

# 自动烘晾叠衣物一体化机器

吴梦豪, 张梅凤, 康文慧, 吴国豪, 侯小虎, 余文军, 翁登群, 吴启, 胡华升, 张一凡, 乔忠良\*, 徐东昕, 曲轶, 李再金, 李林

海南省激光技术与光电功能材料重点实验室, 半导体激光海南省国际联合研究中心, 海南师范大学物理与电子工程学院, 海南省院士团队创新中心, 海南 海口

收稿日期: 2024年7月18日; 录用日期: 2024年8月22日; 发布日期: 2024年8月30日

## 摘要

当前市场中的传统烘干设备与叠衣辅助工具普遍面临功能局限性大、实用性不足的问题, 不能广泛普及市场及家庭。鉴于此, 设计一款集烘干、消毒和折叠功能于一体的机器, 机器采用Arduino为控制器, 主体框架由铝型材构建, 配合直流电机、舵机及传感器共同驱动设备高效运作。设备通过底部的加热系统实现衣物的烘干, 并内置温湿度传感器监测烘干过程, 确保衣物干燥; 通过紫外线灯管杀灭衣物上的细菌与病毒。折叠环节采用同步带轮机制, 驱动衣架进行独立而精准的运动, 实现衣物的自动识别与智能折叠。此设计旨在解放人力, 用户可享受从烘干、消毒到自动折叠的一站式服务, 节省时间的同时减轻了用户的日常负担。凭借其高效、卫生、健康及便捷的特性, 设备可广泛部署于医院、工厂等场所, 推动相关领域向更加高效、卫生的方向发展。

## 关键词

温湿度传感器, 控制, 自动化

# Automatic Drying and Folding Machine

Menghao Wu, Meifeng Zhang, Wenhui Kang, Guohao Wu, Xiaohu Hou, Wenjun Yu, Dengqun Weng, Qi Wu, Huasheng Hu, Yifan Zhang, Zhongliang Qiao\*, Dongxin Xu, Yi Qu, Zaijin Li, Lin Li

Hainan Provincial Key Laboratory of Laser Technology and Optoelectronic Functional Materials, Hainan Academician Team Innovation Center, Hainan International Joint Research Center for Semiconductor Laser, School of Physics and Electronic Engineering, Hainan Normal University, Haikou Haina

Received: Jul. 18<sup>th</sup>, 2024; accepted: Aug. 22<sup>nd</sup>, 2024; published: Aug. 30<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

**The traditional drying equipment and folding aids in the current market are generally faced with**

\*通讯作者。

文章引用: 吴梦豪, 张梅凤, 康文慧, 吴国豪, 侯小虎, 余文军, 翁登群, 吴启, 胡华升, 张一凡, 乔忠良, 徐东昕, 曲轶, 李再金, 李林. 自动烘晾叠衣物一体化机器[J]. 人工智能与机器人研究, 2024, 13(3): 692-700.

DOI: 10.12677/airr.2024.133070

the problems of large functional limitations and insufficient practicability, and cannot be widely used in the market and families. In view of this, a machine with drying, disinfection and folding functions was designed, with Arduino as the controller, the main frame made of aluminum profiles, and the DC motor, servo and sensors to drive the equipment to operate efficiently. The equipment realizes the drying of clothes through the heating system at the bottom, and has a built-in temperature and humidity sensor to monitor the drying process to ensure that the clothes are dry; Ultraviolet light kills bacteria and viruses on clothing. The folding link adopts a synchronous pulley mechanism to drive the hanger to carry out independent and precise movement, so as to realize the automatic identification and intelligent folding of clothes. Designed to free up manpower, users can enjoy a one-stop service from drying, disinfection to automatic folding, saving time and reducing the daily burden on users. With its efficient, hygienic, healthy and convenient characteristics, the equipment can be widely deployed in hospitals, factories and other places, promoting the development of related fields in a more efficient and hygienic direction.

