

基于同步带传动的高位袋装码垛机设计

Design of high bag palletizing machine based on synchronized belt drive

张建强 陈 星 刘智鹏

ZHANG Jian-qiang CHEN Xing LIU Zhi-peng

(华南理工大学广州学院机械工程学院, 广东 广州 510800)

(Guangzhou College of South China University of Technology, School of Mechanical Engineering, Guangzhou, Guangdong 510800, China)

摘要:为了实现高速、稳定的自动化码垛,设计了依靠同步带轮、链条等传动方式让袋装物料完成高位自动码垛,对袋装物料的各项参数和码垛要求进行了说明;设计了基于同步带传动的堆叠机构,介绍了此机构进行自动码垛的工作原理,并经过分析计算确定堆叠机构所采用的同步带带轮型号;同时对码垛机主轴基于 SolidWorks Simulation 进行了有限元静态分析,分析结果表明其符合设计要求。

关键词:袋装物料;高位码垛机;自动码垛;同步带轮

Abstract: In order to obtain the high-speed and stable automatic stacking, a high-position automatic stacking of bagged materials was designed, by using synchronous pulley and chains. The parameters and stacking requirements of the bagged materials were explained, and the stacking mechanism was presented based on synchronous belt driving. The working principle of the automatic stacking was shown, and the stacking mechanism through analysis and calculation were determined. Finally, the static analysis of the stacker spindle, based on SolidWorks Simulation, was carried out, and the simulation results showed that the design could meet the requirements.

Keywords: bag material; high-position stacker; automatic stacking; synchronous pulley

目前仓库码垛袋装货物常采用人工码垛或码垛机器人进行码垛,人工码垛存在劳动强度大,效率低问题,而品牌众多的码垛机器人(日本 FANUC、安川,德国的 KUKA,美国的 Boston Dynamics,以及瑞士的 ABB)普遍存在单价过高、维修成本高、维修周期长等问题,这些码垛机器人在中国企业应用较少。

高位袋装码垛机是自动化立体仓库的重要组成部分,通常为了节约储存空间,码垛机能够以其自动化且能够实现对袋装物料的规则堆码,实现合理摆盘,符合行业生产需要,降低了自动化成本,让大中小企业都能更好地享受低成本、高速和稳定的自动化码垛。研究拟以袋装物料装盘码垛为例,设计一种基于同步带传动的高位袋装码垛机,在满足企业生产作业需求的同时,高位袋装码垛机还具有造价相对较低、码垛速度快、稳定性高等特点,能大程度上节省人力,也能降低企业生产成本。

1 物料、托盘介绍及码垛要求

1.1 托盘和袋装物料的尺寸和重量

应用在该款码垛机的托盘尺寸为 $1\,500\text{ mm} \times 1\,300\text{ mm} \times 140\text{ mm}$,托盘的单个重量为 40 kg ,托盘的宽度方向有两个贯通的开槽方便叉车进行货物运输。托盘尺寸示意图 1。

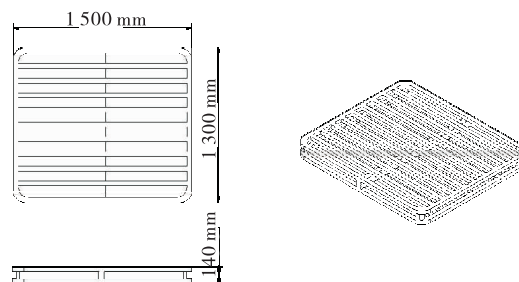


图1 托盘尺寸图

Figure 1 Pallet size diagram

袋装物料选用的尺寸约为 $750\text{ mm} \times 550\text{ mm} \times 150\text{ mm}$,单包物料重量约为 40 kg 。

1.2 袋装物料的码垛要求

码垛搬运行业对袋装物料的码垛排放的形状是有特定的要求^[1],在行业当中通常使用以下4种垛型:平齐式码放、正反交错码放、旋转交错码放、纵横交错码放。

基金项目:广东省大学生创新创业训练计划项目(编号:JY181401)
作者简介:张建强(1984—),男,华南理工大学广州学院助理研究员,工学学士。E-mail: zhangjq@gcu.edu.cn
收稿日期:2019-11-12

