

顶捆穿箭式托盘捆扎机头设计

晏祖根¹, 孙鑫¹, 杨华¹, 孙智慧¹, 蒋琪², 孟爽¹

(1. 哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150028; 2. 华联机械集团有限公司, 温州 325006)

摘要: **目的** 针对国产托盘捆扎机高端产品少、捆扎速度慢等实际状况, 开展高性能顶捆穿箭式托盘捆扎关键技术的研究。**方法** 借鉴国内外的研究经验, 提出顶捆穿箭式托盘捆扎机的设计方案, 分析捆扎机的工作原理, 重点分析捆扎机头的工作原理与传动系统。基于 PLC 和凸轮组协同控制的原理, 设计捆扎执行机构的工作循环图, 基于 Ansys 开展强力捆扎组件的优化设计。**结果** 捆扎机头仿真分析的最大应力为 128.34 MPa, 最大变形为 0.266 mm, 满足机构设计的强度和精度要求。**结论** 研发出了高性能的顶捆穿箭式托盘捆扎机, 能在企业生产中实际应用。

关键词: 捆扎机; 工作循环图; 凸轮组; 有限元分析

中图分类号: TB486⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)17-0167-05

Design of the Vertical Pallet Strapping Component

YAN Zu-gen¹, SUN Xin¹, YANG Hua¹, SUN Zhi-hui¹, JIANG Qi², MENG Shuang¹

(1. Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China;

2. Hualian Machinery Group Co., Ltd., Wenzhou 325006, China)

ABSTRACT: There are some shortcomings in domestic pallet strapping machine, such as lacking of high quality equipment and low production efficiency, etc. This paper aims to study the key techniques of the pallet strapping machine. Based on experience at home and abroad, the design scheme of the vertical pallet strapping machine was proposed. The working principle of the machine was analyzed, with focus on the working principle and drive system of strapping head. The working cycle diagram of the executing mechanism was designed based on PLC and cam control. Strapping component was optimized based on Ansys. In the simulated analysis, the maximum stress of strapping head was 128.34 MPa and maximum deformation 0.266 mm, which met the requirement on strength and accuracy of mechanism design. In conclusion, the vertical pallet strapping machine with high performance is successfully designed and can be applied to the actual production.

KEY WORDS: strapping machine; working cycle diagram; cam group; finite element analysis

托盘捆扎包装可有效改进运输包装, 减少货物损失, 提高物流效率, 现已成为现代物流运输包装的重要形式。目前, 国外公司已研发高性能的托盘捆扎机, 并朝大型、高速、智能化的方向发展。国

内的华联机械集团等公司通过引进、吸收、再创造, 已研发成功一系列的托盘捆扎机, 但与国外先进水平相比, 还是存在高端产品少、智能水平低、捆扎速度慢、捆扎精度差等弊端, 无法满足现代企业生

收稿日期: 2016-05-06

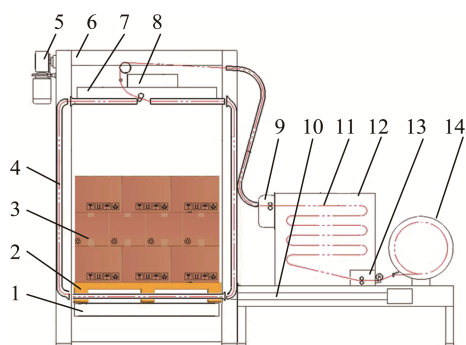
基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目 (12541186); 哈尔滨商业大学研究生创新科研项目 (YJSCX2014-297HSD)

作者简介: 晏祖根 (1973—), 男, 江西上高人, 博士, 哈尔滨商业大学副教授, 主要研究方向为包装技术、包装机械自动化、高速机器人技术。

产的实际需要^[1-2]。文中针对国内企业对大型托盘捆扎机的实际需求,提出顶捆穿箭式托盘强力捆扎机的设计方案,重点开展捆扎机头的关键技术研究,研发高性能的托盘捆扎机。

1 顶捆穿箭式托盘捆扎机

借鉴国内外托盘捆扎机的研发经验^[3-5],提出顶捆穿箭式托盘捆扎机的设计方案,见图1,机器主要由升降平台、捆扎机头、穿箭机构、预送带机构、二次送带机构、储带箱等组成,捆扎机头倒装在升降平台上。托盘上堆码货物后通常称为垛盘,见图1中的2、3。



