

弯曲竹材集成材的初探

刘志坤, 周国维

(浙江林学院工程学院, 临安 311300, 浙江)

摘要: 利用竹材在湿热条件下优良的软化弯曲性能和定型特性, 试验探索了适宜竹材的弯曲胶合工艺。结果表明, 弯曲竹材集成材工艺易于实现, 可增加竹制品的花色品种和提高产品附加值, 扩展竹材资源利用途径。

关键词: 毛竹; 竹材加工; 弯曲竹材集成材

中图分类号: S795 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2003)03-0013-03

Preliminary Study on Curved Glue-laminated Bamboo

LIU Zhi-kun, ZHOU Guo-wei

(Faculty of Engineering, Zhejiang Forestry College, Linan 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Bamboo (*Phyllostachys pubescens*) shows excellent softening, bending and styling properties when placed under high moisture and heat conditions. Curved glue-laminated bamboo was made for this study based on the curving and gluing technology. Results showed that this product has high strength and rigidity. Developing curved glue-laminated bamboo is one of the effective ways to make full use of bamboo as a resource and increases both the variety and the added value of bamboo products.

Key words: Moso Bamboo; Bamboo processing; Curved glue-laminated bamboo

竹材纹理通直、色泽淡雅、材质坚韧, 具有硬阔叶树材的诸多优良特性, 是家具、地板及各种构件的理想材料^[1]。近年来竹材加工业蓬勃发展, 市场不断扩大, 仅浙江省竹地板企业就多达 59 家。但总体而言, 竹材加工产品品种仍较单一。本文旨在对现有竹地板生产工艺及设备进行适当改造, 利用竹材加热后易软化、弯曲的特性生产弯曲竹材集成材, 制造各种竹质弯曲构件及相关产品, 拓宽竹材应用领域, 为高效利用竹材和增加产品附加值开辟新途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

竹材 选择 6~8 年生的毛竹 (*Phyllostachys pubescens*), 取竹杆壁较厚的竹段, 参照竹地板生产中竹条的加工工序, 经纵锯、四面粗刨制成一定规格的矩形断面竹条, 竹条尺寸规格(长×宽×厚): 520 mm

×18 mm×6 mm。

胶粘剂 采用改性低醛脲胶, 实验室自制。

1.2 试验方案

根据竹材径向易弯曲、弦向弯曲刚性大且易扭曲的物理力学特性^[2], 本试验采用先用模具使成捆的竹条径向弯曲, 再将弯曲的竹条经拼宽胶合成竹条板后以层积胶合的方式制造竹材集成材。竹材集成材生产工艺流程:

竹杆截断→纵锯→竹条→粗刨→加热软化(兼具防虫、防霉处理)→捆扎→放入模具→弯曲→干燥定型→竹条涂胶→拼宽胶合→单层竹条板→竹条板刨削、定厚砂光→竹条板涂胶→组坯→层积胶合→弯曲竹材集成材

1.3 试验模具设计

为使竹条弯曲时受拉、压的应力与变形在其许可范围内, 模具的曲率半径应大于竹材许可的弯曲半径值。模具的基本曲线形状根据已有资料和单根竹条弯曲时的试验数据确定。

(1) 模具形状确定与分析 考虑到竹条在径向弯

收稿日期: 2003-03-10

作者简介: 刘志坤(1955—), 男, 浙江林学院工程学院副教授。

曲后还需完全吻合地拼宽及层积,受竹条弯曲极限的限制,将模具曲线设计成余弦曲线。设曲线方程为 $y = A\cos\omega x$ (A 为曲线振幅)。根据试验设计,层积拼宽的宽度为 100 mm,则两曲线方程分别为 $y_1 = A\cos\omega x_1$ 和 $y_2 = 100 + A\cos\omega x_2$,如图 1 ($A=30$) 所示。

