

综 述

木材渗透性研究的现状与趋势

彭万喜¹, 李凯夫¹, 张党权²

(1. 华南农业大学林学院, 广州 510642; 2. 中山大学生命科学学院, 广州 510275)

摘要: 本文在综合分析大量文献的基础上, 详细介绍了国内外木材渗透性研究领域中的主要理论和常用的木材结构模型, 简述了我国学者在木材渗透性应用上取得的主要成果, 并提出一些今后研究的方向。

关键词: 木材; 流体; 木材渗透性

中图分类号: TS6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2004)05-0008-03

Review of Research on Wood Permeability

PENG Wan-xi¹, LI Kai-fu¹, ZHANG Dang-quan²

(1. School of Forestry, South-China Agriculture University, Guangzhou 510642, China;

2. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on an overall analysis of the worldwide research on wood permeability, this paper summarized the primary theories and techniques for studying wood permeability. The achievements in this area of study made by the Chinese researchers were also reviewed.

Key words: Wood; Fluid; Wood permeability

随着我国天保工程的实施, 木材工业原料供应逐步转向人工林。人工林生长快, 成材早, 材质较疏松, 强度低, 易开裂翘曲, 由于人工林木材有其自身的特点, 因而在加工工艺方面尚有系列待解决的技术问题。通过几年的研究开发, 人工林木材在纤维板、刨花板、胶合板、细木工板等领域的应用技术日臻成熟, 而人工林木材的软化、强化、漂染、阻燃等功能性改良处理则不同程度地受到木材渗透特性的制约^[1]。笔者在综合分析大量文献的基础上, 较为详细地介绍了国内外木材渗透性方面的研究进展, 为今后的研究与应用提出建议。

1 木材渗透性研究的现状

1.1 木材渗透理论与常用模型

木材渗透性是描述气体或液体(统称“流体”)在木材中渗透难易程度的物理量, 是木材的一个重要性质指标。木材渗透理论以达西(Darcy)定律为基本出发点, 根据木材对流体具有吸附作用而使木材渗透与

Darcy 定律发生的偏离, 对 Darcy 定律的形式进行修正而建立。同时, 渗透理论应用于木材时, 复杂的木材结构需要简化, 从而产生对应的木材结构模型。为了满足 Darcy 定律, 将木材结构视为是由数目众多、大小均匀、互不相通且平行排列的毛细管所组成的, 这种结构简称为均匀并联毛细管模型。该模型是最简化的流体纵向渗透木材结构模型, 特别适用于导管开口的环孔材流体纵向渗透, Smith 和 Lee 使用该模型计算了几种阔叶树材的纵向渗透系数, 发现计算结果与试验值吻合^[2]。

1937 年 Adzumi 推导出气体复合流 Adzumi 方程; Klinkenberg 应用 Warburg 滑流理论从 Adzumi 方程出发, 在 1941 年得到木材气体渗透试验中常用的计算比渗透率的 Klinkenberg 公式:

$$K_g = k(1 + b \sqrt{\bar{p}})$$

式中 $\bar{p}$ 为测量过程中气体的平均压力。对于针叶树材不论气体纵向渗透还是横向渗透, 都可看作为管胞腔流阻和纹孔膜微孔流阻的串联。若纹孔膜微孔半径足够小, 管胞腔流阻可忽略, 则可用 Klinkenberg 方程描述渗透系数与平均压力倒数间的线性关系。

收稿日期: 2003-10-28
作者简介: 彭万喜(1973-), 男, 华南农业大学林学院博士研究生。

Sebatian 于 1965 年首先运用 Klinkenberg 方程研究白云杉木材结构特性,因此,该模型被称为 Sebatian 针叶树材模型^[2]。

根据试验结果, Bramhall^[3]在 1971 年提出了木材纵向渗透有效截面衰减模型。木材内气体纵向渗透经由许多互相不连通的通道进行,每一个通道由一系列细胞头尾连接而成,组成这些通道的细胞中某个可能被堵塞,通道越长堵塞的几率越大,被堵塞的通道数目与通道的长度即试件长度成正比,这样就得到了木材中流体渗透截面、渗透系数随长度作指数衰减的公式:

$$K = K_0 e^{-bL}$$

式中 K_0 为 $L \rightarrow 0$ 时的渗透系数, L 为试件长度。据此认为,木材内存在流导值(流阻值)相差悬殊的两大类等效毛细管,木材流导就是由许多个这两种毛细管串联通道平行排列所构成,一个通道的流阻为:

$$1/g = 1/g_t + 1/g_L$$

式中 g_t 为管胞或导管的流导, g_L 为纹孔膜微孔的流导, g 为两流阻串联的等效流导,木材的渗透系数则为单位渗透截面所有通道等效流导的并联值。这就是常用的 Petty 模型,即流体纵向渗透的木材结构模型,可用来说明渗透系数与平均压力倒数间的非线性关系。

