

包芯线自动包装机的设计与分析

王海泉, 陈英俊, 龚勇镇, 赵轲, 张航, 刘建彬
(广东石油化工学院, 广东 茂名 525000)

摘要: **目的** 针对手工包装包芯线卷效率低和包装质量参差不齐等问题, 设计一种最大质量为 1500 kg 的包芯线卷自动化包装机。**方法** 根据包芯线卷的主要参数和包装工艺流程, 结合包芯线卷在包装过程中的实际要求进行包装机的结构设计, 包括包膜准备装置、热封装置、焊接系统、气压系统。**结果** 设计出了完整的总体尺寸为 3200 mm×1200 mm×2000 mm 的包芯线卷自动包装机, 完成了包装机模拟装配仿真、气压系统的调试。仿真结果表明, 大小膜牵引器速度为 0.11~0.5 m/s; 关键零部件 U 形钩的有限元分析结果表明, 最大位移发生在 U 形钩底部, 其最大等效应力为 29.871 MPa, 装置的强度满足设计要求。**结论** 总结包芯线包装目前存在的问题, 从满足企业可持续化需求角度对包装机进行了创新设计与仿真优化, 实现了包芯线卷自动化、标准化包装, 为企业节约了人工成本。

关键词: 包芯线; 包装; 自动化; 标准化

中图分类号: TB486; TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)07-0169-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.07.024

Design and Analysis of Automatic Packaging Machine for Cored Wire

WANG Hai-quan, CHEN Ying-jun, GONG Yong-zhen, ZHAO Ke, ZHANG Hang, LIU Jian-bin

(Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China)

ABSTRACT: The work aims to design an automatic packaging machine of cored wire coil with a maximum weight of 1500 kg, aiming at the problems such as the low efficiency of hand-wrapped cored wire coil and the uneven quality of packaging. The structural design of the packaging machine was carried out according to the main parameters and packaging process of the cored wire coil and the actual requirements of cored wire in the packaging process, including the packaging preparation device, the heat sealing machine, the welding system and the pneumatic system. A complete automatic packaging machine of cored wire coil with an overall size of 3200 mm×1200 mm×2000 mm was designed. The virtual assembling simulation of the packaging machine and the debugging of the pneumatic system were completed. The simulation results showed that the packaging speed was the speed of the film tractor, i.e. 0.11-0.5 m/s. The finite element analysis results of the U-shaped hook of the key component showed that the maximum displacement occurred at the bottom of the U-shaped hook, and the maximum equivalent stress was 29.871 MPa. The strength of the device met the design requirements. Based on the summary of the existing problems of cored wire packaging, the innovative design and simulation optimization of the packaging machine are carried out from the perspective of satisfying the sustainable demand of the enterprises. Automatic and standardized packaging of cored wire coil is realized to

收稿日期: 2019-08-21

基金项目: 广东省自然科学基金 (2017A030307007); 广东省科技计划 (2015A030401103); 茂名市科技计划 (2017305); 广东省教育厅青年创新人才项目 (2017KQNCX132)

作者简介: 王海泉 (1984—), 男, 硕士, 广东石油化工学院讲师, 主要研究方向为产品开发创新设计、机械系统优化设计。

通信作者: 陈英俊 (1979—), 男, 博士, 广东石油化工学院副教授, 主要研究方向为现代包装技术、摩擦学测试技术等。

reduce labor cost for enterprises.

