

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005624

无人机智慧物流系统的自动卸货装置设计*

徐静 张志强 马凤仪

(北京信息科技大学机电工程学院 北京 100192)

摘要: 基于无人机智慧物流系统设计一种可供无人机停靠的自动卸货装置。相较于现有技术下庞大的流水线和复杂的机器人卸货装置,该装置特点是结构简单、拆装方便、工作可靠。根据工作要求对该机构进行受力分析,通过 ADAMS 建立自动卸货装置虚拟样机模型并对其进行动力学和运动学仿真,得出舱组件的运动轨迹和运动参数,根据其运动特点对其进行设计,为其最终设计提供了依据,为无人机智慧物流系统的自动化设计奠定了理论基础。

关键词: 无人机智慧物流系统;自动卸货装置;虚拟样机;动力学仿真

中图分类号: TH132 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.2020

Device automatic unloading device design for drone-based intelligent logistics systems

Xu Jing Zhang Zhiqiang Ma Fengyi

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: An automatic unloading device for docking drones is designed based on an intelligent logistics system for drones. Compared to the large assembly lines and complex robotic unloading devices under existing technology, the mechanism is characterised by a simple structure, easy disassembly and reliable operation. According to the work requirements of the force analysis of the mechanism, ADAMS to establish automatic unloading device virtual prototype model and its dynamics and kinematics simulation, to derive the trajectory of the cabin components and movement parameters, according to the characteristics of its movement to its design, to provide a basis for its final design, laying the theoretical foundation for the automated design of the UAV intelligent logistics system.

Keywords: intelligent logistics system for drones; automatic unloading device; virtual prototyping; dynamics simulation

0 引言

当前国内外大型物流企业,如顺丰快递、京东、亚马逊等,均开始尝试使用自动化的机器人与无人机(空中机器人)来代替传统的快递员进行快递配送和快递分拣、仓储等一系列工作。使用无人机进行物流配送,基本要实现5个步骤:1)发货员将快递放入无人机内;2)无人机飞向目标智慧货舱;3)无人机卸载快件;4)给客户发送取件信息;5)无人机返回。在无人机进行物流配送过程中,智慧货仓和无人机需要高度自由协作、无缝接驳,并且智慧货仓可以实现无人机的自动起飞、降落,接货仓的自动装卸载。吴永鑫^[1]提出货运无人机在农村地区的应用与发展,李艳生等指出要设计无人机系统的减振,对机械结构进行优化,并测设其抗干扰能力^[2-4];段昌森^[5]在疫情背景下对无

人机物流产业发展的提出构想;针对步骤3)褚金钱等^[6]基于连杆机构设计开门装置,该装置结构新颖,性能稳定;倪德等^[7]分析弹簧装置的减振性能的影响因素,为自动卸货装置的减振处理提供解决方案;张莉英等^[8]和高伟亚等^[9]为自动卸货装置的仿真和优化提供思路;徐国红等对自卸车的开门机构强度校核,为强度校核提供计算思路,但计算较复杂^[10-11]。

上述研究仅仅是对货运无人机的发展提出构想,针对搭载货运无人机的卸货装置没有系统和全面的解决方案。本文针对步骤3)主要设计了可供无人机停靠的自动卸货装置,通过 Solidworks 三维软件建立自动卸货装置模型,并对关键部件计算驱动力,为电机的选型提供理论依据,通过 ADAMS 对关键部件运动学仿真验证方案可行性,为无人机配送实现全自动化奠定基础。

收稿日期:2020-12-28

* 基金项目:北京市教委科研计划科技一般项目(KM202011232011)资助

1 工作原理及主要机构设计

1.1 自动卸货装置工作原理

物流无人机采用 X 型布局的共轴双桨八旋翼设计, 圆周 2.5 m, 体积较大; 智慧货仓要求快递最少存货量为 50 件, 故采用圆柱形结构为智慧货仓主体结构, 因无人机携带的快递主要是文档类和实物类, 无人机吊舱口为 330 mm × 383 mm, 基于此采用 Solidworks 三维建模, 设计自动卸货装置如图 1 所示, 主要由载重台机构、开合门机构和舱组件 3 部分组成。