1988 年, Bolton^[4]改进了 Bramhall 的模型,认为各个通道间有部分相通,使之更符合木材的实际结构,改进后的理论公式计算结果与试验结果更相符。当纹孔膜微孔比管胞腔小很多,管胞腔对流体阻力可忽略,流体渗透阻力全由纹孔膜微孔产生。据此, Comstock^[5]假定纹孔全部位于管胞的径面并集中在管胞两端,并假定所有纹孔膜微孔大小相同,管胞端部均有两个纹孔对,将上下左右相邻的管胞连通,一系列平行排列的成串管胞构成木材渗透通道,连接相邻管胞的纹孔对是流体纵向、横向渗透通道,此模型被命名为 Comstock 针叶树材模型。Comstock 据此导出了针叶树材纵向、横向渗透系数比值的表达式,计算结果与试验结果十分接近。

木材流体渗透试验表明,当雷诺数在 0.1~10 的范围内,纹孔膜微孔中流体的流动是非线性流,这是流体因黏滞性在毛细管末端产生动能损耗所致。对于非线性流 Q^2 与 ΔP 成正比,1929 年 Erk 首先导出了毛细管的非线性流方程,两年后 Barr 得出考虑了 Couette 修正的方程形式:

$$\Delta P = 8\eta LQ/(\pi r^4) + m\sigma Q^2/(\pi^2 r^4)$$

式中 η 为流体密度, m 为动能末端效应损耗系数, r

为毛细管半径, L 为毛细管实际长度, η 为流体的粘滞系数。1995 年, Siau^[5]根据 Couette 修正以及气体膨胀和滑流的影响,分别导出了适用于木材中非线性液态和气态流方程,计算结果与试验结果更符合。

2002 年, 鲍甫成等^[6,7]根据针叶树材管胞流阻和管胞在纵向、径向、弦向的连接特性,建立了一个描述针叶树材气体渗透性的三维流阻网络模型,提出了针叶树材气体渗透的三维流阻网络理论,利用该理论和模型计算的马尾松试件纵向、径向和弦向渗透系数与测量值进行比较,结果表明两值相符合。

在木材渗透性研究中,还采用直接试验观察的方法研究木材渗透性,通常是将含有示踪剂(染料、铜、碳、砷等离子)的液体渗入木材试件,然后切片制样,用光学显微镜、电子显微镜及其它成像设备观察示踪剂移动和分布情况,了解掌握渗透的机理和规律。其中我国学者黄淑英等^[8]于 1988 年利用附有能谱仪的扫描电镜观察示踪离子 Ag^+ 在木材微观结构中的分布并测算了其相对含量。

1.2 木材渗透理论和模型的应用

现代木材加工处理工业的兴起,如阻燃、防腐、干燥、漂白、染色、油漆、浸提、制浆、造纸等,都是基于木材具有流体可渗性。因此,将木材渗透理论和模型应用于实际具有重要意义。

(1) 侯祝强等^[2]归纳总结了我国 1994 年以前在木材渗透性研究方面成果,探索了木材渗透性与木材构造及其显微和超显微构造之间的关系,得出木材渗透性与木材密度基本无关、决定针叶树材渗透性的最重要因素是纹孔膜微孔数量及其半径大小的结论,提出了早晚材渗透性的高低因树种而异的新说和木材渗透性可控制原理,纠正了以往晚材渗透性必高于早材的看法和以往认为桐木具有隔潮耐湿性的误解;并完成了我国主要生产用木材渗透系数的测量工作,为木材渗透性研究和加工处理应用提供了试验基础与数据。

(2) 刘元^[9]在 1994 年利用热处理改善桉树的渗透性,并得出热处理工艺为 140℃, 5h。

(3) 1998 年, 赵有科等^[10]提出搭接面及侧面胞壁上纹孔在流体纵向渗透时的不同作用,结果表明:针叶树木材流体渗透系数等于早、晚材对其贡献之和,早、晚材对其的贡献,分别等于单位面积上流体流动路径数、管胞平均长度与纹孔膜膜缘厚度比值及纹孔膜微孔的比渗透性三者之积。经验证,研究结果与实测值基本相符。

(4) 鲍甫成等^[11]研究了纹孔塞不同位置、处理方

法对渗透性的影响,指出普通气干材的绝大多数纹孔塞偏离中央位置,气体渗透性较低。经酒精置换的气干材,绝大多数纹孔塞保持中央位置,渗透性比普通气干材大。气干材经水浸处理后再用酒精置换处理,心材的早、晚材纹孔闭塞率降低,渗透性提高。

(5)2001年,苗平等^[12]对马尾松木材横向液体渗透性的研究表明,马尾松木材的径向液体渗透性大于弦向,并且马尾松木材的径向、弦向液体渗透性都是从边材向心材逐渐减小,并随着含水率的下降而升高。

