

# 竹材初加工连续化智能化关键设备研制 现状与发展趋势

李胜巍<sup>1,2</sup>, 张建<sup>2</sup>, 朱玲琴<sup>2</sup>, 吴安琪<sup>2</sup>, 张文福<sup>2</sup>, 王进<sup>2</sup>, 袁少飞<sup>2\*</sup>

(1. 浙江农林大学 化学与材料工程学院 浙江 杭州 311300; 2. 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)

**摘要:** 介绍了毛竹初加工产业的发展现状,分别对毛竹的锯切设备、剖竹设备以及分选设备进行阐述,归纳分析了当前竹材初加工机械存在的诸如自动化水平低、原料利用率低、安全隐患大以及生产效率低下等问题,并阐述了竹节自动识别与规避、竹段自动定长截断、竹段自动卸料与分选等技术,旨在为后续建立一条连续化、智能化的竹材初加工生产线提供理论依据。

**关键词:** 毛竹; 竹节规避; 定长; 分选; 一体化

## Research status and development trend of continuous intelligent key equipment for bamboo primary processing

**Abstract:** The development status of bamboo primary processing industry was introduced. The saw cutting equipment, bamboo splitting equipment and sorting equipment of bamboo were described respectively. The existing problems of bamboo primary processing machinery, such as low automation level, low utilization rate of raw materials, big security risks and low production efficiency, were summarized and analyzed. The techniques of automatic identification and avoidance of bamboo joints, automatic fixed length truncation of bamboo sections, automatic unloading and sorting of bamboo sections are described in order to provide the theoretical basis for the subsequent establishment of a continuous and intelligent bamboo primary processing line.

**Key words:** bamboo; Bamboo knot avoidance; Fixed length; Sorting; integration

我国的森林资源缺乏,木材资源相对欧美国家也存在不足,但我国位于世界竹子中心产区,竹子种类繁多,有 40 余属 500 余种,约占世界的三分之一,竹林面积和竹材蓄积量也居于世界首位,竹材资源非常丰富。竹材凭借着诸如柔韧性好、表面硬度大、耐磨性强等优异的物理性能,生长速度快、利用周期短等生长特性,被广泛的利用于日用品、工业制品、建筑材料、一次性餐具和汽车内饰等领域,具有十分显著的生态效益和经济效益。

竹子是一种木质化的多年生禾本科植物,生长发育独特,具有独特的地下根鞭系统和快速的更新繁殖能力,高径生长能够快速完成,具有十分重要的生态、经济和社会效益<sup>[1]</sup>。自从 2017 年我国全面停止天然林商业性采伐以来,木材供需矛盾日益突出,预计到 2025 年木材供应缺口将达 4 亿平方米,使得木材资源更加紧缺<sup>[2]</sup>。开发具有“第二森林”之称的竹材已成为符合我国国情的最佳选择<sup>[3]</sup>。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<sup>[4]</sup>。

### 1 竹产业现状与优势

竹子是中华文化的重要组成元素,古人云“宁可食无肉,不可居无竹”,在中华文化宝库中,和竹有关的诗词更是不胜枚举,同时,竹子作为“岁寒三友”之一,更是在一定程度上承载了中国人的精神寄托,具有重要的象征意义。竹子具有生长速度快、竹材产量高等特点<sup>[5]</sup>,其天然再生长量大于目前工业生产的消耗量,并随着人们有意识、有目的地引种、扩种,我国竹林面积正在逐年递增<sup>[6]</sup>。中国是世界上最主要的产竹国和竹资源利

