

锯材自动堆垛机的结构设计与分析

李海芸, 邱荣斌, 姜红, 叶大鹏

(福建农林大学机电工程学院; 现代农业装备福建省高校工程研究中心, 福建福州 350002)

摘要: 为了提高锯材的堆垛效率和质量, 基于多传感器信息融合, 设计了锯材自动堆垛机, 主要包括斜排式锯材候料结构、隔条的自动输送和放置结构、同步双链循环送料结构。样机试运转表明, 锯材自动堆垛机的结构可行, 运行稳定可靠, 适用于不同规格锯材的堆垛, 且堆垛品质和效率优于人工对照组。

关键词: 锯材; 堆垛机; 模块化设计; 结构; 多种规格

中图分类号: S77; TS64 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2019) 01-0041-05

System Design and Performance Analysis of an Automatic Sawn Timber Stacker

LI Hai-yun, QIU Rong-bin, JIANG Hong, YE Da-peng

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University;

Fujian Engineering Research Center for Modern Agricultural Equipment, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract: In order to improve stacking efficiency and quality of sawn timber, an automatic sawn timber stacker was developed using multi-sensor information fusion. The system was composed of an inclined row structure for sawn timber pending, an automatic transmission and placement of stickers and a synchronous double-chain circulatory feeding structure.

The prototype running results showed that the stacker system was feasible with stable and reliable working state and was suitable for stacking different sized sawn timber with high efficiency. The stacking quality and efficiency were superior to manual stacking.

Key words: sawn timber; stacker; modular design; structure; multi-specification

原木经初加工, 得到的锯材需经过分拣、堆垛, 再进行干燥处理^[1-3], 以防止锯材发生腐朽、虫害、变形和开裂, 而降低其等级^[4-5]。在干燥前, 锯材堆积是否合理, 直接影响干燥效率和质量。

近年来, 国内外学者和技术人员对堆垛机器人等相关技术开展了大量的研究, 自动化或半自动化堆垛装备的应用领域不断扩大, 并已实现产业化^[6-7]。但目前大多数堆垛装备都是针对尺寸较大、表面光滑的产品, 而可用于细长、表面粗糙的锯材堆垛装备较少。主要原因是堆垛装备抓持机构设计困难; 另外, 机械臂结构堆垛机器人进行移动搬运时, 需要较大的运动空间, 容易产生运动奇异或干涉, 且机械臂空行程运动多, 操作复杂, 堆垛效率低, 导致设备使用、维护成本和能耗都较高。

鉴于此, 笔者开发了一款锯材堆垛机, 按照锯材堆垛作业条件, 进行了运行试验, 以期弥补现有

投稿日期: 2018-05-18; 修改日期: 2018-12-05

基金项目: 国家自然科学基金“滚动轴承结合部热-力耦合特性分析与建模研究”(51605091); 福建省自然科学基金“双臂机器人协调操作闭环系统动力学分析与控制研究”(2016J05110); 福建农林大学大学生科研训练基地资助项目“现代农业装备及测控实验室”(111ZC0020)、“智能农业装备研发实训基地”(111ZS1606); 福建省高峰高原学科项目“农业工程”(712018014)。

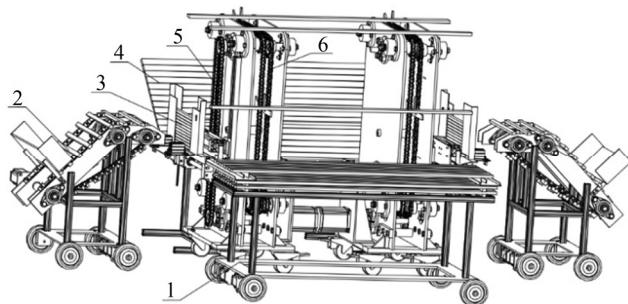
作者简介: 李海芸(1988—), 女, 福建农林大学机电工程学院实验师。

人工堆垛在效率和垛堆质量上的不足。

1 总体结构及工作原理

1.1 总体结构

锯材堆垛机采用模块化紧凑设计^[8-9], 整机结构如图 1 所示, 由堆垛机主体、移动垛台、隔条输送及锯材候料模块 4 部分组成。其中堆垛机主体由隔条投放模块、链式提升模块、同步双链循环送料模块 3 部分构成, 设备结构紧凑。



