

一种新型无人售货机的设计与分析

Design and analysis of a new automatic vending machine

刘海刚 王 刚 高建彪

LIU Hai-gang WANG Gang GAO Jian-biao

(中北大学机电工程学院, 山西 太原 030051)

(Mechanical and Electrical Engineering College, North University of China, Taiyuan, Shanxi 030051, China)

摘要: 设计一种新型小型化无人售货机。介绍该机的选取和同步推送原理,并建立三维模型,运用 ADAMS 对售货机进行仿真及优化分析。该售货机可以快速平稳地将货物输送进出货口,推货速度保持在 150 mm/s 左右时货物在传输的过程中晃动较小,具有较高的平稳性,可为以后的实践设计提供试验依据。在占地面积相等的情况下,该售货机与市面上的饮料酒类售货机相比高度约为其 1/3,整体体积小且存储量较大,既能够满足正常人群的使用也方便身材矮小的人群进行操作。

关键词: 无人售货机; 齿轮传动; 螺旋传动; ADAMS; 动力学仿真

Abstract: A new automatic vending machine was designed. The principle of the selecting and pushing of vending machine was introduced, and the three dimensional model was established. The software ADAMS was used to carry out dynamic simulation and optimization analysis. The vending machine can transport the goods to outlet rapidly and steadily. When the pushing velocity was kept at the speed of 150 mm/s left and right, the goods have low wiggle and high stability, and it can provide the experimental basics for the practical design. In the case of equal occupancy area, comparing to the height of the market vending machine of drink and wine, this vending machine is about 1/3 high to that on the market, with lower whole volume and higher storage amount. It is not only satisfied with the use of the general population, but also convenient to operate for the short and small crowd.

Keywords: vending machine; gear drive; spiral transmission; ADAMS; dynamic simulation

无人售货机作为一种全新的商业零售模式在现代社会的普及化程度越来越高,它不受时间、地点的限制,既节省人

力又方便交易^[1]。市面上的绝大多数饮料酒类售货机结构如图 1 所示,总体高度在 2 m 左右,投币及选取货品种类的操作界面多数置于售货机的中上方部位,这就导致了青少年儿童、使用轮椅的残疾人,以及身材矮小的人群操作机器极为不便,并没有完全实现人性化设计^[2]。此外现有机型内的推瓶系统主要由电机、减速器、弹簧等组成,电机通过减速器带动弹簧旋转,弹簧转动时通过扭力旋转将处于弹簧空隙中的瓶体推出。每一种货物都对应一组电机、减速器和长弹簧,为了提高货物种类和容量,需要在机身内部安装大量的长弹簧以及电机减速器等,因此造成售货机机身外形庞大。而且弹簧因长期使用较容易出现夹紧力不足,造成瓶体夹持不紧,导致出货不顺利的现象发生,除此之外,大量的电机和减速器也增加了能源的消耗,多组电机的存在也增加了控制系统的复杂性,提高了后期维护检修的成本和耗时^[3]。

针对此情况,拟设计一种小型化饮料酒类无人售货机,该机型采用的是齿轮传动和螺旋传动原理,传输稳定性和可靠性高,零部件不易磨损,整机只包含 3 个电机,降低了控制系统程序复杂性^[4-6]。该售货机能够对瓶装饮品实现快速、平稳地选取,并可按照顾客需求将一定数量的货物同步推送至出货口,既适用于身高正常的人群,也适用于身材矮小的群体。



1. 推瓶机构(由弹簧、减速器及电机等组成) 2. 出货口 3. 操作面板

图 1 现有无人售货机结构简图

Figure 1 Existing diagram the vending machine

作者简介: 刘海刚(1986—),男,中北大学在读硕士研究生。

E-mail: 2463504927@qq.com

收稿日期:2015-11-07

1 售货机的结构组成

如图 2 所示,售货机主要由货物回转仓体和推瓶器组成,推瓶器置于货物回转仓体内部,货物回转仓体逆时针回转 60°时,间歇停止,推瓶器开始按照顾客需求将一定数量的货物水平推进取货口,完成一个售货动作。

