快递纸箱打包机设计

谢炳光，韦磊，李福敏，岑光杜，孙迪，江山
（广西大学 机械工程学院，南宁 530004）

摘要：目的 研究一种能够提高快递包装效率的辅助夹持装置。**方法** 通过研究快递包装的流程及方法，利用所设计出的提升机构、夹持机构、旋转封胶机构来实现快递辅助包装的工作，利用 Ansys 和 Matlab 进行仿真试验，确定机构可行性之后，制作出物理样机，并进行实地试验。**结果** 结果显示，包装成功率在 95.3%左右，满足了辅助人工包装快递的实际需求；机器包装连续率在 96.1%以上，装置在工作时具有较高的可靠性；连续对多个纸箱进行包装的工作情况下，平均包装每个纸箱耗时 13 s 左右，缩短人工包装所需时间的 55.3%以上。**结论** 快递夹持辅助包装机能够辅助工作人员实现快递包装的夹持工作，能够减轻快递包装人员的劳动强度，提高工作效率。

关键词：快递包装；夹持；运动与力学模型；仿真试验
中图分类号：TB486.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2019)17-0123-08
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.17.018

Design of Express Carton Packaging Machine

XIE Bing-guang, *WEI Lei*, *LI Fu-min*, *CEN Guang-du*, *SUN Di*, *JIANG Shan*
(School of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

ABSTRACT: The work aims to study an auxiliary clamping device that can improve the efficiency of express packaging. By researching the process and method of express packaging, the designed lifting mechanism, clamping mechanism and rotating sealing mechanism were used to realize the work of express auxiliary packaging. Ansys and Matlab were applied to carry out simulation experiment to determine the feasibility of the mechanisms, make the physical prototype and carry out the field test. The results showed that, the packaging success rate was about 95.3%, which satisfied the actual demand of assisting the manual express packaging. The continuous rate of machine packaging was above 96.1%, and the working reliability of the device was high. Under the working condition of continuously packaging multiple cartons, the average packaging time for each carton was about 13 s, which reduced the time required for manual packaging by more than 55.3%. The express clamping auxiliary packaging machine is able to assist the staff in realizing the clamping work of express packaging, which can reduce the labor intensity of express packaging personnel and improve the work efficiency.
KEY WORDS: express packaging; clamping; movement and mechanics model; simulation experiment

在国内互联网的普及下，电商行业发展迅猛，人们已经养成了网上购物的习惯。在现代物流行业中，多数采用纸箱包装的方式运送质量和体积较大且容易损坏的物件。现存的专门针对纸箱包装而设计的机械中，进口的纸箱包装机械虽然功能完备，包装效率高，但是造价十分昂贵，并且一旦出现故障需要专人维护；国内的包装机械普遍自动化程度低，体积过于庞大不便于使用，因此大多数快递公司包装纸箱依然

收稿日期：2019-04-19
基金项目：广西大学国家级大学生创新创业训练计划（201810593016）
作者简介：谢炳光（1963—），男，广西大学工程师，主要研究方向为机械创新设计。

采用传统人工打包的方式，即将纸箱双手升起之后便用胶带在纸箱的封口和 6 个面处反复缠绕，以保证包装的牢固。这种方式包装纸箱费时费力，若遇到质量大而且体积也大的纸箱物件，则需要几个操作人员共同完成打包，导致整个包装工作效率较低[1]。

为了提高整个纸箱包装流程的效率，减轻操作人员的劳动强度，针对整个纸箱包装流程的特定需求，设计一种机电一体、功能可靠稳定、结构巧妙的快递包装夹持装置，以实现代替人工将纸箱物件抬起、放下，对纸箱物件进行悬空旋转动作的功能[2]。

1　工作原理

设计一种快递包装夹持装置，包括空间连杆夹持机构、物件旋转机构以及链式升降机构。空间连杆夹持机构利用步进电机为整个夹持机构提供夹持力，控制步进电机旋转角度可以精确地控制空间连杆夹持机构的张角，实现夹具对不同大小快递物件的夹持。物件旋转机构的转向架连接着夹具，转向架旋转运动实现夹具的旋转动作。链式升降机构通过链条传动，实现夹具的升降功能。3 个机构共同完成辅助快递物件“升降-悬空-旋转”的动作。将需要包装的纸箱快递物件放在夹具下，夹具下降将纸箱夹紧后上升至半空中，人工将胶带接触纸箱后夹具带动整个纸箱旋转，剪断胶带完成对纸箱侧面的缠绕。夹具放下纸箱由人工翻转纸箱，重复以上动作，完成对纸箱上下、侧面的连续封装。快递包装夹持机构见图 1。

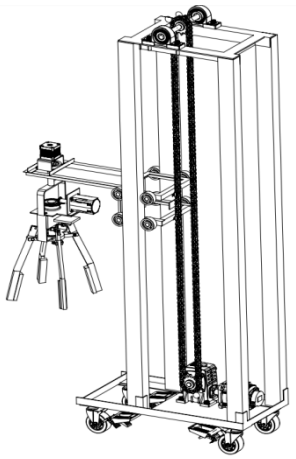


图 1　总体结构设计
Fig.1 Overall structural design

2　总体技术与结构方案设计

2.1　纸箱快递包装工艺需求分析

具体的操作过程：将需要包装的纸箱快递物件放至夹持位置；升降步进电机将夹具下降到合适的高度后，启动夹持步进电机，驱动夹持杆夹持纸箱；启动升降步进电机，使夹持杆带动纸箱至合适的位置并悬空停留；人工将胶带接触纸箱后，夹具带动整个纸箱旋转，随后剪断胶带完成对纸箱侧面的缠绕；再次启动升降步进电机和夹持步进电机，夹具放下纸箱并松开夹持杆后由人工翻转纸箱，重复以上动作，完成对纸箱上下、侧面的连续封装[3—4]；纸箱 6 个面均已缠绕上胶带，移走纸箱后便完成整个包装过程。

