

研究简报

竹材热压干燥过程中的水分扩散研究

孙照斌

(河北农业大学林学院, 河北保定 071000)

摘要: 采用非稳态法测定龙竹竹材热压干燥过程中的水分扩散系数,并探讨了温度对水分扩散系数的影响。结果表明:干燥温度越高,干燥各阶段水分扩散系数及平均水分扩散系数也越大;初始高含水率阶段,随含水率逐渐降低,水分扩散系数呈逐步增加趋势,在纤维饱和点附近时达最大值;随后,随含水率逐渐降低呈逐步减少趋势。

关键词: 竹材; 热压干燥; 水分扩散系数

中图分类号: S795; TS65 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2006)05-0027-03

Moisture Diffusion in Bamboo Timber during Hot-pressing Drying

SUN Zhao-bin

(Forestry College, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: The moisture diffusion coefficient of bamboo timber during hot-pressing drying was measured and analyzed by a non-balance method and the effect of temperature on the moisture diffusion coefficient was evaluated. The results showed that the moisture movement was mainly controlled by both temperature gradient and moisture gradient. The higher the drying temperature was, the bigger the moisture diffusion coefficient was at every drying stage. The moisture diffusion coefficient was increased at the early drying stage when the moisture content was high, and hit the maximum value when the moisture content drew close to the fiber saturation point, and then decreased gradually as the moisture content decreased.

Key words: bamboo timber; hot-pressing drying; moisture diffusion coefficient(MDC)

竹材干燥是竹集成材和竹地板等产品生产中的重要环节。采用热压法干燥竹材,由于加热板供热温度高、与被干燥竹材接触紧密、传热量大,而使竹材获得快速干燥。近十年来,国内外对木材水分扩散进行了不少研究,这些研究主要集中在用稳态法测定水分扩散系数,或用非稳态法测定分析木材干燥过程中的水分扩散系数^[1-4]。竹材热压干燥过程中的水分扩散属于非稳态扩散。

本研究就龙竹竹材热压干燥过程中的水分扩散特性进行试验和分析,旨在了解其干燥特性,为进一步探索竹材的干燥工艺和干燥机理提供参考。

1 基本理论

木材干燥过程中,垂直于板面的非稳态水分扩散,可用 Fick 第二定律表示^[5]。通过分析后认为:竹材与木材结构和性质相近,因而可以沿用木材水分非稳态扩散相关理论。

根据 Crank 的假设,如要求出竹材的水分扩散系数,先引入无因次方程求解:

$$\bar{E} = \frac{(\bar{M} - M_i)}{(M_s - M_i)} \quad (1)$$

式中: $\bar{E}$ —竹材平均含水率的变化率; $\bar{M}$ —时间 t 时竹材平均含水率,%; M_i —竹材初含水率,%; M_s —竹材表层含水率,%。

同时,再引入无因次方程: $\tau = \frac{t \cdot D}{h^2}$ (2)

式中: τ —无因次时间; t —干燥时间,h; D —扩散系数, m^2/h ; h —1/2 竹材厚度,m。

收稿日期:2005-12-23; 修改稿:2006-06-29

基金项目:云南省教育厅应用基础研究项目“竹材干燥工艺及干燥机理研究”(02ZD050)的部分内容。

作者简介:孙照斌(1967—),男,河北农业大学林学院副教授,博士。

万方数据

Crank 提出了求解 $\bar{E}$ 值的方程:

当 $\tau \geq 0.2$ 时,
$$\bar{E} = 1 - \frac{0.811}{\exp(2.47\tau)} \tag{3}$$

当 $\tau < 0.2$ 时,
$$\bar{E} = 1.13\sqrt{\tau} \tag{4}$$

将上述两式分别代入(2)式得:

当 $\tau \geq 0.2$ 时,即根据(3)式可知:当 $0.505 \leq \bar{E} <$

1 时,
$$D_2 = \frac{h^2}{9.88t} \cdot \ln \frac{0.811}{1.0 - \bar{E}} \tag{5}$$

当 $\tau < 0.2$ 时,即根据(4)式可知:当 $\bar{E} < 0.505$

时,
$$D_2 = \frac{(\bar{E})^2 h^2}{5.1t} \tag{6}$$

2 材料与方法

2.1 材料

龙竹(*Dendrocalamus gigangteus*)采自云南新平县,采伐以竹杆高度 20 m 以上、胸径约 15 cm 的鲜竹,选取从根部以上 0.5~3.0 m 段,竹壁厚约 30 mm 的部位为试验用材。

