

竹材初加工机械研究现状及发展趋势

沈冯峥^{1,2}, 徐康¹, 李琴¹, 袁少飞¹, 张建¹, 王洪艳¹, 王戈³

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江省竹类研究重点实验室, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江农林大学 工程学院, 浙江 杭州 311300; 3. 国际竹藤中心, 北京 100102)

摘要: 竹材初加工包括锯竹、剖竹、开片等工序, 是竹材加工的重要组成部分。综述了国内外竹工机械发展历史, 以及竹材初加工机械现状, 介绍了锯竹机、分选机、剖竹机等竹材初加工机械, 分析了当前竹材初加工机械存在的自动化程度低、行业标准偏旧、原料利用率低等问题, 并阐述了竹节识别、竹筒分选、自动控制等技术, 旨在为竹材初加工生产线的构建提供参考依据。

关键词: 竹材初加工; 竹工机械; 现状; 发展趋势

中图分类号: TS64 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776(2019)06-0105-06

History and Development of Primary Processing Machinery for Bamboo

SHEN Feng-zheng^{1,2}, XU Kang¹, LI Qin¹, YUAN Shao-fei¹, ZHANG Jian¹, WANG Hong-yan¹, WANG Ge³

(1. Key Lab of Bamboo Research of Zhejiang, Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 2. School of Engineering, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 3. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: Presentations were made on history at home and abroad of processing machinery for bamboo as well as on current situation of primary processing machinery such as cutting machine, measuring and splitting machine in China. Analysis was carried out on challenges like low automation degree, industry standards out of date, low utilization rate of raw materials. Recommendations were offered like identification of bamboo node, measuring of and automatic control for better development of bamboo primary processing production line.

Key words: primary processing of bamboo; bamboo machinery; current situation; development trend

中国地处世界竹子分布中心产区, 竹子有 40 余属 500 余种, 面积达 673 万 hm^2 , 占世界竹子资源的 1/3, 素有“竹子王国”之美称^[1]。竹子具有生长速度快、成材时间短、力学性能优异等特点, 是优良的代木材料^[2]。当今我国年产竹材 15.39 亿根, 可替代约 2 300 万 m^3 的木材量。自二十世纪七十年代以来, 我国先后开发出竹编胶合板、竹地板、竹建筑模板、竹集成材、竹材层压板、竹材刨花板、竹木复合板等产品, 广泛应用于建筑、车辆、包装、装饰、家具等领域。竹产品的开发利用充分发挥了我国的竹资源优势, 一定程度缓解了当前我国优质木材资源的供需矛盾, 有效推动了我国生态文明建设^[3-4]。目前, 我国是全球最大的竹制品出口国, 2017 年竹产业年产值为 2 346 亿元。根据《全国竹产业发展规划(2013-2020)》, 到 2020 年, 我国竹产业总产值将达到 3 000 亿元, 竹产业直接就业人数达到 1 000 多万人^[5]。当前, 我国竹材工业的研究主要集中在竹缠绕复合

收稿日期: 2019-03-29; 修回日期: 2019-09-05

基金项目: 国家重点研发计划课题“竹重组材单元材料初加工连续化加工关键技术研究”(2017YFD060080103)

作者简介: 沈冯峥, 硕士研究生, 从事林业机械研究; E-mail:1254660472@qq.com。通信作者: 李琴, 研究员, 硕士, 从事竹木材加工利用研究; E-mail:673343742@qq.com。

管、竹质结构材等新材料开发等方面,而关于竹材加工机械特别是初加工机械方面的研究相对薄弱^[6-7],但近年来随着劳动力成本的上升,已引起研究人员以及相关企业的高度重视。相比于木材而言,竹材具有表面结构致密、壁薄、中空、有节等特性,因此初加工包含锯竹、分选、剖竹、开片、去青去黄去节、初刨、精刨等多道工序,属于劳动密集型产业,初加工设备自动化水平普遍较低,需要人工辅助以完成各基本单元的制造,存在工人劳动强度大,工作环境差,企业生产成本高等问题。本文综述了竹材初加工机械的研究现状、存在问题及发展趋势,旨在推动竹材初加工机械的发展进程。

