

高速取纸机构设计与仿真分析

梁金生, 曹巨江

(陕西科技大学 机电工程学院, 西安 710021)

摘要: **目的** 利用机构实现取纸机在高速取纸时无纸间摩擦的目的。**方法** 明确无纸间摩擦情况下取纸吸头的姿态和动作要求。利用凸轮连杆机构的运动特点, 并考虑高速运动中凸轮机构运动规律要求, 设计凸轮五杆机构取纸机构。利用 Adams 仿真验证机构运动情况。**结果** 通过分析凸轮五杆机构连杆上两点的位移变化, 获取作为吸头的凸轮五杆机构的连杆运动情况。通过机构的运动仿真分析可知, 吸头在取纸时以垂直于纸面的姿态作间歇平动, 实现了预定目标要求。**结论** 利用凸轮五杆机构能够很好地实现高速、无纸间摩擦取纸。

关键词: 取纸机构; 无摩擦; 凸轮五杆机构; 高速; 仿真

中图分类号: TB486.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)15-0175-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.15.028

Design and Simulation Analysis of High-speed Paper Fetching Mechanism

LIANG Jin-sheng, CAO Ju-jiang

(School of Mechanical & Electrical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to adopt mechanism to ensure no friction between paper on high-speed paper fetching machine. The posture and motion requirements of the suction head on the condition of non-friction between papers were defined. By applying the motion characteristics of the cam linkage mechanism and considering the requirements of the motion law of the cam mechanism in high-speed movement, the paper fetching mechanism with cam five-bar was designed. The motion of the mechanism was verified by Adams simulation. By analyzing the displacement changes of two points on linkage of cam five-bar mechanism, the movement of the linkage as suction head was obtained. Through the motion simulation analysis of the mechanism, the suction head made intermittent linear motion with posture perpendicular to paper surface during fetching paper, thus achieving the predetermined target requirements. The cam five-bar mechanism can well meet the requirements of high-speed and non-friction between papers during fetching paper.

KEY WORDS: paper fetching mechanism; non-friction; cam five-bar mechanism; high-speed; simulation

随着人们环保意识的增强, 各国在包装印刷方面提出了卫生、环保方面的要求和制约条件, 尤其是在食品包装方面。使用公害小、污染少的水性油墨已经成为绿色包装发展的必然要求, 但水性油墨印品耐磨性较差^[1-2], 对取纸动作提出了更高要求。取纸机是印刷包装设备中的核心装置之一, 其工作方式、精度

和生产率直接影响到包装印刷设备的质量和生产率, 目前我国常用取纸机存在的问题主要包括: 工作效率较低, 取纸方式会产生印刷品表面摩擦。这限制了取纸机在高速、高品质要求下的应用^[3]。文中提出一种基于双凸轮五杆机构的取纸机, 为高速、无摩擦取纸机的研发提供参考。

收稿日期: 2019-03-01

基金项目: 陕西省科技厅计划 (2019GY-089)

作者简介: 梁金生 (1976—), 男, 博士生, 副教授, 主要研究方向为机构学、机械设计。

1 取纸机常用取纸方式

目前市场上供包装印刷使用的取纸机规格较多、且可根据用户需求设定相关性能参数,取纸机的工作原理主要有2类:负压取纸和摆动式取纸。

负压取纸机原理见图1。运动的吸风带从印品仓表面近距离通过,印品仓中的印品纸张被喷气管中气体从一端吹起,与吸风带表面接触^[4]。利用吸风带表面小孔中的负压吸住纸张,随着吸风带的运动将纸张从印品仓中拉出,并依靠惯性通过导向板被送走。