KEY WORDS: cored wires; packaging; automation; standardized

包芯线 (Cored wire) 是把欲添加合金加工成粉状或线状, 用折叠咬口方式用带钢将合金粉剂或线包覆成密封性能好、又有一定刚度的芯线, 根据需要卷成一定重量的包芯线卷, 由喂线机通过导管将包芯线插入浇包底部, 使其在底部熔化以保证合金粉剂与金属液充分接触反应, 提高合金的收得率^[1]。包芯线卷的包装分为内包装和外包装 2 部分, 其内包装是应用塑料膜包装线卷, 而外包装是焊接的金属固定架, 内外包装可防止包芯线在仓储及运输过程中受潮、生锈、磕碰、污染, 并支持堆叠节省仓储空间。

国内外对于包芯线卷专用包装机的研究及相关设备鲜有报道, 虽然高级线材卷即卷材行业用圆深筒式缠绕包装机可应用到包芯线卷的内包装中, 但应用到包芯线卷包装生产过程中有 3 点无法避免的问题: 现有大型包装机的缠绕包装速度慢, 且需配套专用吊具等, 设备投资大, 维修费用也高; 缠绕包装都存在塑料膜累积与叠压, 增加塑料膜用量; 对于包芯线的包装而言, 只能包装内包装, 而对于包芯线的外包装无能为力^[2-9]。国外对缠绕包装机的研究起步比较早, 有近百年的历史, 如国外包装机制造商美国信诺工业集团 SIGNODE 钢卷穿心薄膜缠绕机, 英国 Adpak (Adpak Machinery Systems Ltd) 的螺旋缠绕机 (Spiral Wrapping Machines), 意大利 BOCEDIPACK 的套袋热收缩一体型 FTB 419 等相关产品适合卷材类型材料的包膜包装^[10-15]。

国内对于包芯线的外包装-固定架无统一标准^[16], 目前企业采用手工焊接外包装, 员工操作时不仅费时费力, 且需多人配合完成 3 个步骤: 将包芯线卷顶起后放置于四边形的固定架底盘上; 外固定架底盘上焊接 4 个立柱, 在焊接过程中要保证立柱紧靠线卷, 同时考虑变形及焊接火花散到线卷内包装上; 焊接四边形或圆形的顶盘, 焊接过程中需不断调整立柱位置保证美观且 4 个立柱焊接在顶盘边上。包芯线卷外包装结构见图 1, 厂家如采用包芯线卷横放外包装, 包芯线的外包装固定架是圆形的, 则外包装架需前期将钢筋弯圆, 且组装时焊接接口更多, 考虑因素更多, 需要的焊接时间及其劳动强度也增加。

采用目前采用的人工包膜与外固定框架的焊接包装, 劳动强度大且效率低, 包装质量参差不齐, 无法满足包芯线用量日益增长的市场需求。文中研发自动化包芯线卷包装机实现提高包装质量, 降低企业包装成本, 避免包芯线在运输、储存中产生的缺陷及包芯线产生缺陷后的次生环境污染等。

1 包芯线卷包装机总体设计

1.1 包芯线卷主要参数

文中提出设计的包芯线卷包装机主要应用于各类包芯线卷的包装, 包芯线卷常见规格见表 1, 包芯线每卷最大质量约为 1500 kg。

表 1 包芯线卷规格
Tab.1 Specification of cored wire coil

包芯线卷 内径/mm	包芯线卷 外径/mm	高度/ mm	包芯线 长度/km	最大 质量/kg
600	1150, 1250, 1350	800	6, 7.5, 10	1500

1.2 包芯线卷包装机的包装流程

包芯线卷包装机(文中若无特殊说明包装机均指包芯线卷包装机)主要由机架、龙门架、导轨、包装机构、进出料装置、控制系统、焊接定位系统、焊接机器人系统等组成。包装机工艺流程见图 1。

