

马尾松木材微波脱脂工艺研究

杨霞¹, 刘元², 李贤军²

(1. 商丘学院, 河南商丘 476000; 2. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004)

摘要: 系统研究了微波功率密度、辐射时间和木材初含水率(MC)对马尾松木材脱脂率的影响规律。结果表明, 脱脂率随微波功率密度的增大和辐射时间的延长而增加, 随初含水率的增加呈先增后减的趋势。优化脱脂工艺为: 微波功率密度 4 000 kW/m³、微波辐射 5 min、试件初含水率约 80%, 马尾松木材的脱脂率达 56.24%, 且试件内外层脱脂率无显著差别。

关键词: 马尾松; 脱脂; 微波功率密度; 微波辐射时间; 木材初含水率

中图分类号: S781.71 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2018) 01-0040-04

Resin Removal from *Pinus Massoniana* Lumber by Microwave Technology

YANG Xia¹, LIU Yuan², LI Xian-Jun²

(1. Shangqiu University, Shangqiu 476000, Henan, China;

2. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: Effects of microwave power density, radiation time and initial wood moisture content (MC) on resin removal from *Pinus massoniana* lumber were studied. The results showed that the resin removal rate increased by increasing the microwave power density and extending the radiation time. As initial wood MC increased, the resin removal rate increased in the beginning and then decreased. The optimal parameters were: microwave power density of 4 000 kW/m³, microwave radiation time of 5 min and initial wood MC of about 80%. The resin removal rate of *Pinus massoniana* lumber reached 56.24% with no significant difference between inside and outside layer of the lumber samples.

Key words: *Pinus massoniana*; resin removal; microwave power density; microwave radiation time; wood initial moisture content

松木具有纹理美观、材质柔韧、出材率高等优点, 但含脂丰富使其利用受限, 脱脂处理是改善松木性质、提高产品附加值的重要方法。长期以来, 国内外学者对松木脱脂技术开展了系统的研究, 取得了一系列成果, 主要包括物理法^[1-3]、化学法^[4-5]和综合法脱脂技术^[6]。物理法脱脂技术设备投资高、脱脂材在使用过程中仍有溢脂现象; 化学法脱脂技

术存在脱脂材力学性能下降、材色变暗、生产废液难处理等问题; 综合法脱脂技术工艺繁琐、产量低, 不利于工业化生产。鉴于此, 笔者尝试开展微波脱脂技术的研究。

微波脱脂机理是将高含水率木材置于高强度微波场中, 在频繁交变的电磁场作用下, 木材温度快速升高, 树脂道内水分迅速蒸发、膨胀、压力急剧上升, 与外界形成较高的压力差。在压力差的作用下, 树脂道内的树脂可随自由水移至木材表面, 从而实现脱脂目的^[7-8]。

本研究以速生人工林马尾松木材为研究对象，通过探究微波脱脂工艺对脱脂率的影响，得出较优化的脱脂工艺，旨为木材微波脱脂技术的后续研究和产业化应用，提供借鉴与参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

马尾松 (*Pinus massoniana*): 采自湖南益阳。先将原木制成 2 000 mm (长) × 105 mm (宽) × 55 mm (厚) 的规格锯材。沿锯材长度方向截取 200 mm (长) × 100 mm (宽) × 50 mm (厚) 的试件，按顺序编号。

截取试件的同时，在每个试件的两端各取规格为 10 mm (长) × 100 mm (宽) × 50 mm (厚) 的小试件 2 个，用于含脂量测试。试件置于阴凉通风处调整初含水率 (MC)。

试剂：乙醚 (分析纯) 等。

1.2 仪器设备

木材改性专用工业微波炉、微型植物试样粉碎机、电热鼓风干燥箱、镍铬-康铜热电偶，电动温度调节水浴锅，索氏抽提器等。

1.3 试验设计

松脂的主要成分是松香和松节油。常温下的松香呈固态，60 °C 开始软化，120 °C 呈液态；松节油常温下呈液态，与水的共沸点为 95.6 °C。因此，试验设定脱脂段的起始温度为 95 °C。

