

高等院校木材科学与工程专业教材

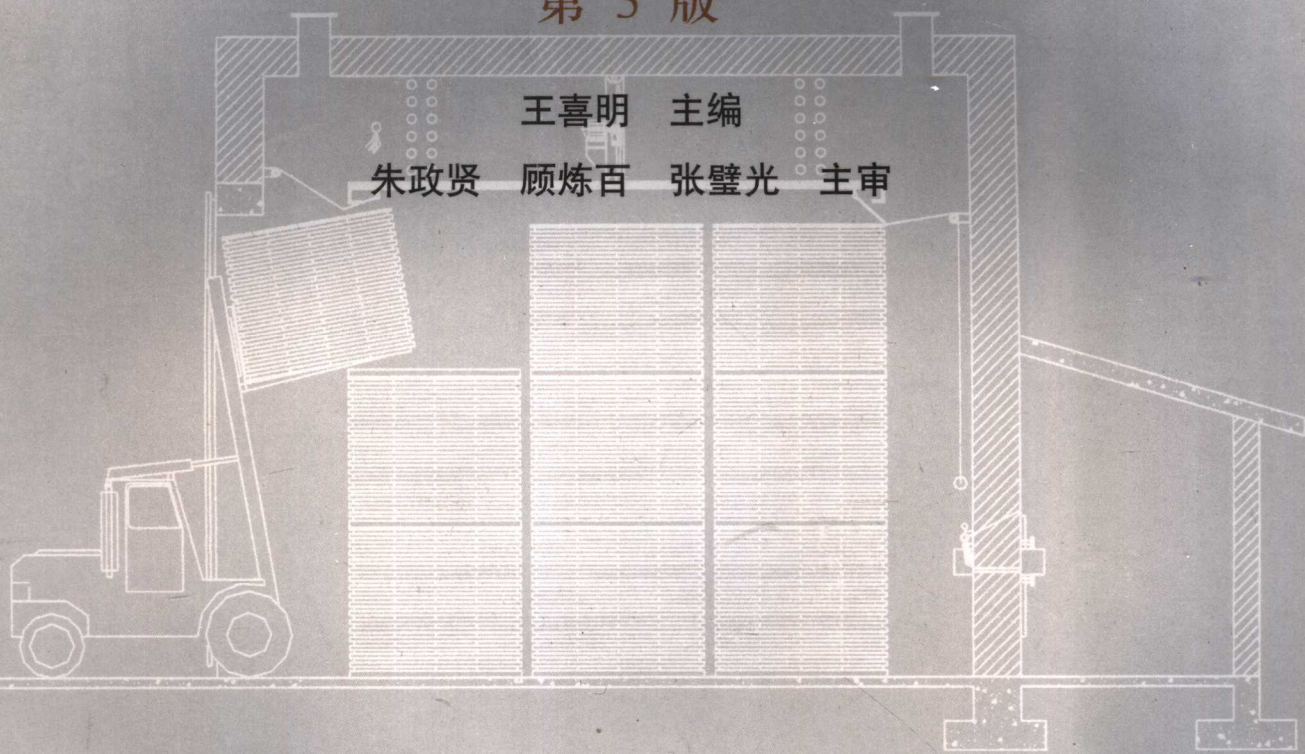
# 木材干燥学

WOOD DRYING SCIENCE

第3版

王喜明 主编

朱政贤 顾炼百 张璧光 主审



中国林业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

木材干燥学/王喜明主编. -3 版. —北京: 中国林业出版社, 2007. 2

高等院校木材科学与工程专业教材

ISBN 978-7-5038-4155-2

I. 木… II. 王… III. 木材干燥-高等学校-教材 IV. S781.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 035160 号

**中国林业出版社·教材建设与出版管理中心**

策划、责任编辑: 杜娟

电话: 66181489 66170109

传真: 66170109

---

出版发行 中国林业出版社 (100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail: cfphz@public.bta.net.cn 电话: (010) 66184477

网 址: <http://www.cfph.com.cn>

经 销 新华书店

印 刷 中国农业出版社印刷厂

版 次 1981年6月第1版 (共印6次)

1992年3月第2版 (共印6次)

