

编者按: 为了实现优质树种木材的提质增效利用,依托中央级公益性科研院所专项资金重点项目“桃花心木和辐射松木材性质与加工技术研究”,针对进口人工林木材生产加工及产品使用遇到的问题,进行木材性质的全面分析,并在此基础上开展干燥、机械加工、胶合、涂饰等系列工艺研究,制定提升这两种木材品质和利用价值的优化工艺。

本刊于2019年系列报道此项研究的技术成果,为进口木材资源的高效加工利用提供技术指导。

热处理对进口辐射松木材抗弯性能和尺寸稳定性的影响

付宗营, 周凡, 高鑫, 周永东

(中国林科院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 对进口辐射松木材分别以4个温度水平和3个时间水平进行热处理。结果显示:随着温度升高,试材抗弯弹性模量呈现波动式变化,200℃时出现最大值;抗弯强度逐渐减小;随时间延长,抗弯性能均缓慢下降。热处理可有效提高试材尺寸稳定性,试材平衡含水率、阻湿率和抗胀率主要受温度影响,受热处理时间的影响较小。

关键词: 进口辐射松木材; 热处理; 抗弯性能; 尺寸稳定性

中图分类号: S781.71; S791.252 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2019) 06-0047-04

Heat Treatment Effect on Bending Properties and Dimensional Stability of Imported Radiata Pine Wood

FU Zong-ying, ZHOU Fan, GAO Xin, ZHOU Yong-dong

(Research Institution of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Imported radiata pine wood samples were heat-treated at four temperatures ranging from 185 °C to 230 °C for 4 hours. At 215 °C, the wood samples were treated for three, four and five hours, respectively. The bending properties and dimensional stability of the samples were tested. Results showed that the modulus of elasticity (MOE) of the samples fluctuated with the increase of treating temperature. The MOE reached the maximum value when treating temperature was 200 °C. Meanwhile the modulus of rupture (MOR) of the samples kept falling as the treating temperature increased. The MOE and MOR were all slightly decreased when the treating time extended. The heat treatment improved the dimensional stability of the samples significantly. The equilibrium moisture content, moisture excluding efficiency and anti-swelling efficiency of the samples were more affected by the treating temperatures than the durations.

Key words: imported Radiata pine wood; heat treatment; bending properties; dimensional stability

收稿日期: 2019-01-31; 修改日期: 2019-04-01

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“桃花心木和辐射松木材性质与加工技术研究”(CAFYBB2017ZC003)。

作者简介: 付宗营(1987—), 男, 助理研究员。Email: zyfu@caf.ac.cn。

责任作者: 周永东, 男, 研究员。Email: zhouyd@criwi.org.cn。

我国近年来进口的辐射松(*Pinus radiata*)木材主要来自新西兰和澳大利亚人工林,其力学强度中等,加工性能好,适宜制作家具、木制品及结构材等,但若用于户外,尺寸稳定性方面有待提高。

木材高温热处理是工业化最成功、经济效益最显著的改性方法^[1],可使木材尺寸稳定性提高,平衡含水率降低,还可以提高生物耐久性^[2-6]。但热处理也会对木材产生一些负面影响,如木材密度略有降低,脆性增加,部分力学强度降低等。

笔者以新西兰辐射松木材为研究对象,探讨热处理温度和时间对其抗弯性能和尺寸稳定性的影响,为辐射松木材的热处理工艺制定、应用领域拓展提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新西兰辐射松 (*Pinus radiata*), 15~20 年生, 胸径 50 cm 以上。锯解为 25 mm 厚度的板材, 常规干燥使木材平均含水率为 12%。挑选无可见缺陷的径切板, 锯解为 500 mm×120 mm×25 mm (长×宽×厚) 的试样。

1.2 设备装置

高温热处理窑 (由德国木材干燥机 Lignomat 改造而成, 温度范围 0~250 °C, 最大处理容量 0.2 m³); 恒温恒湿箱; 万能力学试验机等。

1.3 试验方法

热处理以蒸汽作为保护气体。热处理过程包括: 预热、干燥、中间升温、热处理和降温五个阶段, 各阶段通过控制设备内蒸汽含量, 来保证低氧含量状态。

试验设置 4 个热处理温度水平: 185、200、215 和 230 °C, 处理时间均为 4 h; 并在 215 °C 下设 3 个处理时间: 3、4、5 h。