1.3.1 单因素试验

根据前期研究，影响木材微波脱脂的主要因素包括：微波功率密度 (微波功率/木材体积)、辐射时间 (脱脂段时间) 和试件初含水率，首先进行单因素试验，分析各因素对木材脱脂率的影响。试验因素及水平见表 1。

表 1 试验因素及水平
Tab.1 Experimental factors and levels

因素	水平				
功率密度/(kW·m ⁻³)	1 000	2 000	3 000	4 000	
初含水率/%	20	40	60	80	100
辐射时间/min	2	3	4	5	6

1.3.2 优化试验

为了进一步优化工艺，在单因素试验的基础上，设计 3 因子 3 水平的优化试验，因素及水平列于表 2。

表 2 优化试验因素及水平

Tab.2 Experimental factors and levels of optimized test

因素	水平		
功率密度/(kW·m ⁻³)	2 000	3 000	4 000
初含水率/%	60	80	100
辐射时间/min	4	5	6

单因素和优化试验中，每个因素的每个水平均取试件 4 组，其中一组未处理的作为对照组。为避免节子和不同植株造成的含脂率误差，每组试件均取自同一根锯材。

1.4 试验方法

试验前用双组分环氧树脂将试件两端封闭，调整试件初含水率。在试件一侧几何中心打孔，插入铜-镍热电偶，监测脱脂过程中的温度变化，并用木粉将孔填满压实。

采用间歇辐射方式加热，1 min 为一个周期，两个周期间隔 15 s，为减少微波场对热电偶测温的影响，在微波辐射停止 5 s 后，读取温度值，每组试验重复 3 次。

将对照材与处理材沿板材厚度方向划分为心层、内层和外层，粉碎后经标准筛筛选 40~60 目的木粉，编号、密封备用。

按照 GB/T 2677.6-1994《造纸原料有机溶剂抽出物含量的测定》，检测木粉的乙醚抽出物含量，即含脂量。

2 结果与讨论

2.1 微波功率密度对脱脂率的影响

不同微波功率密度处理试样的脱脂率见图 1。

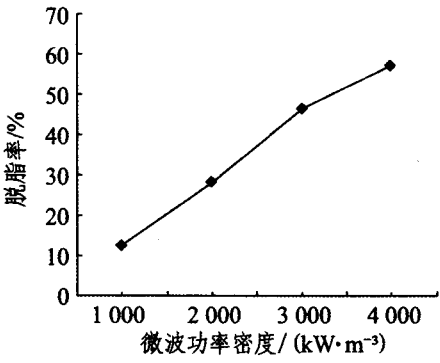


图 1 微波功率密度对脱脂率的影响
Fig.1 Effect of microwave power density on resin removal rate

图1显示,功率密度对木材脱脂率的影响非常显著,随着微波功率密度增大,试件的脱脂率增加,分别为12.95%、28.19%、46.55%、57.26%;试件的平均温度在104~110℃之间;试件的溢脂面积和表面溢脂量亦增加(图2)。

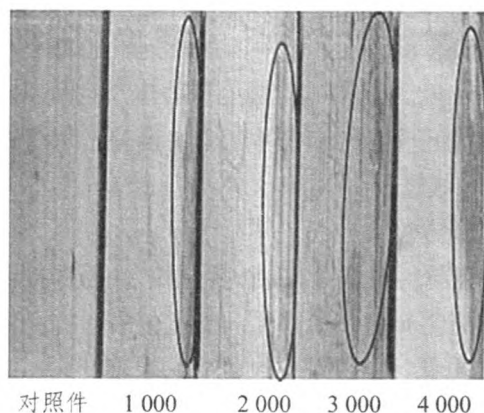


图2 不同微波功率密度时的脱脂效果

Fig.2 Resin removal under different microwave power density

这是因为当微波功率密度增加时,木材在相同时间内获得的能量增加,水分蒸发速率增大,木材内积聚的蒸汽压力与外界形成的压差亦增大,使得木材内水分和树脂的迁移速率和迁移量增加。

