



普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

木材干燥学

(第二版)

高建民 王喜明 主编



非外借



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

木材干燥学

(第二版)

高建民 王喜明 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

“木材干燥学”以锯材干燥为主要研究对象,内容包括木材干燥介质、木材的干燥特性、木材干燥过程中的热质传递规律、木材常规干燥设备和工艺、木材干燥过程的控制及其他特种木材干燥方法的原理、设备和工艺等。《木材干燥学》教材是在现有教材和最新研究成果的基础上,结合当前各高等农林院校教学改革和创新人才培养方案,根据多年的教学积累和实践编写的。教材内容反映了当前科技发展的较新成果和信息,凝聚了大量生产实践经验,文字简明易懂。

本教材适用于木材科学与工程、家居设计与人居工程、室内设计与装饰等相关专业的本科教学工作,并可供相关领域科学技术研究人员和企业生产技术人员、管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

木材干燥学/高建民,王喜明主编.—2版.—北京:科学出版社,2018.8
普通高等教育“十三五”规划教材 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-057536-4

I. ①木… II. ①高…②王… III. ①木材干燥-高等学校-教材 IV. ①S781.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 110295 号

责任编辑:王玉时 马程迪 / 责任校对:王晓茜

责任印制:吴兆东 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年8月第一版 开本:890×1240 1/16

2018年8月第一次印刷 印张:19 1/2

字数:631 000

定价:69.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《木材干燥学》编写委员会

主 编 高建民(北京林业大学)
王喜明(内蒙古农业大学)

副主编 蔡英春(东北林业大学)
伊松林(北京林业大学)
苗 平(南京林业大学)
程万里(东北林业大学)

参 编(按姓氏笔画排序)

于建芳(内蒙古农业大学)
王传贵(安徽农业大学)
刘志军(河北农业大学)
李贤军(中南林业科技大学)
杨文斌(福建农林大学)
邱增处(西北农林科技大学)
陈 瑶(北京林业大学)
陈太安(西南林业大学)
金永明(浙江农林大学)
涂登云(华南农业大学)
谢拥群(福建农林大学)
蔡家斌(南京林业大学)

第二版前言

2015年5月4日,国务院办公厅颁布《国务院办公厅关于深化高等学校创新创业教育改革的实施意见》(以下简称《意见》),《意见》要求:各高校要广泛开展启发式、讨论式、参与式教学,扩大小班化教学覆盖面,推动教师把国际前沿学术发展、最新研究成果和实践经验融入课堂教学,注重培养学生的批判性和创造性思维,激发创新创业灵感。运用大数据技术,掌握不同学生的学习需求和规律,为学生自主学习提供更加丰富多样的教育资源。改革考试考核内容和方式,注重考查学生运用知识分析、解决问题的能力,探索非标准答案考试,破除“高分低能”积弊。为进一步落实国务院意见,推动“木材干燥学”课程教学改革和人才培养计划调整,使《木材干燥学》教材能更充分反映当代木材干燥科学技术发展的最新成果和信息,通过课程内容和教学方法改革、增加“研究方法”“学科前沿”等授课内容,健全“木材干燥学”创新创业(“双创”)教学实践体系,加强教师创新创业教育理念,加强实践教学,培养和提高学生的“双创”能力。

本教材以2008年高建民教授主编的《木材干燥学》(科学出版社)为依托,整合2007年王喜明教授主编的《木材干燥学》(中国林业出版社)进行修订。基于目前我国高速发展的木材干燥事业对专业人才知识结构提出的新要求,过去传统的木材干燥技术已被现代化的高性能木材干燥技术所代替,而与现代化的高性能木材干燥技术所配套的相关知识和技能也需要更新,专业教材建设指导委员会确定重新编写木材科学与工程专业《木材干燥学》教材。

“木材干燥学”是木材科学与工程专业、家具设计与人居工程专业的主干核心课程,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,结合竹材和单板热压干燥,适当吸收国内外最新研究成果等原则,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。

参编人员及分工如下:第1章由北京林业大学高建民编写;第2章由安徽农业大学王传贵和东北林业大学程万里编写;第3章由南京林业大学苗平编写;第4章4.1~4.3、4.5~4.7由东北林业大学蔡英春编写,4.4由北京林业大学陈瑶编写,4.8由内蒙古农业大学于建芳编写;第5章由北京林业大学伊松林和福建农林大学杨文斌编写;第6章6.1、6.2、6.3.1~6.3.4、6.4由内蒙古农业大学王喜明编写,6.3.5由华南农业大学涂登云编写,6.5和6.6由内蒙古农业大学王喜明编写;第7章7.1、7.2.1、7.2.3由内蒙古农业大学于建芳编写,7.2.2、7.3由北京林业大学陈瑶编写;第8章由东北林业大学程万里和西北农林科技大学邱增处编写;第9章由河北农业大学刘志军编写;第10章由北京林业大学陈瑶编写;第11章由南京林业大学蔡家斌编写;第12章由西南林业大学陈太安编写;第13章由中南林业科技大学李贤军编写;第14章由东北林业大学程万里编写;第15章由东北林业大学程万里和浙江农林大学金永明编写;第16章16.1由福建农林大学谢拥群编写,16.2由北京林业大学陈瑶编写;第17章由北京林业大学伊松林编写;第18章由北京林业大学陈瑶编写。附录1由东北林业大学程万里整理,附录2~6由内蒙古农业大学王喜明和于建芳整理。

本教材参考引用了国内外有关的图书资料及国家标准、行业标准,在此谨向相关作者表示衷心的感谢!于建芳博士和陈瑶博士在本教材编写过程中做了大量的工作,内蒙古农业大学2013级学生李涛在附录3更新过程中做了大量统计工作,在此表示衷心的感谢!