1. 托盘输送机 2. 托盘 3. 纸箱 4. 导带轨道 5. 减速电机 6. 龙门机架 7. 升降平台 8. 捆扎机头 9. 二次送带机构 10. 穿箭机构 11. 捆扎带 12. 储带箱 13. 预送带机构 14. 带盘

图1 顶捆穿箭式托盘捆扎机原理

Fig.1 Principle of the vertical pallet strapping machine

机器的垛盘捆扎原理:预送带机构动作,将捆扎带从带盘送入储带箱;捆扎机头随升降平台回复高位;托盘输送机将已堆码货物的托盘输送到位,穿箭机构插入托盘底部的空隙,多段式导带轨道封闭;捆扎机头和二次送带机构协同快速送带,捆扎带在机头内搭接、沿导带轨道形成封闭;捆扎机头随升降平台缓慢下降,压平垛盘,同时缓慢收带;捆扎机头完成捆扎带的强力张紧、接头熔接和切断;执行机构复位,完成一道捆扎。

机器有如下特点:顶捆穿箭捆扎,可自动适应垛盘高度变化,垛盘成型美观;多凸轮和伺服电机的协同驱动,可实现托盘的快速与强力捆扎;龙门式机架适用于大尺寸、重载垛盘的捆扎,也方便多段式导带轨道封闭;专门设计的预送带、二次送带机构和储带箱,可有效改善捆扎带的输送性能,提高捆扎效率。

2 捆扎机头工作原理

捆扎机头是捆扎机的关键部件,见图2,通过安装板安装到机器的升降平台上,随升降平台自动适应垛盘的高度变化、压平垛盘,完成托盘的强力捆扎。

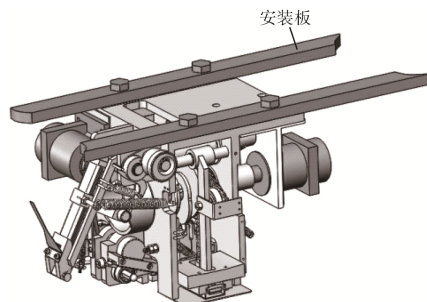
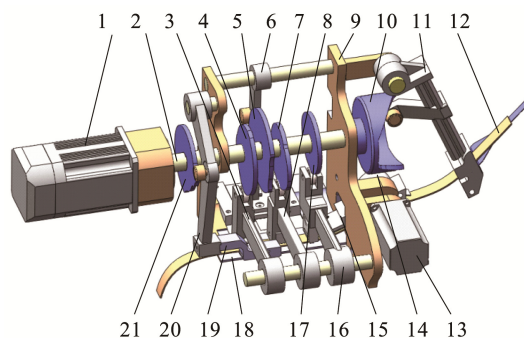


图2 捆扎机头三维模型

Fig.2 3D model of the strapping head

捆扎机头的机构原理见图3,其传动系统见图4。机头主要由隔离组件、右爪组件、切刀组件、左爪组件、烫头组件、张紧组件、送退带组件、带槽、基座、开关凸轮片、光电开关等检测元件组成。各凸轮组件的驱动凸轮安装在同一分配轴上,张紧凸轮采用碗凸轮形式,其他凸轮采用盘面凸轮形式,各凸轮组件都采用拉伸弹簧使滚子与驱动凸轮保持可靠接触^[6-8]。凸轮电机和送带电机采用高性能的交流伺服电机。



1. 凸轮电机 2. 分配轴 3. 左爪臂 4. 左爪凸轮 5. 烫头凸轮 5. 烫头臂 7. 中爪凸轮 8. 中爪臂 9. 基座 10. 张紧凸轮 11. 张紧臂 12. 捆扎带 13. 送带电机 14. 送带辊轮 15. 送带槽 16. 右爪臂 17. 右爪凸轮 18. 热合台 19. 隔离器 20. 隔离臂 21. 隔离凸轮

图3 捆扎机头的简化模型

Fig.3 Simplified model of the strapping head

捆扎机头的工作流程:升降平台回复高位,穿箭机构使导带轨道封闭后,送带伺服电机高速旋转,驱动送带辊轮与二次送带机构协同工作,实现捆扎带的快速送带;捆扎带头遇挡头,送带电机停