1 竹工机械发展史

20世纪30年代,日本将由电机驱动的竹工机械作为定型设备,从而将竹制品加工由手工作业转入现代化机械加工行列。50~60年代,因竹材加工是劳动密集型产业,竹材加工与竹工机械生产重心逐渐由日本转移到劳动力成本相对低廉的我国台湾地区。70年代,我国台湾竹制品出口呈稳定增长,与之相关的竹工机械行业亦达到鼎盛时期。80年代初期,随着台湾劳基法的实施以及环保意识提升和石油危机等因素的影响,台湾竹产业渐渐失去其竞争优势,相关竹工机械生产也慢慢走向没落。从那以后,竹材加工以及竹工机械生产重心转移到我国内地^[8-9]。由于竹材加工需要较多劳动力,且只有少数企业以及研究院参与竹工机械研发,导致国际上竹工机械十分匮乏,这是竹工机械长期处于半自动化和人工作业的重要因素^[8]。

我国内地对竹工机械的研发和应用相对较晚。20世纪70年代前,手工业者只是通过篾刀、手钻、手锯进行简单的竹材初加工。70年代初期,热压机生产加工的竹席胶合板逐渐出现于市场。1984年,我国内地首次从台湾省锦荣机器厂引进两条卫生筷生产线,分别放置于湖南和福建两地进行生产加工。在此基础上,我国科研人员陆续研制出竹地板、竹胶合板、竹筷、竹凉席等产品的生产线和大量配套设备^[6]。进入21世纪,我国科研人员通过自主创新以及对其他行业机械设备的借鉴消化吸收,我国内地竹工机械逐渐走向机械化和工业化。目前,竹工机械主要分为竹材初加工设备、竹材人造板加工设备、竹化学加工设备、竹筷类加工设备、竹编凉席成套加工设备、竹材家具加工设备、竹材原态重组材加工设备等^[10]。相比于其他的竹材加工设备,竹材初加工包含多道工序,每道工序基本为单机加工,并且需要人工辅助完成作业,自动化、连续化程度较低。

2 竹材初加工机械现状

竹材初加工主要包括锯竹、分选、剖竹、开片、去青去黄去节、初刨、精刨等工序^[11-12],其主要生产工艺流程为:竹材→截断→分选→开条→开片→粗刨→干燥→精刨,对应的竹工机械是锯竹机、分选机、剖竹机、剖篾机等^[7]。目前剖篾、粗刨、精刨设备相对成熟、工效较高,而锯竹、分选工序仍需依靠人工或人工辅助完成,需要3个工人分工完成放置、锯断原竹以及竹材径级分选作业。锯竹时,工人通过手工作业将原竹放上锯断机上进行锯断,劳动强度大。分选时,通过工人视觉识别竹材径级,一方面工人劳动强度较大,另一方面分选精度受工人工作经验的限制,因此竹材分选结果可能存在较大差异;此外,当进行长时间作业后分选工人容易产生视觉疲劳,这也会对竹材分选结果造成一定影响。剖竹方面,现有企业生产的竹材径向剖分设备能够自动对壁厚相近的竹材进行外径测量,而后自动选择适合刀盘进行剖竹,得到符合生产要求的竹条,用于竹制品后续加工。但是多数竹材初加工企业依旧使用半自动化的破竹机,工人通过视觉识别竹筒径级并手动选择刀盘,而后手臂托举竹筒放置于刀盘和运动的推进柄之间进行剖竹,不仅劳动强度大,操作过程中存在安全隐患,且生产精度较低^[8]。此外,现有锯竹机、分选机、剖竹机为单机工作,设备之间无相连性,自动化程度较低。以下重点对锯竹机、分选机、剖竹机进行介绍。

2.1 锯竹机

20世纪70年代前,手工业者使用手锯锯断原竹。70年代后,电锯、油锯逐渐取代手锯用于锯竹作业。经过几十年的发展,目前生产中主要应用是原竹锯断机,其由机架、锯片、手柄、电动机以及定长导轨组成,如

