

木门门扇自动上料真空平移机的设计

曹心愚¹, 张雨飞², 郭晓磊²

(1. 常州大学机械工程学院, 江苏常州 213016; 2. 南京林业大学材料科学与工程学院, 江苏南京 210037)

摘要: 针对木门门扇加工急需解决门扇自动进料问题, 根据门扇结构特点及各工序产能要求, 设计开发出真空平移机。通过总体方案设计、零部件结构设计与分析计算, 建立真空平移机的三维模型; 根据控制要求和技术参数, 开发触摸屏界面的上位机, 实现整个系统的监控和通信, 满足门扇自动上料的使用要求, 促进木门生产的自动化。

关键词: 木门门扇; 上下料; 真空吸盘; 平移机; 结构设计; 控制系统

中图分类号: TS64 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2018) 01-0010-05

Design of a Vacuum Chuck for Transporting Door Leaves

CAO Xin-yu¹, ZHANG Yu-fei², GUO Xiao-lei²

(1. College of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213016, Jiangsu, China;

2. College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: A vacuum chuck was designed and developed to automatically transport door leaves based on the structural characteristics of the door leaves and the capacity requirements of production processes. A three-dimensional model of the vacuum chuck was established through an overall program design, component structure design, analysis and calculation. A touch screen interface PC was developed for the monitoring and communication system according to control requirements and technical parameters. The chuck could be used to automatically load door leaves and to promote automation of wooden door production.

Key words: door leaf; handling; vacuum chuck; transportation machine; structural design; control system

2016 年我国木门行业总产值达到 1 280 亿元, 成为世界上最大的木门生产基地, 同时也是最大的木门消费市场^[1-3]。日益扩大的木门市场需求, 进一步推动了木门加工技术与设备的进步与升级。虽然我国木门生产的自动化程度发展迅速, 但是与发达国家相比还存在着一定差距。

木门由门框和门扇两部分通过五金件连接组成,

无论是门框还是门扇, 生产工序繁多、工艺复杂。门扇生产需要经过备料、层压复合或拼装、规方定尺、封边、表面造型、锁芯开槽/铰链打孔、砂光与油漆涂饰等多道工序^[4-6]。目前, 每道工序的加工主机都实现了机械化或柔性化加工, 但门扇坯料后续加工的每道工序都需要上料, 大部分企业仍采用人工上料, 不仅劳动强度大、成本高, 而且降低了主机的生产效率^[7], 急需解决门扇自动上料的问题。

传输线是实现整条生产线自动化的基础, 工件的传输速度、节拍和上下料的精确度, 对生产效率有着重要影响^[8-10]。对此, 笔者针对门扇生产各工序自动化上料及产能的要求, 结合门扇幅面大、重量

