

机械工程

食品机械输送组件的机械制造工艺改进研究

路小卫 李晓 吕春香 李雪 张宪文
山东普瑞特机械制造有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8558

[摘要] 输送组件是食品机械达成连续化生产的核心执行部件,其制造品质直接关系到食品生产效率、产品卫生安全以及设备运行稳定性。针对传统制造工艺下食品机械输送组件存在的精度欠缺、卫生死角残留、耐磨性能不佳及适配性不足等问题,本文依托现代机械制造技术,开展输送组件制造工艺改进研究。首先剖析输送组件的工况特点与制造质量标准,明确工艺改进的核心方向;随后从成型工艺、精密加工、表面处理及装配工艺四个层面,提出具体改进策略:采用激光切割替代传统剪切工艺以提高板材成型精度,运用五轴联动加工优化异形输送件加工质量,通过等离子喷涂与电解抛光复合工艺增强表面性能,建立模块化装配流程提升适配性。以网带式果蔬输送组件为实例进行工艺改进验证,结果显示:改进后组件尺寸误差控制在 $\pm 0.03\text{mm}$ 范围内,表面粗糙度 $R_a \leq 0.4\mu\text{m}$,耐磨寿命达到原工艺产品的2.1倍,清洁效率提升40%,完全符合GB 16798-2012卫生标准。该研究成果为食品机械输送组件的高质量制造提供了技术支持,对促进食品装备制造业升级具有重要意义。

[关键词] 食品机械; 输送组件; 制造工艺; 精密加工; 表面处理; 模块化装配

Research on the Improvement of Mechanical Manufacturing Process for Food Machinery Conveyor Components

Lu Xiaowei Li Xiao Lv Chunxiang Li Xue Zhang Xianwen
Shandong Prute Machinery Manufacturing Co., Ltd

[Abstract] Conveyor components are the core execution parts for achieving continuous production in food machinery, and their manufacturing quality directly affects food production efficiency, product hygiene and safety, and equipment operation stability. In response to the problems of insufficient precision, hygiene dead corners, poor wear resistance, and inadequate adaptability of food machinery conveying components under traditional manufacturing processes, this article relies on modern mechanical manufacturing technology to carry out research on improving the manufacturing process of conveying components. Firstly, analyze the working conditions and manufacturing quality standards of the conveying components, and clarify the core direction of process improvement; Subsequently, specific improvement strategies were proposed from four aspects: forming process, precision machining, surface treatment, and assembly process. Laser cutting was used to replace traditional shearing process to improve the accuracy of sheet metal forming. Five axis linkage machining was used to optimize the processing quality of irregular conveying parts. The surface performance was enhanced through a composite process of plasma spraying and electrolytic polishing, and a modular assembly process was established to improve adaptability. Taking the mesh belt fruit and vegetable conveying component as an example for process improvement verification, the results show that the size error of the improved component is controlled within $\pm 0.03\text{mm}$, the surface roughness R_a is $\leq 0.4\mu\text{m}$, the wear resistance life is 2.1 times that of the original process product, the cleaning efficiency is improved by 40%, and it fully complies with the GB 16798-2012 hygiene standard. This research achievement provides technical support for the high-quality manufacturing of food machinery conveying components, which is of great significance for promoting the upgrading of the food equipment manufacturing industry.

[Key words] food machinery; Transport components; Manufacturing process; Precision machining; Surface treatment; modular assembly

一、引言

随着食品工业规模化自动化发展，输送组件作为生产线各环节的关键连接载体，其性能直接决定整体运行效率。据中国食品和包装机械工业协会数据，2024年我国食品机械市场规模超4800亿元，输送系统相关组件占比17%。但多数企业采用传统工艺生产，导致诸多质量问题：烘焙链板因冲压精度不足停机故障率达22%，生鲜输送网带焊接死角使食品合格率降15%，谷物输送辊年磨损0.8mm且维护成本占总运营成本30%，既制约效率又威胁食品安全。

现代制造技术为工艺改进提供了支撑，精密切割等技术推动机械制造向“精准智造”转型。张明等(2021)采用数控等离子切割使输送链板精度提升12%，Miller K等(2022)通过陶瓷涂层将输送辊寿命延长1.5倍，但现有研究多聚焦单一工艺，缺乏“成型-加工-表面-装配”全流程优化，且针对食品行业卫生要求的工艺整合研究不足。

为此，本文结合输送组件工况特殊性，构建“全流程工艺优化”体系，从多环节提出改进方案并结合案例验证，为企业提供技术参考，助力食品行业高效安全生产。

二、食品机械输送组件的工况特征与制造要求

(一) 核心工况特征

食品机械输送组件的工作环境具有复杂性与特殊性，主要体现在三个方面：一是接触介质多样，需直接或间接接触生鲜、酱料、谷物等不同形态的食品，部分场景还需承受酸性、油性介质的侵蚀；二是运行负荷多变，在原料批量投放时需承受冲击负载，如肉类输送链板瞬时负载可达额定值的2.5倍，易造成组件变形；三是清洁要求严苛，需频繁经受高压冲洗、高温消毒，组件表面及结构缝隙需无卫生残留，防止交叉污染。此外，不同食品加工场景对输送组件的运行速度、承载能力要求差异明显，如巧克力输送需低速平稳(0.51m/s)，而粮食输送需高速高效(35m/s)。