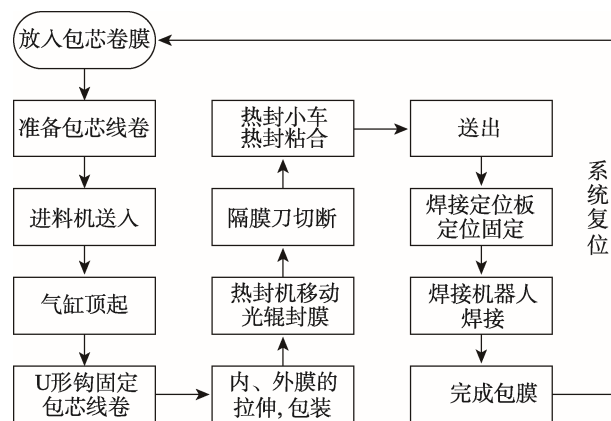


图 1 包芯线卷包装机工艺流程

Fig.1 Process flowchart of the automatic packing machine of cored wire

1.3 包芯线卷包装机的结构设计

包芯线包装机结构主要包括 U 形钩结构、气压驱动系统结构、热封机相关机构、大小膜牵引器、焊接系统等。

1.3.1 包芯线卷包膜准备装置的设计

包膜准备装置由 2 个气压缸、U 形钩组成。2 个气压缸将包芯线卷顶起时, 利用 U 形钩将包芯线卷固定在包膜装置上。

1.3.2 包芯线卷包膜进行装置的设计

包膜装置由大膜牵引器和小膜牵引器组成。U 形钩下方的同心圆内部设有装膜槽,包芯线卷外圆以及内圆内部需提前放入包装膜。大膜牵引器由气压缸 IV 驱动,实现包芯线卷外圆膜的拉出,小膜牵引器由气压缸 V 推动,实现对包芯线卷内圆膜的拉出,通过对气压缸的控制进而控制大膜牵引器以及小膜牵引器,实现对包芯线卷的包膜,提高包膜的工作效率,牵引器结构见图 2。

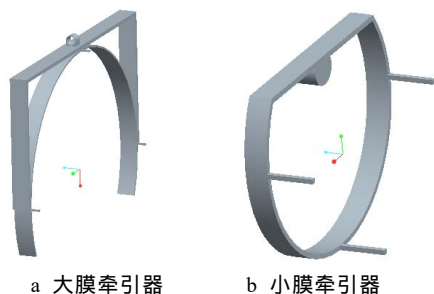


图 2 牵引器结构

Fig.2 Structure of the tractor

1.3.3 热封装置的设计

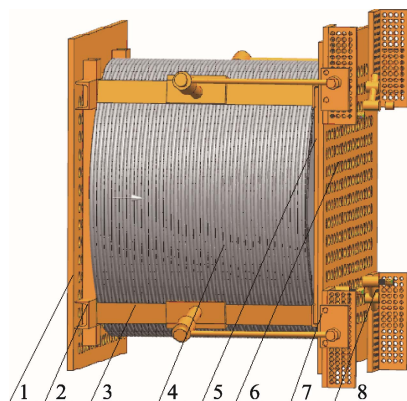
热封装置分别位于包芯线卷两侧,由热封小车、隔膜刀、热封机滑动光辊及其滑动轨道组成。当大、小膜牵引器分别将同心圆内外包装膜拉出后,热封机移动光辊将拉出的膜封住,通过隔膜刀进行切割,热封机小车进行热封。

1.3.4 焊接系统的设计

包芯线卷进入焊接系统,外包装的顶盘和底盘与包芯线卷的两底面通过焊接定位板上的柔性焊接夹具定位。预制的外包装立柱放入顶盘和底盘的定位槽口并用可展开式工装定位即可开始焊接,焊接夹具见图 3。焊接机器人完成对包芯线卷外框架的焊接,最后通过出料机将包芯线卷送出。焊接系统降低了工作人员的劳动强度、提高了工作效率。

1.4 气压系统设计

气动驱动系统组件包括:空气压缩机(气源)、分水过滤器、减压阀、电磁换向阀、可调单向节流阀和气压缸,系统压力为 1.5 MPa。当换向阀 I 左端得电时,压缩气体通过换向阀驱动气压缸 I, II,通过 2 个可调节流阀的开口大小可分别调节气压缸 I, II 顶起和下降的速度,节流阀 I 开口大小控制气压缸 I, II 的下降速度,节流阀 II 开口大小控制气压缸 I, II 的顶起速度,设计中节流阀 I 开口大于节流阀 II 以保证顶起包芯卷速度缓慢平稳而下降时快速准确;当换向阀 I 右端得电时,气压缸 I, II 同步下降。换向阀 II 左端得电时,气压缸 III 带动 U 形钩向靠近大膜