用国,竹类资源、竹林面积、竹材蓄积和产量均居世界首位<sup>[1]</sup>。与其他造林树种相比,竹类植物所特有的生物学特性使其具有天然的优势,竹子3~5年即可成材,而一般速生用材林成材时间需10~15年,且竹子一次造林,可年年择伐,永续利用,这为它能够成为木材资源的理想替代品奠定了基础。此外,竹子在固碳减排、涵养水土、保护环境等方面也发挥着重要作用,与其他树种相比,1公顷毛竹林年均固碳量达4.91、5.45吨,是杉木人工林的1.5倍,是热带雨林的1.33倍<sup>[7]</sup>。竹材强度高、韧性好、硬度大、可塑性佳,是加工制造结构材、板材、家具、纸等产品的优良原料,竹笋、竹叶、竹纤维等均可开发利用<sup>[8]</sup>。为有效发挥竹资源的生态和经济优势,因地制宜发展竹产业<sup>[9]</sup>,近日国家林业和草原局、国家发展改革委、科技部、工业和信息化部、财政部、自然资源部等10部门联合印发《关于加快推进竹产业创新发展的意见》,明确将大力保护和培育优质竹林资源,构建完备的现代竹产业体系,构筑美丽乡村竹林风景线<sup>[10]</sup>。到2025年,全国竹产业总产值突破7000亿元;到2035年,全国竹产业总产值超过1万亿元。竹材人造板、竹建材、竹日用品、竹工艺品、竹浆造纸、竹纤维制品、竹炭、竹醋液、竹笋加工品、竹叶提取物等10大类、上万个品种的竹产品,已广泛应用于建筑、运输、包装、家具、装饰、纺织、造纸<sup>[11]</sup>、食品、医药、旅游、康养等领域,在促进生态文明建设、拉动地方经济增长、助推农民增收致富等方面发挥了重要作用。

2010-2020年中国竹产业产值统计情况(单位:亿元)



表1 2010-2020年以来我国竹材产业产值

虽然竹材产业的发展前景喜人,但是在竹材初加工方面依旧存在着亟需突破的技术瓶颈,主要表现在基础设施依然薄弱、机械化水平低、创新能力不强、产品市场竞争力不高<sup>[11]</sup>,其中生产工具的落后即机械自动化水平低已成为制约竹材产业高质量可持续发展的重要短板和痛点,也是竹材初加工产业发展需迫切解决的问题<sup>[12-13]</sup>。

## 2 竹材初加工机械发展史与现状

当前,我国竹材工业的研究主要集中在竹缠绕复合管、竹质结构材等新材料开发等方面<sup>[5]</sup>,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<sup>[14-15]</sup>。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,竹材具有弯曲度、尖削度和椭圆度,表面结构致密、壁薄、中空、有节等特性,所以当前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<sup>[14]</sup>,实际应用的竹工机械设备主要为锯竹机、分选机、剖竹机、剖篾机、竹条粗刨机、竹条精刨机等<sup>[15]</sup>。

### 2.1 竹工机械发展史

在20世纪70年代以前,我国竹材加工业经历了几千年漫长历史的一把篾刀、一支手钻、一把手锯的传统落后生产方式,手工业者使用这类原始简单的工具进行简单的竹材加工<sup>[16-17]</sup>。1984年,我国内地首次从台

湾锦荣机器厂引进卫生筷生产线,分别放置于湖南和福建两地进行生产加工<sup>[15]</sup>。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<sup>[18]</sup>。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<sup>[12]</sup>。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等<sup>[13]</sup>。相比于其他竹材加工设备,当前竹材初加工机械比较落后,基本上为半自动化和手工工具,工人劳动强度大,生产效率低,竹材原料利用率低,且存在较大的安全隐患。

## 2.2 竹材初加工机械现状

竹产业作为特色新兴产业,有着良好的发展前景,但竹产业的发展也存在着一定的区域性,从种植到生产难以形成产业作业、企业规模相对较小、普遍缺乏创新意识,自主研发能力弱等问题。

近年来,由于市场对优质竹产品的需求量不断增大、劳动力紧缺、人工成本上升,竹材初加工连续化智能化关键设备的研制变得尤为重要。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<sup>[19]</sup>,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、剖箴机等<sup>[15]</sup>。目前剖箴、粗刨、精刨设备相对成熟,工作效率较高;锯竹、分选工序仍需依靠人工或人工辅助设备完成,至少需要三个工人分工完成放置、锯断毛竹以及竹筒径级、壁厚分选作业<sup>[19]</sup>。锯竹时,工人通过手工作业将毛竹放上锯断机进行锯断,劳动强度大<sup>[18]</sup>。分选时,工人通过视觉判断竹筒直径、壁厚并且根据所设置的分选范围将竹筒进行分类,这样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<sup>[20]</sup>,因此竹筒分选结果可能存在较大误差;此外,当进行长时间作业后工人容易产生视觉疲劳<sup>[21]</sup>,这也会对竹筒分选结果造成一定影响<sup>[22]</sup>。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筒进行外径测量,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<sup>[23]</sup>。但是多数竹材初加工工厂依旧继续使用半自动化的剖竹机,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、生产精度和生产效率低下,而且操作过程中往往会存在较大的安全隐患<sup>[24-26]</sup>。