1. 移动垛台; 2. 隔条输送模块; 3. 隔条投放模块;
4. 候料模块; 5. 链式提升模块; 6. 同步双链循环送料模块

图 1 全自动多规格锯材堆垛机示意图

Fig.1 Schematic diagram of the multi-specification automatic sawn timber stacker

1.2 工作原理

堆垛机通过各模块机组的联运完成工作。图 1 显示, 锯材间歇地沿倾斜面依次滑入候料区, 右对齐排列。隔条由隔条输送模块自动填充。同步双链循环送料模块依次挑起锯材, 输送并放置于叉架上, 直到叉架上的锯材数量达到设定值, 再将隔条放置于材堆上, 即完成一层锯材堆垛。

然后, 隔条投放模块提升相应的高度, 进入下一层锯材的自动循环堆垛, 直至锯材层数达到设定值, 即完成整垛锯材的堆放。通过调整同步双链循环送料模块和隔条投放模块的距离, 以及叉架提升高度参数设定值, 可使堆垛机适用于不同长度、厚度规格的锯材堆垛。

1.3 技术参数

堆垛速率主要取决于错位双链条的转速、推料气缸的执行时间、码完每层锯材之后隔条投放模块的上升及隔条的投送时间等。可结合多片锯锯切后的锯材规格及隔条的尺寸, 来设计堆垛机的主要技术参数, 列于表 1。

表 1 全自动锯材堆垛机的主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters of the automatic sawn timber stacker

项目	参数值
整机外形尺寸(长×宽×高)/m	4.0×2.0×0.9
结构质量/kg	约 400
总功率/W	约 1 000
堆垛速率/(块·min ⁻¹)	23
理论垛堆规格(长×宽×高)/mm	板长×(100~500)×(5~800)
理论锯材规格(长×宽×厚)/mm	(800~2 500)×(50~500)×(5~20)
能源供给	220 V

结合步进电机台数, 考虑到部分电机不能持续工作或不满载的情况, 设计供电功率约为 1 000 W。

2 主要工作部件结构设计

2.1 控制系统设计

堆垛机控制系统采用多传感器信息融合技术, 运用 PLC-CPU 协同控制, 对堆垛过程和材堆状态的实时监控, 实现对整机的协调控制以及自动化堆垛功能^[10], 原理图如图 2 所示。

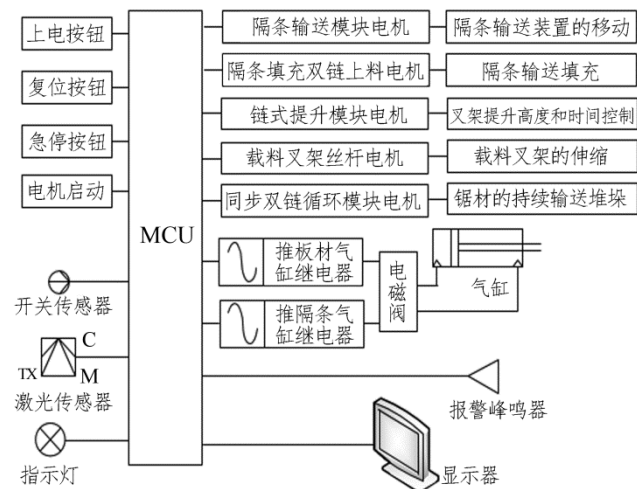


图 2 控制系统结构框图

Fig.2 Structure diagram of control system of the automatic sawn timber stacker

堆垛作业前, 由人机界面设定初始待堆垛锯材的长、宽、厚规格, 堆垛速度, 锯材计数, 隔条安放模式, 垛宽、垛高(或层数)规格等, 系统参数, 并实时显示。

2.2 动力传动系统设计

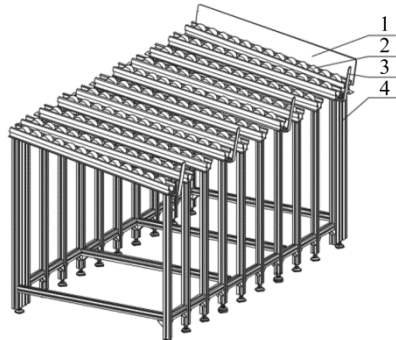
堆垛机的动力传动系统由: 机械传动与气压传动组合而成, 其特点是结构简单、节省空间。其中,

机械传动系统主要包括 3 部分：提升模块、隔条填充模块、同步双链循环输送模块动力传输，实现各模块水平移动以及链条传动；气压传动系统包括 2 部分：木板推动、隔条推送气动系统，实现锯材和垫条的推出^[11]。

