

压缩预处理对全尺寸杨木含水率和力学性能的影响

赵欣, 赵有科, 吕建雄, 黄荣凤, 赵荣军, 任海青

(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:为解决木材气干时间长、易蓝变的问题, 对高含水率、全尺寸杨木锯材进行压缩预处理。结果表明: 采用40%的压缩率、经四次压缩后, 两种规格试材的含水率从175%左右分别降至105%和109%, 其中第一次压缩效果最明显, 含水率降幅分别达48%和57%; 压缩预处理对试材力学性能影响不显著。进一步验证了压缩预处理技术应用于工业化生产的可行性。

关键词: 杨木; 锯材; 全尺寸; 压缩; 预处理; 含水率; 力学性能

中图分类号: S781; TS66 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2017) 01-0019-04

Effect of Compression Pre-treatment on Moisture Content and Mechanical Properties of Full-size Poplar Lumber

ZHAO Xin, ZHAO You-ke, LV Jian-xiong, HUANG Rong-feng, ZHAO Rong-jun, REN Hai-qing

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: To shorten air drying time and prevent blue stain for high moisture content (MC) wood, two dimensions of full-size Poplar lumbers were pre-treated using a compression device developing a 40% compression ratio. After four compressing cycles, moisture content of the lumber samples reduced quickly from initial 175% to 105%~109%. It was observed that moisture contents declined dramatically by 48%~57% following the first compression. Mechanical properties of the compressed lumber samples were tested. The results showed that the compression technique could be used in pre-treatment for full-size lumber drying.

Key words: Poplar; lumber; full-size; compression; pre-treatment; moisture content; mechanical properties

湿心材是杨木一种较普遍的缺陷, 由于心材含水率高, 在干燥前易蓝变, 干燥时易产生皱缩, 因而对其及时快速地进行预干燥尤为重要。压缩预处理能在短时间内降低生材的含水率, 避免木材在长时间气干过程中出现蓝变; 与窑干相比, 压缩预处

理是通过挤压方式, 使木材中的水分以液态形式被挤出, 可节约大量汽化能; 压缩预处理还可释放木材中的应力, 同时使木材纹孔产生细小裂隙而增加水分通道^[1], 有助于提高木材干燥效率, 减少木材干燥缺陷^[2]。

前期对压缩预处理的研究结果表明, 在高含水率条件下, 压缩后试材回弹率均可达到90%左右, 且对力学性能影响很小, 证明了压缩预处理的可行性^[3-5]。然而, 以上研究均是针对小尺寸试材展开, 全尺寸试材的压缩预处理研究在国内鲜有报道。

收稿日期: 2016-06-18; 修改日期: 2016-12-05

基金项目: 国家林业局引进国际先进林业科学计划(“948”计划)“木材压缩预处理关键技术引进”(2011-4-19)。

作者简介: 赵欣(1989—), 女, 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, 中国林科院木材工业研究所副研究员。

鉴于此,笔者选用全尺寸杨木锯材为研究对象,采用自主研发的多级压缩处理设备,进行压缩预处理,旨在进一步检验压缩预处理技术的应用效果,为该技术的工业化应用及推广提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验材料

意大利杨木 (*Populus euramericana*), 采自安徽太湖, 心材含水率 200%。考虑到大尺寸试材更能体现压缩预处理的优点, 并结合设备可加工范围, 将试材按相关标准^[6-7]锯成两种规格, 以考察锯材宽度和厚度对含水率降低的影响。

规格 1 (长×宽×厚): 2 000 mm×100 mm×60 mm, 24 根;

规格 2: 2 000 mm×90 mm×80 mm, 18 根。

均以试件的厚度为压缩方向。

1.2 试验设备

压缩设备 自主研发, 由三对辊轮沿进给方向水平排列, 间距为 520 mm。每队辊轮上下布置, 垂直开档的调节范围为 35~135 mm; 辊轮进料速度约 2.5 m/min。

1.3 试验方法

1) 含水率调节

为模拟试材刚砍伐时的含水率水平, 并减小试材间的差异, 将试材放入真空-加压浸注罐, 先抽真空至负压 0.02 MPa, 保压 30 min 后加入水, 直至试材完全没入, 再加压至 1.1 MPa, 保压 4 d。

