

压缩率对杉木浸注的影响

柴东¹, 赵有科^{1,2}, 郭娟¹, 周永东^{1,2}, 黄荣凤^{1,2}

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 中国林科院林业新技术研究所, 北京 100091)

摘要: 在5%~40%压缩率范围内的8种条件下, 进行杉木压缩处理, 分析处理材的渗透性与浸注性能。结果表明: 1) 压缩杉木的浸注量随着压缩率增大而增大, 压力释放即时完成70%以上的浸注量, 此后达到最大浸注量的时间, 随着压缩率的增大而增加; 2) 压缩处理能有效改善杉木的渗透性, 但压缩率对渗透性影响不显著; 3) 压缩处理杉木浸注性能的改善, 是渗透性提高和可浸注空间增大的共同作用。在工业化生产中, 可以通过压缩率来控制浸注量。

关键词: 杉木; 压缩; 渗透性; 浸注

中图分类号: S781.7; S791.27; TS65

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654 (2018) 06-0005-04

Compression Effect on Chinese Fir Impregnation

CHAI Dong¹, ZHAO You-ke^{1,2}, GUO Juan¹, ZHOU Yong-dong^{1,2}, HUANG Rong-feng^{1,2}

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry (CAF), Beijing 100091, China;

2. Research Institute of Forestry New Technology, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: Chinese fir samples were compressed with different compression ratios from 5% to 40%. Impregnation levels and permeability of the wood samples were tested to evaluate effects of the compression ratio on impregnation of the wood samples.

The results showed: 1) The impregnation amount of the wood samples increased as the compression ratio increased. It was also observed that the impregnation amount accounted for about 70% of the total impregnation amount when the compression was fully released. 2) Permeability of the wood samples was improved significantly by compression with little effects on the compression ratio. 3) Improvement of the impregnation resulted from increases of both permeability and wood space after compression. It was proposed that impregnation amount could be controlled with compression ratio in an industrial production.

Key words: Chinese fir; compression; permeability; impregnation

杉木的生长周期短、生长速度快, 在我国南方广泛种植, 在实际应用时, 往往需要对其进行浸注改性处理, 以获得更好的产品性能。木材浸注改性

处理的技术关键在于提高浸注性, 然而, 杉木渗透性低而难浸注, 是工业化生产过程中的难题。

压缩处理是通过挤压木材, 破坏木材内部的微观构造来增加水分通道, 并且利用木材细胞回弹产生的负压力, 使浸注液连续浸入木材内部^[1], 从而提高木材的渗透能力的方法。其易于工业化操作, 通用性强, 行之有效。

已有研究表明, 压缩处理中木材的压缩率^[2-5]、压缩处理后木材的渗透性^[6-8], 均是影响浸注量的重

收稿日期: 2018-03-06; 修改日期: 2018-08-06

基金项目: 中国林科院林业新技术所基本科研业务费专项资金项目“压缩预处理对木材细胞形态和流体渗透的影响”(CAFYBB2017SY037)。

作者简介: 柴东 (1992—), 男, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

责任作者: 赵有科, 男, 中国林科院林业新技术所副研究员。

要因素。以往此两方面的独立研究较多，两者的关联研究较少。鉴于此，笔者以杉木为研究对象，对不同压缩率杉木的浸注量和渗透性进行测试，分析压缩处理对杉木浸注的影响，为杉木压缩处理的工业化生产提供技术参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)，采自安徽省太平县人工林，胸径 0.3~0.35 m，气干密度 0.38 g/cm³。考虑到杉木利用以心材为主，试样均取自于心材部分，要求其纵向与年轮平行，同组试材处于相同的年轮范围内且纵向相连。