(6)傅国建等^[13]研究了三种木材的渗透性与阻燃处理的关系,其结果证明木材的阻燃处理与木材渗透性有着密切的关系。

(7)孙耀星等^[14]在2002年指出在加热条件下,落叶松因树脂具有了流动性而使渗透性得到改善,同时浸注深度和湿重随加压时间、压力、温度的增加而增大。

(8)鲍甫成等^[15]对杉木和马尾松木材渗透性与微细结构的关系进行研究,结果表明,杉木和马尾松边材渗透性比心材高,溶剂置换干燥木材渗透性高于普通气干材。

由此可见,近十年来,我国木材科技工作者的研究工作主要集中在木材渗透性可控制途径方面,主要体现在研究木材结构和处理方法对木材渗透性的影响,对解决实际生产中的木材难渗透问题具有一定的理论指导作用。同时也应该看到,整个木材行业中参与渗透性研究的人员比较少,其研究的深度、广度和适用性需要更进一步加强。

2 木材渗透性研究前沿课题

在21世纪的今天,国内外从事木材渗透性研究的木材科学工作者面临着新的挑战。

首先,与渗透性有关的木材加工过程,如木材干燥、防腐、阻燃、染色、化学制浆等所涉及的都是非稳态渗透过程,即描述过程的参数是与时间有关的量。但以前的模型过于理想化,且大多使用稳态流数据拟合非稳态渗透,因此,建立一个符合木材非稳态渗透实际过程的理论模型,设计出适用的非稳态木材渗透性实验方法,是一项在理论与生产应用上都极为重要的工作^[2]。

其次,由于测量大尺寸试件流体渗透系数在实际操作上有困难,目前关于木材渗透性的研究都是基于实验室规模的小尺寸试件,而木材渗透性的变异极大,小尺寸试件渗透性在实际的应用有一定局限性,很难准确反映大尺寸试件的实际渗透特性。因而构造

大尺寸木材试件的流体渗透模型研究其渗透性,预测和估算大尺寸木材试件流体渗透系数,从而缩短试验研究与生产实践的差距,更有效地应用在木材工业的有关生产实际中,避免“大尺度效应”发生。

另外,对木材渗透性的研究多集中在木材的纵向气体渗透性和材性对气体渗透性的影响,以及气干和窑干对木材渗透性的影响等方面,而对木材的液体渗透性研究不多;对木材渗透理论方面研究较多,但木材渗透性的评价指标过于理论化,将木材渗透性研究应用于生产指导的少,严重阻碍着研究成果转化为生产力。因此,充分论证和制定合理的、实用的木材渗透性评价指标,如渗透深度、渗透速率等已迫在眉睫,以便更有利于促进中国现代木材加工处理工业的蓬勃发展。

参考文献:

- [1] 彭万喜. 人工速生工业林木材增值利用[D]. 中南林学院硕士学位论文,2003.
- [2] 侯祝强,庄作峰. 木材流体渗透性研究的发展与趋势[J]. 世界林业研究,1999(1):34-37.
- [3] Bramhall G. The Validity of Darcy's Law in the Axial Permeability of Wood[J]. Wood Sci Technol, 1971, 5(2): 12-34.
- [4] Bolton A J. A Reexam Ination of Some Deviations from Darcy's Law in Coniferous Wood[J]. Wood Sci Technol, 1988,22(4): 311-322.
- [5] Siau J F. Wood: Influence of Moisture on Physical Properties [J]. Wood Sci and For Prod, Virginia Poly Technic Insti and State Uni Virginia,1995.
- [6] 鲍甫成,侯祝强. 针叶树材纵向气体渗透的三维流阻网络[J]. 林业科学,2002,38(4):111-116.
- [7] 侯祝强,鲍甫成. 针叶树材径向和弦向气体渗透的三维流阻网络[J]. 林业科学,2002,38(6):93-98.
- [8] 黄淑英,郭松令,高瑞堂等. 能谱法分析研究木材的流体渗透性[J]. 东北林业大学学报,1988,16(2):79-82.
- [9] 刘元. 桉树热处理及其渗透性能的改善[J]. 木材工业,1994,8(3):30-34.
- [10] 赵有科,鲍甫成. 针叶树木材流体纵向渗透性与其构造关系的理论分析[J]. 林业科学,1998,(4):88-95.
- [11] 鲍甫成,吕建雄,赵有科. 长白鱼鳞云杉木材纹孔塞不同位置对渗透性的影响[J]. 植物学报,2001,43(2): 119-126.
- [12] 苗平,顾炼百. 马尾松木材横向液体渗透性的研究[J]. 中南林学院学报,2001(4):40-43.
- [13] 傅国建,杨文斌,肖忠平. 三种木材的渗透性与阻燃处理关系[J]. 福建林业科技,2001(3):18-20.
- [14] 孙耀星,张士成,赵艳. 提高落叶松材渗透性的研究[J]. 林业科学,2002,38(6):42-44.
- [15] 鲍甫成,赵有科,吕建雄. 杉木和马尾松木材渗透性与微细结构的关系研究[J]. 北京林业大学学报,2003(1):1-5.