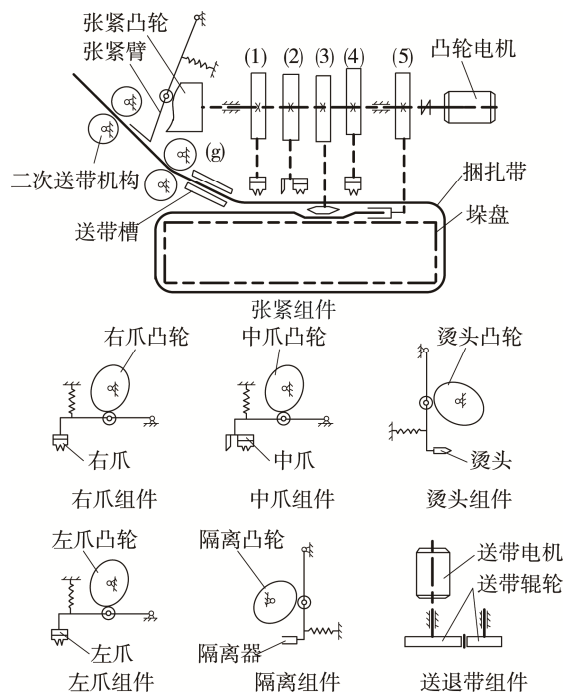


图 4 捆扎机头的传动系统

Fig.4 Drive system of the strapping head

止送带；左爪凸轮动作，驱动左爪压紧捆扎带头；隔离凸轮动作，驱动隔离器进入热合位置；升降平台缓慢下降，同时送带电机与二次送带机构反向缓慢旋转、收带，升降平台压平垛盘后，送带电机与二次送带机构停止动作；张紧凸轮动作，通过张紧臂强力张紧捆扎带；右爪凸轮动作，夹持捆扎带，并在两层捆扎带之间形成间隙；烫头凸轮动作，驱动烫头插入两层捆扎带之间，开始熔融捆扎带；中爪凸轮动作，驱动中爪下降，中爪的切刀将捆扎带切断；中爪凸轮继续旋转，中爪上升，烫头从捆扎带间隙中退出；中爪凸轮继续旋转，中爪下降，压合、冷却、定型熔融捆扎带；机构复位，完成托盘的 1 次强力捆扎。

3 工作循环图设计

工作循环图是自动机械设计的重要工具，可精确布置各执行机构的工作顺序，优化工作循环，避免机构干涉。工作循环图设计，要根据机器的工作要求和生产能力，确定各执行机构的运动循环和组成区段，分配各区段的时间和分配相应轴转角；绘制各执行机构的运动循环图；通过时间同步化设计，确定机器的最短工作循环；确定各执行机构的滞后量，绘制机器的工作循环图^[9-11]。

捆扎机头的各执行组件相互配合、协调完成自

动捆扎带的夹持、烫合、切断等动作，结合捆扎机头的工作流程，先设计各执行凸轮的运动循环，综合考虑加工误差、装配误差、分配转角的延时滞后等因素，设计捆扎机头的凸轮组工作循环图，见图 5。