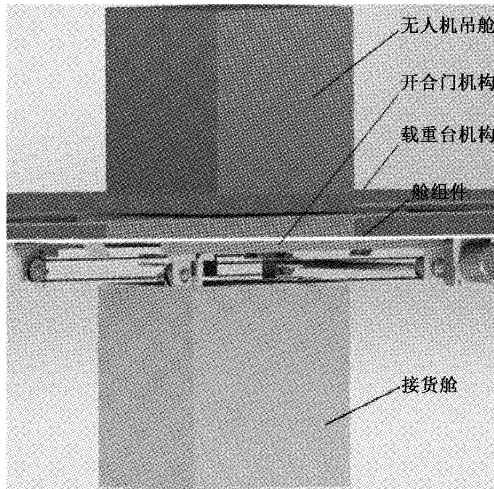


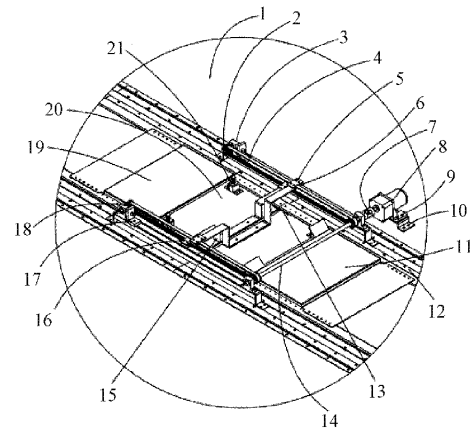
图 1 自动卸货装置

载重台机构水平安装形成有贯穿自身的贯通口, 是无人机降落的停机坪; 开合门机构设置于载重台机构, 用于开启或者关闭贯通口; 在贯通口开启或关闭的过程中, 舱组件经由开合门机构驱动而开启或关闭; 在舱组件开启或关闭过程中, 无人机吊舱门随之开启或关闭。当飞机携带无人机吊舱降落在载重台机构, 舱组件由开合门机构驱动开启, 无人机吊舱内部的货物在舱组件开启时在自重的作用下脱离舱组件掉落进接货仓, 完成自动卸货动作, 随后舱组件由开合门机构的驱动关闭, 同时关闭无人机吊舱舱门。

1.2 自动卸货装置工作原理

无人机吊舱口为 330 mm × 383 mm, 为使无人机吊舱和自动卸货装置无缝接驳, 设计门宽 330 mm, 开门行程至少为 200 mm。开合门机构如图 2 所示, 主要由电机、联轴器、传动轴、同步带、带轮、连接板、张紧架、左右门等部分组成。

开合门机构连接安装梁以完全封闭的方式安装在贯通口, 安装梁加强了载重台的刚度, 门构件和安装梁之间安装线性导轨, 线性导轨作为中介构件使得门构件的运动阻力更小同时线性导轨质量轻, 有利于进一步轻量化开门装置。同步带两侧分别和连接板相连, 可以实现左右门彼此靠近或彼此远离的同步动作; 由于同步带不必做整周旋转运动, 可在一条带的中部设置张紧扣, 利用张紧扣对套设在两个轮构件的带构件施加张紧力, 进一步防止同步带打滑^[12-13]。



注: 1. 平台 2. 带轮 3. 轴承座 4. 同步带 5. 右上连接板 6. 右下连接板 7. 联轴器 8. 步进电机 9. 电机支座 10. 固定架 11. 右滑台 12. 安装梁 13. 右门 14. 传动轴 15. 左下连接板 16. 左上连接板 17. 张紧装置 18. 短轴 19. 左滑台 20. 左门 21. 卡接凸台。