基于编者水平有限,书中的疏漏、不足之处在所难免,敬请读者指正。

高建民 王喜明

2017年9月

第一版前言

木材干燥学是木材科学与工程、家具设计与制造、室内设计与装饰以及相关专业的必修专业课程,是一门基础理论与实践应用并重的科学。本书比较系统地阐述了木材干燥基础理论、常规干燥设备、常规干燥工艺以及干燥过程的控制,并对常见的几种特种干燥方法的原理、设备和工艺进行了较为系统的介绍。

本书是在现有国内有关木材干燥教材和研究成果的基础上,结合当前各高等农林院校进行的教学改革和人才培养计划调整方案,根据多年的教学积累和实践进行编写的。教材内容反映了当前科技发展的较新成果和信息,凝聚了大量生产实践经验,文字简明易懂,为便于教学,各章编写了思考题。本书适用于木材科学与工程、家具设计与制造、室内设计与装饰以及相关专业的本科教学,并可供相关领域科学技术研究人员和企业生产技术、管理人员参考使用。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由北京林业大学、东北林业大学和南京林业大学等 10 所高等农林院校联合编写。教材共 8 章,编写分工如下。

高建民(北京林业大学):第 1、4 章,6. 2、6. 5 节。陈广元(东北林业大学):2. 2、7. 1、7. 2 节。蔡英春(东北林业大学):2. 3、5. 1、5. 2、5. 4 节。伊松林(北京林业大学):第 3、8 章。程万里(东北林业大学):2. 1、5. 3、6. 6 节。庄寿增(南京林业大学):6. 5 节。刘志军(河北农业大学):6. 3 节。李延军(浙江林学院):6. 1 节。李贤军(中南林业科技大学):6. 4 节。谢拥群(福建农林大学):6. 2 节。张士成(北华大学):7. 3、7. 4 节。王传贵(安徽农业大学):2. 1、5. 4 节。汪佑宏(安徽农业大学):第 8 章。邱增处(西北农林科技大学):2. 1 节。

本书参考引用了国内外有关的图书资料以及国家标准、行业标准,在此谨向相关作者表示衷心感谢!本书在编写过程中得到了北京林业大学张璧光教授的大力支持。在统稿和编排过程中,北京林业大学研究生胡传坤做了大量的工作。在此表示衷心感谢!

欢迎读者对书中的错误或不妥之处进行批评指正。

编者

2007 年 9 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 木材干燥学概述	1
1.1.1 木材干燥学研究的对象和内容	1
1.1.2 木材干燥的基本原理	1
1.1.3 木材干燥的意义	2
1.2 木材的干燥方法	2
1.2.1 木材大气干燥	2
1.2.2 木材人工干燥	3
1.3 我国木材干燥技术进展与发展趋势	4
1.3.1 我国木材干燥技术进展	4
1.3.2 我国木材干燥面临的形势	5
1.3.3 我国木材干燥技术的发展趋势	5
思考题	6
主要参考文献	6
第 2 章 木材干燥介质与热载体	7
2.1 水	7
2.2 过热蒸汽	7
2.2.1 水蒸气的状态	7
2.2.2 水蒸气的性质及其参数	8
2.3 湿空气	12
2.3.1 湿空气的性质	12
2.3.2 湿空气的状态参数	12
2.3.3 焓湿图	16
2.3.4 湿空气的基本热力过程	19
2.3.5 工程应用举例	22
2.4 炉气(生物质燃气)	24
2.4.1 木废料的化学成分	24
2.4.2 木废料的燃烧	24
2.4.3 木废料的发热量	25
2.4.4 木废料燃烧所需空气量	25
2.4.5 炉气的生成量	25
2.4.6 炉气含有的水蒸气量	26
2.4.7 炉气的湿含量	26
2.4.8 炉气的热含量和温度	26
2.5 导热油	26
本章重点	27
思考题	27
主要参考文献	27

第 3 章 木材与水分的关系及其性质	28
3.1 木材中的水分	28
3.1.1 木材中水分的由来	28
3.1.2 水分含量的计算和测定	28
3.1.3 木材干湿程度的分级	29
3.2 木材与水分的关系	29
3.2.1 湿物体的分类	29
3.2.2 木材中的各级毛细管系统及其对水分的束缚作用	29
3.2.3 纤维饱和点及木材的吸湿性	29
3.2.4 平衡含水率及其应用	30
3.3 木材的干缩湿胀	32
3.3.1 木材的干缩湿胀现象	32
3.3.2 木材干缩的各向异性	34
3.4 木材的弹性、塑性和流变学特性	34
3.4.1 木材的弹性	34
3.4.2 木材的塑性	35
3.4.3 木材的流变学特性	35
3.4.4 木材的弹性和塑性的相互转换	35
3.5 木材的电学、声学和热学特性	36
3.5.1 木材的电学性质	36
3.5.2 木材的声学性质	37
3.5.3 木材的热学性质	38
3.6 木材构造、性质与木材干燥特性的关系	39
3.6.1 树种	39
3.6.2 木材的三个方向	39
3.6.3 边心材差异	39
3.6.4 木射线、轴向薄壁组织	40
3.6.5 应力木、幼龄材	40
3.6.6 斜纹	40
3.6.7 变色	40
思考题	40
主要参考文献	40
第 4 章 木材干燥过程的物理基础	41
4.1 热转移的基本规律	41
4.1.1 热传导	41
4.1.2 热对流	42
4.1.3 热辐射	42

4.2 质转移的基本规律	43	5.4.2 气流循环设备	93
4.2.1 多孔固体中流体流动(渗流)的基本规律	43	5.4.3 木材的运载装卸设备	96
4.2.2 多孔固体中流体扩散的基本规律	45	5.5 干燥设备的维护与保养	99
4.2.3 湿物体表面液体蒸发的基本规律	46	5.5.1 干燥设备的正确使用和保养	99
4.3 木材对流加热与冷却	47	5.5.2 干燥室壳体的防开裂措施	99
4.3.1 干燥室壳体的热损失	47	5.5.3 壳体防腐蚀措施	100
4.3.2 木材干燥对流换热过程与基本规律	48	5.5.4 室内设备的防腐蚀措施	100
4.4 木材非对流加热	52	5.6 简易型常规干燥设备举例	101
4.4.1 电介质加热	52	思考题	103
4.4.2 辐射加热	54	主要参考文献	103
4.5 木材中水分的移动	55	第6章 木材常规干燥工艺	104
4.5.1 纤维饱和点以上时木材中水分的移动	55	6.1 干燥前的准备	104
4.5.2 纤维饱和点以下时木材中水分的迁移	59	6.1.1 干燥室壳体和设备的检查	104
4.5.3 木材的水分蒸发	61	6.1.2 木材的堆积	104
4.6 木材在气体介质中的对流干燥过程	62	6.1.3 干燥前的预处理	105
4.6.1 含水率高于纤维饱和点的干燥过程	63	6.1.4 检验板	107
4.6.2 含水率低于纤维饱和点的干燥过程	63	6.2 干燥基准	111
4.6.3 影响木材干燥速度的因子	63	6.2.1 干燥基准简介	111
4.7 木材干燥应力与应变	64	6.2.2 干燥基准的编制方法	114
4.7.1 木材干燥应力应变产生的机理	64	6.2.3 干燥基准的选用	116
4.7.2 干燥应力的检测	67	6.3 干燥过程的实施	118
4.7.3 应变理论的新发展	67	6.3.1 预热阶段	118
4.7.4 木材干燥应力的消除	68	6.3.2 干燥阶段	118
4.8 木材干燥时间的理论计算	68	6.3.3 终了阶段	119
4.8.1 木材干燥时间的理论确定	68	6.3.4 木材干燥操作过程及注意事项	120
4.8.2 木材干燥时间的参考确定	73	6.3.5 木材干燥工艺举例	121
思考题	76	6.4 木材干燥质量的检验	126
主要参考文献	76	6.4.1 干燥木材的干燥质量指标	126
第5章 木材干燥设备	77	6.4.2 干燥木材含水率	127
5.1 木材干燥室的分类	77	6.4.3 干燥木材可见干燥缺陷的检测	129
5.1.1 常规干燥设备的分类	77	6.4.4 干燥木材的验收	130
5.1.2 常规干燥设备的型号命名	78	6.5 干燥后木材的保管	131
5.2 典型常规干燥室的结构	81	6.5.1 户外贮存	131
5.2.1 顶风机型干燥室	82	6.5.2 暂时或短暂保护	131
5.2.2 侧风机型干燥室	83	6.5.3 敞棚	131
5.2.3 端风机型干燥室	83	6.5.4 常温密闭仓库	131
5.2.4 木材干燥室类型的分析	83	6.5.5 加温密闭仓库	132
5.2.5 木材干燥室内空气的流动特性	85	6.6 木材干燥的缺陷及预防	132
5.3 干燥室壳体结构和建筑	86	6.6.1 干燥缺陷的类型	132
5.3.1 砖混结构室体	86	6.6.2 干燥缺陷产生的原因及其预防	133
5.3.2 金属装配式室体	87	思考题	135
5.3.3 砖混结构铝内壁室	87	主要参考文献	135
5.3.4 大门	88	第7章 木材干燥过程控制	136
5.4 干燥室设备	88	7.1 概述	136
5.4.1 供热与调湿设备	88	7.1.1 干燥过程中监控参数及主要影响因子	136