## Keywords

Temperature and Humidity Sensors, Control, Automation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着消费者对智能家居产品的需求增加,自动机器市场在全球范围内呈现出稳步增长的态势。中国作为全球最大的消费市场之一,自动叠衣机器的市场规模也在稳步扩大。鉴于我国人口基数庞大,截至2023年已达到14亿,其中大部分民众有着迫切的洗衣服务需求,这凸显了当前洗衣、叠衣服务行业的巨大市场缺口。依据人均消费水平估算,全国洗衣、叠衣服务市场尚存在近百亿的潜在市场空间,这一增长势头将在未来几年内持续,为自动叠衣机器市场带来更多发展机遇。

随着生活节奏加快,人们在家务劳动中追求高效与便捷,同时技术革新的不断推进和应用领域的拓展,一体化机器的潜在应用价值逐步凸显。烘干、晾晒、叠衣的一体化机器应运而生,机器能迅速完成大量衣物折叠工作,大幅减少人工操作的时间和成本,从冗杂的衣物晾晒与折叠工作中解放用户,用于在智能家居、养老护理、医院后勤以及大型工厂等多元化场景中提升服务效率[1]。目前市场上辅助折叠的工具虽有所存在,但受限于其单一的结构和功能,通常仅适用于小尺寸衣物,且仍需人工参与,难以满足多样化需求。同时当前市场面临技术上的挑战,如提升机器对各类衣物折叠需求的感知、学习和执行能力,但这正是推动行业创新与市场发展的契机。鉴于此,研发一款全自动烘干消毒叠衣一体化机器,集成了烘干、消毒及折叠功能,致力于为用户提供更高效、卫生、健康且便捷的衣物整理体验。

## 2. 研究内容及方法

### 2.1. 研究内容

通过问卷调查、访谈及实地考察,收集用户对于衣物晾收叠自动化的具体需求,包括但不限于对不同材质衣物的适应性、空间利用率、操作便捷性、能耗效率及卫生标准等。基于需求分析结果,设计自动化机器的整体架构,包括衣物识别与分类模块、智能晾衣系统、自动收衣机构、折叠机械臂及控制系统等关键组成部分。利用图像识别与机器学习算法,对不同材质、颜色、形状的衣物进行精准识别与分

类；开发可根据衣物类型自动调节晾衣间距、光照强度的智能晾衣杆，确保衣物快速干燥且不变形；设计能够自动将晾干衣物从晾衣架上取下并有序传输至折叠区域的机械结构；同时研发具备高精度运动控制和灵活操作能力的机械臂，根据衣物类型自动完成折叠动作，并优化折叠算法以提高折叠效率和质量。最后将各模块进行集成，构建完整的衣物晾收叠自动化机器原型，并进行多次性能测试和用户体验评估，确保系统的稳定性、可靠性和用户友好性。

## 2.2. 研究方法

了解当前技术现状、发展趋势及存在的问题。采用问卷调查、深度访谈和案例分析等方法，收集并整理用户需求，为系统设计提供数据支持。利用软件进行三维建模与仿真分析，设计各功能模块的具体结构与工作流程；通过编程和硬件组装实现机器的开发，基于开发工具，开发衣物识别与分类算法，以及折叠机械臂的路径规划与控制算法。在不同环境条件下对机器进行功能测试、性能测试和用户接受度测试，收集数据并分析优化方案。根据测试结果和用户反馈，不断优化系统设计，提升用户体验。