图 2 开合门机构

1.3 舱组件设计

舱组件如图 3 所示, 主要由门、滑台、卡接凸台、弹簧、几字形板、抵接柱等部分组成。

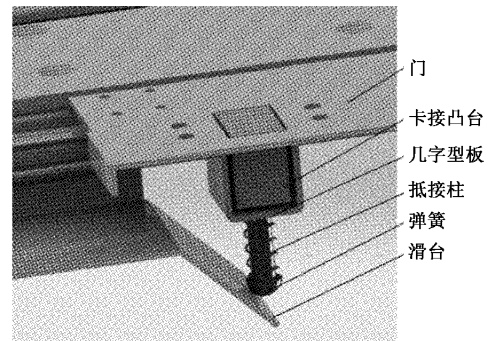


图 3 舱组件

当无人机携带吊舱降落到停机坪时, 门开启, 卡接凸台可伸出与无人机吊舱卡接槽形成卡接, 进而使得门和无人机吊舱门形成联动。为了使抵接柱和滑台在开舱和关舱过程不松脱, 将弹簧限位在滑台和几字形板之间, 还起到吸收滑台振动和冲击能量的作用^[14-15]。

卡接凸台有实际情况设定上升高度为 25 mm, 设定滑台斜度为 30°, 45°和 60°, 卡接凸台完全上升时, 门要运动的水平位移和吊舱舱门要设定的凹槽长度如表 1 所示。

表 1 舱组件各项参数

滑台斜度 $\alpha/(\circ)$	上升高度 L_1/mm	门无效位移 X/mm	舱门凹槽长度 L_2/mm
30	25	43.30	83.60
45	25	25.00	50.00
60	25	14.43	28.83

2 舱组件受力分析

将舱组件简化,对该机构不接入弹簧时的上升过程进行分析,卡接凸台上升需要克服的主要是自身重力和滑台摩擦力,所以选取卡接凸台、门和滑台作为研究对象。沿滑台斜面方向和垂直斜面方向做平面直角坐标系,舱组件 XY 平面受力分析如图 4 所示。

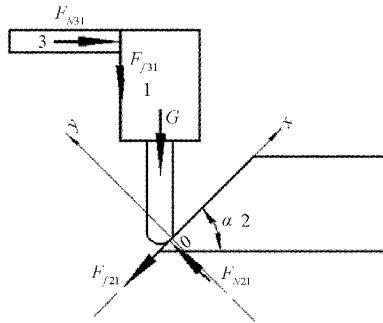


图 4 舱组件 XY 平面受力分析

滑台斜度 α , 卡接凸台和门之间的摩擦因数为 μ_1 , 卡接凸台受到滑台的支持力 F_{N21} , 卡接凸台和门之间的摩擦因数为 μ_2 ; 则门对卡接凸台的摩擦力为:

$$F_{f31} = F_{N31} \cdot \mu_1 = F \cdot \mu_1 \quad (1)$$

卡接凸台重力:

$$G = M \cdot g \quad (2)$$

滑台对卡接凸台的摩擦力:

$$F_{f21} = F_{N21} \cdot \mu_2 = (G \cos \alpha + F \sin \alpha) \mu_2 \quad (3)$$

卡接凸台上升时,卡接凸台在平行于滑台向上方向的分力应大于卡接凸台平行于滑台向下方向的分力,得 X 方向平衡方程:

$$F \cos \alpha > M \cdot g \sin \alpha + F_{f21} + F_{f31} \sin \alpha \quad (4)$$

解得驱动力条件:

$$F > \frac{M \cdot g \sin \alpha + \mu_2 G \cos \alpha}{\cos \alpha - (\mu_1 \sin \alpha + \mu_2 \sin \alpha)}$$

3 舱组件动力学分析及仿真

3.1 卡接凸台动力学分析

为研究舱组件的运动特性,运用解析法对该机构进行运动学分析。以 0 为坐标原点建立如上图所示的直角坐标系,取开门方向为 X 正方向,该机构中门连接外部驱动源。舱组件相对位置示意图如图 5 所示。

由分析可知,门运动时,卡接凸台与门运动接触,由此卡接凸台水平运动速度与门的水平运动速度相同,卡接凸台沿滑台平面上升,得门 X 方向速度:

$$V_{3x} = \dot{x}_3 \quad (5)$$

门 Y 方向速度:

$$V_{3y} = 0 \quad (6)$$

卡接凸台 X 方向速度:

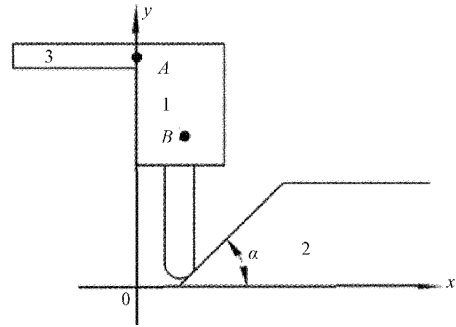


图 5 舱组件相对位置

$$V_{1x} = \dot{x}_1 \cdot \cos \alpha = \dot{x}_3 \quad (7)$$

卡接凸台 Y 方向速度:

$$V_{1y} = \dot{x}_1 \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

解得卡接凸台速度:

$$V_1 = \sqrt{V_{1x}^2 + V_{1y}^2} = \frac{\dot{x}_3}{\cos \alpha}$$

3.2 基于 ADAMS 的舱组件动力学分析

1) 虚拟样机模型的建立

ADAMS 研究复杂系统的动力学关系和运动学关系,以计算多体系统动力学为理论基础,结合计算机对产品进行仿真计算,得到各种实验数据,在产品的设计开发阶段就可以帮助设计者发现设计缺陷,并提出改进的方法。虚拟样机技术在进行运动学、动力学求解时,只考虑零件的质心和质量,而对零件的外部形状不予考虑^[16-18]。因此,对舱组件的形态结构进行适当简化:

(1) 门和地面之间为移动副,门和卡接凸台之间为移动副;

(2) 抵接柱和滑台之间施加接触;

