

文章编号: 1000-5692(2004)02-0125-05

梳解前后小径杉木细胞的微观形态及力学性能

李延军¹, 张 宏¹, 张璧光², 徐美荣¹

(1. 浙江林学院 工程学院, 浙江 临安 311300; 2. 北京林业大学 材料科学与技术学院, 北京 100083)

摘要: 研究了饱和水状态下小径杉木 *Cunninghamia lanceolata* 在不同条件静压或梳解前后木材横截面上细胞的微观形态与木束条顺纹抗拉强度, 并进行了对比试验, 得出小径杉木较佳的静压梳解力学性能参数。结果表明: 经静压实验得出不同径级的杉木在饱水状态下较佳的压缩率在 50% 左右; 不同定压力或定压缩率 2 种静压试验后所得的木材细胞微观形态基本相同, 横截面的开裂和破坏情况也基本相同。采用不同径向压力静压后的杉木管胞破坏程度不同, 当压缩率大于 30%, 杉木部分管胞开始皱折, 并随着压力的增大而增加; 当压缩率超过 50% 后, 随着压力增大, 大部分管胞发生皱折, 甚至压溃, 但超过了该值管胞破坏程度减慢, 并且在横切面上仍然能够看到管孔存在。在同一压缩率下, 径级小的杉木所需的单位压力较大。拉伸试验可知经静压梳解后的木束条顺纹抗拉强度随静压压力加大而降低。图 3 表 1 参 8

关键词: 木材学; 小径杉木; 梳解; 微观形态; 力学性能; 积成材

中图分类号: S781 **文献标识码:** A

杉木积成材是将杉木 *Cunninghamia lanceolata* 经特殊的梳解工艺加工成纵向不断, 横向均匀分散而又基本保持木材原有结构的基本特性的条(片)状分散体, 再经干燥、施胶、铺装和热压等工艺制成的板材, 以此代替现有的细木工板芯板。在杉木积成材制造过程中, 小径杉木辊压梳解工艺是制成杉木积成材的关键工序之一。我们所要求的制造积成材的木束必须是具有单元体的绝对强度和刚度。辊压梳解后的木束微观组织形态保持原有的状态, 才能使单元体的相对力学性质及材料属性与加工前基本一致^[1]。我国的杉木积成材加工尚处于实验室试验阶段, 实验中的积成材坯料——木束是通过压机与自制的梳解机上加工形成的。由于压头和杉木积成材所用的小径杉木是线接触, 在理论上可以抽象成集中垂纹压力作用^[2,3]。本文是将小径杉木在不同定压力或定压缩率下, 经静压试验和梳解试验加工成条状木束, 观察细胞的横切面微观结构变化, 并进行不同条件下的木束拉伸试验, 为坯料辊压机设计和制造出高性能的杉木积成材提供重要的工艺参数。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验材料采自浙江省临安市板桥林场, 为杉木 5~8 年生人工林间伐材, 含水率在 60%~80%,

收稿日期: 2003-10-09; 修回日期: 2004-03-22

基金项目: 浙江省科学技术厅资助项目(011102164)

作者简介: 李延军(1970—), 男, 浙江开化人, 讲师, 从事木材改性与干燥技术研究。E-mail: lalyj@126.com

平均气干密度为 $0.30 \sim 0.35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。直径为 $50 \sim 110 \text{ mm}$ 。所取杉木尽量节少,无虫蛀,无腐朽。

速生小径杉木幼龄材比例很大,其细胞大多为薄壁细胞,厚壁细胞所占比例很少,纤维含量低,平均壁厚约为 $3 \mu\text{m}$,因此材料的机械强度如抗拉、抗压和弯曲强度差,易于裂解,便于进行梳解加工^[4,5]。另外小径杉木的化学性质较稳定,冷水、热水及 NaOH 抽提物含量与马尾松 *Pinus massoniana* 基本相同,比同龄阔叶材低。木材呈弱酸性,与普遍使用的 UF 胶具有很好的相容性^[6]。将原材料进行等长度锯解,得到 400 mm 左右长的杉木条。每次试验取杉木条 20 根。虽然原料的形状有些差别,但假设原材料是理想原木,截面是圆形^[2]。

1.2 试验仪器设备

101-1 型电动鼓风干燥器, QD 型普通压机, 自制梳解机, KYKY-1000D 型电子显微镜, MD-50 型微机控制电子式木材万能试验机, 3K 型电子天平, 台秤等。