图 1 (a)。锯竹时可根据竹制品生产要求将原竹锯断机的定长导轨移动到适合位置固定, 而后将原竹推送至定长导轨的挡板处进行锯断, 得到长度相同的竹筒。不过该设备锯竹时竹屑容易飞溅伤人, 黄学良设计的环保型原竹锯断机^[13]如图 1 (b), 较好解决了此问题, 其在原竹锯断机的基础上增加了箱体和除尘机构。箱体将锯片包裹在内, 不仅阻挡锯竹时飞溅的竹屑, 同时对操作人员起到一定保护作用。但该设备仍需人工操作, 自动化程度低。

为了提高生产效率和降低劳动强度, 机械研究人员致力于研发原竹自动定长截断设备, 如梁瑞林研制的竹木加工定长截断设备^[14]如图 1 (c)。该设备通过传送带上的固定装置和限位块实现对原竹的自动定长截断作业, 降低了工人劳动强度。不过设备无法识别并避开竹节进行切割, 若切割到竹节会使该处竹筒壁破裂, 得到残次的竹筒, 且相比于人工锯竹, 锯竹速度较慢, 不适应于当前中国竹材初加工市场。

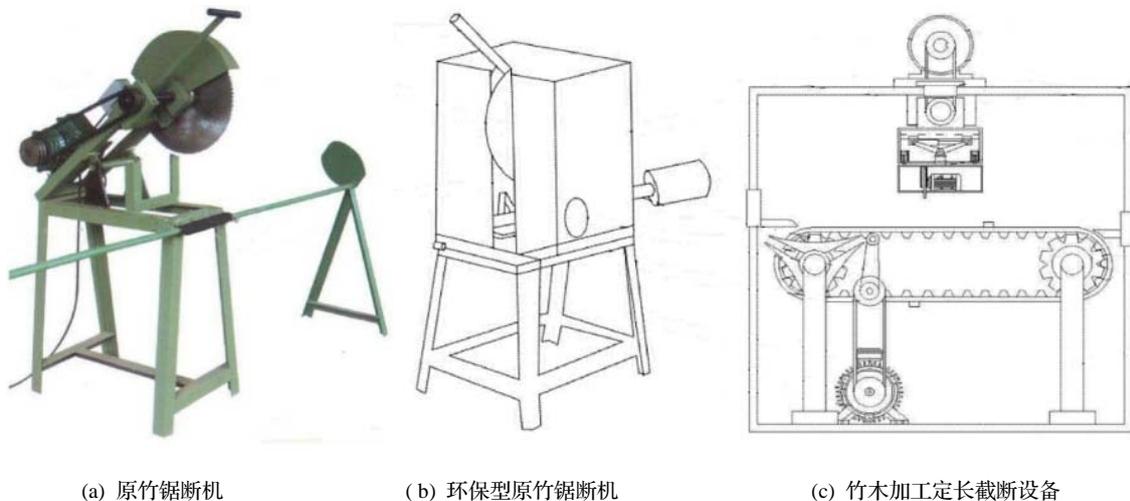


图 1 3 种锯竹机

Figure 1 Three types of bamboo cutting machine

2.2 分选机

竹筒分选是根据竹筒径级以及竹壁厚度进行分选。目前竹材初加工企业大多以人工进行竹筒分选, 工人劳动强度大, 分选精度低。何治建设计的竹材尺寸自动测量装置^[15]解决了分选精度低的问题。该装置包括送料机构、提升机构以及测量机构, 如图 2。分选时, 送料机构先将竹筒逐根送至提升机构, 接着提升机构将竹筒提升至竹材夹持架上, 竹材夹持架再将竹筒移动到测量位置, 此时外径测量机构和壁厚测量机构同时对竹筒进行测量, 而后设备显示屏上显示竹筒外径和壁厚数值, 工人根据其数值对竹筒进行分选, 提高了竹筒的分选精度。但该设备测量完成后仍需人工对竹材分选, 工人劳动强度没有得到改善。