针对当前竹材初加工阶段的锯切、剖竹、粗刨未实现连续化和智能化水平低的问题,项目研制从毛竹到竹片半成品连续化智能化加工装备,提升了竹材的一体化利用及节能减排,提高了竹材初加工生产效率,降低了劳动强度和劳动力成本,对提升中国竹产业科技创新水平,实现科技赋能传统行业,推进竹产业高质量发展具有重要现实意义<sup>[27-28]</sup>。

## 3 竹材初加工机械设备

竹材初加工设备是指以竹材为加工对象的设备,一般指竹材初加工机械、竹工机床。按照竹工机械的加工方法可以分为:锯切加工、劈裂加工、切削加工、磨削加工、碾压加工、高温加工、化学加工、加工成纤维等竹材加工机械设备<sup>[29]</sup>。相比于其他的竹材加工设备,竹材初加工包含多道工序,主要有锯竹、分选、剖竹、开片、粗刨、精刨等工序,主要加工设备是锯竹机、剖竹机、粗刨机等<sup>[30]</sup>。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、智能化程度较低。竹材初加工的粗刨、精刨设备相对成熟、工效较高,但是粗刨上料过程以人工为主,未能与剖竹机连续起来,而锯竹、分选工序仍需依靠人工或人工辅助完成,需要三个工人分工完成放置、锯断毛竹以及竹材径级分选作业<sup>[31-34]</sup>。本文具体讨论锯切设备、分选设备和剖竹设备。

### 3.1 锯竹设备

20 世纪 70 年代前,手工业者使用手锯锯断毛竹,70 年代后,电锯、油锯逐渐取代手锯用于锯竹作业<sup>[11]</sup>。安吉聚泰机械有限公司研制的初代锯竹机可对竹材木材进行连续定长锯切,其原理为控制挡板在导轨上的移动,并有销固定,当毛竹最前端顶到导轨时,手工控制锯片下移进行锯切。这虽然在一定的程度上提高了生产效率,但是还是需要工人推动毛竹进料,一方面工人劳动强度较大,另一方面手动进料的过程中毛竹难免会往左右偏移,不能保证锯切的精度,而且该设备锯竹时产生的竹屑容易飞溅伤人。黄学良设计的环保型毛竹锯断机<sup>[23]</sup>在毛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,不仅能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;除尘机构可及时除去锯竹时产生的竹屑并集中收集,保障工人良好的工作环境。但该设备仍需人工操作,自动化程度较低。

为了提高生产效率和降低劳动强度,梁瑞林所研制的竹木加工定长截断设备<sup>[24]</sup>,该设备通过传送带上的固定装置和限位块实现对毛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作业,若切割到竹节会造成该处竹筒壁破裂,得到残次的竹筒,浪费竹材资源。且相比于人工锯竹,锯竹速度较慢,无法满足当前中国竹材初加工机械设备的市场。安吉聚泰有限公司设计了一款全新的锯切设备,通过毛竹与滚轮之间的摩擦带动毛竹前进,设备前段设置挡板,挡板后接有弹簧和力学传感器,当毛竹前段顶端到挡板时,力学传感器产生信号并通过 PLC 传递给锯切装置<sup>[30]</sup>,锯片下移锯切毛竹。此外,该设备还增加了翻转装置,降低了分选时的工作量,但是该设备还是依靠挡板在导轨上的移动进行定长,生产效率较低<sup>[34]</sup>。而且设备依旧无法智能化识别并避开竹节,且相比于人工锯竹,锯竹速度增加幅度不大,难以在当前中国竹材初加工市场上得到广泛推广和应用。