2.3 工作部件模块设计

2.3.1 斜排式锯材候料模块

锯材候料模块如图 3 所示。



1. 侧边挡板；2. 滚子；3. 可调停靠架；4. 支架

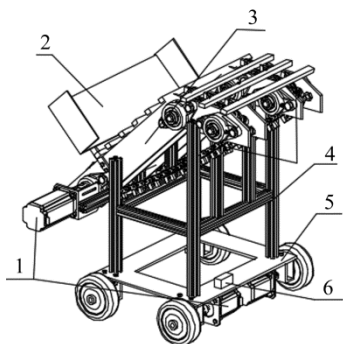
图3 锯材候料模块示意图

Fig.3 Schematic diagram of sawn timber pending

完成上一步工序的锯材，在自身重力分力以及斜排式滚子侧向牵引的共同作用下，横向进入锯材候料区，且依靠右侧板对齐，紧贴位置可调式挡板并触碰感应器，等待同步双链循环送料模块上的挑肩上升，将锯材提走。位置可调式挡板，确保挑肩工作时，不同规格、批次的锯材每次只挑起一块，同时防止挑翻锯材。

2.3.2 隔条输送模块

隔条输送模块如图 4 所示。



1. 动力与驱动模块；2. 隔条候料箱；3. 双链循环提升结构；
4. 支撑架；5. 智能移动底盘；6. 无线收发模块

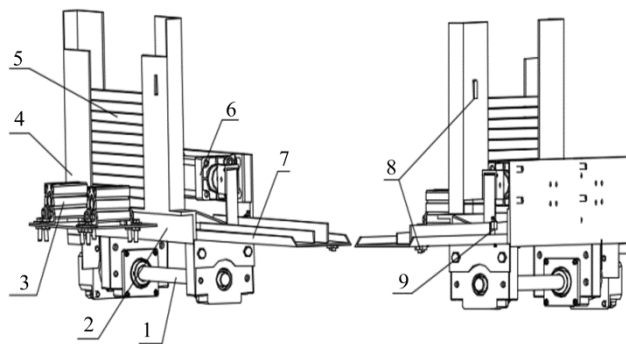
图4 隔条输送模块示意图

Fig.4 Schematic diagram of sticker transmission

动力与驱动模块由步进电机与电机驱动器构成，通过联轴器，将动力传递给智能移动平台和双链循环提升系统；无线收发模块分别固定在堆垛机主体和隔条输送模块上，实现堆垛机与隔条输送模块运行状态的协调。隔条自动填充与智能安放，能够每层或隔数层加隔条，以便后续锯材的高效干燥。

2.3.3 隔条投放模块

隔条投放模块如图 5 所示。



1. 丝杆滑块；2. 托架主体；3. 隔条侧推气缸；
4. 隔条储存器；5. 隔条；6. 推料气缸；
7. 载料叉架；8. 激光传感器；9. 限位开关

图5 隔条投放模块示意图

Fig.5 Schematic diagram of sticker release

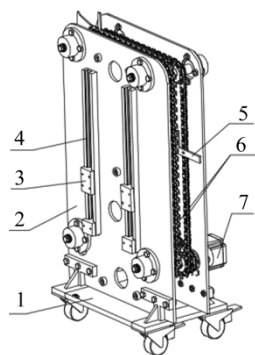
该模块位于堆垛机同步双链循环送料模块外侧的链式提升机构上，通过导轨平稳升降。侧推气缸将隔条推入载料叉架凹槽，载料叉架收回的同时，推料气缸活塞杆保持伸出状态，抵住锯材和隔条，保证不随载料叉架收回。

当完成一层锯材堆垛后，载料叉架回至零位，链式提升机构将托架模块提升一定高度，实现对锯材不同垛高、垛宽要求的垂直堆垛或平铺堆叠。

2.3.4 同步双链循环送料模块

同步双链循环送料模块结构，如图 6 所示^[12-13]。两根同步错位安装的侧面直板带耳链条相互平行，采用同一个电机进行同轴传动，确保同步运行。肩挑分别固定在两链条的侧耳上，并位于链条中间，以此来实现肩挑与链条的同步运行。当候料区有锯材待处理时，循环双链上的挑肩每次行进指定位移，相应挑肩则上升一定位移。

挑肩左端上升时通过倾斜滑板末端间隙，将最末端锯材挑起，此时的挑肩右端位于主机固定板内部，未承受负载，由循环双链带动挑肩上升或下降。



1. 底座模块; 2. 承载主板; 3. 滑块; 4. 竖直导轨;
5. 挑肩; 6. 错位双链; 7. 双链驱动电机

图6 同步双链循环送料模块示意图

Fig.6 Schematic diagram of a circulatory feeding device with synchronous double-chain

