

一种基于ADAMS的新型货物抓取机构优化设计

王圣辉, 杨臻, 李翔飞, 原永亮

(中北大学, 太原 030051)

摘要: **目的** 为移动平台设计一种新型抓取机构以完成生产线上货物的搬运装箱, 并对该机构的性能进行优化设计。 **方法** 通过使用三维建模软件和动力学仿真ADAMS软件, 对抓取机构进行参数化优化设计, 得到抓取机构的运动规律和曲线, 对其中的关键影响因素进行参数化优化仿真分析。 **结果** 优化结果表明, 抓取时间每增加0.2 s, 货物与离合爪的接触力降低10 N左右, 且货物与离合爪之间的接触力在75 N左右波动。合理的控制抓取时间、货物的速度和刚度系数可以有效地提高抓取机构的平稳性。 **结论** 通过仿真分析, 得到了相对最佳、适用于快速抓取的接触力分布曲线, 在对多体机构的运动规律和优化设计的预测方面, 通过ADAMS软件可以提供有力的证据, 对改进设计具有参考价值。

关键词: 抓取机构; 参数化; 优化设计; ADAMS仿真

中图分类号: TB486+.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)03-0080-05

Design Optimization for a New Cargo Grabbing Mechanism Based on ADAMS

WANG Sheng-hui, YANG Zhen, LI Xiang-fei, YUAN Yong-liang

(North University of China, Taiyuan 030051, China)

ABSTRACT: A new grabbing mechanism was designed for the mobile platform for handling of packed goods in the production line, and design optimization was conducted for the performance of the mechanism. Through the use of 3D modeling software and dynamic simulation of ADAMS software, parameterization design optimization was conducted for the grabbing mechanism, to obtain the movement rule and curve for the grabbing mechanism, and simulation analysis and parameterization optimization were performed for the key influencing factors. The optimization results showed that with every 0.2 s increase in the capture time, the contact force of goods and the clutch pawl reduced by about 10 N, and the contact force between the cargo and clutch fluctuated at around 75 N. Reasonable control of grabbing time, speed and stiffness coefficient of goods could effectively improve the stability of the grabbing mechanism. Through the simulation analysis, the relatively best contact force distribution curve which was applicable for rapid grabbing was obtained. In the prediction of the motion law and design optimization of multibody mechanism, ADAMS software could provide powerful evidence, and has reference value for design improvement in the future.

KEY WORDS: grabbing mechanism; parameterization; design optimization; ADAMS simulation

虽然目前我国已成为世界包装机械工业生产与消费大国,但从我国包装机械的设计方法来看,多呈现出比较单一的特点,并未进行任何优化设计,这对我国该行业的发展非常不利。历史的发展告诉我们,工业设计发达国家,必然有先进的包装工程和发达的包装工业,因此加强现代包装机械的设计和创

新势在必行。针对目前国内包装机械的落后现状,为提高开发速度,并缩短开发周期,在对包装机械进行设计时,可采用计算机仿真技术进行仿真设计,这对提高包装机械的设计质量非常有利。功能是衡量包装机械产品优劣的核心,针对国内的研究现状,设计了一种新型抓取机构,并针对其主要结构进行设

收稿日期:2014-06-21

作者简介:王圣辉(1987—),男,河南商丘人,中北大学硕士生,主攻结构设计及动力学仿真技术。

通讯作者:杨臻(1965—),男,四川峨眉山人,博士,中北大学教授,主要研究方向为武器系统与发射工程、自动武器机构设计及动力学、特种环境发射技术。

计和分析,使用现代参数化设计理念对抓取机构进行创新和优化设计,从而使该抓取机构的动力学性能^[1]达到最佳。

利用 SolidWorks 三维建模软件和 ADAMS 动力学仿真软件,对抓取机构的关键技术参数进行参数设计,并得到影响抓取可靠性的因素。运用 ADAMS 参数化的设计理念对其进行优化设计,得到影响抓取机构平稳性的因素和规律。

