

文章编号: 1000-5692(2005)02-0193-05

电场强度与作用时间对马尾松木材 含水率梯度的影响

钱俊, 金永明, 沈哲红, 俞友明, 楼永生

(浙江林学院 木材科学与技术学科, 浙江 临安 311300)

摘要: 将马尾松 *Pinus massoniana* 板材置于不同的电场 (相距为 20 mm 电板间的一定电势差) 中, 经过不同时间的处理后, 测试和分析其在厚度 (高度) 方向的含水率梯度, 并与未经电场处理的板材比较, 研究电场强度及其作用时间与马尾松木材含水率梯度的影响。研究结果表明: ①电场强度与作用时间对马尾松木材厚度 (高度) 方向的含水率梯度有影响; ②厚度 (高度) 方向的含水率梯度随电场强度 (相距为 20 mm 电板间的电势差) 和作用时间的增加都有不断下移的趋势; ③电场方向对马尾松木材厚度 (高度) 方向的含水率梯度的变化无影响。图 5 参 26

关键词: 木材学; 马尾松; 木材; 电场; 电势差; 含水率梯度

中图分类号: S781.3 **文献标识码:** A

电场在各种电器设备上的应用已十分普遍, 在生物质材料方面的研究与应用也在不断深入和扩展。研究者通过电场处理油葵 *Helianthus annus* 种子, 来研究对其萌发期抗旱性的影响和生物效应^[1,2]; 使用电场对蒸馏水、豆腐的处理来研究其冻结与解冻过程^[3]; 应用高压静电场对大麦 *Honlaim vugare* 和甜菜 *Beta vulgaris* 种子进行处理, 研究自由基含量的变化^[4]; 通过高压静电场处理蔬菜、苹果 *Malus pumila* 和番茄 *Lycopersicon esculentum*, 研究它们的保鲜效果^[5~7]。有研究指出一定的电场强度与作用时间能明显地提高杨树 *Populus tomentosa* 和柳桉 *Eucalyptus saligna* 木材胶合强度^[8~11]。电场加热干燥^[12] 已广泛利用, 高压电场干燥技术及开发研究取得了积极进展^[13]。电场作用下污泥干燥速度较传统方法有明显的提高^[14]; 高压电场能够加速马铃薯 *Solanum tuberosum* 的干燥, 且能够很好地保留维生素 C^[15]; 利用高压电场干燥玉米 *Zea mays* 种子^[16], 高压电场能够加速水分子的脱出^[17]; 高压电场干燥技术在干燥生物制品领域有广阔的应用前景^[18,19], 电场干燥减少了干燥过程能量的消耗^[18], 负电晕电场对不同物料具有明显的加速干燥作用^[20]。静电干燥能明显加快木材 (桐木、松木) 内水分的迁移速率, 其干燥速率是自然干燥的 3~5 倍, 并随静电电场强度的增强而提高。为进一步研究电场对木材干燥的作用机理, 分析电场作用后木材中水分移动的情况, 选用马尾松 *Pinus massoniana* 木材为原料, 在自然条件下, 通过不同低压电场作用, 测试与分析马尾松木材中不同位置水分变化情况, 同时也可寻求利用电场手段对木材进行改良的方法。

1 材料与方法

1.1 材料

将产自浙江临安的马尾松木材, 干燥至含水率为 15%~17%, 加工成厚度为 23 mm 的木板, 要

收稿日期: 2004-03-18; 修回日期: 2005-03-11

作者简介: 钱俊, 副教授, 从事木材科学与技术研究。E-mail: junqian@zjfc.edu.cn

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

求一侧为径向纹理，四面刨光成 $20.0\sim20.2\text{ mm}$ 的厚度，截取长度不小于 500 mm ，木材年轮和材质相近的供试木板300块（实际从中再选取200块）。

1.2 仪器设备

MWD-50微机控制电子式木材万能试验机，CS101-1E电热鼓风干燥箱，电子天平、冷压机及自制直流稳压源（图1）等。图中接触调压器型号为TDGC-1/0.5，4只二极管型号为6A 05 MPm，2只电容均为 $1000\mu\text{F}$ ， 250 V ，用2只 100 W 灯泡作电阻，电压的测量采用ME-500万用电表。

1.3 试验方法

将马尾松板材水平放入（两表面为水平）连接不同电势差的两平行极板间，即置于不同强度的均强电场（相距为 20 mm 电板间的不同电势差）中（图2），在冷压机板面压力为 $0.1\sim0.15\text{ MPa}$ 作用下，经过不同时间后取出。在其同一位置、不同厚度（高度）方向上均分的5个层面（图3）内取一定量的木材，分别密封包装，参照GB1931-1991中的木材含水率测定方法