7.1.2 木材干燥监测与控制系统的要求	137	适应性	174
7.2 木材干燥过程监控参数测量	137	9.5.4 可以用于木材预干或强制气干	174
7.2.1 干燥介质温度和湿度	137	思考题	175
7.2.2 木材干燥应力	140	主要参考文献	175
7.2.3 干燥过程中木材温度监测	140	第 10 章 木材除湿干燥	176
7.3 木材干燥控制系统	141	10.1 主要设备和工作原理	176
7.3.1 手动控制	142	10.1.1 除湿干燥设备	176
7.3.2 半自动控制	143	10.1.2 除湿干燥的原理	180
7.3.3 全自动控制	144	10.2 除湿干燥工艺	181
7.3.4 木材干燥远程控制技术	148	10.2.1 除湿干燥工艺基准	181
思考题	150	10.2.2 干燥温度和湿度	183
主要参考文献	150	10.2.3 干燥时间	183
第 8 章 木材大气干燥	151	10.2.4 除湿机功率的选择	183
8.1 大气干燥的原理和特点	151	10.2.5 干燥质量	184
8.2 大气干燥的木材堆积	151	10.2.6 能耗分析	184
8.2.1 板院	151	10.2.7 使用除湿干燥工艺基准的注意 事项	184
8.2.2 材堆	152	10.2.8 除湿干燥工艺示例	185
8.3 大气干燥的干燥周期	156	10.3 除湿干燥的经济性和实用性	186
8.3.1 影响大气干燥速度和周期的因素	156	10.3.1 投资和干燥成本分析	186
8.3.2 干燥周期	156	10.3.2 除湿干燥的优缺点及适用范围	187
8.4 强制气干	158	思考题	187
8.5 大气干燥过程中的缺陷及预防	158	主要参考文献	187
思考题	159	第 11 章 木材真空干燥	188
主要参考文献	159	11.1 真空干燥的原理与分类	188
第 9 章 木材太阳能干燥	160	11.1.1 真空干燥的原理	188
9.1 我国的能源状况与太阳能利用	160	11.1.2 真空与真空度	188
9.1.1 我国的能源及环境状况	160	11.1.3 真空度与水的沸点温度	188
9.1.2 太阳能及其在我国的分布情况	160	11.1.4 真空环境中的传热传质特点	189
9.2 太阳能集热器	163	11.1.5 真空干燥的分类	189
9.2.1 太阳能集热器的分类	163	11.2 真空干燥设备组成	190
9.2.2 典型的平板型集热器结构组成	164	11.2.1 干燥筒	190
9.2.3 太阳能空气集热器	165	11.2.2 真空泵	190
9.2.4 集热器的基本能量平衡方程	165	11.2.3 加热系统	190
9.2.5 集热器面积的确定	166	11.2.4 控制系统	191
9.2.6 拼装式平板型空气集热器	166	11.3 真空干燥工艺	192
9.3 木材太阳能干燥室	168	11.3.1 对流加热间歇真空干燥工艺	192
9.3.1 温室型太阳能干燥室	169	11.3.2 热板加热连续真空干燥工艺	193
9.3.2 半温室型太阳能干燥室	169	11.3.3 真空过热蒸汽干燥	194
9.3.3 集热器型太阳能干燥室	170	思考题	195
9.3.4 带辅助热源的太阳能干燥室	170	主要参考文献	195
9.4 木材太阳能干燥工艺	171	第 12 章 木材热压干燥	196
9.5 木材太阳能干燥的实用性	174	12.1 锯材热压干燥	196
9.5.1 太阳能干燥节能环保	174	12.1.1 热压干燥设备	196
9.5.2 太阳能干燥室设计有一定的 灵活性	174	12.1.2 热压干燥工艺	196
9.5.3 采用间歇式低温室干工艺对树种有较大的 适应性	174	12.1.3 热压干燥特点与应用	197