1.3 试验方法

静压试验是将制得的 400 mm 长的不同径级杉木试件根据试验次数分别横放在试验压机上,进行径向加压试验。试验过程中通过调整压力或压缩率的大小分别观察小径杉木端部横截面开裂变形情况,测出不同定压力下杉木压缩值和不同定压缩率下杉木所受压力值,再取边材部分按照电镜样本要求制备试样用电子显微镜对其横切面进行观察和拍照,通过电子显微镜观察其细胞破坏情况,得到小径杉木最佳静压压力范围。然后将静压所得的杉木条经自制的梳解机对材料进行梳解试验,再通过电子显微镜观察其细胞破坏情况,并比较两者之间的细胞差异。另外将静压和梳解前后的杉木条自制成长为 12 cm ,横截面约为长方形的试件进行拉伸强度测试。为了确保试件是拉伸破坏,因而制作试件时,试件的中部 5 cm 这一段横截面要比两端横截面稍小,以便于拉伸试验中拉断部位在试件中间,采用局部削弱,拉伸试验后横截面易于计算的方法,可以减少实验误差^[7]。

2 试验结果与分析

2.1 静压试验结果与分析

2.1.1 不同定压力下静压试验结果与分析 由于杉木原料在静压时,接触长度远远大于接触宽度,所以原料可以假设成平面应变形态下分析的方式。将备好的含水率 60% 左右的不同径级小径杉木放置在压机上依次进行径向加压试验,在不同的定压力下静压试验结果,如表 1。

表 1 小径杉木压力与压缩率的关系

Table 1 Relationship between pressure and compression set of small Chinese fir wood

表压力/MPa	单位压力/MPa	压缩率/%			
		直径 50 mm	直径 70 mm	直径 90 mm	直径 110 mm
1.0	1.0~2.5	34	35	38	41
2.0	1.6~4.0	38	39	44	47
3.0	2.3~5.2	57	60	63	69
4.0	2.8~6.7	62	64	66	72
5.0	3.5~7.8	64	67	69	74

说明:压机油缸直径为 23 mm ,试件长度为 400 mm

从表 1 可以看出,荷载与变形的最初变化近乎一直线,并且有一明确的比例极限,超过这一点,荷载增加,变形也增加,但速率减小。不同径级的杉木经静压后最大的共同点是表压力从 2.0 MPa 增加到 3.0 MPa 时压缩率变化值最大,压板间距变化量也最明显,此时杉木横截面上的开裂情况最为明显。当表压力大于 3.0 MPa 后杉木木材压缩率的变化开始减小,并缓慢上升,这种情况符合杉木在横纹抗压过程中的应力变形曲线^[7]。而对不同径级的杉木来说,同等条件下径级越小压缩率也相对越小。另外实验表明:同一表压力下,杉木径级越小则单位压力越大。原因是径级越小,在同一表压力下单位面积越小。

2.1.2 不同定压缩率下静压试验结果分析 将含水率 60% 左右的不同径级杉木放在压机上依次进行

不同定压缩率的静压试验，测其各阶段瞬时压力值。由于各条件下的瞬时压力是通过目测得到，存在较大的实验误差，本次实验在于验证作用。速生杉木经压缩会产生变形，不同压缩率下压力的变化情况图 1。

从图 1 可得当速生杉木在 50 %压缩率下，各种径级速生杉木的横纹抗压强度在 3.0 MPa 以下，木材细胞受破坏不大；而压缩率超过 50 %后木材细胞受破坏程度急剧增加，这对木材辊压不利。在压缩率相同的情况下，径级小的杉木所需压力小于径级大的所需压力，在压缩率不断增加的基础上压力也随之不断上升。上升过程中各个径级的杉木上升趋势基本一致。通过实验，控制的压力基本符合杉木的横纹抗压强度极限范围^[7]。

2.2 梳解试验及结果分析

2.2.1 梳解试验 根据梳解原理和制造新的构成单元的要求，自行设计制造了辊压梳解试验机（简称梳解装置），梳解装置与原理见参考文献 [1]。将试验压制后的杉木去皮去芯材后，用刀劈成杉木块放在自制的梳解机里进行梳解。杉木梳解原理：在小径材离解过程中，根据被离解材料的强度、刚度及形变能力等状态，采用碾、搓、梳并用的工艺，木束在纵向上最大限度地保持原有木材的组织结构，木纤维很少被损伤，横向上完全分离，木束条（片）长度任意控制。

2.2.2 微观试验结果分析 将以上过程中一部分杉木进行微观测试与观察。通过电子显微镜放大 276 倍或 150 倍后观察不同压力下经静压试验和经静压梳解试验后的杉木木束条横截面上的微观结构（图 2，图 3）。