2.2　总体设计原理

在空间连杆夹持机构、物件旋转机构以及链式升降机构 3 个机构上，都安装了步进电机作为驱动源。空间连杆夹持机构通过空间连杆，将电机轴的旋转运动转换为夹持杆的左右摆动。其中，为保证夹持提升加速过程中纸箱不掉落，与纸箱接触的表面摩擦因数应尽可能提高，夹持杆的夹头处安装有表面摩擦因数大的橡胶条；物件旋转机构安装在链式升降机构提升架上，通过转向架与夹具相连，进而通过电机带动纸箱进行旋转运动。3 个机构分别实现以下功能。

1）物件夹紧/松开。启动夹持电机，通过空间连杆夹持机构的连杆传动，将转轴的转动转换为夹持连杆的左右摆动，形成夹紧与松开物件的动作。

2）物件提升/下降。启动提升电机，通过链式升降机构中的链条传动，带动提升架进行上下运动，进而实现物件的提升和下降功能。

3）物件悬停/旋转。利用链式升降机构中的蜗轮蜗杆减速箱的自锁性，当提升电机停止时物件仍能悬停在空中，提升架上安装有一个电机用于带动物件的空中旋转，辅助操作者进行对纸箱的包装工序[5—6]。

3　主要机构的设计

3.1　空间连杆夹持机构

机构以步进电机为动力源，通过一对锥齿轮的啮合将电机的动力传递至转轴上。转轴安装在机架的轴承中，连杆Ⅰ一端通过铰链与转轴相连，另一端通过铰链与连杆Ⅱ相连，连杆Ⅱ另一端与夹持杆通过铰链相连，在连杆Ⅱ两端的 2 个铰链轴线互为空间正交关系。夹持杆上的另一点通过铰链安装在机架上，形成旋转副。整体为空间连杆传动机构。当转轴来回转动，通过连杆Ⅰ与连杆Ⅱ控制夹持杆左右摆动的张角，使整个夹持机构形成对纸箱物件进行夹持或者松开的动作。

3.2　链式升降机构

该机构以步进电机为动力源，通过蜗轮蜗杆减速箱将电机的动力传送至链条。底座下方万向轮使整个机构便于转移，蜗轮蜗杆减速箱安装在底座上，其输出轴安装有链轮用于带动链条，链条另一端与顶部的链轮配合形成悬空状态。提升架通过螺栓与链条的链板相连接，安装在提升架的 8 个导轮用于定位其在导

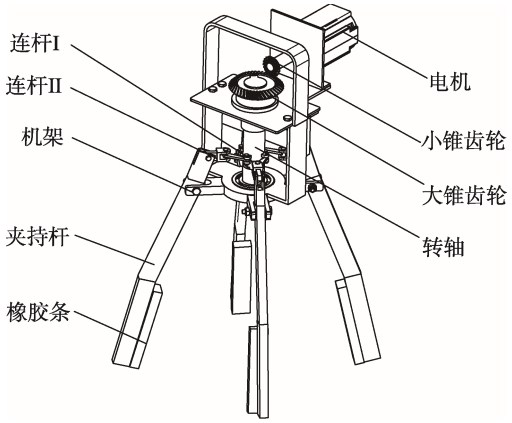


图 2　空间连杆夹持机构
Fig.2 Clamping mechanism of space connecting rod

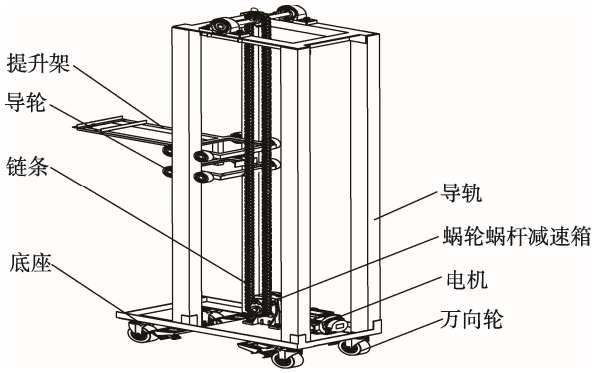


图 3　链式升降机构
Fig.3 Chain hoist

轨上的运动方向，且可以减小运动时的摩擦力，使提升和下降纸箱物件过程更加平稳。通过电机带动链条运转，使提升架进行上下运动，进而使被夹持的纸箱物件上升或者下降。

4　运动与力学模型

该快递夹持辅助包装机利用机械结构和电控系统，实现对快递包装箱的夹持、提升和旋转运动，设定空间连杆夹持机构的电机的转速和转矩保持不变，设夹持机构的中间转轴的转动角度为 Φ_1，转动角速度为 ω_1，电机驱动时间为 t_1。