2007年9月第3版

印 次 2007年9月第1次印刷

开 本 850mm×1168mm 1/16

印 张 19.5

字 数 451千字

定 价 32.00元

---

凡本书出现缺页、倒页、脱页等质量问题, 请向出版社图书营销中心调换。

**版权所有 侵权必究**

# 木材科学及设计艺术学科教材

## 编写指导委员会

主 任 周定国 (南京林业大学)  
副 主 任 赵广杰 (北京林业大学)  
王逢瑚 (东北林业大学)  
吴智慧 (南京林业大学)

## “木材科学与工程”学科组

组 长 委 员 周定国 (南京林业大学)  
副 组 长 委 员 赵广杰 (北京林业大学)  
刘一星 (东北林业大学)  
委 员 (以姓氏笔画为序)  
于志明 (北京林业大学)  
马灵飞 (浙江林学院)  
王喜明 (内蒙古农业大学)  
刘 元 (中南林业科技大学)  
刘盛全 (安徽农业大学)  
向仕龙 (中南林业科技大学)  
张宏健 (西南林学院)  
李凯夫 (华南农业大学)  
杜官本 (西南林学院)  
陆继圣 (福建农林大学)  
周捍东 (南京林业大学)  
罗建举 (广西大学)  
高金贵 (北华大学)  
秘 书 梅长彤 (南京林业大学)

## 编写人员名单

**主 编** 王喜明

**副主编** 苗 平 蔡英春

**编写人员** (按姓氏笔画排序)

于建芳 (内蒙古农业大学)

王喜明 (内蒙古农业大学)

杨文斌 (福建农林大学)

杨 敏 (广西大学)

苗 平 (南京林业大学)

金永明 (浙江林学院)

常建民 (北京林业大学)

蔡英春 (东北林业大学)

薛振华 (内蒙古农业大学)

**主 审** 朱政贤 (东北林业大学)

顾炼百 (南京林业大学)

张璧光 (北京林业大学)

## 第3版前言

目前我国高速发展的木材干燥事业对专业人才知识结构已经提出新的要求，过去传统的木材干燥技术已被现代化高性能的木材干燥技术所代替，与之配套的相关知识和技能也需要更新，为此再次修订木材科学与工程专业用《木材干燥学》教材。

木材干燥学是木材科学与工程专业的骨干课程，是实践性、理论性很强的一门专业课。本教材以木材学和热工学等为理论基础，以木材的常规干燥为主，结合其他干燥方法，重点介绍木材干燥理论、木材干燥工艺和设备。在内容的安排上结合木材干燥技术发展的现状，面向21世纪，本着以板方材的干燥为重点，结合竹材和单板干燥，适当吸收国内外最新研究成果的原则，既总结了我国成熟的木材干燥生产技术和科研成果，又适当介绍了符合我国国情的国外先进的木材干燥技术。

与《木材干燥学》第2版相比，本教材增加了竹材干燥特性与工艺、木材干燥室的CAD设计、单板干燥原理与工艺以及木材干燥智能控制等内容，注重用基础理论解释木材干燥生产实际问题。

本教材由王喜明教授任主编；苗平副教授、蔡英春副教授任副主编。

编写人员及分工如下：

绪论，第3章第3.7节，第7章，第8章由王喜明教授和于建芳编写；

第1章，第13章由杨敏老师编写；

第2章，第11章由苗平副教授编写；

第3章第3.1~3.6节，第9章由常建民教授编写；

第4章，第15章由薛振华副教授编写；

第5章由杨文斌教授编写；

第6章，第10章，第12章由蔡英春副教授编写；

第14章由金永明副教授编写。

本教材请朱政贤教授、顾炼百教授、张璧光教授为主审。全书由内蒙古农业大学王喜明教授汇总和修改，内蒙古农业大学于建芳老师做了大量的文稿整理工作，书中部分图由内蒙古农业大学霍志斌等绘制，在本教材的编写过程中还得到姚利宏、贺勤、左彩香等同志的大力帮助，在此谨向他们表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中不足之处，欢迎读者批评指正。

王喜明

2007年3月

## 第 2 版前言

---

本书原版脱稿于 10 年前，其间木材干燥工业有了较大发展，科学技术有了较大进步，教学改革也有了较大进展。为了推动我国木材干燥事业的发展，适应新形势的需求，特此修订了本书。

本书的修订，是以高等林业院校木材加工专业教学计划为依据。本着以常规干燥为主兼顾其他干燥方法、理论联系实际、适合国情需要、照顾南北方地区特点、适当吸收和借鉴国外教材内容、采用法定计量单位等原则，力求更新内容、健全体系、加强衔接、弥补遗漏，使本书能适应时代的需要。但由于编者水平有限，经验不足，难于做到恰到好处，一定会有缺点和错误，敬希读者批评指正。

