

“小径竹高效利用技术”专栏

编者按:我国竹材资源十分丰富,以竹材为原料开发竹基复合材料,既可以缓解我国木材资源的供需缺口,又为竹材资源利用开辟了广阔前景。为适应市场需求,中国林科院木材工业研究所在竹材的开发与利用方面,进行了广泛而深入的研究,开发了“高性能竹基纤维复合材料制造技术”,适用于大径级毛竹和小径级杂竹的加工,竹材的利用率达 90% 以上;产品性能优异,可满足多种用途需求。

本刊 2011 年开辟“小径竹高效利用技术”专栏,陆续报道此项研究的重要技术成果,旨在为企业开发新产品和技术改造升级提供技术支持,促进我国竹基复合材料制造业的精深发展。

我国高性能竹基纤维复合材料的研发进展

于文吉

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 总结回顾我国竹材人造板的开发历程和生产现状,介绍中国林科院木材工业研究所开发“高性能竹基纤维复合材料制造技术”的背景及特点。指出该技术的突破点在于解决了竹青竹黄的胶合,以及竹材人造板基本组成单元的单板化等问题,竹材利用率可达 90% 以上,生产过程耗能低,二氧化碳排放少,符合我国目前低碳经济发展的需要。

关键词: 中国; 竹材; 竹材人造板; 复合材料

中图分类号: TS61

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2011)01-0006-03

Development of Bamboo-Fiber based Composites

YU Wen-ji

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: The author reviewed the history of the Chinese bamboo-based panel industry and presented a new technology for making a bamboo-fiber based composite that was developed at the Chinese Research Institute of Wood Industry. This technology used whole bamboo culms as a manufacturing unit and overcame the bonding problems for outer and inner bamboo culms that improved the bamboo use efficiency to exceed 90%.

Key words: China; bamboo; bamboo-based panel; composite

我国是竹子生产大国,竹类植物资源培育和加工利用的历史悠久,在集约经营、新品种培育和新产品开发等方面,处于国际领先地位。“国际竹藤组织”(International Network of Bamboo and Rattan, INBAR)作为第一个总部设在我国政府间国际机构,说明了我国竹类科学研究与竹材开发利用在国际

上的重要地位。

据统计,我国现有竹林面积约 720 万 hm^2 ,其中纯竹林面积约 420 万 hm^2 ,毛竹占 70% 左右,原始高山竹丛面积约 300 万 hm^2 ^[1]。我国年产竹材总量为 1 800 万 t,其中毛竹 5 亿多根,约合 800 万~900 万 t,商品竹材 600 万 t 左右;另外每年产杂竹 1 180 万 t^[2],部分竹材用于造纸行业,大部分小径竹以及杂竹没有得到有效利用。

收稿日期: 2010-11-02

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2010AA101701)。

作者简介: 于文吉(1962—),男,中国林科院木材工业研究所研究员。

1 我国竹材资源利用及竹材人造板产业现状

与木材相比,竹材具有强度高、韧性好、硬度大、纹理优雅美观等特点,是工程结构和装饰装潢材料的理想原料,但竹子直径小、中空、壁薄等特点,制约了其工业化利用的发展。随着竹材加工工艺的创新,我国不断开发出多种以竹材为原料的高附加值新产品,竹材人造板是发展最快的工业化产品之一。

在短短近二十年的时间里,我国已经成为世界上最大的竹材人造板生产国。2008年,竹材人造板产量已达300万 m^3 ,占全国人造板总产量的3%左右。竹质人造板的开发,不仅使竹材得到大规模的工业利用,提高了竹材的使用价值,而且在一定程度上缓解了我国木材的供需矛盾。

目前,竹材水泥模板和竹胶拼地板是我国产量最大的两类竹材人造板。2008年,我国以木材和竹材为原材料的水泥模板产量为1150万 m^3 ,其中竹材水泥模板的产量达到270万 m^3 ,约占胶合板水泥模板的1/4;竹胶拼地板的产量在2500万 m^2 左右,已成为一种高档的地面装饰材料,质硬耐磨,防滑隔潮,市场需求广阔。

2 我国竹材人造板的开发历程和存在问题

2.1 开发历程

我国竹材人造板的发展主要经历了4个阶段:

第一阶段是20世纪80年代初期,竹材的工业化利用主要以竹编胶合板为主,即将竹材剖篾后,编制成竹席,再涂胶压板,产品广泛应用于包装领域。该项技术的手工劳动强度大,竹材利用率约50%。

第二阶段是80年代末、90年代初期,竹材胶合板的推出。采用软化展平技术,对竹青竹黄表面进行刨削后,涂胶压制成竹材胶合板。该技术可以进行大规模工业化生产,产品的力学性能较好,但是竹材利用率偏低,且只能利用毛竹等大径级竹材,且生产工艺复杂,目前很少企业采用。

第三阶段位于90年代中期,是我国竹材人造板发展最快的阶段,两个代表性产品——竹胶拼地板和竹材水泥模板问世,并得到大规模工业化利用。

竹胶拼地板产品主要以大径级毛竹为原材料,先经过精刨加工成竹片、再制成地板,目前已经成为我国竹材加工业的高端产品之一,年产量超过2000万 m^2 ,但是竹材利用率偏低,仅在20%~30%。

竹胶拼地板的工艺、设备技术成熟,但由于存在市场竞争激烈,产品质量良莠不齐,缺乏行业管理与

规范指导等问题,大部分竹胶拼地板企业处于微利或者亏损状态。

竹材水泥模板产品是以竹帘为芯层、竹席为表层,使得竹材利用率提高到50%~70%,并且工艺简单,缺点是产品的总体质量和附加值较低,达不到高端产品要求。

第四阶段为进入21世纪以来,我国政府和民间企业的创新意识增强,开发出了新型的竹材产品——重组竹。

初期的重组竹产品采用粗加工的毛竹片,经过简单压力疏解后,浸渍酚醛树脂,以冷成型、热固化的方式压制成竹方材。重组竹产品密度控制在1.1~1.3 g/cm^3 ,具有质量重、花纹美观等特点。采用重组竹加工的地板和家具产品一度畅销海内外。

但是,重组竹产品还有一些技术问题待解决,如不能利用竹青竹黄,浸渍胶黏剂不均匀易引起跳丝,密度不均导致板材瓦状变形及开裂,密度大导致产品生产成本高、表面质量难以控制,其质量还不能满足室外用产品的要求等。

2.2 存在问题

我国已经成为世界上最大的竹资源拥有国和竹材人造板生产国,在竹材资源的开发利用方面位居世界领先水平,但是,我国竹材的开发利用仍然存在一些问题急需解决。

1) 竹材的资源利用率仍然偏低。目前我国竹材资源的一次利用率水平大致为20%~50%。如竹地板的竹材利用率仅约20%,竹材水泥模板制造过程中的竹材利用率大约为50%,刨切微薄竹的竹材利用率约为15%,重组竹材的竹材利用率大约在50%~60%。

2) 竹材人造板的劳动生产率仍然偏低。目前竹材人造板的生产,基本上采用20年前的工艺技术,基本组成单元为竹篾、竹片或粗加工竹条,宽度仅2~3cm,并且需要人工或机械编织竹席或者竹帘,因此生产劳动效率低,加工成本高。

3) 以竹条或竹篾为单元的竹产品质量不稳定。由于制造竹材水泥模板、车厢地板以及集装箱底板的主要基本单元为竹条或者竹篾,大多采用劈篾工艺制造,存在加工精度低,厚度和宽度差异较大,表面粗糙不平等问题,导致最终产品的质量难以保证。

4) 竹青、竹黄的胶合问题未得到有效解决。竹青部分含有腊质和硅质层,竹黄表面含有一层光滑的膜,严重影响胶合。因此,为形成良好胶合,必须通过

刨削工艺或者劈篾工艺去除竹青竹黄,严重影响了竹材利用率。80年代科研工作者曾经尝试采用多种方法解决该问题,但始终未获突破。

5) 竹材人造板的科研思路目前仍局限于以竹篾、竹条为基本单元,至今尚无重大突破。90年代初期,曾经有科研单位采用高温软化展平技术生产竹材胶合板,并将该技术推广了数十家企业,但最终由于工艺复杂繁琐、竹材利用率低等问题,在90年代末期停止应用。

3 高性能竹基纤维复合材料的研发历程与性能特点

在充分总结了前述竹材产品发展特点的基础上,中国林科院木材工业研究所在国家重大科技支撑计划的支持下,集成多项关键技术,开发出新一代竹材人造板产品——高性能竹基纤维复合材料的制造技术,在不去竹青竹黄的条件下,将竹材制造成纤维化单板加以利用,既可以利用大径级毛竹,又可以利用小径杂竹,使竹材的利用率提高到90%以上。