2) 压缩预处理

将经含水率调节后的两种规格试材, 各随机选取 3 根作为对照, 其余进行压缩预处理。

根据前期研究结果^[3], 设定压缩组试材的压缩次数为 4, 压缩率为 40%。根据压缩率首先确定第 3 组压辊对的开档, 其他两组压辊对的开档则根据其平均压缩量设定, 具体参数列于表 1。木材压缩后, 几乎瞬间回弹至原尺寸, 因此, 后续压缩时不再调节压辊对开档。

1.4 性能检测

1) 含水率

压缩组试材每次压缩后, 立刻称重, 计算含水率; 对照组试材置于空气中 (夏季), 以气干速度最

表 1 压辊对开档和对应的压缩率

Tab.1 Roller distance and compression rate

规格	压辊对 1		压辊对 2		压辊对 3	
	压缩率/ %	开档/ mm	压缩率/ %	开档/ mm	压缩率/ %	开档/ mm
1	10	54	25	45	40	36
2	20	64	30	56	40	48

快的前 48 h 的含水率变化作为对照。

2) 相对能耗

将对照组和压缩一次后的试材同时气干, 分别在 100、200、300、400、500、650 h 后称重, 得到两组试材的含水率, 作为入窑时的初含水率, 并以 12% 含水率作为最终含水率。再根据树种和木材厚度, 参照文献^[8]选择干燥基准并计算其窑干能耗, 主要包括预热能耗和汽化能耗。

试材单位体积压缩能耗=额定功率×处理时间

压缩试材能耗包括窑干能耗和压缩能耗; 对照试材能耗仅为窑干能耗。

3) 力学性能

在压缩组 and 对照组试材中随机选取 1 根试材, 参照 GB/T 1936.1-2009《木材抗弯强度试验方法》和 GB/T 1936.2-2009《木材抗弯弹性模量测定方法》, 分别测定其抗弯强度 (MOR) 和抗弯弹性模量 (MOE), 平行测试 13 次, 取平均值。

2 结果与分析

2.1 压缩预处理对含水率的影响

试材含水率随压缩次数的变化, 及每次压缩后含水率的降幅, 分别如图 1a 和 1b 所示。

由图 1a 可知, 经四次压缩后, 2 种规格试材的含水率, 分别从 175.9% 和 174.7%, 降至 104.6% 和 109.0%, 其中第一次压缩降低含水率的效果最明显, 降幅分别约 48% 和 55%。第二次压缩含水率的降幅远小于第一次, 仅分别约 9% 和 6%, 并且随压缩次数的增加, 含水率降幅逐渐减小。

分析原因是压缩过程中, 试材细胞壁发生屈服变形, 大量水分沿纵向通过导管排出; 少量水分经纹孔沿弦向排出, 或经木射线细胞沿径向排出。因此, 第一次压缩后, 试材水分被大量挤出, 含水率降幅最大。

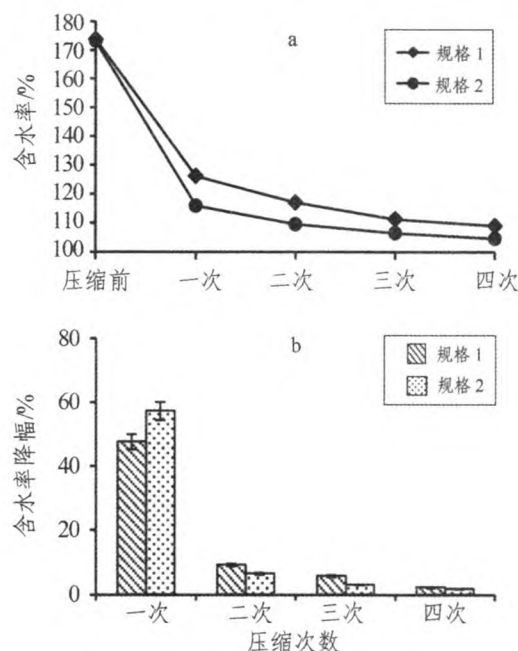


图 1 试材含水率随压缩次数的变化

Fig.1 MCs of pre-treated samples vs. compression times

随着压力释放, 试材受压缩的表层迅速回弹, 产生负压, 致使表、芯层之间产生压力梯度, 部分芯层水分重新分布到试材表层。后续压缩时, 尽管压缩率不变, 亦可挤出水分。但是, 随压缩次数的增加, 试材含水率逐渐降低, 可被挤出的水分逐渐减少, 含水率降幅亦逐渐减小。