试样尺寸为 30 mm×50 mm×100 mm (*R*×*T*×*L*)，具体取材方式如图 1 所示。

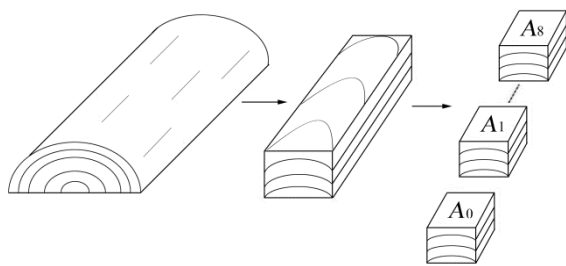


图 1 试样加工示意图

Fig.1 Schematic diagram of sample processing

压缩参数设置 8 个水平，压缩率以每增加 5% 的间隔划分，即 0、5%、10%、……40%。压缩方向均为径向。每个压缩率的试样数为 5。

1.2 试验装置

天平 (精度 0.1 g)；夹具，自主研发；真空加压设备 (0.1~1.0 MPa)；30 t 力学试验机；渗透性测量装置 (自主研发) 如图 2 所示。

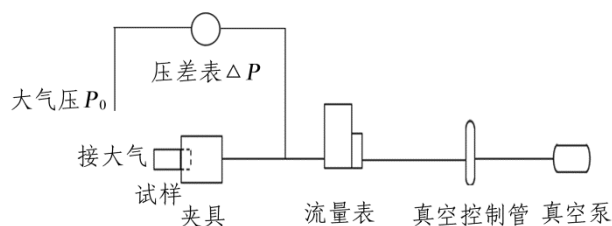


图 2 渗透性测量装置示意图

Fig.2 Schematic diagram of permeability measurement device

1.3 试验方法

1.3.1 浸注试验

1) 试样真空加压饱水处理：注水压力 0.1 MPa，保持 30 min；再加压至 1 MPa，持续 24 h，使所有试样的含水率相近。

2) 饱水试样放入夹具中，以 5 mm/min 压缩速率进行径向压缩，通过控制加载端的位移来实现不同压缩率。压缩完成后用螺母固定试样，并记录此时的试样质量 m_1 。

3) 将压缩试样连同夹具一同放入水中，卸掉螺母，使压缩试样在水中完成回弹。螺母卸掉的瞬间为计时起点，并记录试样质量 m_2 。

根据试样质量之差，计算试样回弹完成时刻的浸注量： $(m_2 - m_1) / V$ ，即回弹浸注量，g/cm³。其中 V 为试样在饱水状态下的体积。

在后续浸注中，每隔一定时间进行试样称量，直至前后两次质量差小于 0.2 g 时，即认为试样已完成浸注，记录浸注完成时的试样质量为 m_3 。

试样浸注完成之后，其单位体积的浸注量为：

$$(m_3 - m_1) / V。$$

1.3.2 渗透性试验

将完成浸注试验的试样气干，沿纵向加工成两个 20 mm×20 mm×100 mm 的试样。取两个试样渗透性的平均值，为该浸注试样的渗透性。

1) 浸注试样在恒温恒湿箱 (20 °C，65%) 中进行调湿处理，之后将其 4 个侧面涂布硅胶进行端面锯解，以消除硅胶涂饰过程端面堵塞对渗透性的影响；然后再次放入恒温恒湿箱进行调湿处理。

2) 用自主研发的渗透性测量装置，进行纵向气体渗透性测量。基于气体的 Darcy 定律，推导出渗透性计算公式。

$$K_A = \frac{L\eta QP}{A\Delta P\bar{P}} \quad (1)$$

式中： K_A —气体名义渗透性，m²； L —试样长度，m； η —气体动力粘滞系数，Pa·s； Q —单位时间通过试样的流量，m³/s； A —试样横截面积，m²； ΔP —试样两端压力差，Pa； $\bar{P}$ —试样两端平均压力差，Pa。

试样渗透性测量时，利用真空控制管控制压力差，测量 3 次，取平均值。为了减少误差，所有试样的压力差范围控制在 48.2~82.7 kPa 之内。

2 结果与讨论

2.1 不同压缩率下杉木试样的浸注量

在不同压缩率条件下,处理的杉木试样基本都能完成回弹,恢复率均>90%。不同压缩率杉木试样的单位体积浸注量,如图3所示。

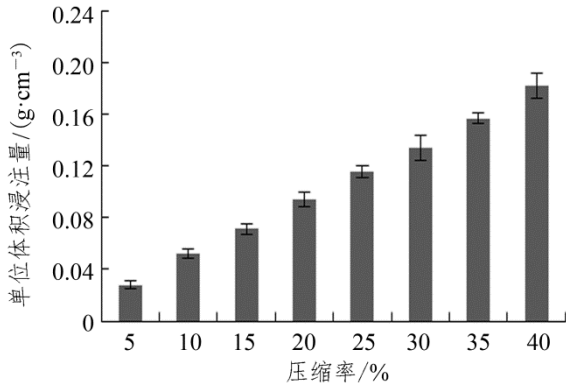


图3 不同压缩率试样的单位体积浸注量

Fig.3 Unit volume impregnation amount of wood samples with different compression ratios

