

研究与应用

木材真空-过热蒸汽干燥的预热特性

伊松林, 张璧光, 常建民

(北京林业大学工学院干燥中心, 北京 100083)

摘要: 在真空状态下, 分别对过热蒸汽和空气为干燥介质时木材干燥预热阶段进行对比试验, 探讨了木材在真空-过热蒸汽干燥中预热阶段的工艺特性。结果表明: 过热蒸汽干燥的预热阶段进行得非常迅速, 同时其表面水分的凝结量也较以空气为介质时表面水分的凝结量大。

关键词: 真空干燥; 过热蒸汽; 预热阶段

中图分类号: TS652 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2002)05-0021-03

Pre-heating Characteristics in Wood Vacuum-Superheat Steam Drying

YI Song-lin, ZHANG Bi-guang, CHANG Jian-min

(Drying Center of Industry School of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Wood drying experiments were made under vacuum conditions using a pre-heating stage of either superheated steam or air as a drying medium. The results indicated that the wood vacuum-superheat steam drying preheating stage dried the wood more quickly; meanwhile, the quantity of condensed water on lumber surfaces was also more than that in vacuum air drying.

Key words: Drying of vacuum; Superheat steam; Pre-heating stage

木材的干燥能耗约占木制品生产总能耗的 40%~70%^[1]。合理的干燥工艺, 既是保证木制品质量的关键, 又是合理利用木材、节约木材和降低能耗的重要手段。长期以来, 从事木材干燥的学者们对常压下木材中水分移动的变化规律进行了大量的研究, 已初步建立起较完善的理论体系, 部分模型能够在一定范围内较好地反映木材中水分传递的规律。然而, 近几十年来, 干燥技术发展缓慢^[2], 这与以干燥理论解决实际生产技术问题的重视程度不够有关。

传统的干燥方法通常是以(湿)空气作为干燥介质, 将空气温度、相对湿度和气流速度作为控制木材干燥过程的三要素。然而, 影响木材内部水分向外移动和蒸发强度的主要外界因素除了上述三要素之外, 环境压力的影响也相当重要。在影响木材内部水分向外移动速度的因素中, 周围空气的压力是决定性因素。在绝对压力为 60 mmHg 柱(0.008 MPa)时, 木材内水分移动速度大约是压力为 760 mmHg 柱(0.1 MPa)时的 5 倍^[3]。真空-过热蒸汽干燥就是充分考虑

了外界压力影响的一种新型干燥技术。国际干燥协会主席 A. S. Mujumdar 教授指出干燥发展的一般趋势是: 更有效地利用能量; 强化干燥操作, 使干燥窑更紧凑; 改善产品质量; 减少环境污染; 消除起火和爆炸的危险, 保证干燥操作等。过热蒸汽干燥正是满足上述要求的一种新的干燥方法。从某种意义上说, 加压或真空过热蒸汽干燥是一种创新技术, 具有潜在的高效率, 符合干燥技术发展的要求^[4]。

早在 80 年代初, 我国学者就有过类似研究, 其试验结果初步显示了该干燥方法的可行性与潜在优势^[5]。与此同时, 国外在此方面的研究与应用却有了长足的进步, 并在实用价值最大的压力段内(负压区内)迅速实现了工业化, 80 年代后期此种干燥机相继在欧洲、北美、亚洲和大洋洲等地投入工业应用^[6]。

真空-过热蒸汽干燥技术尽管在小规模工业应用中获得成功, 但诸多工艺问题并未从机理上得到根本解决, 有些问题尚处空白, 有待于深入研究, 国外在此方面的基础研究目前也刚刚有所涉及^[7,8]。因此, 开展真空-过热蒸汽干燥的基础研究与小型实用性试验, 从根本上搞清其干燥的机理, 进而指导生产实际, 无

收稿日期: 2002-06-10

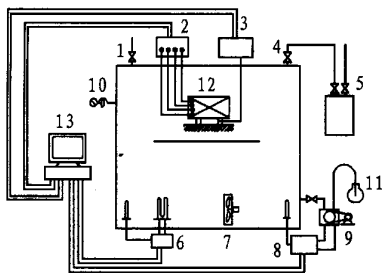
作者简介: 伊松林(1970-), 男, 北京林业大学讲师, 硕士。

论在应用前景与理论意义方面,都有很重要的价值。本文将分别以相同条件下的过热蒸汽和空气作为干燥介质,在预热阶段观测木材内部温度场和含水率的变化,寻找木材真空-过热蒸汽干燥时预热阶段的规律,旨在为科学制定木材干燥工艺提供准确的依据。

1 试验过程

1.1 试验装置

真空-过热蒸汽干燥试验装置如图 1 所示。主要组成部分为:试验箱本体、重量检测系统、木材内部温度检测系统、温度控制系统、压力(真空度)控制系统、自动电热蒸汽发生器、数据自动采集及控制系统。