1.4 性能检测

1) 按照 GB/T 1929-2009《木材物理力学试验锯解及试样截取方法》, 检测热处理材和对照材标准试样的抗弯弹性模量 (MOE) 和抗弯强度 (MOR)。

2) 根据 GB/T 1931-2009《木材含水率测定方法》和 GB/T 1934.2-2009《木材湿胀性测定方法》, 测试平衡含水率 (Equilibrium moisture content, EMC), 以及弦向、径向和体积湿胀率, 计算阻湿率 (Moisture excluding efficiency, MEE) 和抗胀率 (Anti-swelling efficiency, ASE)。每组试样 20 块。

2 结果与讨论

2.1 热处理对木材抗弯性能的影响

2.1.1 热处理温度

不同温度下热处理试材的 MOE 和 MOR, 如图 1 所示。

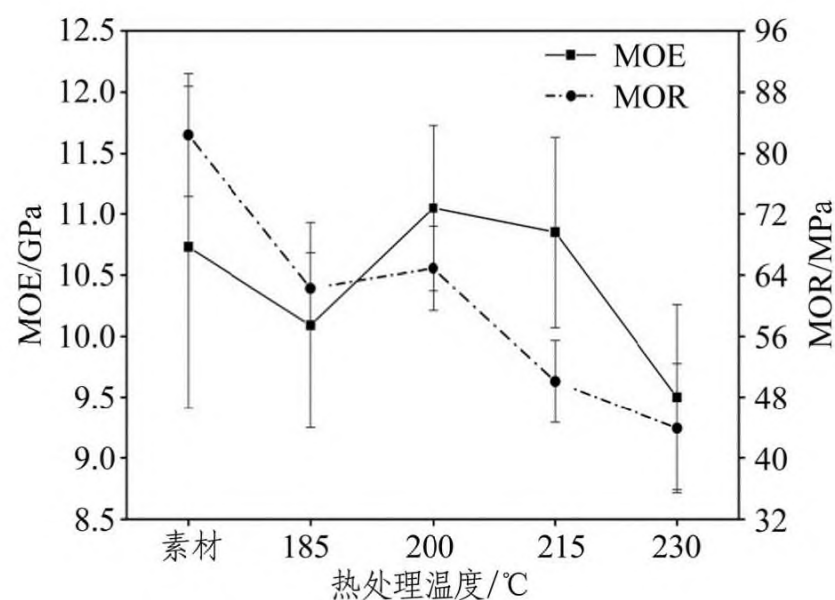


图1 不同温度热处理试材的抗弯性能

Fig.1 MOE and MOR of radiata pine wood samples treated at different temperatures

由图 1 可知, 试材 MOE 随温度升高呈现波动式变化, 在 200 °C 时有最大值 11 GPa, 230 °C 最小值 9.5 GPa。热处理材 MOE 的变化规律与以往研究结果一致^[2,7]。原因是 200 °C 热处理使得木材综纤维素含量减少, 木质素含量相对增加, 一定程度上提高了木材刚度。

试材 MOR 的变化则随着热处理温度的升高, 整体呈下降趋势。185 °C 热处理材的 MOR, 比对照未处理材降低了 20 MPa, 高于 200 °C 后 MOR 的降低更明显。185 °C 时 MOR 降低, 主要是由于半纤维降解所致; 而 200 °C 以上 MOR 降低, 主要是木质素降解所致^[8]。

2.1.2 热处理时间

当热处理温度为 215 °C, 处理时间分别为 3、4、5 h 时, 试材的 MOE 和 MOR 如图 2 所示。

试材 MOE 和 MOR 均随着热处理时间的延长呈下降趋势。当热处理时间由 3 h 增加至 5 h 时, 试材的 MOE 降低了约 1 GPa, MOR 降低了约 5 MPa。试材抗弯性能随热处理时间的变化规律, 与云杉和樟子松木材一致^[9]。这是由于热处理时间越长, 木材的半纤维素和木质素降解越剧烈, 使得木材力学强度降低越明显。

