DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2015.04.025

全自动立式颗粒包装机传动系统及横封机构的改进与仿真

Improvement and simulation on transmission system and transverse sealing mechanism of automatic vertical packaging machine

刘海生[1,2]　张　俊[1,2]　李　菡[1]　解邦银[3]

LIU Hai-sheng[1,2]　*ZHANG Jun*[1,2]　*LI Han*[1]　*XIE Bang-yin*[3]

(1.湖北文理学院机械与汽车工程学院,湖北 襄阳　441053;
2.汽车零部件制造装备数字化湖北省协同创新中心,湖北 襄阳　441053;
3. 湖北襄阳逸顺机电科技有限公司,湖北 襄阳　441000)

(1. *School of Mechanical & Automotive Engineering, Hubei University of Arts & Sciences, Xiangyang, Hubei* 441053, *China*; 2. *Collaborative Innovation Center of Hubei Province for Auto Parts Manufacturing Equipment Digitization, Xiangyang, Hubei* 441053, *China*; 3. *Xiangyang Yishun Mechnikcal and Electrical Technology CO. LTD, Xiangyang, Hubei* 441053, *China*)

摘要:介绍一种全自动立式颗粒包装机的系统组成、工作原理和技术要求,改进全自动包装机的传动系统和偏心链轮变速度调节机构,应用尺寸驱动技术,在 SolidWorks 平台上建立各尺寸的方程式,实现全自动立式颗粒包装机的参数化建模与虚拟装配。仿真结果表明:增大偏心链轮机构中心距可获得较大的主动链轮极限角,从输出的运动特性曲线中能确定出横封机构的热封点位置和包装袋长度对应的链轮偏心距,从而有效地提高产品的设计质量和效率。

关键词:包装机;偏心链轮;横封机构;参数化设计

Abstract: The composition, working principle and technical requirement of automatic vertical packaging machine are discribed. The transmission systems and eccentric sprocket with variable speed are designed. Applying dimension-driven technology and "formula" function of Solidworks software, parametric design and modeling of automatic vertical packaging machine are realized. The simulation results show that larger drive sprocket limit angle can be obtained by increasing center distance of eccentric sprocket mechanism, and the heat sealing point of transverse sealing mechanism and sprocket offset corresponding packet length can be determined from the output movement characteristics of eccentric sprocket mechanism, this can improve the design quality and efficiency of products.

Keywords: automatic vertical packaging machine; eccentric sprocket; transverse sealing mechanism; parametric design

高精度小包装物品因其包装精巧和携带方便,广泛应用于食盐、味精、鸡精、白糖、预混料、添加剂、种子等颗粒状的定量包装。目前,国内外大多数包装机械存在着一些明显的缺陷,主要是在立式包装机中存在包装袋错边起皱、包装袋封口外形不正等问题,这主要是横封瞬时速度与纵封速度不相同、剪断滚刀的线速度与料袋下降速度不匹配引起的[1]。肖蓉川[2]运用数学计算方法确定偏心链轮参数,其过程复杂又不直观;韩炬等[3]应用 Matlab 编写程序和 Creo Parametric 软件对热封机构进行了建模及动力学分析,但未对热封机构的参数进行确定和优化,且现有研究均限于局部机构。为此,本研究拟借助 SolidWorks 三维软件对全自动立式包装机整机实现参数化设计、三维建模和运动分析,以提高设计质量和性能、缩短设计周期。

1　全自动包装机的组成及存在的问题

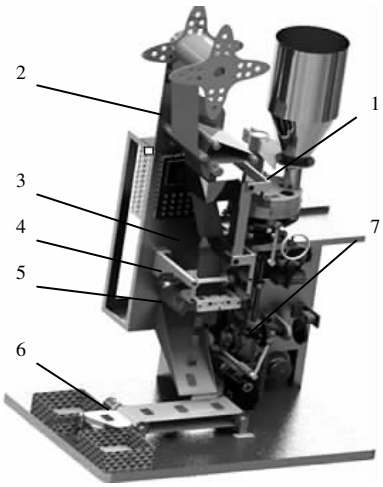
1.1　全自动包装机的组成

袋装全自动包装机是集制袋、计量、充填、封装、剪切、称重等功能为一体的包装设备。由于生产批量较大,常选用多工位、连续型运动形式,以提高包装效率,本机采用立式直线型工艺要求路线[1,4],它由供料系统 1、供膜装置 2、纵封机构 3、横封机构 4、剪切机构 5、称重分拣装置 6、传动系统 7、机架及控制系统组成,见图 1。