1. 回气阀; 2. 多点温度巡检仪; 3. 重量连续检测仪; 4. 进气阀;
5. 蒸汽发生器; 6. 温控仪; 7. 循环风机; 8. 压力控制仪;
9. 真空泵; 10. 压力表; 11. 集水器; 12. 试件; 13. 计算机

图 1 真空过热蒸汽干燥试验装置原理

Fig.1 Principle diagram of vacuum superheat steam drying experiment equipment

1.2 试材及方法

试材采用马尾松(*Pinus massoniana*)木材,试件尺寸:100 mm×100 mm×40 mm(长×宽×厚),试件平均初含水率为 50.03%,初始温度为 21℃。

将试件的端、侧面用环氧树脂和铝箔封闭,以保证在干燥过程中木材中的水分仅从上下表面蒸发。之后,在已端封试件的侧面上,沿木材的厚度方向上钻 3 个直径为 1 mm 的小孔,孔中心与木材表面的距离分别为 1、10、20 mm。孔深为试件宽度的一半,然后埋入铠装镍铬-康铜热电偶,获得的 3 点温度分别代表木材的表层温度、中间层温度和心层温度。然后将试件放置于试验台中的重量传感器上,环境压力(绝对压力)取 0.02 MPa(即真空度为 0.08 MPa),分别用 60℃和 80℃的蒸汽及热风对试件进行预处理。在预处理过程中,通过测试装置观察和记录木材重量和内部温度场的变化。将木材整体热透后(即内外层温度均匀时),试验结束。最后,将试件从实验台中取出,在烘箱中烘干,并测定其绝干重,以此推算其含水率的变化。每组试验重复 3 次,取其平均值。

2 结果与分析

2.1 测试结果

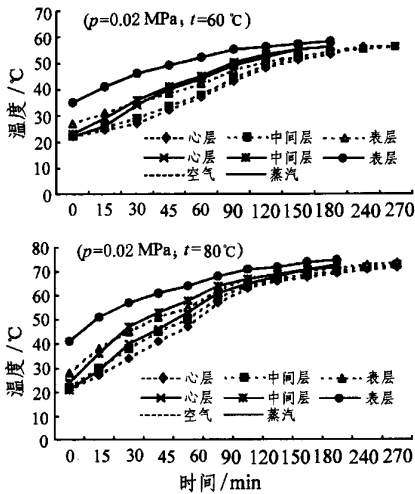


图 2 预热期间木材内部温度的变化

Fig.2 Inner temperature of lumber at pre-heating stage

图 2 为绝对压力 $p=0.02\text{ MPa}$ 、介质温度 t 分别为 60℃和 80℃时,木材内部温度的变化曲线。从图 2 可见,以蒸汽为干燥介质时,木材内部的升温速度比以空气为干燥介质时要快。通过对试验数据分析可知:当温度分别为 $t=60\text{℃}$ 和 $t=80\text{℃}$ 时,以蒸汽为干燥介质时,从初始温度到预热阶段结束,木材的平均升温速度为 0.220℃/min 和 0.278℃/min;而以空气为干燥介质时,平均升温速度为 0.142℃/min 和 0.169℃/min,由此可知,当 $t=60\text{℃}$ 和 $t=80\text{℃}$ 时,以蒸汽为干燥介质时的木材平均升温速度分别是以空气为介质时的 1.55 倍和 1.69 倍。

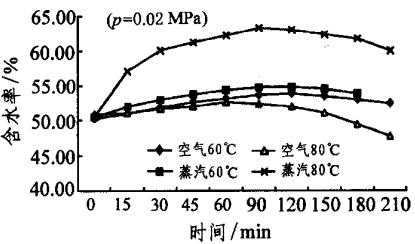


图 3 预热期间木材含水率的变化

Fig.3 Moisture content of lumber at pre-heating stage

图 3 是绝对压力为 0.02 MPa、介质温度分别为 60、80℃时,木材初含水率随时间而变化的曲线。从图 3 可见,无论是以蒸汽还是空气作干燥介质,在预热初期阶段,木材的含水率均会有不同程度的增加。其中以蒸汽为干燥介质时木材的含水率增加幅度较大,并伴随着干燥介质温度的增加,两者的差异将进一步加大。从图 3 中还可以看出,含水率达到最大值

后逐渐开始回落,但回落的程度不同,到预热阶段结束时,试材的最终含水率可能会低于木材的初含水率。当介质温度为 60℃,以蒸汽、空气作干燥介质时,木材含水率增加的最大幅度分别为 4.57% 和 3.81%;当介质温度为 80℃,以蒸汽、空气作干燥介质时木材含水率增加的最大幅度分别为 12.79% 和 1.86%。由此说明,当以蒸汽为干燥介质时,随着蒸汽温度的增加,木材表面的水分凝结将显著增加;而以空气为干燥介质时的情况则相反,即随着空气温度的增加,木材表面的水分凝结将减少。此外,在预热阶段结束时,木材的终点含水率和其初含水率的差值(用“ $\Delta W_{初}$ ”来表示)也随干燥介质的温度和种类的不同而异。当介质温度为 60℃,以蒸汽、空气为干燥介质时 $\Delta W_{初}$ 的值分别为 2.64%、-0.53%;当介质温度为 80℃,以蒸汽、空气为干燥介质时 $\Delta W_{初}$ 的值分别为 10.99%、-7.84%。