收稿日期: 2017-11-14; 修改日期: 2017-12-13

基金项目: 林业公益性行业科研项目“实木复合门机械化制造与环保涂装技术研究”(201204703)。

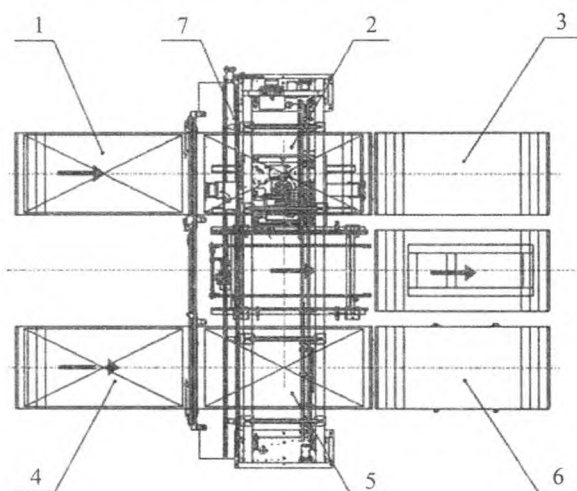
作者简介: 曹心愚(1996—), 男, 常州大学机械工程学院学生。

责任作者: 郭晓磊, 男, 南京林业大学讲师副教授。

大的特点,设计开发了木门门扇自动上料真空平移机,旨在满足门扇自动上料的使用要求,提升木门生产自动化的水平。

1 门扇自动上料真空平移机的设计要求

门扇在自动进料过程中,需要保证均衡连续地输送,不能由于换垛而停止生产,因此,需要设计成双工位的真空平移输送系统,如图1所示。



1、4—动力地辊台；2、5—液压升降动力辊台；
3、6—空托盘放置辊台；7—真空平移机。

图1 门扇双工位上料的真空平移输送系统

Fig.1 Vacuum door leaf handling station with double working position

其中动力地辊台（1、4）高320 mm,用于存放待加工的门扇料垛；液压升降动力辊台（2、5），用于存放正在加工的门扇料垛，工作高度自动升降，升降范围为300~950 mm；空托盘放置辊台（3、6）高320 mm。当液压升降辊台2或5没有工件时，真空平移机自动切换到5或2工作，空托盘自动从2或5输送到3或6，料垛自动从1或4输送到2或5。

根据门扇结构、重量及加工设备的产能，门扇真空平移机的主要技术参数，应满足下列要求：

门扇最大质量50 kg；门扇长1 800~2 500 mm、宽400~1 000 mm、厚30~60 mm；最大产能8次/min^[11]。

真空平移机的控制顺序为：

当传感器检测到门扇料垛时，真空平移机从零点位置移动到料垛正上方，控制器控制驱动机构，

并通过传动结构带动真空吸盘运动与门扇接触，将门扇移动至目标位置，再回到零点位置；同时，门扇料垛高度传感器发出信号，料垛升高1个门扇的高度；重复上料动作。当门扇料垛输送完毕，托盘圆孔下方的传感器发出信号，平移机即移动到另一侧零点位置；同时空托盘自动传输出来。

门扇加工主机与控制平移机为联锁控制，当门扇加工主机进料输送因故停止时，真空平移机可从主机进料端的传感器获得信号，随即停止运行。

由此可知，真空平移机的动作顺序为：零点位置→检测工件→动作→拾取门扇→动作→放下门扇→动作→零点位置。根据门扇的上料轨迹，真空平移机只需垂直和水平两个方向的运动，就能够实现门扇的上料。

末端执行器是上料设备直接与工件接触的部分，按照对工件抓取原理的不同，分为三种：真空吸取式、夹持式和磁吸式。由于门扇表面结构形式多样，且易损坏，故选用大面积海绵吸盘。

吸盘铝型材面板上集成了机械式止回阀，如果吸盘没有覆盖到工件，或者覆盖不完全时，在真空抽吸作用下，球阀向上运动关闭吸孔，保证吸盘内部的真空度。当吸盘能够完全覆盖工件表面时，吸盘和工件之间密封，吸孔内的止回阀保持打开，吸盘对工件产生真空吸附力，拾取工件^[12]。

考虑到门扇的结构特点，以及产能、稳定性、工作环境与维护成本，门扇真空平移机的驱动、传动与升降等设计要求，选用交流伺服电机驱动、同步带传动与直线导轨移动。

2 门扇自动上料真空平移机的结构设计

2.1 设计计算

根据真空平移机的工作负荷及产能要求，需要对驱动、传动、吸盘与机架等进行动力、运动与强度计算。

按真空平移机工作频率8次/min计，一个工作循环为7.5 s。其中工作吸附和释放分别用时3 s，故有效工作时间为4.5 s。根据门扇外形尺寸，一个工作循环内移动6 m，则移动的平均速度 $V=1.33$ m/s。运用SolidWorks软件，测出平移机构的总负载约为150 kg，故最大负载按200 kg计。

2.1.1 横梁设计

根据运动与传动安装要求, 平移机横梁采用 150 mm×200 mm×8 mm 规格的矩形钢管。横梁直接焊接在机架的支撑腿上, 支撑腿通过地脚螺栓固定在地面上。因此, 可以认为横梁的两端是固定的, 按固支梁进行受力分析。