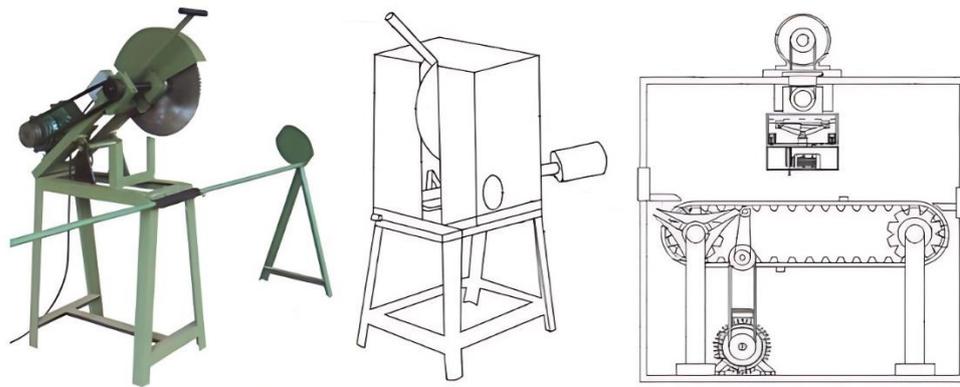


图 1 三种锯竹机

Fig.1 Three kinds of bamboo sawing machines

### 3.2 分选设备

竹筒分选主要根据竹筒径级以及竹壁厚度进行分选<sup>[35]</sup>。大多数竹材加工企业都是依靠人工分选作业,工人劳动强度大,竹筒分选精度低。何治建所设计的竹材尺寸自动测量<sup>[25-26]</sup>装置包括送料机构、提升机构、外径测量机构以及壁厚测量机构,设备工作时,首先送料机构逐根输送竹筒至提升机构,接着提升机构将竹筒送至竹筒夹持架上,然后竹筒夹持架移动竹筒至测量位置,而后外径测量机构和壁厚测量机构同时对竹筒进行测量,测量完毕后外径测量机构和壁厚测量机构复位且设备显示屏上显示竹筒外径和壁厚数值,最后工人从竹筒夹持架上取下竹筒并根据显示数值对竹筒进行分选,该设备虽然提高了竹筒的分选精度,但测量完成后仍需人工对竹材分选,工人劳动强度没有得到很好的改善。此次研究的重要技术突破就要要是实现自动锯切机和分选机的一体化。

### 3.3 剖竹设备

剖竹设备是一种将竹筒劈裂成竹条的设备,最初都是工人用刀进行剖竹,破出的竹片规格不均匀,将会严重影响产品后期的加工,此外,这一过程不仅劳动强度大,还存在着极大的安全隐患。近年来,众多高校、科研院所以及相关机械企业致力于自动剖竹机的研发。随着社会的发展和工艺水平的完善,剖竹刀盘开始出现,先将刀盘固定,并且控制竹料和刀盘对中,而后推动竹料向前运动,剖竹刀盘的出现,显著的提升了竹片规格的均匀程度,但是其他问题尚未得到解决。随后,一种半自动化的剖竹设备出现于市场上,并且因价格低廉占据大部分市场。该剖竹机主要由推进机构、传动机构、刀盘组件以及机架组成,其工作过程如下:设备处于开机状态时,推进柄将循环进行直线往复运动;剖竹时,工人通过视觉判断竹筒直径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,此时完成剖竹作业,整个剖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。



图 2 竹条自动化加工成套装备

Fig.2 Bamboo strip automatic processing equipment

浙江安吉聚泰机械有限公司研制了一款自动剖竹机,该设备由倾斜式自动上料机构、壁厚测量机构、拨竹机构、推竹机构、刀盘组件、加紧机构、输出组件以及机架组成<sup>[35-39]</sup>。设备运行时,链条运动带动竹料自动上料<sup>[40]</sup>,运行到指定位置上测量毛竹壁厚,然后壁厚测量机构对竹料壁厚进行测量从而自动选择合适的刀盘转动到指定位置。而后拨机构将毛竹拨向 V 型导轨内,推竹机构推动竹料向前直至剖竹完成,然后机械手将根据竹料壁厚的不同将其放到不同的分选框中<sup>[41]</sup>。这一款设备,基本能实现自动实现上料-测量-剖竹-分选的全部流程,自动化程度较高,具有广阔的市场应用前景。

#### 4 存在问题

在我国森林资源日益缺乏的情况下,竹材作为我国丰富的自然资源,并且由于其天然的优势,自然成为了代替木材的不二之选<sup>[41]</sup>。但目前存在的譬如加工设备老旧<sup>[42]</sup>、只是由木工加工设备简单改进而来<sup>[43]</sup>、原料利用率低<sup>[44]</sup>等问题,已经成为制约竹材产业健康可持续发展的重要短板,诚然,我国在竹材初加工机械设备的连续化智能化等方面取得了一些阶段性的成果和进步,但就整体而言,还存在着设备自动化水平低、研发投入低、产品缺乏标准等亟需解决的问题<sup>[45-49]</sup>。