基金项目:湖北省襄阳市研究与开发计划项目(编号:襄科业[2012]43 号/201206)

作者简介:刘海生(1967—),男,湖北文理学院副教授。
E-mail: 185669911@qq.com

收稿日期:2015-05-07



1. 供料系统　2. 供膜装置　3. 纵封机构　4. 横封机构
5. 剪切机构　6. 称重分拣装置　7. 传动系统

图 1　包装机的组成

Figure 1　The structure of pockaging machine

工作时，供料系统 1 采用六工位旋转运动将被包装物料填充到可调式量杯中进行计量，并定时充填到由供膜装置 2 形成的漏斗状袋筒内；然后纵封机构 3 通过一对做等速相向回转的辊轮，对袋筒加热封边及牵引运动，横封机构 4 带动一对热封头实现袋筒封口，同时保证热封瞬时热封头与连续运动着的袋筒具有相同的线速度；最后由剪切机构 5 驱动旋转式辊刀将包装袋切断，并通过称重分拣装置 6 对成品袋进行自动称重和分拣归类。传动系统 7 将电动机的动力分配给各执行机构，并协调各机构动作一致。

1.2　原设备存在的问题及改进措施

(1) 原设备常常存在包装袋错边起皱、包装袋封口外形不正、商标图案错位的问题，这是由于原设备各执行机构的动力是由一根动力轴分配的，纵封机构经过行星差动轮系、圆锥带式变速器、齿轮机构来实现初始位置修正、调速和换向的，其调节不易控制，从而导致纵封辊轮的牵引速度与横封封头瞬时运动速度不匹配所致。针对此问题，改进措施是：将纵封机构从传动系统中独立出来，由单独的步进电机控制，其速度大小由机械控制转化为 PLC 控制，不仅可避免各执行机构间的强耦合，便于协调和控制各执行构件的速度一致或匹配，又能简化传动链，降低设计和制造成本。

(2) 不同长度的包装袋要求有不同的包装袋下降速度，就必须能够改变横封辊轮的转速与之匹配，原设备采用更换不同直径的从动链轮的方式来调节横封辊轮的转速，由于链轮直径是离散的几个固定值，所以包装袋的长度规格就不连续可调，且更换链轮较麻烦。为了适应包装袋长度在一定范围内任意可调，改进措施是将横封机构传动链上的主链轮改为偏心链轮，通过调整链轮的偏心距来调节横封机构的封合瞬时速度，使之与包装袋下降速度匹配，保证包装机各机构协调运动。

2　传动系统的改进

改进后的传动系统方案的运动简图如图 2 所示，电动机通过皮带轮 D_1/D_2 带动减速器，减速器通过链条 Z_1/Z_2 带动动力分配轴Ⅰ旋转，并将动力分配给三路。第 1 路动力传给供料系统，通过锥齿轮 Z_3/Z_4 啮合带动传动轴Ⅱ旋转，再通过齿轮 Z_5/Z_6、Z_7/Z_8 啮合带动供料盘轴Ⅳ旋转，使供料系统以传动比 $i=1/6$ 运行，轴Ⅳ上的离合器用于包装机调试时使用，以避免供料；第 2 路动力传给横封机构，通过偏心链轮 Z_9/Z_{10} 和齿轮组 Z_{11}/Z_{12}、Z_{13}/Z_{14}、Z_{15}/Z_{16} 带动横封轴Ⅶ、Ⅷ反向变速旋转，传动比 $i=1/2$，横封辊轮每转 180°封口一次；第 3 路动力传给剪切机构，通过齿轮 Z_{17}/Z_{18}、Z_{18}/Z_{19} 啮合带动切断轴Ⅹ上的刀片旋转，实现剪切运动，其传动比 $i=1$，实现一袋一切断，当轴Ⅰ上离合器断开时不切断包装袋。