同一段竹筒上取 12 个竹材试件,去竹青和竹黄,试件尺寸:300 mm×30 mm×16 mm。试件在 60℃ 水浴锅中水煮 3 h 后捞出备用,试件初含水率 110% 左右。为保证水分只沿径向(厚度方向)移动,试验前将竹材试件进行封涂端部和两侧边处理。

2.2 方法

不同热压温度(130、150 和 170℃)下的竹材水分扩散系数,用连续称重法分析。每一温度试验时,在热压机中同时放入同一竹筒上加工好的 3 个试件,压力 0.2 MPa,每隔 5 min 取出试件,立即称重,直至试件绝干。计算各阶段试件含水率,按相关公式计算竹材干燥过程中各阶段的水分扩散系数,并取各温度条件下 3 个试件水分扩散系数的平均值进行比较。

2.3 试验设备

恒温水浴锅、400 mm×400 mm 的小型框架式热压机、烘箱、电子天平(0.01 g)。

3 结果与讨论

不同热压温度干燥竹材时,其无因次含水率 $\bar{E}$ 值随干燥时间的变化见图 1,竹材厚度方向水分扩散系数随干燥时间变化情况见图 2。

从图 1 中可以看出:随干燥时间延长,竹材含水率逐步下降,竹材试件在各个时刻的含水率的变化量(即无因次转移势) $\bar{E}$ 值逐渐增大;高温干燥与低温干燥相比,高温干燥时 $\bar{E}$ 值增大较快,干燥到终含水率所需时间较短。

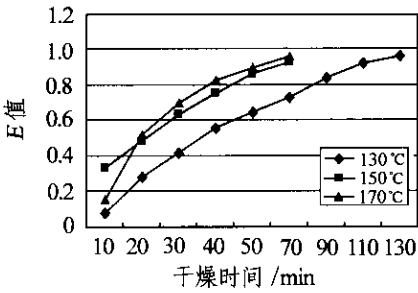


图 1 不同干燥温度下竹材 $\bar{E}$ 值随干燥时间的变化

Fig. 1 $\bar{E}$ value varied with drying time at different temperatures

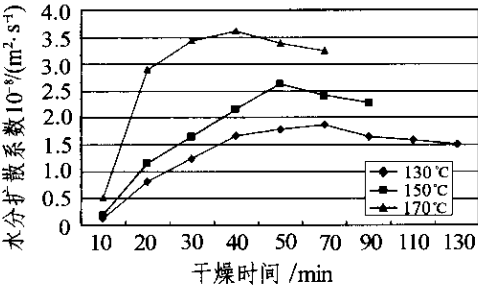


图 2 厚度方向水分扩散系数随干燥时间的变化

Fig. 2 Moisture diffusion coefficient of bamboo timber in thickness direction with respect to drying time

从图 2 中可以看出:干燥温度对水分扩散系数影响较大,干燥温度越高,各阶段水分扩散系数越大,平均水分扩散系数也越大;130、150 和 170℃ 干燥时,全程平均水分扩散系数分别为 $1.36 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $2.04 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ 和 $2.85 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

竹材径向水分扩散系数随含水率变化(150℃干燥时)见图 3。从图 3 中看出:初始高含水率阶段,随干燥时间延长,水分扩散系数呈逐步增加趋势;当含水率接近纤维饱和点附近时,水分扩散系数达最大值;随干燥时间继续延长,含水率逐渐降低,水分扩散系数亦呈逐步降低趋势。

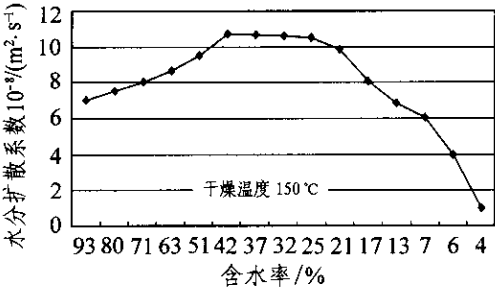


图 3 厚度方向水分扩散系数随含水率的变化

Fig. 3 Moisture diffusion coefficient of bamboo timber in thickness direction with respect to MC

在 3 种温度条件下,竹材的水分径向扩散系数的最大值均在纤维饱和点附近,并随着吸着水含水率的降低而减少。因此,竹材的干燥速度会越来越慢。

竹材内部水分扩散系数,受到竹材内毛细管的分布、水的表面张力、黏性和竹材含水率的影响,在含水率为 0 和毛细管的分布不连续情况下,水分传导率接近于零。水分传导率与表面张力成正比,与黏性系数成反比。