试验过程中发现, 大量水分从端头排出, 同时少量水分沿横向排出, 这是因为纵向渗透性远高于横向渗透性。由图 1b 可知, 第一次压缩后, 规格 1 试材含水率的降幅小于规格 2, 而后续压缩的结果则相反。第一次压缩时, 两种规格试材初含水率、长度和压缩率均相同, 因此二者纵向排水量不相上下; 然而, 规格 1 试材略宽, 水分从芯部沿横向移动到表面的路径相对较长, 更难从横向排出。因此, 第一次压缩后, 规格 1 试材的含水率降幅小。后续压缩时, 规格 1 试材的含水率均高于规格 2, 压缩回弹后含水率重新分布, 可被挤出的水分更多, 故含水率降幅更大。

以往小试样研究时, 以 40%压缩率压缩杨木, 终含水率可为 96%^[3-4], 明显低于本试验结果。其原因在于本试验采用的是辊压法, 在试材回弹过程中, 部分被挤出的水分又被吸回; 而小试样采用压机进行平压压缩, 压力作用面积较大, 整体压缩率相对

均匀; 不会出现压缩过程中压出的水分被回吸的现象。故辊压法压缩试材的终含水率相对较高, 但材料的适应性广, 更易于工业化生产, 且生产效率高。

2.2 预干效率对比

压缩预处理与气干效率的对比结果, 列于表 2。

表 2 试材压缩预处理与气干干燥效率对比

Tab.2 Comparison of drying efficiency between compression pre-treatment and air drying

试材规格	处理方式	初含水率/%	终含水率/%	耗时/h
1	气干	173.6	159.5	48
	压缩预处理	175.9	109.2	0.1
2	气干	173.1	153.3	48
	压缩预处理	174.7	104.6	0.1

由表 2 可知, 压缩预处理仅用 0.1 h, 试材的含水率降幅分别达 67%和 70%; 而气干 48 h 试材含水率的降幅仅为 14%和 20%。说明压缩预处理可在短时间内, 大幅降低试材含水率, 干燥效率提升明显。

2.3 能耗对比

不同气干时间压缩组和对照组试材的能耗计算结果, 列于表 3。

表 3 压缩组和对照组试材能耗对比

Tab.3 Comparison of energy consumption between control and pretreated samples

气干时间/h	窑干前含水率/%		能耗/(MJ/m ³)		相对能耗/%
	对照组	压缩组	对照组	压缩组	
100	130.8	87.6	1920	1400	73.2
200	101.0	69.5	1560	1190	76.1
300	79.7	56.0	1300	1020	78.6
400	64.1	45.8	1110	899	80.8
500	52.4	37.8	971	803	82.7
650	39.5	28.9	815	695	85.3

由表 3 可知, 压缩组试材的能耗仅为对照组试材能耗的 73%~85%。这是因为相同时间气干条件下, 压缩试材的含水率更低, 故其预热能耗和汽化能耗更低。说明压缩预处理可节约木材干燥能耗。

随气干时间的延长, 压缩组与对照组试材能耗的比值逐渐增大。这是因为随气干时间的延长, 压缩组和对照组试材的含水率差值逐渐减小, 导致二者预热能耗和蒸发水分能耗的差值亦逐渐减小。说明在相同气干时间条件下, 气干时间越短, 压缩预处理的节能优势越明显。

实际干燥过程中, 压缩预处理的节能效果更显著。原因是:

1) 在相同干燥条件下, 入窑时试材含水率越低, 所需窑干时间越短, 对应的干燥窑壳体热损越少。但本研究理论计算干燥室壳体热损时, 参照文献^[8]中的方法, 所有试材的窑干时间均相同, 因此得到的压缩组试材的能耗较实际值偏大。入窑时试材含水率越低, 与实际值相差越大;

