洪振(1976—),男,桂林理工大学高级工程师,硕士。

E-mail: xhz_shz@163.com

收稿日期:2020-07-05



1. 提手输送装置 2. 提手挂杆 3. 机架 4. 凸轮 5. 链条
6. 剔除推杆 7. 提手料箱

图 1 纸箱提手整理装置示意图

Figure 1 Schematic diagram of carton handle finishing device

凸轮机构的工作原理:提手挂杆在链条的带动下进入提手料箱挂取提手,当提手到达指定位置时,凸轮机构通过导杆带动剔除推杆,剔除推杆在导杆的带动下往复运动(如图 2),进行剔除作业,机构通过提手挂杆和剔除推杆的配合来实现提手的挂取和剔除动作,完成提手的整理,有效剔除提手挂杆挂取过程中存在的重叠、反挂和交叉等无效提手(如图 3)。

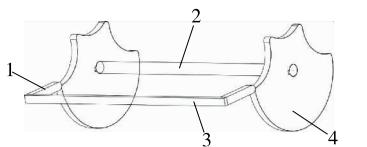
纸箱提手整理装置运动需要经过提手挂取、无效提手剔除动作,根据工作要求,可相应地将凸轮划分为如图 4 所示的 4 个工作段。

(1) 提手挂取段 AB:当导杆与凸轮轮廓 A 点接触时挂取动作开始,此时导杆绕 A 顺时针摆动,推杆挂取提手后由推杆带动到达剔除作用起始位置 B。

(2) 提手第 1 次剔除段 BC:在此阶段,提手挂杆停止运动,提手到达预定的剔除位置,提手剔除推杆在导杆的带动下实现第 1 次剔除作业到达 C 点。

(3) 提手第 2 次剔除段 CD:从 C 点开始,提手剔除推杆从距离提手最远位置开始进行第二次剔除作业,将提手挂杆上的零散提手中倒挂和反挂的提手进行剔除。

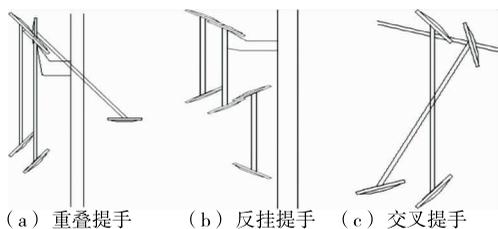
(4) 提手第 3 次剔除段 DA:提手剔除推杆重复第



1. 导杆 2. 凸轮轴 3. 剔除推杆 4. 凸轮

图 2 凸轮机构示意图

Figure 2 Schematic diagram of the cam mechanism



(a) 重叠提手 (b) 反挂提手 (c) 交叉提手

图 3 无效提手示意图

Figure 3 Schematic diagram of invalid handle

1 次和第 2 次剔除运动,将前两次剔除作业中剔除不彻底的无效提手剔除出提手挂杆,至 A 点完成一次完整的剔除作业。为下一次提手挂取和剔除作准备。

2 凸轮机构的设计

纸箱提手整理装置凸轮机构根据解析法设计,其基本思路是:根据提手挂杆的空间布局以及提手剔除推杆作用的位置,确定了凸轮的基圆半径 r_0 ;根据剔除推杆剔除次数和距离的要求,确定凸轮的轮廓曲线^[7]。

2.1 基本参数的确定

根据纸箱提手整理装置凸轮机构的 3 次剔除工作要求和配合安装尺寸,计算得出基本设计参数,见表 1。

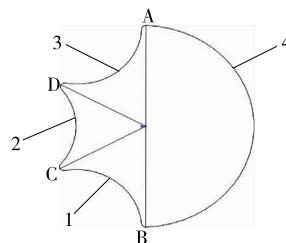
2.2 凸轮轮廓曲线的设计

从动件的运动规律是凸轮轮廓曲线设计的核心要素,因此要想得到符合运动要求的轮廓曲线,准确选择从动件的运动规律至关重要^[8]。纸箱提手整理装置的提手挂杆和提手推杆的运动状态为低速轻载,除此之外,速度在从动件运动规律的选择过程中也是需要考虑的要素^[9]。