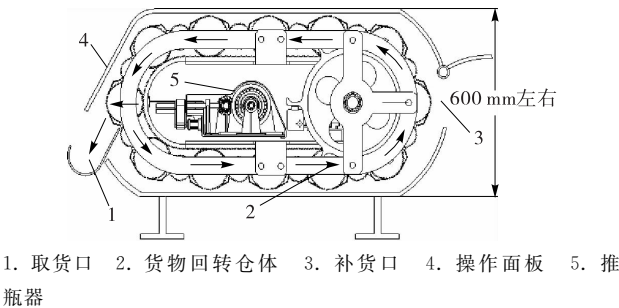


图 2 小型化无人售货机结构简图

Figure 2 Structure of miniaturization vending machine

1.1 货物回转仓体组成及原理

货物回转仓体的结构见图 3。主要包括电机、减速器、拨轮、约束轨道、环形齿条、储瓶机构以及齿轮组等^[7-8]。在环形齿条上均匀分布着 12 个储瓶机构,储瓶机构为一半圆形圆筒,内有隔板,用于放置 8 对瓶体,其中两对为储备瓶体。半圆筒上安装有瓶体夹持板,当储瓶机构回转时对瓶体起定位夹紧作用,防止瓶体在回转时受力过大脱离仓体。半圆筒两侧装有滚动齿轮,可以环绕环形齿条滚动,在每两个储瓶机构滚动齿轮之间有一传递齿轮,以实现两个滚动齿轮之间的同步滚动,进而使 12 个滚动齿轮同步滚动。

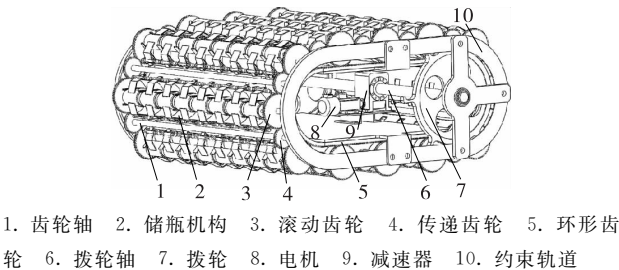
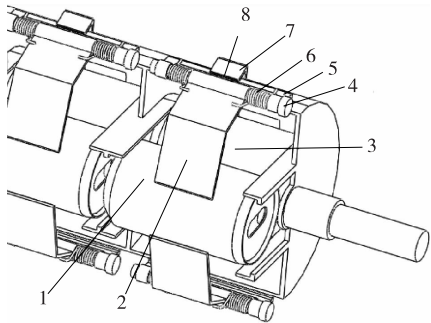


图 3 货物回转仓体整体结构图

Figure 3 Structure of goods rotation mechanism

储瓶机构的回转运动主要依靠滚动齿轮在环形齿条上作纯滚动运动实现,而齿轮的纯滚动运动则依靠拨轮实现,拨轮类似于链条传动中的链轮,主要用于拨动储瓶机构上的短轴,短轴在约束轨道的作用下只能沿着环形轨迹运动。在拨轮拨动短轴时,拨轮类似于行星架,与滚动齿轮、环形齿条以及约束轨道组成了周转轮系,滚动齿轮便可绕环形齿条滚动,在传递齿轮的传递作用下其余齿轮依次滚动,即可实现回转仓体的回转运动。

图 4 为瓶体夹持机构结构图。夹持机构在整个仓体中对瓶体起到夹紧、定位以及释放作用,由于仓体的回转运动,致使瓶体极易脱离储瓶机构进而影响推瓶动作,因此夹持机构设计是否合理尤为重要。夹持机构主要由上下两块 V 形夹持板、回转底座、销轴、扭簧、定位板等组成。夹持板通过