2) 压缩预处理可以释放部分木材中的应力, 减少干燥缺陷。此外, 压缩处理在纹孔上产生细小裂隙, 增加了水分的通道^[1], 使干燥过程加速。因此, 压缩处理后的试材可采取更硬的干燥基准, 缩短干燥时间, 从而进一步降低压缩组试材的能耗;

3) 压缩设备的能耗采用额定功率计算, 与实际值相比偏大。

综上可知, 压缩预处理节能效果显著, 可大幅度降低生产成本。

2.4 压缩预处理对力学性能的影响

压缩组和对照组试材的力学性能测试结果, 列于表 4。

表 4 压缩组和对照组试材的力学性能对比
Tab.4 Comparison of mechanical properties between control and pretreated samples

性能指标	对照组	压缩组	
		规格 1	规格 2
MOR/MPa	90.17	89.62	84.50
标准差	13.16	7.06	11.87
变异系数	0.14	0.08	0.14
MOE/GPa	10.98	11.23	10.93
标准差	1.74	2.25	1.88
变异系数	0.16	0.19	0.17

由表 4 结果可知, 压缩后试材 MOE 几乎不变, MOR 略有下降。为进一步探究压缩预处理对试材力学性能的影响, 对数据进行显著性分析, 结果列于表 5。

由表 5 可知, 压缩预处理对试材力学性能影响不显著, 这与小试材压缩试验结果一致^[9]。这是由于试材含水率始终在纤维饱和点以上, 水分与木材基质、微纤丝非结晶区结合, 增大了木材分子间距, 同时减少了半纤维素支链与基质间的结合。

表 5 压缩组和对照组试材力学性能的显著性分析
Tab.5 Significance analysis on mechanical properties of control and pretreated samples

性能指标	方差来源	偏差平方和	自由度	均方和	F	P-value	F-crit
MOE	组间	406.51	2	203.26	2.08	0.14	3.26
	组内	3511.68	36	97.55	—	—	—
	总数	3918.20	38	—	—	—	—
MOR	组间	511.19	2	255.60	3.15	0.10	4.84
	组内	3566.38	36	99.07	—	—	—
	总数	4077.57	38	—	—	—	—

压缩过程中, 当压力达到一定值, 一方面木材分子间的结合可能被水分子与木材分子的结合代替, 另一方面木材分子间可能会在新的位置重新结合。这两种结合在压缩过程中不断发生, 但与未压缩前木材分子间及木材分子与水分子间结合强度基本相同^[9]。因此, 压缩预处理试材的力学性能未发生显著变化。

此外, 试材压缩后不完全回弹导致其体积减小, 密度略有增大^[9]; 高含水率单个细胞变形超过屈服点并恢复后, 基质并未发生显著破坏, 压缩处理可能使微纤丝角变小^[10]等, 均有利于维持原有试材的力学性能。

3 结论

1) 采用多级压缩处理设备, 以 40%压缩率压缩全尺寸杨木试材, 经四次压缩后, 两种规格杨木试材的含水率降幅明显, 尤其是第一次压缩, 降幅分别达 48%和 57%。

2) 本试验条件下, 单根试材压缩一次仅用时 1.5 min, 而要达到相同的含水率, 气干需要 48 h 以上, 可见压缩预处理的效率更高。

3) 压缩预处理可以显著降低干燥过程的能耗, 压缩组试材的能耗为对照试材能耗的 73%~85%。

4) 与对照试材相比, 压缩后试材的抗弯强度略有下降, 但不显著。

5) 辊压法具有材料适应性广、易于工业化生产和生产效率高等优点, 在全尺寸杨木干燥方面具有较大的应用潜力。

(下转第 45 页)

荐性要求,放入其他相关的推荐性标准中。标准中的部分强制性要求,如果与其他强制性标准一致的,建议直接引用即可,不同的内容则需进行具体规定。如结构安全(包括边缘及尖端、突出物、孔及间隙、折叠机构、封闭式家具、玻璃部件)、力学性能、有害物质限量和警示标识等等,这些要求应严于成人用家具产品的要求,并且把GB 22793.1-2008和QB 2453.1-1999中关于通用安全的要求,归总该标准中,使儿童家具通用安全标准更加完善。