12.2 木材单板的热压干燥	198	15.3.3 高频-真空联合干燥工艺	229
12.2.1 单板热压干燥设备与工艺	198	15.4 高频-对流联合干燥	231
12.2.2 单板热压干燥的实用性分析	199	15.5 太阳能-热泵联合干燥	231
思考题	199	15.5.1 太阳能-热泵联合干燥的工作 原理	231
主要参考文献	199	15.5.2 太阳能供热系统的性能	232
第13章 木材微波干燥和高频干燥	200	15.5.3 太阳能-热泵联合干燥示例	233
13.1 木材微波与高频干燥的基本原理	200	15.5.4 太阳能-热泵联合干燥的经济 分析	233
13.2 木材微波与高频干燥特点	200	思考题	234
13.3 木材高频干燥设备与工艺	201	主要参考文献	234
13.3.1 木材高频干燥设备	201	第16章 木材干燥设备选型及性能检测	235
13.3.2 木材高频干燥工艺	202	16.1 木材干燥设备选型	235
13.4 木材微波干燥设备与工艺	204	16.1.1 木材干燥设备的基本要求	235
13.4.1 木材微波干燥设备	204	16.1.2 被干燥木材的质量要求	235
13.4.2 木材微波干燥工艺	205	16.1.3 企业生产规模要求	235
13.4.3 影响木材微波干燥的因素	206	16.1.4 能源要求	236
思考题	207	16.1.5 常规窑干设备的选型	236
主要参考文献	207	16.2 木材干燥设备性能检测	237
第14章 木材高温干燥与热处理	208	16.2.1 风速、风压、风量的测量	237
14.1 湿空气高温干燥	208	16.2.2 蒸汽流量的测量	238
14.2 过热蒸汽干燥	211	16.2.3 木材室干的热平衡测试	242
14.2.1 过热蒸汽处理的应用及特点	211	主要参考文献	243
14.2.2 常压过热蒸汽干燥	212	第17章 木材干燥室的设计	244
14.2.3 压力过热蒸汽干燥	213	17.1 干燥室设计的理论计算	244
14.3 高温干燥对设备性能的要求	217	17.1.1 设计任务和依据	244
14.4 高温干燥对木材性质的影响	217	17.1.2 室型选择与干燥室数量的计算	244
14.4.1 高温干燥对木材化学组分 及结晶特征的影响	217	17.1.3 周期式空气干燥室的热力计算	246
14.4.2 高温干燥对木材吸湿性的影响	217	17.1.4 干燥室的气体动力计算	250
14.4.3 高温干燥对木材收缩的影响	218	17.1.5 进气道和排气道的计算	252
14.4.4 高温干燥对木材力学性质的影响	218	17.2 周期式顶风机型空气干燥室计算 示例	253
14.5 高温干燥的特点及其适用范围	218	17.2.1 设计条件	253
14.6 木材高温热处理	219	17.2.2 干燥室数量的计算	253
14.6.1 木材高温热处理的定义及特点	219	17.2.3 热力计算	254
14.6.2 木材高温热处理的方法和工艺	220	17.2.4 空气动力计算	256
14.6.3 影响热处理材质量的因素与 热解机制	224	17.2.5 通风机的选择及其所需要的功率	258
思考题	227	17.2.6 进、排气道的计算	258
主要参考文献	227	主要参考文献	258
第15章 木材联合干燥技术	228	第18章 木材干燥学课程实验	259
15.1 气干-常规联合干燥	228	18.1 木材初含水率的测定	259
15.2 常规-除湿联合干燥	228	18.1.1 目的	259
15.2.1 常规与除湿干燥的优点与局限性	228	18.1.2 内容	259
15.2.2 常规-除湿联合干燥能耗分析	228	18.1.3 方法	259
15.3 高频-真空联合干燥	229	18.1.4 要求	259
15.3.1 高频-真空联合干燥概述	229	18.2 分层含水率的测定	259
15.3.2 高频-真空联合干燥装置	229		

18.2.1 目的	259	18.6.4 要求	264
18.2.2 内容	259	18.7 木材干燥质量检验与分析实验	264
18.2.3 方法	259	18.7.1 干燥木材的干燥质量指标	264
18.2.4 要求	259	18.7.2 干燥锯材含水率检验	265
18.3 常规室干过程中木材含水率的 测量	259	18.7.3 干燥锯材应力指标用应力检验板检测 方法	266
18.3.1 内容	259	18.7.4 干燥木材可见干燥缺陷的检测	267
18.3.2 方法	259	18.8 木材干燥基准的编制实验	267
18.4 木材平衡含水率的测定实验	261	18.8.1 目的	267
18.4.1 目的	261	18.8.2 内容	267
18.4.2 内容	261	18.8.3 方法	268
18.4.3 方法	261	18.8.4 干燥基准	270
18.4.4 要求	261	18.8.5 干燥时间	270
18.5 木材导热系数的测定实验	261	18.8.6 要求	271
18.5.1 目的	261	附录 1 湿空气热力学性质表	272
18.5.2 内容	261	附录 2 常压状态(0.1013MPa)湿空气参 数图	280
18.5.3 方法	262	附录 3 我国 300 个主要城市木材平衡含水率 气象值	281
18.5.4 要求	262	附录 4 中国主要木材树种的木材密度与干缩 系数	288
18.6 干燥介质温度、相对湿度及流动速度 的测定	263	附录 5 针叶树锯材干燥基准表	294
18.6.1 目的	263	附录 6 阔叶树锯材室干基准表	295
18.6.2 内容	263		
18.6.3 方法	263		

第1章 绪 论

1.1 木材干燥学概述

随着社会经济的发展和人民生活水平的不断提高,人们对家具和室内装饰的需求量日益扩大。目前家具的材料虽然种类繁多,有实木、人造板、金属、塑料、竹藤等,但由于木材具有美丽的天然纹理和色彩,具有吸音、隔热、调节室内温度与湿度等多种优点,同时又是当今世界四大原材料(钢材、水泥、木材、塑料)中唯一可以再生和循环利用的绿色材料,因此人们日益偏爱木质家具,特别是实木家具。这就导致木材的需求量日益增多,每年大约以 1000 万 m^3 的速度增加,提高木材利用率和减少木材损失已成为解决木材供需矛盾的主要途径之一。木材干燥(wood drying)是保障和改善木材品质,减少木材损失、提高木材利用率的重要环节。目前我国尚有相当多的木材由于未经干燥处理或干燥设备落后及干燥工艺不当等,存在开裂(check)、变形(distortion)、腐朽(decay)、虫蛀(damaged by vermin)及变色(discoloration)等缺陷,造成木材资源的浪费现象十分严重,这正是我国木材干燥领域从业人员与科研工作者所面临的严峻形势。

干燥是一门传统的通用技术,在人们生活和工业生产中处处可见,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、木材工业等几乎所有产业都会运用到干燥技术。干燥是一个高能耗的生产环节,在工业产品总能耗中,干燥能耗为4%(化学工业)、35%(造纸工业)、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生产总能源消耗的40%~70%。干燥过程中产生的废气含有大量的烟尘、二氧化碳、二氧化硫和二氧化氮,是造成大气温室效应、酸雨和臭氧破坏的主要因素。因此,干燥生产环节在工业生产中变得越来越重要,干燥科学也受到全社会的关注并得到了长足的发展。

1.1.1 木材干燥学研究的对象和内容

新采伐的木材中含有大量的水分,在木材被加工利用之前,须采取适当的措施,使木材的含水率降低到一定程度,以保证木制品的质量与使用寿命。那么,如何来降低木材的含水率呢?通常的做法就是对