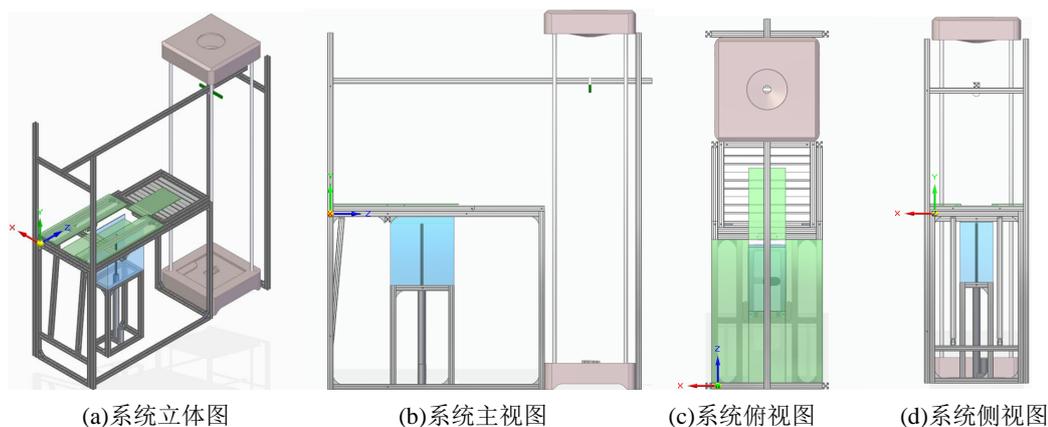
## 3. 机器设计方案

### 3.1. 机器功能

机器通过底部集成的高效加热系统实现衣物的快速烘干，并内置温湿度传感器精准监测烘干过程，确保衣物彻底干燥以便于进入下一阶段。将烘干的衣物通过夹子和横杆水平移动到叠衣区域，当完全移动到斜面上时斜面开始放平进入叠衣工作。折叠板实现衣物折叠功能，以机械原理为铰链，四杆机构和导杆机构为主导来实现运动。为确定折叠板的运动正确，在折叠板的转动铰链处装有复位弹簧，使折叠板能够实现完全稳定的运动[2]。机器采用电力驱动，电机的转动提供动力，引起主动件转动，进而引起整个机构运动，传动方式为电机-主轴转动-齿轮转动-工作部分的折叠运动。叠衣程序通过二位数组分别区分所叠衣物类型和折叠方式，叠衣板的升降由底部机械臂支持并决定是否抬起，电机控制折叠板进行折叠工作。折叠完成后通过叠衣板底部打开的槽把叠好的衣物收集入指定位置供用户取用。

### 3.2. 机器设计

#### 3.2.1. 整体设计



**Figure 1.** Solid edge modeling of the integrated system for drying and disinfection and folding clothes  
**图 1.** 烘干消毒叠衣一体化系统 Solid Edge 建模图

Solid Edge 建模图如下图所示, 图 1(a)为烘干消毒叠衣一体化系统立体图, 图(b)为烘干消毒叠衣一体化系统主视图, 图(c)为烘干消毒叠衣一体化系统俯视图, 图(d)为烘干消毒叠衣一体化系统侧视图。

### 3.2.2. 结构特点

整体结构采用铝型材结构和亚克力板。铝型材运用范围广、施工方便、造型美观实用、可扩充性强, 整体质轻而刚度高, 具有模组化和多功能化, 无需复杂的设计和加工, 就可以快速地构架出理想机械设备外衣。加装组件时, 无需拆卸型材, 可在任意位置安装螺母螺丝, 改装设备简单快捷。同时, 亚克力板具有极佳透明度、优良的耐候性、加工性能良好、优异的综合性能。亚克力板既适合机械加工又易热成型, 对自然环境适应性很强, 即使长时间在日光照射、风吹雨淋也不会使其性能发生改变, 抗老化性能好, 在室外也能安心使用; 另外亚克力板可以染色, 表面可以喷漆、丝印或真空镀膜, 对机器的外观进行美化。