上部电机直接驱动夹持机构在水平面内旋转 180°，实现旋转封胶运动。空间连杆夹持机构的运动性能影响着能够夹持纸箱体积的大小，同样影响着夹持力。对空间连杆夹持机构建立运动与力学模型，分析出夹持纸箱大小的范围、夹持运动效率和夹持稳定性等技术特征。链式提升机构的运动提升性能，影响着工作效率和提升纸箱的质量极限。

4.1　空间连杆机构运动学分析

针对空间连杆机构进行运动学分析，运动学简图见图 4[7]。观察运动简图，根据空间连杆机构的封闭矢量方程式[8]，将封闭连杆机构在两坐标轴上的投影分量和为 0 的特性，可得如下各杆件的空间位置方程：

$$\begin{cases} l_1\cos\theta_1 - l_2\cos\theta_2 + l_3 + l_4\cos\theta_4 = l_7\cos\theta_7 \\ l_1\sin\theta_1 - l_2\sin\theta_2 + S - h = l_4\sin\theta_4 \\ l_1\sin\theta_1 = l_2\sin\theta_2 \end{cases} \tag{1}$$

式中：l_1，l_2，l_3，l_4 为各连杆的长度。解上述空间连杆机构的位置方程，可以得到连杆 2 与 x 轴正方向的夹角 θ_2 和连杆 4 与 Z 轴正方向的夹角 θ_4，以及中间移动副的移动量 S 关于 θ_1 的方程，θ_1 为中间转轴的转动角度，其运动规律为 $\theta_1 = \omega_1 t_1$：

$$\begin{cases} S = l_4\sqrt{1 - \dfrac{\left(l_4\cos\theta_7 - l_1\cos\theta_1 + l_2\cos\theta_2\right)^2}{{l_4}^2}} + \\ \quad l_2\sin\theta_2 + h - l_1\sin\theta_1 \\ \theta_4 = \arccos\left(\dfrac{l_7\cos\theta_7 - l_1\cos\theta_1 + l_2\cos\theta_2}{l_4}\right) \\ \theta_2 = \arcsin\left(\dfrac{l_1}{l_2}\sin\theta_1\right) \end{cases} \tag{2}$$

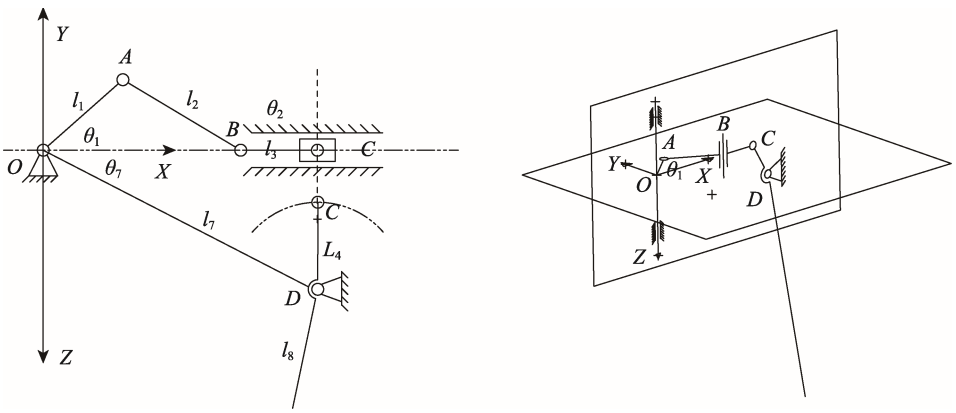


图 4　空间连杆夹持机构的运动学简图
Fig.4 Kinematics diagram of clamping mechanism of space connecting rod

对运动位置方程求导，并写成矩阵形式。对速度矩阵方程求导，可得到加速度矩阵方程，根据速度矩阵方程和加速度矩阵方程可以求得各杆件的转动角速度、角加速度以及中间移动副的移动速度和移动加速度：

$$\begin{bmatrix} l_2\sin\theta_2 & -l_4\sin\theta_4 & 0 \\ -l_2\cos\theta_2 & -l_4\cos\theta_4 & 1 \\ l_2\cos\theta_2 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \omega_2 \\ \omega_4 \\ \dot{S} \end{bmatrix}=\omega_1\begin{bmatrix} l_1\sin\theta_1 \\ -l_1\cos\theta_1 \\ l_1\cos\theta_1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} l_2\sin\theta_2,-l_4\sin\theta_4,0 \\ -l_2\cos\theta_2,-l_4\cos\theta_4,1 \\ l_4\cos\theta_4,0,0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_4 \\ \ddot{S} \end{bmatrix}= \begin{bmatrix} \omega_2 l_2\cos\theta_2,-\omega_4 l_4\cos\theta_4,0 \\ \omega_2 l_2\sin\theta_2,\omega_4 l_4\sin\theta_4,1 \\ -l_2\sin\theta_2\omega_2,0,0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \omega_2 \\ \omega_4 \\ \dot{S} \end{bmatrix}+\omega_1\begin{bmatrix} l_1\cos\theta_1\omega_1 \\ l_1\sin\theta_1\omega_1 \\ -l_1\sin\theta_1\omega_1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