(二) 关键制造要求

结合工况特征与GB 16798-2012《食品机械安全卫生》等标准，输送组件制造需满足四项核心要求：一是尺寸精度，直线输送组件的直线度误差 $\leq 0.1\text{mm/m}$ ，异形输送件的形位公差 $\leq 0.05\text{mm}$ ；二是卫生性能，表面需光滑无毛刺， $Ra \leq 0.8\mu\text{m}$ ，结构设计应避免盲孔、缝隙等卫生死角；三是力学性能，输送辊、链板等承载部件的硬度需 $\geq \text{HRC}30$ ，耐磨寿命 ≥ 5000 小时；四是适配性，组件需具备模块化拼接能力，以适配不同型号食品机械的安装需求，拆装时间 ≤ 1 小时。

三、食品机械输送组件制造工艺的核心改进路径

(一) 成型工艺改进：精准化成型替代粗放加工

针对传统剪切、冲压成型工艺精度低、毛刺多的问题，采用“激光切割+数控折弯”复合成型工艺。在板材成型阶段，选用光纤激光切割机加工输送链板、网带框架等部件，通过优化激光功率(10001500W)、切割速度(510m/min)及焦点位置，使切口粗糙度降至 $Ra1.6\mu\text{m}$ 以下，尺寸误差控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ ，较传统剪切工艺精度提升60%；对于弧形输送导轨等异形件，采用数控折弯机配合定制模具，实现多道次精准折弯，折弯角度误差 $\leq 0.5^\circ$ ，避免传统手工折弯导致的变形问题。

针对大型输送辊等回转体组件，采用离心铸造替代砂型铸造工艺，选用食品级316L不锈钢为原料，通过控制离心转速(15002000r/min)与冷却速度(58℃/min)，使铸件内部组织致密性提升30%，减少砂型铸造易产生的气孔、夹渣等缺陷。某企业应用该工艺后，输送辊的废品率从12%降至3%。

(二) 精密加工工艺改进：多轴联动提升复杂件加工质量

针对异形输送组件(如螺旋输送叶片、曲面导向板)传统加工效率低、精度差的问题，采用五轴联动加工中心替代传统三轴加工。在螺旋叶片加工中，通过UG软件构建三维模型，采用“分层铣削+高速精加工”策略，铣削速度达8000r/min，进给速度1500mm/min，使叶片的螺旋角误差 $\leq 0.1^\circ$ ，表面粗糙度 $Ra \leq 0.8\mu\text{m}$ ，加工效率较传统工艺提升45%；对于输送组件的孔系加工，采用数控钻攻中心实现“钻-攻-铰”一体化加工，定位精度达 $\pm 0.005\text{mm}$ ，保障轴承、连接件的精准装配。

引入在线检测技术保障加工精度，在加工设备上集成激光测头，对关键尺寸进行实时检测与补偿。以网带输送架加工为例，通过在线检测及时修正铣削偏差，使架体的平行度误差从传统工艺的0.2mm/m降至0.08mm/m，大幅提升输送平稳性。

(三) 表面处理工艺改进：复合处理强化性能与卫生性

构建“强化耐磨+卫生防护”复合表面处理体系。对于输送辊、链板等承载磨损部件，采用“等离子喷涂+封孔处理”工艺，喷涂 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 陶瓷涂层，厚度控制在0.10.15mm，涂层硬度达HRC65以上，摩擦系数降至0.06，同时采用有机硅树脂封孔，避免涂层孔隙成为卫生死角；对于直接接触食品的输送表面，采用电解抛光替代传统机械抛光，通过优化电流密度(2030A/dm²)与抛光时间(5~8min)，使表面粗糙度从 $Ra1.2\mu\text{m}$ 降至 $Ra0.4\mu\text{m}$ ，且形成钝化氧化膜，耐腐蚀性提升2倍。

针对焊接接头等易残留区域，开发“激光焊接+电解抛光”一体化工艺，激光焊接的焊缝宽度控制在2~3mm，热影响区 $\leq 1\text{mm}$ ，后续通过电解抛光消除焊缝毛刺，使接头处表面光滑度与基体保持一致，彻底解决卫生死角问题。

(四) 装配工艺改进: 模块化装配提升适配性与效率

打破传统整体式装配模式, 采用模块化设计与装配工艺。将输送组件拆解为驱动模块、承载模块、导向模块三个独立单元, 每个模块通过精密加工保证接口尺寸一致性, 采用标准化快拆连接件实现模块拼接, 装配时间从传统的 4 小时缩短至 1.5 小时; 建立模块互换体系, 针对不同食品机械的安装需求, 仅需更换导向模块即可实现适配, 适配范围提升至原工艺的 3 倍。