循环双链上共有 6 组挑肩, 即循环双链每个周期的理论上有效堆垛锯材数为 6 块。当挑肩行至堆垛主机顶部右侧时, 前一挑肩预留在堆垛主机顶部右侧的锯材, 被挑肩右端承载着下降, 挑肩左端锯材停驻在堆垛主机顶部右侧, 等待下一挑肩到来。此时堆垛主机右端的挑肩通过伸出的载料叉架, 挑肩右侧锯材就被载料叉架接住, 从而离开挑肩。该空载挑肩将从堆垛主机下方返回堆垛主机左侧。同步双链循环送料模块平稳上料和堆垛。

3 堆垛试验样机应用效果检验

为了验证样机的功能及稳定性, 进行了现场堆垛试验 (图 7)。

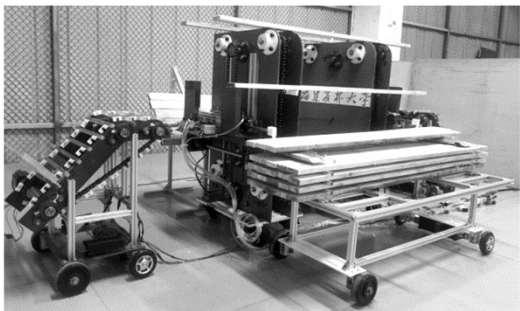


图7 试验样机

Fig.7 A sawn timber stacker prototype

试验用锯材尺寸 (长×宽×厚): 1 200 mm×50 mm×10 mm, 隔条规格 (长×宽×厚): 480 mm×20 mm×10 mm。堆垛机错位双链驱动步进电机驱动脉冲速度为 400 脉冲/s。

设置 6 组不同的堆垛参数 (表 2), 由 1 人组成

表 2 不同试验组的堆垛参数值

Tab.2 Parameters of different experiments of stacking sawn timber

组号	堆垛层数	每层锯材数	目标材堆规格 (长×宽×高)/mm
1	5	5	1 200×250×100
2	5	10	1 200×500×100
3	8	10	1 200×500×160
4	10	10	1 200×500×200
5	12	10	1 200×500×240
6	16	10	1 200×500×320

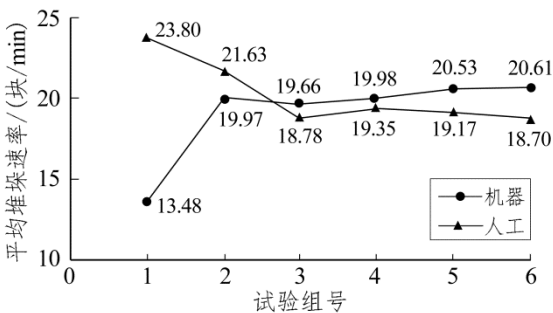


图8 不同参数条件下堆垛机平均堆垛速率

Fig.8 Working efficiency of a stacker at different conditions

的人工组和机器组分别进行锯材的堆垛试验。每组分别进行多次试验, 取平均值, 结果如图 8 所示。

3.1 堆垛速率

图 8 显示, 随着堆垛层数以及每层堆垛锯材数的增加, 人工组平均堆垛速率由较快逐渐以较大的幅度下滑后低于机器组, 且垛堆的平整度差, 隔条位置不固定。

对比分析机器组第 1、2 组发现 (表 1), 每层锯材数减半之后, 堆垛效率明显降低, 主要是由于叉架伸缩过程耗时占总时间的比例增大, 该过程为堆垛锯材做准备, 即该时间段垛堆上的锯材没有增加。这说明采用丝杆传动控制叉架的伸缩, 效率较低, 需要进一步改进。

第 2、3 组对比可知, 其堆垛平均速率接近, 原因是高层锯材的错位双链输送行程较底层锯材短, 故在一定程度上提升了平均堆垛速率, 弥补了叉架伸缩耗时间对堆垛效率的影响。

锯材堆垛样机运行稳定, 无锯材损坏和掉落情况, 且每层锯材平整, 隔条位置固定整齐, 铺放有序。设置堆垛机不同的工作参数值, 其平均速率有一定的差别, 但是相比于人工堆垛, 其持续工作效

率相对较高,且锯材垛堆平整,整个工作过程平稳。

3.2 成本

1) 材料费:

根据单台非标准设备原价估算方法:材料费+加工费+辅助材料费+专用工具费+废品损失费+外购配套件费+包装费+利润+增值税+设计费等,本台机器购置费约为26 000元。其中:机械结构制作加工费、控制系统硬件材料费约12 670元。

2) 人工费用:

人工与机器堆垛的成本粗略对比,在工作量相同的情况下,按照堆垛16层,每层10块锯材垛堆;人工平均堆垛速率18.7块/min,机器平均堆垛速率20.61块/min;按每天工作8 h,每月工作20天计,使用机器每天可以减少0.1025个人工,工人劳务费按照4 000元/月,则每年可节省人工费用约4 920元。在实际工作中,机器每天的工作时间往往大于8 h,且可以全年无休,节省成本优势更加显著。