测试标准进行测试，并与对应的未经电场处理的马尾松木材进行比较，研究与分析其结果。参照以前有关的试验结果^[8~11]，并考虑自制稳压源的性能、试验人员的安全性和尽量不影响实验室的管理，本试验采用的2极板间电势差参数为 $0, 20, 40, 60, 80, 100, 120\text{ V}$ ；进行电场处理的时间参数为 $1, 3, 5, 7\text{ h}$ 。每组参数共做2次。每次分别在不同电场方向上放置2块。

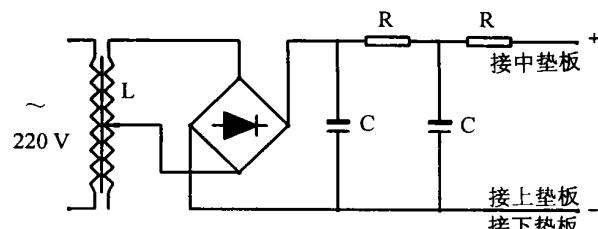


图1 直流稳压电路原理图

Figure 1 Circuit diagram of direct current with steady voltage

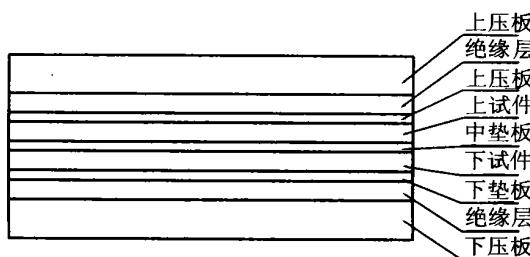


图2 供试的马尾松板材在压机中的放置情况

Figure 2 The location of *Pinus masoniana* board in press

图3 A, B, C, D, E 在马尾松板材中的位置

Figure 3 The location of A, B, C, D and E in *Pinus masoniana* board

将供试木板放入电场（图2）。首先将正、负两极板间电势差稳定在 20 V ，开始计时，每隔 $1, 3, 5, 7\text{ h}$ 后分别在上下2层各取出2块木板，参照GB1931-1991截取，密封包装后送测试室，进行相关参数与性能的测试；然后分别将上、下两极板间电势差稳定在 $40, 60, 80, 100, 120\text{ V}$ ，采用上述同样的方法进行试验和测试。上述每一组参数循环做2次，结果取其平均值。最后分析和研究全部测试结果并与未经电场处理木材的对应参数与性能进行比较。

2 结果与分析

对25组试验的200块板材，参照GB1931-1991进行厚度方向上各部位的含水率测试，并对各试件A, B, C, D, E各位置（图3）实测含水率的数值（共1000个）进行方差分析。

2.1 电场方向对含水率梯度影响的方差分析

不管是随机模型还是固定模型，除C位置（中间位置）外，其他位置的上、下层板与重复组间含水率的显著性水平都大于0.5，远超过0.05，说明电场的方向对含水率在A, B, D, E位置没有影响。这表明电场自身不会使水分产生移动，木材中的水分子总体没有表现出带正、负电荷的性质。虽

然 C 位置的上、下层板与重复板间含水率的显著性水平小于 1%，但还不能说明电场拉动水分子移动，因为 C 位置是木材厚度（高度）方向的中位，其表现出的显著性可能是由于木材中心水分的均匀性差异引起的。

2.2 电垫板间电势差（电场强度）与作用时间对含水率梯度影响的方差分析

不管是随机模型还是固定模型，电垫板间电势差（电场强度）对各位置含水率的显著性水平都小于 0.01，电场作用时间对各位置含水率的显著性水平都小于 0.01，电场强度与其作用时间的交互作用对各位置含水率的显著性水平都小于 0.01。这说明电场的强弱和作用时间的长短极大地影响了各位置的含水率，也就是说电场作用下马尾松木材内厚度（高度）方向上水分因某种原因产生移动。

