

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2021.05.017

衣物自动包装机折叠机构设计与优化

蔡田, 李佳, 罗石元*, 陈帅

(武汉科技大学冶金装备及其控制省部共建教育部重点实验室, 湖北 武汉 430081)

摘要:针对目前衣物包装机中折叠衣物部分结构复杂,其控制系统灵敏度、协调能力低下等问题,课题组设计了一种新型衣物折叠机构。首先,基于单驱动多凸轮的传动方式提出了折叠机构的设计方案与工作原理;其次,利用解析法对机构中曲柄滑块以及凸轮轮廓的尺度参数进行分析与确定;最后,通过ADAMS软件对机构进行运动仿真,并对运动过程中的最小传动角进行优化。其优化结果表明:最小传动角相较于优化前增大62%,满足设计要求。对比传统衣物折叠机构,该机构实现了以单个原动件来完成衣物的折叠过程,具有控制效率高,传动性能好和成本低等优点。

关键词:衣物包装机;折叠机构;曲柄滑块;凸轮轮廓;ADAMS软件

中图分类号:TB486.03;TH112.2

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2021)05-0090-06

Design and Optimization of Folding Mechanism of Automatic Clothing Packing Machine

CAI Tian, LI Jia, LUO Shiyuan*, CHEN Shuai

(Key Laboratory of Metallurgical Equipment and Control Technology of Ministry of Education,
Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: In view of the complex structure of the folding part of the current clothing packaging machine, and the low sensitivity and coordination ability of the control system, a new type of clothing folding mechanism was designed. Firstly, based on the transmission mode of single drive and multiple cams, the design scheme and working principle of folding mechanism were proposed. Secondly, the scale parameters of the slider-crank and the cam profile in the mechanism were analyzed and determined by the analytical method. Finally, the motion simulation of the mechanism was carried out by ADAMS software, and the minimum transmission angle in the process of motion was optimized. The optimization results show that the minimum transmission angle increases by 62% compared with that before optimization and, which meets the design requirements. Compared with the traditional folding mechanism, this mechanism realizes the folding process of clothing by a single original moving part, which has the advantages of high control efficiency, good transmission performance and low economic cost.

Keywords: clothing packing machine; folding mechanisms; slider-crank; cam profile; ADAMS

近年来,随着服装生产向全面自动化与无人工厂的方向发展,自动包装装置已逐步应用于服装自动生产线中^[1-2]。衣物自动包装机主要由衣物输送机构、衣物折叠机构和衣物装袋机构组成。其中衣物折叠机构是实现衣物包装自动化的关键一步,其性能直接影响了整体的包装速度与包装精度。

目前,国内已有诸多衣物折叠机构的设计与研究见诸报端,其中多数为通过折叠板翻转来实现衣物折叠。钱帧志等^[3]通过“L”形曲拐与电机输出轴连接使顶翻板和侧翻板进行翻转折叠衣物;方敏^[4]通过单片机来控制各个折叠板的翻转顺序;梁一丁等^[5]基于DSP电子控制系统,实现了从衣物输送到衣物折叠并

收稿日期:2021-05-06;修回日期:2021-07-10

基金项目:武汉科技大学大学生创新创业训练计划项目(201710488039)。

第一作者简介:蔡田(1996),男,湖北武汉人,硕士研究生,主要研究方向为机构设计。通信作者:罗石元(1988),男,湖北武汉人,博士,讲师,硕士研究生导师,主要研究方向为先进制造技术及其数值模拟。E-mail:luosy1026@163.com

储藏的一整套工作流程;孙兆星等^[6]设计了一款实现衣物运送、衣架取出、折衣与收纳4项功能于一体的自动折衣收纳机。上述多种机构均能完成衣物的折叠,但都是基于多个电机控制各折叠板翻转完成折叠动作。多个电机的存在会导致控制系统复杂,进而导致系统整体的灵敏度、协调能力大幅下降,并使得机构本身的制造成本进一步增加。