由于提手剔除推杆需要冲击作用才会达到很好的剔除效果,文中从动件运动规律拟采用二次多项式运动规律,在凸轮的推程、回程阶段发生瞬间的刚性冲击,二次多项式的运动规律速度变化曲线是连续的,没有间断点,存在加速度的突变现象,从动件的惯性力也因此发生突变,能够达到推杆的剔除效果。

2.3 各区段轮廓曲线的设计

BC 段、CD 段和 DA 段,根据从动件在实际剔除过程中,需要一定的冲击,因此选择从动件的运动规律符合二次多项式运动规律,其位移和速度曲线如图 4 所示,根据



1. 第 1 次剔除段 2. 第 1 次剔除段 3. 第 1 次剔除段 4. 提手挂取段

图 4 凸轮工作段划分

Figure 4 Division of cam working section

表 1 凸轮基本设计参数

Table 1 Basic design parameters of cam

基本参数	单位	数值
基圆半径 r_0	mm	90
凸轮行程 h	mm	65
第 1 剔除阶段运动角 φ_0	°	60
第 2 剔除阶段运动角 φ_0'	°	60
第 3 剔除阶段运动角 φ_0''	°	60

运动过程划分为第 1 次剔除加速段和减速段, 第 2 次剔除加速段和减速段, 第 3 次剔除加速段和减速段。

第 1 次剔除加速段:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \varphi \leq \frac{\varphi_0}{2} \\ s = 2h \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^2 \\ v = \frac{4h\omega_1}{\varphi_0^2} \varphi \\ a = \frac{4h\omega_1^2}{\varphi_0} \end{array} \right. , \quad (1)$$

第 1 次剔除减速段:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\varphi_0}{2} \leq \varphi \leq \varphi_0 \\ s = h + \frac{2h}{\varphi_0^2} (\varphi_0 - \varphi)^2 \\ v = \frac{4h\omega_1}{\varphi_0^2} (\varphi_0 - \varphi) \\ a = -\frac{4h\omega_1}{\varphi_0^2} \end{array} \right. , \quad (2)$$

第 2 次剔除加速段:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_0 + \frac{\varphi_0'}{2} \\ s = \frac{2h}{\varphi_0^2} \left[\left(\varphi_0 + \frac{\varphi_0'}{2} \right) - \varphi \right]^2 \\ v = -\frac{4h\omega_1}{\varphi_0^2} \left[\left(\varphi_0 + \frac{\varphi_0'}{2} \right) - \varphi \right] \\ a = -\frac{4h\omega_1^2}{\varphi_0^2} \end{array} \right. , \quad (3)$$

第 2 次剔除减速段:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\varphi_0'}{2} + \varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_0 + \varphi_0' \\ s = h + \frac{2h}{\varphi_0^2} [(\varphi_0 + \varphi_0') - \varphi]^2 \\ v = -\frac{4h\omega_1}{\varphi_0^2} [(\varphi_0 + \varphi_0') - \varphi] \\ a = \frac{4h}{\varphi_0^2} \end{array} \right. , \quad (4)$$

第 3 次剔除加速段:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_0' + \varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_0 + \varphi_0' + \frac{\varphi_0''}{2} \\ s = h - \frac{2h}{\varphi_0^2} \left[\left(\varphi_0 + \varphi_0' + \frac{\varphi_0''}{2} \right) - \varphi \right]^2 \\ v = -\frac{4h\omega_1}{\varphi_0^2} \left[\left(\varphi_0 + \varphi_0' + \frac{\varphi_0''}{2} \right) - \varphi \right] \\ a = -\frac{4h}{\varphi_0^2} \end{array} \right. , \quad (5)$$

第 3 次剔除减速段:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_0' + \varphi_0 + \frac{\varphi_0''}{2} \leq \varphi \leq \varphi_0 + \varphi_0' + \varphi_0'' \\ s = h + \frac{2h}{\varphi_0^2} [(\varphi_0 + \varphi_0' + \varphi_0'') - \varphi]^2 \\ v = -\frac{4h\omega_1}{\varphi_0^2} [(\varphi_0 + \varphi_0' + \varphi_0'') - \varphi] \\ a = \frac{4h}{\varphi_0^2} \end{array} \right. , \quad (6)$$

式中:

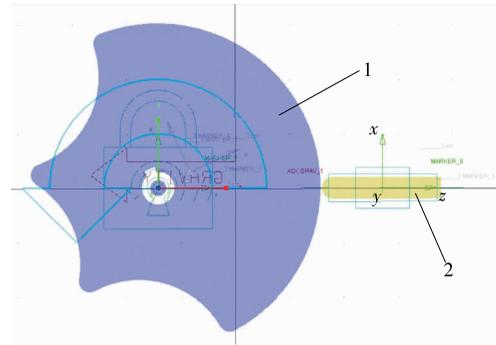
- h ——凸轮行程, mm;
- s ——从动件位移, mm;
- v ——从动件速度, mm/s;
- a ——从动件加速度, mm/s²;
- ω_1 ——凸轮角速度, rad/s;
- φ ——凸轮转角, °;
- φ_0 ——第 1 剔除阶段运动角, °;
- φ_0' ——第 2 剔除阶段运动角, °;
- φ_0'' ——第 3 剔除阶段运动角, °。

3 凸轮机构的运动仿真与分析

根据凸轮基圆半径、凸轮行程以及各剔除阶段的工作角度, 在 SolidWorks 2016 中建立纸箱提手整理装置的凸轮模型。将模型导入 ADAMS 机械系统动力学自动分析软件中^[10-11], 如图 5 所示, 通过运动学仿真实验证所设计凸轮是否满足工作要求。

在 ADAMS 中, 添加运动副和驱动, 设置仿真时长和步长等参数, 运行仿真, 通过后处理得出从动件的速度和位移曲线^[12], 如图 6、7 所示。

通过仿真曲线可知: 从动件从 B 点开始运动到 A 点的过程中, 导杆从动件行程为 65 mm, 符合设计要求。凸轮从 B 点顺时针运动到 C 点, 从动件先完成从静止状态到轮廓曲线最低点的运动, 此时从动件带动提手剔除推杆完成第 1 次剔除动作, 随后从动件从最低点回到初始



1. 凸轮 2. 导杆

图 5 凸轮机构三维模型

Figure 5 Three-dimensional model diagram of the cam mechanism

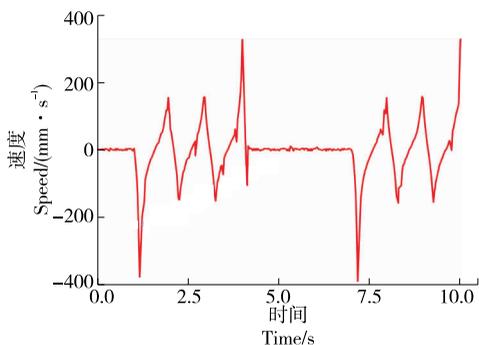


图 6 导杆从动件速度曲线

Figure 6 Speed curve of guide rod

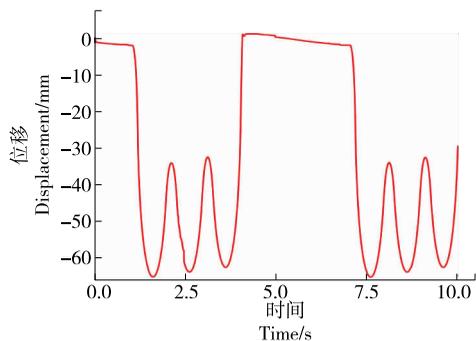


图 7 导杆从动件位移曲线

Figure 7 Displacement curve of guide rod

高度,到达 C 位置,从 C 位置到 D 位置从动件完成第 2 次剔除运动,D 到 A 位置从动件完成第 3 次剔除运动回到初始状态。

由速度曲线可知:凸轮在从 B 点到 A 点的运动过程中,速度在尖点位置 C、D、A 处会发生突变现象,速度冲击带动从动件对提手进行快速的剔除运动,符合提手剔除整理装置的工作要求和性能要求。

4 凸轮的静应力分析

4.1 应用材料及网格划分

SolidWorks Simulation 是一款基于有限元技术的设计分析软件,作为嵌入式分析软件集成到 SolidWorks,对凸轮的静力学分析利用 Simulation 模块进行^[13]。首先建立新算例,打开“静应力分析”,材料选择屈服强度为 620.4 MPa 的合金钢,通过“载荷/夹具”选项对凸轮进行约束。