横梁材料为 Q235-A, 允许应力 $[\sigma]=113 \text{ MPa}$, 弹性模量 $E=2 \times 10^5 \text{ MPa}$; 根据横梁矩形管的尺寸, 可计算出其抗弯截面系数 $W_y=304 \text{ cm}^3$, 惯性矩 $I_y=3\,043 \text{ cm}^4$ 。

当集中力 F_y 作用在横梁中点时, 产生的弯矩最大为 $F_y l/4$, 加上横梁自重在中点产生的弯矩 $ql^2/8$ (q 为横梁自重产生的均布载荷, 411.1 N/m), 则横梁在 y 轴方向受到的最大弯矩 $M_{y\max}$ 为:

$$M_{y\max}=F_y l/4+ql^2/8.$$

$\sigma_{\max}=M_{y\max}/W_y=(F_y l/4+ql^2/8)/W_y=9.47 \text{ MPa} < [\sigma]$ 。可见, 横梁的强度在 y 轴方向能够满足要求。

此外, 还需要根据设计手册, 对横梁的刚度进行校核。载荷 F_y 和横梁自重产生的挠度分别为:

$$y_1=-0.546 \text{ mm}, y_2=-0.548 \text{ mm}.$$

因此, 横梁中点的挠度 $y=y_1+y_2=-1.094 \text{ mm}$ 。

而许用刚度 $[y]=1/500=5/50^3/500=10 \text{ mm}$, 可见 $y < [y]$, 横梁在 y 轴方向的刚度亦能够满足要求。

综上分析, 采用 150 mm×200 mm×8 mm 规格的矩形管, 完全满足设计要求。

2.1.2 电机选择

根据负载力 $G=255 \times 9.8 \text{ N}$, 以及伺服电机速度 $V=2.18 \text{ m/s}$, 计算出电机负载功率:

$$P_z=GV/1000=255 \times 9.8 \times 2.18 \div 1000 \approx 5.45 \text{ kW}.$$

考虑电机容量要有一定余量, 取额定功率 $P_N \geq 1.2 P_z=1.2 \times 5.45 \text{ kW}=6.54 \text{ kW}$ 。

根据移动速度与驱动负载, 选择 MCS-14P32 型号的伺服电机: 额定功率 7.1 kW, 制动力矩 0~300 N·m; GKS06 减速机, 减速比为 9.2; KVG1200-120 海绵吸盘。

2.2 结构设计

2.2.1 设计原则

真空平移机的结构设计原则:

1) 结构性能: 要求安全可靠、紧凑耐用、经济美观、环境友好。

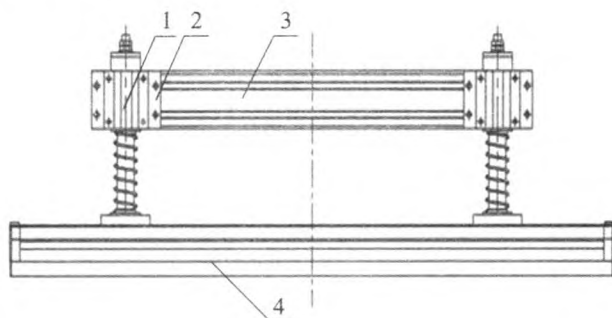
2) 使用性能: 应满足实际工作的需要, 操作方便、工作稳定、过程可控、故障可诊断、使用经济。

3) 工艺性能: 即制造性能, 直接影响机器及其零部件制造的难易程度和制造成本。设计时要提高其标准化、通用化和系统化程度, 以减少制造成本和生产周期^[13-15]。

2.2.2 设计方案

围绕真空平移机总体方案、驱动方案、传动方案、末端执行机构与控制系统等内容进行具体结构设计, 运用 SolidWorks 软件进行三维建模, 并在软件中进行装配与分析干涉。