1 抓取机构工作原理

某移动平台上的抓取机构工作原理见图 1。

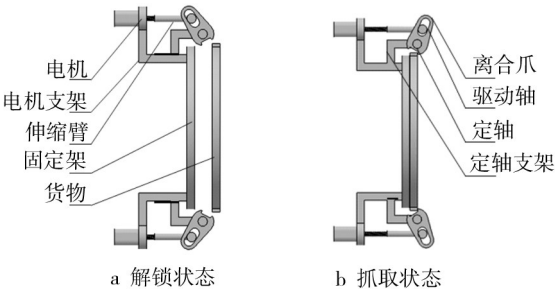


图 1 抓取机构工作原理

Fig.1 Working principle of grabbing mechanism

在对货物进行捕获抓取的过程中,当货物到达抓取位置之后,电机开始工作,通过电机中的丝杠与伸缩臂内部螺纹的配合,推动伸缩臂直线运动,伸缩臂带动驱动轴以及离合爪工作,货物最终在电机、伸缩臂、离合爪、驱动轴和定轴的联动下被抓取。在需要对货物进行释放分离时,在电机的作用下,带动伸缩臂反向运动,离合爪和驱动轴绕着定轴旋转,从而实现货物的释放分离。

2 抓取机构动力学模型建立

2.1 模型建立与参数化

在建立抓取机构动力学模型时,可以使用 ADAMS 自身的建模功能,也可以使用第三方建模软件进行导入。由于抓取机构中没有复杂曲线的零件,决定使用 ADAMS 自身的建模功能进行建模。虽然在建模时比较困难,但可以有效地避免因使用第三方建模软件并导入而产生的零件变化和零件自身的误差。通过抓取机构在 ADAMS 中建模,最终完成动力学仿真模型的建立。

抓取机构中的离合爪在对货物抓取时,货物与离合爪之间的接触力、货物与固定架之间的接触力以及离合爪的速度将是影响抓取机构稳定性的重要因素。由此,利用 ADAMS 软件工具箱功能将上述关键点进行参数化。

2.2 模型简化与基本假设

由于抓取机构工作环境的复杂性,在实际抓取工作中,货物受力状态和运动状态是十分复杂的,因此,对抓取机构模型做出合理的简化和正确的假设,不仅可以有效地抓住抓取机构的本质,还能将复杂的问题简单化。对抓取机构做以下假设。

- 1) 使用 ADAMS 自身的建模功能进行模型的建立,可以不考虑零部件之间的尺寸公差和各种误差。
- 2) 除货物表面有微小的变形外(变形量 $\Delta \leq 1$ mm),其余的零部件均作为刚体处理。
- 3) 按照假设工作环境添加约束,不考虑抓取机构和货物以外因素(如天气变化、灰尘和杂物等)的影响。

2.3 抓取机构约束与驱动添加

根据货物抓取机构的工作原理和实际工况添加约束和材质。在伸缩臂上添加移动副,在离合爪和驱动轴之间添加旋转副,定轴和定轴支架之间添加旋转副,以及在离合爪和货物之间添加接触约束。在伸缩臂上添加与实际情况等效的直线往复运动驱动。按照实际情况对变量的参数进行设置,最后建立合理的动力学仿真模型,见图 2。

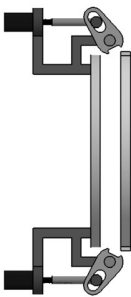


图 2 ADAMS 中抓取机构模型

Fig.2 The model of grabbing mechanism in ADAMS

3 抓取机构优化设计

由于抓取机构工作环境的特殊性,抓取机构零部件之间均是作为刚体进行仿真的,并且零部件之间

的约束是旋转副和移动副。在仿真过程中,货物与离合爪并不是平稳接触并抓取的,而货物是以微小的角速度和线速度“上下起伏、左右摆动”的状态与离合爪接触并抓取。为了使抓取机构在抓取货物过程中将振动降低至最小,货物能平稳地与离合爪接触完成抓取动作,对抓取机构进行优化设计就显得尤为重要。

3.1 确定设计变量^[2]

在对抓取机构进行参数化时,需要确定参数化的方式和变量。在 ADAMS/2010 中共提供了 4 种方式,这里选用设计变量方法对要分析的变量进行参数化^[2]。

在使用 ADAMS/2010 对抓取机构进行参数化时,除固定架和离合爪外,其余零部件可以不考虑模型外形的一致性,只需参数化后的模型与原模型具有相同的质量和位置关系即可。结合抓取的工作原理和仿真要求,需要将模型中的参数进行等效换算和处理。根据抓取时间 $t \leq 2\text{ s}$ 、抓取力 $F \geq 400\text{ N}$ 及货物被拉回的末端速度 $v_1 \leq 20\text{ mm/s}$ 的要求,经过等效换算之后可知,伸缩臂的伸出速度 v_2 在 $17 \sim 28\text{ mm/s}$ 之间。