针对上述问题,课题组设计了一款单驱动衣物折叠机构,旨在减少机构的控制需求同时降低经济成本。课题组首先提出由单电机带动双凸轮来实现间歇式折叠动作的技术方案,并对机构尺寸进行优化,最后在ADAMS中进行仿真,验证其设计的合理性。

1 折叠机构的设计方案

基于目前常用的衣物折叠机构,课题组提出新型折叠机构的设计任务与要求:

- 1) 机构以单个原动件驱动,无复杂控制电路;
- 2) 使折叠板实现 $0 \sim \pi/2$ 范围的转动;
- 3) 可以通过控制侧翻板与前翻板的转动顺序,实现位于不同位置翻板的间歇运动。

基于设计要求,选用单驱动多凸轮副的运动方式,利用凸轮机构使从动件按预定运动规律作间歇往复运动的工作原理,与连杆机构串联形成组合机构来完成衣物折叠过程。折叠机构的三维示意图如图1所示。

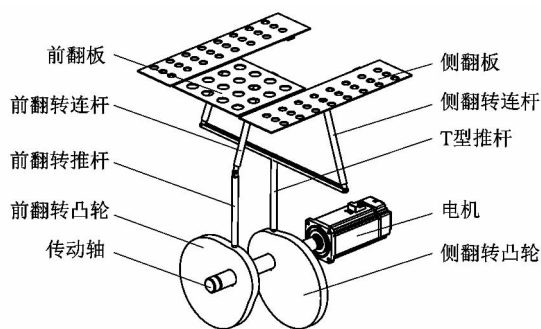


图1 折叠机构三维示意图

Figure 1 3D schematic diagram of folding mechanism

衣物的折叠过程可分为横向对折与纵向翻折2个步骤,为此整个机构可分为侧翻转机构与前翻转机构2部分,其中侧翻转机构由侧翻板、侧翻转连杆、T型推杆与侧翻转凸轮组成。为提高工作效率,使左右侧翻板与连杆并联到同一T型推杆上与凸轮串联,通过驱动电机带动传动轴同时进行左右翻板横向对折;前翻转机构由前翻板、前翻转连杆、前翻转推杆与前翻

转凸轮组成,通过同一电机的驱动,实现衣物的纵向翻折。

2 折叠机构参数设计

在折叠机构的参数设计中,由于侧翻转机构与前翻转机构所需设计的参数相同,并且侧翻转机构的翻板与连杆左右对称,故设计对象只选取侧翻转机构的右侧。

研究对象由曲柄滑块机构以及凸轮机构串联而成。为确定凸轮的轮廓曲线,首先需设计出曲柄滑块机构,得到该机构的运动关系,从而确定凸轮机构中从动件的运动规律。为此课题组分别对曲柄滑块机构和凸轮机构进行分析设计。

2.1 曲柄滑块机构的设计

2.1.1 尺度参数设计

以右翻板转动中心为原点建立坐标系,其转动中心与连杆铰接架的距离为 AB ,连杆为 BC ,推杆以滑块代替,将模型中的连杆机构转化为曲柄滑块机构,具体如图2所示。其中,推杆上升100 mm,翻板转动 $\pi/2$,并满足翻板转角 θ_i 与推杆位移 h_i ($i=1,2,3$) 之间的3个对应关系: $\theta_1 = 0, h_1 = 0$; $\theta_2 = \pi/4, h_2 = -57.0$ mm; $\theta_3 = \pi/2, h_3 = -100.0$ mm。

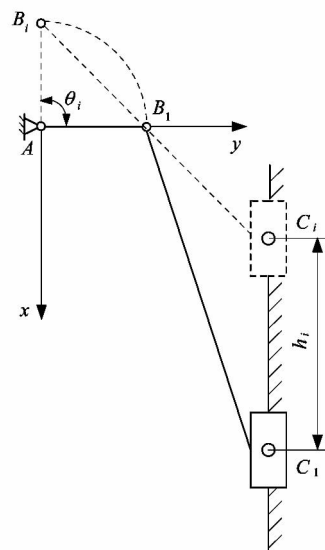


图2 简化曲柄滑块机构

Figure 2 Simplify slider-crank mechanism

利用位移矩阵法^[7-8]得出曲柄 AB 的转动矩阵

$$\mathbf{R}_{li} = \begin{pmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