式中：ω_1，ω_2，ω_4 为曲柄 1、连杆 2 和连杆 4 的转动角速度；α_2 和 α_4 为连杆 2 和连杆 4 的转动角加速度。解上述方程即可求得连杆 2 和连杆 4 的运动的特征量，根据连杆 4 的转动角速度，可得夹持机构末端点 E 的位置方程，建立 E 点的位置方程，然后对位置方程求导可得到 E 点的速度分量方程：

$$\begin{aligned} X_E &= l_7\cos\theta_7+l_8\cos\theta_4+a_x\sin\left(\theta_8-\frac{\pi}{2}-\theta_4\right) \\ Y_E &= S-h-l_4\sin\theta_4-l_8\sin\theta_4-a_x\cos\left(\theta_8-\frac{\pi}{2}-\theta_4\right) \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{bmatrix} v_{EX} \\ v_{Ey} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \dot{x}_E \\ \dot{y}_E \end{bmatrix}= \begin{bmatrix} -l_8\sin\theta_4-a_x\cos\left(\theta_8-\frac{\pi}{2}-\theta_4\right),0 \\ -l_4\cos\theta_4-l_8\cos\theta_4-a_x\sin\left(\theta_8-\frac{\pi}{2}-\theta_4\right) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \omega_4 \\ \dot{S} \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中：X_E 为 E 点沿 x 方向的位置；Y_E 为 E 点沿 y 轴方向的位置；v_{EX} 为 E 点沿 x 方向的速度；v_{EY} 为 E 点沿 y 轴方向的速度。因为 θ_4 关于 θ_1 的方程前文中已求得，$\theta_1=\omega_1 t_1$，所以通过上述矩阵方程可以解得 E 点的位置及速度大小随时间的变化关系。

4.2　空间连杆机构夹持力分析

该连杆夹持机构的夹持力影响着夹持纸箱的稳定性和工作性能，通过对空间连杆夹持机构进行受力分析，通过分析夹持机构的受力分析图，可将其分析为对心曲柄滑块机构[9]，进行公式推导可建立力矩平衡方程：

$$\begin{aligned} &T=F_2\cos\left(\theta_2-\theta_1-\pi/2\right) \\ &F_2=F_3/\cos\left(\pi-\theta_2\right),F_3=F_4 \\ &F_{\mathrm{N}}\cos(\theta_8-\theta_4-\pi/2)+l_8\sin\theta_4=F_4 l_4\sin\theta_4 \end{aligned} \tag{7}$$

解得：

$$F_{\mathrm{N}}=\frac{T/\left[l_1\cos(\theta_2\text{-}\theta_1\text{-}\frac{\pi}{2})\right]\cos(\pi-\theta_2)}{a_x\cos\left(\theta_8-\theta_4-\frac{\pi}{2}\right)+l_8\sin\theta_4}$$

其中：

$$\theta_4=\arccos\left(\frac{l_7\cos\theta_7-l_1\cos\theta_1+l_2\cos\theta_2}{l_4}\right),$$

$$\theta_2=\arcsin\left(\frac{l_1}{l_2}\sin\theta_1\right)$$

式中：T 为电机转矩；F_1, F_2, F_3，F_4 均为各杆件所受的力；F_{N} 为夹持力。

4.3　空间连杆机构夹持力与纸箱承受载荷分析

为防止纸箱损伤，取橡胶材料弹性模量远小于纸箱弹性模量，使纸箱形变尽可能小，且在夹取纸箱过程中必须保证夹持力不能超过纸箱耐压强度。由于设计橡胶夹头材料弹性模量远小于纸箱材料的弹性模量，理论上将橡胶夹头与纸箱的接触划分为柔体与刚体接触问题[10]。为了简化工程计算，视柔体与刚体接触是一个面面接触过程，橡胶夹头给纸箱施加正压力，接触面摩擦因数为定值，夹持力与纸箱载荷的运动学模型方程为：

$$m_1 g+m_1\frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2}=4\mu_0 F_N \tag{8}$$

式中：m_1 为提升的快递物件质量；μ_0 为橡胶夹头与纸箱接触面的摩擦因数。

4.4　链式提升机构的运动力学模型

该装置选用 HEM-24D5007 型步进电机，额定功率为 200 W，最大输出转矩为 T=3 N·m，设定转数恒为 n=500 r/min。蜗轮蜗杆减速箱选用型号为 WPA-40，传动比为 i=1/10，传动效率为 η_1=0.85。采用节距 p=12.7 mm，齿数为 z=12，分度圆直径为 d=46.07 mm 的链轮，配合滚子链带动快递物件上下运动，该机构传动效率为 η_2=0.95。支撑顶部链轮的一对轴承传递效率为 η_3=0.99。实际中影响链式提升机构提升物件运动过程的，除了电动机输出转矩和各传动机构的机械效率外，在低速的运动过程中受到的摩擦力也有很大影响。故该提升机构的运动学模型为：

$$\begin{aligned} &m_1 g+m_2 g+m_3 g+m_4 g+\left(m_1+m_2+m_3+m_4\right)\frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2}=F_{\mathrm{e}}-F_f \\ &F_{\mathrm{e}}=1000\frac{P}{v}\eta_1\eta_2\eta_3 \end{aligned} \tag{9}$$