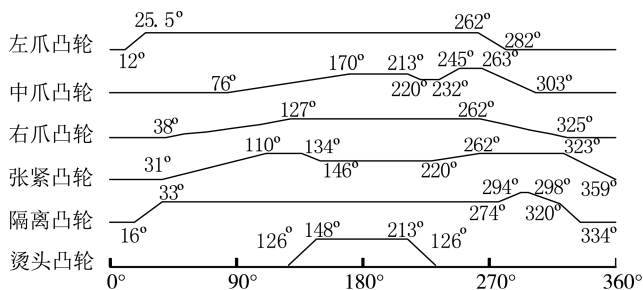


图 5 捆扎凸轮组的工作循环

Fig.5 Working cycle diagram of the cam group

由于垛盘高度不同，捆扎带材料不同，使得捆扎机头的送带、回带、停动以及捆扎带的熔融、冷却定型所耗费的时间都不同，因此，PLC 控制系统根据实际工作要求和光电传感器反馈的开关凸轮位置信号，实时启停凸轮电机、送退带电机，以备有足够的时间完成热熔、送带、退带等工艺动作。凸轮电机在 1 次工作循环中（分配轴旋转 1 周），共需停止 5 次，每次停止的时间取决于实际捆扎工艺。第 1 次，初始停止(343°)，凸轮电机自转寻找到初始点，将机头处多余的捆扎带切断，凸轮电机停转，机头上升。第 2 次，送带等待(0°)，穿箭机构插入托盘到位后，凸轮电机旋转，触发信号 LSC，凸轮电机停转，等待送带。第 3 次，收带等待(22°)，送带到位后，捆扎带头触发微动开关，送带停止，凸轮电机重新转动，同时机头开始下降，触发信号 LSE，凸轮电机停转，送退带电机开始快速反转收带。第 4 次，热熔等待(160°)，机头下降接近垛盘，触发光电开关 FC，机头停止下降，送退带电机开始缓速预紧收带，捆扎机主机的穿箭机构开始回缩，同时凸轮电机启动，烫头插入，强力张紧，触发信号 LSE，凸轮电机停止，开始捆扎带加热、切断和压紧操作。第 5 次，冷却定型等待(243°)，凸轮电机重新启动，触发信号 LSG，凸轮电机停止，捆扎带搭接头压紧、冷却定型。

4 强力张紧机构仿真分析

捆扎机头的张紧组件主要实现捆扎带切带、烫合前的强力拉紧，使捆扎带完全贴紧捆扎件，以实

现托盘的稳定可靠包装。该捆扎机主要采用宽度为 12, 13.5, 15.5 mm 的捆扎带, 按照相关标准、捆扎带特性和捆扎需求, 每道捆扎带的捆扎力应不小于 700 N。

张紧组件主要由张紧凸轮、张紧臂、卡爪、张紧弹簧、滚针轴承和调节装置等组成。张紧碗凸轮通过滚针轴承控制张紧臂的张紧回收动作。张紧夹头的卡紧位置通过调节装置调整, 即调整捆扎力的大小。

强力拉紧阶段, 张紧组件受力较大且较为复杂, 因此, 需对张紧组件进行仿真分析, 以优化捆扎机头的设计。仿真时, 先将张紧组件的 SolidWorks 模型导入 Ansys Workbench, 然后划分网格、定义约束和载荷, 进行分析计算。考虑机器的实际使用情况, 施加 900 N 的载荷进行仿真分析。张紧碗凸轮、张紧臂、滚针轴承分别选用 40Cr, QT45—5, GCr15 的材料^[12—15]。

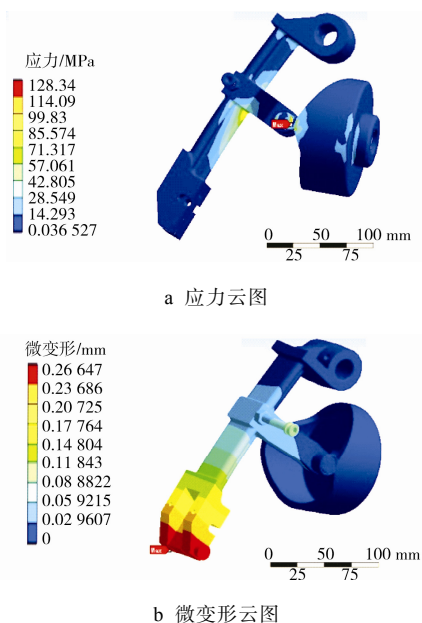


图6 张紧组件的Ansys仿真云图

Fig.6 Ansys simulation cloud image of the tension component

捆扎机头张紧组件的仿真分析结果见图6, 最大应力出现在滚针轴承处, 最大应力值为 128.34 MPa, 远小于材料的强度要求; 最大 sd fr87 变形发生在张紧臂末端, 最大变形值为 0.266 mm, 满足捆扎机构设计的精度要求。

5 结语

针对国内对大型托盘捆扎机的实际需求, 开展

顶捆穿箭式强力托盘捆扎机关键技术的研究, 重点开展捆扎机头传动系统设计和基于 PLC 与多凸轮协同控制的工作循环图设计。基于研究成果, 研发了 KZDT 型全自动顶捆穿箭式托盘捆扎机, 机器的捆扎速度达到 15 ~ 30 s/道, 最大单道捆扎力为 900 N, 机器具有性价比高、生产速度快、适应托盘尺寸范围大、操作调试简单等特点, 已在企业生产中得到实际应用。