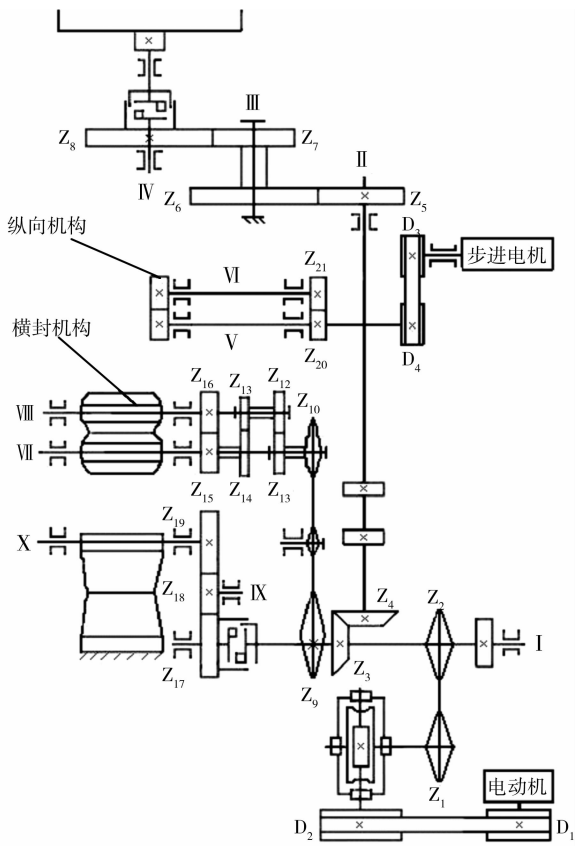


图 2　传动系统示意图

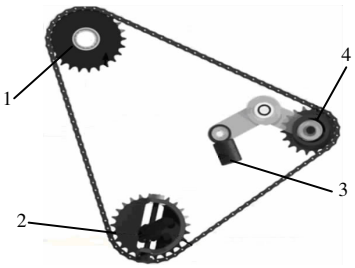
Figure 2　Transmission system

纵向机构的动力不再取自动力分配轴Ⅰ，而是设立单独的步进电机驱动，通过同步齿型带 D_3/D_4、齿轮 Z_{20}/Z_{21} 带动纵封轴Ⅴ、Ⅵ旋转，以牵引、热封合包装袋，其速度由袋长决定，通过检测动力分配轴Ⅰ的转速调节步进电机的脉冲数来实现。供膜装置和称重分拣装置分别用伺服电机驱动，由 PLC 控制器协调各动作。

3　横封机构的改进

包装机的纵封辊轮有两个作用：① 纵向封合作用；② 带动包装膜进行送膜。而横封辊轮的封合是间断的，按正常的工作要求是在横封进行封合这段时间内，它的线速度应与纵封辊轮的线速度保持一致，否则会使包装膜受拉伸而破损或者是松弛起皱，造成封合不良。为此，本机设置偏心链轮机构(图 3)，以保证袋长在一定范围内变化时，能使横封辊轮在

封合时的圆周线速度与纵封辊轮的线速度相一致,以使包装机适应不同包装袋的长度需求,保证机器的正常工作。通过调节链轮相对于主轴的偏心位置以改变偏心距,进而实现变传动比(式(1))传动[2],工作时链轮带动横封轴做变速转动且保持与包装袋下落速度一致,保证密封质量。



1. 从动链轮　2. 可调偏心链轮　3. 重物　4. 张紧链轮

图 3　偏心链轮机构

Figure 3　Mechanism of eccentric sprocket

$$i=\frac{\omega}{\omega_0}=1+\frac{eL\sin\theta}{R\sqrt{e^2+L^2-2eL\cos\theta}} \tag{1}$$

式中:

ω_0——主动偏心链轮的等角速度,rad/s;

ω——从动链轮的瞬时角速度,rad/s;

e——主动链轮的偏心距,mm;

L——主从链轮的回转中心距,mm;

R——主从链轮的节圆半径,mm。

4　包装机的参数化建模与模拟仿真

4.1　各零件的参数化设计

参数化技术是在工程设计实际应用中常用的 CAD 技术,它借助一组参数来控制设计结果,通过更换该组参数值以实现一系列相似零件的设计建模,可大大提高产品的设计效率。现以偏心链轮设计为例,详细介绍在 SolidWorks 中的参数化建模过程[5-7]:

(1) 为实现链轮的参数化和系列化,首先要确定链轮的主驱动参数,如链轮节距、齿数、链条滚子直径、链轮宽度等作为整体变量,建立链轮的分度圆直径、齿顶圆直径、齿根圆直径和齿廓型面参数与主参数的尺寸关系,使这些次要参数依附于主参数。并在 SolidWorks 中通过"工具→方程式"下拉菜单,输入各主参数及其初始数值、尺寸关系,见图 4。

