［研究·设计］

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2025.05.005

全自动压盖机的设计

吴帅鹏[1]，张比鹏[1*]，符宝鼎[1]，房思远[2]，杨成文[2]，张　昆[2]，王维军[2]，吕传悦[2]

（1.辽宁工业大学 机械工程与自动化学院，辽宁 锦州　121001；
2.中国电子科技集团公司第五十三研究所，辽宁 锦州　121001）

摘　要：为解决某企业压装特殊瓶盖效率低下的问题，笔者设计了一款全自动压盖机。采用超薄气缸作为动力元件，驱动压装平台往复按压瓶盖，实现特殊瓶盖与瓶体紧密安装，确保瓶子整体的密封性能；采用夹具装置和气动夹爪固定瓶体，保证安装过程稳定、可靠；瓶体、瓶盖分别供料，瓶盖供料采用了旋转上料分拣机，当瓶盖到达到指定位置时，由气缸执行推送动作，保证瓶盖输送的时效性和可靠性；试制了样机，并进行了批量压装测试试验。试验结果表明：该压盖机能高效完成对特殊瓶盖的输送、压装，生产速度可达每分钟60个，且产品合格率高达99.81%。

关　键　词：瓶盖；压装；气动夹爪；超薄气缸；旋转分拣机

中图分类号：TH122；TP273　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005-2895(2025)05-0041-06

Design of Fully Automatic Capping Machine

WU Shuaipeng[1], ZHANG Bipeng[1*], FU Baoding[1], FANG Siyuan[2],
YANG Chengwen[2], ZHANG Kun[2], WANG Weijun[2], LÜ Chuanyue[2]

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Liaoning University of Technology, Jinzhou, Liaoning 121001, China;
2. The 53rd Research Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Jinzhou, Liaoning 121001, China)

Abstract: To address the issue of low efficiency in pressing special bottle caps at a certain enterprise, a fully automatic capping machine was designed. An ultra-thin cylinder was used as the power component to drive the pressing platform in reciprocating motion, ensuring a tight installation of the cap onto the bottle body and reliable sealing performance. The fixture device and pneumatic gripper were employed to fix the bottle body, ensuring stability and reliability during the installation process. The bottle body and cap were fed separately, with the cap feeding system utilizing a rotary sorting machine. When the cap reached the designated position, the cylinder performed a pushing action to ensure the timeliness and reliability of bottle cap transportation. A prototype was trial-produced and batch testing was conducted. The results show that the capping machine can efficiently complete the transportation and pressing of special bottle caps, achieving a working efficiency of 60 caps per minute. The product qualification rate reaches 99.81%.

Keywords: bottle cap; pressing; pneumatic gripper; ultra-thin cylinder; rotary feeding and sorting machine

在现代工业生产中，瓶盖的压装是确保产品密封性和品质的重要环节[1-3]。然而，传统的瓶盖压装过程通常依赖人工操作，不仅效率低下，而且容易出现误差，导致产品合格率较低。特别在某些特殊瓶盖的压装过程中，由于瓶盖形状和尺寸的特殊性，人工操作的难度进一步加大，严重影响了生产效率。随着自动化技术的快速发展，全自动压盖机的设计与应用成为解决这一问题的有效途径[4-7]。

近年来，国内外学者对自动化压盖设备进行了广泛研究。刘立伟[8]提出了一种基于PLC控制的自动化压盖系统，显著提高了压盖效率和精度；张斌等[9]研究了气动驱动技术在压盖设备中的应用，进一步提升了设备的稳定性和可靠性；高彬等[10]针对传动轴压盖受垂直于端面的拉力和径向力影响的情况，得出采

收稿日期：2025-05-08；**修回日期**：2025-07-22

第一作者简介：吴帅鹏(2000)，男，硕士研究生，主要研究方向为机电液一体化系统设计及智能控制。**通信作者**：张比鹏(1978)，男，硕士，讲师，主要研究方向为应急救援装备。E-mail:17695440729@163.com

用锻造方式使其组织更均匀,力学性能更佳,可保证扭矩安全传递的结论;杨清艳等[11]则通过优化压装平台的结构,进一步提升了设备的适应性和生产效率。然而,针对特殊瓶盖的压装,现有的自动化设备仍存在一定的局限性,尤其是在高精度、高效率的压装过程中,设备的稳定性和可靠性仍需进一步提升。

