

教育部高职高专教育林业类专业  
教学指导委员会规划教材

# 木材干燥技术

郝华涛 主编

中国林业出版社

# 教育部高职高专教育林业类专业

## 教学指导委员会

- |     |     |                           |
|-----|-----|---------------------------|
| 主任  | 杨连清 | 国家林业局人教司                  |
| 副主任 | 苏惠民 | 南京森林公安高等专科学校              |
|     | 张建国 | 中国林业科学研究院林业研究所            |
|     | 倪筱琴 | 南京林业大学应用技术学院              |
| 委员  | 安丰杰 | 国家林业局人才交流中心               |
|     | 李怒云 | 国家林业局造林司                  |
|     | 肖文发 | 中国林业科学研究院森林生态环境与<br>保护研究所 |
|     | 吕建雄 | 中国林业科学研究院木材研究所            |
|     | 吴友苗 | 国家林业局人教司教育处               |
|     | 冉东亚 | 国家林业局科技司综合处               |
|     | 肖世雄 | 黑龙江林业职业技术学院               |
|     | 关继东 | 辽宁林业职业技术学院                |
|     | 苏孝同 | 福建林业职业技术学院                |
|     | 莫翼翔 | 陕西杨凌职业技术学院                |
|     | 俞禄生 | 江苏农林职业技术学院                |
|     | 冼惠英 | 广西国发林业造纸有限公司              |
|     | 卓丽环 | 上海农林职业技术学院                |
| 秘书长 | 贺建伟 | 国家林业局职业教育研究中心             |

## 林业工程类专业教学指导分委员会

### 会员委导学学造

- |            |     |                 |
|------------|-----|-----------------|
| <b>主 任</b> | 吕建雄 | 中国林业科学研究院木材研究所  |
| <b>副主任</b> | 苏孝同 | 福建林业职业技术学院      |
|            | 曹晓光 | 东北林业大学职业技术学院    |
|            | 吴智慧 | 南京林业大学木材工业学院    |
| <b>委 员</b> | 刘伟国 | 福建省林业勘察设计院      |
|            | 曹东东 | 江西环境工程职业学院      |
|            | 刘恩永 | 黑龙江林业职业技术学院     |
|            | 于 伸 | 东北林业大学材料科学与工程学院 |
|            | 冯昌信 | 广西生态工程职业技术学院    |
|            | 谢宗荣 | 四川农业大学都江堰分校     |
|            | 张绍明 | 中南林业科技大学职业技术学院  |
|            | 马洪军 | 云南林业职业技术学院      |
|            | 刘晓东 | 湖北生物生态职业技术学院    |

主  
任  
副  
主  
任  
委  
员

设计部

## 《木材干燥技术》编写人员

主 编 郝华涛

编写人员 (按姓氏笔画排序)

张英杰 陕西杨凌职业技术学院

张晓坤 黑龙江林业职业技术学院

郝华涛 黑龙江林业职业技术学院

翟龙江 黑龙江林业职业技术学院

主 审 王逢瑚 东北林业大学

# 出版说明

为了进一步推动高职高专教育持续健康的发展,2004年12月30日教育部高等教育司颁发“教高司函[2004]283号《关于委托有关单位开展高职高专教育专题研究的通知》”,在全国启动了开展高职高专教育专题研究的工作。《高职高专教育林业类专业教学内容与实践教学体系研究》是其中的一个项目。该项目在国家林业局人教司的直接领导和支持下,由教育部高职高专教育林业类专业教学指导委员会(以下简称林业高指委)牵头组织,林业高指委副主任、南京森林公安高等专科学校校长苏惠民担任项目负责人,由有关林业高职院校、生产单位和国家林业局职业教育研究中心共同参与该项目的研究和开发工作。

该项目分4个子课题,分别由辽宁林业职业技术学院关继东教授、南京林业大学应用技术学院倪筱琴研究员、黑龙江林业职业技术学院肖世雄副教授和国家林业局职业教育研究中心贺建伟副研究员牵头,承担了《森林资源类专业教学内容与实践教学体系研究》《生态环境类专业教学内容与实践教学体系研究》《林业工程类专业教学内容与实践教学体系研究》和《高职高专教育林业类专业人才培养质量标准和“双师型”教师标准与培养的研究》,主要从森林资源类专业、生态环境类专业、林业工程类专业方面对教学内容与实践教学体系以及人才培养质量标准和“双师型”教师标准与培养进行研究和开发。

在广泛调研的基础上,形成了森林资源类专业、生态环境类专业、林业工程类专业人才培养指导方案和教学大纲。经专家鉴定符合高职教育培养高技能人才的总体培养目标,贯彻了“以就业为导向,以服务为宗旨”的职业教育方针,突出了实践技能和职业能力的培养,专业培养目标定位准确,所覆盖的就业岗位群与我国目前林业生态建设主战场对高职人才需求相适应,知识能力素质结构合理,课程设置和内容与国家职业资格相接轨,综合化程度高。新方案对教学措施、教学过程、时间分配把握适度,指导性强,给各院校在实施校企合作、工学结合的培养模式,实施弹性学制,办出特色提供了广阔空间。在教学大纲编写体例上,创造性地实行理论实训一体化,有利于防止学科化倾向,有利于学生技能培养,有利于理论实践的有机结合。

教材是体现教学内容和教学方法的知识载体,是进行教学的基本工具,也是深化改革,保证和提高教学质量的重要基础和支柱。这套教材是该项目的重要研究成果之一,它是根据新的教学大纲要求而编写的,其内容反映了新理念、新技术、新品种、新机具、新规程、新法规以及新的管理模式。这套教材的出版将对新时期林业高职高专教育起到很好的推动和促进作用。