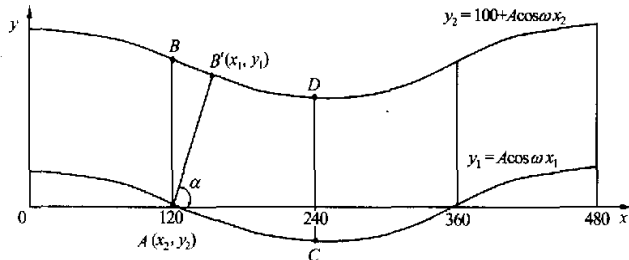


图 1 模具曲线形状

Fig. 1 Curved-shape mold

由图 1 可知,两曲线在 y 轴方向对应点如 AB 、 CD 的距离为 100 mm,但两切线间距离 AB' 小于 AB 。在竹条由平直状态逐渐受力而弯曲的过程中,因各区域开始受力压缩的时间不同,因此,竹条各处的压缩量亦不同。当模具逐渐闭合时,若竹条只有单向弯曲,则各层竹片间可相互滑移,不受牵制,各层应力分布相同;实际上竹条在长度方向上连续多次反向弯曲(余弦曲线),则各层竹片在滑移过程中受到相互牵制,先压缩的区域阻碍竹条滑移,使尚未压缩的区域产生缝隙,因此连续反向弯曲时要采用分段加压方式,避免竹条产生缝隙,以保证弯曲胶合质量。根据上述分析及多次反向弯曲的设计要求,求出了两曲线间的最短距离,以了解和掌握逐步加压过程中各点的绝对压缩量及其差异程度。数学分析可知, AB' 为 y_1 和 y_2 两曲线间的最短距离,即竹条层积弯曲时 AB' 断面绝对压缩量最大, CD 断面绝对压缩量最小。

根据模具设计,曲线周期定为 480 mm,则 $\omega = \pi/240$,两曲线方程为:

$$y_1 = A\cos\left(\frac{\pi}{240}x_1\right) \quad (1)$$

$$y_2 = 100 + A\cos\left(\frac{\pi}{240}x_2\right) \quad (2)$$

由(1)式得: $y'_1 = -\frac{A\pi}{240}\sin\left(\frac{\pi}{240}x_1\right)$

则 AB' 斜率为:

$$\tan\alpha = -\frac{1}{y'_1} = \frac{240}{A\pi\sin\left(\frac{\pi}{240}x_1\right)} \quad (3)$$

因为 $\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \tan\alpha$ (4)

$$d^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad (5)$$

将式(3)、(4)代入式(5)得:

$$d^2 = (x_2 - x_1)^2 \left[1 + \frac{240^2}{A^2\pi^2\sin^2\left(\frac{\pi}{240}x_1\right)} \right] \quad (6)$$

由式(3)、(4)得:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{240}{A\pi\sin\left(\frac{\pi}{240}x_1\right)} \quad (7)$$

把 A 点坐标(120,0)代入式(7)中有:

$$\frac{y_2 - 0}{x_2 - 120} = \frac{240}{A\pi}$$

$$\text{所以 } y_2 - 0 = \frac{240}{A\pi}(x_2 - 120)$$

$$\text{又因为 } y_2 = 100 + A\cos\left(\frac{\pi}{240}x_2\right)$$

从而得

$$\frac{240}{A\pi}(x_2 - 120) = 100 + A\cos\left(\frac{\pi}{240}x_2\right) \quad (8)$$

根据单片竹条试验,曲线振幅 A 取值范围为 0~40 mm。当 A 值变大,竹条弯曲半径渐小,竹片受拉、压应力愈大。为使竹条拉、压应力在许可范围内,分别试取 A 为 20, 25, 30, 35, 40 mm 代入式(8)中求出 x_2 , 计算出两曲线间最大、最小的压缩量,见表 1。

表 1 不同振幅 A 时两曲线间竹条的最大、最小压缩值
Tab. 1 Max. and min. compressing value of bamboo strips under different amplitudes (A)

振幅 A/mm	曲线方程	$CD_{\min}$ 压缩 量/mm	AB' 距离 /mm	$AB'_{\max}$ 压缩 率/%
20	$y = 20\cos(\pi x/240)$	0	96.85	3.15
		8	89.08	10.92
25	$y = 25\cos(\pi x/240)$	0	95.27	4.73
		8	87.62	12.38
30	$y = 30\cos(\pi x/240)$	0	93.48	6.52
		8	85.95	14.05
35	$y = 35\cos(\pi x/240)$	0	91.57	8.43
		8	84.14	15.86
40	$y = 40\cos(\pi x/240)$	0	89.53	10.47
		8	82.23	17.77

根据单根竹条弯曲试验结果,软化后压缩量一般不超过 15%,否则竹条易压溃,同时考虑到弯曲竹材集成材要符合设计要求,既要呈现一定的弯曲度,又要满足竹条弯曲在许可范围内,压缩量应控制在 8%~15% 范围内,由表 1 结果,取振幅 $A=30$ mm。

由 $y = 30\cos\frac{\pi}{240}x$ 可得曲率 K 为:

$$K = \frac{|y''|}{(1+y'^2)^{3/2}} = \frac{-\frac{\pi^2}{240 \times 8} \cos\frac{\pi}{240}x}{\left[1 + \left(-\frac{\pi}{8} \sin\frac{\pi}{240}x\right)^2\right]^{3/2}}$$