基于此,笔者设计了一款全自动压盖机,旨在解决特殊瓶盖压装效率低下的问题。该设备采用电机和气动驱动相结合的驱动方式,通过旋转上料分拣机、压装平台和旋转料盘等关键部件的协同工作,实现了瓶盖和瓶体的自动输送与压装,并试制了样机,进行了实际生产测试,测试结果表明设备的生产速度可达每分钟60 个,产品合格率达99.81%,显著提升了生产效率。

1 总体方案设计

特殊瓶盖的外侧中部设有橡胶圈用于保证容器密封性,橡胶圈略宽于瓶口,特殊瓶盖形状如图1 所示。特殊瓶盖在人工压装时需要生产线上的工人使用橡胶小锤将瓶盖锤入瓶体内。在人工压装时易因多次锤击造成瓶盖或瓶体损毁,因此需要避免压装时瓶盖受到多次冲压。

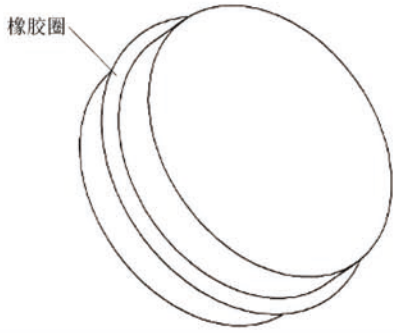


图1 特殊瓶盖形状

Figure 1 Special bottle cap shape

1.1 设计参数

全自动压盖机主要由旋转上料分拣机、夹具装置、冲压模板、分度盘等部件组成,可实现瓶盖和瓶体的自动输送,自动压装瓶盖等功能。全自动压盖机整机方案如图2 所示。

设备具体技术参数如下:

1)整机生产速度为每分钟60 个。

2)物料瓶盖直径为30 mm,厚度为20 mm。

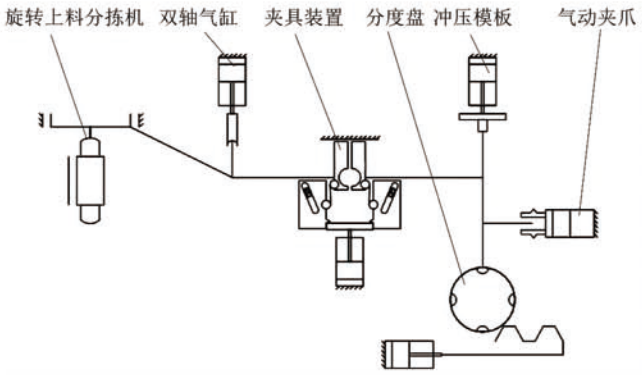


图2 全自动压盖机整机方案

Figure 2 Complete scheme for fully automatic capping machine

3)压装产品合格率99.81%以上。

1.2 工艺流程

全自动压盖机压装瓶盖步骤如下:

1)瓶盖上料。将放置于旋转上料分拣机内的瓶盖通过上料分拣机滑道输送到料仓处。

2)瓶体上料。瓶体通过传送带,按照时间节拍依次运送到分度盘,分度盘再将瓶体运送至压装位置。

3)瓶体和瓶盖的固定。气动夹爪和夹具装置分别固定瓶体和瓶盖。

4)预压装。在瓶盖与瓶体固定后,冲压模板下压,将瓶盖预压装在瓶体上,瓶盖与瓶体间带有一定的预紧力。

5)冲压。冲压模板再次下压将瓶盖压装在瓶体上,完成瓶盖压装。

全自动压盖机工艺流程如图3 所示。

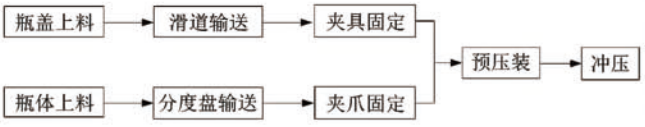


图3 全自动压盖机工艺流程

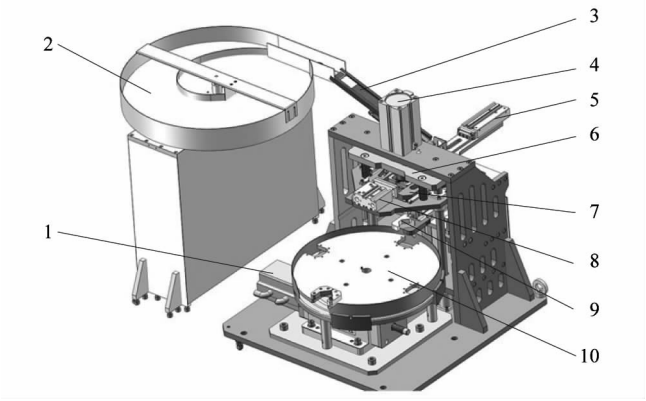
Figure 3 Process flow of fully automatic capping machine