木材进行干燥处理。木材干燥的一般步骤是:首先提高木材的温度,使木材中水分以水和水蒸气的形式向木材表面移动;然后在循环介质的作用下,使木材表层的水分以水蒸气的形式离开木材表面。

木材干燥方法(drying method)大体可分为机械干燥(mechanical drying)、化学干燥(chemical drying)、热力干燥(thermal drying)三类。通常所说的木材干燥是指在热力作用下以蒸发、扩散、渗流等方式排出水分的处理过程。

木材干燥学研究的对象为锯材干燥(lumber drying)。研究内容主要包括木材干燥介质,木材的干燥特性及其干燥过程中的热、质传递规律,木材干燥设备、工艺及干燥室(也称“干燥窑”)的设计。因此,木材干燥学是一门综合木材学、热工、机械、建筑、控制等多科性的应用科学,是木材科学与技术领域的一个重要分支。

木材干燥的基本原则是在确保干燥质量、节能、环保及低成本的前提下尽可能提高木材的干燥速度(drying rate)。

1.1.2 木材干燥的基本原理

木材干燥的任务就是排除木材中多余的水分,以适应不同的用途和质量要求。木材干燥的基本原理就是木材中的自由水,在木材毛细管张力、加热引起的水蒸气压力等的作用下,沿大毛细管系统向蒸发界面迁移(渗流),并在该处向干燥介质(drying medium)蒸发;木材中的结合水,在热力作用下由被微毛细管系统吸附、毛细管凝结的液面向系统内的空气蒸发,进而在含水率梯度(moisture content gradient of wood)、温度梯度、水蒸气压力梯度等作用下,以液态和气态两种形式连续地由木材内部向蒸发界面迁移和扩散;内部水分向蒸发界面的迁移速度与界面处水分蒸发强度协调一致,使木材由表及里均衡地变干。

以木材常规干燥过程为例:首先采用高温(100°C 以下)和高湿(饱和或接近饱和)的循环空气对木材进行预热处理,当木材内部被加热到规定的温度后,按干燥基准第一阶段的参数降低介质的温度和相对湿度,使木材厚度方向上形成内高外低的含水率梯度、温度梯度和水蒸气压力梯度的驱动力,迫使木材中的水分由内向外移动,以及木材表面水分的蒸发,这时干燥过程即可开始。然后按照干燥基准逐步提高介质的温度和降低相对湿度,使木材中水分由表及里均衡排出,直到干燥结束。在干燥过程中,应尽可能消除或减轻内应力、开裂和变形,在不降低木材物理力学性质的前提下,确保干燥质量。

1.1.3 木材干燥的意义

木材具有质量轻,机械强度高(品质系数高),耐酸、碱腐蚀,热绝缘性与电绝缘性好,易于切削,纹理、色泽美丽等优良特性,但这些优良特性只属于干燥后的木材。由于湿材的含水率较高,密度大,机械强度低,物理、力学性能较差,易腐朽等,不宜作为民用和工业用材,因此一般民用和工业用材必须经过干燥处理。

木材干燥可以从很多方面提高木材的使用性能,主要表现如下。

1) 可以提高木材和木制品的力学强度、胶结强度及表面装饰质量,改善木材的加工性能。当木材含水率低于纤维饱和点时,木材的力学强度将随着含水率的降低而提高;干木材的切削阻力小于湿材;湿材对胶黏剂与涂料有稀释作用,降低了木材的胶结强度与表面涂饰效果。例如,当松木由含水率 30% 降低到 18% 时,其静曲强度将从 50MPa 增至 110MPa。

2) 可以提高木材和木制品的形状与尺寸稳定性,防止木材开裂。当木材含水率在纤维饱和点(30%)以下时,木材在空气中随空气湿度的变化会发生湿胀与干缩现象;当木材干缩时木质门、窗有缝隙,接榫松脱,若干缩不均匀时还会引起开裂、变形等;当木材发生湿胀时,可能发生木地板翘起和门窗不能闭合等现象。

3) 可以预防木材的变质与腐朽,延长木制品的使用寿命。湿木材长期置于大气中,往往会发生腐朽或遭受虫害等。木材的腐朽是由木腐菌造成的,多数木腐菌在木材含水率高于 20% 时方能繁殖;当含水率在纤维饱和点以上时,木腐菌会严重地危害木材;当含水率在 20% 以下或达到饱和状态时,木腐菌的生长会受到限制。因此,对木材进行干燥处理是防止木材腐朽的有效措施之一。另外,木腐菌的适宜生长温度为 24~32℃,在 12℃ 以下、46℃ 以上,木腐菌几乎完全中止生长。木材经过干燥或采用蒸汽处理,可杀死木腐菌。高温高湿比单纯高温的杀伤力更强。因此,将木材的含水率降至 8%~12% 时,不仅可以保证木材固有的性质和强度,而且可以提高木材的抗腐蚀能力。

4) 改善木材的环境学特性。木材经过干燥处理后,内部水分含量与周围环境的湿度相平衡,进一步改善了木材的视觉特性、触觉特性、听觉特性、嗅觉特性和对环境的调节特性,使木材与人和环境更加和谐。

5) 减轻了木材的质量,有利于提高车辆的装载量,降低运输成本。我国每年有大量的木材要从林区

外运,湿材在运输过程中不但易受虫害,发生腐朽,而且由于木材中含有大量的水分,运输很不经济。如果事先对木材进行适当的干燥处理,使木材的含水率降低到 20% 以下,则可节约大量的运输力。

6) 可提高木材的热绝缘性与电绝缘性。当木材的含水率低于纤维饱和点时,含水率越低,导热性与导电性越小。

1.2 木材的干燥方法

木材干燥的方法种类繁多。按照木材中水分排出的方式分为热力干燥、机械干燥和化学干燥等。热力干燥是通过水分子热运动破坏水分子与木材之间的结合力,使水分子以汽化或沸腾的方式排出木材;机械干燥是通过离心力或压榨作用排出木材中的水分;化学干燥是使用吸水性强的化学品(如氯化钠等)吸取木材中的水分,实现木材干燥。其中,机械干燥和化学干燥方法不适于大规模生产,除偶尔用作辅助干燥方法外,极少采用。实际上木材干燥方法主要是指热力干燥。

热力干燥按干燥条件人为控制与否可分为大气干燥(air drying)(简称气干,也叫作自然干燥)和人工干燥(artificial drying)两大类。大气干燥是利用自然界空气中的热能、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。

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。

对流干燥是流动的干燥介质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、常规干燥、除湿干燥、太阳能干燥、真空干燥等。