修订本由东北林业大学朱政贤教授主编，参加修订编写人员及分工是：东北林业大学朱政贤（绪论、第一、二、三、四章）、熊民棣（第五章第一、二、三节）；北京林业大学田赞成（第六章）；南京林业大学孙令坤（第七章）、顾炼百（第九、十、十一、十二、十三章）；中南林学院林伟奇（第八章及第五章第四节）。

编 者  
1989 年 3 月

## 常用符号表

### 一、希腊字母符号

$\alpha$	阻尼系数、单位换热系数、水流动系数	$\varphi$	相对湿度、饱和度、纬度
$\beta$	太阳高度角、充实系数、介质密度	$\Psi$	室内外温度差系数
$\gamma$	水的表面张力、电阻率	$\chi$	附加热损系数
$\delta$	材料壁层的厚度、相对真空度、损耗角	$\Phi$	热梯度系数、角系数
$\varepsilon$	介电常数、相对变形、当辐射系数	$\omega$	壁面的空气速度、角频率
$\eta$	效率、功率	$\gamma$	毛细管张力
$\rho$	密度	$\Delta_i$	隔热层厚度
$\sigma$	应力、均方差	$\Delta h$	阻力差
$\tau$	时间	$\xi$	阻力系数
$\theta$	湿润角、无因次温度	$\kappa$	补偿系数、壳体的传热系数、消光系数
$\lambda$	导热系数		

### 二、拉丁字母大写体符号

$A$	两极板的面积、壳体的外表面积	$J$	等温过程中水分扩散通量
$B$	蒸发系数	$K$	干缩系数
$B_i$	毕渥准数	$L$	长度
$C$	升温时间系数	$M$	含水率
$COP$	除湿机性能系数	$P$	风机的安装功率、压力、排气道中气流的阻力
$COP_s$	除湿装置系统的性能系数	$Q$	流量、风量、热流量、热量、能量
$D$	叶轮直径、扩散系数、换水系数	$R$	气体常数
$E$	弹性模量、电场强度、电力消耗	$S$	距离
$F$	面积	$T$	热力学温度
$F_0$	傅立叶准数	$V$	体积、风机风量
$G$	蒸汽消耗量	$W$	质量、功、功率
$H$	风机压力	$Y$	叉齿变形率
$I$	太阳辐射强度、焓、电流有功分量强度		

### 三、拉丁字母小写体符号

<i>a</i>	木材导温系数、宽度	<i>n</i>	数量、混合物组分的摩尔数
<i>c</i>	电容、比热容、物质的浓度	<i>p</i>	压力
<i>d</i>	湿含量、直径、板间距离	<i>q</i>	热通量、风量
<i>f</i>	周转次数、挠度、电流的频率、振动频率	<i>r</i>	汽化潜热、溶解热、毛细管半径
<i>h</i>	高度、厚度、时角	<i>t</i>	温度
<i>l</i>	长度	<i>v</i>	比容、速度
<i>m</i>	质量、某组分的质量分数	<i>y</i>	干缩率



第3版前言

第2版前言

绪 论 .....	(1)
<b>第1章 木材干燥与载热介质 .....</b>	<b>(7)</b>
1.1 水蒸气 .....	(7)
1.2 湿空气的性质 .....	(11)
1.3 炉气 .....	(19)
<b>第2章 木材与水分的关系及其性质 .....</b>	<b>(23)</b>
2.1 木材中的水分 .....	(23)
2.2 木材与水分的关系 .....	(24)
2.3 木材的干缩和湿胀 .....	(29)
2.4 木材的弹性、塑性和流变学特性 .....	(31)
2.5 木材的电学、声学和热学特性 .....	(33)
<b>第3章 木材加热与干燥的物理基础 .....</b>	<b>(40)</b>
3.1 传热基本公式 .....	(40)
3.2 传质基本公式 .....	(42)
3.3 木材对流加热与冷却 .....	(46)
3.4 木材非对流加热 .....	(55)
3.5 干燥过程中木材水分的蒸发与移动 .....	(58)
3.6 木材在气体介质中的对流干燥过程 .....	(61)
3.7 木材干燥时的应力与变形 .....	(64)
<b>第4章 木材干燥室 .....</b>	<b>(70)</b>
4.1 木材干燥室的分类 .....	(70)
4.2 周期式强制循环干燥室 .....	(71)
4.3 周期式自然循环干燥室 .....	(81)
4.4 连续式干燥室 .....	(81)
4.5 木材干燥室的壳体结构及建筑 .....	(82)