## 3.3. 机器框架

### 3.3.1. 主要程序流程图

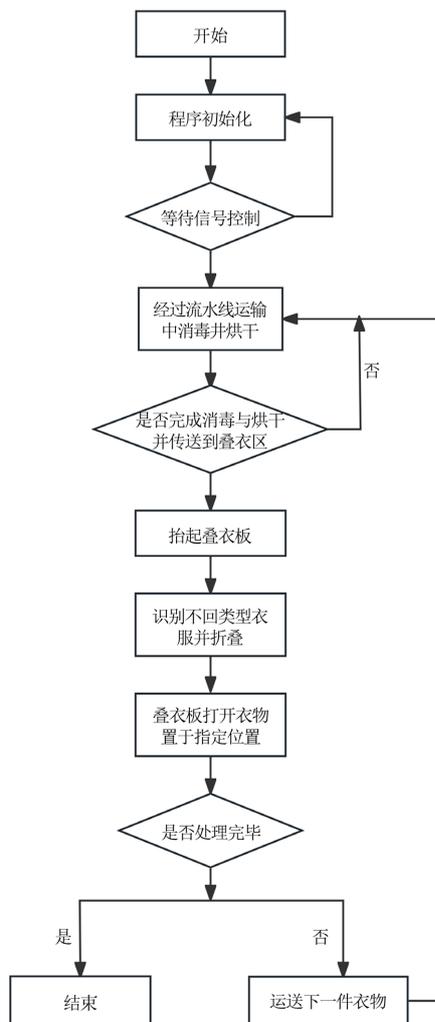


Figure 2. Flow chart of the main procedure  
图 2. 主要程序流程图

### 3.3.2. 工作原理

整体分为烘干消毒区、折叠区、收集区三个主要区域。

机器上衣物由履带进行牵引带动，机器履带由主动轮驱动，围绕着主动轮、负重轮、诱导轮和托带轮的柔性链环，由履带板和履带销等组成。机器使用到滑台，直线滑台内部构造分为同步带式 and 滚珠螺杆式。滑台的动力由电动机系统提供，通过传动装置(如齿轮传动、链传动、皮带传动等)将动力传输到滑台上，通过与传动机构、导向机构和控制系统的协同作用，实现衣物在滑台上的定位、移动和固定，滑台的结构和应用设计能够满足不同行业和场景的需求。机器使用的电动推杆又称直线驱动器，主要由电机推杆和控制装置等机构组成，是一种将电动机的旋转运动转变为推杆的直线往复运动的电力驱动装置。此装置可实现对衣物的远距离控制、集中控制或自动控制。通过精确控制推杆的直线运动，电动推杆能够实现整个工艺流程，提高效率，降低成本。下图 3 为电动推杆示意图。



Figure 3. Schematic diagram of an electric actuator  
图 3. 电动推杆示意图

机器应用了智能化衣架的原理。

1) 磁铁式衣架设计：该机器的衣架是以磁铁为基础产生的设计灵感，制作了专用衣架用于衣物的传送，并且通过 Solid Edge 模拟出切实可行的实物图。衣架的两侧含有根据情况自由折叠的巧妙机械结构，使机器工作过程中更加灵活。下图 4 为衣架结构图。



Figure 4. Hanger structure main view  
图 4. 衣架结构主视图

2) 衣架独立移动设计：多个衣架通过两条履带以及一个远距离激光对射光电开关来完成独立移动，

上面的一条履带先行转动，当衣架走完第一条履带将自动掉落到第二条履带上，当移动中的第一件衣物挡到了位于第二条履带距离首部 5 cm 的光电开关时，第一条履带停止运动，第二条履带继续工作，由此便完成了衣物分隔工作的效果[3]。采用这一结构，压缩了机器成本，更易被消费者接受。下图 5 为衣架侧视图。



Figure 5. Side view of hangers  
图 5. 衣架侧视图

## 4. 机器功能及亮点

### 4.1. 功能介绍

该机器是一款智能自动化装备，适应多种环境的操作需求。当设备启动后，用户可将清洗完的衣物置于烘干区的特定位置，烘干过程通过底部集成发热元件进行，实现对衣物的有效烘干，该区域配备温湿度传感器来判断衣物烘干状态。衣物烘干完成后随即触发消毒机制，通过紫外消毒灯进行全面彻底的消毒处理[4]。消毒完毕后，即时向履带上方的电机发送信号，收到信号后，电机将依据预设的程序控制履带进行移动，从而将烘干完成的衣物准确地传送到折叠区。在折叠区通过红外线传感器精确地检测衣物的大小，电机依据信号移动衣架，并按照预设的程序，借助具备自动升降功能的折叠板，实现衣物的自动化、高效折叠。当衣物在折叠区完成折叠后，位于中央的叠衣板将自动开启，触发收集区反应。收集区会自动升高，用以接收衣物并进行收纳。完成收纳后，收集区将自动下降，恢复到初始位置，为之后衣物收集做好准备。