1.焊接定位板 2.底盘 3.立柱 4.包芯线卷 5.顶盘
6.焊接定位板 7.可展开工装 8.可收缩压紧件

图 3 焊接夹具结构

Fig.3 Structure of welding fixture

牵引器方向移动;右端得电时,气压缸 III 带动 U 形钩向远离大膜牵引器方向移动。换向阀 III 控制大膜牵引器的移动,与换向阀 II 工作方式相同。换向阀 IV 左端得电时,气压缸 V 带动小膜牵引器伸出;右端得电时,小膜牵引器回缩,包装机气动原理见图 4。

2 设计结果与分析

2.1 设计结果

利用 Pro/E 将设计出的各个部件进行虚拟装配,完整的包芯线卷包装机主体虚拟样机见图 5,总体尺寸为 3200 mm×1200 mm×2000 mm,依据仿真模拟结果表明,能满足功能需求。

包芯线包装机中的大小膜牵引机构要在气缸的推动下进行水平往复运动,因此选择单活塞杆双作用气缸,缸径为 32 mm,行程为 800 mm,通过试验包膜系统的包装速度为:大小膜牵引器速度为 0.11 ~ 0.5 m/s,包膜用时 14 ~ 3.2 s,大小膜牵引器速度与包膜时间曲线见图 6。U 形钩牵引用气压缸 V 缸径为 125 mm,行程为 200 mm。顶起用气压缸 I, II 的缸径为 125 mm,行程为 100 mm,速度为 0.11 m/s。当焊接机器人焊接速度为 3 mm/s 时,通过模拟与试验牵引器速度与内外包装总用时见图 7,从图 7 中可看出包装机效率最小约 5 min/卷,提高了包装效率,可为企业节约成本。

包装机的控制系统采用三菱 FX3U-48MR/DS 型 PLC,程序控制实现自动化包装,按工作实际需求,控制程序见图 8,经调试能满足功能要求。

2.2 包装机关键部件的有限元分析

为了满足功能要求及部件的力学性能要求,U 形钩部件形状较复杂,支撑包芯线卷工况时相当于一个悬臂梁结构,按照应力强度理论来直接建立数学模型难度很大^[17-18],因此采用了 Ansys 有限元法来分析

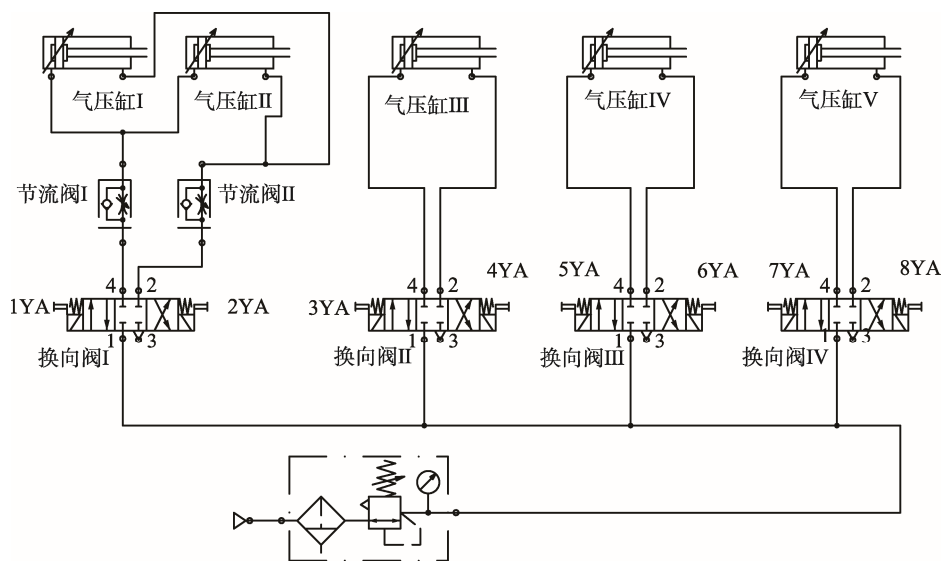
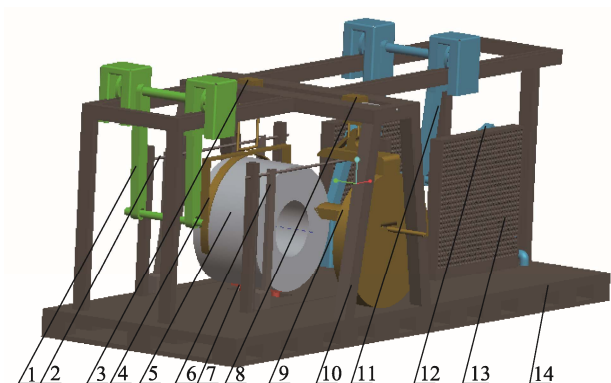