(3) 各部件为刚体。

根据舱组件实际形态结构,按照上述原则,建立虚拟样机模型,如图 6 所示。

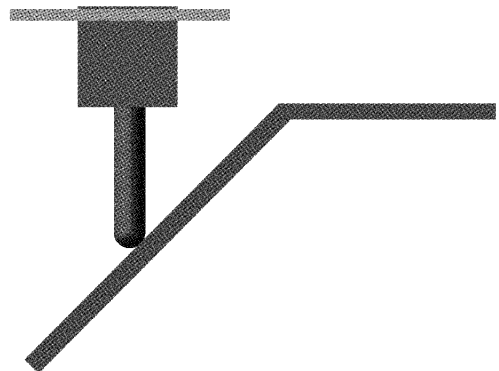


图 6 舱组件虚拟样机模型

根据滑台和地面夹角,分别对夹角 30° , 45° 和 60° 3 种情况刚体建模并施加驱动和约束及仿真分析,3 种情况下驱动力保持不变。

2) 虚拟样机模型的仿真分析

仿真结果如图 7 所示, 其中图 7(a) 为夹角 30° 时仿真结果, 图 7(b) 为夹角 45° 时仿真结果, 图 7(c) 为夹角 60° 时仿真结果。

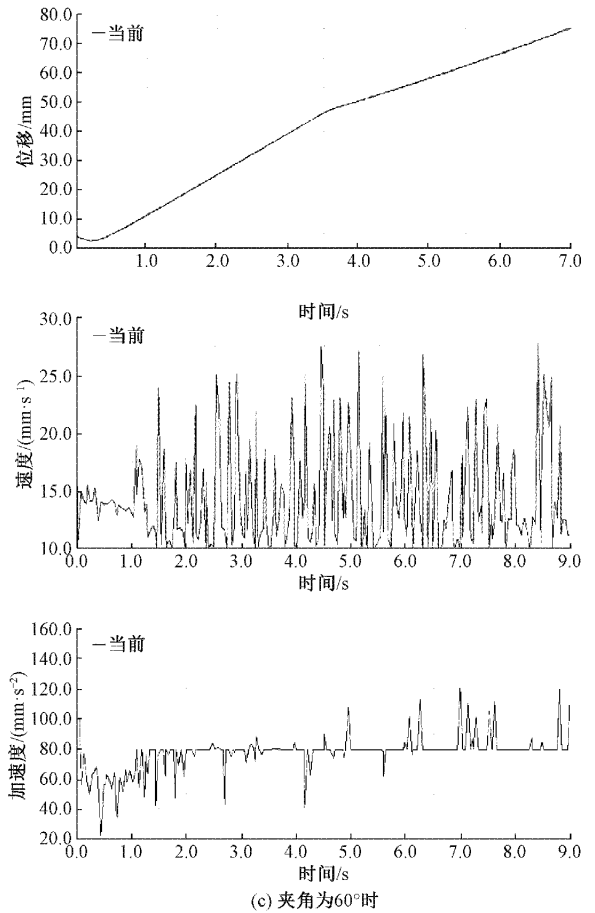
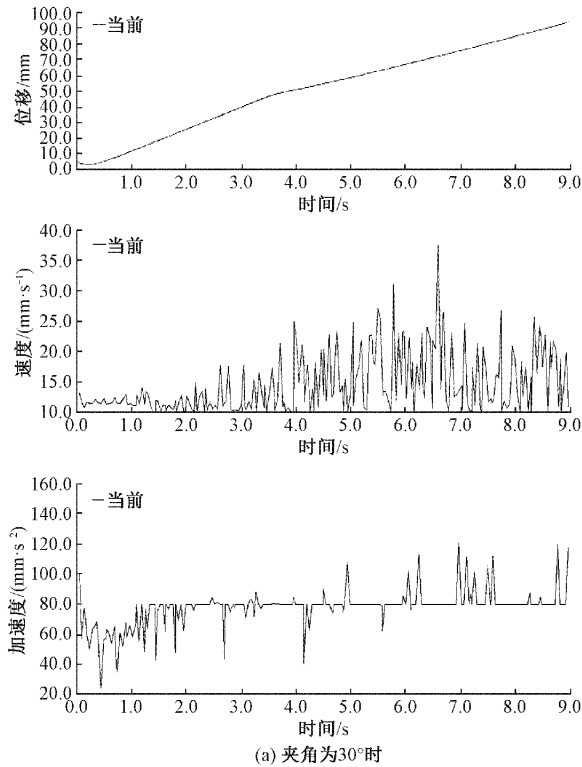


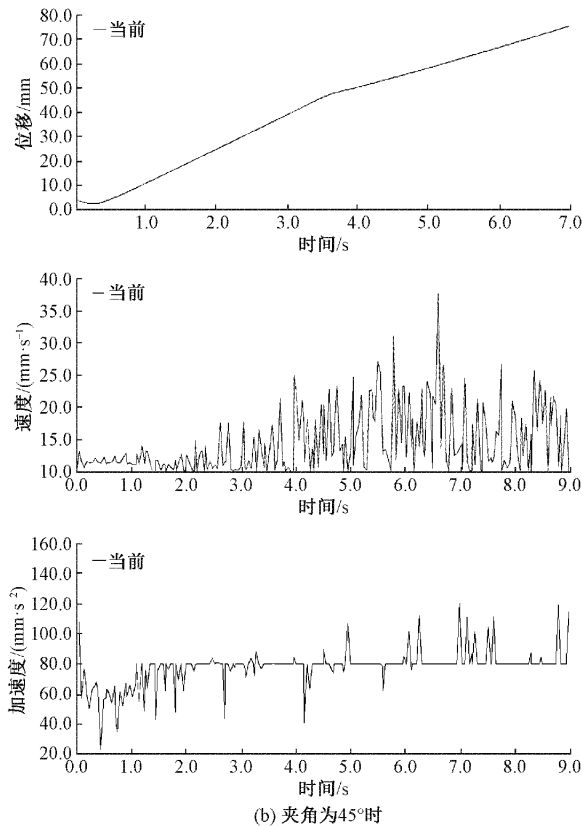
图 7 滑台不同角度的仿真结果

如图 7(a)~(c) 所示, 上图为卡接凸台质心位移, 由此可见曲线突变点处对应时间即为卡接凸台上升时间; 中图为卡接凸台质心的速度曲线, 下图为卡接凸台质心的加速度曲线。

由仿真可得滑台夹角 60° 时, 卡接凸台在 2.5 s 时完全上升, 卡接凸台在沿滑台上升时初始阶段加速度突变, 此时卡接凸台和滑台之间的冲击性较大, 卡接凸台在沿滑台上升时速度有波动, 运动不平衡; 滑台夹角 45° 时, 卡接凸台在 4.5 s 左右时完全上升, 卡接凸台在沿滑台上升时初始阶段存在较小加速度突变, 卡接凸台在沿滑台上升时速度有轻微波动; 滑台夹角 30° 时, 卡接凸台在 9 s 左右时完全上升, 卡接凸台在沿滑台上升时初始阶段存在较小加速度突变, 卡接凸台在沿滑台上升时速度有轻微波动。

