

Research on Structural Design and Optimization of Commercial Continuous Convenience Bag Sealing Machine

Yonghong Bian Mengyu Qiu Tongqiang Liang

Jiangxi University of Applied Science and Technology, Ji'an, Jiangxi, 343000, China

Abstract

With the rapid development of the packaging industry, commercial continuous convenience bag sealing machines, as key equipment in packaging production lines, have a direct impact on production efficiency and sealing quality. This article focuses on the problems of unstable tension control and uneven sealing quality in high-speed and high-precision operations of domestic sealing machines, and conducts structural design and optimization research. Through modular design methods, the equipment is divided into three functional modules: feeding, heat sealing, and cutting. Combined with transmission system parameter calculation and finite element analysis, a sealing machine design scheme with high stability and efficiency is proposed. The research results indicate that the optimized tension control system can control tension fluctuations within $\pm 2\%$. The heat sealing mechanism adopts a cam spring combination structure, achieving continuity and stability in the sealing process. This article provides theoretical basis and practical reference for the structural innovation and performance improvement of commercial sealing machines.

Keywords

Continuous sealing machine; Modular design; Tension control; Heat sealing mechanism; Finite Element Analysis

商用连续式便利袋封口机结构与优化研究

边永宏 邱梦雨 梁炯墙

江西应用科技学院, 中国 · 江西 吉安 343000

摘 要

随着包装行业的快速发展, 商用连续式便利袋封口机作为包装生产线中的关键设备, 其性能直接影响到生产效率和封口质量。本文针对国内封口机在高速、高精度作业中存在的张力控制不稳定、封口质量不均等问题, 开展结构与优化研究。通过模块化设计方法, 将设备划分为送料、热封、裁断三大功能模块, 结合传动系统参数计算与有限元分析, 提出了具有高稳定性和高效率的封口机设计方案。研究表明, 优化后的张力控制系统可将张力波动控制在 $\pm 2\%$ 以内, 热封机构采用凸轮-弹簧组合结构, 实现了封口过程的连续性与稳定性。本文为商用封口机的结构创新与性能提升提供了理论依据与实践参考。

关键词

连续式封口机; 模块化设计; 张力控制; 热封机构; 有限元分析

1 引言

商用连续式便利袋封口机广泛应用于食品、医药、日化等行业的包装流程中, 其性能优劣直接关系到包装质量与生产效率。近年来, 随着快消品市场对包装速度与精度要求的提高, 封口机的高效性、稳定性与智能化成为研究热点。尤其是在高速运行状态下, 张力控制的稳定性、热封温度的精确性及裁断动作的同步性, 是影响封口质量的核心因素。

目前, 国外封口机技术已较为成熟, 特别是在自动化控制、节能设计及智能检测方面具有明显优势。例如, 日本某型连续封口机集成高精度张力控制与视觉检测系统, 封口

合格率高达 99.8%。相比之下, 国内封口机虽在近年取得显著进步, 但在核心零部件制造、系统稳定性等方面仍存在差距。因此, 开展封口机结构与优化研究, 对提升国产设备竞争力具有重要意义^[1]。

本文基于模块化设计理念, 结合传动计算与仿真分析, 提出一种适用于 HDPE/LDPE 筒膜的高效封口机方案, 重点解决张力控制与热封机构的设计难题, 以期为国产封口机的技术升级提供参考。

2 封口机总体结构设计

2.1 设计要求与原料特性

本设计针对 HDPE (高密度聚乙烯) 和 LDPE (低密度聚乙烯) 筒膜, 设定最大制袋宽度为 250mm, 最大制袋长度为 300mm, 设备运行速度不低于 30m/min。HDPE 具有较

【作者简介】边永宏 (1988-), 男, 中国江西吉安人, 硕士, 从事智能制造研究。

高的软化温度（125–135℃）和优良的耐化学性，而 LDPE 则具备更好的柔韧性和低温适应性。这两种材料在封口过程中对温度与压力的控制要求较高，需在热封机构中实现精准调控^[2]。