电介质干燥是将湿木材作为电介质,将其置于高频或微波电磁场中干燥的方法。主要包括高频干燥和微波干燥。

辐射干燥主要是指红外线干燥,木材中的水分子吸收了远红外辐射能,使水分子产生共振,从而将电磁能转化为热能来加热木材,达到干燥木材的目的。木材热能是由加热器辐射传递的。

接触干燥是通过被干燥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。

1.2.1 木材大气干燥

大气干燥简称为气干,是自然干燥的主要形式,分为自然大气干燥(natural drying)(简称自然气干)

和强制大气干燥(forced air drying)(简称强制气干)两种。

自然大气干燥是一种古老而又简单的干燥方式。它是把木材按照一定的方式堆放在空旷的场院(又称为板院)或棚舍内,由自然空气流过材堆(stack),使木材内水分逐步排出,以达到干燥的目的。它的特点是简单,不需要太多的干燥设备,节约能源;但这种方法占地面积大,干燥时间长,干燥过程不能人为控制,受地区、季节、气候等条件的影响;终含水率(10%~20%)较高,在干燥期间易产生虫蛀、腐朽、变色、开裂等缺陷。所以,单纯的气干在实际生产中比较少见。

强制大气干燥是自然大气干燥的发展,它是指在板院或者棚舍内用通风机提供1m/s左右的风速来缩短干燥时间的方法。强制气干的干燥质量较好,木材不致霉烂变色,可以减少端裂(end check),干燥时间较普通气干可缩短1/2~2/3,但干燥成本约增加1/3。

林业行业标准《锯材气干工艺规程》(LY/T1069-2012)中对板院的技术条件、锯材堆积过程、气干过程的管理等内容有详细说明。

1.2.2 木材人工干燥

人工干燥方法种类很多,其特点是采用适当的干燥设备,干燥过程可人为控制,干燥周期比大气干燥短,干燥过程不受地区、季节与气候的影响,干燥的最终含水率可根据实际需要人为控制,以保证木材的干燥质量。

1. 木材常规干燥 常规干燥(usual drying)是指以湿空气(moist air)为干燥介质,以蒸汽(vapor)、炉气(furnace gas)、热水(hot water)或热油(hot oil)为热媒,间接加热湿空气,湿空气以对流换热方式为主加热木材,干燥介质温度在100℃以下的干燥方法。常规干燥中又以蒸汽为热媒的干燥室居多,一般简称蒸汽干燥。以炉气为热媒的常规干燥,在我国南方非采暖地区的中小型木材厂中占有相当大的比例,由于它能处理厂内的木废料,又能降低干燥成本,故受到一些干燥量不太大的工厂的欢迎。土法建造的简易干燥室,在我国及其他一些发展中国家,环境要求不高的地区仍较盛行。以热水为热媒的常规干燥,由于热水锅炉的价格比蒸汽锅炉低得多,故在一些不需要高温干燥,且干燥量不大的工厂有上升的趋势。以热油为热媒的常规干燥,目前在国内外的应用相对较少。

2. 木材高温干燥 高温干燥(high temperature drying)与常规干燥的区别是干燥介质温度在100℃以上,一般在120~140℃。其干燥介质可以是湿空气,也可以是常压、高压过热蒸汽。高温干燥的

优点是干燥速度快、尺寸稳定性好、干燥周期短,但高温干燥易产生干燥缺陷(drying defect),材色变深,表面硬化(case hardening),不易加工。高温干燥一般用于干燥针叶材,目前在新西兰、加拿大、澳大利亚、美国、日本等国家较盛行,如用于干燥辐射松、柳杉等建筑用材。高温干燥主要包括高温常规干燥、常压过热蒸汽干燥、木材高温热处理。

常压过热蒸汽干燥(superheated steam drying)方法在我国兴起于20世纪70年代,其特点是传热系数大、热效率高、节能效果显著、无爆炸和失火危险。这种方法对于薄且易干的木材具有良好的干燥效果,但干燥室的气密性和防腐蚀性等技术问题还有待进一步研究解决。所以,这种干燥方法至今并没有得到广泛的使用。

木材高温热处理是指采用160~230℃(常用180~212℃)的温度加热处理木材,改良木材的品质,降低木材的吸湿性和吸水性,提高尺寸稳定性、生物耐腐蚀性和耐气候性,使木材成为一种性能优良、颜色美观且环境友好的产品。木材高温热处理也称为高温热处理木材,国外称为“heat-treated wood”或“thermal modified wood”。“炭化木”是我国木材行业对高温热处理木材的俗称。

3. 木材除湿干燥 除湿干燥(dehumidification drying)和常规干燥的原理基本相同,也是以湿空气作干燥介质,湿空气以对流换热为主的方式加热木材。常规干燥是以换气的方式降低干燥介质湿度,热损失较大;除湿干燥是湿空气在除湿机与干燥室间进行闭式循环。它依靠空调制冷和供热的原理,使空气冷凝脱水后被加热为热空气,再送回干燥室继续干燥木材。湿空气脱湿时放出的热量依靠制冷工质回收,又用于加热脱湿后的空气。

除湿干燥虽然具有节能、干燥质量好、不污染环境等优点,但通常温度低、干燥周期长,依靠电加热,电耗高,因而影响了它的推广应用。在日本、加拿大等国家,一般用除湿干燥作为预干。

4. 木材太阳能干燥 太阳能干燥(solar drying)是利用集热器吸收太阳的辐射能加热空气,通过空气对流传热干燥木材。太阳能干燥主要可分为温室型和集热器型;太阳能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能环保,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,干燥周期长,单位材积的投资较大,高纬度地区冬季干燥效果差,故太阳能干燥适于与其他干燥方法联合使用,可获得较为理想的效果。

5. 木材高频与微波干燥 高频干燥(high frequency drying)和微波干燥(microwave drying)都是以湿木材作为电介质,在交变电磁场的作用下使木材中的极性分子做极性取向运动,分子之间产生碰撞或摩擦而生热,使木材从内到外同时加热干燥。高频干燥与微波的区别是前者的频率低、波长较长,对木材的穿透深度较深,适于干燥大断面的木材。微波干燥的频率比高频(又称为超高频)更高,但波长较短,其干燥效率比高频高,但对木材的穿透深度不及高频干燥。这两种干燥方法的优点是干燥速度快,木材内温度场比较均匀,残余应力(residual stress)小,干燥质量较好;缺点是投资大、电耗高,同时若功率选择不同,功率过大或干燥工艺控制不当,易产生内裂(internal check)和炭化(char)。