1) 末端执行器 结构如图 2 所示。采用长条状、大面积海绵吸盘, 保证吸盘在抓取门扇时结构受力均匀, 运行平稳。

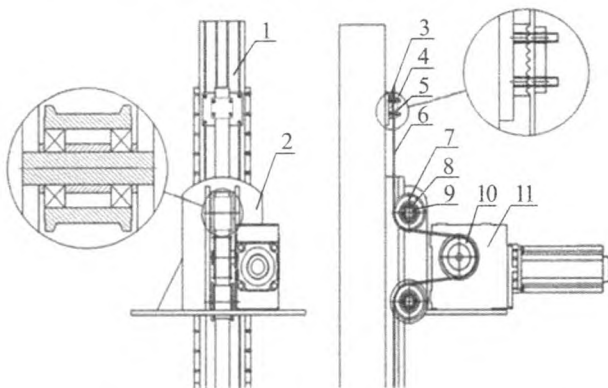


1—缓冲连接机构; 2—安装板; 3—连接铝型材; 4—吸盘。

图2 真空平移机的末端执行器结构

Fig.2 Structure of end effector of vacuum chucks

2) 升降机构 结构如图 3 所示。



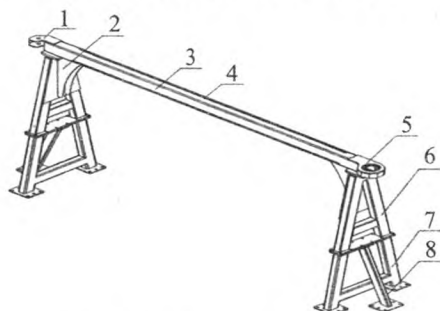
1—升降臂; 2—支撑座; 3—齿形板安装板; 4—齿形板;
5—同步带固定板; 6—同步带; 7—导轮; 8—轴承;
9—轮轴; 10—主动带轮; 11—伺服电机。

图3 真空平移机的升降传动结构

Fig.3 Lift transmission structure for vacuum chucks

通过伺服电机带动主同步带轮转动,并通过同步带传递给升降臂,同步带设计为开口形式。开口同步带的两端固定在升降臂上,当伺服电机带动同步带轮转动时,同步带将同步带轮的圆周运动转换为直线运动,升降臂在同步带的带动下,产生垂直方向的直线运动。在升降臂上安装直线导轨,起到稳定、支撑和导向的作用。

3) 机架 为龙门结构,如图4所示。



1—被动带轮安装座; 2—肋板; 3—机架横梁;
4—直线导轨安装板; 5—伺服电机安装座;
6—上支撑腿; 7—下支撑腿; 8—撑腿。

图4 真空平移机的机架结构

Fig.4 Structure of a vacuum chuck body

支撑腿和横梁均使用矩形管焊接。由于运动机构需要在横梁的长度方向做往复运动,加减速时会有冲击力,因此机架两侧的支撑腿各连接了一个斜撑,以提高机架在运行过程中的稳定性。

完成了真空平移机的具体结构设计后,为了便于进一步设计和修改零部件,使用SolidWorks三维建模软件,对真空平移机进行整体及各部件的三维建模。通过分析干涉与修改,最终得到真空平移机的三维设计模型,如图5所示。

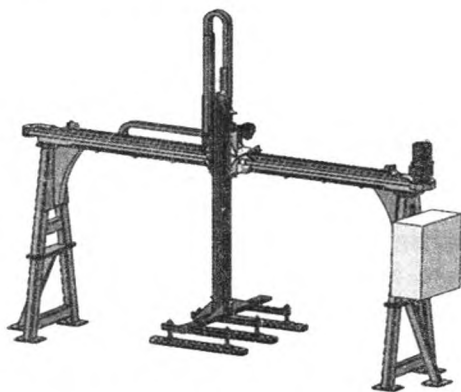


图5 真空平移机的三维建模

Fig.5 Three-dimensional modeling of vacuum chucks

2.3 控制系统设计

为了确保真空平移机稳定安全工作,真空平移机的运动控制必须做到:

1) 当执行完上料等任务后,须返回零点位置等待下一步信号;

2) 同门扇加工主机通讯与联锁控制,当门扇加工设备输送系统停止时,真空平移机也应停止;

3) 每拾取一扇木门,液压升降辊台自动升起1个门扇的厚度。当最后1扇木门被拾取时,液压升降辊台复位到零点高度后启动滚筒传动,把空托盘输送到地滚台3或6,同时平移机转到另一工作位;