1. 瓶体 1 2. 瓶体夹持板 3. 瓶体 2 4. 销轴 5. 夹持板回转座 6. 扭簧 7. 定位板 8. 夹持板凸台

图 4 瓶体夹持机构结构图

Figure 4 Structure of bottle clip mechanism

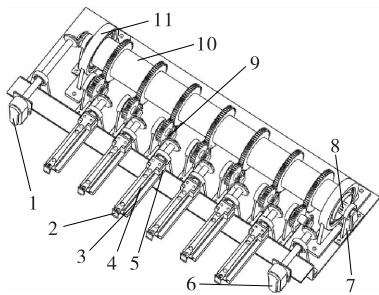
销轴与回转底座连接在一起,可绕销轴转动。在夹持板两侧各有一扭簧穿过销轴,主要为夹持机构提供弹力。当瓶体 1 在推瓶器推动下脱离夹持板时,夹持板在扭簧的预紧力作用下会回转继续对瓶体 2 进行夹持,当瓶体 2 也脱离夹持板后,夹持板会再次在扭簧的预紧力作用下回转进储瓶机构内部,为防止夹持板与推瓶完成后按原行程返回的推瓶器上的推瓶板发生干涉,在回转座上有一定位板,当夹持板上的凸台撞击定位板时夹持板便停止回转,为推瓶板的回程预留空间。

1.2 推瓶器组成及原理

推瓶器主要起到根据顾客需求将仓体中的瓶体同步推进取货口的作用。在推动瓶体时推瓶器应尽量迅速且平稳,不宜对瓶体产生过大的冲击载荷。

推瓶器整体结构组成见图 5。推瓶器推动储瓶机构中一定数量的瓶体是依靠 6 组由滑块、丝杠、导轨和推瓶板构成的螺旋传动组件来实现的,6 组螺旋传动组件与固定支座上的空心轴通过相应的传动齿轮组连接。在推瓶器驱动电机及减速器的带动下,空心轴回转,相应的推瓶板开始直行推动瓶体。

在空心轴内部伸缩杆的控制下,推瓶器能够同时推出一定数量的瓶体。空心轴内壁对称分布着两条可供楔形键滑行的长键槽,键槽上分布着 6 个楔形键卡口。伸缩杆主要由 6 个圆形空心筒组成,空心筒外有楔形键安装盘(见图 6)。6 个空心筒通过圆形凸台 1、圆形凸台 2 以及圆形凹台之间



1. 伸缩杆驱动电机及减速器 2. 推瓶板 3. 导轨 4. 丝杠 5. 滑块 6. 推瓶器驱动电机及减速器 7. 固定支架 8. 伸缩杆 9. 传动齿轮组 10. 空心轴 11. 空心轴轴承

图 5 推瓶器整体结构图

Figure 5 Structure of push bottle mechanism

的相互配合组成了可以依次前进和后退的伸缩杆,在 6 个楔形键安装盘上分别有一个方形凹槽,方形凹槽内部有一压缩弹簧,压缩弹簧上部装有楔形键。伸缩杆中的 6 个空心筒在由推头、推头挡圈、推头导向杆、丝杠组成的螺旋传动组件及伸缩杆驱动电机和减速器的共同作用下可以依次前行,每当楔形键安装盘上的楔形键依次滑行到空心轴与空心轴齿轮相互配合的楔形键卡口位置时,便在压缩弹簧的弹力作用下依次进入楔形键卡口内(见图 7),空心轴与空心轴齿轮在楔形键的作用下卡接在一起同轴转动。

由于 6 个楔形键分别对应着 6 组齿轮组,与空心轴卡接的齿轮组才会传动,其余没有与空心轴卡接的齿轮组只有空转而不会传动,因此每当伸缩杆前行到相应位置时,推瓶器便可将储瓶机构中的若干数目瓶体同步推出。

2 售货机动力学仿真分析

利用 Ideas 的 master modeler 建立各零部件的实体模型,并进行装配,再通过 translator 转换成 UG 中的 x_t 格式文件。导入前简化实体模型,以减少 ADAMS 中实体的数量,进而减少计算时矩阵个数,从而缩短仿真时间。