GB 22793.1-2008和QB 2453.1-1999仅规定具体产品的特殊安全要求,建议将QB 2453.1-1999转化为强制性国家标准。

2.6 制定传统家具通用基础标准,修订红木家具标准

传统家具作为我国家具行业的一大特色产业,全国已有超过2万家生产企业,年总产值已经突破了1000亿元。传统家具又被称为人文家具、艺术家具,具有极高的艺术价值。但是,随着木材资源的逐渐减少,市场上常常出现“以次充好、以假乱真、粗制滥造”等现象^[6]。传统家具关系到消费者财产安全和生态环境安全,所以应制定针对传统家具的强制性标准。

现行的传统家具相关强制性标准只有一项GB 28010-2011《红木家具通用技术条件》,但是该标准仅适用于红木家具,范围有限。建议:

1) 制定传统家具强制性通用基础标准,主要内容应包括:产品命名、用材要求、质量明示等。

2) 修订GB 28010-2011,将其纳入传统家具标准范畴,其指标要求更严格。

2.7 制定老人和婴幼儿家具标准,填补国标空白

不合格的家具可能会对老人和婴幼儿产生伤害,家具的安全与否关系到他们的人身健康安全。目前国内还没有相关的老人和婴幼儿家具标准,建议制定老人和婴幼儿家具强制性标准,填补国内标准的空白。主要内容应包括尺寸安全、结构安全、有害物质限量和警示标识等等。

3 结语

强制性标准是我国对行业和产品的基本要求,在维护市场公平竞争、市场正常秩序和促进经济社会健康发展方面发挥着重要的作用。我国家具行业应尽快建立强制性标准体系框架,并按照强制性标准化改革的要求,开展强制性标准整合精简,形成科学、合理的家具行业强制性标准体系,更好的保护消费者利益,维护市场秩序,促进家具行业的健康稳步发展。

参考文献:

- [1] 朱长岭. 中国家具行业可持续性发展探讨与展望[J]. 家具, 2013(1): 1-4.
- [2] 海凌超, 王红强, 顾强, 等. 我国木家具标准化现状和产品质量问题分析[J]. 木材工业, 2013(3): 29-33.
- [3] 邓燕平, 海凌超, 廖桂福. 浅析家具产品使用说明书标准执行情况[J]. 中国木材, 2010(1): 28-29.
- [4] 雷彩虹. 浅析家具有害物质检验标准存在的弊端及解决对策[J]. 科技创新与应用, 2014(17): 290.
- [5] 李衍春, 海凌超, 廖桂福. “16 CFR Part 1633 床上用品明火易燃性标准”浅析[J]. 家具与室内装饰, 2009(1): 82-83.
- [6] 王红强, 海凌超, 胡汉志. 我国传统家具标准化现状及产品质量问题分析[J]. 林产工业, 2016(1): 53-56.

(责任编辑 向琴)

(上接第22页)

参考文献:

- [1] Watanabe U, Imamura Y, Iida I. Liquid penetration of precompressed wood VI: Anatomical characterization of pit fractures[J]. Journal of Wood Science, 1998, 44(2): 158-162.
- [2] Cech M Y. Dynamic transverse compression treatment to improve drying behavior of Yellow Birch [J]. Forest Products Journal, 1971, 21(2): 41-50.
- [3] Zhao Y, Wang Z, Iida I, et al. Studies on pretreatment 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.
- [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] 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.
- [6] GB/T 4817-2009, 阔叶树锯材[S].
- [7] National Lumber Grades Authority. Standard Grading Rules for Canadian lumber[M]. New Westminster: 2003.
- [8] 王喜明. 木材干燥学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [9] Zhao Y, Wang Z, Iida I, et al. Studies on pretreatment 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.
- [10] Keckes J, Burgert I, Frühmann K, et al. Cell-wall recovery after irreversible deformation of wood[J]. Nature Materials, 2003, 2(12): 810-813.

(责任编辑 向琴、劳万里)