图4 气动原理

Fig.4 Pneumatic schematic diagram



1.进料装置; 2.热封机滑动光辊; 3.气压缸 IV; 4.大膜牵引器;
5.包芯线卷; 6.热封机小车; 7.气压缸 I, II; 8.气压缸 V;
9.U 形钩; 10.龙门架; 11.出料装置; 12.焊接机器人;
13.焊接定位板; 14.底座

图5 包芯线卷包装机主体虚拟样机

Fig.5 Virtual prototype of the main part of the automatic packing machine of cored wire

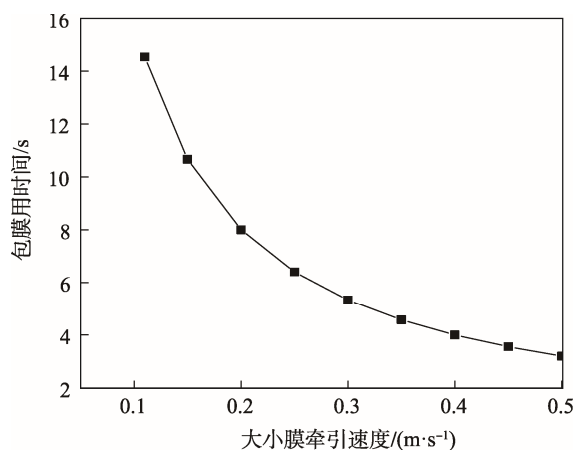


图6 牵引器速度与包膜时间

Fig.6 Tractor speed and coating time

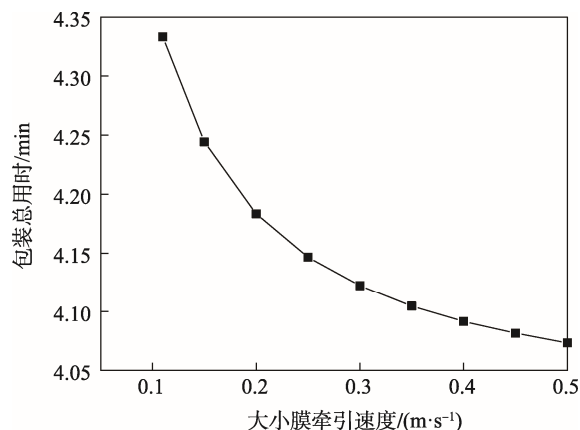


图7 牵引器速度与包装总用时

Fig.7 Tractor speed and total packaging time

包装机中部件的静态力学性能, 去除 U 形钩附属零部件, 将简化的装置几何模型导入到 Ansys 有限元分析软件中, 整个装置材料为 Q235, 其弹性模量 $E_X=210 \text{ GPa}$, 泊松比设定为 0.3, 密度 $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$ 。根据几何形状采用基于曲率的网格划分方式, 根据驱动装置的几何特点, 整个模型划分为四面体网格, 使曲面过渡区域能够光滑过渡^[19], 装置的网格划分见图 9。