1.2.1 平齐式码放 货物在托盘上朝着一个方向并排并列从最底层码放到最顶层的形式,如图 2 所示。其特点是摆放形式整齐,货物的 4 个边角对齐,承受载荷大,但由于货物层与层之间无法啮合,使得货物之间失去对应关系,容易引起垛型分离,牢固性变差。

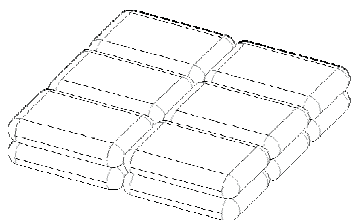


图 2 重叠式码放示意图

Figure 2 Overlapping code playback diagram

1.2.2 一正一反分割码放 同层不同行的货物一正一反地分列码放,层与层之间货物反向堆放,如图 3 所示。其特点是上、下层之间各呈方向咬合,强度高,稳定性较强。但由于 4 个边角不能一一对应,在托盘上无法达到平衡重量,削弱了托盘承重能力。

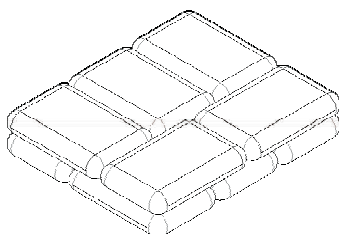


图 3 正反交错码放示意图

Figure 3 Interleaving code player diagram

1.2.3 回旋首尾交接码放 此方式每层货物均呈风车型,层与层之间货物一一对应堆叠,互相咬合交叉,如图 4 所示。其特点是货物在托盘上码放稳定性高,层与层之间的交叉呈正方形垛,货垛更加牢固,但增加了码放难度,且由于中间存在空位,造成托盘装载能力下降。

1.2.4 横竖交替码放 此方式是将托盘上层与下层之间货物摆放呈 90°角堆放,即一层横向放置,一层纵向放置,

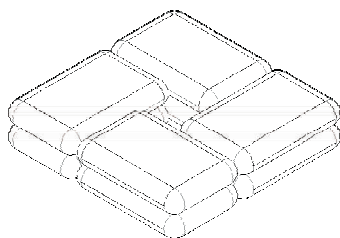


图 4 旋转交错码放示意图

Figure 4 Rotating interlaced code player diagram

如图 5 所示。其特点是适合码放呈正方形货垛,货物之间的相互交错增加了摩擦力和咬合力,层与层之间联系密切,增加货垛牢固性。

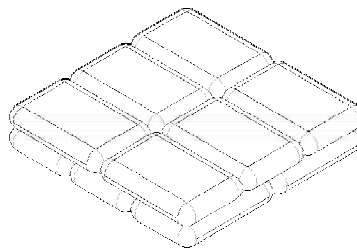


图 5 纵横交错码放示意图

Figure 5 Interlaced code playback diagram

该款码垛机额定工作效率为 ≥ 400 袋/h,码垛层数 8~10 层,垛型要求牢固、定量、整齐、以及方便堆放和运输。同时对于码放的形状有着咬合强度高和稳定性强的要求,同时根据行业的一般标准,选择正反交错码放的垛型^[2]。

2 高位袋装码垛机方案设计

2.1 码垛机功能确定总体模型

该款码垛机具有的主要功能为:托盘储存功能、货物抬升功能、托盘自动进给功能、托盘抬升功能、货物自动码放功能^[3]。

2.1.1 托盘存储功能 码垛机是全自动的码垛设备,需要具有将托盘存储的功能缩短人工干预的周期,提高码垛机的生产效率。

2.1.2 货物抬升功能 该款码垛机为高位码垛机,货物的编码高度必须大于最大的层数高度,利用重力的作用将货物逐层堆垛。

2.1.3 托盘自动进给功能 根据自动化设备的要求,需要托盘从存储区到工作区实现自动转移和定位。

2.1.4 托盘抬升功能 由于货物是在固定的高度经过重力作用最终完成码放的,这就要求货物下降的高度不能太高而且是固定不变的,以达到质量统一的标准。因此托盘需要抬升的高度必须随着工作过程不断变化。