6. 木材真空干燥 真空干燥(vacuum drying)是木材在低于大气压的条件下实施干燥,其干燥介质可以是湿空气或过热蒸汽(superheated steam),但多数是过热蒸汽。真空干燥时,木材内外的水蒸气压力差增大,加快了木材内水分迁移速度;同时由于真空状态下水的沸点低,可在较低的温度下达到较高的干燥速率,干燥质量好,特别适用于透气性好或易皱缩(collapse)及厚度较大的硬阔叶材。

近十几年来真空过热蒸汽干燥在丹麦、德国、法国、加拿大、日本等国家已有工业应用,效果良好。但真空干燥设备投资大、电耗高,同时真空干燥容量一般比较小。目前我国真空干燥的应用较少。

7. 木材远红外干燥 远红外干燥(far-infrared drying)是指在远红外线的照射下,木材中的水分子吸收了远红外线的辐射能,产生共振,从而将电磁能转化为热能来加热木材,以达到干燥木材的目的。红外线是一种电磁波,波长为近红外线 $0.72 \sim 2.5 \mu\text{m}$,远红外线 $2.5 \sim 1000 \mu\text{m}$;木材干燥中使用的远红外线波长为 $5.6 \sim 25 \mu\text{m}$ 。远红外线木材干燥的优点是设备简单,干燥基准易于调节;缺点是电能消耗较大,干燥成本较高,红外线穿透木材的深度有限,干燥不均匀,易产生干燥缺陷,还易引起火灾等,目前极少应用。1991年第三次全国木材干燥学术讨论会指出电热远红外干燥成材,干燥质量差,电耗大,容易引起火灾,不宜再建此类干燥窑。

8. 木材压力干燥 压力干燥(press drying)是20世纪80年代出现的一种木材干燥方法,它是将木材置于密闭的干燥容器内,一方面提高木材的温度,另一方面提高容器内的压力,使木材中的水分在较高温度条件下开始汽化与蒸发,从而达到干燥木材的目的。这种干燥方法的特点是:干燥质量非常好,干燥周期较短;但能耗较大,容器的容积较小,生产量

不大;另外成材加压干燥后颜色变暗,在节子周围会出现较大裂纹;此种干燥方法的设备腐蚀问题、干燥工艺、干燥基准,有待进一步研究。

9. 木材溶剂干燥 溶剂干燥(solvent drying)是一种很少见的木材干燥方法。它是把湿木材放在嫌水性溶剂中,提高溶剂的温度,加热木材,使木材中的水分汽化和蒸发。这种溶剂的特点是不吸收木材中的水分,也不增加木材的湿度,干燥速度较快,设备简单、易于建造、工艺操作方便,但木材经过干燥后力学强度有所降低,不利于胶合和涂饰。常用的嫌水性溶剂有液体石蜡、硫磺等。

10. 木材热压(压板)干燥 热压干燥(hot press drying)是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。但难干的硬阔叶树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。

1.3 我国木材干燥技术进展与发展趋势

1.3.1 我国木材干燥技术进展

人类应用干燥技术的历史源远流长,我们祖先早在6000年前就开始应用干燥技术制造陶瓷和晒盐。许多古老的干燥技术至今还在应用,如应用太阳能和风能等的自然干燥技术仍在粮食、盐业、木材工业等方面普遍应用。1949年前,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,强制循环干燥极少。木材干燥作业分散在工匠之中,依附于作坊之内。

1948年,上海日晖港木材供应站从美国引进了一间长轴型砖混壳体蒸汽加热木材干燥室;1949年以后(20世纪五六十年代)在苏联专家的指导下,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木材干燥室;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。为克服长轴型木材干燥室安装、维修不方便的缺点,同期在上海新建了几间短轴型木材干燥室,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型木材干燥室,在中小企业普遍推广。1949年后的30年间,我国木材干

燥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,我国木材干燥行业得到了飞速的发展,已形成了一个完善的行业体系;尤其是近年来,随着人们环境保护意识的不断增强,锯材用量的逐渐增多,以及新技术、新方法的应用,木材干燥市场可谓繁荣昌盛,给我国木材干燥行业的快速发展带来了新的发展契机,使我国木材干燥行业走向了健康发展之路。目前,我国木材干燥行业具有以下几个特点。

1) 木材干燥在学科、专业及行业中拥有非常重要的地位;基础理论的研究与应用处于国际先进行列。

2) 木材常规干燥工艺技术水平日趋完善,达到了国际先进水平;特别是我国的常规干燥和除湿干燥设备的设计水平和技术性能已接近国际先进水平。

3) 木材干燥生产的范围与规模迅速扩大,干燥设备制造企业逐渐增多,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、气密性、可靠性都有明显提高。

4) 木材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、高频干燥等其他干燥方法并存的多样化格局;除湿、真空、微波及高频等干燥技术的应用有了较大发展。

5) 集中加工、集中干燥的局面初步形成。木材干燥专营企业多采用大容量常规干燥,有利于高新技术和现代化管理系统的应用,有利于保障木材干燥质量,有利于节能和环保,有利于降低干燥成本等。目前,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业企业,取得了良好的示范作用,预示着我国木材干燥业已走上了良性发展之路。

6) 木材干燥节能环保意识逐渐增强,节能环保干燥方法与技术不断涌现。

7) 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》《锯材窑干工艺规程》《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》《锯材干燥设备性能和检测方法》《木材干燥室(机)型号编制方法》等标准和规定,使我国木材干燥技术逐

渐走向标准化。

1.3.2 我国木材干燥面临的形势

近年来,我国木材干燥虽然在基础理论、工艺技术的发展、新技术与新方法的应用等方面有了较大的发展,但与先进国家相比,以及就我国对木材节约、产品质量与节能环保的要求而言,还存在许多不容忽视的问题,主要表现在以下几个方面。

1) 热能损耗与环境污染严重。木材干燥尤其是木材常规干燥还是以化石能源为主,干燥过程中热能损耗严重,同时对环境造成严重污染,能源问题已成为木材干燥行业发展的瓶颈,已经到了不得不解决的时候了,这也为我国木材干燥行业提供了良好的发展契机。

2) 木材干燥能力不足。2014年我国实木加工用材约7500万 m^3 ,实际木材干燥能力为1700万 m^3 ,仅占实木加工用材的23%。

3) 传统的木材干燥工艺滞后。近年来我国木材干燥对象主要为进口木材、硬阔叶木材和珍贵木材,树种多、批量小、规格不等,主要为实木家具与制品用材,质量要求高;传统干燥工艺偏硬,已不适于新形势下木材干燥技术的需求。