由此可得点 B_i 的位置方程为:

$$\begin{pmatrix} x_{B_i} \\ y_{B_i} \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{R}_{li} \begin{pmatrix} x_{B_1} \\ y_{B_1} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

而 C 点作平移运动,则有:

$$\left. \begin{aligned} x_{C_i} &= x_{C_1} + h_i; \\ y_{C_i} &= y_{C_1} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

又根据杆长不变原则可得到以下约束方程:

$$(x_{B_i} - x_{C_i})^2 + (y_{B_i} - y_{C_i})^2 = (x_{B_1} - x_{C_1})^2 + (y_{B_1} - y_{C_1})^2 \quad (4)$$

联立式(1)~(4),给定 $AB = 75.0 \text{ mm}$,解得连杆 $BC = 200.0 \text{ mm}$,偏距 $y_c = 99.5 \text{ mm}$ 。

2.1.2 运动学分析

根据曲柄滑块机构建立运动分析封闭矢量图如图3所示,给定 AB 杆长为 l_1 , BC 杆长为 l_2 ,偏距 CD 为 e ,位移量 AD 为 s , AD , BC 与 x 轴夹角分别为 φ_1, φ_2 。

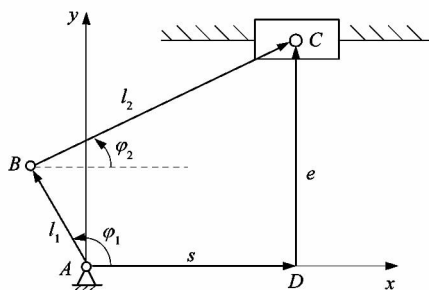


图3 封闭矢量图

Figure 3 Closed vector figure

按图3所示各构件矢量方向与其位置角,采用封闭矢量多边形投影法^[9],以封闭回路 $ABCD$ 建立矢量方程和其投影的坐标方程如下:

$$\mathbf{AB} + \mathbf{BC} = \mathbf{AD} + \mathbf{DC} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} s &= l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2; \\ e &= l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

对式(6)两边求关于时间的一阶导数,可得速度函数为:

$$\left. \begin{aligned} \dot{s} &= -l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 - l_2 \omega_2 \sin \varphi_2; \\ 0 &= l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 + l_2 \omega_2 \cos \varphi_2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

对式(6)两边求关于时间的二阶导数,可得加速度函数为:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{s} &= -l_1 \varepsilon_1 \sin \varphi_1 - l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 - l_2 \omega_2^2 \cos \varphi_2 - l_2 \varepsilon_2 \sin \varphi_2; \\ 0 &= l_1 \varepsilon_1 \cos \varphi_1 - l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 - l_2 \omega_2^2 \sin \varphi_2 + l_2 \varepsilon_2 \cos \varphi_2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式中: ω_1, ω_2 为杆 AB 和 BC 的角速度; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 为杆 AB 和 BC 的角加速度。

通过式(5)~(8),即可得到翻板(曲柄)与推杆(滑块)之间的运动关系。

2.2 凸轮轮廓设计

折叠机构在设计过程中,通过指定翻板的动作顺序便可推出凸轮的相位配合规律,其中折叠机构的动作顺序如图4所示,可分3个阶段:

- 1) 侧翻板向内转动,使衣物两侧完成横向翻折过程,前翻板静止不动;
- 2) 侧翻板向外转动回到初始位置,前翻板向内转动,使衣物整体完成纵向对折过程;
- 3) 前翻板向外转动回到初始位置,侧翻板静止不动。