经过对抓取机构的分析可知,影响货物在被抓取过程中稳定性的因素包括抓取时间 t 、货物速度 v_1 、伸缩臂速度 v_2 及货物与离合爪之间的接触力刚度系数 K 等。伸缩臂速度 v_2 与抓取时间 t 有一定的运动关系,因此,仿真时在影响因素中不考虑伸缩臂速度 v_2 的影响。设计变量参数的设置见表 1。

表 1 设计变量设置
Tab.1 Table of design variables

变量	标准值	区间
抓取时间 t/s	1.5	1 ~ 2
货物速度 $v_1/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	15	5 ~ 20
伸缩臂速度 $v_2/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	23	17 ~ 28
刚度系数 $K/(\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1})$	35	33 ~ 37

3.2 确定优化目标

货物在被抓取过程中,货物与离合爪的接触力大小是评价抓取机构平稳性的主要指标之一。货物与离合爪之间的接触力越大,抓取机构瞬间向后运动的位移也越大,越不利于对货物的抓取;反之,则越有利于对货物的抓取。由此,选择货物与离合爪之间的接

触力作为优化目标。

4 仿真结果与分析

在使用 ADAMS 机械动力学仿真软件进行优化设计时,需要考虑设计参数变化对模型的影响。抓取时间 t 对货物与离合爪接触力的影响见图 3 及表 2。

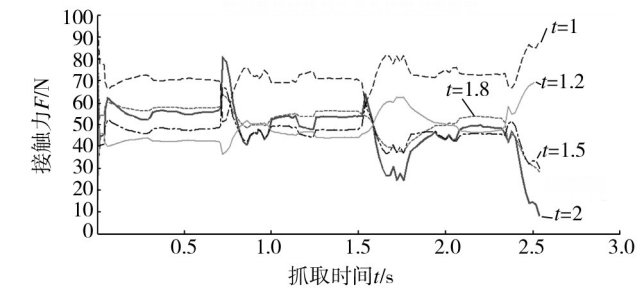


图 3 抓取时间对接触力的影响
Fig.3 Effect of the grabbing time on the contact force

表 2 抓取时间对接触力的影响
Tab.2 Effect of the grabbing time on the contact force

时间 t/s	最大接触力 F_{max}/N	最小接触力 F_{min}/N
1	83.5	51.2
1.2	71.3	38.9
1.5	64.2	31.5
1.8	62.1	30.7
2	79.3	9.6

由图 3 和表 2 可以看出,在其他条件不变的情况下,货物与离合爪之间的最小接触力随着抓取时间 t 的增大而减小,最大接触力随着抓取时间 t 的增大先减小后增大。即说明了离合爪在对货物进行抓取时,并不是抓取时间越长越好,时间越长,货物在被抓取的过程中反复震荡的次数越大,机构的平稳性越差。表 2 数据表明,抓取时间应在 $1.2 \sim 1.8\text{ s}$ 。由此可见,合理选取抓取时间是保证机构平稳性的重要因素。

货物速度 v_1 对货物与离合爪接触力的影响见图 4 和表 3。由图 4 和表 3 可知,货物速度是影响抓取机构平稳性的重要因素。货物与离合爪之间的最大接触力随着货物速度的增大而增大,最小接触力随着货物速度的增大先增大后减小。经综合比较,货物与抓取机构的接触力在 75 N 上下波动。表 3 中数据表明,货物的速度应在 $10 \sim 15\text{ mm/s}$ 。由此可见,货物的速度并不是越小越好,要使抓取机构在工作过程中越平稳,合理控制货物的速度是关键因素之一。

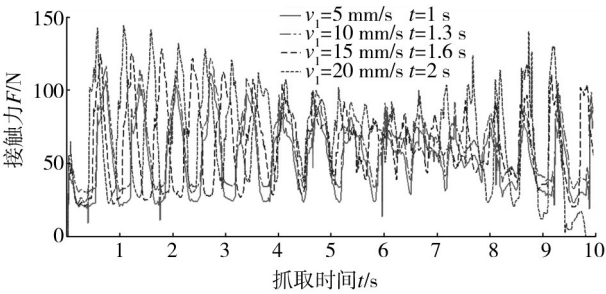


图4 货物速度对接触力的影响
Fig.4 The influence of the cargo speed on the contact force

表3 货物速度对接触力的影响
Tab.3 The influence of the cargo speed on the contact force

速度 $v_1/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	最大接触力 F_{max}/N	最小接触力 F_{min}/N
5	107.7	13.6
10	118.9	23.8
15	128.3	21.4
20	143.7	6.2