4 舱组件设计分析

由分析可得滑台与地面的角度越小, 速度波动越小, 而开舱的无效行程越大, 卡接凸台上升时间越久。由于弹簧可起到吸收振动和冲击能量的作用, 因此设计弹簧限位在滑台和门之间, 同时抵接柱底部增加滚珠和润滑剂减少摩擦, 滑台底部增加筋板, 以此提高滑台使用寿命, 防止卡接凸台上升过程出现卡死现象。



5 结 论

阐述了自动卸货装置工作原理,对舱组件卡接凸台进行了运动学和速度分析,求得滑台上升的驱动力条件;建立了舱组件的虚拟样机模型,并对其进行了基于 ADAMS 的运动学分析,得出了滑台不同角度下的卡接凸台质心轨迹曲线,基于此滑台角度选用 45° ,使得卡接凸台上升时间满足设计要求且运动无明显冲击。综上,本研究为无人机自动卸货装置最终设计提供了理论依据,为无人机智慧物流系统实现全自动化设计奠定了理论基础。

参考文献

- [1] 吴永鑫. 货运无人机在中国农村电商物流市场应用研究[D]. 广东: 深圳大学, 2017.
- [2] 李艳生, 杨美美, 魏博, 等. 基于悬挂摆的球形水下机器人捕能方法与装置研究[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(3): 212-219.
- [3] 张国兵, 杨立永. 基于开源性的雷达抗干扰技术分析系统[J]. 电子测量技术, 2020, 43(1): 18-22.
- [4] 刘威, 朱长青, 谷志锋. 移动电站测试用电子负载的发展与关键技术[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(1): 131-137.
- [5] 段昌淼. 对疫情背景下无人机物流产业发展的构想[J]. 空运商务, 2020, 6: 27-30.
- [6] 褚金钱, 徐方. 基于连杆理论的装载端口开门机构设计与运动学仿真[J]. 中国机械工程, 2013, 24(17): 2362-2367.
- [7] 倪德, 朱如鹏. 智能弹簧装置减振性能的影响因素分析[J]. 振动与冲击, 2012, 31(23): 87-91.
- [8] 张莉英, 蒋放, 孙铄. 动力减振铰杆结构优化及运动稳定性仿真研究[J]. 机械设计与制造, 2018, 1(1): 104-106.
- [9] 高伟亚, 张俊俊, 袁蕾舒, 等. 探测机器人机械臂的振动分析与结构优化[J]. 西南科技大学学报, 2018, 33(3): 82-87.
- [10] 罗斌, 王进红, 周玉娇. 饲料混合机典型开门机构应用[J]. 南方论坛, 2018: 10-11.
- [11] 徐国红, 王旭, 韩月琴. 自卸车开门机构强度校核[J]. 专用汽车, 2019, 3: 87-90.
- [12] 黄涛. 自动化立体仓库控制系统设计与研究[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(5): 14-16.
- [13] 陈峰华. ADAMS 2016 虚拟样机技术从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- [14] 刘刚, 陈思忠, 王文竹, 等. 车辆悬架系统非线性阻尼匹配研究[J]. 机械设计与制造, 2013(5): 113-116.
- [15] 陈勳勳, 王峰, 等. POTDR 振动传感系统的数据处理与分析方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 11(30): 1671-1678.
- [16] 赵武云, 刘艳妍, 吴建民. ADAMS 基础与应用实例教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [17] MIGUELEZ M H, RUBIO L, LOYA J A, et al. Improvement of chatter stability in boring operations with passive vibration absorbers [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2010 52(10): 1376-1384.
- [18] LIMA A M G, STOPPA M H, RADE D A, et al. Sensitivity analysis of viscoelastic structures [J]. Journal of Vibration and Shock, 2016, 13: 545-558.

作者简介

徐静, 在读研究生, 主要研究方向为机械设计、机器人感知与控制等。
E-mail: xj_m17865313950@163.com