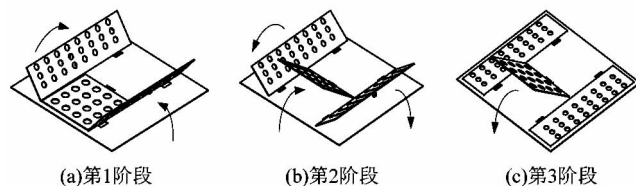


图4 折叠过程

Figure 4 Folding process

为了实现图4动作,采用直动尖顶推杆盘型凸轮机构,2个凸轮轮廓曲线一致,则给定2个凸轮的相位配合规律如表1所示。

表1 凸轮相位配合规律

Table 1 Cam rule of phase matching

凸轮转角/(°)	相位配合规律	
	侧翻转机构	前翻转机构
0 ~ 120	推程	休止
120 ~ 240	回程	推程
240 ~ 360	休止	回程

凸轮推杆运动方程即滑块的运动方程。凸轮从动件的运动方程,除了给定其相位配合规律之外,还需给出从动件运动规律。对于推程部分而言,衣物需在翻板转动过程中完成折叠动作,为此对翻板的运动规律有一定的要求。给定凸轮转速为定值,选用几种常用的凸轮从动件运动规律,结合曲柄滑块机构的速度、加速度分析,在翻板转动 $\pi/2$ 的情况下对其运动特性进行探究。

图5和图6所示为不同从动件运动规律下的角速度和角加速度。从图5和图6可以看出:除等速运动规律外,其余多种运动规律出现在翻板转动过程中。角加速度均出现负值,且角速度逐渐增加到峰值后即开始减小,而角速度峰值对应的是衣物与翻板的脱离,

最终结果就是衣物提前与翻板脱离使得折叠效果不佳。因此凸轮推程部分选取等速运动规律,在其运动规律下翻板角加速度始终为正,角速度逐渐增加,衣物与翻板脱离的时间点在行程的末端。

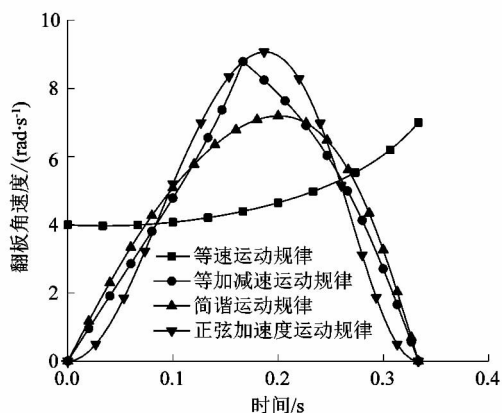


图5 不同从动件运动规律下的翻板角速度
Figure 5 Variation of angular velocity of turning plate under different follower motion law

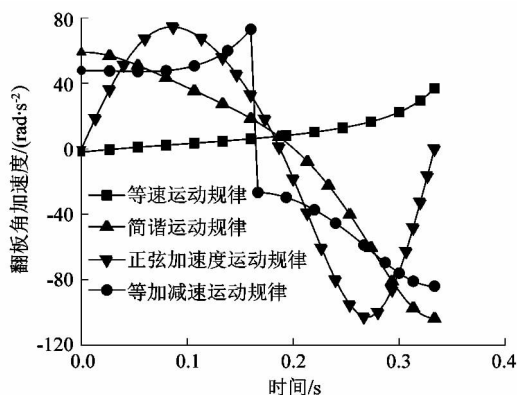


图6 不同从动件运动规律下的翻板角加速度
Figure 6 Variation of angular acceleration of turning plate under different follower motion law

给定凸轮转角为 φ_3 , 当 $\varphi_3 \in \left[0, \frac{2\pi}{3}\right)$, $\varphi_1 = \pi/2$ 时, $s = s_0$, 则在侧翻转凸轮机构中, 推杆推程部分的运动方程为:

$$\left. \begin{aligned} s - s_0 &= \frac{3h_3\varphi_3}{2\pi}; \\ \dot{s} &= \frac{3h_3\omega_3}{2\pi}; \\ \ddot{s} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