##### 4.1 加工设备效率低且原料利用率低

现有的竹材加工机械中,普遍存在品种类型少、配套性差、生产能力小、加工精度低、效率不高等问题。特别是竹板材初加工设备,如切断、裂竹、去青去黄、成型等工序<sup>[15]</sup>,由于缺乏高效稳定的初加工设备,生产过程基本依靠人工经验进行原料筛选及设备调整,使得质量参差不齐、原料利用率不高<sup>[50]</sup>。因此现有各种单机仅适用于竹材的小规模生产,还难以适应大规模生产。

##### 4.2 自动化程度低

目前,市面上存在一些毛竹定长截断、自动剖竹、竹条拉丝、竹片粗刨精刨等设备<sup>[11]</sup>,但这些都是独立工作的设备,仅能实现一个工序的机械化工作,暂时还未形成连续化的生产线,难以实现连续化规模化的生产加工。同时,在生产中很多的时候还需依赖人工,凭借经验和视觉观察,不可避免的会造成误差。

##### 4.3 研发投入仍然较低

竹材产业的高质量发展和生产加工设备的不断升级和优化是相辅相成的<sup>[51]</sup>。但由于竹产业属于第一产业,政府在竹材加工机械研发等方面的投入严重不足,市场上又缺少能引领行业实现技术革新和发展的龙头企业,自然就造成了我国在竹材初加工设备设计和制造方面缺少原始性创新和极具竞争力的核心技术。

#### 5 发展趋势和思路

随着竹材初加工产业化逐步成熟,为竹材加工提供机械化、自动化及智能化的高端装备成为新的发展方向<sup>[52]</sup>。跨过现有低水平的竹业机械产品,结合先进的制造技术,例如物联网信息技术、材料加工与成形技术、智能制造技术等<sup>[53]</sup>,先进实用的生产工具和连续化智能化生产加工流水线的建立是竹材产业实现高质量发展的重要前提和必然选择,也是竹材产业发展的客观需要。

##### 5.1 智能化共性技术设备

竹材加工共性技术设备将广泛融入现代电气技术、信息技术、网络技术,使其更加智能化、标准化<sup>[54-55]</sup>,同时也将提高竹材初加工的安全性和连续性,提高生产效率及效益。

## 5.2 精细化共性技术设备

竹材加工工艺的革新和新型竹质材料的开发,对传统的竹材加工机械化设备向新型竹材加工机械化设备转变提出了新的要求,在实际生产过程中,竹材加工共性技术设备相对于传统的竹材加工机械更加深度化、精度化<sup>[56]</sup>。由竹材加工制造机械化向技术生产和生产全过程机械化的转变,将有力的推动竹材初加工设备的连续化和智能化。

## 5.3 建立完善的科研体系

政府和行业部门要对竹材初加工的设备制造和科研体系进行进一步完善,针对竹材初加工机械装备制造和科研方向进行合理布局,制定并出台专门的机械装备产品标准<sup>[57]</sup>,以便更好推动产品开发和市场推广<sup>[58]</sup>。

## 5.4 发挥企业主体功能和启动作用

装备的高效性、适用性、连续性和自动化成为时代发展的需求<sup>[50]</sup>,根据当前竹材初加工面临的关键技术问题,企业应该发挥主体作用,通过与智能、数控和互联网等技术的有机融合,研制多工序之间的自动化、清洁化、高效化、成套化的连续化智能化竹材初加工装备<sup>[59]</sup>。最终建立一条连续化的智能竹材初加工生产线<sup>[60]</sup>。