2.2 试件初含水率对脱脂率的影响

不同初含水率时,处理材的脱脂率见图3。

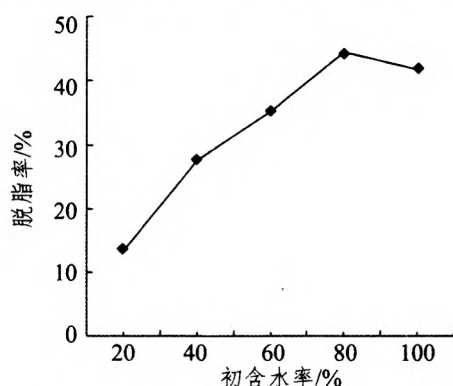


图3 木材初含水率对脱脂率的影响

Fig.3 Effect of initial wood moisture content (MC) on resin removal rate

由图3可知,随着初含水率增加,试件脱脂率呈现先增后减的趋势,在初含水率为80%时达到最大,为44.53%,此时溢脂面积亦达到最大(图4);试件的平均温度介于106~110℃间。

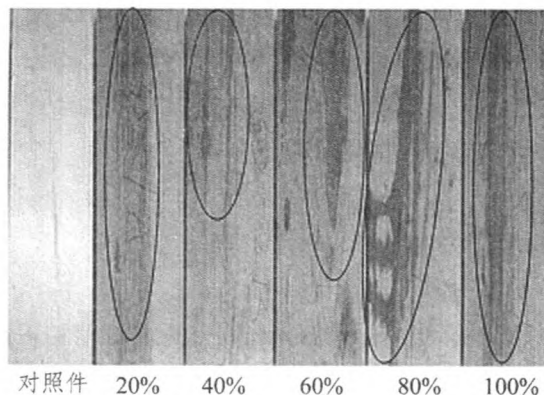


图4 不同木材初含水率时的脱脂效果

Fig.4 Resin removal under different initial wood MC

原因是初含水率较低的木材,微波处理时在其内部积聚的蒸汽压力与外界的压差小,导致水分和树脂的迁移量均相应减少。随着含水率升高,木材内积聚的蒸汽压力增大,与外界的压差亦增大,带动水分和树脂的迁移量增加。

但初含水率过高时,在微波辐射强度和辐射时间相同的条件下,木材内水分子的运动速率以及水分蒸发量减小,导致内外压差减小,故处理材的脱脂率反而有所降低。

2.3 微波辐射时间对脱脂率的影响

不同微波辐射时间对马尾松木材脱脂率的影响见图5。

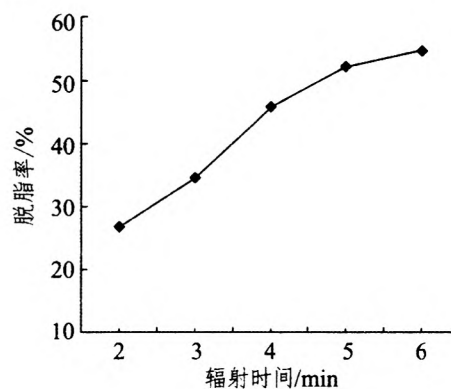


图5 微波辐射时间对脱脂率的影响

Fig.5 Effect of microwave radiation time on resin removal rate

由图5可知,随着微波辐射时间的延长,木材脱脂率增大,材面的溢脂情况(图6)亦印证了此结果。这是由于木材吸收的能量随辐射时间的延长而增多,其内部积聚的蒸汽压力以及内外的压差增大,脱脂量增多。

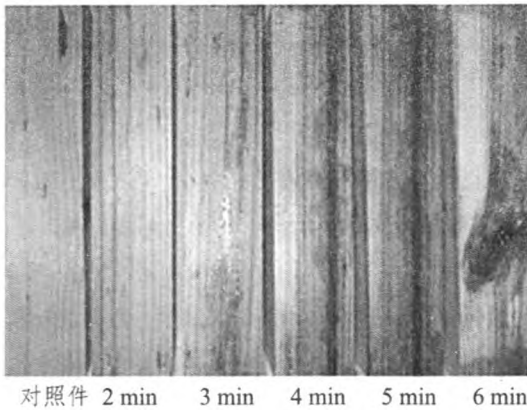


图6 不同微波辐射时间时的脱脂效果

Fig.6 Resin removal under different microwave radiation time

试验结果显示, 试件的温度在 104~109 ℃间波动, 不同微波辐射时间对应的试件脱脂率分别为: 26.87%、34.46%、45.74%、52.08%、54.76%。