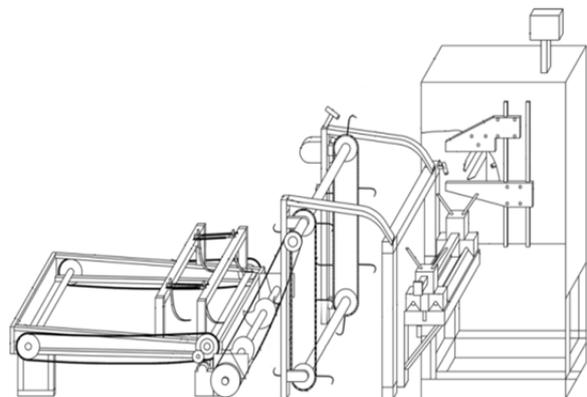


图 2 竹材尺寸自动测量装置

Figure 2 Automatic bamboo measuring device

2.3 剖竹机

剖竹机又称开条机、破竹机, 是一种将竹筒劈裂成竹条的设备^[16]。几十年前, 一种半自动化的破竹机出现于市场上, 逐渐代替手工剖竹应用于实际生产中。如今因价格低廉占据大部分市场。该破竹机主要由推进机构、传动机构、刀盘组件以及机架组成, 如图 3 (a)。其工作过程如下: 设备处于开机状态时, 推进柄将一直进行直线往复运动; 破竹时, 工人通过视觉识别竹筒径

级从而选择适合刀盘放入刀盘座；接着工人将竹筒放置于刀盘和运动的推进柄之间，然后推进柄向前运动直至触碰到竹筒，而后继续向前推进直至竹筒完全通过刀盘，此时完成破竹作业。整个破竹过程工人需以手臂托举完成对竹筒的支撑，不仅工人劳动强度大，操作过程中存在安全隐患，且生产精度较低。

在当今招工难、用工贵的新形势下，“机器换人”已经是竹材初加工企业进一步发展的趋势^[17]。剖竹机作为竹材初加工的主要生产机械之一，近几年许多企业投身于自动剖竹机的研发。其中浙江安吉吉泰机械有限公司、广东省广宁县亚达实业有限公司、广众竹业机械厂等研制的自动分选剖竹机已在生产上进行应用。其生产的剖竹机大同小异，下面以浙江安吉吉泰机械有限公司研制的剖竹设备^[18]进行介绍。该剖竹设备主要由上料组件、测量组件、夹持组件、加压组件、刀盘组件、输出组件以及机架组成，如图3(b)。剖竹时，人工将壁厚相近的竹筒放于上料组件，接着上料组件将竹筒送至测量处，然后测量组件对竹筒进行外径测量进而自动选择合适的刀盘进行剖竹，得到符合生产要求的竹条，自动化程度高。



图3 2种剖竹机

Figure 3 Two types of bamboo splitting machine

3 存在问题

目前，我国是竹工机械生产大国，但我国竹材初加工设备仍存在自动化程度低、行业标准偏旧、原料利用率低等问题。

3.1 自动化程度低

现有竹工机械已涉及到绝大多数竹材初加工工序，如截断、分选、剖竹等。而每道工序基本为单机加工，未能形成一条完整生产线，自动化程度低。定长截断过程中，设备无法自动识别并避开竹节进行作业，进而得到残次的竹筒。若进行自动化生产会导致原竹废料率高。竹筒分选方面，通过对所拍摄的竹筒截面照片进行图像处理可得到竹筒的内径和壁厚数值。不过该方法处理速度慢，从而影响竹筒分选速度。若进行分选、剖竹联机作业，竹筒分选速度慢于剖竹速度，使得剖竹机时常处于待机状态，影响生产效率。若对竹筒壁厚和外径进行接触式测量，测量速度也较慢，无法完全达到后续加工速度。这些竹材初加工的技术难点阻碍其生产线的构建。

3.2 行业标准偏旧

我国内地竹工机械起步较晚，但发展快速，因此竹工机械标准化工作同步开展。由于当时竹工机械技术上的落后，南京林业大学竹材工程中心起草并编辑的《LYT 1316-1999 竹材加工机械型号编制方法》只将竹工机械分为8类44组264个^[19]。进入21世纪，通过我国科研工作者的不断努力和自主创新，竹工机械更新换代快，原有林业行业标准已经不能完全适用当今竹工机械的需求^[6,19-20]。其中关于竹材初加工机械的能耗、环保、安全性等方面的标准缺乏，导致当前设备能耗大，污染重，且存在安全隐患。在竞争日益激烈的市场经济条件