# 参 考 文 献

- [1] 李延军, 许斌, 张齐生, 蒋身学.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] 晓义.天然林商业性采伐明年将全面停止, 我国加紧建设国家储备林[J].中国人造板, 2016, 23(03):46.
- [3] 张英.以竹代木 开发“第二森林” [J].中国林业, 2006(19):4-9.
- [4] 沈冯峥, 徐康, 李琴, 等.竹材初加工机械研究现状及发展趋势[J].浙江林业科技, 2019, 39(6): 105-110.
- [5] 宋莎莎, 杨峰, 孙正军, 费本华.薄竹材缠绕技术与加工工艺[J].林产工业, 2014, 41(03):34-36.
- [6] 黄冲.重组竹竹方冷压成型自动生产线的构建技术[D].浙江:浙江农林大学, 2014.
- [7] 冯太海, 华列, 吴祖强.广东高州市竹资源利用现状与发展对策\_冯太海[J].世界竹藤通讯, 2022, 20(3): 95-98.
- [8] 科学合理利用竹资源\_加快推进竹产业创新发展\_绿文[J].
- [9] 李振升.乡村振兴下的竹资源设计利用方法与发展策略\_李振升[J]. 三明学院学报, 2021, 38(2):79-85.
- [10] 翁甫金.浙江领跑中国竹产业[J].中国林业产业, 2007(03):38-41.
- [11] 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.
- [12] 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[A].第三届中国林业学术大会论文集[C].福州:中国林业学术大会, 2013:17-22.
- [13] 蒋忠道.世界的竹子资源状况[J].西南造纸, 2004(02):58.
- [14] 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.
- [15] 周建波. 我国竹工机械发展现状及未来趋势[A].当代林木机械博览(2007~2008) [C].北京:中国林业机械协会, 2009:3.
- [16] 任明亮, 宋维明.国内外竹产业研究的现状与未来[J].林业经济, 2008(06):33-37.
- [17] 李霞镇, 钟永, 任海青.现代竹结构建筑在我国的发展前景[J].木材加工机械, 2011, 22(06):44-47.
- [18] 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.
- [19] A. A. YUSSUF, I. MASSOUMI, A. HASSAN. Comparison of Polylactic Acid/Kenaf and Polylactic Acid/Rise Husk Composites: The Influence of the Natural Fibers on the Mechanical, Thermal and Biodegradability Properties[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2010, 18(3).
- [20] Zeng F, Jiang T, Wang Y, et al.Effect of UV-C treatment on modulatingantioxidative system and proline metabolism of bamboo shoots subjected to chillingstress[J].Acta Physiologiae Plantarum.2015, 37(11).
- [21] Choudhury D, Sahu J K, Sharma G D.Value addition to bamboo shoots:a review[J].Journal of Food Science and Technology.2012,

49(4):407-414.