由图3可见,不同压缩率下的杉木试样都能完成一定量的水分浸注,压缩率越大,则单位体积浸注量越大,40%压缩率时的杉木试样,单位体积浸注量约为5%压缩率试样的6倍。这是因为压缩率越高,细胞中排出的气体和水分越多。

相近压缩率试样的浸注效率差异不明显,浸注量的增加比较均匀。因此,在工业化生产过程中,可以通过压缩率来控制浸注量,也可以根据浸注量来计算压缩率。

试样回弹后浸注量随时间的变化,如图4所示。

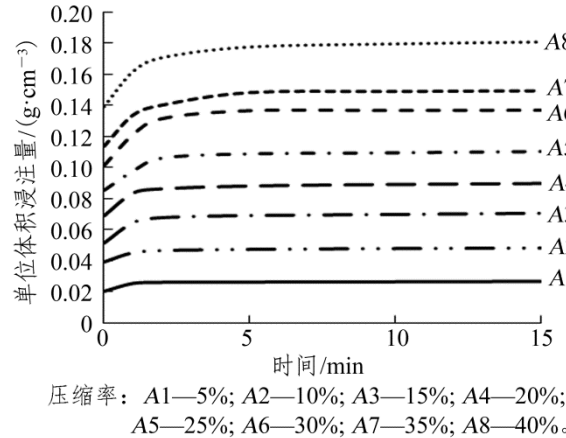


图4 不同压缩率试样单位体积浸注量随时间的变化

Fig.4 Unit volume impregnation amount of wood samples with different compression ratios vs. time

回弹瞬时的浸注量(0 min)占总浸注量的70%以上,压缩率越大,后续浸注达到的最大浸注量亦越大。后续浸注的前期,浸注效率较高,且高压压缩率试样的浸注量明显高于低压压缩率试样。

2.2 不同压缩率杉木试样的渗透性

不同压缩率杉木试样的渗透性结果,列于表1。

表1 不同压缩率试样的渗透性

Tab.1 Permeability of wood samples under different compression ratios

压缩率/ %	渗透性/($\times 10^{-13} \text{ m}^3/\text{m}$)		
	范围	均值	变异系数/%
0	0.35~0.77	0.56	24.69
5	1.07~3.05	1.71	42.38
10	1.11~4.76	2.13	59.73
15	1.07~3.14	1.82	46.33
20	1.08~3.23	2.06	38.55
25	1.05~2.08	1.37	26.88
30	1.13~2.59	1.31	34.28
35	1.05~3.72	1.85	50.46
40	1.14~3.62	2.87	72.10

由表1结果可知,不同压缩率试样的渗透性变异系数范围为26.88%~72.10%。与未压缩对照试样相比,压缩试样的渗透性明显提高,其值为未压缩试样的2.34~5.13倍。

未压缩与不同压缩率试样的渗透性显著性分析结果见表2,表明所有压缩试样与对照试样的的渗透性差异显著(差异水平0.01以上)。

表2 对照与不同压缩率试样的渗透性显著性比较

Tab.2 Significance comparison of permeability between controls and compressed wood samples at different compression ratios

压缩率/%		渗透性均值差/ ($\times 10^{-13} \text{ m}^3/\text{m}$)	显著性
未压缩材	压缩材		
0	5	-1.87	0.004
	10	-2.12	0.001
	15	-1.67	0.007
	20	-2.15	0.001
	25	-1.17	0.001
	30	-1.80	0.006
	35	-1.88	0.004
	40	-1.98	0.003

不同压缩率试样的渗透性差异显著性结果见表3,表明不同压缩率试样之间的渗透性差异均不显著。

表3 不同压缩率杉木试样渗透性显著性比较

Tab.3 Significance comparison of permeability of wood samples at different compression ratios

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	7.83×10^{-26}	7	1.12×10^{-26}	0.405054	0.896844	2.115472
组内	2.43×10^{-24}	88	2.76×10^{-26}			
总计	2.51×10^{-24}	95				