### 4.2. 机器亮点

#### 4.2.1. 功能多样化

在探讨当前市场上传统烘干机和叠衣板时，注意到其功能局限性及实用性有待提升，难以广泛适用于家庭及市场需求。为此，研发了一款集烘干、消毒、叠衣功能于一体的智能机器，旨在简化流程，节省用户的时间与精力。其功能的多样性无疑将吸引广大消费者的关注，有助于在市场上获得更广泛的推广。机器还具备高效的消毒功能，可广泛应用于工厂及医院等，为工作人员提供便捷的衣物洗涤与消毒服务。

#### 4.2.2. 核心自主化

在满足系统环境规定的前提下，机器结构包含用于烘干衣物的区域，与之相邻的是用于衣物折叠的区域。一旦衣物烘干完成，通过高效的传送杆系统，衣物会被自动转移到叠衣区进行折叠，折叠完成后，将被传送到收集区，便于用户收集。为确保设计的精准性和实用性，利用 Solid Edge 软件绘制了机器结构图，构建了初步的三维模型，并进行了仿真测试。在软件控制层面，选择了 Arduino 作为核心控制单元，所有的传感器数据采集、姿态解算及姿态控制等关键代码均基于自主研发与编写，确保了系统的稳定运行和高效性能。

#### 4.2.3. 个性定制化

在响应不同客户需求的背景下，结合产品的结构优势和显著的烘干效果，机器充分利用了多样化的传感器模块与执行模块。通过这些模块的配置与优化，能够完成一系列定制化的任务，以适应多样化的实际应用场景，从而为客户提供更加精准和高效的服务。

#### 4.2.4. 结构简易化

机器整体构造简洁明了,能满足广泛需求,设计以易用性为核心,确保在各种场合下都能迅速投入使用,体积较小,也适用于临时搭建的物资收集场所,避免了空间占用过多的问题。对于使用者而言,这种简化设计不仅减少了所需空间,而且直观易懂,极大地提升了操作的便捷性。对于设计者而言,这种结构不仅便于后续的维护修理,还简化了零件的组装与更换流程,从而有效节约了人力和物力资源。

#### 4.2.5. 成本节约化

在同类商品的竞争市场中,这款机器成本低廉,主要归功于其精简高效的结构设计。机器主体采用轻质铝材,衣架则通过先进的 3D 打印技术制成,整体制造过程无需繁复的工艺,相较于其他烘干机、叠衣机,显著降低了生产成本。其价格优势在市场中更具竞争力,更易获得消费者的青睐。

### 5. 硬件模块设计

#### 5.1. 控制器的选择

该系统使用的控制器是 Arduino 控制板中的 UNO 系列(使用的是 ATmega328P 控制器),这款控制器具有友好的开发环境,是完全开放源代码,开发者可以访问和编辑其硬件和软件的源代码,根据需求进行定制和修改,功耗小、简单清晰、发展迅速、价格低廉、体积小等优点。因为 Arduino 的优势,越来越多的专业硬件开发者已经或开始使用 Arduino 来开发他们的项目、机器;越来越多的软件开发者使用 Arduino 进入硬件、物联网等开发领域。这款控制器和 plc 相比而言,价格较低,能够有效地降低整台机器的生产成本,且能够满足其所需的全部功能。

#### 5.2. 超声波传感器

超声波传感器能够将超声波(振动频率高于 20 kHz 的机械波)信号转换成其他能量信号(通常是电信号)的传感器,工作频率通常在 20 kHz 到 200 kHz 之间,应用较广泛。随着技术的不断进步,超声波传感器的应用领域还将继续扩大,特别是在自动化、智能化领域,超声波传感器将发挥更加重要的作用。超声波传感器通过发射超声波并接收其反射波来工作,能够测量物体与传感器之间的距离。在此机器中,这一功能可以用于检测衣物或其他物品的位置和距离,以实现更精确地控制和操作。