而对于推杆的回程部分, 当 $\varphi_3 \in \left[\frac{2\pi}{3}, \frac{4\pi}{3}\right)$, 对应翻板从顶点位置回到初始位置, 此过程为机构的空回

行程, 对速度、加速度等特性值无特殊工艺要求, 为此考虑使此过程无冲击, 选取正弦加速度运动规律为凸轮从动件的回程运动规律, 回程部分的运动方程式为:

$$\left. \begin{aligned} s - s_0 &= h_3 \left[1 - \frac{3\varphi_3}{2\pi} + \frac{\sin(3\varphi_3)}{2\pi} \right]; \\ \dot{s} &= \frac{-3h_3\omega_3}{2\pi} \left[1 - \cos(3\varphi_3) \right]; \\ \ddot{s} &= \frac{-9\pi h_3\omega_3^2 \sin(3\varphi_3)}{2\pi^2}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

推杆的休止部分, 即 $\varphi_3 \in \left[\frac{4\pi}{3}, 2\pi\right]$ 的过程中, 推杆的位移为 0, 则对应推杆休止部分的运动方程式为:

$$\left. \begin{aligned} s - s_0 &= 0; \\ \dot{s} &= 0; \\ \ddot{s} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

给定基圆半径以及偏距后, 通过反转法^[10]即可得到凸轮的轮廓曲线方程, 其侧翻转凸轮轮廓曲线如图 7 所示。

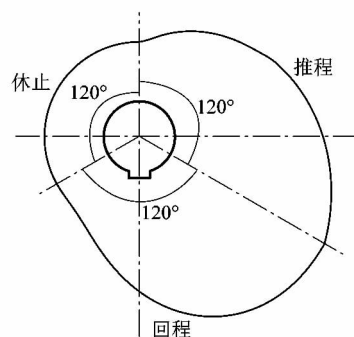


图7 侧翻转凸轮轮廓曲线
Figure 7 Side flip cam profile curve

3 仿真与优化

3.1 仿真分析

根据机构设计所得以及工程实际给定的几何参数值, 在 ADAMS 软件中建立该机构的简化几何模型。给定凸轮转速为 60 r/min, 凸轮转动一圈为一个折叠周期, 设置仿真时间为 1 s, 仿真步数为 90, 得到翻板的运动变化如图 8 所示, 其角度变化规律对应折叠过程的 3 个阶段, 验证了机构能够实现指定的动作。

以侧翻板机构为例, 翻板角速度与角加速度变化规律如图 9 与图 10 所示。其运动规律显示在 1/3 s 处角速度与角加速度产生突变, 此处会产生一定的冲击促使衣物与翻板脱离后在自身惯性的作用下达到折叠目的。其运动特性满足设计要求并符合实际情况。