图 4　建立主参数和方程式

Figure 4　The establishment of the main parameters and equations

(2) 运用"旋转凸台"命令生成链轮坯体、"拉伸切除"命令切出齿槽,链轮齿形是根据"三圆弧一直线"原则建立的,即齿沟圆弧、工作段圆弧、工作段直线、齿顶圆弧,它具有较好的啮合性能和可加工性。在绘制草图截面时通过双击各尺寸,输入相应的方程式,系统会自动将该方程式加入方程式对话框中,并重新计算该尺寸值,在其数值前显示∑标记,见图 5。各草图必须完全定义,以确定各形状之间的位置关系,保证模型对驱动参数的正确更新和重新构建。

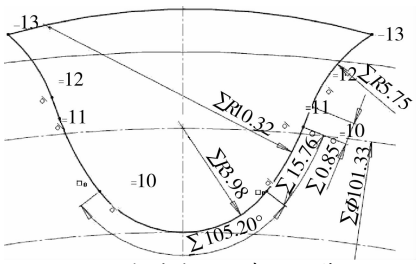


图 5　齿槽截面的参数化草图

Figure 5　The parametric sketch of tooth section

(3) 对齿槽特征进行圆周阵列,生成各轮齿,并对轴面齿形两侧切成圆弧状,以便于链节进入和退出啮合。

4.2　虚拟装配与模拟仿真

根据不同袋长的需求,必须输出满足工艺要求的角速度,使各机构动作协调一致。纵封机构的角速度可以通过袋长直接转换成步进电机的脉冲数,所以设计的关键问题是保证偏心链轮机构与料袋下落速度匹配,为此在 SolidWorks COSMOSMotion 模块中设置各静止和运动零部件,并添加运动副约束和驱动,对产品的可装配性和运动特性进行分析[8,9],包装机主传动系统的三维实体模型见图 6、偏心链轮机构的输出运动特性曲线见图 7。

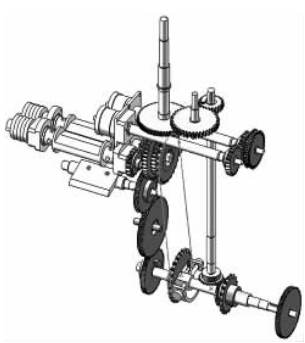


图 6　传动系统的三维模型

Figuer 6　3D model of transmission system

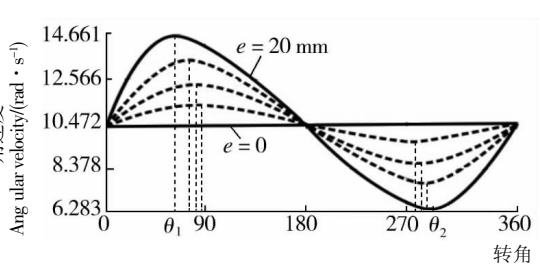


图 7　偏心链轮机构输出运动特性曲线

Figure 7　The output movement characteristics of eccentric sprocket mechanism

(下转第 137 页)

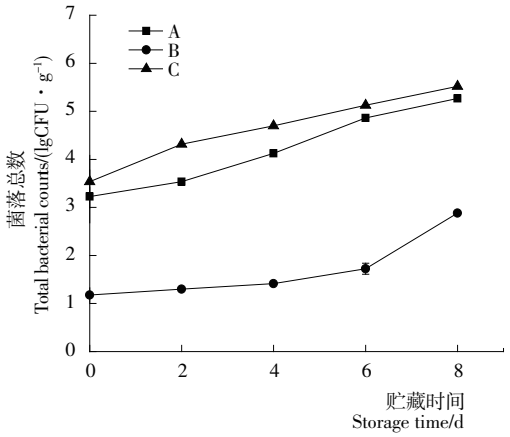


图 5 贮藏期间鲜切茄子细菌总数的变化

Figure 5 Changes of total bacterial count on surface of fresh-cut eggplant during storage

茄子微生物的繁殖有一定的抑制作用。

3 结论

本试验采用 1.5%壳聚糖+1%抗坏血酸+1% $CaCl_2$+2%柠檬酸保鲜液涂膜结合 2% CO_2+5% O_2+93% N_2气调包装对鲜切茄子进行贮藏保鲜,同时与传统的单一气调包装和不作处理的鲜切茄子作对比,结果表明:

(1) 单一气调包装对鲜切茄子能够起到良好的保鲜效果,但壳聚糖保鲜液涂膜结合气调包装保鲜效果更明显。

(2) 采用保鲜液涂膜结合气调包装能够有效保持鲜切茄子的原有品质,在(10±1) ℃条件下鲜切茄子能够保存至 8 d 以上仍具有商品价值。

参考文献

1 Allende A, Luo Y, McEvoy J L. Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves stored under superatmospheric oxygen and modified atmosphere conditions[J]. Journal of Postharvest Biology and Technology, 2004(33): 51～59.