2.1.5 货物自动码放功能 这是码垛机的核心功能,试验选择的垛型为正反交错码放,货物需要有 90°的旋转,因此该功能要实现货物在预定地点和预定姿态投放。

2.2 码垛机模块化处理

机械设计中的模块化应用是现代机械设计当中最常见和最广泛的设计方法^[4]。在码垛机的整体设计中应用模块化设计方法,其第一步即对码垛机各模块进行科学划分,在划分好模块后需要确定模块的具体功能,普通的模块功能都比较单一,但有些模块需具备多种功能来满足现实使用的需求。同时在组装过程中应确保模块的完整性和独立性,因而在后期的保养和维修过程

中能够及时更换,保证生产节拍和生产效率。最终根据市场调研和对码垛机功能和结构进行分析,完成划分模块的检验。

根据上述内容,码垛机可以大致的分为托盘储存模块、托盘抬升模块、3轴移动平台编码模块、送料模块、输送带模块。码垛机的整体示意图如图6所示。

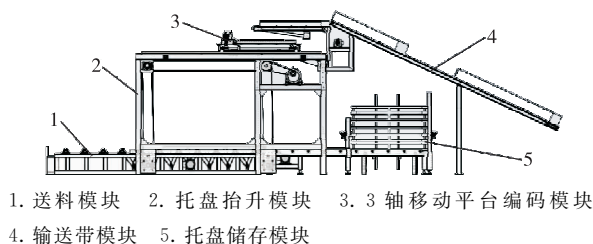


图6 码垛机整体示意图

Figure 6 Overall sketch of palletizer

3 堆叠机构的设计

堆叠机构核心组成部分是3轴移动平台编码模块,该模块主要是依靠伺服电机驱动同步带传动在X轴、Y轴上平移以及Z轴的90°旋转,其中X轴的导轨安装在托盘抬升模块的码垛机机架顶部,如图7所示。

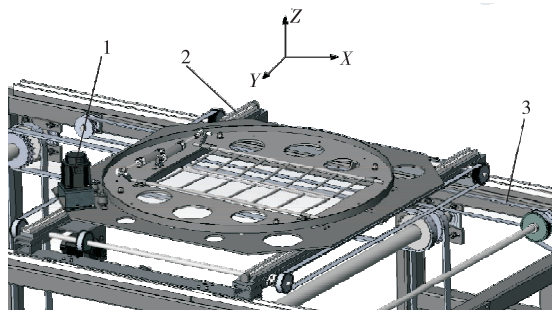


图7 3轴移动平台编码模块在整体中示意图

Figure 7 Schematic diagram of the coding module of the three-axis mobile platform as a whole

货物由输送带和平台的同速运动过程中,从输送带的末端转移到3轴移动平台上,平台在PLC的控制下将指定的货物运送至指定的位置后,由气缸将合页打开,货物经重力的作用完成码垛。为了保证码垛的精度和编程的方便性,采用伺服电机作为动力来源^[5]。

3.1 X、Y轴传动机构分析

在X、Y轴上采用同步带传动,同步带传动是一种啮合型的带传动^[6]。同步带的内表面等距分布着横向齿和同步带轮的齿槽相对应,通过两齿之间的啮合来传递运动。该种传动方式没有传统带传动的相对滑动,能够保证传动比。

同步带的本体是聚氨酯或氯丁橡胶,具有弹性,同步

带的负载层采用的是伸缩率很小的钢丝或者玻璃纤维压铸成型,在同步带工作时受到拉力和应力作用的伸缩率非常小,保证了同步带的节距保持不变,使得同步带和带轮能够正常啮合获得准确的传动比。

码垛机的3轴移动平台中X和Y轴的传动,通过同步带与移动平台的固定来实现,将电机的旋转运动转化为直线运动,如图8所示,固定板的作用是将同步带和平台实现连接起来。

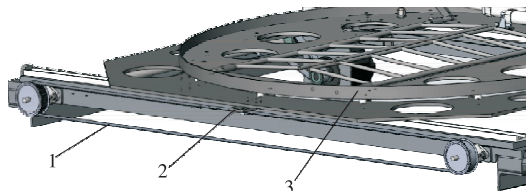


图8 同步带传动示意图

Figure 8 Synchronized belt drive diagram

3.2 绕Z轴旋转平台设计

3轴移动平台的第3轴为绕Z轴旋转90°的旋转轴,根据垛型的要求货物需要有交错90°的码放位置。由于平台需要将货物旋转后放下,所以3轴移动平台最上层的圆盘必须整体旋转,但会导致需要旋转的圆盘面积较大。圆盘的旋转传动的方式最终锁定在齿轮传动和同步带传动中,进行二选一。