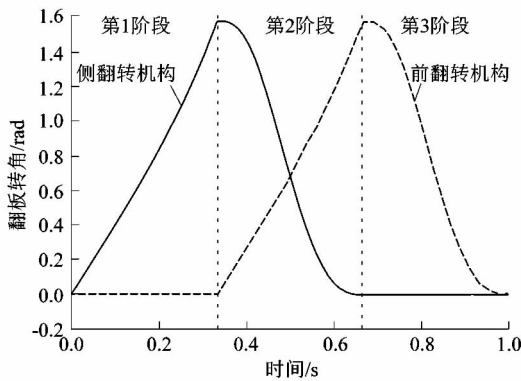


图8 翻板运动变化

Figure 8 Movement of turning plate

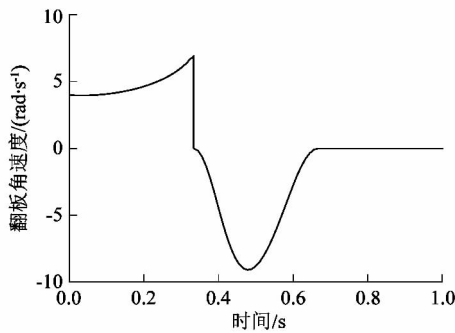


图9 侧翻板角速度

Figure 9 Side flip plate angular velocity

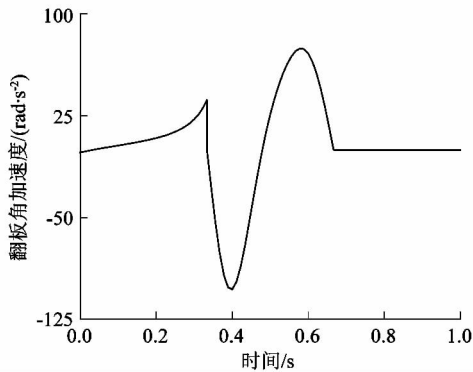


图10 侧翻板角加速度

Figure 10 Side flip plate angular acceleration

3.2 优化分析

在对一般机构的设计中,要求所设计的机构不仅能实现特定的运动过程,亦希望运转轻便且效率较高,为此在机构设计中常采用传动角 γ 来对机构的传动质量进行衡量^[11]。并且为了保证机构的传动良好,通常会设定机构的许用传动角 $[\gamma]$ 。因折叠对象为衣物,质量较小,对整体机构的传动性能要求不高,因此选定 $[\gamma] = 2\pi/9$ 。在折叠机构中,实现翻转运动的曲柄滑块机构以滑块为原动件,则在曲柄转动 $\pi/2$ 的过程

中,传动角的变化规律为先增大后减小^[12],最小传动角出现在 $\gamma_1(\theta_1 = 0)$ 与 $\gamma_2(\theta_3 = \pi/2)$ 二者之间,其中:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{e-l_1}{l_2}\right); \\ \gamma_2 &= \arcsin\left(\frac{e}{l_2}\right). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

代入数据求得 $\gamma_1 = 83\pi/180$, $\gamma_2 = 149\pi/900$ 。由此可知 γ_2 为最小传动角并低于机构所设定的许用传动角,为此以 γ_2 最大作为目标函数:

$$F(X) = \text{Max}(\gamma_2). \quad (13)$$

分别选取 l_1, l_2 与 e 作为设计变量,给定各参数的范围与约束:

$$\left. \begin{aligned} 50 \text{ mm} &\leq l_1 \leq 150 \text{ mm}; \\ 100 \text{ mm} &\leq l_2 \leq 400 \text{ mm}; \\ 0 \text{ mm} &\leq e \leq 150 \text{ mm}; \\ l_1 + e &\leq l_2. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

利用 ADAMS 软件中自带的优化设计模块对机构的进行优化仿真^[13-15]。其优化结果如图 11 所示,当 $l_1 = 50 \text{ mm}$, $l_2 = 200 \text{ mm}$, $e = 150 \text{ mm}$ 时,最小传动角由最初的 $149\pi/900$ 增加到 $27\pi/100$,比优化前增大 62% 并大于机构设定的许用传动角,满足设计要求。

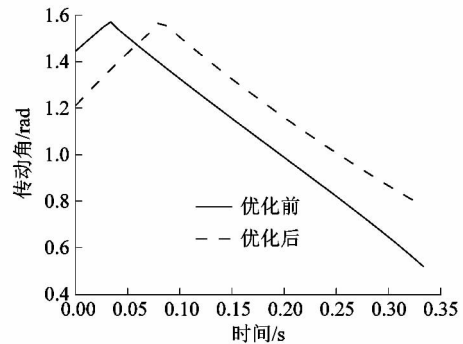


图11 传动角优化

Figure 11 Transmission angle optimization

4 结论

1) 针对目前市面上衣物折叠机构存在的多电机控制导致的成本增加与控制不协调等问题,课题组设计出一种单电机驱动的衣物折叠机构,实现了以单个原动件来控制各折叠板的间歇转动,提高了衣物包装的折叠效率。