根据模型在实际应用中的工况, 采用 Displacement 位移约束吊耳内孔 x, y, z 方向的平移自由度, 并在内圆弧面上施加 Force, 大小为 1.5 t 的承载载荷, 沿 y 轴负方向, 同时对这个装置施加 Standard Earth Gravity, 模拟装置承受自身重力的影响, 装置的承载载荷施加图见 10 图。经求解获得装置的位移云图和应力云图, 分别见图 11—12。

通过位移云图可知装置的最大位移为 1.9388 mm, 发生装置底部, 其变形趋势为绕装置吊耳固定

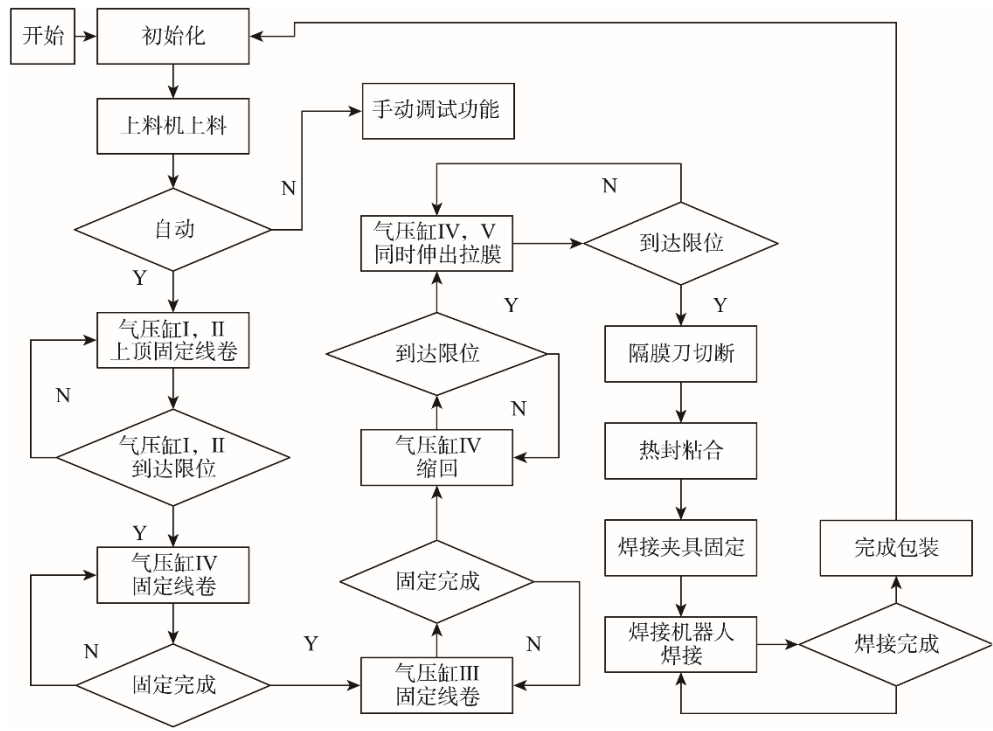


图 8 控制程序
Fig.8 Control program

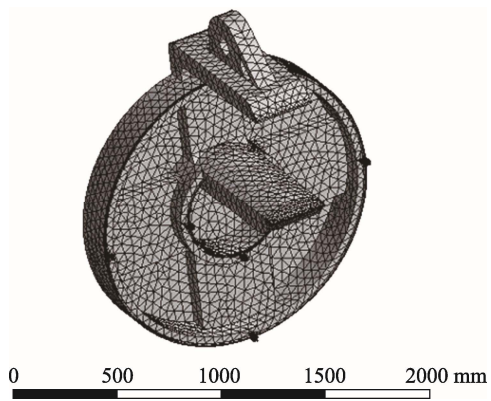


图 9 U 形钩网格划分
Fig.9 U-shaped hook mesh generation

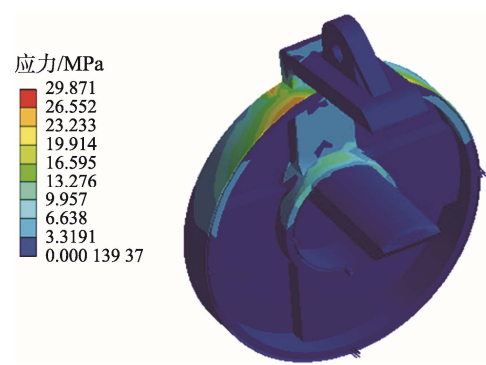


图 11 U 形钩的应力云图
Fig.11 Stress nephogram of U-shaped hook

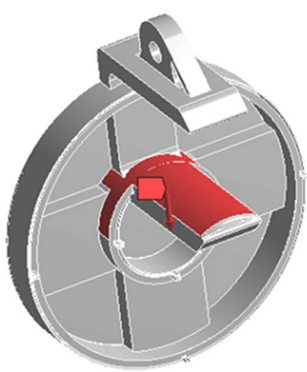


图 10 U 形钩的承载载荷施加