摆动式取纸机工作原理见图2。它用主凸轮驱动四连杆机构,并利用与之共轭的副凸轮推动摆杆进行锁合,实现取纸端预期运动,完成取纸、送纸^[5-7]。

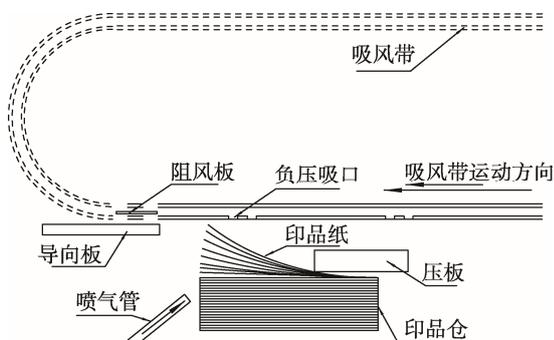


图1 负压取纸机工作原理
Fig.1 Schematic diagram of negative pressure paper fetching machine

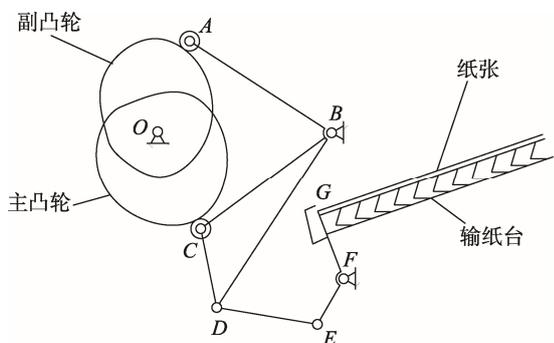


图2 摆动式取纸机工作原理
Fig.2 Schematic diagram of swing paper fetching machine

以上2种取纸工作方式一方面工作速度不高,即使改进了凸轮回程阶段的设计,工作速度仍然不高;另一方面,这些装置在取纸时,被取出纸张与和其下层纸张易产生摩擦,引起纸张表面磨损。为解决以上问题,文中提出一种基于双凸轮五杆机构的取纸机。

2 取纸动作选择与机构设计

2.1 取纸动作设计

引起上述纸张表面磨损的原因是,现有取纸机的工作方式会引起印刷品每页之间的相对滑动。尤其是

目前水性油墨的耐磨性更差,这种磨损现象更不能被接受,文中提出的吸纸机吸纸动作见图3。

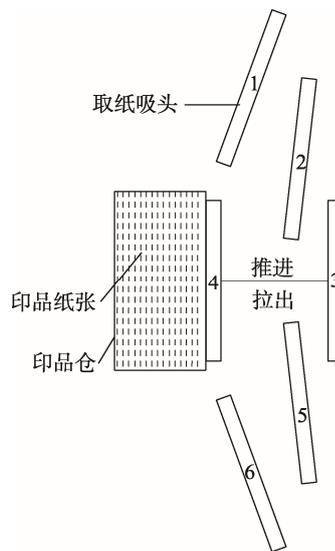


图3 取纸吸头姿态及动作示意
Fig.3 Schematic diagram of the suction head's posture and motion

为可靠吸纸,采用比纸张尺寸略小的取纸吸头,吸头被机构驱动,依次经过位置1、位置2。在此过程中,取纸吸头通过转动调节姿态,以保证取纸吸头无干涉地接近印品仓,并运动到与印品仓内纸张表面平行的位置3。为避免误差造成取纸吸头碰到印品仓,位置3与印品仓相距2~3mm。然后取纸吸头以始终平行于印刷纸面的姿态向印品仓接近,到达最远端的位置4,即接触纸仓中最外侧的印刷品页。接近过程中取纸吸头中产生负压吸纸(取纸吸头上有孔,有控制阀控制气路产生负压,气孔数量和位置应根据印品大小及纸张硬度确定,且负压吸纸方式已在很多设备中应用,不再进行分析),取纸吸头和印品纸张保持微小距离甚至与纸张接触,可以用较低负压进行吸纸。取纸吸头在运动到最远端位置4后,保持一段时间静止,这是为取纸吸头内负压的产生时间响应而设置的,以保证可靠吸纸。吸头取纸后仍以平行姿态远离印品仓返回位置3。最终,取纸吸头经过位置5、位置6远离印品仓完成取纸过程,并保证返回过程中不与印品仓干涉。这样的动作设计既能有效避免印品表面磨损,也可减小取纸时的负压。下面详细说明取纸机构的动作实现。

2.2 取纸机构方案设计

基于取纸吸头存在位置和姿态的共同要求,通过对典型机构的运动特点分析^[8-10],本设计采用双自由度五杆机构的连杆作为取纸吸头。为了保证取纸吸头的运动并保证微量相对静止段,采用2个凸轮分别驱动五杆机构的两边杆件,即双凸轮五杆机构^[11-12],见图4。将连杆BC作为取纸吸头,通过合理设计五杆机构尺寸和凸轮轮廓,凸轮1和2分别通过滚子M