2) 确定了折叠机构中的曲柄滑块机构的尺度参数并对其进行运动分析,由此得到凸轮从动件的运动方程并推导出凸轮的轮廓曲线。

3) 在 ADAMS 软件中对机构进行仿真分析,其结果表明机构能按预定的运动规律完成衣物折叠过程。

并以传动角为目标对其进行优化设计,其优化结果显示其最小传动角比优化前增大 62%,有效地提升了机构的传动性能。

参考文献:

- [1] 郑一平,刘思洁,吴文俊,等. 工业机器人在服装生产自动化系统中应用初探[J]. 科技与创新,2019(23):142.
- [2] GBOLARUMI F T, WONG K Y, OLOHUNDE S T. Sustainability assessment in the textile and apparel industry: a review of recent studies [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1051(1):16.
- [3] 钱祯志,程易湛,袁源. 一种服装自动折叠机:CN108557191A[P]. 2018-09-21.
- [4] 方敏. 一种衣服折叠装置:CN108374277B[P]. 2020-05-15.
- [5] 梁一丁,贵玉歆,赵航,等. 衣物自动处理装置的设计与实现[J]. 机电工程,2013,30(2):188-191.
- [6] 孙兆星,阮慧祺,张涵,等. 智能衣物折叠收纳机[J]. 轻工机械, 2020,38(1):79-84.
- [7] 廖汉元,孔建义. 机械原理[M]. 北京:机械工业出版社,2014:122-124.
- [8] 徐雪萌,陈留记,王志山,等. 给袋式挂面包装机撑袋机构设计与分析[J]. 包装工程,2019,40(15):184.
- [9] 刘勇,王卫华,李志刚,等. 基于 Simulink 的偏置曲柄滑块机构运动学和动力学分析[J]. 科学技术与工程,2014,14(1):186-191.
- [10] 刁彦飞,王艳飞,李立全. 应用反转法及坐标旋转变换设计凸轮廓线及 MATLAB 仿真[J]. 应用科技,2006,33(5):1-3.
- [11] 陶平,李公法. 机械设计基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2012:32.
- [12] 朱大壮,陈可娟,何凯. 基于双刀车花机的偏置曲柄滑块机构优化及仿真[J]. 组合机床与自动化加工技术,2016(4):49.
- [13] 张亮,文学洙. 基于 ADAMS 的肘杆式机械压力机仿真优化分析[J]. 延边大学学报(自然科学版),2017,43(1):64-67.
- [14] 李思聪,唐正宁. 小剂量灌装机械理瓶机构优化设计[J]. 轻工机械,2020,38(3):18.
- [15] WANG S F, HE C H, LI H S. Simulation and optimization of crank-link mechanism of pumping unit [C]//The Third International Conference on Modelling and Simulation. Wuxi, Jiangsu: IEEE, 2010:347-350.

欢迎订阅 2022 年《新型建筑材料》月刊

邮发代号:32-57

- 中国科技核心期刊
- RCCSE 中国核心学术期刊
- 全国建材优秀期刊
- 全国建材系列期刊
- 浙江省及华东地区优秀期刊
- 中国期刊方阵“双效期刊”
- 美国 EBSCO 数据库全文收录
- 中国科技论文统计源期刊
- “世界期刊影响力指数(WJCI)报告”入编期刊
- 中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊

主要栏目及内容:新型墙体材料、建筑石膏与胶凝材料、防水屋面材料、装饰装修材料、化学建材、保温材料与建筑节能、混凝土与制品、海绵城市、绿色建材、发展战略研讨,以及国家产业政策、理事单位特别报道等。

1974 年创刊,中国新型建材设计研究院主办。刊号:CN 33-1078/TU,ISSN 1001-702X。大 16 开,进口纸胶印 160 页。国内外公开发行。

定价:每期 8.00 元,全年 12 期共 96.00 元(含邮费)。

各地邮局及本刊均可办理订阅手续。

另有历年合订本发行。

本刊承接广告,欢迎联系。

地址:310022 杭州市拱墅区华中路 208 号

电话:0571-85175100,85062600,85066556

http://www.china-nbm.cn

E-mail:nbm999@163.com



欢迎关注本刊微信公众号