齿轮传动的方案需要将齿条安装在圆盘上,或者将圆盘进行激光切割,在圆盘的边缘制成齿轮模样,在这个方案当中圆盘的加工费用高昂。

同步带传动方案中,电机直接连接同步带轮,将同步带剪断,同步带的两端用螺丝固定在圆盘上,并将同步带绕过电机的同步带轮。利用同步带和圆盘相对静止,电机带动同步带来实现圆盘的旋转运动^[7]。同步带的布局简图如图9所示。

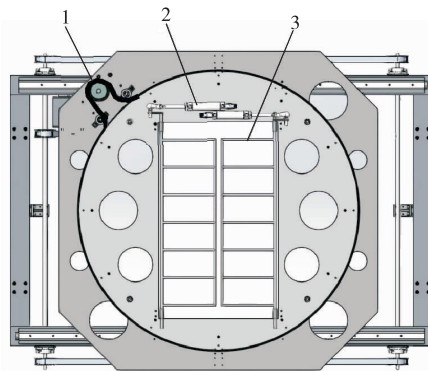


图9 同步带的布局简图

Figure 9 Synchronization belt layout

4 高位码垛机上同步带轮选型分析

同步带轮传动是靠同步带齿与同步带轮齿之间的啮合实现传动,两者无相对滑动,而使圆周速度同步,故称为同步带传动。在堆叠机构中,同步带在伺服电机带动下长距离的传动过程也能具有比较高的精度,比较低廉的成本,综上所述码垛机的 3 轴移动平台的传动结构选择同步带传动。如图 9 所示,设计中所用同步带轮所处的位置在可移动转盘,可移动转盘两个动作需要使用到同步带轮,即转盘对物料的旋转摆放及水平输送,从而实现在堆垛板对物料进行自动规则堆叠。因此,在可移动转盘上实现这两个动作进行运动计算分析,根据运动所需条件进行同步带轮选型^[8]。

4.1 绕 Z 轴方向旋转的同步带及带轮选型计算

旋转方向设计要求:带动物料需要力 196 N,转盘直径 1.45 m,转动半圈需要同步带轮持续工作 1 s。

(1) 设计功率:按式(1)计算。

$$P_d = K_A \times P, \quad (1)$$

式中:

P_d ——设计功率,kW;

K_A ——载荷修正系数;

P ——传递功率的功率,kW。

传递功率的功率按式(2)计算。

$$P = \frac{Fv}{\eta} \times 10^{-3}, \quad (2)$$

式中:

P ——传递功率的功率,kW;

F ——带动物料需要力,N;

v ——速度,m/s;

η ——工作效率。

根据式(2)求得: $P=0.32$ kW。同步带普通每天使用 8~10 h,查表取载荷修正系数 $K_A=1.9$,根据式(1)求得: $P_d=0.6$ kW。

(2) 带型选择:根据式(1)求得的结果和带轮转速 $n=30$ r/min,查表优选 8M 圆弧齿同步带轮。

(3) 带轮齿数 z 及节圆直径 d_1 :根据带速 v 和安装尺寸允许,查表选择同步带轮齿数 $z=22$,节距 $p_b=8$ mm。根据式(3)求得节圆直径 $d_1=56$ mm。

$$d_1 = \frac{z \times p_b}{\pi}, \quad (3)$$

式中:

d_1 ——节圆直径,mm;

z ——同步带轮齿数;

p_b ——节距,mm。

(4) 带速 v :根据式(4)求得带速 $v=0.087$ m/s。

$$v = \frac{\pi d_1 n}{60 \times 1\,000}, \quad (4)$$

式中:

v ——速度,m/s;

d_1 ——节圆直径,mm;

n ——转速,r/min。

(5) 基准额定功率 P_0 :由 $z=22, d_1=56$ mm, $n=30$ r/min 查表得 $P_0=0.07$ kW。

(6) 带宽 b_s :啮合修正系数 K_Z 查表可取 1.0,带长修正系数 K_L 查表可取 1.02,基准带宽 $b_{s0}=20$ mm。根据式(5)求得 $b_s \geq 33.17$ mm。

$$b_s \geq b_{s0} \sqrt[1.14]{\frac{P_d}{K_L K_Z P_0}}, \quad (5)$$

式中:

b_s ——带宽,mm;

b_{s0} ——基准带宽,mm;