2 全自动压盖机工作原理及结构设计

2.1 工作原理

全自动压盖机工作时,先通过人工将瓶盖倒进旋转上料分拣机的料盘内。旋转上料分拣机内部的电机

带动料盘做顺时针转动,由于摩擦力的作用,带动瓶盖通过滑道输送到料仓中。瓶体输送工作与瓶盖输送工作同步进行。瓶体瓶口朝上,经由传送带直立运送到分度盘处;分度盘上的2块V型块卡住并带动瓶体旋转至压装处;压装处设有光电传感器,当光电传感器检测到瓶体到达指定位置时,启动气动夹爪夹住瓶体,气动夹爪固定瓶体的同时保证了瓶身的稳定。夹具装置前方设有三轴气缸控制夹具的开合;夹具装置后方设有双轴气缸,双轴气缸带有半圆形卡槽,卡槽缩回时,固定在料仓底部的瓶盖从料仓落下,卡槽伸出时,推动瓶盖到夹具装置处。当瓶盖位于瓶体正上方时,夹具装置整体下压直到接触到限位螺杆,此时夹具装置停止运动。接着,冲压模板下压,直至将瓶盖外侧橡胶圈压装在瓶口处,冲压模板停止下压。三轴气缸伸出,夹具装置张开,冲压模板上升回到初始位置,随后冲压模板再次下压,直至冲压模板的限位螺杆与夹具装置接触,冲压模板停止下压。至此,瓶盖完全压装在瓶体上。全自动压盖机三维模型如图4所示。



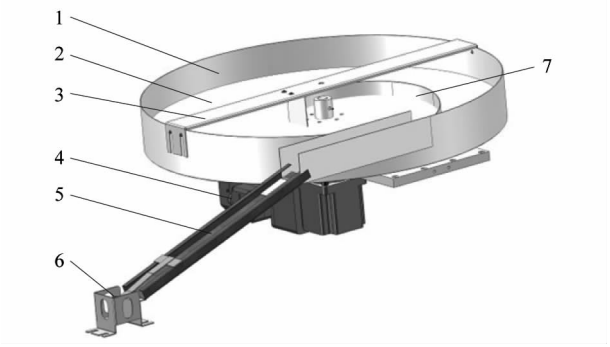
1—气缸;2—旋转上料分拣机;3—滑道;4—超薄气缸;5—双轴气缸;6—冲压模板;7—夹具装置;8—三轴气缸;9—气动夹爪;10—分度盘。

图4　全自动压盖机三维模型

Figure 4　3D model of fully automatic capping machine

2.2　运输装置

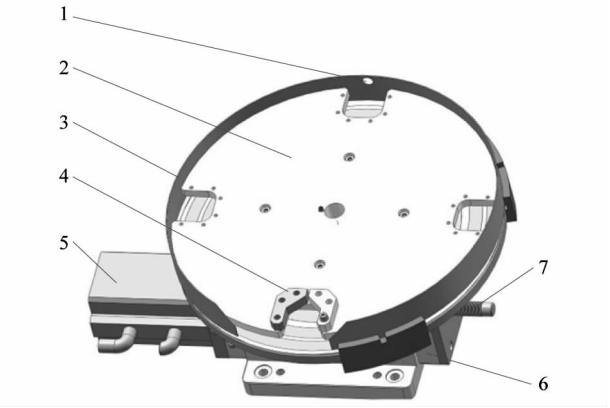
运输装置主要由旋转上料分拣机、滑道、料仓和气动分度盘组成。旋转上料分拣机结构如图5所示,气动分度盘如图6所示。工作时,需要人工将瓶盖倒入旋转上料分拣机中,分拣机通过动盘旋转带动瓶盖进入与定盘围成的通道内。分拣机的出口设有滑道,滑道与料仓的入口相连。瓶盖进入料仓后做自由落体运动,坠落到料仓底部。气动分度盘底部设有气缸控制分度盘旋转,分度盘上带有的V型块扣住瓶体后带动瓶体进行旋转,周边设有挡板避免瓶体倾斜、坠落,直至瓶体运动到压装处。