将转换好的三维模型文件插入到 ADAMS 中,为各零部件设定相应的材料属性,利用布尔运算将没有相对运动的构件简化为一个整体,为各零部件之间添加必要的运动副以及接触,并添加相应的驱动模块^[9]。

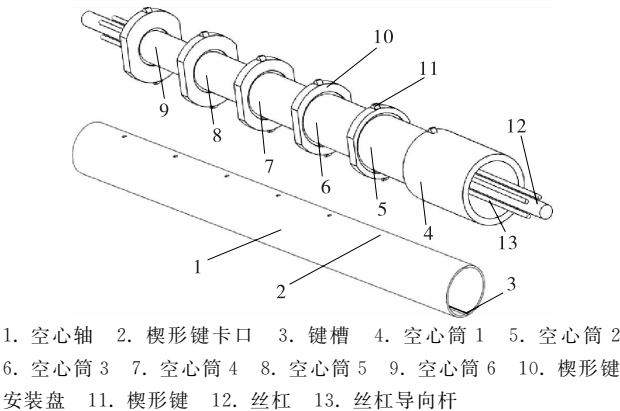


图 6 伸缩杆结构图
Figure 6 Structure of stretch rod

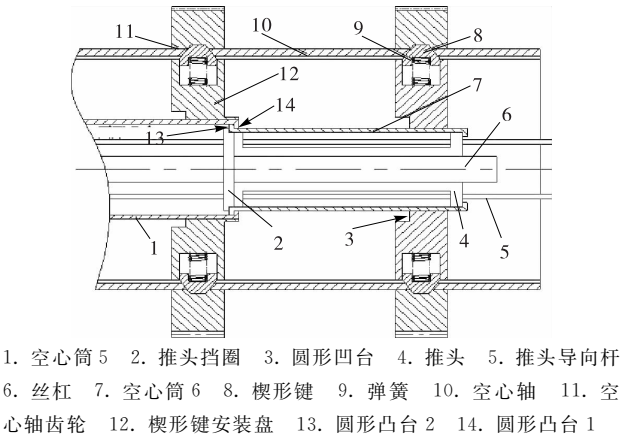


图 7 伸缩杆二维简图
Figure 7 Section image of stretch rod

2.1 瓶体的速度特性

图 8、9 分别为储瓶机构中的瓶体在仓体上回转一周时,在 x 轴与 y 轴方向上的速度曲线。

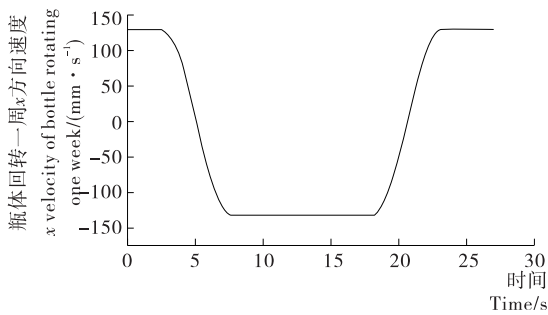


图 8 瓶体回转一周在 x 轴方向速度曲线
Figure 8 x axis velocity curve of bottle rotating one week

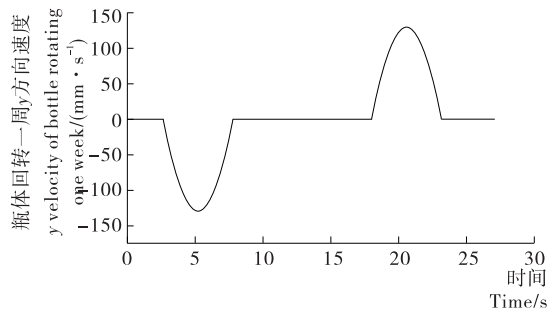


图 9 瓶体回转一周在 y 轴方向速度曲线
Figure 9 y axis velocity curve of bottle rotating one week

由图 8、9 可知,瓶体在货物回转仓体上回转一周时,速度跳跃次数少,周期性波动频率低,这对整个售货机稳定可靠地工作是有重要作用的。在设计初期曾使用链传动方式实现仓体的回转运动,经过仿真分析发现:链条式货物回转仓体由于链条的多边形效应致使仓体在回转的过程中速度波动频率大,导致瓶体传输具有明显的不稳定现象。最终本设计采用齿轮传动方式的仓体,其能够明显地提高瓶体传输的稳定性,从而有利于增强整个售货机的可靠性。

2.2 优化分析

图 10 为推瓶器上的推瓶板以不同的推货速度水平推动瓶体时,瓶体在 y 轴方向上的位移变化曲线。

利用 ADAMS 中的优化分析功能,寻找最优推货速度,保证推瓶器推动瓶体时能够达到迅速、平稳、冲击载荷小等