2.2 整体方案与工作流程

封口机采用模块化布局，主要包括供料机构、整平机构、热封机构和裁断机构。其工作流程如下：

放卷与整平：成卷筒膜经放卷机构展开，通过整平辊校正膜面，消除褶皱，为后续封口提供平整基材。

热封成型：膜材进入热封机构，在温度与压力作用下完成边缘熔合。热封机构采用凸轮驱动推杆实现间歇式压合作业，确保封口牢固。

裁断分离：封口后的连续膜材由裁断机构按设定长度精准切割，形成独立包装袋。

整个过程中，张力控制系统保持膜材传输的稳定性，避免因张力波动导致封口不良。

3 关键部件设计与计算

3.1 供料机构设计

供料机构采用电磁阻尼结构，通过力矩电机提供恒定扭矩，确保放卷过程中膜材张力稳定。根据负载分析，选用 YLJ80-2-6 型力矩电机，其堵转扭矩为 $2\text{ N}\cdot\text{m}$ ，满足最大牵引力 20 N 的工况需求。放卷组件结构包括带轮、支撑架与移动挡盘，整体尺寸为 $300\text{ mm}\times 290\text{ mm}\times 350\text{ mm}$ ，具备良好的刚性与适配性。

3.2 热封机构设计

热封机构是封口质量的核心保障。本设计采用凸轮-弹簧组合结构，通过减速电机驱动凸轮轴，带动推杆实现间歇式压合。加热模块尺寸为 $260\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ ，覆盖最大膜宽，温度控制精度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。推杆上方设置压板（ $295\text{ mm}\times 40\text{ mm}$ ），确保压力分布均匀。经计算，热封力设定为 120 N ，弹簧回弹力为 20 N ，系统总推力为 146.86 N ，选用额定扭矩 $10\text{ N}\cdot\text{m}$ 、转速 100 r/min 的减速电机^[3]。

3.3 裁断机构设计

裁断机构采用气动驱动方式，通过气缸推动刀头完成切割作业。根据裁断力 100 N 、行程 100 mm 、工作气压 0.5 MPa 等参数，计算得出气缸最小缸径为 24.07 mm ，选用 MBL25-350 型矩形气缸。工作台面设计为 15.5° 倾斜角，便于膜材滑落，提高生产效率。

3.4 传动系统设计

传动系统由电动机、减速器、同步带等组成。选用 YCTD100-4A 型电磁调速电机，功率 0.55 kW ，调速范围 $50\text{--}1250\text{ r/min}$ 。同步带传动部分采用 L 型带，节距 9.525 mm ，带轮齿数 16，带宽 56 mm ，经校核带速为 0.24 m/s ，符合设计要求。

4 结构优化与性能提升

4.1 张力控制系统优化

张力控制是影响封口质量的关键。本设计从三方面进行优化：

1 放卷控制：采用高精度力矩电机，结合张力传感器实现闭环反馈，将放卷张力波动控制在 $\pm 2\%$ 以内。

1 辊压调节：通过多组同步辊系统调节接触压力，确保膜材在输送过程中张力均匀。

1 夹紧机构：采用丝杆滑块调整辊距，保持夹持力一致，避免张力波动。

4.2 热封机构创新设计

传统热封机构结构复杂、调节困难。本设计采用凸轮-弹簧组合，具有以下优点：

1 压力可控：通过调节凸轮位置与弹簧预紧力，实现热封压力的精确控制。

1 缓冲稳定：弹簧吸收外部压力波动，提高封口一致性。

1 操作简便：结构简化，调节便捷，适用于多材质、多工况生产。

5 强度校核与有限元分析

机架作为主要的支撑机构对整个装置的稳定性具有重要作用，本次设计的机架分为多层设计，主要满足塑料薄膜的热封与裁断作业，因此框架需要具有一定的强度^[4]。需要对其进行校核分析，考虑到框架受力的复杂性，本次采用有限元对框架的受力进行分析。首先对整体框架进行受力分析，如下图 1-1 所示，主要承受四部分的重力。

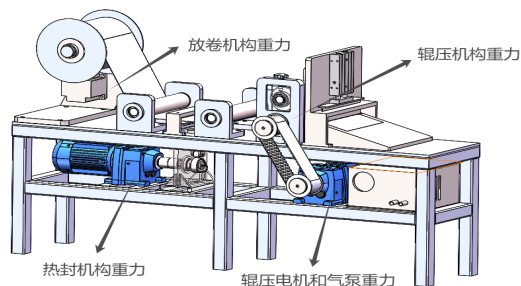


图 1-1 机架受力图

根据上图，将机架的受力分为四个区域，查阅资料以及结合软件评估重量得到第一区域放卷机构的重力为 20 kg ；第二受力区域的热封机构的重力为 25 kg ；第三受力区域的辊压机构重力为 30 kg ；第四受力区域的辊压机构重力为 20 kg ^[5]。

本次对框架组焊件进行有限元分析采用 Solidworks 中的 Simulation 插件模块，主要进行最大静应力分析及校核，当拖板装载箱体物资到最大位置时，此种状态下应力为框架承受的力最大，本次对于框架的静应力分析即在此状态下