运行结果的准确性和网格的划分密度密不可分,网格划分的大小对求解时间有直接影响,算例采用中等密度划分即可,通过“生成网格”命令,对软件默认的网格划分密度保持不变。

4.2 静力学分析

单击外部载荷下的力选项,选择整个凸轮轮廓曲线工作面,根据从动件作用力要求,将导杆从动件计算分析作用力设定为 100 N,点击运行按钮,求解出凸轮的应力

应变图解如图 8 所示。结果表明,最大应力为 38.5 MPa,所选合金钢材料能够完全满足提手剔除运动要求。

5 样机试验

5.1 试验材料与与方法

型号为 TS-1515J 塑料零散提手 600 支,桂林艺字印刷包装有限公司纸箱提手安装设备试验样机。将零散提手随机放入提手料箱,运行试验样机,记录挂杆挂取数量以及倒挂和重叠等不合格提手数量,提手经剔除推杆剔除后,记录提手剔除数量。试验运行 5 次,记录试验结果^[14]。

5.2 试验结果与分析

经试验,纸箱提手整理装置能够正常完成提手的挂取、剔除动作,提手剔除装置运行正常,记录试验结果(如表 2)单根提手挂杆平均挂取提手 20 根,剔除装置平均有效剔除率 83.6%,试验结果满足设计目标。

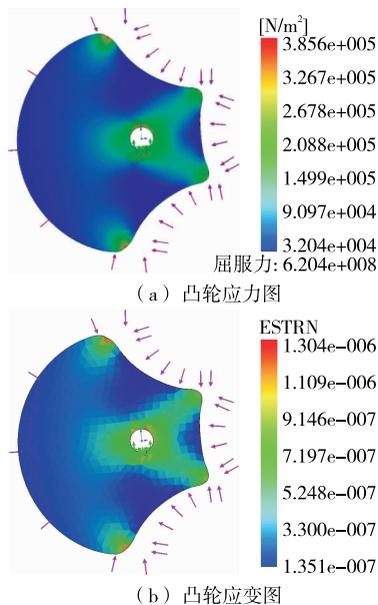


图 8 凸轮的应力应变图

Figure 8 Stress and strain diagram of the cam

表 2 纸箱提手整理装置台架试验结果

Table 2 Bench test results of carton handle finishing device

试验序号	挂取提手量/个	不合格提手量/个	有效剔除量/个	有效剔除率/%
1	23	5	4	80
2	18	6	5	83
3	22	4	3	75
4	20	4	4	100
5	19	5	4	80

(下转第 144 页)

效果的显著提升,为核桃采后加工产业化提供依据。

参考文献

- [1] 李源, 马文强, 朱占江, 等. 新疆核桃产业发展现状及对策建议[J]. 农学学报, 2019, 9(7): 80-86.
- [2] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴 2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019: 332-333.
- [3] 帕合尔鼎, 杨莉玲, 杨忠强, 等. 6TXH-600 型青核桃脱皮清洗机的研制[J]. 新疆农机化, 2010(5): 11-12.
- [4] 冯宏波, 史毅伟. 5QHT-500 型青核桃脱皮清洗机的研制[J]. 农业机械, 2012(20): 67-68.
- [5] 张庆明. 一种核桃青皮分离器: CN102845811A[P]. 2013-01-02.
- [6] 王亚妮, 卢军党, 王维, 等. 一种青核桃去皮机的设计与试验研究[J]. 包装与食品机械, 2014(1): 32-34.
- [7] 梁金生, 宋智超, 张威. 核桃挤压搓脱青皮方式研究及机器设计[J]. 南方农机, 2016, 47(4): 12, 26.
- [8] 刘东琴, 卢军党, 王维, 等. 滚刷型青核桃脱皮机的研制[J]. 农产品加工, 2016(12): 63-64.
- [9] 刘西宁, 程明. 6TXH-3600 型青核桃脱皮清洗机的研制[J]. 新疆农机化, 2012(1): 23-24.
- [10] 陕西省农业机械研究所. 一种青核桃脱皮机: CN204245094U[P]. 2015-04-08.
- [11] 河北绿岭果业有限公司. 转筛式青皮核桃脱皮机:

CN203676062[P]. 2014-07-02.