4.6	木材干燥室的技术经济分析与选用	(87)
<b>第5章</b>	<b>木材干燥设备</b>	(92)
5.1	供热与调湿设备	(92)
5.2	气流循环设备	(101)
5.3	木材的运输	(107)
5.4	木材干燥过程的控制	(110)
5.5	木材干燥机(整体可移动干燥机)	(118)
<b>第6章</b>	<b>木材干燥的测量技术</b>	(121)
6.1	温度、湿度的测量	(121)
6.2	木材含水率的检测	(131)
6.3	干燥应力的检验	(137)
6.4	风速、风压、风量的测量	(141)
6.5	蒸汽流量的测量	(144)
6.6	木材室干的热平衡测试	(148)
<b>第7章</b>	<b>木材干燥工艺</b>	(150)
7.1	干燥前准备	(150)
7.2	干燥基准	(154)
7.3	干燥过程的实施	(164)
7.4	干燥质量的分析	(170)
<b>第8章</b>	<b>木材的大气干燥</b>	(174)
8.1	木材大气干燥的原理和特点	(174)
8.2	大气干燥材堆的堆积方法	(175)
8.3	大气干燥的实施	(176)
8.4	强制气干	(177)
8.5	联合干燥	(178)
<b>第9章</b>	<b>木材除湿干燥</b>	(179)
9.1	主要设备和工作原理	(179)
9.2	木材除湿干燥工艺	(183)
9.3	经济效果和实用价值	(185)
<b>第10章</b>	<b>木材真空干燥</b>	(187)
10.1	真空环境的特性	(187)
10.2	木材真空干燥基本原理	(190)

10.3	真空干燥过程中木材的加热方式 .....	(191)
10.4	真空干燥设备 .....	(192)
10.5	木材真空干燥工艺 .....	(196)
10.6	木材真空干燥法的优缺点及其应用 .....	(199)
<b>第11章</b>	<b>木材太阳能干燥</b> .....	<b>(202)</b>
11.1	太阳辐射的基本知识 .....	(202)
11.2	太阳能集热器 .....	(205)
11.3	木材太阳能干燥室 .....	(208)
11.4	木材太阳能干燥工艺 .....	(212)
11.5	木材太阳能干燥的实用性 .....	(214)
<b>第12章</b>	<b>木材高频干燥和微波干燥</b> .....	<b>(216)</b>
12.1	高频和微波干燥的基本原理 .....	(216)
12.2	木材高频干燥 .....	(218)
12.3	木材的微波干燥 .....	(226)
12.4	高频和微波干燥的应用 .....	(229)
<b>第13章</b>	<b>木材热压干燥</b> .....	<b>(231)</b>
13.1	锯材热压干燥工艺 .....	(231)
13.2	木材单板的热压干燥 .....	(234)
<b>第14章</b>	<b>竹材干燥</b> .....	<b>(237)</b>
14.1	竹材的水分传导特性 .....	(237)
14.2	竹材的干缩特性 .....	(240)
14.3	竹材干燥工艺与设备 .....	(241)
14.4	竹材干燥工艺与举例 .....	(245)
<b>第15章</b>	<b>木材干燥室的设计</b> .....	<b>(247)</b>
15.1	设计任务和依据 .....	(247)
15.2	干燥室的选型及数量的计算 .....	(248)
15.3	周期式空气干燥室的热力计算 .....	(251)
15.4	干燥室的气体动力计算 .....	(257)
15.5	进气道和排气道的计算 .....	(262)
15.6	周期式顶风机(直联)型空气干燥室计算示例 .....	(262)
15.7	干燥车间布置及干燥室的技术经济指标 .....	(271)
15.8	干燥成本核算 .....	(272)