2.3 电场强度与作用时间对含水率影响的差异性分析

最小显著性差异比较显示：A 位置的含水率在各个电板间电势差之间的显著性水平都小于 0.01，在各个作用时间之间的显著性水平都小于 0.01，A 位置含水率值随着电势差的增加与时间的延长而减少。B 位置的含水率在各个电板间电势差之间的显著性水平都小于 0.01，在 1, 3, 5 h 的作用时间之间的显著性水平都小于 0.01，而 5 h 和 7 h 之间的显著性水平大于 0.1，说明 5 h 和 7 h 时间内无显著差异，B 位置含水率值随电势差的增加与时间的延长而减少，但作用时间在 5 h 后减少的趋势减弱。C 位置的含水率在各个电板间电势差相邻值之间的显著性水平都大于 0.1，在各个作用时间相邻值之间的显著性水平都大于 0.1，说明在 C 位置在本试验范围内的电场强度与作用时间对其含水率无显著影响，从 C 位置含水率平均值的比较中发现电场作用时间延长引起其数值呈波浪变化，而电势差的增加有使含水率逐渐减少的趋势。这可能是 C 位置在本试验的时间内原来的水分流出而上部又有水分流入，并随电场强度的增加水分流出量比流入量有多的趋势。D 位置在 3 h 内的含水率显著性水平为 0.01，其他时间之间的含水率显著性水平都小于 0.01。这说明电场作用时间对该位置的含水率有显著影响，其含水率值前 2 h 下降，后 2 h 显著增加，在电势差为 20, 40, 60 V 之间无显著差异，而 20, 40, 60 V 的电势差与 0, 80, 100, 120 V 之间，其含水率有显著影响，从其含水率值中看出 20, 40, 60 V 范围内 D 位置的含水率有减少趋势，而在 80, 100, 120 V 范围内含水率显著增加。这说明在 D 位置含水率在不同的电势差范围内流出与流入的量有明显的不同。E 位置 1 h 和 3 h 电场作用的含水率显著性水平大于 0.05，对其含水率无显著影响，而经 3~7 h 作用的含水率显著性水平小于 0.01，对 E 位置的含水率有极显著影响，并随作用时间的增加而增加。电势差在 20 V 和 40 V 之间的含水率显著性水平大于 0.05，E 位置的含水率无显著差异，而 20 V 和 40 V 与 0, 60, 80, 100, 120 V 之间有显著差异，并随电场强度的增加，E 位置的含水率显著增加。

3 讨论

3.1 电场处理时间对含水率梯度的影响讨论

从图 4 与图 5 的比较可以看出：马尾松木材在电场处理一定时间后，其含水率梯度有明显变化；随着作用时间的延长，其最大与最小的峰值之差在增加；随着电场强度（相距为 20 mm 的电板间电势差）和作用时间的增加，木材的含水率的最大值从 C 位置移向 D 位置。这可能是因为电场的作用使马尾松木材中非结晶区的极性分子（含水分子）产生一定的定向排列，导致木材的分子与水分子间的作用力减弱，水在重力作用下向下移动，使木材上下不同位置产生的含水率变化，并随着时间的增加，水分向下移动的总量也随之增加。另一方面，根据液体动力学原理，与木材分子紧靠的水分子肯定会在移动中受到更大的阻力，甚至粘附在木材上。由于水的粘性，距木材距离越近，水分子移动时受到的阻力越大，这些水分子在重力作用下移动越困难，这是导致后期水分移动变

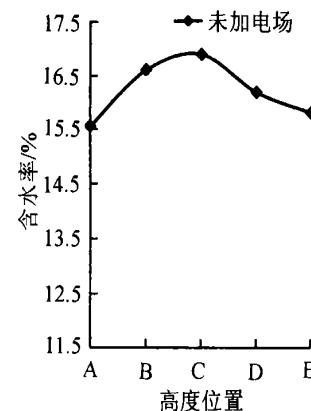


图 4 未经电场处理的马尾松板材厚度（高度）方向含水率梯度

Figure 4 Moisture gradient along height of mason's pine board without treatment by electric field