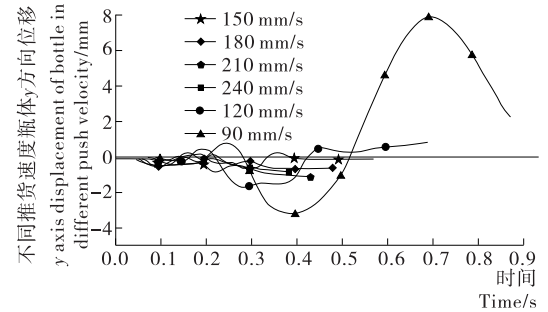


图 10 不同推货速度下瓶体在 y 轴方向位移曲线
Figure 10 y axis displacement curve of bottle in different push velocity

要求。经过优化分析得出,在 0~150 mm/s 内,推货速度越小,瓶体在 y 轴方向上位移变化量越大,即在被推出储瓶机构时越容易出现上下晃动现象,稳定性降低,这对于瓶体准确进入取货口是不利的。当推货速度大于 150 mm/s 后,随着推货速度逐渐增大,瓶体在 y 轴方向上位移变化量较小,即上下晃动现象不明显,这对于提高瓶体准确进入取货口是有利的。在推货速度大于 150 mm/s 情况下,将不同推货速度下瓶体在 y 轴方向上位移变化量进行比较,发现变化量差距较小。但是推货速度过大时,推瓶板对瓶体产生的瞬时冲击力也会增大,因此推货速度不宜过大。结合以上结论最终得出推瓶器推货速度在 150 mm/s 左右时瓶体由储瓶机构进入取货口的过程中上下晃动较小,具有较高的平稳性。

2.3 瓶体的运动规律

图 11 为瓶体由储瓶机构进入取货口的整个过程中速度变化曲线。由图 11 可知,在起始阶段瓶体速度陡然上升,主要因为推瓶板与瓶体之间存在一定距离,对瓶体产生了一定的瞬时冲击导致的。速度随后逐渐平稳,没有出现过多的上下波动,这对于瓶体准确进入取货口是有利的。而后速度迅速上升以及下降,主要因为瓶体在推瓶板作用下脱离了储瓶机构上的夹持板,在推瓶板推动惯性力以及自身重力下速度迅速提高,然

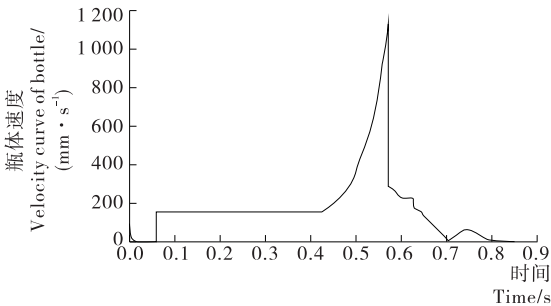


图 11 瓶体速度曲线
Figure 11 Velocity curve of bottle

后进入取货口与其产生碰撞,速度逐渐降低直至静止。

3 结束语

该无人售货机整体体积小且存贮容量较大,可以满足不同层次的人群进行操作。只需将售货机中的储瓶机构以及夹持机构稍加改进,即可对采用塑料瓶和玻璃瓶包装的大容量饮品实现无人售货。所采用的机构可以快速平稳地将货物输送进取货口,有效地提高了整个设备的可靠性。