P_d ——设计功率,kW;

K_L ——带长修正系数;

K_Z ——啮合修正系数;

P_0 ——基准额定功率,kW。

因此选定旋转方向同步带轮:带轮型 8M 圆弧齿同步带轮,节圆直径 56 mm,齿数 22,带轮总宽 33.17 mm。

4.2 水平同步带及带轮选型计算

水平方向设计要求:带动物料移动需要力 100 N,向前 2 m 所需时间 2 s。

(1) 设计功率:根据式(2)求得 $P=111.11$ W。根据每天工作 16 h 的工作情况,查表取载荷修正系数 $K_A=1.9$,根据式(1)求得设计功率 $P_d=211.11$ W。

(2) 带型选择:根据 $P_d=211.11$ W 和带轮转速 $n=100$ r/min,查表可选 5M 圆弧齿同步带轮。

(3) 带轮齿数 z 及节圆直径 d_1 :根据带速 v 和安装尺寸允许, z 尽可能选择较大值,通过查表选择,齿数 $z=20$,节距 $p_b=5$ mm,根据式(3)求得,节圆直径 $d_1=31.83$ mm。

(4) 带速 v :根据式(4)得带速 $v=0.17$ m/s。

(5) 基准额定功率 P_0 :由 $z=40, d_1=31.83$ mm, $n=100$ r/min 查表得 $P_0=0.035$ kW。

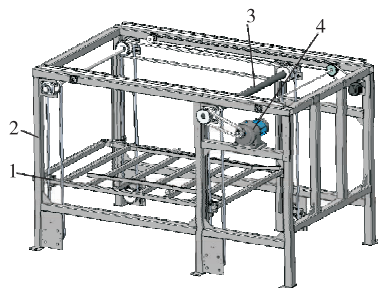
(6) 带宽 b_s :啮合修正系数 K_Z 查表可取 1.0,带长修正系数 K_L 查表可取 1.02,基准带宽 $b_{s0}=9$ mm。根据式(5)得 $b_s \geq 9.20$ mm。

因此选定旋转方向同步带轮:带轮型 5M 圆弧齿同步带轮,节圆直径 31.83 mm,齿数 20,带轮总宽 9.20 mm。

5 主轴的有限元分析

码垛机的主轴是整个系统当中最主要的承重结构,利用 SolidWorks Simulation 对托盘抬升模块的主轴进行静应力及有限元分析^[9]。SolidWorks 在具有非常完善的零件建模功能之外,还有同样方便设计师的零件装配功

能。在使用 SolidWorks 的装配模块时可以对零部件进行关联的设计修改。装配体的运动可以通过配合关系来实现,在软件当中能够进行运动仿真进而对零部件的运动过程中可以完成动态的零部件干涉检测和间隙检测。托盘提升模块的模型就是一个比较大装配体,如图 10 所示,在该装配体当中托盘架在机架当中上下运动,在托盘运动的上下限位能够直观地看出托盘是否具有干涉现象。



1. 托盘架 2. 机架 3. 主轴 4. 电机

图 10 托盘提升模块

Figure 10 Pallet lifting module

5.1 前处理

(1) 将机架导入 SolidWorks Simulation 模块中,新建算例静应力并添加上述参数,结果如图 11 所示。



图 11 新建算例

Figure 11 New example

(2) 设置主轴的材料。材料为 45 号钢,45 号钢的物理属性如图 12 所示,弹性模量为 $2.09 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$,泊松比为 0.269,中抗剪模量 $8.23 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$,屈服强度 355 MPa,热膨胀系数为 $1.17 \times 10^{-5} \text{ K}$ 。

(3) 固定主轴。主轴是由两个固定在码垛机的机架上的球面轴承固定,主轴固定的位置如图 13 所示。

(4) 确定外部载荷。主轴的载荷由两部分组成,扭矩和径向压力,其中扭矩为工作扭矩 $1496.55 \text{ N} \cdot \text{m}$,径向压力为 1494617 N/m^2 ,作用的位置如图 14 所示^[10]。