和 N 推动五杆机构的 AB 和 DE 构件，实现连杆 BC 的预期运动^[13]。

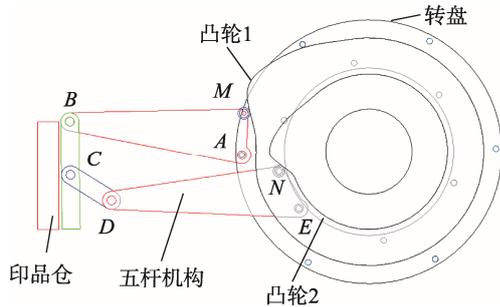


图 4 取纸机构方案

Fig.4 Scheme of paper fetching mechanism

根据相对运动关系，本设计采用凸轮固定不动，五杆机构的 AB 和 DE 杆分别在 A 和 E 处铰接在转盘上，随转盘一起转动；同时， AB 和 DE 杆分别被凸轮 1 和 2 通过 M 和 N 处的滚子推动。转盘上均匀布置 6 组五杆机构，在保证工作效率的前提下，大幅降低转盘转速。该设计还可以平衡每组五杆机构产生的惯性力，减少机构的冲击振动，见图 5。

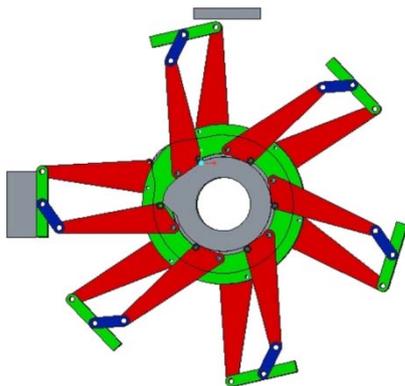


图 5 6 组机构安装示意

Fig.5 Diagram of six groups of mechanisms

2.3 双凸轮五杆机构设计

五杆机构构件尺寸以及凸轮轮廓决定了机构运动的位置和姿态，理论上实现预期运动的设计存在多种可能，故设计中增加以下约束。

1) 杆机构尺寸的确定以减小凸轮机构压力角为优化目标。为避免压力角过大造成传力性能变差，根据凸轮机构特点，应保证在较大凸轮推程运动角的情况下，从动件有较小的角位移^[13]。为保证执行端有足够位移，故要求凸轮推杆尽量长，且在保证转动副销轴及滚子结构尺寸的前提下，连杆 BC 和 CD 应尽量短。

2) 吸头取纸时应处于静止状态，即 M 和 N 点随转盘运动时， B 和 C 位置保持不变，应使 $\angle CBD$ 尽量大，以使 $\angle CBD$ 变化值对 C 点与转盘中心的距离影响最小。为避免加工误差造成机构运动不确定， $\angle CBD$ 最大值建议取 $160^\circ \sim 170^\circ$ 。

3) 为实现更高取纸速度，考虑采用凸轮推动多组机构的方式，以降低主轴转速，避免高速运动存在的诸多问题。初步设计完成后应对结果进行验证，若依照图 5 布置 6 组五杆机构，每组杆机构相对转盘运动不超过 60° 的中心角范围，以避免各组机构产生运动干涉。

在以上约束下，构件长度设计可根据具体要求有一定自由度，结合项目组前期设计实践，并根据吸头存在静止段的要求，利用图解法完成吸头静止段凸轮转角和摆杆摆角的对应关系，结果见表 1。

表 1 2 个凸轮从动件摆角（取纸段）

Tab.1 Swing angles of two cam followers (paper fetching section) ($^\circ$)

凸轮转角	摆杆 AB 摆角	摆杆 AB 角度增量	摆杆 DE 摆角	摆杆 DE 角度增量
0	0	0	0	0
1	1.7113	1.7113	1.613	1.613
2	3.4267	1.7154	3.226	1.613
3	5.1463	1.7196	4.8384	1.6124
4	6.8699	1.7236	6.4498	1.6114
5	8.5975	1.7276	8.0595	1.6097
6	10.329	1.7314	9.667	1.6075
7	12.064	1.7353	11.272	1.6045
8	13.8	1.74	12.9	1.6
9	15.546	1.7427	14.469	1.5963
10	17.292	1.7463	16.059	1.5907
11	19.042	1.7498	17.636	1.5771
12	20.795	1.7533	19.22	1.5831
13	22.552	1.7568	20.786	1.5669
14	24.312	1.76	22.342	1.556
15	26.076	1.7634	23.886	1.5433