式中：m_2 为空间连杆夹持机构的质量；m_3 为物件旋转机构的质量；m_4 为提升架及其导轮的质量；

F_e 为链条上的有效拉力；F_f 为导轨导轮接触的摩擦力；v 为链条的速度；P 为链条所传递的功率。

导轮导轨的摩擦力模型：导轮在反复升降过程中与导轨存在接触滚动摩擦力，接触滚动摩擦力与导轨表面粗糙度、长度、平面度、受力变形程度、导轨安装的预紧力，以及提升架加上负载后产生的力矩引起的每个导轮与导轨的接触力不同等因素有关，诸多影响因素使建立精确的数学模型十分困难，并且可以在电机最大负载能力范围内采用补偿机制控制提升运动过程的速度，故采用实验测定摩擦力数值，利用最小乘二法推导出近似的拟合公式。实验从 m_1g=0 开始，以 50 N 的等距间隔依次增长，直至 m_1g=500 N，用测力计测量以 v 匀速提升过程的接触滚动摩擦力，取在导轨不同位置时最大摩擦力数值，利用 Matlab 软件中的 polyfit 命令，进行数据三次多项式拟合[11]：m_1g=0∶5∶50；F_f=[4.11, 9.18, 16.86, 21.13, 23.84, 25.79, 29.31, 34.49, 39.78, 44.41, 51.23]。

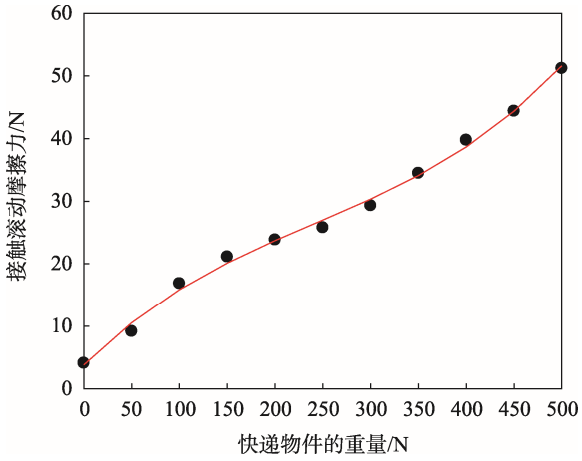


图 5　摩擦力拟合曲线
Fig.5 Fitted curve of friction force

得到在 v 速度匀速运动下，G_1 与接触滚动摩擦力 F_f 的拟合公式为：

$$F_f = 4.88\times10^{-7}G_1^3 - 0.354\times10^{-4}G_1^2 + 0.151G_1 + 3.82 \quad (10)$$

可提升快递物件最大质量的确定：由链式提升机构的运动学模型求解可提升最大的快递物件质量，测得 G_2=62.3 N，G_3=22.8 N，G_4=48.7 N，带入式（6）和（10）可求解得理论上的可提升物体最大质量，考虑到机械设计中取的安全系数，此提升机构适宜提升 50 kg 以内的快递物件。

5　仿真试验

5.1　仿真目的

利用虚拟样机仿真软件 UG 和 Ansys 来验证快递夹持辅助包装机工作的可靠性和稳定性，仿真目的为：验证辅助包装机的夹持机构的张合范围对不同大小的纸箱具有一定的适应性；验证包装机各机构的运行效率满足要求；验证包装机的夹持力满足要求；验证包装机的关键部件满足强度刚度要求。