(5) 网格划分。在 SolidWorks Simulation 中具有非常强大的自适应网格划分功能,并且可以微调网格的大小和类型如图 15 所示。

5.2 码垛机主轴有限元分析

在静应力分析的算例当中,计算出结果包括了应力、位移和应变^[11]。如图 16 所示,最小应力为 $1.940 \times 10^3 \text{ N/m}^2$,最大应力为 $1.227 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 。根据有限元分析得到,码垛机主轴的设计是符合要求的,对于轴承受的弯矩过大时会出现的断裂现象,可以将轴承支撑的位置

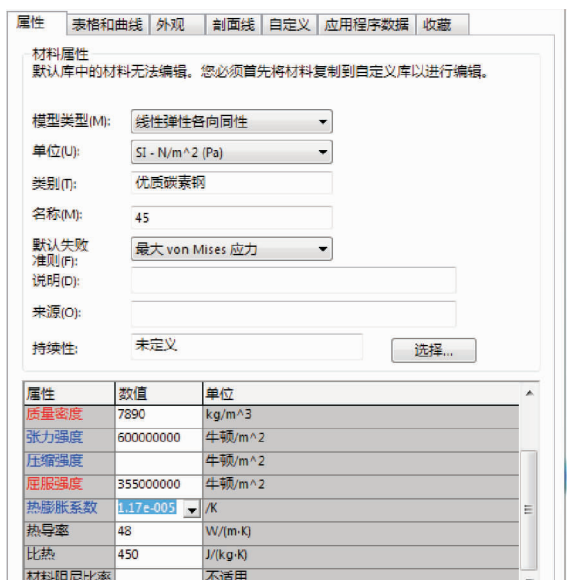


图 12 45 号钢的物理属性

Figure 12 45 physical properties of steel



图 13 主轴夹具设置

Figure 13 Spindle fixture settings



图 14 外部载荷示意图

Figure 14 Outer load diagram



图 15 主轴网格划分

Figure 15 Dividing spindle mesh

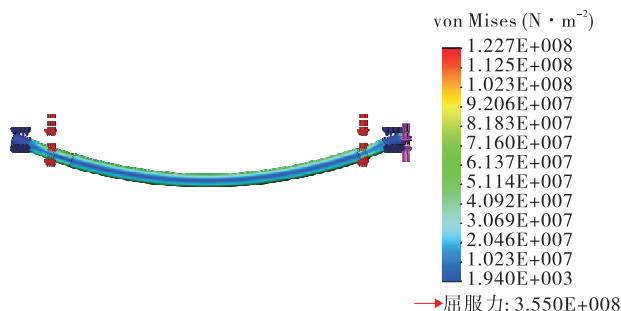


图 16 主轴有限元分析结果

Figure 16 Finite element analysis of spindle

尽量靠近径向压力的作用位置上。

(下转第 132 页)

合微孔 PE 保鲜膜条件下,成熟度对灵武长枣贮藏品质的影响。在低温低压静电场条件下,微孔 PE 保鲜膜袋包装半红期的枣果实硬度在整个贮藏过程中明显高于全红期 ($P<0.05$),贮藏 60 d 时,2/3 红期处理组抗坏血酸含量比全红期处理组高 10.45%,2/3 红期处理组可溶性固形物含量比半红期处理组高 28.05%。与贮藏初期相比,2/3 红期处理组的总酸降幅为 20%,半红期处理组的失重率仅为 3.43%。整个贮藏过程中,全红期的枣果实失重率和硬度下降最为迅速,贮藏保鲜品质最差,半红期的枣果由于发育不良,虽然枣果硬度和失重率下降最为缓慢,也能很好地维持总酸含量的下降,延长贮藏时间,但可溶性固形物、抗坏血酸含量和感官评价与 2/3 红期相比均较低,缺乏应有的风味,而 2/3 红期处理组的枣果实整个贮藏过程中保持良好的感官性状,贮藏 70 d 仍能保持良好的食用状态和贮藏品质,更有利于贮藏保鲜。下一步研究低压静电场技术和成熟度在其他水果保鲜方面的应用提供了广阔的市场应用前景。