单因素试验结果表明, 微波脱脂过程中, 当试件温度介于 104~110 ℃之间, 保持 3~5 min 时, 马尾松木材表面有非常明显的溢脂现象, 且试件内外层脱脂率无显著差别。

2.4 优化试验

为进一步优化微波脱脂工艺, 采用优化试验探索各因素的优化组合。各因素水平对马尾松木材脱脂率的影响结果, 见图 7。

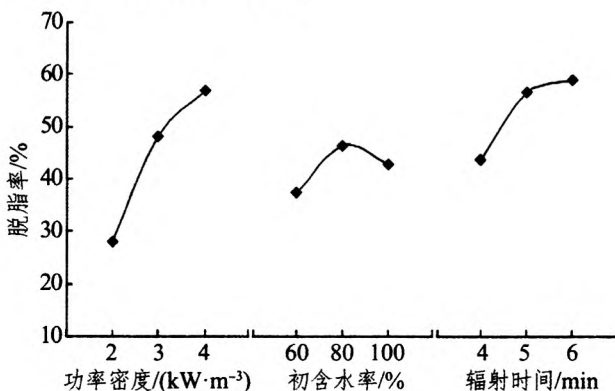


图7 优化试验结果

Fig.7 Results of optimized test

图 7 显示, 木材的脱脂率随微波功率密度的增大和辐射时间的延长而增加, 但随辐射时间的进一步延长, 脱脂率增加缓慢; 随初含水率的增加呈先增后减的趋势。三因素对脱脂率影响的顺序为: 微波功率密度>微波辐射时间>试件初含水率。

综合各因素的影响, 本试验条件下的优化脱脂工艺为: 微波功率密度 4 000 kW/m³、辐射时间 5 min、试件初含水率 80%左右。

此工艺条件下, 马尾松木材的最大脱脂率为 56.24%; 马尾松木材表面有大量溢脂, 在树脂含量丰富的树节和髓心处尤为显著。

采用优化工艺处理的马尾松木材, 刨去木材表面溢脂, 将脱脂材放入 60 ℃的恒温干燥箱中干燥 48 h 后, 材面无松脂外溢现象。

3 结论

1) 本试验范围内, 马尾松木材的脱脂率随微波功率密度的增大和辐射时间的延长而增加, 随试件初含水率的增加呈先增后减的趋势。

2) 根据本试验结果, 确定马尾松木材微波脱脂的优化工艺参数为: 微波功率密度 4 000 kW/m³、微波辐射时间 5 min、试件初含水率约 80%; 在此条件下, 处理材的脱脂率最高达 56.24%。

3) 微波脱脂试件内外层脱脂率无显著差别, 具有处理时间短、工艺简便、脱脂效率高、脱脂材能保持木材本色的优点, 是一种高效节能的松木脱脂新技术。

4) 由于试验设备限制, 本研究采用试件尺寸偏小, 对松木微波脱脂技术的工业化应用, 还有待进一步试验。

参考文献:

- [1] 汪佑宏, 顾炼百. 汽蒸及干燥温度对马尾松锯材脱脂的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27(1): 27-29.
- [2] 王天龙. 兴安落叶松真空干燥脱脂过程中松节油迁移特性及机理的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [3] 余梦洁. 微爆破预处理对落叶松木材干燥及脱脂效果的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [4] 李年存, 彭万喜. 马尾松板材的酸性脱脂技术[J]. 木材工业, 2002, 16(6): 28-30.
- [5] 杨哲, 谢林坤, 彭万喜, 等. 马尾松板材的强碱性脱脂技术[J]. 林业科技开发, 2004, 18(2): 39-40.
- [6] 孙耀星. 落叶松板材脱脂技术研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2001.
- [7] 刘元, 李贤军, 傅峰, 等. 马尾松木材微波脱脂: 模型构建与求解[J]. 林业科学, 2010, 46(11): 115-118.
- [8] 杨霞, 刘元, 李贤军, 等. 微波脱脂过程中木材温变特性研究[J]. 木材加工机械, 2009(2): 11-14.

(责任编辑 孟凡丹、向 琴)