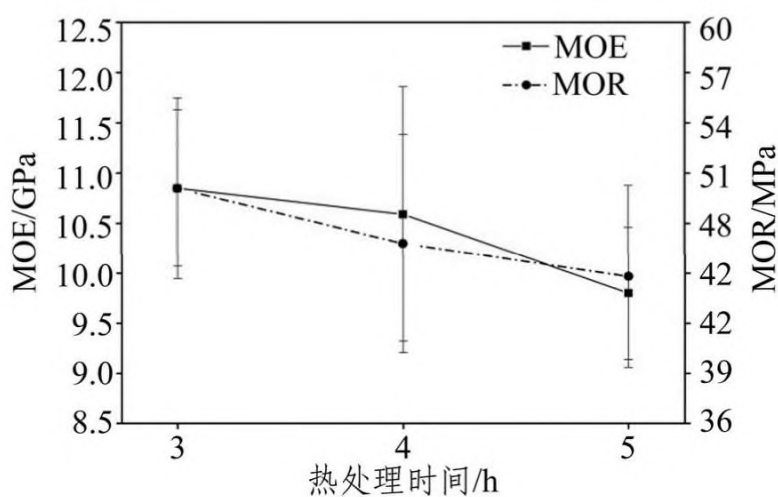


图2 不同时间热处理试材的抗弯性能

Fig.2 MOE and MOR of radiata pine wood samples treated at different times

2.2 热处理对木材尺寸稳定性的影响

2.2.1 木材平衡含水率 EMC

根据我国地域气候特点, 设定常温常湿 (20 °C / RH 65%) 和高温高湿 (40 °C / RH 90%) 两种环境条件, 考察不同条件热处理材和对照未处理材的 EMC, 结果列于表 1。

表1 两种环境温湿度条件下试材的平衡含水率

Tab.1 Equilibrium moisture contents of radiata pine wood samples under two environment conditions

热处理温度/ °C	热处理时间/ h	EMC/%	
		20 °C/65%RH	40 °C/90%RH
185	4	8.41 (±0.38)	18.85 (±0.58)
200	4	8.24 (±0.26)	18.51 (±0.54)
215	3	7.17 (±0.46)	16.78 (±0.59)
215	4	6.83 (±0.35)	16.04 (±0.44)
215	5	6.80 (±0.50)	15.91 (±0.74)
230	4	6.18 (±0.43)	14.88 (±0.71)
对照材		12.33 (±0.39)	22.54 (±1.05)

由表 1 结果可知, 两种温湿度条件下热处理材的 EMC 明显低于对照材, 且随着热处理温度的升高, 木材 EMC 明显降低。对 185 °C/4 h、230 °C/4 h 热处理材, 在常温常湿条件下的 EMC, 相比对照材分别降低了 3.92%、6.15%; 在高温高湿条件下的 EMC 分别降低了 3.69%、7.66%。而在 215 °C 下分别处理 3 h、4 h、5 h 的试材之间, EMC 差异较小, 说明热处理时间对木材 EMC 影响较小。