参考文献

- [1] 贾昊,李玲,曹兵. 磁化水灌溉对设施灵武长枣生长与果实品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(11): 2 280-2 286.
- [2] ZHOU He-ying, JIA Ji-peng, KONG De-can, et al. Genome-wide identification and analysis of the DREB genes and their expression profiles under abiotic stresses in Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.)[J]. Journal of Forestry Research, 2019, 30(4): 1 277-1 287.
- [3] 周英杰,谢超,梁佳,等. 低压静电场协同低温对水蜜桃储藏保鲜过程中品质的影响[J]. 浙江海洋大学学报: 自然科学版, 2019, 38(5): 429-435.
- [4] 李海波,谢超,梁瑞萍,等. 基于低压静电场技术(LVEF)协

- 同低温对舟山杨梅保鲜过程中品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 265-270.
- [5] JING Yuang-yuang, MA Xuan, JIN Peng, et al. Effects of harvest maturity on chilling injury and storage quality of apricots[J]. Journal of Food Quality, 2018(1): 1-7.
- [6] 徐燕红,宋倩倩,胡斌,等. 采收成熟度对毛花猕猴桃华特果实采后品质和贮藏性的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 521-531.
- [7] 常雪花,王振菊,陈振涛,等. 不同成熟度对冬枣采后贮藏品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(6): 890-895.
- [8] 孙蕾,王太明,刘元铅,等. 冬枣不同采收成熟度对贮藏品质的影响[J]. 经济林研究, 2004(2): 33-34.
- [9] 闫超,苏彩霞,刘晓红,等. 不同成熟度“新郑红 3 号”营养品质的研究[J]. 北方园艺, 2019(5): 65-69.
- [10] 李金娜. 温度结合低压静电场对灵武长枣贮藏保鲜效果的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019: 4-6.
- [11] 崔宽波,范新光,杨忠强,等. 近冰点贮藏对小白杏采后品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(3): 247-253.
- [12] 张继明,张新,李喜宏,等. 枣果简约冷链物流中蓄冷保温关键参数研究[J]. 食品工业, 2018(1): 132-135.
- [13] 张哲,张秋月,王怀文,等. 冰温贮藏对采后葡萄果实品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 156-159.
- [14] 韩昌烨,赵丽,曹兵,等. 喷施氮肥对灵武长枣营养生长和果实品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(6): 106-112, 117.
- [15] 罗冬兰,林明俊,尤勇刚,等. 李子贮藏保鲜技术研究进展[J]. 南方农业, 2018, 12(34): 56-58.
- [16] 梁琪琪,张润光,刘皓涵,等. 低温结合薄膜包装对石榴果实采后生理及贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 187-191.
- [17] 付云云,蒋成,闫小倩,等. 水杨酸处理对苡苡保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 157-162.

(上接第 115 页)

6 结论

(1) 试验设计的袋装码垛机依靠堆叠机构以同步传动的方式按照场合要求逐层堆叠码放袋装物料,这种传动方式由伺服电机驱动,通过模块化设计为袋装物料的码垛提供一种可以实现自动堆垛且能根据袋装物料形状的不同来合理调整摆放位置,能够满足码垛行业的实际生产要求,轻松实现码垛的各种垛型需求。

(2) 设计仍然有一些不足,例如整机设计的重量较大,对于产能小的企业仓库并不适用。但在机构设计方面考虑了其在自动立体仓库的实用性价值,以及码垛机的应用方法当中,依靠高位袋装自动堆垛的方法解决袋装物料分类码垛问题。

参考文献

- [1] 鄢腊梅. 工程图学在堆垛方式与堆垛强度研究中的应用[J]. 包装工程, 2000(5): 41-43.

- [2] 管小清,罗庆生. 码垛机器人交错式码放样式算法的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 83-86.
- [3] 关慧贞. 机械制造装备设计[M]. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2014: 5.
- [4] 戚昌滋. 机械现代化设计方法学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987: 138.
- [5] 孔祥. 电机与拖动[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2016: 269.
- [6] 欧云金. 同步带轮的设计与制造[J]. 机械设计与制造, 1988(6): 39-40.
- [7] 濮良贵,陈国立,吴立言. 机械设计[M]. 9 版. 北京: 高等教育出版社, 2013: 140.
- [8] 庄工. 同步带传动的设计计算和使用[J]. 机械制造, 1989(12): 9-12.
- [9] 江洪. SolidWorks 有限元分析实例解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 93.
- [10] 秦雪梅,李冬冬. 工程力学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2013: 166.
- [11] 王伟,张秀梅. SolidWorks2016 工程应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2016: 330.