随着压缩率的增大,木材的压缩应力线性提高。当木材压缩率超过其弹性极限范围时(本试验约3%),将产生非线性变形。木材径向压缩时径向细胞壁会产生皱褶变形,同一细胞的弦向细胞壁易相互靠近。皱褶产生于细胞的薄弱之处,即纹孔处,而纹孔是流体重要性通道,纹孔处的皱褶使纹孔产生细小裂缝,进而增加了木材的渗透性。因此,压缩处理对木材的渗透性有显著影响。

以往对日本柳杉径向压缩处理的研究,显示了相同的结果^[9]。随着木材压缩率的增大,弦面细胞壁相互靠近,径面细胞壁只是在原先产生皱折的地方相互靠近,但不会产生新的皱褶。因此,压缩率大小对木材的渗透性影响不显著。

2.3 压缩处理对杉木浸注效果的影响

理论上,木材潜在的最大浸注量,决定于木材内部的空隙多少,且这些空间是否具有浸注通道和浸注物能否通过通道浸注于其中。实际生产中,由于木材内部空隙往往被空气占据,加上木材本身因为流体渗透通道的阻塞,如杉木干燥过程的纹孔偏移、结壳物质的沉积等,引起纹孔堵塞,使得木材的浸注量大打折扣。

真空压力处理后,杉木试样的含水率达到饱和状态。在此状态下对其进行压缩处理,木材中的部分水分被挤出。挤出的部分,由于木材在此状态下能完全回弹^[10],成为木材浸注的可利用空间。压缩率越大,木材潜在的储存浸注液的空间越多,因而浸注量随着压缩率的增大而增大。

由表2和表3结果可知,压缩处理试样的渗透性比未压缩试样显著提高,但不同压缩率之间的渗透性差异并不显著。说明浸注量提高的根本原因,主要还是压缩处理,使可浸注空间增大的作用。

3 结论

1) 压缩处理后,杉木试样的浸注量随着压缩率增大而增大,压力释放瞬时完成回弹,此时的浸注量占最大浸注量的70%以上,达到最大浸注量的时间随着压缩率的增大而增加。

2) 压缩处理能有效地改善杉木的渗透性,但不同压缩率试样的渗透性差异不显著。

3) 压缩处理后杉木浸注性能的改善,是渗透性提高和可浸注空间增大二者共同作用的结果。

4) 在工业化生产中,通过压缩处理,不但能提高浸注量,而且可以通过渗透性的改善和产生的压力差,来提高浸注效率;通过压缩率的调整,来实现浸注量的控制。

参考文献:

- [1] Zhao Y, Wang Z, Iida I, et al. Studies on pre-treatment by compression for wood drying I: effects of compression ratio, compression direction and compression speed on the reduction of moisture content in wood [J]. Journal of wood Science, 2015, 61(2): 113-119.
- [2] 王智慧, 赵有科. 压缩预处理中压缩速率对杨木浸注性能的影响研究[J]. 木材加工机械, 2012, 23(2): 9-13.
- [3] 赵欣, 赵有科, 吕建雄, 黄荣凤, 赵荣军, 任海青. 压缩预处理对全尺寸杨木含水率和力学性能的影响[J]. 木材工业, 2017, 31(1): 19-22.
- [4] 王智慧. 木材干燥及浸注的压缩预处理研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [5] 赵欣. 不同含水率条件下木材压缩预处理研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2016.
- [6] Jia M, Cao J Z, Xin Z. Effect of compression on the liquid absorption of Chinese fir wood with different heartwood-to-sapwood ratios[J]. Forest Ecosystems, 2009, 11(3): 196-201.
- [7] Wang Y, Wang M Z. Effect of alkali extraction on pit membranes and liquid uptake of four commercial softwoods[J]. Forest Ecosystems, 2012, 14(2): 160-164.
- [8] Iida I, Yusuf S, Watanabe U, et al. Liquid penetration of precompressed wood VII: Combined treatment of precompression and extraction in hot water on the liquid penetration of wood[J]. Journal of Wood Science, 2002, 48(1): 81-85.
- [9] Watanabe U, Imamura Y, Iida I. Liquid penetration of pre-compressed wood VI: Anatomical characterization of pit fractures [J]. Journal of Wood Science, 1998, 44(2): 158-162.
- [10] Zhao Y, Wang Z, Iida I, Huang R, Lu J, Jiang J. Studies on pre-treatment by compression for wood drying II: Effects of compression ratio, compression direction and compression speed on the recovery rate and mechanical properties of wood [J]. Journal of Wood Science, 2016, 62(3): 226-232.

(责任编辑 向 琴)