4) 当两个液压升降辊台均无门扇时,平移机回到零位,并发出报警信号;

5) 遭遇断电等突发状况,如果吸盘上没有工件,再次通电后返回零点位置;如果吸盘上有工件,通电后则先完成工作任务以后,再返回零点位置等待下一步信号。

真空平移机需要有自动控制和手动控制两种控制方式。手动操作主要在设备安装调试时使用,或者设备出现故障需要维修时使用,以实现对各部分控制功能的单独操作;自动控制方式是以控制器为基础,按照编写的程序,实现自动控制。

以PLC作为核心控制器,针对实际应用I/O的输入输出数量,选择具有相应输入输出数量的PLC。整个控制系统分两部分:一是升降与平移的伺服电机控制系统;二是吸盘控制系统,通过PLC控制电磁换向阀,控制真空吸盘的拾取和释放。

选用触摸屏作为设备监控和人机交互单元,触摸屏与PLC之间采用RS485或其他现场总线连接。当真空平移机出现错误或者遇到紧急事件时,要有报警提示和紧急停机按钮。其硬件控制原理如图6所示。

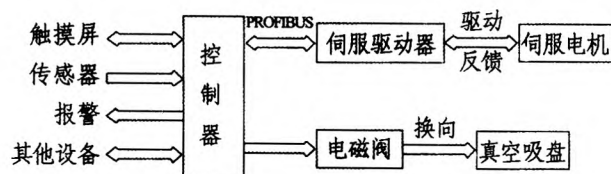


图6 真空平移机的硬件控制系统原理图

Fig.6 Schematic diagram for control system hardware of vacuum chucks

真空平移机水平移动和垂直升降的伺服驱动器功率选用 7.5 kW, 均通过 9400 Highline 系列的单轴伺服驱动器实现。该伺服驱动器自身带有 2 个模拟量输入和输出, 还有 8 个数字量输入和 4 个数字量输出; 支持旋转变压器和通用编码器输入; 支持 CANopen、Profibus、Profinet 等多种通讯方式。根据真空平移机伺服控制系统的要求, 参照 lenze 公司提供的 9400 伺服驱动器的硬件使用说明, 设计出真空平移机伺服驱动器的电气接线, 如图 7 所示。

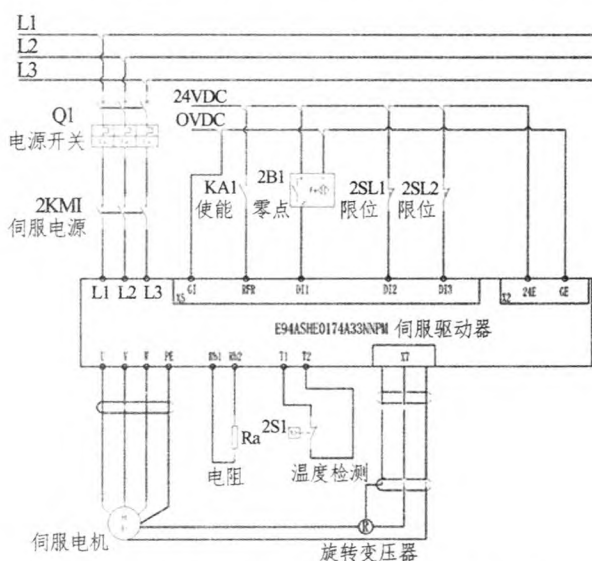


图 7 真空平移机的伺服驱动器接线示意图

Fig.7 Wiring diagram for servo drive for the machine

按照真空平移机的动作要求及逻辑关系控制要求, 选用西门子 S7-300 系列 PLC^[16]。根据 PLC 的选型配置以及输入/输出的分配, 对 PLC 的电气原理图进行设计。图 8 为控制系统硬件组态和接线图。