附录 1	空气湿度表	(274)
附录 2	湿空气的焓 - 湿图	(277)
附录 3	补充有密度和比体积线系的焓 - 湿图	(278)
附录 4	我国 160 个主要城市木材平衡含水率气象值	(279)
附录 5	我国各地区木材平衡含水率和干燥锯材最终含水率	(284)
附录 6	阔叶树材室干含水率基准表 (LY/T1068—1992)	(285)
附录 7	阔叶树材室干基准选用表	(287)
附录 8	我国主要树种的木材密度、干缩系数及干燥特性	(288)
附录 9	SRZ 型加热器主要技术参数	(290)
附录 10.1	锯材干燥基准表	(291)
附录 10.2	锯材波动干燥基准	(295)
附录 10.3	干燥基准选择表	(297)
附录 11.1	锯材三阶段干燥基准表	(298)
附录 11.2	三阶段干燥基准选择表	(299)
参考文献		(300)

干燥是一种传统而古老的通用操作，在自然界、人民生活和工业生产过程中经常可见。特别是在工业生产中从农业、食品、化工、医药、矿产到纸浆造纸、木材工业，几乎所有的产业都有干燥。干燥是一种高能耗的工业操作，在工业产品总能耗中，干燥能耗从4%（化学工业）、35%（造纸工业）到40%~70%（木材工业）。发达国家的平均干燥能耗占到12%，我国万元GDP能耗水平是发达国家的3~11倍，木材干燥的能耗占制品总能源消耗的40%~70%。以煤为能源的传统干燥过程中产生的废气中含有大量的烟尘、二氧化碳、二氧化硫和二氧化氮，这些气体是造成大气温室效应、酸雨和臭氧破坏的主要因素。因此干燥作业的节能与环保问题变得越来越重要，干燥科学也受到全社会的关注并得到长足的发展。

## 1 木材干燥学的定义和研究范围

木材干燥(wood drying)指在热能作用下以蒸发或沸腾方式排除木材水分的处理过程。当空气中的水蒸气分压低于该温度下的饱和蒸汽压的时候，水分发生蒸发，而一般湿空气中的水蒸气均为不饱和蒸汽，所以蒸发在任何温度下均可发生。湿原木或湿锯材中含有大量的水分，这些水分从木材表面向周围空气蒸发，木材随时都在干燥之中。当木材在常压下被加热到100℃以上时，就会产生沸腾汽化现象，木材中的水分通过蒸发或沸腾从木材表面排出。工业化木材干燥主要指按照一定的干燥基准有组织有控制的工艺过程，也包括受气候条件制约的大气干燥。

干燥技术的开发及应用需要具备三方面的知识和技能。首先是了解木材的材性如材种、基本密度、干缩率、含水率及木材尺寸等；其次是传递过程的原理，即传热、传质、流体力学和空气动力学等能量传递的原理；第三是掌握干燥的手段，主要是干燥设备、自动控制等方面的工程设计。木材干燥学的研究对象主要为锯材，研究木材与水分的关系，干燥介质(drying medium)，木材的干燥特性(drying properties)及其干燥过程中的热、质转移规律；研究实施木材干燥的设备、工艺及其技术经济指标。因此，木材干燥学是一门木材学、热工学、力学、建筑、自动控制等多学科交叉型的应用学科，是木材科学与技术学科领域的一个重要分支。

## 2 木材干燥的目的及其对于国民经济的意义

木材干燥的目的，概括起来主要有五个方面。

(1) 预防木材腐朽变质和虫害。当木材含水率降低到20%以下，或贮存于水中时，

可以避免受到白腐菌、褐腐菌、虫等的侵袭。因为菌、虫的寄生需要合适的温度、湿度,以及不可缺少的水分、空气和营养物质等条件,缺一不可。干燥处理破坏了菌、虫寄生的湿度和水分条件,预防木材发生腐朽、变色和虫害。

(2)防止木材变形和开裂。木材经过干燥处理后内部含水率达到与使用环境相适应的程度,在使用过程中几乎不发生大的变化,就能防止木材发生大的干缩和湿胀,从而防止木材的变形和开裂,保持木材形状的稳定,使木材经久耐用。我国加入WTO后,木材制品在全球范围内销售,而世界各地气候条件相差很大。如干旱地区,木材的平衡含水率为8%~10%,木材需相应干燥到7%~9%的终含水率。沿海地区,气候潮湿,木材应干燥到12%~13%。东北地区使用及出口到北美洲的木制品,因考虑到室内采暖条件的要求,应干燥到6%~8%的终含水率。因此锯材干燥的最终含水率应考虑到制品用途及使用地的平衡含水率。