该装置为无人售货设备领域提供了一种新的设计思路和方法,适用性广,便于普及。通过仿真分析表明该设计思路是合理可行的,具有一定的工程实践意义。同时也为食品生产等车间的传送装置前期理论设计和后期优化设计提供了借鉴,具有较高的实际指导意义。

参考文献

[1] 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.

[2] 郑建兴,张相炎. 基于 RecurDyn 的同步带弹箱动态特性仿真研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2010(4): 75-78.

[3] 梁志民,安宗文,李朝晖,等. 链速补偿机构设计[J]. 甘肃工业大学学报, 2003(2): 47-49.

[4] 张玲玲,陆天伟,吴鹿鸣,等. 链传动多边形的实验研究[J]. 机械工程与自动化, 2010(8): 97-99.

[5] 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.

[6] 张文斌. 小型多用捣碎机的设计[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 165-167.

[7] 余世明,晁岳磊,繆仁将. 自动售货机研究现状与展望[J]. 中国工程科学, 2008, 10(7): 51-56.

[8] 徐灏. 机械设计手册:第3卷[M]. 北京:机械工业出版社, 1991(1): 10-86.

[9] 陈立平. 机械系统动力学分析及 ADAMS 应用教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2005: 1-223.

成分的条件[J]. 中国酿造, 2009(8): 45-48.

[17] 刘文涵,何晶晶,滕渊洁. 顶空液液萃取—气相色谱—质谱法用于白酒挥发性成分的分析[J]. 分析化学, 2013, 41(8): 1 226-1 231.

[18] 王武,查甫本,张静,等. 响应面法优化固相微萃取—气质联用发检测鸭肉中挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 329-333.

[19] Ruiz J, Ventanas J, Cava R. New device for direct extraction of volatiles in solid samples using SPME[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(11): 5 115-5 121.

[20] 陈海涛,张宁,孙宝国. SPME 或 SDE 结合 GC—MS 分析贾永信十香酱牛肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 171-175.

[21] Xie Jian-chun, Sun Bao-guo, Zheng Fu-ping, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of mini-pig[J]. Food Chemistry, 2008, 109(3): 506-514.

[22] 蔡艳梅,孙宝国,黄明泉,等. 同时蒸馏萃取—气质联用分析月盛斋酱牛肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 370-374.

(上接第 87 页)

[10] Stashenko E E, Martinez J R. Sampling volatile compounds from natural products with headspace/solid-phase micro-extraction[J]. Journal of Biochemical and Biophysical Methods, 2007, 70(2): 235-242.

[11] 卫春会,边名鸿,黄治国,等. 桑椹酒香气成分的 HS—SPME—GC—MS 分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 27-30.

[12] 杨文鸽,徐大伦,张春芳,等. 响应面法优化美国红鱼肉挥发性风味物质 SPME 萃取条件[J]. 中国食品学报, 2012, 12(9): 87-94.

[13] 李倩,蒲彪. 响应面法优化花椒香气成分的 HS—SPME 萃取条件的研究[J]. 食品工业科技, 2012(2): 334-337.

[14] 冯琳,董入源,黄玉明. 顶空固相微萃取气相色谱—火焰光度法测定废水中烷基硫醇化合物[J]. 分析化学, 2009, 37(4): 563-567.

[15] 张春林,敖宗华,炊伟强,等. 顶空固相微萃取—气质联用快速测定大曲中的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2011, 32(10): 137-140.

[16] 李国栋,孙宗保. 利用响应面优化 HS—SPME 镇江香醋香气