2 祝美云, 党建磊, 魏征, 等. 壳聚糖复合涂膜保鲜鲜切莲藕的研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 145～147.

3 赵春霞, 胡蓉, 冯丽萍. 涂膜处理对氩气气调包装的鲜切香菇品质的影响[J]. 包装工程, 2013(5): 14～19.

4 李松林. 壳聚糖结合气调包装对樱桃萝卜保鲜的研究[J]. 食品工业科技, 2012(10): 326～329.

5 王肽, 谢晶. 臭氧水处理对鲜切茄子保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2013(15): 324～327.

6 Bibhuti B M, Satyendra G, Arun S. Browning of fresh-cut eggpant: Impact of cutting and storage[J]. Journal of Postharvest Biology and Technology, 2012(67): 44～51.

7 Zhou Pei-gen, Smith N L, Lee C Y. Potential purification and some properties of Monroe apple peel polyphenol oxidase[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 1993(4): 532～536.

8 Xing Ya-ge, Li Xi-hong, Xu Qian-lian, et al. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (Nelumbo nucifera Gaerth)[J]. Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010(11): 684～689.

9 周静亚, 徐忠传, 马春朋. 壳聚糖在鲜切果蔬保鲜中的应用[J]. 食品研究与开发, 2009(10): 130～133.

10 Pen L T, Jiang Y M. Effects of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut Chinese water chestnut[J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36(3): 359～364.

(上接第 96 页)

通过对偏心链轮机构运动仿真结果可知:① θ_1 和 θ_2 分别为从动链轮具有最大、最小角速度时主动链轮的瞬时转角,这两个极值点将作为包装机横封机构的热封点;② 当两链轮的回转中心距 L 增大时,从动链轮的极限角速度几乎不变,但其对应的主动链轮极限角 θ_1 和 θ_2 变化较大。在结构允许的情况下,适当增大 L 有利于满足横封机构让袋的工艺需求;③ 偏心链轮的偏心距 e 变化时,从动链轮的极限角速度及其对应的极限角 θ_1 和 θ_2 会发生较大变化。在包装袋长度较大时,应在较大的极限角速度下进行热封,即选择较大的链轮偏心距。因此根据袋长按照匀速可以计算出包装袋的下降速度,从而通过仿真便可确定出链轮偏心距 e。

5 结论

借助 SolidWorks 三维软件完成了对全自动立式包装机的传动系统和横封机构的参数化建模和模拟仿真,解决了包装袋易错边、起皱、夹料和封口不平的问题。已成功地对某药业公司的 10 台 DXDK40II 型包装机实施了改进,提高了设备的自动化程度和包装质量。为节约成本尽量保留了原设备的传动结构,对今后新开发的包装机可以采用全电动方式,各执行机构均采用步进电机或伺服电机直接驱动,将大幅简化传动系统,缩短生产周期、扩大设备应用范围。

参考文献

1 许林成. 包装机械原理与设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004: 122～177.

2 肖蓉川. 偏心链轮机构在颗粒包装机中的分析与设计[J]. 包装工程, 2008, 29(7): 57～59.

3 韩炬, 王莹, 郭亚楠. 包装机热封机构的建模及动力学分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 146～148.

4 陈士祥, 束蓓, 邵刚. 一种新型立式充填自动包装机的系统[J]. 包装与食品机械, 2007, 23(6): 28～33.

5 黄文华. 基于 Solidworks 的齿轮 CAD 关键技术的研究[J]. 制造业自动化, 2011, 33(16): 67～70.

6 陈鹏飞. 基于 ModelCenter 的精密气浮工件台系统建模与参数优化[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2014(4): 15～18.

7 杨振和, 苏振华, 杨卓. 齿轮轴承结构参数优化设计[J]. 食品与机械, 2011, 27(2): 50～51.

8 孙斐. 自顶向下的旋转阀参数化设计[J]. 食品与机械, 2011, 27(2): 52～53.

9 陈塞克, 凌轩. 基于 Solidworks 齿轮连杆机构的运动仿真[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 177～179.