参考文献:

- [1] 吴玉月, 徐鹏, 苗登雨. 钢带打捆机技术研究的现状及发展[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(1): 61—64.
WU Yu-yue, XU Peng, MIAO Deng-yu. Present Situation and Development Trend of Steel Strapping Machine Technology[J]. Packaging and Food Machinery, 2016, 34(1): 61—64.
- [2] 邹慧君, 高峰. 现代机构学进展[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
ZOU Hui-jun, GAO Feng. Progress of Modern Theory of Mechanism[M]. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [3] GB/T 26960—2011, 半自动捆扎机[S].
GB/T 26960—2011, Semi Automatic Strapping Machine[S].
- [4] 蔡玉强, 李宗严, 王丰. 瑞典 KNSS 捆钢机的机械结构及运作原理[J]. 上海金属, 2003, 25 (3): 21—25.
CAI Yu-qiang, LI Zong-yan, WANG Feng. Swedish KNSS Bundle Stel Machine Mechanical Structure and Operation Principle[J]. Shanghai Metals, 2003, 25(3): 21—25.
- [5] 李晓星, 钱德明, 李志明. 环保型捆扎机的设计与研究[J]. 浙江工贸职业技术学院学报, 2010, 10(3): 71—74.
LI Xiao-xing, QIAN De-ming, LI Zhi-ming. The Design and Research of Environmental-friendly Binding Machine[J]. Journal of Zhejiang Industry and Trade Vocational College, 2010, 10(3): 71—74.
- [6] 何允纪, 陈雪芳. 自动捆扎机凸轮箱的优化设计[J]. 包装与食品机械, 1996, 14(4): 7—11.
HE Yun-ji, CHEN Xue-fang. Optimal Design of the Cam Drive Box of Automatic Binding Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 1996, 14(4): 7—11.
- [7] 张浩, 党新安. 全自动捆扎机传动系统设计[J]. 重庆工学院学报, 2006, 20(7): 54—56.
ZHANG Hao, DANG Xin-an. Design of the Transmission System of Automatic Enlacing Machine[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology, 2006, 20(7): 54—56.
- [8] 刘飞飞, 刘金根. 基于 ADAMS 的捆扎机锁紧机构的优化设计[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 19—21.
LIU Fei-fei, LIU Jin-gen. Optimal Design for Locking Mechanism of Bundling Machine Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 19—21.

- [9] 杨妙, 曹巨江, 李志明. 环保型捆扎机送胶、烫合机构的设计[J]. 包装工程, 2010, 31(1): 65—67.
YANG Miao, CAO Ju-jiang, LI Zhi-ming. Design of Environment-friendly Glue Conveying and Heat Seal Mechanism of Binding Machine[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1): 65—67.
- [10] 杨传民, 汪浩, 刘铭宇, 等. 给袋式包装机撑袋空间组合机构的运动分析[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 34—37.
YANG Chuan-min, WANG Hao, LIU Ming-yu, et al. Kinematic Analysis of Spatial Combined Mechanism for Bag Opening in Automatic Bag Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 34—37.
- [11] 徐芳, 周志刚. 基于 ADAMS 的凸轮机构设计及运动仿真分析[J]. 机械设计与制造, 2007(9): 78—80.
XU Fang, ZHOU Zhi-gang. Design and Kinematics Simulation of Cam Mechanism Based on ADAMS[J]. Machinery Design and Manufacture, 2007(9): 78—80.
- [12] 田野, 孙智慧, 郑赛男, 等. 包装机中推料机构分析及优化[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 66—70.
TIAN Ye, SUN Zhi-hui, ZHENG Sai-nan, et al. Analysis and Optimization of the Pushing Mechanism in Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 66—70.
- [13] 梁基照. 包装机械优化设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
LIANG Ji-zhao. Optimal Design of Packaging Machine[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [14] XIAO Han-song, ZU Jiang-wen. Cam Profile Optimization for A New Cam Drive[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2009, 23(10): 2592—2602.
- [15] 袁清珂, 伍财生. 钢丝捆扎机夹持机构有限元分析[J]. 机械设计与制造, 2016(3): 217—219.
YUAN Qing-ke, WU Cai-sheng. Finite Element Analysis on Steel Strapping Clamping Mechanism[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(3): 217—219.