下, 竹工机械标准化是我国竹工机械走向国际市场的重要条件之一。但目前我国竹工机械缺少有效的国家标准且企业标准参差不齐, 进而造成企业之间无序或恶性竞争的局面, 影响了我国竹工机械的发展, 从而也影响到竹材初加工机械的发展。

3.3 原料利用率低

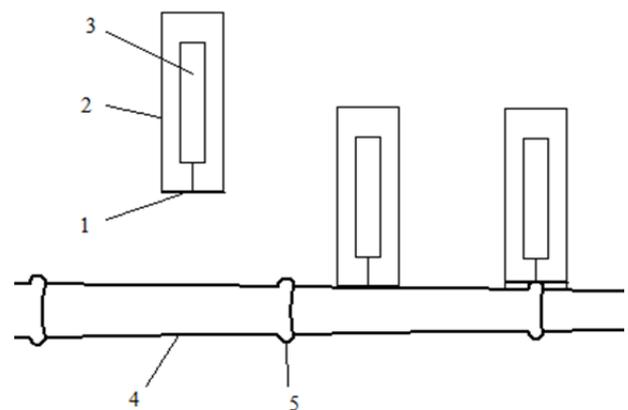
长期以来我国对竹工机械的研发相对薄弱, 目前使用的大部分竹工机械是由木工机械改造而成^[21]。而竹材具有表面结构致密、壁薄、中空、有节、易开裂等特性, 与木材差异较大。因此由木工机械改造而成的竹工机械对竹材加工适应性差, 加工精度低, 导致竹材利用率低, 从而造成竹资源的浪费。

4 发展趋势

近年来, 随着劳动力成本的上升, 以机械化单机作业为主的竹材初加工机械遭遇发展瓶颈, 自动化和连续化生产设备的研发和应用成为新的研究热点和发展趋势, 构建原竹截断-分选-剖竹自动化连续化生产线, 解决识别竹节、竹筒分选速度慢以及设备之间自动联机等技术难题, 是实现竹材初加工自动化连续化生产的当务之急。从技术角度分析, 智能化机器视觉技术是准确识别竹节、测量竹筒壁厚和内外径、实现原竹截断-分选-剖竹自动化连续化生产的最佳方案, 但目前智能化机器视觉相关设备价格昂贵, 因此从经济角度和市场角度分析, 不适合当前我国竹工机械市场。未来随着机器视觉技术进步和设备价格下降, 智能化机器视觉技术有望应用于竹材初加工生产线。近期可通过以下技术解决技术难题, 构建竹材初加工自动化连续化生产线。

4.1 竹节识别技术

手工锯竹时, 工人依靠工作经验适时锯掉竹节, 得到长度适合的竹筒。而现有锯竹装置无法识别并避开竹节进行自动化作业。观察竹材可知, 竹节相对于竹筒壁有一定凸起, 因此可采用接触式方法识别竹节。接触式竹节识别机构主要由保护罩、接触板和线性编码器组成, 线性编码器固定于保护罩内部, 线性编码器杆头固定于接触板上, 且接触板初始位置与保护罩底面同高。识别竹节时, 保护罩向下运动直至触碰竹筒壁; 若接触位置位于非竹节处, 接触板与保护罩的相对位置保持不变, 线性编码器的脉冲电信号保持不变; 若接触位置位于竹节处, 竹节推动接触板向上运动, 接触板与保护罩的相对位置的变化使得线性编码器杆头位置发生改变, 从而引起线性编码器的脉冲电信号改变。根据线性编码器的脉冲电信号是否改变来判断接触处有无竹节。其中竹节识别过程示意图如图 4。



1-接触板; 2-保护罩; 3-线性编码器; 4-竹材; 5-竹节。

图 4 竹节识别过程

Figure 4 Identification of bamboo node

4.2 竹筒分选技术

当前的一些设备能够进行竹筒壁厚和外径的自动测量, 但速度较慢, 因此提高分选速度是研发重点。可将上述竹材尺寸自动测量装置^[15]壁厚测量机构中的两个执行末端改为测量杆进行竹筒壁厚测量, 并以气缸的伸缩运动作为测量杆的动力源。其中减少执行末端的数量可提高控制系统的运算速度, 且气缸能快速响应控制系统的指令, 进而提高测量速度, 从而提高竹筒分选速度。