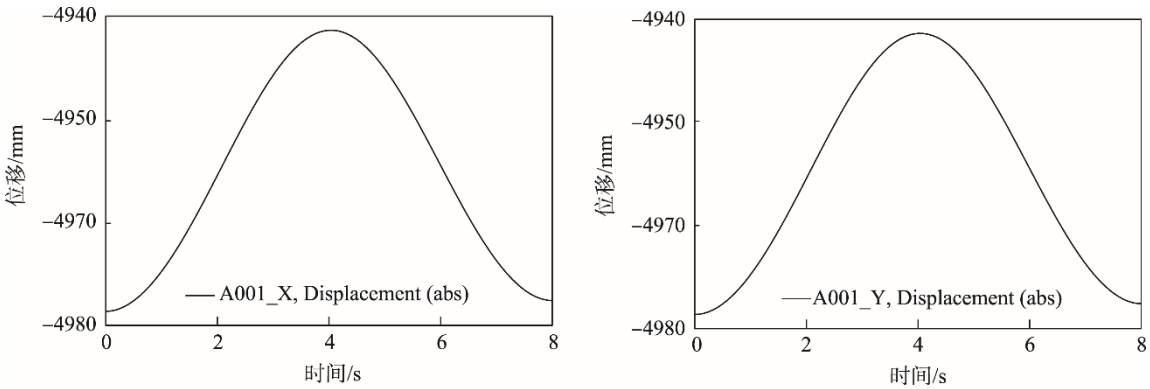
5.2　夹持机构适应性仿真

通过三维绘图软件 UG NX 进行三维建模，再将实体模型在 UG 的运动仿真模块中进行运动学仿真，在 UG 中

对实体模型添相应的运动约束，进行运动学与夹持力的仿真[12—13]。

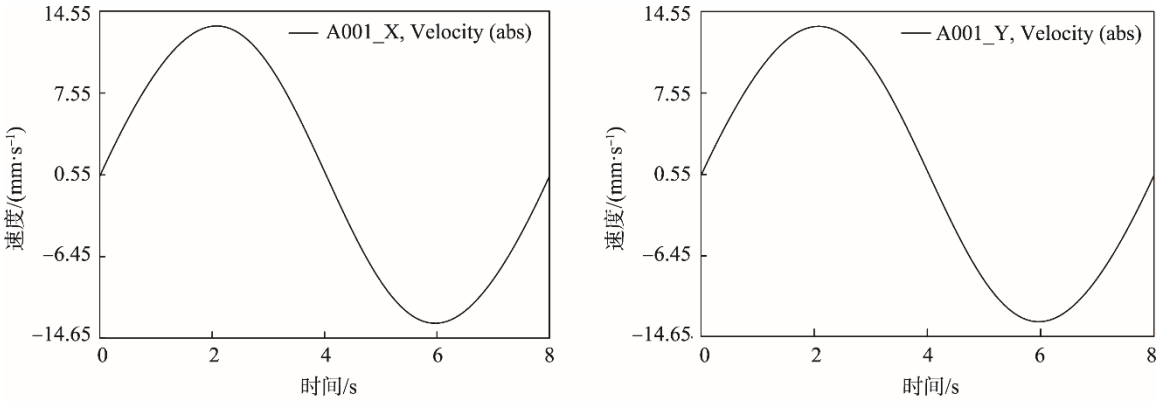
设置原点为空间连杆夹持机构的中间转轴的轴线与曲柄转动所在的水平面的交点，y 方向为快递夹持辅助包装机正面所对方向，x 方向为快递夹持辅助包装机侧面所对方向，z 方向为垂直于水平面向上的方向。连杆夹持机构末端点 E 的具体运动轨迹和速度曲线见图 6 和 7。

通过观察运动轨迹可以知道，快递包装辅助夹持机具有良好的适应性，其能夹持的纸箱箱宽度的变化范围为 43×2=86 mm，结合已知的基本尺寸参数可知道，其能夹持的纸箱宽度的范围在 218~304 mm 之间，具有良好的适应性，且运动速度连续稳定，能满足使用要求。



a　E点x-t位移曲线　　b　E点y-t位移曲线

图 6　运动轨迹
Fig.6 Motion track



a *E*点*x*-*t*位移曲线　　b *E*点*y*-*t*位移曲线

图 7　速度曲线

Fig.7 Speed curve

5.3　空间连杆机构夹持力与纸箱承受载荷仿真

通过实验测试，该装置的橡胶夹头与纸箱的接触摩擦因数为 μ_0 =0.63，在纸箱保持微小形变范围内，夹持力与纸箱承受载荷之间应成线性关系，将夹持力等间距加载至纸箱表面，纸箱可承受的载荷见图 8。

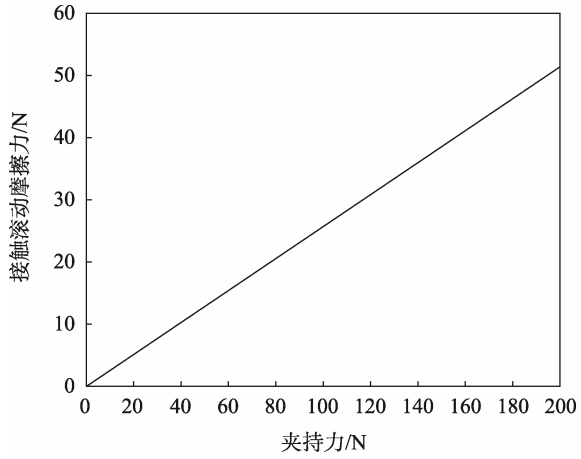


图 8　夹持力与纸箱载荷分析

Fig.8 Analysis of clamping force and carton load

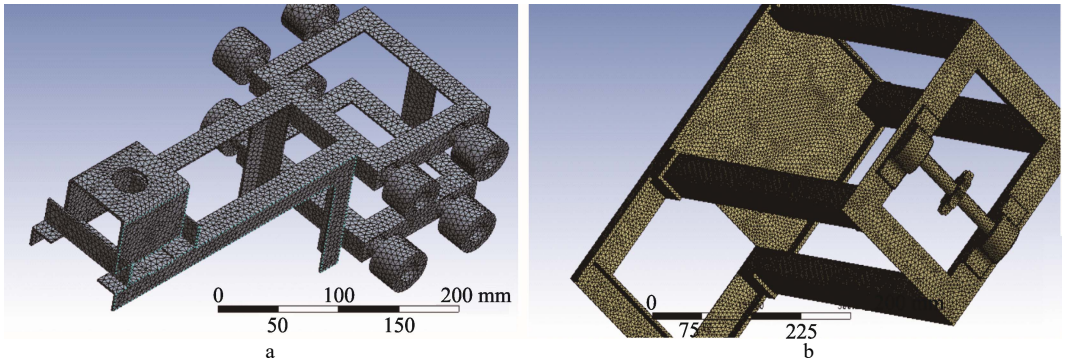
5.4　整机关键部件力学性能仿真

滑移升降架和支撑机架是影响快递包装的关键零部件，选用角钢为主体焊接结构，选择材料为 45 号优质碳素结构钢，其屈服强度为 345 MPa。对 2 个模型进行简化，将模型导入 Ansys Workbench 中，网格划分采用六面体，划分网格结果见图 9，滑移升降架模型有 90 961 个节点，49 302 个单元。支撑机架模型有 541 786 个节点，287 865 个单元[14]。