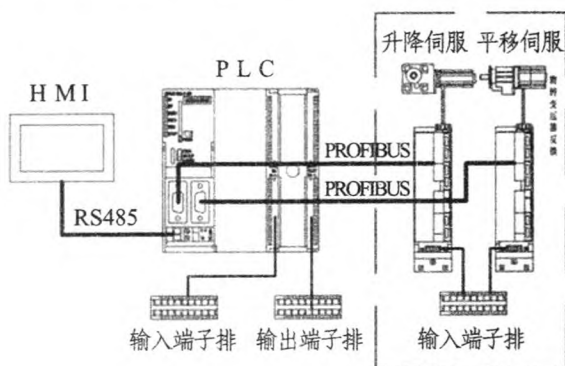


图 8 真空平移机的控制系统硬件组态和接线示意图

Fig.8 Hardware configuration and wiring diagram for a control system for vacuum chucks

3 结语

门扇上料真空平移机是用于门扇自动上料、实现木门生产自动化的关键设备。根据门扇结构与生产要求, 分析真空平移机使用要求与动作逻辑关系, 运用 SolidWorks 软件进行建模和装配, 完成整机结构设计。

控制系统所选用的交流伺服电机驱动、同步带传动和末端执行器性能良好、运转平稳, 控制系统程序设计合理, 能够满足门扇自动上料的要求。

此真空平移机尚处于单机操控系统, 后续设计将开发多机联动操作控制系统。采用真空平移机进行自动上料, 能够减少劳动成本、降低劳动强度与提高生产效率, 提升木门智能化制造程度, 是木门企业自动化生产的发展方向。

参考文献:

- [1] 姚遥, 许亚东, 彭加梅. 我国木门自动化制造的新动向[J]. 木材工业, 2017, 31(2): 45-48.
- [2] 吕斌. 我国木门产业发展现状与建议[J]. 中国人造板, 2017, 24(5): 1-5.
- [3] 伊博. 2016 我国木门行业年度数据[J]. 中国人造板, 2017, 24(4): 39.
- [4] 万千, 张亚池, 宋莎莎. 大规模定制木门的应用技术及其发展[J]. 中国人造板, 2017, 24(5): 11-14.
- [5] 李伟光, 姚遥, 张占宽. 典型木门门扇自动化柔性生产线[J]. 木材工业, 2015, 29(1): 24-27.
- [6] 姚遥, 张占宽, 李伟光. 木门五金件孔槽专用数控加工机的研发[J]. 木材工业, 2013, 27(6): 21-24.
- [7] 郭晓磊, 曹平祥, 罗国兴, 等. 板式部件边部 UV 垂直辊涂机的设计[J]. 林业科技开发, 2014(3): 112-114.
- [8] 韩立志, 张建华. 浅析光伏行业玻璃组件轨道平移机的机械结构设计[J]. 河南科技, 2013, 29(5): 88.
- [9] 林欢, 许林云, 宣言, 等. 林果振动加速度响应振型试验[J]. 林业工程学报, 2016, 1(1): 100-104.
- [10] 吕欢, 王贵富, 何正斌, 等. 光电-光热联合木材太阳能预干燥设备性能探析[J]. 林业工程学报, 2016, 1(3): 27-32.
- [11] 梁柏莹, 李伟光, 张占宽. 木门门扇四工位自动喷涂机的开发[J]. 木材工业, 2015, 29(1): 42-45.
- [12] 司震鹏. 真空吸附式机械手系统设计[J]. 包装与食品机械, 2009, 27(2): 26-30.
- [13] 王军, 吕艳, 黄冲, 等. 重组竹竹方冷压成型自动生产单元控制系统设计[J]. 林业工程学报, 2017, 2(5): 95-101.
- [14] 李晓刚, 刘晋浩. 码垛机器人的研究现状与应用现状、问题及对策[J]. 包装工程, 2011, 32(3): 96-101.
- [15] 伍英, 周旭, 吴祖国. 轮毂轴管淬火生产线自动上下料装置的研制[J]. 机床与液压, 2016, 44(3): 24-26, 48.
- [16] 王瑜. PLC 及伺服系统在冷切切割设备中的应用[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2012.

(责任编辑 姜征、向琴)