1—定盘;2—动盘;3—螺旋支撑弯板;4—90 W微型交流(齿轴)组合型电机;5—滑道;6—料仓;7—螺旋导板。

图5　旋转上料分拣机结构

Figure 5　Structure of rotary feeding and sorting machine



1—传感器预留孔;2—转盘;3—挡板;4—V型块;5—气缸;6—转台;7—缓冲器。

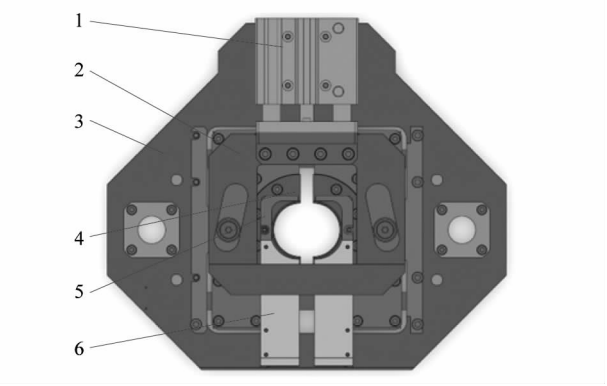
图6　气动分度盘

Figure 6　Pneumatic indexing plate

2.3　夹具装置

夹具装置包括三轴气缸、夹具导轨板、夹具安装板、扣板、进料挡板和压板等,夹具装置结构如图7所示。当瓶体被气动夹爪固定后,夹具装置前方的三轴气缸处于收缩状态,夹具装置处于闭合状态,压盖机顶部的超薄气缸开始工作,带动夹具装置下压,扣板内径的凸出部分卡住瓶口,压盖机侧面设有的限位螺杆,此时与夹具装置接触。夹具装置后方的双轴气缸开始工

作,将瓶盖推送到进料挡板处,冲压模板下压,扣板内径逐渐减小,瓶盖外侧橡胶圈受到压力在扣板内径中逐渐缩小,直到橡胶圈进入瓶口后回弹,瓶盖预紧在瓶口处。随后三轴气缸伸出,夹具导轨板后移、逐渐打开,直到冲压模板上的树脂压装锤能够完全通过瓶盖进料口,再次对瓶盖进行下压操作。图 8 所示为扣板。



1—三轴气缸;2—夹具导轨板;3—夹具安装板;4—扣板;5—进料挡板;6—压板。

图 7 夹具装置

Figure 7 Fixture device

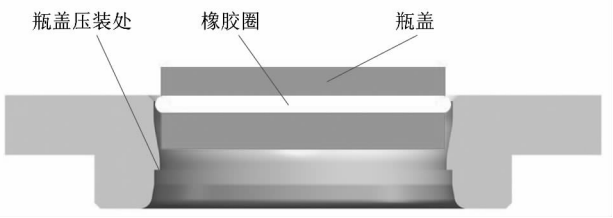


图 8 扣板

Figure 8 Clamping plate

2.4 冲压模板

冲压模板由压盖机顶部的超薄气缸进行控制,由螺杆、缓冲弹簧和树脂压装锤组成,其主要起到压装瓶盖的作用。冲压模板结构如图 9 所示。当瓶盖完成预紧时,冲压模板再次下压,限位螺杆与夹具装置接触,此时瓶盖完全压装在瓶体上。

为了保证冲压模板满足设计要求,对冲压模板及树脂压装锤进行力学仿真验证其单次变形量是否满足 GB/T 44559.1—2024《塑料 硬质塑料冲孔性能的测定》的规定。

1) 网格划分。

对冲压模板的网格划分如图 10 所示。

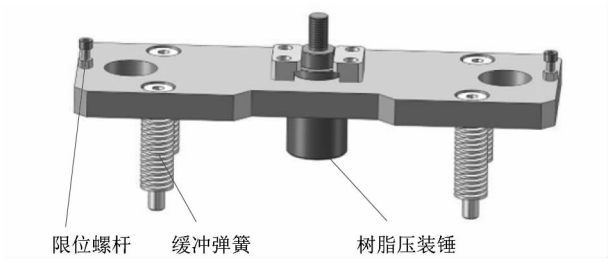


图 9 冲压模板结构

Figure 9 Structural of stamping die plate

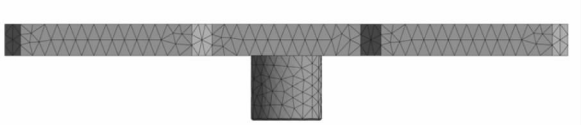


图 10 冲压模板网格划分

Figure 10 Mesh division of stamping die plate

2) 边界条件。

由于冲压模板两端被导柱固定,因此在设置边界条件时,将冲压模板两端固定。冲压模板在对工件冲压时力大约为 500 N,因此对树脂冲压锤设置一个方向向上的 500 N 的力。