由于在提升包装过程中，整体运行速度较低，故忽略动载荷的影响。定义升降快递箱的质量为 20 kg，支撑机架的应力及应变云图见图 10。可以知道，支撑机架整体无应力集中，整体应力较小，取安全系数为 2，机架的最大应力为 9.4655 MPa，小于材料的许用应力 172.5 MPa，最大应变仅为 0.15 mm，可以满足刚度要求。

升降滑移架应力应变云图见图 11，可知：其在悬臂梁首段存在最大应变位移点，其最大位移为 1.5617 mm，基本满足刚度要求，取安全系数为 1.2，升降滑移架上的最大应力位于悬臂梁末端，应力值为 199.53 MPa，小于材料的许用应力 287.5 MPa。

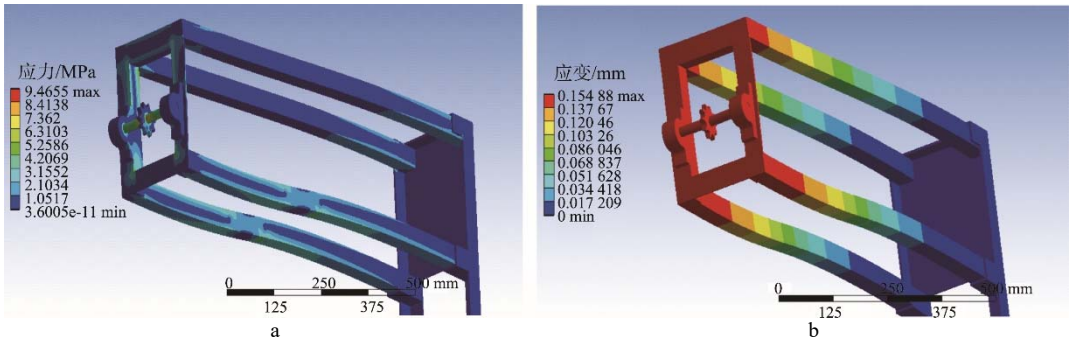
通过以上关键部件的仿真分析可知，快递夹持辅助包装机的关键部件能够满足强度及刚度要求，并得出了其强度、刚度薄弱部位，为后续研究提供了理论基础。



a　　b

图 9　有限元网格划分

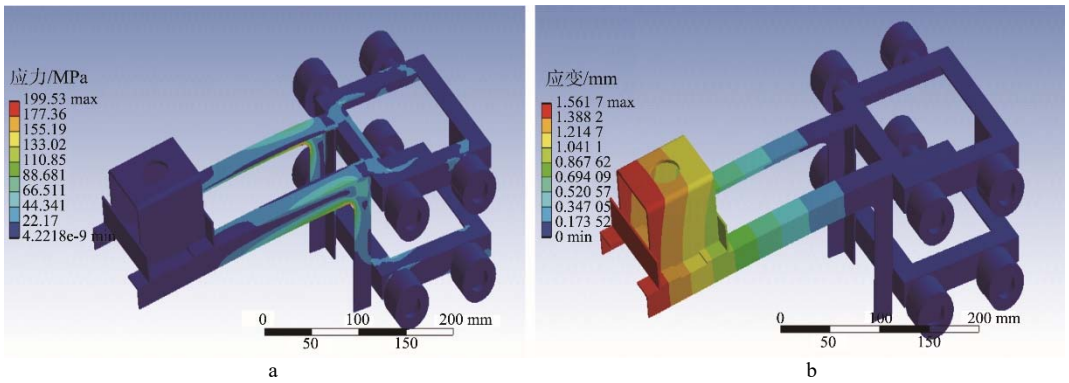
Fig.9 Finite element meshing



a　　b

图 10　支撑机架应力与应变分析

Fig.10 Support frame stress and strain analysis



a　　b

图 11　升降支撑架应力与应变分析

Fig.11 Stress and strain analysis of lifting support frame

6　实物研制与试验

通过对所设计的装置进行理论计算与计算机模拟仿真，设计的快递包装夹持装置满足了设定的性能要求，在实际测试中具有很高的可靠性与一定的适应性，实物样机见图 12。

图 12　装置样机

Fig.12 Device prototype

在实际测试中，将纸箱快递物件分为 2 组反复进行人工与机器包装的试验。第 1 组对相同质量物品，长宽高为 25 cm×20 cm×15 cm 和 50 cm×40 cm×30 cm 大小不同的纸箱进行包装；第 2 组对相同尺寸大小、分别装有 5 kg 与 10 kg 物品的纸箱进行包装。2 组都以 20 个纸箱进行测试，性能指标试验数据见表 1[15]。

表 1　性能指标测试数据

Tab.1 Test data of performance indexes

包装数量（规格）	人工时间/s	机器时间/s	机器包装成功率/%	机器包装连续率/%
20（小）	345	254	100.0	100.0
20（大）	448	286	97.3	99.4
20（轻）	359	263	100.0	100.0
20（重）	687	307	95.3	96.1

由表 1 分析可知，设计的快递包装夹持装置具有辅助人工进行纸箱快递包装的功能，在连续对多个纸箱快递包装的工作情况下，平均每个纸箱包装耗时 13 s 左右，缩短人工包装所需要的时间在 55.3%以上，具有较高的工作效率，减轻了人工劳动强度，且所包装的纸箱数目越多、尺寸越大、质量越大，时间优势越明显；同时包装成功率维持在 95.3%以上，工作性能比较稳定，机器包装连续率（即机械故障维护所需时间占总工作时间比率）在 96.1%以上，完成的质量较高，具有一定的实用价值[16]。