竹材在干燥过程中,内部的水分向外层移动,逐步形成了内高外低的含水率梯度和水蒸气分压梯度。竹材含水率在纤维饱和点以上时,随着含水率的降低,竹材中部的水分逐步减少,含水率低于纤维饱和点,水分由表层向内层不断延伸,因而竹材的水分扩散系数随含水率的降低而增加;当含水率达到纤维饱和点时,竹材中的自由水蒸发完毕,扩散系数达最大值;含水率在纤维饱和点以下时,水分以水蒸气和结合水的形式在竹材内扩散,因此在竹材内移动的水分的全扩散系数,是水蒸气和结合水的扩散系数组合而成。由于通过微细孔的水蒸气的扩散是在受束缚的状态下进行的,当水分子通过纹孔膜上的微细孔时,与纹孔膜碰撞而被吸着的水分子很多,所以通过微细孔的速度比通过细胞腔要慢。因此,在纤维饱和点以下时,结合水的缓慢扩散控制着全扩散的速度^[6]。

按照此水分扩散规律,在热压干燥过程中,干燥前期呼吸间隔可短些;干燥后期呼吸间隔可相对长些,热压压力也可适当降低,以利于竹材内部水分向外扩散。

由于干燥过程中竹材各层温度分布不同,竹材内部由于水分汽化所产生的蒸汽压也不同。在不同的蒸汽压下,水分扩散程度有差异。温度高,蒸汽压力

大,水分扩散剧烈;温度低,蒸汽压力低,水分扩散缓慢。因而在 3 个热压温度下的水分扩散系数差异大,高温干燥时,水分扩散系数较大。

4 结论

1) 干燥温度对竹材厚度水分扩散系数影响较大,干燥温度越高,干燥各阶段水分扩散系数越大,平均水分扩散系数也越大。

2) 初始高含水率阶段,随干燥时间延长,水分扩散系数呈逐步增加趋势,当含水率达到纤维饱和点附近时,水分扩散系数达最大值;随后,随干燥时间延长,含水率逐渐降低,水分扩散系数呈逐步降低趋势。

3) 根据竹材热压干燥过程中的水分扩散规律,在热压干燥前期,呼吸间隔应短些;干燥后期呼吸间隔可相对长些,热压压力也可适当降低,以利于竹材内部水分向外扩散。

参考文献:

- [1] 杜国兴. 木材水分非稳定扩散的研究[C]. 木材干燥学术讨论会论文集, 1999: 150-154.
- [2] 李大纲. 马尾松木材干燥过程中水分的非稳态扩散[J]. 南京林业大学学报, 1997(1): 75-79.
- [3] 苗平, 顾练百. 马尾松木材在高温干燥过程中的水分扩散性[J]. 林业科学, 2002, 28(2): 103-107.
- [4] SIMPSON W T. An optimization technique to determine red oak surface and internal moisture transfer coefficients during drying[J]. Wood & Fiber Science, 1997, 29(4): 312-318.
- [5] SIAU J F. Transport process in wood[M]. New york: Springer-Verlag, 1984: 95-97.
- [6] [美]约翰 F 肖. 木材传质传热过程[M]. 肖亦华译. 北京: 中国林业出版社, 1989.

(责任编辑 鲍加芬)



欢迎订阅 2007 年《林业科学》

中国林学会主办的林业综合性学术期刊, 1955 年创刊, 2 次荣获“国家期刊奖”, 代表中国林业科学研究和林业科技期刊的高水平。主要刊登: 林业及相关领域的最新科研成果, 及时反映国家林业建设重点和热点, 评述学术动向, 开展学术讨论, 促进国内外学术交流。内容包括: 森林培育、森林生态、林木遗传育种、森林保护、森林经理、森林与生态环境、生物多样性保护、野生动植物保护与利用、园林植物与观赏园艺、经济林、水土保持与荒漠化治理、林业可持续发展、森林工程、木材科学与技术、林产化学加工工程、林业经济及林业宏观决策研究等方面。以学术论文、研究报告、综述为主, 设有学术问题讨论、研究简报、万方数据

科技动态、新书评介等栏目, 同时接受英文稿件(附中文摘要), 读者对象为国内外从事林业各个领域研究的科技人员、林业管理干部以及高等院校师生。

每月 25 日出版, 大 16 开 128 页, 单价 25 元, 全年 300 元。国内外公开发行, 刊号: CN 11-1908/S, 邮发代号 82-6。也可直接向编辑部订阅。

地址: 100091, 北京万寿山后中国林学会

《林业科学》编辑部

电话: 010-6288 9820, 6288 8579

Email: linykx@forestry. ac. cn 或 linykx@caf. ac. cn

http: //lyke. chinajournal. net. cn