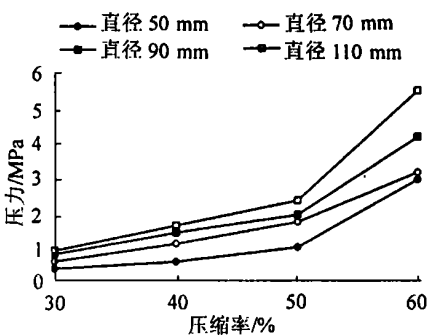


图 1 小径杉木压缩率与压力的关系
Figure 1 The relationship between pressure and compression set of small Chinese fir wood

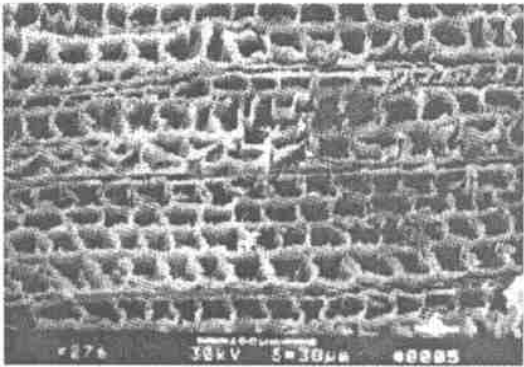


图 2 加压 2.0 MPa 静压试验所观察到的细胞微观形态

Figure 2 The micro conformation of cell under 2.0 MPa

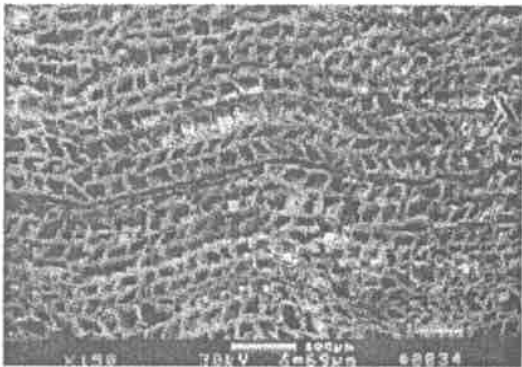


图 3 加压 2.0 MPa 静压试验 再经过梳解试验所观察到的细胞微观状态

Figure 3 The micro conformation of cell by coming test under 2.0 MPa

经相同径向压力的静压试验后的杉木木束条两者之间的细胞破坏程度情况如下：未受压力的杉木在微观试验下横截面上管胞排列整齐，具有规律性，细胞壁完整。受到表压力 1.0 MPa 后横截面上一部分管胞发生了皱折，另一部分管胞也相应被挤压，但形态变化不大，细胞排列稍有弯曲，但细胞壁完整，此时压缩率为 30 %。受到表压力 2.0 MPa 后横截面上多数管胞被破坏，其管胞排列变形随静压压力增大而增大；当表压力超过 2.0 MPa 时，管胞开始破裂、变形，甚至压溃，管胞排列错开，此时压缩率为 40 %~50 %（图 2）。由于表压力 2.0~3.0 MPa 是过渡期，横截面上管胞破坏情况逐步加大，达到了杉木木材的横纹抗压比例极限，细胞大部分变形，超过这一点，荷载增加，变形也增加，但速率减小^[7,8]。因此在设计辊压机时为了便于梳解而又保证木束质量，表压力应控制在 2.5 MPa 左右。

与图2静压压力相同情况下的杉木再经过梳解试验所观察到的细胞破坏情况见图3。比较两者可知梳解试验对杉木微观上影响较小,经静压梳解两步试验的杉木管胞皱折和辘曲有所增加,细胞排列不整齐,但管胞仍存在少量孔隙。杉木木束只在纵向最大限度地保持原有木材的组织结构,木纤维很少被损伤,横向上完全分离,但微观上保持了木材原有的组织结构。

2.3 拉伸试验结果分析

将不同试验条件下得到的不同形态的木束,自制成拉伸试件,并在微机控制电子式木材万能试验机上进行拉伸试验,测出木材抗拉强度。当含水率为60%左右时,未经静压梳解的杉木条顺纹抗拉强度37.94 MPa,在表压力2.0 MPa下经静压和梳解试验后的杉木木束条顺纹抗拉强度26.46 MPa,在表压力3.0 MPa下经静压和梳解试验后的杉木木束条顺纹抗拉强度21.92 MPa,在表压力4.0 MPa下经静压和梳解试验后的杉木木束条顺纹抗拉强度19.02 MPa,在表压力5.0 MPa下经静压和梳解试验后的杉木木束条顺纹抗拉强度15.77 MPa。