7　结语

设计的快递包装夹持装置可快速、稳定、可靠地实现夹持、升降、旋转功能，机器包装成功率在 95.3%

左右，满足了辅助人工包装快递的实际需求；机器包装连续率在 96.1%以上，装置在工作时具有较高的可靠性；连续对多个纸箱快递包装的工作情况下，平均对每个纸箱包装耗时 13 s 左右，缩短人工包装所需要时间的 55.3%以上。相比传统的人工包装而言，提高了工作效率，减轻了人工劳动强度。装置整体结构简单，易于制造和使用，具有较高的经济价值。文中基于快递包装夹持装置的研究，有助于包装机械向自动化、多用途、多方向发展[16]。

参考文献：

[1] ANONYMOUS. New Study Projects World Demand for Packaging Machinery to 2017[J]. Modern Materials Handling, 2013, 68(10): 1—5.

[2] 徐锋，纪杨建，祁国宁，等. 基于低碳与成本约束的机电产品包装概念设计[J]. 机械工程学报，2014, 50(10): 199—205.
XU Feng, JI Yang-jian, QI Guo-ning, et al. Packaging Conceptual Design of Mechanical and Electrical Products Based on Low-carbon and Cost Constraint[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(10): 199—205.

[3] 常勇，杨富富，李延平. 糖果包装机中凸轮连杆—组合机构的尺寸综合研究[J]. 中国机械工程，2012, 23(17): 2023—2030.
CHANG Yong, YANG Fu-fu, LI Yan-ping. Research on Size Synthesis of Cam-linkage Mechanism in a Candy Packaging Machine[J]. China Mechanical Engineering, 2012, 23(17): 2023—2030.

[4] ZHANG H. Design and Implementation of the Clamping Device for the Underwater Blast Shoveling[J]. Applied Mechanics & Materials, 2015, 77, 5(1): 68—72.

[5] 孟彩茹，张高青，李夏楠，等. 夹持机械手爪机构的设计与优化[J]. 机械设计与制造, 2016(6): 70—74.
MENG Cai-ru, ZHANG Gao-qing, LI Xia-nan, et al. Design and Optimization on Clamping Gripper Mechanism[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016 (6): 70—74.

[6] 高德. 包装机械设计[M]. 北京：化学工业出版社, 2005.
GAO De. Packaging Machinery Design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.

[7] 华大年，华志宏. 连杆机构设计与应用创新[M]. 北京：机械工业出版社, 2008.
HUA Da-nian, HUA Zhi-hong. Design and Application Innovation of Connecting Rod Mechanism[M]. Beijing: China Machine Press, 2008.

[8] 濮良贵，陈国定，吴立言. 机械设计[M]. 北京. 高等教育出版社, 2013.
PU Liang-gui, CHEN Guo-ding, WU Li-yan. Machinery Design[M]. Beijing: Higher Education Press, 2013.

[9] 蔡泰信，和兴锁，朱西平. 理论力学[M]. 北京：机械工业出版社, 2007.
CAI Tai-xin, HE Xing-suo, ZHU Xi-ping. Theoretical Mechanics[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.

[10] 郭益. 气动膜片式码垛机夹持装置的设计与分析[D]. 太原：太原理工大学, 2013.
GUO Yi. Design and Analysis of Clamping Device of Pneumatic Diaphragm Piler[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2013.

[11] 杨炼，陈芳，谭理. Matlab 多项式数据拟合的案例式教学设计[J]. 教育现代化, 2019, 6(9): 93—95.
YANG Lian, CHEN Fang, TAN Li. Case Teaching Design Based on Matlab Polynomial Data Fitting[J]. Modernization of Education, 2019, 6(9): 93—95.

[12] GAO B, ZHANG X G, CAI J F, et al. An Exploration on the Innovation Methods of the Printing and Packaging Machinery Based on Simulation[J]. Applied Mechanics and Materials, 201(401/402/403): 26—30.

[13] 刘伟达，刘剑雄，毕世英，等. 基于 ADAMS 的夹钳动力学仿真分析[J]. 机械设计与制造，2005(11): 52—54.
LIU Wei-da, LIU Jian-xiong, BI Shi-ying, et al. Dynamic Simulation Analysis of Clamp Based on ADMAS[J]. Machinery Design & Manufacture, 2005(11): 52—54.

[14] 韩江. 仿真分析带式输送机机架受力作用[J]. 机械管理开发, 2019, 34(2): 101—103.
HAN Jiang. Simulation Analysis of the Mechanical Action of Belt Conveyor Frame[J]. Machinery Management and Development, 2019, 34(2): 101—103.

[15] 卢煜海，毕伟，马彦杰，等. 气动书籍连动装袋装置设计[J]. 包装工程, 2017, 38(7): 146—150.
LU Yu-hai, BI Wei, MA Yan-jie, et al. Designing and Researching on Pneumatic Interlock Book Packaging Device[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(7): 146—150.

[16] 李丰延，成铭，王瑞，等. 快递包装夹持装置的设计与研究[J]. 绿色包装, 2018(9): 77.
LI Feng-yan, CHENG Ming, WANG Rui, et al. Design and Research of Express Packaging Clamping Device[J]. Green Packaging, 2018(9): 77.