4) 国家标准和规范的执行力度不够。虽然国家早就颁布了《锯材干燥质量》《锯材干燥设备性能和检测方法》等国家标准,以及与木材干燥相关的行业标准与规范,但是由于一些木材生产企业和干燥技术人员没有认真执行国家标准与相关规范,造成不应有的产品质量纠纷,影响到木材干燥行业的健康发展。

5) 节能环保意识不强。降低能源消耗、加强环境保护是发展节约型社会的根本,是我国社会主义现代化建设的基本国策;能源消耗也是木材干燥成本的主要构成部分,尤其是较大规模的木材干燥企业,节能增效潜力极为可观,但目前我国木材干燥企业在节能环保方面投入不足、采取的措施不力,这也是我国木材干燥行业今后努力的方向。

6) 科学研究与实际生产脱节。主要表现在科研选题脱离生产实际,科研工作注重理论研究而忽视实际应用技术的研究,科研工作者不能深入生产第一线服务于生产,高等院校、科研院所为生产企业服务的意识不强等。

1.3.3 我国木材干燥技术的发展趋势

近年来,我国木材干燥技术发展取得了骄人的成绩;但我们要清醒地认识到我国木材干燥技术在节能环保、基础理论研究、干燥质量监控、干燥过程管理、干燥设备标准化等诸多方面还存在许多问题,我国木

材干燥技术今后的发展方向如下。

1) 加强木材干燥基础理论研究。木材干燥基础理论研究是干燥技术进步的基础,应侧重于:①木材干燥过程中的数字化与数学模拟等的研究;②木材干燥过程的传热传质模型与控制技术研究;③木材干燥过程中的应力与应变数学模型及干燥应力在线监测技术研究;④大范围、高精度木材含水率在线监测技术研究;⑤木材干燥质量的无损检测技术研究;⑥木材干燥过程的节能与环保关键技术研究等。

2) 推进木材常规干燥技术改造进程。木材常规干燥具有技术成熟、适应性强、可大规模生产等诸多优点,预计在今后相当长的一段时间仍将占主导地位。常规干燥技术的发展目标是干燥过程低能耗、低污染、低成本与高质量,主要研究方向:①清洁、自然能源替代化石能源技术;②干燥过程的节能与废气减排技术;③进口木材、珍贵木材及硬阔叶难干木材干燥工艺技术;④干燥过程的检测与控制技术;⑤干燥质量的无损检测与评价技术等。

3) 加快木材干燥设备制造技术创新与标准化。我国木材干燥设备和配套元器件的设计及制造技术与发达国家相比还有较大差距,应重点开展:①干燥设备尤其是节能干燥设备制造技术的研究;②木材干燥过程检测与控制设备的研究与开发;③木材干燥过程自动控制、多媒体管理及专家诊断等技术的研究与应用;④节能环保与干燥品质为一体的干燥设备开发与应用研究;⑤木材干燥设备综合评价与行业标准的研究;⑥加强对木材干燥设备生产企业的监督管理,正确引导木材干燥设备市场。

4) 广泛开展木材干燥新方法研究与推广。木材热泵除湿干燥、真空干燥、热压干燥、溶剂干燥、微波及高频干燥等干燥方法以清洁电能作为能源,各具特色,呈现出了增长趋势。今后的研究重点:①水源、空气源木材热泵除湿干燥技术的研究与推广;②真空过热蒸汽木材干燥技术的研究与推广;③大规格锯材、原木高频与微波干燥过程传热传质与工艺技术研究;④难干硬阔叶木材热压干燥技术的研究与推广;⑤溶剂干燥对木材改性技术的研究与推广等。

5) 节能、减排是木材干燥技术发展永恒的主题。节约现有能源、利用自然能源和开发新能源已成为木材加工业急待解决的问题;木材干燥是木材加工过程中能耗最大的一个工艺过程,占总能耗的40%~70%。因此,木材干燥过程具有巨大的节能潜力,应积极开展:①以清洁能源、自然能源为热源的木材干燥方法与工艺技术研究;②具有节能潜力的特种木材干燥方法及联合干燥方法与技术的研究;③清洁能源、太阳能集热与储热技术的研究与推广;④木材干燥设备与工艺节能技术的研究与推广;⑤木材干燥设

备保温材料与技术的研究;⑥木材干燥过程的废气排放控制与热能回收技术的研究与推广等。

6) 木材联合干燥技术符合国际木材干燥技术发展趋势。每一种干燥方法都具有各自的优点和适用范围,联合干燥就是通过整体组合或分段组合的方式将两种或两种以上干燥方法组合起来,发挥各自的优点而避其缺点,可获得最优的干燥效果,应广泛开展:①大气干燥与其他干燥方法分段组合干燥技术的研究与推广;②太阳能与其他干燥方法组合干燥技术的研究与推广;③微波及高频干燥与其他干燥方法组合干燥技术的研究与推广;④太阳能水源热泵与空气源热泵木材联合干燥技术的研究与推广等。

7) 进一步推进木材干燥生产的规模化和专业化建设。木材干燥生产的规模化和专业化有利于采用高新技术和现代化管理技术的应用,有利于保障木材干燥质量,有利于节能和环保,有利于降低干燥成本。一些发达国家如美国、加拿大等都有专营木材干燥的公司,根据用户订货要求干燥不同规格的板材或方材。而各种小型木材加工企业不必自备木材干燥设备,既降低了成本又保证了干燥质量。

思考题

1. 木材干燥学研究的对象和主要内容是什么?
2. 简述木材干燥及其原理。
3. 木材干燥的目的和意义有哪些?
4. 大气干燥和人工干燥方法主要有哪些?
5. 简述我国木材干燥技术进展与发展趋势。

主要参考文献

- 顾炼百. 2003. 木材加工工艺学. 北京:中国林业出版社
- 张璧光. 2002. 我国木材干燥技术现状与国内外发展趋势. 北京林业大学学报, 24(5/6): 262~266
- 张璧光. 2004. 木材科学与技术研究进展. 北京:中国环境科学出版社
- 张璧光. 2005. 实用木材干燥技术. 北京:化学工业出版社
- 张齐生. 2003. 中国木材工业与国民经济可持续发展. 林产工业, 30(3): 3~6
- 朱光前. 2003. 中国木材市场现状存在问题和发展建议. 林产工业, 30(2): 3~7
- 朱政贤. 1992. 木材干燥. 2版. 北京:中国林业出版社
- Mujumdar AS, Passos L. 1999. Drying: technology and trends in research and development. 99 the First Asian-Australia Drying Conference. Indonesia: 4~14
- Takuoku H. 2001. Present state of the wood drying in Japan and problem to be solved. 7th International IUFRO Wood Drying Conference: 14~19