接触刚度系数 K 对货物与离合爪接触力的影响见图5和表4。

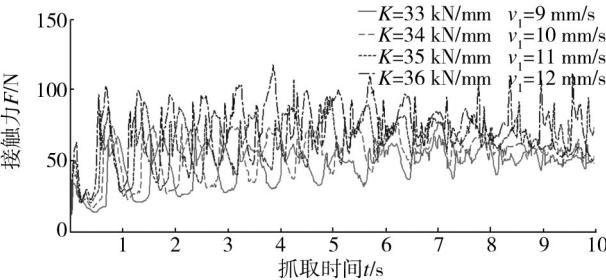


图5 刚度系数对接触力的影响
Fig.5 The influence of stiffness coefficient on the contact force

表4 刚度系数对接触力的影响
Tab.4 The influence of stiffness coefficient on the contact force

刚度系数 $K/(\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1})$	最大接触力 F_{max}/N	最小接触力 F_{min}/N
33	66.7	14.4
34	71.6	24.1
35	107.6	29.2
36	116.8	34.3

由图5和表4可以看出,刚度系数是影响抓取机构平稳性的关键因素之一。根据仿真数据分析可知,货物与离合爪之间的最大及最小接触力都随着刚度系数的增大而增大。表4中数据表明,理想的刚度系数在34~35 kN/mm。经分析知,接触力在75 N左右

波动,与货物速度对接触力影响的结果相一致,进而验证了机构仿真结果的准确性。

5 结语

- 1) 利用ADAMS自身的建模功能和参数化优化设计功能对抓取机构的仿真分析,不仅得到了抓取时间 t 、货物速度 v_1 及货物与离合爪之间的接触力刚度系数 K 的最佳参数组合,还得到其对优化目标的影响规律,可以有效地改善抓取机构的平稳性。
- 2) 由仿真结果可知,货物的速度对抓取机构工作的平稳性影响最大,速度应控制在10~15 mm/s;抓取时间和刚度系数应分别在1.2~1.8 s和34~35 kN/mm范围内。由此,合理控制其参数组合,可以有效地提高抓取机构工作的平稳性。
- 3) 使用ADAMS软件不仅避免了复杂数学模型的建立和推导计算,还准确得到了抓取机构的运动规律。不仅可以改善机构的性能,而且还大大缩短了研究周期。对优化改进其他机构具有普遍的参考意义。

参考文献:

[1] 徐立峰,张雷. 基于ADAMS的模切机双肘杆机构优化设计研究[J]. 包装工程,2013,30(1):75—78.
XU Li-feng,ZHANG Lei. Optimal Design of Wine Dual-elbow Machine of Die-cutting Machine Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering,2013,30(1):75—78.

[2] 景银萍,杨臻,李强,等. 某外能源转管机枪击发机构参数优化设计[J]. 振动与冲击,2010,29(12):153—157.
JING Yin-ping, YANG Zhen, LI Qiang, et al. Parameterization Design of Firing Mechanism of Certain External Energy Gatling Machine Gun[J]. Journal of Vibration and Shock, 2010,29(12):153—157.

[3] 郭卫东. 虚拟样机技术与ADAMS应用实例教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
GUO Wei-dong. Virtual Prototype Technology and ADAMS Application Tutorial[M]. Beijing: Beihang University Press, 2008.

[4] DU Xiao-dong, BIN Liang, XU Wen-fu, et al. Pose Measurement of Large Non-cooperative Satellite Based on Collaborative Cam-eras[J]. Acta Astronautica, 2011(68):2047—2065.

[5] 唐文献,袁海波,李虎. 基于ADAMS的某舰炮供弹系统仿真研究[J]. 江苏科技大学学报:自然科学版,2010,24(1):61—63.
TANG Wen-xian, YUAN Hai-bo, LI Hu. Simulation of Shells Providing System of Ship-gun Based on ADAMS[J]. Journal of