2.2 结果分析

出现上述差异的主要原因是由于干燥介质的热力学性质不同。过热蒸汽与空气相比突出的优势在于:第一,在相同的外界条件下,过热蒸汽的运动粘度比空气的要小,由于粘度小,对流换热系数要高,因此过热蒸汽换热要优于空气;第二,在相同的外界条件下,过热蒸汽的比热比空气的大。经计算,当温度在 60~100℃ 时,过热蒸汽的比热大约为空气的两倍,在同样的温差下过热蒸汽的热容量为空气的两倍。因此从二者比热的不同来看,采用真空-过热蒸汽进行干燥要比采用空气优越。此外,由于湿空气或热风中水蒸气含量相对较少,其与木材之间的热量传递主要是靠单向流体的对流换热;当使用过热蒸汽作为干燥介质时,由于水蒸气是可凝结性气体,当遇到较低温度的物体时会发生凝结换热现象,特别是在预热开始阶段,由于凝结换热比对流换热大 4~5 倍,因而在凝结换热和对流换热的共同作用下,过热蒸汽预热阶段

所需时间大为缩短。

在木材干燥过程中,预热阶段的主要目的是提高木材温度,使其整体热透。为确保干燥质量,在预热期间木材表面不应蒸发水分,但允许少量吸湿。真空-过热蒸汽干燥在预热阶段的特性恰好符合这一点。

3 结论

1) 真空-过热蒸汽干燥的预热阶段进行得非常迅速,并随着干燥介质温度的增加,以蒸汽为干燥介质时与以空气为干燥介质时的木材的平均升温速度的比值逐渐加大。说明从预热阶段的升温速度看,以蒸汽为干燥介质要优于以空气为干燥介质;

2) 以过热蒸汽为干燥介质时,在预热阶段结束后的木材含水率比预热之前木材的初含水率大,这主要是因水分凝结所致。说明用过热蒸汽预热时,存在部分凝结换热,由于凝结换热强度远大于空气的对流换热,故促使预热阶段升温快速。

参考文献:

- [1] 朱政贤. 木材干燥(第二版)[M]. 北京:中国林业出版社,1992.
- [2] Mujumdar A S. Drying Technologies of the Future[J]. Drying Technology, 1991,9(2):325~349.
- [3] P 若利, F 莫尔-谢瓦利埃. 木材干燥-理论、实践和经济[M]. 宋闯译. 北京:中国林业出版社,1985.
- [4] Mujumdar A S, Passos L. Drying: Innovative Technology and Trends in Research and Development '99 the First Asian-Australia Drying Conference [R]. Indonesia, 1999:4~14.
- [5] 肖亦华. 木材浮压干燥的研究[J]. 南京林学院学报, 1985, (4): 109~122.
- [6] 肖亦华. 浮压干燥的原理与国内外实践[J]. 热带作物科技, 1996, (2): 6~13.
- [7] 金川靖, 等. 通过局部水蒸气爆破法改善柳杉的干燥性能[J]. [日]木材工业, 1992, 47(8): 363~366.
- [8] Siau J F, et al. An Application of a Thermodynamic Model to Experiments on Nonisothermal Diffusion of Moisture in Wood [J]. Wood Science and Technology, 1993, (27): 131~136.

欢迎订阅 2003 年《木材加工机械》

国家林业局北京林业机械研究所主办的专业技术性刊物,全国中文核心期刊之一,加入万方数据期刊上网组,是执行《中国学术期刊(光盘版)》的优秀期刊。

主要刊登:木材加工机械行业的最新研究和设计成果,使用维护、技术革新、生产经营管理经验,新技术新产品介绍,国内外技术发展趋势,技术经营信息,标准和检测及有关人造板生产设备,家具制造设备,室内装饰材料生产工艺及设备。为加强信息传播,本刊特辟广告及信息服务栏,树立企业形象,宣传名、

优、新产品,推动技术转让,联系产品供需,设备余缺调剂,寻求合作联营,技术难题招标和咨询等。主要面对从事木材加工、木材综合利用和木材加工机构研究、设计、教学、生产、经营管理的人员学习参考。

双月刊,国内外公开发行人,刊号 ISSN1001-036X/CN11-2680/S,大 16 开 40 页,单价 5 元,全年 30 元,订阅者可通过邮局或银行汇款。

地址:北京市和平里七区 25 楼 邮编:100013

电话:010-64200082 传真:010-64215203

银行账号:工行北京和平里分理处 891116-28

开户名称:国家林业局北京林业机械研究所