Fig.10 Application of load on U-shaped hook

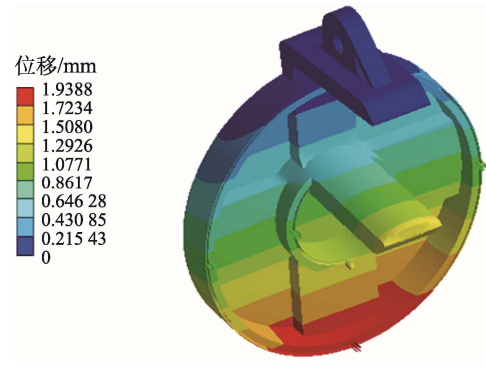


图 12 U 形钩的位移
Fig.12 Displacement diagram of U-shaped hook

处摆动，整个变形由装置底端向固定约束处逐渐减小，呈梯度变化。通过查看装置应力云图可知，装置的最大等效应力为 29.871 MPa，在圆盘与吊耳连接处。因整个装置选用的材料为 Q235，其材料的屈服

强度为 235 MPa, 最大应力小于材料的屈服强度, 因此装置的强度满足设计要求。

3 结语

针对目前手工包装包芯线效率低且包装质量参差不齐的情况, 基于包芯线包装工艺流程及技术要求, 设计了包芯线自动包装机的包膜装置、热封装置、焊接系统及气压系统。利用 Pro/E 对所设计的整体结构进行建模, 确定了结构合理性及尺寸, 试验了大小膜牵引速度与包膜时间、总包装时间的曲线, 结果表明包装效率最小约为 5 min/卷。并对关键部件 U 形钩进行位移与应力分析, 验证了结构的可靠性。设计的包装机适用于外径为 1150 ~ 1350 mm, 内径为 600 mm, 长度为 800 mm, 质量为小于 1500 kg 的包芯线卷包装。

参考文献:

- [1] 巫瑞智. 高镁合金喂丝技术在球墨铸铁中的应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2002: 1—15.
WU Rui-zhi. Application of Cored Wire Feeding Technology with High Magnesium Alloy in Ductile Iron[D]. Harbin: Harbin University of Technology, 2002: 1—15.
- [2] 李学仁. 深筒缠绕包装机的研制[D]. 大连: 大连理工大学, 2008: 1—23.
LI Xue-ren. Deep Cylinder Wrap Packaging Machine[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008: 1—23.
- [3] 陈雪叶. 深筒缠绕包装机设计与分析[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(1): 174—176.
CHEN Xue-ye. Design and Analysis of Deep Tube Twining Packing Machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(1): 174—176.
- [4] 刘传轲. 湛江 2250 热轧钢卷托盘运输系统关键设备应用技术研究[D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2018: 2—25.
LIU Chuan-ke. Key Equipment Application Technology of Zhanjiang 2250 Hot Rolling Coil Pallet Transportation System[D]. Maanshan: Anhui University of Technology, 2018: 2—25.
- [5] 徐航. 钢卷立式吊具的分析与优化[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2017: 1—21.
XU Hang. Analysis and Optimization of Steel Roll Vertical Sling[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2017: 1—21.
- [6] ZIERDEN D L, EAGLE BEND M N, SAGEDAHL M K, et al. Easy Thread Carriage for Stretch Film Wrapping System: US, 20160122053A1[P]. 2016-05-05.
- [7] 刘海江, 张志云. 卧卷防锈纸自动包装机的研究与实现[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 120—123.
LIU Hai-jiang, ZHANG Zhi-yun. Research and Implementation of Automatic Packaging Machine for Anti-tarnish Paper of Steel Coil[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(5): 120—123.
- [8] 孙力, 伍昕忠. 冷轧半自动包装技术优化与实践[C]// 中国金属学会第十一届中国钢铁年会论文集, 冶金工业出版社, 2017: 1—4.
SUN Li, WU Xin-zhong. Optimization and Practice of Semi-automatic Packaging Technology for Cold Rolling[C]// The Chinese Society for Metals: Proceedings of the 11th CSM Steel Congress, Beijing: Metallurgical Industry Press, 2017: 1—4.
- [9] 王涛. 冷轧卷材自动包装与区域物流一体化系统的设计与研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2015: 4—20.
WANG Tao. Design and Research on Cold Rolled Coil Automatic Packaging and Regional Logistics Integrated System[D]. Shenyang: Northeastern University, 2015: 4—20.
- [10] DUCHANNOIS D, LUXEUIL L B, KRUELLE J M, et al. Adjustable Coil Protector: US, 20150108022A1[P]. 2015-04-23.
- [11] SHIRRELL J N, CHU T J, MEHTA D H, et al. Condensation Control Film: US, 20120067767A1[P]. 2012-03-22.
- [12] SUOLAHTI Y, MYNAEMAIEKI, KOSKELA J, et al. Method and Apparatus for Setting Corner Protectors on a Load: US, 20150232214 A1[P]. 2015-08-20.
- [13] ALBERT L M, SKOKIE I L, KELLERMANN J G, et al. Film-tail Sealing System and Method for Wrapping Apparatus: US, 8650836B2[P]. 2014-02-18.
- [14] FENN C, SONDERBORG D K. Packaging Apparatus and Method for Operating Same: US, 10273031B2[P]. 2019-04-30.
- [15] YB/T 053—2016, 包芯线[S].
YB/T 053—2016, Cored Wires[S].
- [16] 魏玉杰, 贺红林. 书本打包及推书机构结构动力学分析[J]. 包装工程, 2012, 33(13): 5—9.
WEI Yu-jie, HE Hong-lin. Structural Dynamic Analysis of Pushing Mechanism of Book[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 5—9.
- [17] 江克斌. 结构分析有限元原理及 ANSYS 实现[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 200.
JIANG Ke-bin. Finite Element Principle of Structural Analysis and Realization of ANSYS[M]. Beijing: Defence Industry Press, 2005: 200.
- [18] 王新敏, 李义强, 许宏伟. ANSYS 结构分析单元与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011: 2—244.
WANG Xin-min, LI Yi-qiang, XU Hong-wei. ANSYS Structural Analysis Unit and Application[M]. Beijing: China Communications Press, 2011: 2—244.