4.3 自动控制技术

工业上自动化生产线的控制系统基本以单片机、工控机、PLC 三种作为系统控制器。因竹材初加工生产线系统涉及到大量开关量, 且需使用维护简单, 所以选择 PLC 作为其系统控制器。根据竹材初加工的生产要求, 将传感器、限位开关安装于生产线上, 且合理添加 PLC 功能扩展模块, 并对输入/输出端口进行分配, 控制各设

备运行以实现运输、锯竹、分选、剖竹等自动化、连续化作业。工作时, 安装于生产线上的传感器、限位开关将信号反馈至 PLC 的输入模块, 接着 CPU 单元从输入模块读取数据, 而后 CPU 单元根据数据的变化将输出信号传输至输出模块, 最后输出模块将信号转换后控制各设备的执行机构运动, 从而控制竹材初加工生产线进行输送、锯竹、分选、剖竹等作业。为了了解生产过程和执行机构的动态变化, 可将 PLC 和 HMI (人机界面) 共同组成竹材初加工生产线的控制系统。HMI 通过 RS-232 串口和 PLC 进行通信, 其中 HMI 的显示单元实时显示竹材初加工生产线的工作状况以实现对其进行实时监控; 若生产过程中出现故障, HMI 产生警报, 通知操作人员处理, 从而减少故障对生产线的影响。

参考文献:

- [1] 李延军, 许斌, 张齐生, 等. 我国竹材加工产业现状与对策分析[J]. 林业工程学报, 2016, 1 (01): 2-7.
- [2] 卢燕华. “竹老大”——毛竹[J]. 广西林业, 2015 (08): 37-38.
- [3] 杨阳. 中国企业境外森林资源直接投资战略与区域选择研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- [4] 刘星雨, 傅万四, 周建波. 我国竹工机械区域布局及未来走势分析[J]. 木材加工机械, 2012, 23 (01): 22-25.
- [5] 国家林业局. 全国竹产业发展规划 (2013—2020) [R]. 2013.
- [6] 周建波, 傅万四. 我国竹工机械发展现状及未来趋势[J]. 木材加工机械, 2008 (03): 44-47.
- [7] 傅万四, 周建波, 朱志强. 我国竹工机械技术特点、发展现状及未来趋势[C]//第三届中国林业学术大会论文集. 福州: 中国林业学术大会, 2013: 17-22.
- [8] 龙倩倩. 剖竹加工工艺分析及其数控加工机床的设计[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [9] 马程浩, 傅万四, 周建波, 等. 竹材破竹技术设备发展现状及未来趋势[J]. 木材加工机械, 2016, 27 (05): 56-59.
- [10] 欧雪琴. 竹产品加工机械发展状况及对策[J]. 木工机床, 2017 (03): 24-26.
- [11] 周建波, 傅万四, 白崇彪. 竹材加工共性技术设备发展及研究[J]. 木材加工机械, 2012, 23 (03): 47-50.
- [12] 王丰. 福建省竹材加工现状及发展思路[J]. 木工机床, 2017 (02): 32-34.
- [13] 黄学良. 一种环保型原竹锯断机: ZL201620872648[P]. 2017-01-11.
- [14] 梁瑞林. 一种竹木加工定长截断装置: ZL201721019073.0[P]. 2018-04-27.
- [15] 何治建. 竹材尺寸自动测量装置: ZL201620463113.X[P]. 2016-09-28.
- [16] 余颖. 竹材加工方法分析[J]. 林业机械与木工设备, 2007 (08): 47-48.
- [17] 尉小成. 浅谈如何做好“机器换人”[J]. 中国集体经济, 2014 (11): 55-57.
- [18] 刘占明, 王海平, 刘再银. 剖竹设备: ZL201720032362.8[P]. 2017-09-12.
- [19] 国家林业局. 竹材加工机械型号编制方法: LY/T 1316-1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [20] 龚正, 袁少飞, 张建, 等. 重组竹材生产设备现状及发展趋势[J]. 林业机械与木工设备, 2018, 46 (09): 4-9, 15.
- [21] 周建波, 张彬, 傅万四, 等. 我国县域竹材加工机械发展现状及对策——以福建省政和县为例[J]. 林业机械与木工设备, 2015, 43 (06): 4-7.