- [12] 杨忠强, 崔宽波, 闫圣坤, 等. 离心筛网式青核桃脱皮机的设计与实验[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 195-198, 214.
- [13] 王维, 刘东琴, 王亚妮, 等. 一种实用型青核桃去皮机的设计与试验[J]. 包装与食品机械, 2014(3): 14-16.
- [14] 杨忠强, 李忠新, 杨莉玲, 等. 卧式青核桃脱皮机: CN104770834B[P]. 2015-04-22.
- [15] 乔园园, 牛长河, 刘向东, 等. 核桃果柄分离力与其影响因素的相关系数研究[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(3): 524-531.
- [16] 弓弼, 蒋柳庆, 马惠玲, 等. 采收期对青皮核桃果实冷藏与采后生理的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(24): 343-347.
- [17] 郑甲红, 吴东泽, 梁金生, 等. 基于 workbench 的青核桃力学特性分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 86-88.
- [18] 江林曦. 青核桃脱皮机的设计与试验研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013: 11-15.
- [19] 杨忠强, 李忠新, 杨莉玲, 等. 核桃脱青皮装置脱皮性能分析与试验研究[J]. 农机化研究, 2015, 37(1): 84-89.
- [20] 中华人民共和国工业和信息化部, 全国农业机械标准化技术委员会. 核桃青皮脱皮机: JB/T 12027—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 1-5.
- [21] 胡安鸿, 姚越. 不同品种核桃外观特征与品质聚类分析[J]. 现代农业科技, 2012(6): 122-123, 125.

(上接第 138 页)

6 结论

(1) 设计了纸箱提手整理装置,通过解析法对整理装置的凸轮机构进行设计,导杆从动件采用二次多项式运动规律,得出凸轮轮廓曲线。对凸轮机构进行了运动学仿真,得出位移曲线和速度曲线,符合设计要求。对凸轮轮廓曲线工作面进行静力学分析,得到最大应力是 38.5 MPa,满足工作要求。

(2) 台架试验证明纸箱提手整理装置能够实现零散提手的自动挂取和剔除,解决了零散塑料提手整理的难题,单根提手挂杆平均挂取提手 20 根,剔除装置平均有效剔除率 83.6%,试验结果符合预期。

(3) 对纸箱提手整理装置凸轮轮廓曲线有待进一步优化,对剔除推杆在不同作用角度下对提手剔除效果的影响有待进一步研究,以提升纸箱提手整理装置的整机性能。

参考文献

- [1] 陈勇军, 陈思. 基于绿色环保理念的包装提手创新设计[J]. 包装工程, 2019(14): 84-88.
- [2] 李继鸿. 天然包装材料在食品包装设计中的应用[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 126-128, 135.

- [3] 林志荣. 一种提手机: 210623315U[P]. 2020-05-26.
- [4] 刘庆峰, 杨发展, 王玉玲. 包装箱提手自动安装设备设计与开发研究[J]. 机械研究与应用, 2016, 29(3): 76-78.
- [5] 程超, 蔡吉飞, 吴高华. 纸箱提手穿带装置设计与分析[J]. 北京印刷学院学报, 2013(2): 25-30.
- [6] 李宗成. 平面凸轮的 CAD_CAM 系统设计与研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2019: 5-8.
- [7] 彭国勋, 肖正扬. 自动机械的凸轮机构设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990: 255-263.
- [8] 张婉云, 陆颖荣, 梁冬青, 等. 图解法与解析法设计凸轮机构的精度对比[J]. 轻工科技, 2011(10): 57-58.
- [9] 刘晶晶. 凸轮机构参数化建模及运动分析[J]. 科学技术创新, 2017(32): 173-174.
- [10] 方芳, 黄松和, 林刚. 基于 MatLab 和 SolidWorks 的凸轮轮廓设计及性能分析[J]. 矿山机械, 2010(6): 39-42.
- [11] 刘善林, 胡鹏浩, 王会生. 基于 SolidWorks 二次开发的凸轮轮廓线精确设计及运动仿真[J]. 机械传动, 2008, 32(5): 46-48.
- [12] 于殿勇, 钱玉进. 基于 ADAMS 动力学仿真参数设置的研究[J]. 计算机仿真, 2006(9): 108-112, 188.
- [13] 徐华俊, 汤萍. 基于 Solidworks 的包馅机械成型刀盘的仿真分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 110-112.
- [14] 叶秉良, 李丽, 俞高红, 等. 蔬菜钵苗移栽机取苗臂凸轮机构的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014(8): 21-29.