引入预紧力控制技术优化装配质量, 在轴承与输送轴的装配中, 采用扭矩扳手精准控制预紧力矩 (误差 $\leq 5\%$), 避免传统经验装配导致的过紧磨损或过松振动问题。某饼干生产线应用该工艺后, 输送系统的运行噪音从 75dB 降至 62dB, 稳定性显著提升。

四、工艺改进案例验证

(一) 案例背景

选取某企业生产的 WB-1200 型网带式果蔬输送组件作为研究对象, 该组件用于果蔬清洗后的输送与沥水, 采用传统“剪切-电弧焊接-机械抛光-整体装配”工艺生产, 存在三大问题: 一是网带网孔尺寸误差达 $\pm 0.2\text{mm}$, 导致小尺寸果蔬漏料率达 8%; 二是焊接接头毛刺多, 清洁后残留物检测合格率仅 82%; 三是网带链节磨损严重, 平均运行 3000 小时需更换, 维护成本较高。本次采用本文提出的全流程工艺改进方案进行升级。

(二) 改进方案实施

1. 成型工艺: 采用光纤激光切割机加工网带钢丝与框架, 切割精度控制在 $\pm 0.02\text{mm}$; 2. 焊接工艺: 替换为激光焊接, 焊缝宽度 2.5mm, 热影响区 $\leq 1\text{mm}$; 3. 表面处理: 网带整体采用电解抛光, 链节采用等离子喷涂陶瓷涂层; 4. 装配工艺: 拆解为驱动、网带、导向三个模块, 采用快拆连接件装配。

(三) 改进效果分析

改进后的输送组件经 6 个月试运行, 性能指标显著优化:

1. 精度提升: 网孔尺寸误差 $\leq \pm 0.03\text{mm}$, 漏料率降至 1.2%; 2. 卫生性提升: 表面 $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$, 焊接接头无残留, 残留物检测合格率 100%; 3. 耐磨性能提升: 链节磨损量较原工艺降低 80%, 连续运行 6500 小时无明显磨损; 4. 装配效率提升: 模块更换时间从 2 小时缩短至 40 分钟, 适配 3 种不同型号清洗设备。该组件通过国家食品机械质量监督检验中心检测, 符合 GB 16798-2012 及 GB/T 26816-2011 标准, 已批量应用于果蔬加工生产线。

五、结论与展望

本文针对食品机械输送组件传统制造工艺的缺陷, 构建全

流程工艺改进体系, 得出以下结论: 1. 激光切割、离心铸造等成型工艺改进, 使组件尺寸精度提升 60%以上, 有效解决漏料、卡顿问题; 2. 五轴联动加工与在线检测结合, 实现异形组件的高效精准加工, 加工效率提升 45%; 3. 等离子喷涂与电解抛光复合表面处理, 同时强化组件耐磨性与卫生性, 寿命延长 1 倍以上; 4. 模块化装配工艺大幅提升适配性与装配效率, 维护成本降低 50%。案例验证表明, 全流程工艺改进可显著提升输送组件综合性能, 满足食品行业严苛要求。

未来可从两方面深化研究: 一是智能化工艺方向, 结合数字孪生技术构建输送组件制造虚拟仿真系统, 实现工艺参数的动态优化; 二是绿色工艺方向, 研发食品级可降解涂层材料与低能耗加工技术, 降低制造过程的环境影响。随着工艺技术的持续升级, 食品机械输送组件将向“高精度、长寿命、易维护、绿色化”方向发展, 为食品工业高质量发展提供更坚实的装备支撑。

[参考文献]

- [1] 张明, 李娟, 王强. 数控等离子切割工艺在食品输送链板加工中的应用[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 128-132.
- [2] 国家标准局. GB 16798-2012 食品机械安全卫生[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [3] Miller K, Brown J, Davis L. Ceramic coating technology for improving the wear resistance of food conveyor rollers[J]. Journal of Food Engineering, 2022, 310: 110923.
- [4] 刘刚, 陈丽, 赵峰. 五轴联动加工在螺旋输送叶片制造中的应用研究[J]. 机械设计与制造, 2020, (11): 124-127.
- [5] 国家标准局. GB/T 26816-2011 果蔬清洗机[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [6] 王浩, 张敏, 李强. 食品机械输送组件激光焊接工艺优化[J]. 焊接技术, 2022, 51(3): 45-48.
- [7] 陈立, 刘军, 王海峰. 电解抛光工艺对食品级不锈钢表面性能的影响[J]. 表面技术, 2021, 50(5): 234-240.
- [8] 赵伟, 李明, 张莉. 模块化设计在食品输送系统装配中的应用[J]. 农业工程学报, 2020, 36(18): 289-295.
- [9] 黄志华, 杨明, 吴勇. 食品输送辊表面陶瓷涂层工艺研究[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(4): 167-172.
- [10] Wang Z, Li Y, Zhang H. Process optimization of food conveyor chain based on digital twin technology[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2023, 58(2): 789-798.