从表 1 可看出，从动件摆角接近于等速变化。为保证凸轮机构从动件的运动在高速下具有良好动态特性，结合表 1 中静止段两摆杆近似等速的结论，构造凸轮机构从动件按照近似修正等速运动规律来运动，构造从动件位移曲线，见图 6。设计的凸轮轮廓（考虑锁合用槽型凸轮），见图 7。

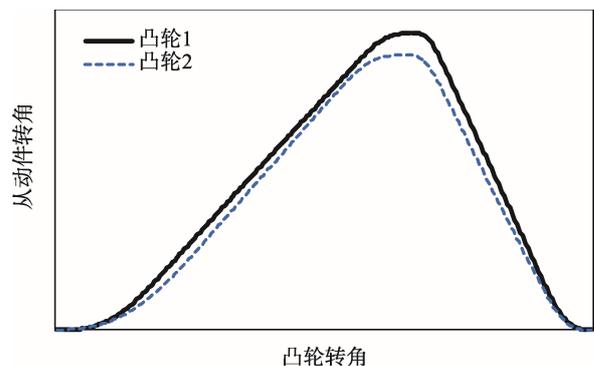


图 6 凸轮机构从动件位移线

Fig.6 Displacement line of cam mechanism follower

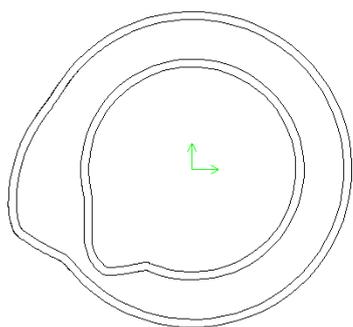


图7 2个槽型凸轮轮廓曲线
Fig.7 Profile curves of two groove cams

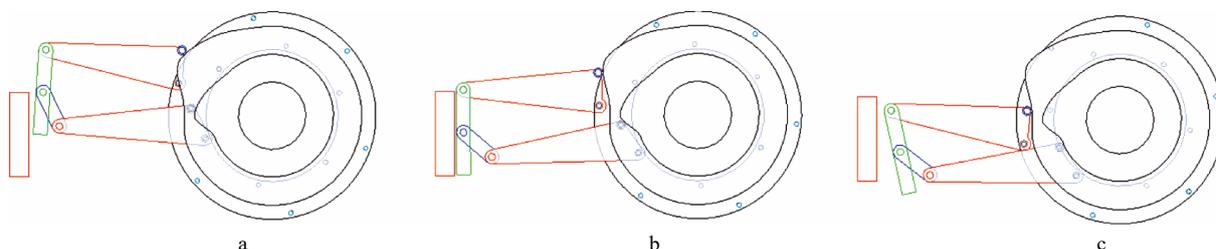


图8 取纸过程
Fig.8 Paper fetching process

三维建模虽能直观反映出机构空间位置情况,也能通过低速运动模拟看出机构吸纸时的位置、姿态满足要求,但不能在运动位移和速度上直接反映,因此在 Adams 中进行建模(简化为尖底从动件与凸轮廓线接触)和运动仿真^[14-15],结果见图9。

3.2 取纸动作分析与验证

由于取纸端的直线运动以及间歇情况不能用任意一点的速度或加速度来反映,所以用取纸吸头上的2个铰链(即图4中B和C两点)在水平方向(与印品仓印品表面垂直方向)的位置关系,来反映取纸过程和动态性能,并以转盘中心为坐标中心,生成两点位置关系(吸头从正上方运动到正下方),见图10。

取纸过程在取纸吸头两铰接点相对运动部分(AF段)完成。从图10可知,在取纸初始AB段,两铰接点的相对距离变小,即吸头产生相对转动,无干涉接近印品仓;从曲线B点开始,2个铰链水平位置图线重叠,表明这2个位置与坐标中心水平距离相同,说明吸头处于竖直姿态。随着时间推进,吸头上2个铰接点水平位移以重叠形式增加,说明BC段吸头始终以平行于印品表面的姿态不断接近印品仓;与此同时,BC段水平位移曲线斜率不断减小,说明吸头接近印品仓的速度越来越慢。