2.2.2 木材阻湿率和抗胀率

阻湿率 MEE 和抗胀率 ASE 是评价木材尺寸稳定性的重要指标。两种温湿度条件下, 不同热处理材的 MEE 列于表 2。

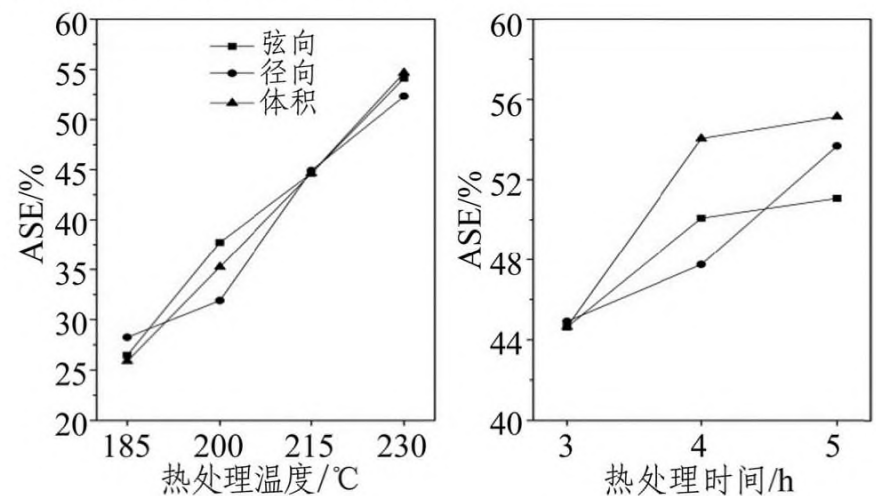
表2 两种温湿度条件下热处理试材的阻湿率

Tab.2 MEE of heat-treated wood samples under two environment conditions

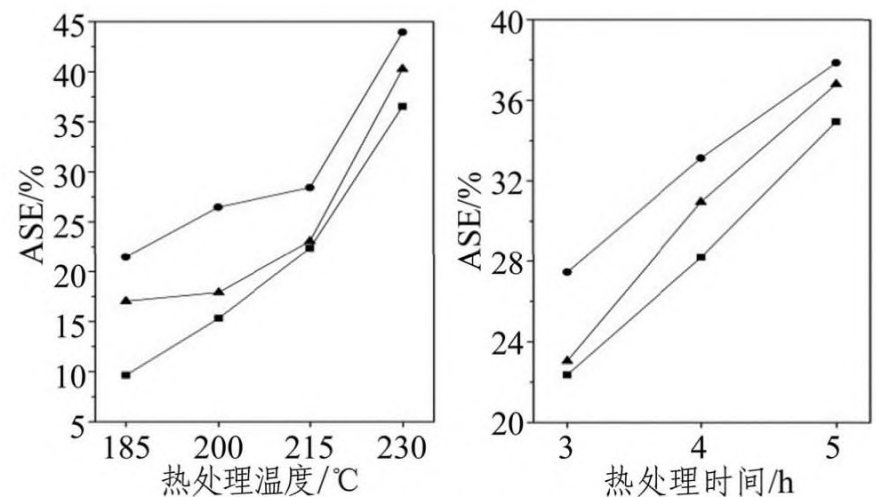
热处理温度/ °C	热处理时间/ h	MEE/%	
		20 °C/65%RH	40 °C/90%RH
185	4	31.79	16.37
200	4	33.17	17.88
215	3	41.85	25.55
215	4	44.61	28.84
215	5	44.85	29.41
230	4	49.88	33.98

由表 2 结果可知, 随热处理温度的升高和热处理时间的延长, 木材的 MEE 均呈增大趋势。热处理温度由 185 °C 升高至 230 °C, 试材 MEE 增加了近 18%; 而 215 °C 时, 不同热处理时间对试材 MEE 的影响较小。此外, 230 °C 热处理材在常温常湿条件下的 MEE 高达 49.88%, 在高温高湿条件下的 MEE 也达到了 33.98%。

两种温、湿度条件下, 不同温度和时间热处理试材的 ASE, 如图 3 所示。



a. 常温常湿 (20 °C / RH 65%)



b. 高温高湿 (40 °C / RH 90%)

图3 热处理温度和时间对辐射松木材抗胀率的影响

Fig.3 Effect of heat treatment temperature and duration on ASE of radiata pine wood samples

在常温常湿条件下,试材弦向、径向和体积 ASE 均随着热处理温度升高而增大,其中体积 ASE 与热处理温度呈线性关系。随着热处理时间的延长,木材弦向、径向和体积 ASE 亦均有不同程度的增大,4 h 与 5 h 热处理材相比,弦、径向 ASE 变化较小,而体积 ASE 明显增大。

在高温高湿条件下,随热处理温度的升高,试材 ASE 呈增大趋势,尤其是高于 215 °C 时 ASE 增幅明显。无论弦向、径向还是体积 ASE,均随热处理时间的延长呈线性增大。且以径向 ASE 最大,体积 ASE 次之,而弦向 ASE 最小。

以上结果表明,高温热处理可有效提高木材的抗胀率,热处理温度越高,处理时间越长,抗胀率越大。这主要由于高温条件下木材中含有羟基等亲水基团的半纤维素和纤维素无定形发生了降解,致使木材内部游离羟基的数量显著减少,从而降低了木材的吸湿性^[10-12]。

3 结论

1) 随着热处理温度升高,辐射松木材的 MOE 呈现波动式变化,最大值出现在 200 °C 时,而 MOR 一直减小,且 200 °C 以上降幅更明显。随着热处理时间延长,试材 MOE 和 MOR 均呈略微减小的趋势。