3) 仿真结果分析。

冲压模板的总变形仿真结果如图 11 所示,主要变形产生在树脂冲压锤上,最大总变形为 13.128 μm,满足 GB/T 44559.1—2024 中要求的树脂冲压锤在单次冲压过程中弹性变形应控制在 0.1% ~0.5%(即应变 $0.001 \leqslant \varepsilon \leqslant 0.005$),以避免塑性变形或微裂纹积累。

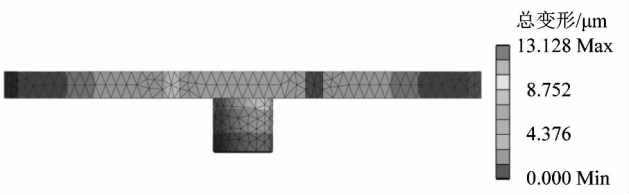
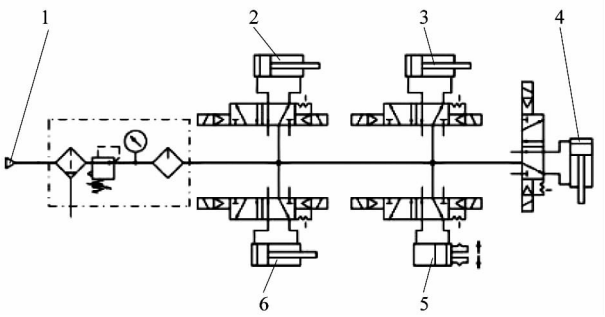


图 11 冲压模板总变形仿真

Figure 11 Total deformation simulation of stamping die plate

2.5 控制系统设计

全自动压盖机动力系统采用气动驱动,各部分气动元件设置在一个控制柜中,气动系统原理如图 12 所示。控制系统采用西门子 S7-200 SMART 型可编辑逻辑控制器进行控制,控制系统原理如图 13 所示。



1—气泵;2—三轴气缸;3—双轴气缸;4—超薄气缸;5—气动夹爪;6—分度盘驱动气缸。

图 12　气动系统原理

Figure 12　Pneumatic system principle

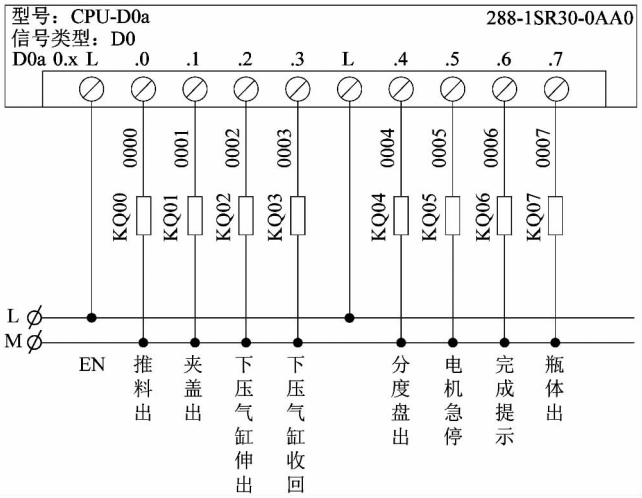


图 13　控制系统原理

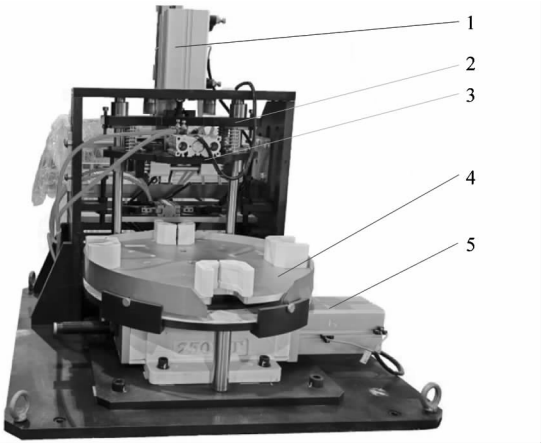
Figure 13　Control system principle

3　全自动压盖机性能测试

为验证全自动压盖机设备性能,制作全自动压盖机样机如图 14 所示,旋转上料分拣机样机如图 15 所示。全自动压盖机整机功率为 0.9 kW,额定电压为 220 V,空压机气压为 0.6 ~ 0.8 MPa,整机尺寸为2 000 mm × 1 100 mm × 1 590 mm。