- [22] 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.
- [23] 黄学良.一种环保型毛竹锯断机[P].中国专利:ZL201620872648.2, 2017-01-11.
- [24] 梁瑞林.一种竹木加工定长截断装置[P].中国专利:ZL201710697746.6, 2017-11-24.
- [25] 何治建.竹材尺寸自动测量装置[P].中国专利:ZL201620463113.X, 2016-09-28.
- [26] 何治建.竹材尺寸测量装置[P].中国专利:ZL201620463119.7, 2016-10-26.
- [27] 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.
- [28] 马程浩, 傅万四, 周建波, 王昱潭, 张彬.竹材剖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.
- [29] Chi H, Lu W, Liu G, et al. Physicochemical property changes and mineral element migration behavior of bamboo shoots during traditional fermentation process[J]. Journal of Food Processing and Preservation. 2020, 44(10).
- [30] 周建波, 袁东, 马程浩, 傅万四, 张彬, 闫薇.基于 PLC 的自动剖竹机控制系统设计[J].林业机械与木工设备, 2017, 45(10):7-10.
- [31] L S, A K, M L S. The effects of viticultural mechanization on working time requirements and production costs[J]. American Journal of Enology and Viticulture. 2020.
- [32] Jinwen Hu, Youping Yan, Yueyao Song, Jingyong Liu, Fatih Evrendilek, Musa Buyukada. Catalytic combustions of two bamboo residues with sludge ash, CaO, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Bioenergy, emission and ash deposition improvements[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 270
- [33] Abderazek Hammoudi, Hamza Ferhat, Yildiz Ali Riza, Gao Liang, Sait Sadiq M. A comparative analysis of the queuing search algorithm, the sine-cosine algorithm, the ant lion algorithm to determine the optimal weight design problem of a spur gear drive system[J]. Materials Testing, 2021, 63(5).
- [34] Hunter Industries Inc.; Patent Issued for Reversing Mechanism For An Irrigation Sprinkler With A Reversing Gear Drive (USPTO 10, 786, 823)[J]. Journal of Engineering, 2020.[35] 刘占明, 王海平, 刘再银. 剖竹设备[P].中国专利:ZL201720032362.8, 2017-09-12.
- [36] 刘占明, 王海平, 刘再银. 剖竹设备的上料组件[P].中国专利:ZL201720033527.3, 2017-08-15.
- [37] 刘占明, 王海平, 刘再银. 剖竹设备的测量组件[P].中国专利:ZL201720033643.5, 2017-08-15.
- [38] 刘占明, 王海平, 刘再银. 剖竹设备的夹持组件[P].中国专利:ZL201720033607.9, 2017-08-15.
- [39] 刘占明, 王海平, 刘再银. 剖竹设备的加压组件[P].中国专利:ZL201720031802.8, 2017-09-12.
- [40] 吕斌.浙江省农产品初加工机械化发展研究[D].浙江大学, 2018.
- [41] Wenting Song. Intelligent Identification of Convective Cloud Cores and Surrounding Stratiform Clouds[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 831(1).
- [42] Su-Zhen Shi, Jian-Ying Gu, Jian Feng, Pei-fei Duan, You-chao Qi, Qi Han. Intelligent identification method for near-surface ground fissures based on seismic data[J]. Applied Geophysics, 2021, 17(5-6).
- [43] He Zhang, Qihong Chen, Pengbo Ni, Haibo Liang, Min Mao, Jialing Zou. Study on the intelligent identification method of formation lithology by element and gamma spectrum[J]. Neural Computing and Applications, 2021.
- [44] BUSINESS AUTOMATION TECHNOLOGIES INC. awarded government contract[J]. U.S. Department of Defense Information / FIND, 2021.
- [45] 沈冯峥, 徐康, 袁少飞, 张建, 王洪艳, 李琴.竹材壁厚自动分选机的设计[J].竹子学报, 2019, 38(01):29-33.
- [46] 吴庆华.基于工控机的工业自动控制[J].电子技术与软件工程, 2017(23):113.
- [47] 成大先.机械设计手册(第五版)[M].北京:化学工业出版社, 2008.
- [48] 罗睿智, 卢恩耀, 彭金尧, 周雨轩, 徐瑞.浅析单片机的原理及其在各领域的应用[J].计算机产品与流通, 2019(08):146.
- [49] Jenny Zhang. Reviewer Acknowledgements for International Journal of Business Administration, Vol. 13, No. 1[J]. International Journal of Business Administration, 2022, 13(1).
- [50] Morejón Cabrera Gabriela, Mariel Petr, Abadía Luz Karime. Postgraduate study preferences of business administration and economics students from Colombia, Ecuador, and Spain[J]. International Journal of Educational Research, 2022, 112.
- [51] 本刊.“十三五”国家重点研发计划“重要农林产品现代加工质量提升共性技术标准”项目启动[J]. 中国人造板, 2016, 23(12):39-40.
- [52] 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.
- [53] Fengyan Li, Xiangmin Zhang, Jing Zhang. Research on generic technology identification issues in non-ferrous metal industry[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1955(1).

- [54] Wang Fenglian, Xie Rongjian, Hu Wengting. The Influencing Factors and Promotion Countermeasures of Industrial Generic Technology Diffusion Based on Differential Game[J]. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2021, 2021.
- [55] Guojie Chen, Xianhui Liu, Weidong Zhao. Mass customization based on generic technology and modular production method[J]. *E3S Web of Conferences*, 2021, 235.
- [56] Ecology, Environment and Conservation; New Findings on Ecology, Environment and Conservation Described by Investigators at Wuhan University of Technology (Gene Identification of Generic Technology In Biomedical Industry From the Perspective of Ecology Based On Deep Learning)[J]. *Energy & Ecology*, 2019.
- [57] Beghi Alessandro, Dabbene Fabrizio, Sawodny Oliver. Join Us in Trieste for the Sixth IEEE Conference on Control Technology and Applications[J]. *IEEE CONTROL SYSTEMS MAGAZINE*, 2021, 41(6).
- [58] Dynamic Music Control Technology (DMCT) implemented at SISIGAD B01 Music Hoverboard Blue Diamonds' Eyes[J]. *M2 Presswire*, 2021.
- [59] Bai Yangyang, Cen Yuanyao, Meng Lixin, Zhang Leyi, Zhang Lizhong. Control Technology of Slave Optical Transceiver in Space Laser Communication Network[J]. *ACTA OPTICA SINICA*, 2021, 41(14).
- [60] 罗铁军. 浅谈流水线化生产线布局的精益改造构思[J]. *中小企业管理与科技(下旬刊)*, 2018(09):139-140.