(3)提高木材的力学强度,改善木材的物理性能。含水率在纤维饱和点以下时,木材的力学强度随着含水率的降低而增高,反之降低。研究表明:在含水率为8%~15%范围内,含水率与木材的静曲强度之间呈线性关系。如山毛榉由含水率30%降低到5%,其静曲强度从80MPa增加至140MPa。另外含水率适度降低,可改善木材的机械加工性能,提高胶合和涂饰质量,充分显现木材的花纹、光泽和绝缘性能等。

(4)改善木材的环境学特性。木材经干燥处理后,其内部的水分含量与周围环境的水分含量相平衡,进一步改善了木材的视觉特性、触觉特性、听觉特性、嗅觉特性和调节特性,使木材与环境更加和谐,与人类更加亲近。

(5)减轻木材的质量。经过干燥的木材,质量可减轻30%~50%。如在木材产地就近制材,并将锯材干燥到运输含水率(20%),然后外运,会减少大量运输吨位,从而降低运费。同时可防止木材运输途中遭到菌、虫危害,保证木材的质量和安全生产。

木材干燥是合理利用木材、节约木材、延长木材使用寿命的重要技术措施,是木材加工生产中的重要工序。木材干燥涉及的行业很多,包括家具、室内装饰、建筑门窗、车辆、造船、纺织、乐器、军工、机械制造、文体用品、玩具等,几乎所有使用木材的部门都要进行干燥。木材干燥对于合理、节约利用我国有限的森林资源,保持生态平衡,对于发展国民经济和现代化建设都具有非常重要的意义。

### 3 木材干燥的方法

木材干燥的方法很多。按照木材中水分排出的方式分为三种:即热力干燥、机械干燥和化学干燥。热力干燥是通过分子振动以破坏水分子与木材之间的结合力,而使水分子以蒸发或沸腾的方式排出木材的方法;机械干燥是通过离心力或压榨作用排出木材中水分的方法;化学干燥是使用吸水性强的化学品(如氯化钠等)吸取木材中水分的方法。其中,机械干燥和化学干燥由于存在严重缺点,除偶尔用做辅助的干燥方法外,极少采用。实际木材干燥生产过程采用的都是热力干燥。

热力干燥按干燥条件人为控制与否可分为大气干燥(简称气干,也称作天然干燥)和人工干燥两类。大气干燥是利用自然界中空气的热能、湿度和风力对木材进行干燥;

人工干燥是利用专用设备,人为控制干燥过程的方法,其中包括人为提高气流速度的大气干燥法——强制气干。

根据木材加热方式不同,热力干燥又可分为对流干燥、电介质干燥、辐射干燥和接触干燥。对流干燥是以干燥介质流动将热量传给木材的干燥方法。根据干燥介质不同,对流干燥还可分为湿空气干燥、过热蒸汽干燥、炉气干燥、有机溶剂干燥等。其中以湿空气为介质的干燥方法包括大气干燥、常规室干、除湿干燥、太阳能干燥、真空干燥等。电介质干燥包括高频干燥和微波干燥,是将湿木材作为电介质,置于高频或微波电磁场中干燥木材的方法。辐射干燥主要指红外线干燥,木材热能是由加热器辐射传递的。接触干燥是通过被干木材与加热物体表面直接接触传导热量并蒸发水分的方法。

(1)大气干燥(简称气干)。即把木材堆垛在空旷场地上或棚舍内,利用大气作传热传湿介质,利用太阳辐射的热量,排除木材中的水分,达到干燥目的。气干又分为普通气干和强制气干。强制气干时间比普通气干缩短 $1/2 \sim 2/3$ ,且木材不致霉烂变色,干燥质量较好,但干燥成本约增加 $1/3$ 。大气干燥的优点是:简单易行,节约能源,比较经济,可满足气干材的要求。若与室干等其他干燥方法相结合,还可缩短干燥时间,保证干燥质量,降低干燥成本。缺点是受自然条件的限制,干燥时间较长、干燥终含水率偏高,占用场地大,气干期间木材易受菌、虫危害等。目前,单纯的大气干燥使用渐少,但作为一种预干法与其他干燥方法相结合,在我国南方地区还是经济可行的。

(2)室干。指在干燥室内人工控制干燥介质的参数对木材进行干燥的方法。按照干燥介质温度的高低可分为低温室干、常规室干及高温室干。应根据被干木材的树种、厚度、用途等条件,正确选用适当的室干方法。室干的优点是干燥质量好,干燥周期较短,干燥条件可灵活调节,便于实现装卸、搬运机械化,干燥介质参数调节自动化,木材可干燥到任何终含水率。缺点是设备和工艺较气干复杂,投资较大,干燥成本较高。