#### 5.3. 舵机控制系统

舵机是一种位置(角度)伺服的驱动器,也被称为伺服马达,适用于需要角度不断变化并可以保持的控制系统。舵机通过接收电信号(通常是 PWM 信号)来控制输出轴的位置。其内部有一个基准电路,产生周期为 20 ms、宽度为 1.5 ms 的基准信号。舵机控制系统具有响应速度快、控制精度高、稳定性好等优点。通过调整 PWM 信号的频率和脉宽,可以实现对舵机转动角度、速度和加速度的精确控制,满足智能装置在不同工作场景下的需求。

在智能晾收叠机器中,舵机控制系统可以通过精确控制输出轴的位置,实现对晾衣架、机械臂等部件的精确控制。例如,在晾衣过程中,舵机可以控制晾衣架的角度和位置,确保衣物能够平稳地挂在晾衣架上;在收衣和叠衣过程中,舵机可以控制机械臂的运动轨迹和速度,实现衣物的自动收集和折叠。舵机控制系统在智能晾收叠机器中发挥着至关重要的作用,通过精确控制输出轴的位置,实现对晾衣架、机械臂等部件的自动化和精确化操作,提高了晾收叠过程的效率和准确性,以及适应不同尺寸和类型的衣物等功能。这些功能使得智能晾收叠机器能够更好地满足人们的日常需求,提高生活质量和工作效率。下图 6 为舵机结构示意图:

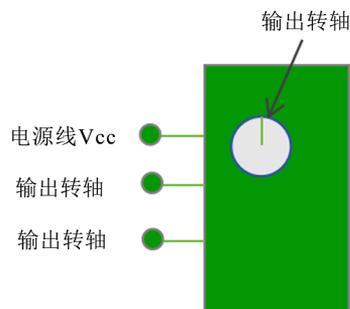


Figure 6. Schematic diagram of the servo  
图 6. 舵机示意图

#### 5.4. 红外对射开关传感器

红外对射开关传感器是常用的光电传感器，也被称为红外光电开关或红外对射传感器。它利用红外线作为检测媒介，通过发射器和接收器之间的红外光束来判断物体的存在或位置。其工作原理是发射器发出一束红外光，这束光在正常情况下被接收器接收。当有物体进入发射器和接收器之间的光束路径时，红外光会被遮挡，导致接收器接收不到光信号或接收到的光信号变弱，这时，传感器会输出一个电信号，表示有物体遮挡了红外光，从而实现检测物体的存在或位置的功能。它具有检测距离远、反应速度快、可靠性高等优点，广泛应用于工业自动化、智能家居、安防监控等领域。

在此机器中，红外对射开关传感器的用途主要体现在以下几个方面：

1) 检测衣物的存在：红外对射传感器通过发射红外光束，并接收光束的反射信号，来判断是否有物体在传感器的监测范围内。当衣物或其他物体遮挡住红外光束时，接收器接收到的信号会发生变化，从而触发传感器发出信号。传感器可以安装在晾衣杆或晾衣架的两侧，当衣物挂起时，会遮挡住红外光束，从而触发传感器输出信号。机器可以根据这个信号来判断衣物是否已经挂好，进而开始晾收或折叠的过程。

2) 智能控制晾收：红外对射开关传感器检测衣物或其他物品是否已经放置在晾收机器上，从而智能控制晾收过程的开始或结束。例如，当衣物放置在晾收机器上时，传感器检测到物体的存在，机器可以自动开始晾收过程；当衣物被取走后，传感器检测到物体不存在，装置可以自动停止工作[5]。

3) 测量距离和位置：红外对射传感器通过测量光束反射回来的时间来计算物体与传感器之间的距离。在智能晾收叠机器中，这一功能可以用于更精确地控制晾收臂或夹子的移动，确保衣物被准确地放置或折叠。通过安装多个传感器，可以形成一个红外光栅网络，当物品移动时，会遮挡不同的红外光束，从而确定物品的位置和移动轨迹[6]。