进行。

选择 Q235 钢材，屈服强度 235MPa，弹性模量为 $2.09 \times 10^5 \text{ MPa}$ ，泊松比 0.269，质量密度是 7890 kg/m^3 ；模拟框架的受力情况确定受力位置如图 1-2 图所示，然后确定受力的大小 F，受力的四个区域进行了标示；

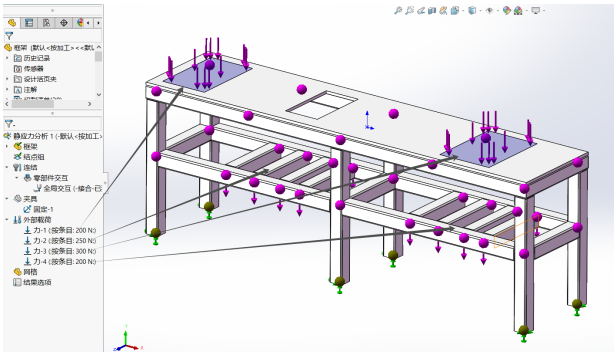


图 1-2 框架的载荷施加

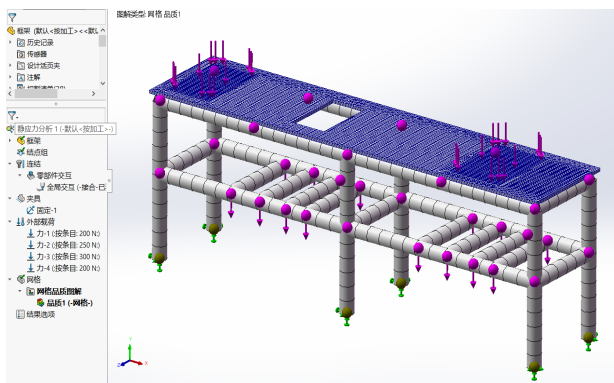


图 1-3 框架网格划分

划分网格，网格单元设定为 0.5mm，为防止局部应力影响增加局部网格控制网格，网格单元为 0.2mm，网格划分，如图 1-3 所示；

然后再有限元分析软件中进行计算，计算结果，如图 1-4 所示。

通过上面的框架应力云图分析，框架最大应力处为 1.51Mpa，材料的能够承受的最大应力为 235Mpa，材料的强度远大于框架变形产生的最大应力，因此框架的设计满足强度要求。

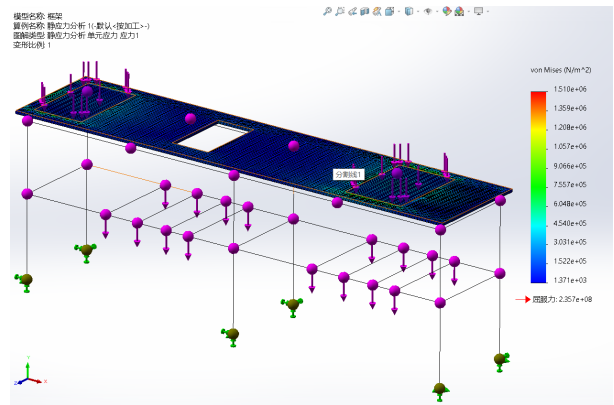


图 1-4 框架应力云图

6 结论

本文围绕商用连续式便利袋封口机的结构设计与优化展开系统研究，主要成果如下：

提出了基于模块化设计的封口机整体方案，明确了供料、热封、裁断三大功能模块的结构与协作机制。完成了关键部件的参数计算与选型，包括力矩电机、减速电机、同步带传动及气动裁断系统，确保设备在高速运行下的稳定性。通过张力控制优化与热封机构创新，显著提升了封口质量与设备适应性。利用有限元分析验证了机架结构强度，为设备可靠性提供了理论保障。本研究不仅为封口机的结构设计提供了新思路，也为国产包装设备的技术升级与市场竞争力提升奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 包装机械工业发展报告[J]. 中国包装技术, 22(3), 34-40.
- [2] 张九天, 鲁延迅, 赵聪. 食品热封包装材料的制备与热封技术的应用[J]. 中国食品, 2024(16): 174-176.
- [3] Future Market Insights: Form-Fill-Seal Machine Market Set to Expand From USD 12.2 Billion in 2024 to USD 17.1 Billion by 2034[J]. Manufacturing Close - Up, 2024.
- [4] 吴锦虹, 吴荣城, 余伙庆. 杯装灌装封口机出杯机构的改进[J]. 轻工科技, 2024, 40(05): 80-84.
- [5] 陈强. 国内封口设备核心技术的突破与挑战[J]. 现代制造技术与自动化, 2023, 19(4): 55-60.