(3)除湿(热泵)干燥。与室干的区别是将湿热空气部分流过除湿机,先经冷却使部分水蒸气冷凝成水排出,同时回收水蒸气的汽化潜热;经冷凝后湿空气变干,再经加热后流入材堆,干燥木材。除湿干燥的优点是能量消耗显著低于常规室干,特别是在干燥过程的前期;基本没有环境污染,干燥质量较好。缺点是普通干燥湿度较低,干燥周期长;由于采用电能,干燥成本较高;一般无蒸汽发生器,难以进行调湿处理。

(4)真空干燥。即在密闭容器内、在负压条件下对木材进行干燥。按作业方式可分为间歇真空干燥和连续真空干燥两种。间歇真空干燥是按常压加热和负压干燥两个阶段交替进行,用蒸汽或热水加热,也有少数用烟气或电加热。连续真空干燥是加热和真空同时连续进行,用热板(以热水为热媒)、电热毯或高频电介质加热。真空干燥的优点是在较低的温度下加快干燥速度,保证干燥质量,特别适合于渗透性较好的硬阔叶树厚板或方材的干燥。缺点是设备较复杂,容量较小,投资较大。

(5)太阳能干燥。太阳能干燥是利用集热器吸收太阳的辐射能加热空气,再通过空气对流传热干燥木材。太阳能干燥室大致可分为温室型和外部集热器型。太阳能干燥室的干燥速度一般比气干快,比室干慢,因气候、树种、集热器的结构和比表面积等而异。太阳能干燥的突出优点是:节约能源,可利用取之不尽的太阳能,没有环境污染;运转费较低;干燥降等比气干少,终含水率比气干低,干燥质量较好。缺点是受气候影

响大,高纬度地区冬季干燥效果差;设备投资与室干相仿,但干材产量却比室干少得多。

(6)高频、微波干燥。是将湿木材作为电介质,置于高频或微波电磁场中,在交变电磁场作用下,木材中水分子随电场的变化和不断振动,摩擦生热,干燥木材。微波的频率远高于高频电磁波的频率,对木材的加热干燥的速度也快得多;但对木材的穿透深度不如高频电磁波。高频干燥的应用趋向于联合干燥,如高频-对流联合干燥,高频-真空联合干燥等。高频与微波干燥的优点是木材内外同时均匀加热,干燥速度很快,干燥质量好,可以保持木材的天然色泽等。缺点是使用电能作热源,干燥成本高,设备投资及维修费用较大。

(7)热压(压板)干燥。将木材置于热压平板之间,并施加一定的压力进行接触加热干燥木材。特点是传热及干燥速度快,干燥的木料平整光滑。但难干的硬阔叶木材干燥时易产生开裂、皱缩等缺陷。此法适合于速生人工林木材的干燥,可以有效地防止木材的翘曲,还可增加木材的密度和强度。

## 4 木材干燥技术进展

人类应用干燥技术的历史源远流长,我们的祖先在6000年前就开始应用干燥技术制作陶瓷和晒盐。许多古老的干燥技术至今还在应用。例如应用太阳能和风能的天然干燥技术仍在粮食、盐业、木材工业等方面普遍应用。可以说,干燥技术从诞生起就一直是人类发展生产、改善生活的重要手段。新中国成立前,我国工业落后,木材干燥行业根本无从谈起。木材干燥主要靠大气干燥、烟熏干燥和烟道干燥。蒸汽加热的自然循环干燥都很少,强制循环室极少。木材干燥作业分散在工匠之中,依附于作坊之内。

新中国成立前夕的1948年,上海日晖港木材供应站从美国引进一间长轴型砖混壳体蒸汽加热木材干燥室。新中国成立后,20世纪50~60年代在前苏联专家的指导下,在东北等地区建设了一批喷气型木材干燥室,在北京、上海和哈尔滨等地建设了一批长轴型干燥室。但这种干燥设备对设计和安装要求较高,电力消耗大,因此,逐渐被淘汰。为克服长轴型干燥室安装、维修不方便的缺点,于20世纪50年代又在上海新建了短轴型干燥室,并在华东地区推广。1964年天津机械木型厂建设了侧向通风型木材干燥室。适宜于中、小型企业使用,在华北和南方有一定程度推广。为解决侧向通风室气流循环不均匀的问题,在学习芬兰经验的基础上,1979年南京等地建设了端风机型干燥室,然后在中小企业普遍推广。新中国成立后的30年间,木材干燥工业与国民经济同步发展。兴建了大量的木材干燥室。东北林业大学的朱政贤教授在20世纪70年代中期对我国重点地区的木材干燥现状进行了调查,调查结果表明:在各类木材干燥室中周期式占98.2%,连续式占1.8%;在周期式干燥室中,强制循环占75%,自然循环占25%。据估计,到1979年干燥室的设计生产已达到锯材年生产量的15%。