3.1 研发历程

中国林科院木材工业研究所早在20世纪80年代,就对我国最主要的经济竹种——毛竹进行了系统的研究,制订了GB/T 15780-1995《竹材物理力学性质试验方法》;1998年承担了国家攀登计划预研项目,对毛竹以及早圆竹的生物复合材料的特性,进行了系统研究;“十五”期间,承担了科技攻关项目“环保型竹材人造板制造技术”和国家高技术研究发展计划(863计划)项目“竹木复合轻质结构材料制造技术”等研究工作,取得了多项重大科研成果,其中包括“竹木复合集装箱地板制造技术”、“无醛竹材集成材料制造技术”、“高频法竹木复合材料制造技术”等,并获得多项国家专利;“十一五”期间,在国家重大科技支撑计划的支持下,分别承担了“农林剩余物绿色建材制造技术”和“小径竹材制造重组竹结构材料制造技术”等国家课题。截止到2009年底,已经发表相关文章50余篇,申请和获得国家专利47项,获得省部级成果10余项,获得国家科技进步一等奖1项。

在系统总结我国竹材人造板工业发展经验与教训的基础上,笔者等发现,我国竹材加工业要获得突破性进展,必须解决两个技术难题:一是竹青竹黄的胶合,避免去除竹青竹黄,导致竹材利用率低和加工效率低的问题;二是竹材单板化利用,克服竹篾和竹条简单粗糙加工,导致部分竹制人造板产品质量不稳定的问题,并且要充分利用小径级竹材。

另外,竹材作为一种天然的生物质复合材料,竹材纤维本身具有很高的强度,但是其维管束在断面上的分布极不均匀,影响了高附加值利用。因此,只有通过竹材进行纤维分离重组,使其在固定的断面面积纤维束分布一致,才能使其力学性能具有可设计性,从而制造出高强度竹基纤维复合材料。

在国家重大科技支撑计划的支持下,中国林科院木材工业研究所经过多年的深入研究,与相关单位联合攻关,成功开发了竹青竹黄处理技术、竹材纤维化单板展平技术以及纤维可控分离技术,使得高性能竹基纤维复合材料的开发成为可能。其中重点完成的基础研究工作包括:

1) 竹纤维可控分离关键设备的研发。经过近3年的设计研究,已经进入到第四代竹纤维疏解设备的研发工作,下一步将重点研究疏解设备效率的提高以及能耗降低等难题;

2) 在原重组竹材制造工艺的基础上,进行了毛竹、淡竹、刚竹、绿竹等多个竹种的重组胶合试验,并建立了重组竹材料检测方法体系以及评价方法;

3) 对采用传统疏解方法的纤维分离度以及胶合性能进行了系统的试验研究,在大量的工艺试验以及样品检测的基础上,提出了重组竹地板和重组竹材国家标准草案,并主持标准的制定,为竹基纤维复合材料的开发以及相关标准的制定,提供依据;

4) 进行了竹基纤维复合材料耐候性评价以及测试方法研究,为继续开发高性能竹基纤维复合材料奠定了基础。

3.2 性能特点

高性能竹基纤维复合材料制造技术,以我国南方地区大量生长的竹材资源为原料,通过竹材纤维可控分离技术、竹材单板化展平技术、竹基纤维复合材料制造单元的优化技术、竹青竹黄胶合技术、竹材增强单元导入技术等多项技术集成,实现竹基纤维复合材料的高性能和可调控,最终制造成高性能多用途竹基纤维复合材料。

该项技术节省了传统的剖篾、去青去黄工序,是我国在竹材加工应用领域的一项重大突破,属于竹材工业化利用的第五代技术,竹材的利用率从目前的20%~50%,可以提高到90%以上。产品的力学性能指标,如抗弯强度可以达到350 MPa以上,抗拉强度达到360 MPa以上,抗压强度达到140 MPa以上,弹性模量达到27 GPa以上,其强度超过玻璃钢纤维

(下转第29页)