2) 在一定温湿度条件下,热处理辐射松木材的平衡含水率 EMC 明显小于素材,并随热处理温度升高而明显降低,热处理时间对木材 EMC 较小。

3) 随热处理温度升高和热处理时间延长,木材阻湿率 MEE、ASE 均呈增大趋势。

4) 针对力学强度要求较高场合使用的辐射松木材,宜采用 200 °C/4 h 热处理条件;而对环境湿度较高的应用场合,木材热处理温度可以适当提高。

参考文献:

- [1] 顾炼百. 木材改性技术发展现状及应用前景[J]. 木材工业, 2012, 26(3): 1-6.
GU L B. Current status and application prospects of wood modification [J]. China Wood Industry, 2012, 26(3): 1-6.
- [2] 黄荣凤, 吕建雄, 曹永建. 热处理对毛白杨木材物理力学性能的影响[J]. 木材工业, 2010, 24(4): 5-8.

- HUANG R F, LV J X, CAO Y J. Effect of heat treatment on properties of Chinese white poplar[J]. China Wood Industry, 2010, 24(4): 5-8.
- [3] 李涛, 顾炼百. 185 °C 高温热处理对水曲柳木材力学性能的影响[J]. 林业科学, 2009, 45(2): 91-97.
LI T, GU L B. Effects of high temperature heat treatment at 185 °C on mechanical properties of ash wood[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(2): 91-97.
- [4] 高伟, 罗建举, 李曲恩. 速生桉木材高温热处理的物理力学性能研究[J]. 南方农业学报, 2013, 44(1): 116-120.
GAO W, LUO J J, LI Q E. Physical and mechanical properties of fast-growing eucalypt wood under high temperature heat treatment[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(1): 116-120.
- [5] 李延军, 唐荣强, 鲍滨福, 等. 高温热处理杉木力学性能与尺寸稳定性研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4): 232-236.
LI Y J, TANG R Q, BAO B F, et al. Mechanical properties and dimensional stability of heat-treated Chinese fir[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 32(4): 232-236.
- [6] 曹金珍, 赵广杰, 鹿振友. 热处理木材的水分吸着热力学特性[J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(4): 26-33.
CAO J Z, ZHAO G J, LU Z Y. Thermodynamic characteristics of water absorption of heat-treated wood[J]. Journal of Beijing Forestry University, 1997, 19(4): 26-33.
- [7] 李惠明, 陈人望, 严婷. 热处理改性木材的性能分析 I. 热处理材的物理力学性能[J]. 木材工业, 2009, 23(2): 43-45.
LI H M, CHEN R W, YAN T. Physical and mechanical properties of heat-treated lumber I[J]. China Wood Industry, 2009, 23(2): 43-45.
- [8] 孔繁旭, 邹超峰, 王艳伟, 等. 热处理对木材化学组分及物理力学性能的影响[J]. 林业机械与木工设备, 2019, 47(1): 9-16.
KONG F X, ZOU C F, WANG Y W, et al. Effect of heat treatment on chemical composition and physico-mechanical properties of wood[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2019, 47(1): 9-16.
- [9] 陈康乐, 冯德君, 张英杰, 等. 高温热处理对木材力学性能的影响[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5): 161-166.
CHEN K L, FENG D J, ZHANG Y J, et al. Effects of high temperature treatment on mechanical properties of wood[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(5): 161-166.
- [10] 孙伟伦, 李坚. 高温热处理落叶松木材尺寸稳定性及结晶度分析表征[J]. 林业科学, 2010, 46(12): 114-118.
SUN W L, LI J. Analysis and characterization of dimensional stability and crystallinity of heat-treated *larix* spp.[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(12): 114-118.
- [11] 李贤军, 蔡智勇, 傅峰, 等. 高温热处理对松木颜色和润湿性的影响规律[J]. 中南林业科技大学学报: 自然科学版, 2011, 31(8): 178-182.
LI X J, CAI Z Y, FU F, et al. Effects of high temperature thermal treatment on color and wettability of *pseudotsuga menziesii* wood [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, 31(8): 178-182.
- [12] 杨昇, 陈媛, 晏婷婷, 等. 热处理对进口辐射松木材化学性质的影响[J]. 木材工业, 2019, 33(5): 44-48.
YANG S, CHEN Y, YAN T T, et al. Effect of heat-treatment on chemical properties of imported *pinus radiata* wood[J]. China Wood Industry, 2019, 33(5): 44-48.

(责任编辑 向琴)