改革开放以来,我国木材干燥事业得到了飞速的发展。目前已成为一个完善的行业体系。尤其近几年,随着我国木材用量的逐渐增多,木材干燥市场可谓繁荣昌盛,给我国木材干燥工业的快速发展带来了良好的契机。目前,我国木材干燥工业具有以下特点:



(1)木材加工企业的干燥意识增强。靠简单气干或熏烤干燥木材不能保障木制品的质量,这已经是木材加工企业的共识。企业在干燥设备上的投资力度明显加大。另外干燥已不单纯是木材加工企业服务自身的一个车间工段,而是成为一个相对独立的产业,干燥木材已走向市场。目前我国在绥芬河、满洲里等一些木材集散地建设了近百家木材干燥专营企业,为社会提供干燥好的木材。

(2)干燥方法呈现以常规干燥为主,除湿干燥、太阳能干燥、真空干燥、高频干燥、微波干燥、炉气干燥等其他干燥方法并存的多样化格局。其中,木材干燥专营企业多采用大容量常规干燥,木材加工企业的自用干燥室则由于其所干木材树种、数量、质量要求、地理位置等不同,在干燥方法上各不相同、干燥室容量大小兼有。

(3)集中加工、集中干燥的局面初步形成。随着我国“天然林资源保护工程”的实施和木材用量的逐年增多,进口木材量不断增大。原木外运受运输成本和口岸城市运力的限制,迫使木材加工企业纷纷到口岸城市落户或建立原材料加工基地。这在客观上形成了集中加工、集中干燥的木材城。而这正是国际推崇的经营模式,从这个意义上说,我国木材干燥工业已经走上了良性发展之路。

(4)干燥能力持续增长。以绥芬河市为例,1998年有干燥室4间,总设计装材量为 $300\text{m}^3$ ;2002年有干燥室126间,总设计装材量为 $9925\text{m}^3$ ;到2004年,干燥室近400间,总设计装材量约 $32\,000\text{m}^3$ 。

(5)干燥设备科技含量不断增加,性能不断提高。新建干燥室多采用全金属壳体,“三防”室内电动机,复合管高效加热器,吊挂式单扇大门,自动和手动双重检测与控制系统,叉车装卸。使干燥室的防腐性、工艺性、保温性、密闭性、可靠性都有明显提高。

(6)木材干燥规范化管理标准基本齐备。近20年来,我国先后颁布了《锯材干燥质量》、《锯材窖干工艺规程》、《锯材气干工艺规程》、《木材干燥工程设计规范》、《木材干燥术语》、《锯材干燥设备通用技术条件》、《锯材干燥设备性能检测方法》、《木材干燥室(机)型号编制方法》等标准和规范,使我国木材干燥技术的规范化发展有法可依,并使我国木材干燥设备逐渐走向标准化。

我国木材干燥工业在与国际接轨、高速发展的同时,也还存在一些不容忽视的问题,主要表现在:

(1)木材干燥设备的标准化和规范化还需进一步提高,干燥设备市场管理不够规范。

(2)缺少木材干燥技术管理与操作人员,现有人员文化和技术水平偏低,对干燥过程的控制、质量检验、设备维护、事故处理等方面能力较差。

(3)国家标准和规范的执行力度不够。虽然国家早于1986年就颁布了《锯材干燥质量》的国家标准,其他一些与木材干燥有关的标准和规范也陆续颁布和实施,但由于干燥技术人员和客户对该标准理解不透或约定不清,经常出现质量争议,造成不应有的纠纷,这将影响木材干燥工业的健康发展。

(4)节能和环保意识不强。能源消耗是木材干燥的主要成本因素,尤其是超大规模的木材干燥企业,节能增效潜力极为可观,但目前极少有干燥企业在这方面采取措施。