定性和优化产品,提供理论依据和数据支持。

2.2.2 底板轻量化

减少箱体自身质量,以增加货运量,是对集装箱制造业提出的特殊要求。充分利用竹子自身密度高($0.7\sim 1.2\text{ g/cm}^3$)、强度高、耐磨性和韧性好的特点,结合木材或其他材料,制备既能满足集装箱底板的强度要求,又具有比传统底板密度低或相当的底板,是今后的重要研究方向。

2.2.3 无公害底板

为了防止集装箱在流动过程中,裸露的底板传播病虫害,故必须对其进行严格的防虫、防腐等处理。底板防腐处理所用防腐剂,必须获得澳大利亚检疫检验局(Australian Quarantine Inspection Service, AQIS)的认证。

而一些防腐剂对人畜健康和生态环境会带来不利的影响,甚至会污染所承载的货物,因此,国际上对集装箱底板用防腐剂提出了愈来愈严格的要求。目前,集装箱底板的防腐处理,主要采用 Tailieum 400 和 Meganium 2000 等木材防腐剂。

与木材相比,竹材含有更多的营养物质,如蛋白质含量 $1.5\%\sim 6.0\%$,可溶性糖类约 2% ,淀粉类 $2.0\%\sim 5.2\%$,比木材更易腐朽、霉变和虫蛀。因此,竹材集装箱底板的防腐处理尤为重要。由于竹材和木材解剖构造,以及竹材底板和木材底板结构上的差

异,木材底板防腐工艺不完全适用于竹材底板。因此,研发竹材底板适用的无公害防腐剂和防腐工艺,是尚待解决的难题之一,也是竹材底板能否获得市场认可的关键。

2.2.4 降低底板制造成本

对于集装箱使用者而言,除了底板性能必须满足使用要求外,成本亦是其最关心的问题。目前,我国研制的竹材底板,90%以上以毛竹为原料,竹材利用率 $40\%\sim 50\%$;重组竹材作为一种新型竹材人造板,工艺简单、强度高、成本低,且竹材利用率高达90%以上。因此,重组竹材集装箱底板,将比其他竹材底板更具市场竞争力。

参考文献:

- [1] 2008年我国集装箱行业发展及钢铁产品需求趋势分析[EB/OL]. [http:// www. chinaccia. com](http://www.chinaccia.com).
- [2] 刘鹏,杨家驹,卢鸿俊. 东南亚热带木材[M]. 北京:中国林业出版社,2008.
- [3] 余良. 集装箱地板[J]. 集装箱化,2009,20(4):34.
- [4] 言智钢. 集装箱底板用胶合板刍议[J]. 中国人造板,2009,16(7):19-22.
- [5] 白化奎. 国产木材集装箱底板用胶合板生产工艺技术[J]. 林业机械与木工设备,2008,36(2):47-48.
- [6] 何文. 竹木复合集装箱底板结构与胶合工艺研究[D]. 南京:南京林业大学,2005.

(责任编辑 张一萍、姜征)

(上接第8页)

维复合材料,可以应用于风电叶片材料的制造。

高性能竹基纤维复合材料具有广谱可设计性,既可以用于制造高强度风电叶片材料、船舶甲板、集装箱底板以及建筑撑木等工程材料,又可以用作室内装饰装潢材料、高耐候性室外材料,具有广阔的应用前景。

4 结语

高性能竹基纤维复合材料的制造技术,解决了制约我国竹产业多年发展的瓶颈问题,即竹青竹黄的胶合问题以及竹材人造板基本组成单元的单板化问题,并将竹材一次利用率提高至90%以上,生产过程耗能低,二氧化碳排放少,符合我国目前低碳经济发展的需要。

竹基纤维复合材料的力学性能优良,完全可以代替木材制造各种工程材料和建筑装饰装潢材料,可以缓解我国木材资源供应不足的矛盾,扩展我国竹基纤维复合材料的应用领域,使得我国在高性能竹基纤维复合材料方面居于世界领先水平。高性能竹基纤维复合材料制造技术的应用,将进一步推动我国竹材加工产业的科技进步和创新能力,为我国竹产业的发展起到极大的促进和推动作用。

参考文献:

- [1] 吴平. 精心做好产业这篇大文章[N]. 中国经济时报,2010-09-27.
- [1] 李琴,汪奎宏,华锡奇,等. 小径杂竹制造重组竹的试验研究[J]. 竹子研究汇刊,2002,21(3):33-36.

(责任编辑 向琴)