慢的主要原因。

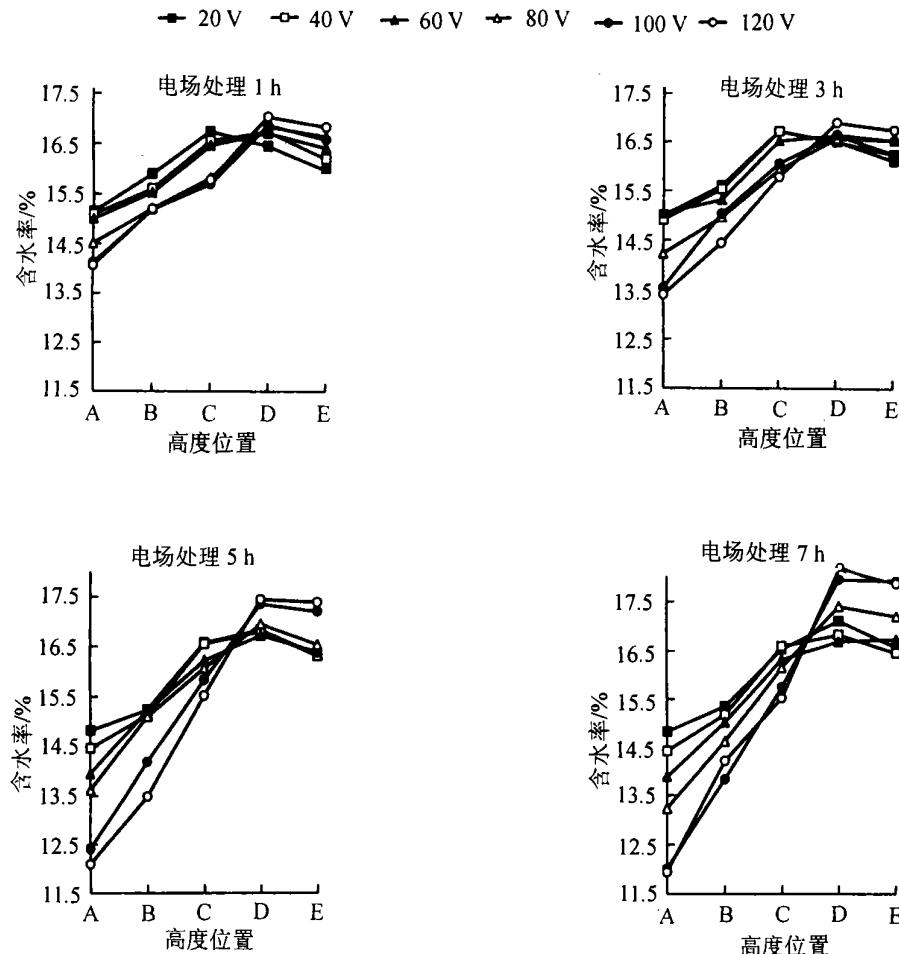


图 5 各电场强度下处理不同时间后的马尾松板材厚度(高度)方向含水率梯度

Figure 5 Moisture gradient along height of masson's pine treated by different electric field intensity for different times

3.2 电场强度对含水率梯度的影响讨论

从图 4 与图 5 的比较可以看出: 随着电场强度(相距为 20 mm 的电板间电势差)的增大, 其含水率最大与最小的峰值之差(梯度)逐渐增大, 含水率的最大值从 C 位置移向 D 位置。这可能是随电场强度的增加, 马尾松木材中极性分子(含水分子)产生定向排列的程度也随之提高, 导致木材的分子与水分子间的作用力减弱量变大, 水分子在重力作用下向下移动速度加快, 使木材上下的含水率变化趋于明显, 水分向下移动的总量也随之增加。另一方面, 由于电场强度总量还是较小, 对木材分子与水分子的定向程度是有限的, 在试验时间范围内, 后期水分子在重力作用下移动变慢。这也反映了水分子移动仍受木材分子对其作用力的影响。

从图 5 中还可以看出, 最下面部分 E 位置木材的含水率不如其上一层 D 位置高, 最上层 A 位置木材在较大电势差(电场强度)和较长时间条件下, 含水率特别低。这些现象的原因是由于马尾松木材在电场作用下, 产生微电流, 木材产生一定的热量, 使表层水分快速挥发, 即电场试验与含水率测试之间, 其表面水分蒸发的缘故。

3.3 电场处理马尾松木材的应用前景讨论

由于电场处理马尾松木材后, 木材中的水分下移, 并随电场强度与作用时间的延长而有增加的趋势, 而与电场方向无关, 说明电场干燥快速并能更多地保持被干燥物质的有效成分^[12~21]的原因是电场作用使被干燥材料的分子与水分子的作用力减弱, 水分在热及压力差等的作用下更容易离开被干燥材料。电场处理马尾松木材后, 木材中的水分下移的试验结果也为速生的木材(如马尾松)及其制品

进行阻燃、防霉、防蛀、防腐、染色等^[20~26]过程中加速改良溶液的渗透提供理论依据, 为速生的木材增值加工处理探索路子。

参考文献:

- [1] 侯建华, 杨体强, 吕剑刚, 等. 电场处理油葵种子后对其萌发期抗旱性的影响[J]. 生物物理学报, 2003, 19(2): 193—197.
- [2] 杨体强, 邓一兵, 那日. 电场处理油葵种子萌发期的生物效应与处理条件的关系[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2003, 34(2): 188—190.
- [3] 李法德, 李里特, 辰已英三. 电场对蒸馏水、豆腐冻结与解冻过程的影响[J]. 食品科学, 2000, 21(12): 48—51.
- [4] 白亚乡, 胡玉才. 高压静电场对农作物种子生物学效应原发机制的探讨[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 49—51.
- [5] 李里特, 赵朝辉, 方胜. 高压静电场下黄瓜和豇豆的保鲜试验研究[J]. 中国农业大学学报, 1998, 3(6): 107—110.
- [6] 杨光德. 高压静电果蔬保鲜机理分析[J]. 淄博学院学报: 自然科学与工程版, 2000, 2(2): 32—35.
- [7] 方胜, 李里特. 静电场对番茄保鲜过程的影响[J]. 食品科学, 1997, 18(1): 5—9.
- [8] 钱俊, 张文标, 金永明, 等. 电场对杨木胶合效应之初探[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(2): 109—110.
- [9] 钱俊, 金永明, 张文标. 电场对杨木胶合效应之初探[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(3): 293—296.
- [10] 钱俊, 叶良明, 张文标. 电场作用时间对杨木胶合效应的初探[J]. 木材工业, 1999, (3): 7—9.
- [11] 钱俊, 金永明, 俞友明, 等. 电板间的电势差对柳桉单板的胶合效应[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(5): 40—42.
- [12] 阮云岭. 极板式高频电场技术的应用[J]. 压缩机技术, 1998, (5): 26—28.
- [13] 梁运章, 丁昌江. 高压电场干燥技术及开发研究[J]. 科学技术与工程, 2003, 3(2): 196.
- [14] 马德刚, 张书廷. 电场协同污泥热干燥技术的研究[J]. 中国给水排水, 2003, 19(12): 65—66.
- [15] 丁昌江, 杨军, 梁运章. 高压电场干燥马铃薯的试验研究[J]. 食品科学, 2004, 25(5): 43—45.
- [16] 丁昌江, 梁运章. 高压电场干燥植物种子的机理研究[J]. 中原工学院学报, 2003, 14(S1): 26—28.
- [17] 丁昌江, 杨军, 梁运章. 高压电场浓缩液体物料技术的研究及进展[J]. 物理学报, 2004, 33(6): 435—437.
- [18] 梁运章, 那日, 白亚乡, 等. 静电干燥原理及应用[J]. 物理, 2000, 29(1): 39—41.
- [19] 杨军, 丁昌江, 白爱枝, 等. 高压电场干燥技术在生物制品中的应用[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2004, 35(5): 509—511.
- [20] 董守缓, 梁运章. 电晕电场对物料干燥的试验[J]. 高电压技术, 1996, 22(2): 69—71.
- [21] 傅深渊, 刘志坤, 王学利, 等. 马尾松材的防霉研究[J]. 林产工业, 2000, 27(5): 13—15.
- [22] 许斌, 张齐生. 竹材通过端部压注处理进行防裂及防蛀的研究[J]. 竹子研究汇刊, 2002, 20(4): 61—66.
- [23] 魏新莉, 向仕龙, 何华. 速生材压缩强化处理的工艺与设备进展[J]. 林业机械与木工设备, 2003, 31(11): 31—33.
- [24] 马掌法, 李延军, 金永明, 等. 速生杉木染色技术初步研究[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(3): 321—324.
- [25] 孙芳利, 段新芳, 冯得君. 木材染色的研究概况及发展趋势[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(3): 96—98.
- [26] Li Y D. Wood stain and its prevention and control [J]. News! Wood Based Panels, 2002, 3: 10—13.

Effect of intensity and work time of electric field on moisture gradient of *Pinus massoniana* wood

QIAN Jun, JIN Yong-ming, SHEN Zhe-hong, YU You-ming, LOU Yong-sheng

(Wood Science and Technology Discipline, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The moisture gradient along height of *Pinus massoniana* wood were tested and analyzed, which were treated by electric field for different intensity and work time, and were compared with the untreated wood. The results showed: (1) The intensity and work time of electric field had effect on the moisture gradient along height of the wood. (2) The moisture gradient along height of the wood subsided with the increase of electric field intensity and work time. (3) But the direction of electric field had no effect on the moisture gradient along height of the wood. [Ch, 5 fig, 26 ref.]

Key words: wood science; *Pinus massoniana*; wood; electric field; potential difference; moisture gradient