由图 1 可见,当 $x=0$ 或 $x=240$ 时,曲率 K 最

大,为 0.0054,最小曲率半径 $R=1/K=185.2$ 。

(2) 模具制造 根据曲线分析结果和试验室现有设备条件,采用对开式模具结构(硬模),先整体焊接,然后线切割分离成阳模和阴模,使阳、阴模吻合面能紧密配合。

2 试验方法与步骤

2.1 竹条的制备

竹条制造按竹地板加工工序进行,先定宽纵锯,再四面粗刨,使竹条规格基本一致,上、下弦向面不留青黄、厚度一致。本试验中新鲜竹条的平均厚度为 7.1 mm,平均宽度为 21 mm,粗刨后加工面平均波纹长度(刀痕)为 5.6 mm,波纹高度小于 0.2 mm。

2.2 竹条的软化

竹材组织致密,材质坚韧,其抗拉强度和弯曲强度很高^[3],对竹条进行软化处理使竹条易于弯曲定型。通过对高温(160℃)快速加热,化学试剂润胀和叠捆微波加热等几种软化方法分别进行尝试,均能使竹条有效地软化,易于实现弯曲成型。本试验选用高温快速加热法。

由于竹材中含有较丰富的抽提物,影响竹材的耐久性和易导致霉变,因此,必须对竹材进行防腐处理。根据软化方法的不同,可在软化前或软化的同时去除抽提物,提高竹材的耐久性和防腐变性。

2.3 竹条的弯曲成型

将软化后的竹条弦面层叠,再用细铁丝捆扎成捆。由于同一竹条的梢部比基部的力学强度大,竹壁外侧(竹青)比内侧(竹黄)的力学强度大^[4],因此,层叠时应将基部竹条置于中间,梢部竹条置于两侧。

竹条捆在高湿热状态下放入模具中,均匀缓慢加压到竹条捆与模具紧密贴合后与模具一起夹紧固定,然后连同模具放入干燥箱内高温(130~150℃)干燥。在干燥过程中随竹条干缩量的增加及时紧固模具,保持紧密贴合状态,以使竹条弯曲定型良好。模具的精度对弯曲成型质量的影响亦很大,加压时应保证各叠竹条厚度一致,受力均匀平衡,避免整叠竹条捆扭曲或倾斜。竹条弯曲成型所需的压力通过控制竹条捆压缩量的办法来确定,在保证竹条捆不压溃、干燥后竹条捆压缩量在 12%~15%的前提下,确定压力范围为 2.2~3.5 MPa。

2.4 弯曲竹条的定型

由于弯曲的竹条存在弹性应力,需在保持压力的条件下进行干燥定型。将紧固的模具一起放入干燥箱内干燥,在达到预定干燥程度(含水率小于 10%)之

前保持压紧状态。干燥完毕,将竹条捆连同模具取出,待竹条捆完全冷却后松开模具。此外,也可采用急剧冷却方式定型,但后续干燥易产生一定量的回弹,定型后的形状不十分准确,可用于对弯曲形状要求不高的场合。定型后取出弯曲的竹条捆,按层叠的顺序编号,以便层积胶合时按原序组坯。

2.5 竹条板的组坯胶合

竹材胶合常用胶粘剂有酚醛树脂胶和脲醛树脂胶。本试验用改性低醛脲胶的性能指标如下:

外观:深黄色;固体含量:49%~50%;粘度:21~23 s(涂-4 杯);游离甲醛含量<0.25%;贮存期>15 d(20℃)

采用手工双面涂胶方式,根据胶粘剂粘度及工艺要求,经反复试验,确定竹条的单面施胶量为 150 g/m² 左右。将涂胶后的竹条按弯曲时的层叠顺序组坯,再放入模具中加压,压力约为 2.0 MPa,到位后紧固。然后置于 102~110℃ 烘箱中使胶粘剂固化,时间为 1.2 min/mm。对胶合完毕的弯曲竹条板进行刨削和定厚砂光加工,备用。

2.6 层积胶合

以弯曲竹条板作为弯曲竹材集成材的构成单元,通过对竹条板的胶合面涂胶、组坯,采用集成材专用胶以冷压胶合的方式制成一定规格尺寸的弯曲竹材集成材,如图 2 所示。

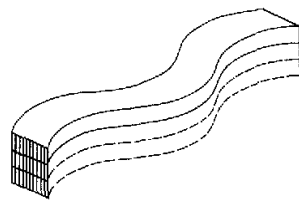


图 2 弯曲竹条板及弯曲竹材集成材的结构示意图

Fig. 2 Structure of curved glue-laminated bamboo

3 结果讨论

3.1 竹条经蒸煮软化,趁热置于模具内加压弯曲,可使竹条弯曲成预定的曲线形状。当竹片厚度为 6~8 mm,弯曲半径大于 275 mm 时,不论是单向弯曲还是连续多次反向弯曲均可顺利实现。