- Jiangsu University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2010, 24(1): 61—63.
- [6] LIU Cai-shan, ZHANG Ke, YANG Rei. The FEM Analysis and Approximate Model for Cylindrical Joints with Clearances[J]. Mechanism and Machine Theory, 2007, 42: 183—197
- [7] SHI Bing, JIN Ye. A Framework of Virtual Prototyping Environment for the Design and Analysis of Mechanical Mechanism with Clearance[J]. Virtual and Physical Prototyping, 2007, 2(1): 21—28.
- [8] 席晓燕. 基于ADAMS的含间隙酒瓶装箱机构优化设计[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 69—74.
- XI Xiao-yan. Optimal Design of Wine Bottle Packaging Machine with Clearance Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 69—74.
- [9] 贺兵. 基于虚拟样机技术的包装机械系统仿真研究[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 47—49.
- HE Bing. Simulation Study of Packing Machine Based on Virtual Prototyping[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 47—49.
- [10] 李杨, 李光. 基于SolidWorks的托盘结构有限元分析及优化设计[J]. 包装工程, 2011, 32(19): 1—4.
- LI Yang, LI Guang. Structural Finite Element Analysis and Optimum Design of Pallet via SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 1—4.
- [11] 方子帆, 舒刚, 何孔德, 等. 齿轮传动多体接触动力学模型[J]. 机械传动, 2009(1): 15—18.
- FANG Zi-fan, SHU Gang, HE Kong-de, et al. Gear Transmission Dynamics of Multi-body Contact Model[J]. Mechanical Transmission, 2009(1): 15—18.
- [12] 刘飞飞, 刘金根. 基于ADAMS的捆扎机抓取机构的优化设计[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 19—21.
- LIU Fei-fei, LIU Jin-gen. Optimal Design for Locking Mechanism of Bundling Machine Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 19—21.
- [13] 王晓雪. 非合作目标对接捕获机构的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- WANG Xiao-xue. Research on the Docking and Capturing Mechanism for the Uncooperative Target Satellites[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009.
- [14] 丁晓红, 李国杰. 箱型支撑结构加筋板布局设计方法研究[J]. 中国机械工程, 2012, 23(4): 449—453.
- DING Xiao-hong, LI Guo-jie. Layout Design Optimization of Stiffener Plates Inside Housing Structures[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 23(4): 449—453.
- [15] 魏衍侠. 基于ADAMS手抛式机器人碰撞动力学分析[J]. 机械工程与自动化, 2011(2): 82—85.
- WEI Yan-xia. Analysis the Impact Dynamics of Throwing Type Robot Based on ADAMS[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2011(2): 82—85.

(上接第58页)

- Journal of Refrigeration, 2014, 41: 27—36.
- [7] VIKAS S, SHAWN A C, LALLIT A. Thermally Actuated Shape-memory Polymers: Experiments, Theory and Numerical Simulations[J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2010, 58(8): 1100—1124.
- [8] 王会芬, 郝喜海, 李奎. PVA热收缩包装薄膜的研究与应用[J]. 包装学报, 2012, 4(4): 21—25.
- WANG Hui-fen, HAO Xi-hai, LI Kui. Research and Application of PVA Shrinkable Packaging Film[J]. Packaging Journal, 2012, 4(4): 21—25.
- [9] GB/T 10003—2008, 普通用途双向拉伸聚丙烯(BOPP)薄膜[S].
- GB/T 10003—2008, Biaxially Oriented Polypropylene (BOPP) Film for General Use[S].
- [10] GB/T 16958—2008, 包装用双向拉伸聚酯薄膜[S].
- GB/T 16958—2008, Biaxially Oriented Polyester Film for Package[S].
- [11] GB/T 13519—1992, 聚乙烯热收缩薄膜[S].
- GB/T 13519—1992, Heat Shrinkable Polyethylene Film[S].
- [12] ASTM D2732—2008, Standard Test Method for Unrestrained Linear Thermal Shrinkable of Plastic Film and Sheetings[S].
- [13] ISO 14616:2004, Plastics—heatsrinkable Films of Polyethylene, Ethylene Copolymers and Their Mixture—determination of Shrinkage Stress and Contraction Stress[S].
- [14] 冯树铭. 热收缩聚酯薄膜的热收缩机理及生产[J]. 聚酯工业, 2011, 24(6): 16—18.
- FENG Shu-ming. Thermal Shrinkage Mechanism and Production Technology of Thermal-shrinkage PET Film[J]. Polyester Industry, 2011, 24(6): 16—18.
- [15] 李德龙, 李振宇, 刘焱. 加工工艺对聚乙烯热收缩膜性能的影响[J]. 塑料科技, 2012, 40(2): 64—66.
- LI De-long, LI Zhen-yu, LIU Yan. Effect of Processing Technology on Properties of PE Heat Shrinkage Film[J]. Plastics Science and Technology, 2012, 40(2): 64—66.
- [16] 李霖雨. 三层共挤热收缩包装膜的工艺、性能及应用前景[N]. 中国包装报, 2013-03-05(003).
- LI Lin-yu. Technology, Performance and Application of There Layer Coextruded Heat Shrinkable Film[N]. China Packaging News, 2013-03-05(003).