从以上的数据可以得出在含水率60%左右即饱和水状态下,经静压梳解的木束横纹抗压强度比未经静压梳解的杉木条顺纹抗拉强度要小,而且随着压力的加大逐渐减少。在不同的压力下比较杉木条经静压后的顺纹抗拉强度,得出静压压力越大其顺纹抗拉强度越小。

3 结论

①由静压试验可知,当含水率为60%左右的小径杉木进行辊压时应保持的表压力为2.0~3.0 MPa。这样经梳解加工后,木束条能保持原有的相对强度和刚度,粗细均匀,几何形态较规整,且具规律性,能满足人造板构成单元的要求。②控制辊压小径杉木力学强度大小可用控制压缩率的方法解决,一般将压缩率控制在50%范围内。在同一压缩率下,径级小的杉木所需的单位压力较大。③从电子显微镜中可以看出,径向静压后的杉木木束管胞大部分发生皱折,压溃破坏的临界压缩率控制在50%,表压力为2.5 MPa左右,而经过梳解后其临界点压力将会减小。说明梳解工艺对杉木木束微观组织结构上造成的影响较小。木材梳解加工应始终按照被梳解材的尺寸大小和物理力学状况动态进行,最大限度保持相对强度、刚度等物理力学性能不发生大的变化。④拉伸试验表明静压杉木的压力越大,杉木顺纹抗拉强度越小。

参考文献:

- [1] 刘志坤,杜春贵,李延军,等.小径杉木梳解加工工艺研究[J].林产工业,2003,30(3):10-13.
- [2] 马岩,金维洙,孟庆军,等.静压作用下重组木坯料形成的力学机理和试验验证[J].林业科学,1996,32(2):171-174.
- [3] 马岩,金维洙.均布载荷碾压重组木坯料的强度准则建立初探[J].东北林业大学学报,1993,21(6):56-60.
- [4] 杨云芳,马灵飞,俞友明,等.浙江速生杉木物理力学性质的研究[J].浙江林学院学报,1996,13(4):371-377.
- [5] 钱俊,俞友明,金永明,等.速生杉木整形工艺研究[J].浙江林学院学报,2002,19(1):9-12.
- [6] 熊文愈.杉木[M].北京:中国林业出版社,1997.
- [7] 成俊卿.木材学[M].北京:中国林业出版社,1985.
- [8] 刘君良.木材横纹压缩变形固化机理及压缩整形木的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,1999.

Mechanical properties and micro conformation of small Chinese fir cell before and after combing

LI Yan-jun¹, ZHANG Hong¹, ZHANG Bi-guang², XU Mei-rong¹

(1. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an, 311300, Zhejiang, China; 2. School of Material Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: A comparative study of the micro conformation and tensile strength of wood parallel to grain of small

Chinese fir cell in the water saturation condition under different static pressures or before and after combing test was conducted. The best mechanical properties parameters of small Chinese fir under static pressure or by combing were gained in the study. The results showed that the best compression set of small Chinese fir was about 50 %. A few tracheids of small Chinese fir began to break when the compression set of small Chinese fir was greater than 30 %. The condition will turn serious with the increase in static pressure. Most of tracheids of small Chinese fir began to break when the compression set was greater than 50 %. However, the destruction rate slowed down and a few tracheid holes could be seen on the cross section of cell. The tensile test showed that tensile strength of wood along grain would be decrease with the increasing static pressure. [Ch, 3 fig. 1 tab. 8 ref.]

Key words: wood science; small Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*); combing; micro conformation; mechanical properties; orient laminated strand lumber

《浙江林学院学报》第 4 次被确定为全国中文核心期刊

近日，学报编辑部正式接到《中文核心期刊要目总览》2004 年版编委会通知，《浙江林学院学报》再次被确定为全国中文“林业类”核心期刊，并首次被确定为全国中文“综合性农业科学类”核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》是我国有一定权威的参考工具书，在图书情报界、学术界、出版界和科研管理部门影响较大，于 1992 年、1996 年、2000 年出版过三版，《浙江林学院学报》均被确定为全国中文“林业类”核心期刊。

本版核心期刊的评选，采用了被索量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、获国家奖或被国内外重要检索机构收录等 7 个评价指标，参加评审的学科专家达 1 873 位。经过定量筛选和专家定性评审，从我国正式出版的近 1.2 万种中文期刊中评选出 1 800 种核心期刊，分属 75 个学科类目。《浙江林学院学报》名列其中，进入 2 个学科类目。