4) 提高效率 and 安全性：红外对射开关传感器的应用使得此机器能够更快速、准确地响应衣物或其他物品的状态变化，从而提高晾收和折叠的效率。同时，传感器确保在晾收或折叠过程中，避免对衣物造成不必要的损伤或误操作，提高使用的安全性。在机器中设置一组红外对射开关传感器作为防夹装置，当传感器检测到有物体(如手指或衣物)进入夹子的夹取范围内时，会立即停止夹子的动作，避免夹伤或损坏物品。

红外对射开关传感器在智能晾收叠机器中发挥着至关重要的作用，不仅提高了晾收和折叠的智能化水平，还为用户带来了更便捷、高效的使用体验。

## 6. 机器测试与验证

对机器进行了测试与验证，通过一系列科学严谨的测试方法，全面评估了机器的性能，为其后续的市场推广提供坚实的数据支持。

## 6.1. 测试目的与范围

测试旨在验证机器在功能实现、安全性、耐用性及用户体验等方面的表现。测试范围涵盖机器的核心功能(晾衣、叠衣、收衣)、电气安全、机械安全、环境适应性、寿命测试及用户体验等多个方面。

## 6.2. 测试方法

对机器进行功能测试,采用模拟实际使用场景的方法,分别测试机器的晾衣和叠衣功能。通过不同材质、重量和尺寸的衣物样本,评估机器在处理各种衣物时的稳定性和准确性;另外还进行了安全性能测试及耐用性测试,依据相关安全标准,对机器的电气系统和机械结构进行全面检查;并通过长时间连续运行和模拟极端使用条件,评估机器的寿命和耐久性;进行故障模拟测试,以检验机器的容错能力和自我恢复能力[7]。同时,邀请目标用户群体参与测试,收集关于操作便捷性、噪音水平及外观设计等方面的反馈意见。

## 6.3. 测试结果与分析

结果显示,衣物晾收叠自动化机器在收衣和叠衣功能方面均表现出色,能够准确、稳定地完成各项任务。所有测试项目均符合相关安全标准,机器在电气安全和机械安全方面表现出良好的稳定性和可靠性。经过长时间运行和极端条件测试,机器表现出优异的耐用性,无明显损坏或性能下降现象。用户普遍反映机器操作简便、噪音低且外观设计时尚美观,符合使用需求。综上,衣物晾收叠自动化机器在功能实现、安全性、耐用性及用户体验等方面均表现出色,达到了预期的设计目标。

## 7. 结语

本研究成功设计并实现了一种衣物晾收叠自动化机器,通过集成先进的图像识别、智能控制及机械自动化技术,显著提高了衣物处理的效率和便捷性,极大减轻了人工负担。这款多功能设备的成功研发,有效地满足了设计之初所追求的一体化与自动化的双重目标,展现了卓越的实用性和创新性,具有广阔的市场应用前景,对于推动家庭智能化、提升生活品质具有重要意义。为进一步提升机器竞争力,在未来将进一步优化叠衣算法以提高折叠效果,并加强用户界面的交互设计以提升用户体验。

## 参考文献

- [1] 张硕, 侯宗尚, 张玉发, 等. 多功能家用叠衣机的设计[J]. 仪表技术, 2022(5): 40-42, 64.
- [2] 高淑芬, 刘艺, 李俊, 等. 基于齿轮传动的自动叠衣装置研究[J]. 机电信息, 2021(5): 49-50.
- [3] 孙健, 郭长城. 基于 STM32 技术的自动晒衣系统[J]. 机械工程师, 2023(8): 110-112.
- [4] 施衍奇, 丁兆波, 王增强, 等. 一种自动烘干衣物的控制算法[J]. 家电科技, 2021(z1): 108-110.
- [5] 闫红玲, 李浩楠. 基于 TRIZ 理论及单片机的智能晾衣架控制系统设计及仿真[J]. 造纸装备及材料, 2022, 51(6): 19-21.
- [6] 袁林江, 刘福庆, 郑洁, 等. 智能晾衣系统开放性实验设计[J]. 实验室科学, 2023, 26(2): 6-9.
- [7] 王亚飞, 刘宜胜, 许参, 等. 一种自动抓取提升电动晾衣机送检装置的研制[J]. 制造业自动化, 2021, 43(12): 66-69.