3.2 弯曲竹材集成材生产工艺中的关键是径向弯曲竹条板的定型工艺,而模具设计是核心。在弯曲过程中,应缓慢均匀加压,使竹条受力均匀。实际操作时需侧向准确定位才能保证被弯曲的竹条捆不产生扭曲歪斜。模具的曲线形状、曲率大小及结构直接影响竹

(下转第 25 页)

(5) 最后由“木材”基类的规则槽完成推理过程。

知识库和知识推理过程是专家系统的主体,在完整的专家系统中,还应包括以下内容,限于篇幅,这里只作简述。

2.3 知识获取

知识获取过程可以看作是木材专业知识从知识源到知识库的转移过程。知识源主要是木材专家个人,也可以是书本或者其他资料。转移过程包括在知识库创建时识别出木材使用知识并将其形式化。因建成的知识库经常会发现错误或不完整,所以知识获取过程还应包括对知识库的修改和扩充。

2.4 综合数据库

综合数据库又称全局数据库或总数据库,用于存储木材使用领域或选用问题的初始数据和推理过程中得到的中间数据,即被处理对象的一些当前事实。

2.5 数据库

系统中知识库和规则库都是以数据库的形式在计算机内实现的,包括(1)用材树种名称数据库;(2)木材材性数据库(包含 13 个特性及各个子特性);(3)木材其它特性数据库;(4)产品要求数据库;(5)规则数据库。系统选用关系数据库,利用功能强大的 DBMS(即数据库管理系统)可方便地对这些数据库进行管理。

2.6 人机接口

人机接口能够使用户与系统进行对话:用户输入

必要的数 据、提出问题 和了解推理过程及推理结果等;系统则通过人机接口要求用户提问,并回答问题及进行必要的解释。

2.7 解释机构和学习部分

解释机构用来向用户解释专家系统的行为,包括解释推理结论的正确性和系统输出其他候选解的原因。学习部分也是一组程序,为修改、扩充知识库中的知识提供手段。用户可根据自己的需要来完成对知识库的更新工作。

3 小结

建立木材选用咨询专家系统是提 高木材合理高效利用的很好途径。本文从规划与设计角度阐述了专家系统的设计指导思想、系统结构、知识获取机推理机制、人机接口等概念机原理,希望能对推广普及专家系统在木材工业中的应用有所帮助。

参考文献:

- [1] 蔡自兴,徐光祐. 人工智能及其应用(第二版)[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [2] 王道平,冯振声,董玉友. 基于面向对象的专家系统设计方法研究[J]. 河北经贸大学,1999,49(2):19-23.
- [3] 江泽慧,彭镇华. 世界主要树种木材科学特性[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [4] 李凤崧. 家具设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [5] 汪秉全. 陕西木材[M]. 西安:陕西人民出版社,1979.

4 结语

以竹材为原料,在现有竹地板坯料加工的基础上,延伸加工制造弯曲竹材集成材的工艺是可行的,有关弯曲竹材集成材的物理力学性能将另文介绍。弯曲竹材集成材具有用料省、生产工艺较简单、有望提高产品附加值的特点,可应用于家具和室内装饰及建筑拱架结构等,具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 张齐生. 当前发展我国竹材工业的几点思考[J]. 竹子研究汇刊,2000(7):18-19.
- [2] 韩健,郭泽球. 竹胶合板生产工艺[M]. 北京:中国林业出版社,1999.
- [3] 唐永裕. 竹材人造板的开发与应用[J]. 北京木材工业,1993(4):1-4.
- [4] 徐永吉. 木材学[M]. 南京林业大学木材学教研室,2000.
- [5] 郝金城. 集成材制造技术[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2001.

(上接第 15 页)

材弯曲的难易程度和竹条的压缩程度,曲率越大,弯曲定型的难度也越大,整根竹条长度范围内的压缩差异也越大。模具设计与制造要有相应的精度和刚度,考虑到弯曲竹材集成材的弹性恢复^[5],在模具设计制造时可预先将曲率半径适量减小,待竹条弹性恢复后即达到设计要求的曲率半径。

3.3 弯曲后可进行干燥定型或急剧冷却定型。干燥定型所需时间较长,随着干缩量的增大,加压装置需跟踪紧固才能使定型准确;急剧冷却定型在后续干燥过程中会产生一定量的回弹,较难准确达到设计曲率半径。

3.4 将已干燥定型的弯曲竹条作为构成单元,通过胶合拼宽制成单层竹条板,再经单层刨削(或砂光),冷压胶合制成竹质弯曲构件。改变弯曲竹条的弯曲度或形状,还可制成各种形状的弯曲构件或特殊结构件。