笔者对全自动压盖机进行 5 组生产测试,每组压装瓶盖 105 个,测试结果如表 1 所示。

全自动压盖机 5 组测试的平均压装成功率为 99.81%,满足企业生产要求。在测设过程中发现第 4 组瓶盖在从上料口下落到瓶口时,发生倾斜,未完全平放在瓶口上,导致预压装时未预紧成功,并在正式压装时,未压装成功。分析原因是由于限位螺杆高度过高,



1—超薄气缸;2—冲压模板;3—夹具装置;4—分度盘;5—气缸。

图 14　全自动压盖机样机

Figure 14　Prototype of fully automatic capping machine

图 15　旋转上料分拣机样机

Figure 15　Prototype of rotary feeding and sorting machine

夹具装置未完全与瓶口贴合,导致预紧不完全,后微调限位螺杆后将压装平台高度下调后解决问题。

表 1　全自动压盖机生产测试结果

Table 1　Production test results of fully automatic capping machine

试验组别	瓶盖数	压装成功瓶盖数	压装成功率/%
1	105	105	100.00
2	105	105	100.00
3	105	105	100.00
4	105	104	99.05
5	105	105	100.00

4　结论

为解决特殊瓶盖压装效率低下的问题,笔者设计

了全自动压盖机。通过采用超薄气缸、气动夹爪、旋转上料分拣机等关键部件,实现了瓶盖和瓶体的自动输送与压装。笔者进一步进行样机制作和实际生产测试,结果表明:该设备能够高效完成特殊瓶盖的压装任务,生产速度可达每分钟 60 个,产品合格率可达 99.81%,满足企业生产要求。

该全自动压盖机采用超薄气缸作为动力元件,结合旋转上料分拣机和气动夹爪,实现了瓶盖和瓶体的高效、稳定输送与压装;通过优化夹具装置和冲压模板的设计,提高了设备的适应性和可靠性,能够满足特殊瓶盖的压装需求;在控制系统方面,采用可编辑逻辑控制器,实现了设备的自动化控制和精确操作。

该设备显著提高了生产效率,降低了人工成本,提升了产品质量,具有一定的工程应用价值和广阔的市场前景。

进一步研究可以针对不同形状和尺寸的特殊瓶盖,进一步优化设备结构和参数设置,提高设备的通用性;引入机器视觉、传感器融合等智能化技术,实现对瓶盖和瓶体的自动识别与定位,进一步提高压装精度和效率;通过长期运行测试和故障分析,进一步提升设备的可靠性和稳定性,减少停机时间和维修成本。

参考文献:

[1] 李宁. 食品包装机械的自动化技术发展与管理[J]. 核农学报,2022,36(5):1083.

[2] 林海生. 日化包装机械自动化和智能化的现状与前景探析[J]. 自动化技术与应用,2022(8):119 – 121.

[3] 赵锦康. 包装机械中自动化技术的应用与展望[J]. 科技创新与应用,2021(2):158 – 160.

[4] 周改梅,李蕊,白妮. 一种骨架油封压装机构的设计分析[J]. 机械设计与制造,2024(2):291 – 293.

[5] 朱俊,何钏. 推杆装配伺服压装机的设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2022(7):26 – 29.

[6] 霍绪尧,侯宇杰,余明浩,等. 一次性指形薄膜包装机的设计[J]. 包装与食品机械,2024,42(4):74 – 79.

[7] 杨爱国,杨天昀. 潜水搅拌机转子轴承的压装专机设计与应用[J]. 机电工程技术,2024,53(7):306 – 309.

[8] 刘立伟. DGP16/6 等压灌装压盖机的 PLC 控制[J]. 制造业自动化,2005,27(4):63 – 65.

[9] 张斌,穆国鹏,冯巍. 井字形双列自动辊压封盖机的设计[J]. 包装与食品机械,2019,37(3):30 – 33.

[10] 高彬,姚燕. 一种传动轴压盖锻造方案设计及优化[J]. 锻造与冲压,2024(17):66 – 68.

[11] 杨清艳,张魁榜. 压盖机凸轮机构性能分析及改进[J]. 食品与机械,2018,34(7):101 – 105.