在取纸过程的CD段,两铰接点位置线图仍保持重叠,且位置曲线保持水平,这表明吸头以平行于印品表面的姿态保持静止,在这段时间内完成负压取纸。在取纸段DE部分,取纸吸头上的2个铰接点水

3 取纸机构建模仿真与运动分析

3.1 取纸机构建模仿真

用Creo完成机构三维建模(6组五杆机构运动完全一致,故建模中简化为1组),并模拟其运动状态,得到机构运动的不同位置情况,见图8。图8a,b,c分别显示了取纸机构在接近印品仓、吸纸和离开料仓时吸头的位置和姿态,显示取纸吸头不会与印品仓干涉。通过仿真过程也发现,整个五杆机构始终在以凸轮基圆中心为圆心、圆心角为60°的范围内运动,因此,在转盘圆周上均匀布置6组五杆机构是可行的。

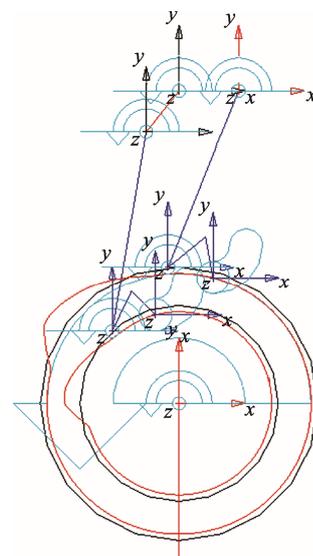


图9 Adams 仿真模型
Fig.9 Adams simulation model

平位置以重叠形式减小,且水平位置曲线的斜率(绝对值)变大,说明吸头取纸后慢慢加速退出。之后的EF段,吸头上两铰接点位置图线不再重合,且数值减小,即产生相对转动,且无干涉离开印品仓。