4 结论

1) 设计开发的全自动锯材堆垛机,采用模块化紧凑设计,运行平稳可靠。柔性化设计,可实现对不同规格锯材不同垛高、垛宽要求的带穿流式隔层的垂直堆垛或平铺堆叠,满足锯材自动化通风式堆垛工艺要求。



(上接第40页)

3) GB/T 35601-2017《绿色产品评价 人造板和木质地板》标准中各性能指标均与国外先进标准接轨,中国绿色产品将与国外认证标准实现互认。对促进我国绿色人造板和木质地板国际贸易、减少企业负担、消除贸易壁垒、扩大绿色产品贸易,具有重要意义。

参考文献:

- [1] GB/T 33761-2017, 绿色产品评价通则[S].
- [2] European Union, Commission decision of 26 November 2009 on establishing the ecological criteria for the award of the Community Ecolabel for wooden floor coverings (2010/18/EC), Official Journal of the European Union, L 8/32-42[S].
- [3] Nordic Ecolabelling, Nordic Ecolabelling of Construction and facade panels, Version 6.2[S], 25 February 2015-31 March 2020, <http://www.nordic-ecolabel.org/product-groups/group/?productGroupCode=010>.

2) 锯材垛形紧密、整齐堆垛,品质优于人工对照组,且省工、高效、性能可靠、自动化生产。

参考文献:

- [1] GB/T6491-2012, 锯材干燥质量[S].
- [2] LY/T1069-2012, 锯材气干工艺规程[S].
- [3] LY/T1068-2012, 锯材窑干工艺规程[S].
- [4] 郭树德,李筱莉.实用木材加工技术手册[M].合肥:安徽科学技术出版社,2005:424-461.
- [5] WU Yi-qiang, PENG Wan-xi, YUAN Guang-ming, LIU Yuan. The drying characteristics and quansi-drying schedules on seven species of plantation-grow eucalyptus wood based on solid wood products[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007, 46(9): 175-176.
- [6] 王汝贵,陈辉庆,戴建生.新型可控变胞式码垛机器人机构动态稳定性研究[J].机械工程学报,2017,53(13):39-47.
- [7] 李牧,陆怀民,方红根,郭秀荣.我国农林机器人的研究现状及发展趋势[J].森林工程,2003,19(5):39-41.
- [8] 于长尔,赵辉,赵亭.全自动码垛机[P].河北:CN205328239U,2016-06-22.
- [9] 曹坤.全自动木材码垛机[P].上海:CN203998135U,2014-12-10.
- [10] 胡良龙,胡志超,高刚华,计福来,王海鸥,田立佳.基于PLC的种子包衣机自动控制系统设计与实现[J].农业工程学报,2007(8):140-144.
- [11] 沈文臣,胡宇辉,余天啸,席军强,陈慧岩.气动换挡执行机构压力特性仿真与试验[J].农业机械学报,2016(2):338-348.
- [12] Janusz K, Bogdan P. The analysis of the tribological properties of the armoured face conveyor chain race[J]. Archives of Mining Sciences, 2013, 58(4): 1251-1262.
- [13] Weinert H, Selbertinger J, Kuepper S. Method and installation for maintaining the easy running of chain conveyors[P]. Europe: WOEP0110221, 2001-09-05.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)

de=010.

- [4] Nordic Ecolabelling, Nordic Ecolabelling of FLOORING COVERING, Version 6.2[S], 18 November 2014-31 December 2019. <http://www.nordic-ecolabel.org/product-groups/group/?productGroupCode=029>.
- [5] RAL g GmbH, RAL-UZ 176: Low-Emission Floor Coverings, Panels and Doors for Interiors made of Wood and Wood-Based Materials[S], 2013.
- [6] RAL g GmbH, RAL-UZ 76: Low-emission Composite Wood Panels[S], 2011.
- [7] Japan Environment Association Eco Mark Office, Eco Mark Product Category No.111 "Board made of wood or the like Version 2.4" Certification Criteria[S], 2011.
- [8] GB 18580-2017, 室内装饰装修材料 人造板及其制品中甲醛释放限量[S].
- [9] GB/T 29899-2013, 人造板及其制品中挥发性有机化合物释放量试验方法 小型释放舱法[S].
- [10] GB/T 33042-2016, 木质地板饰面层中铅、镉、铬、汞重金属元素含量测定[S].

(责任编辑 孟凡丹、向琴)