取纸过程中,取纸吸头与印品仓无干涉,一方面可以从图8和10中看出,在计算机仿真运动中也有直观反映。

图10可反映整个取纸动作减小了印品表面摩擦,也实现了无干涉取纸运动要求,保证了设计的合理性。

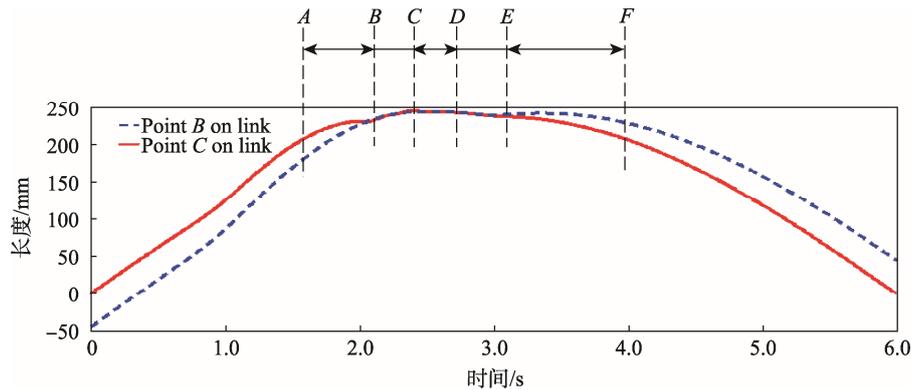


图10 吸头上两铰接点水平方向的位置关系

Fig.10 Horizontal position relationship of two joint points on suction head

4 结语

为了减小取纸过程中的印品表面摩擦,从理论上进行了双凸轮五杆机构取纸机的动作分析和方案设计,并通过计算机仿真,验证了取纸过程的动作及姿态,据此提出了一种高速、无纸间摩擦的取纸机构,为取纸机构的设计与研究提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 陈跃涛,魏先福,黄蓓青. 水性凹印油墨的耐磨擦性能探讨[J]. 包装工程, 2007, 28(10): 42—44.
CHEN Yue-tao, WEI Xian-fu, HUANG Bei-qing. Study of Rub Resistance of Water-based Gravure Ink[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(10): 42—44.
- [2] 刘军启,魏金栋,闫璐等. 固态助剂对油墨耐磨性的影响[J]. 天津城建大学学报, 2015, 21(4): 289—292.
LIU Jun-qi, WEI Jin-dong, YAN Lu, et al. Influence of Solid Additives on the Friction Resistant Performance of the Ink[J]. Journal of Tianjin Chengjian University, 2015, 21(4): 289—292.
- [3] 梁赟. 高速单张纸平版印刷机递纸机构的动态分析[D]. 北京: 北京工业大学, 2013.
LIANG Yun. Dynamics of Swinging Sheet Transfer Mechanism for Sheet-feed Offset Press[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2013.
- [4] 徐宏伟,刘海锋,刘占奎. 单张纸胶印机输纸机构气动化设计[J]. 包装工程, 2005, 26(4): 56—58.
XU Hong-wei, LIU Hai-feng, LIU Zhan-kui. The Pneumatic Design of Feeder of Single-sheet Offset[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(4): 56—58.
- [5] 郭利锋,郭顺生. 摆动式递纸机构凸轮的仿真设计[J]. 包装工程, 2005, 26(4): 51—53.
GUO Li-feng, GUO Shun-sheng. Simulation and Design of Cam of Swinging Gripper Mechanism [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(4): 51—53.
- [6] 张晓玲,房瑞明. 下摆式递纸机构共轭凸轮的设计与研究[J]. 机械设计, 2004, 21(5): 59—61.
ZHANG Xiao-ling, FANG Rui-ming. Design and Research on Conjugate Cam of Hem-type Gripper Mechanism[J]. Journal of Machine Design, 2004, 21(5): 59—61.
- [7] 段纯,王勇. 高速递纸牙边界条件的优化设计与研究[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 90—95.
DUAN Chun, WANG Yong. Optimization Design and Research on Boundary Conditions of High-speed Transfer Gripper[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 90—95.
- [8] 吴旭,任子文. 具有速度和姿态要求轨迹的凸轮连杆机构设计[J]. 机械设计与研究, 2008(2): 117—120.
WU Xu, REN Zi-wen. Design of the Cam-linkage mechanism Realizing Trajectory with Velocity Claim and Gesture Claim[J]. Machine Design and Research, 2008(2): 117—120.
- [9] 李龙,曹巨江. 四头取盒机构的研究与设计[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(6): 31—34.
LI Long, CAO Ju-jiang. Research and Design of Four-head Box-taking Mechanism[J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 29(6): 31—34.
- [10] 黄德良,任子文,史志芳. 实现有速度要求轨迹的凸轮连杆组合机构设计[J]. 机械设计与研究, 2007(4): 32—34.
HUANG De-liang, REN Zi-wen, SHI Zhi-fang. Design of the Cam-linkage Composite-mechanism Realizing Trajectory with Velocity Claim[J]. Machine Design and Research, 2007(4): 32—34.
- [11] 田晓鸿. 烟机推烟机构运动分析与创新设计[D]. 西安: 陕西科技大学, 2012.
TIAN Xiao-hong. Kinematics Analysis and Innovative Design of Pusher Mechanism in Cigarette Machine[D]. Xi'an: Shaanxi University of Technology, 2012.
- [12] 马良,修世超. 共轭凸轮-五杆机构参数模型构建与运动学特征研究[J]. 机械设计与制造, 2014(10): 15—18.
MA Liang, XIU Shi-chao. Research on Conjugate Cam and 5-link Combination Mechanism's Parameter Model and Kinematic Characteristic Simulation[J]. Machinery

Design & Manufacture, 2014(10): 15—18.

[13] 高煦尧, 张淳, 梁金生. 印刷检品机取纸机构设计[J]. 机械传动, 2018, 42(1): 159—162.
GAO Xu-yao, ZHANG Chun, LIANG Jin-sheng. Design of Paper Picking Mechanism in Printing Quality Inspection Machine[J]. Mechanical Transmission, 2018, 42(1): 159—162.

[14] 张焱, 黄松和. 基于ADAMS的凸轮连杆系统中凸轮的 CAD 系统开发及机构仿真分析[J]. 包装工程, 2018, 39(9): 171—176.

ZHANG Yi, HUANG Song-he. Development of Cam CAD System for Cam Linkage System and Simulation Analysis of Mechanism Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(9): 171—176.

[15] 杨晨, 张晓莹. 基于ADAMS的递纸机构动态性能分析研究[J]. 机械研究与应用, 2013, 26(4): 82—84.
YANG Chen, ZHANG Xiao-ying. Dynamic Performance Analysis of the Paper-transferring Mechanism Based on ADAMS[J]. Mechanical Research & Application, 2013, 26(4): 82—84.