民 01 年 0005

教育部高职高专教育林业类专业教学指导委员会

2006.06



## 前 言

木材干燥技术是高等职业教育木材加工与家具制造类专业的一门必修专业课。由于高职教育的特点,所用教材在内容的取舍、侧重点和编排等方面与本科教材及中职教材都有所不同。然而我国一直没有相应的高职教材,各校只能自编讲义或参考本科教材进行教学。

本书依据2005年教育部《高职林业工程类专业教学内容与实践教学体系的研究》课题组开发的《木材干燥技术教学大纲》编写,已在黑龙江林业职业技术学院试用。

本书以常规室干为重点,简要介绍了常用干燥介质的性质、与干燥有关的木材性质及木材干燥机理等基础知识,详细介绍了目前常用木材干燥室的基本结构、主要设备、检测仪表及干燥工艺等。同时还介绍了木材大气干燥与强制气干、除湿干燥、太阳能干燥、真空干燥、微波干燥及联合干燥等干燥方法的基本原理、方法特点及其适用性。

本书采用了最新相关国家标准和行业标准,充分体现了最新成熟干燥技术。在内容的取舍和编排上充分考虑职业技能鉴定的需要,注重理论与实践的结合,力求以直观的图表和丰富的实例帮助学生加深知识的理解,突出职业能力培养。为了便于教学,每章前列出了该章学习的知识目标和技能目标,章尾附有相应的技能训练和思考题。

本书为高等职业教育木材加工与家具制造类专业木材干燥课程教材,也可用作木材干燥技术短期培训教材或木材加工企业工程技术人员参考资料。

本书由郝华涛主编并统稿。编写人员的分工是:郝华涛编写第1章和第3~5章;翟龙江编写第2章;张晓坤编写第6章;张英杰编写第7章。

本书由东北林业大学王逢瑚教授审阅。王逢瑚教授对本书的编写提出了许多很好的意见和建议,在此表示衷心的感谢!

本书在编写过程中,得到了国家林业局职业教育研究中心、黑龙江林业职业技术学院、陕西杨凌职业技术学院等单位及领导的关心、指导和支持,在此表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免有不当之处,敬请各位读者批评指正。

郝华涛

2006年10月

# 目 录

(04)	出版说明	0.2.2
(04)	前 言	0.2.3
(04)	绪 论	1
(02)	第 1 章 木材干燥的基础知识	(5)
(20)	1.1 常用木材干燥介质	(6)
(21)	1.1.1 水蒸气与过热蒸汽	(6)
(24)	1.1.2 湿空气的性质	(9)
(24)	1.1.3 炉气	(16)
(27)	1.2 木材中水分的蒸发与移动	(17)
(28)	1.2.1 木材中水分的存在状态	(17)
(10)	1.2.2 空气中木材表面水分的蒸发与木材平衡含水率	(18)
(05)	1.2.3 木材内部水分的移动(传导)	(23)
(05)	1.3 木材的干缩湿胀与木材变形	(24)
(03)	1.3.1 木材的干缩与湿胀	(24)
(03)	1.3.2 木材干缩与变形	(27)
(04)	1.3.3 木材的塑性与黏弹性	(28)
(02)	1.4 木材的热学性质与木材的对流加热	(29)
(20)	1.4.1 木材的热学性质	(29)
(02)	1.4.2 木材的对流加热(冷却)	(30)
(00)	1.5 木材的电学性质与木材电介质加热	(30)
(00)	1.5.1 木材的电学性质	(30)
(00)	1.5.2 木材电介质加热	(31)
(05)	1.6 木材辐射加热与传导加热简介	(32)
(17)	1.6.1 木材辐射加热	(32)
(17)	1.6.2 木材传导加热	(33)
(15)	1.7 木材在气体介质中的对流干燥机理	(33)
(14)	技能训练	(36)
(25)	第 2 章 木材大气干燥与强制气干	(38)
(28)	2.1 大气干燥的特点及影响因素	(39)
(28)	2.2 大气干燥技术	(40)

2.2.1	气干板院场地的选择原则	(40)
2.2.2	材堆在板院的布局	(40)
2.2.3	堆垛的要求	(40)
2.2.4	气干材堆尺寸	(42)
2.2.5	锯材气干的堆积方法	(42)
2.2.6	气干时间	(44)
2.3	强制气干	(45)
<b>第3章</b>	<b>木材干燥室的典型结构</b>	<b>(49)</b>
3.1	干燥室概述	(50)
3.1.1	干燥室的技术要求	(50)
3.1.2	干燥室的一般构成	(50)
3.1.3	干燥室的分类	(50)
3.1.4	干燥室型号编制方法	(51)
3.2	周期式强制循环干燥室	(54)
3.2.1	上风机型干燥室	(54)
3.2.2	侧风机型干燥室	(57)
3.2.3	端风机型干燥室	(60)
3.2.4	炉气干燥室	(61)
3.2.5	预干室	(62)
3.3	周期式自然循环干燥室简介	(62)
3.3.1	周期式自然循环蒸汽干燥室	(63)
3.3.2	周期式自然循环炉气干燥室	(63)
3.4	连续式干燥室	(64)
3.5	干燥室的评价与选用	(65)
3.5.1	标准木料	(65)
3.5.2	干燥室的技术经济分析	(65)
3.5.3	干燥室的选用	(66)
	技能训练	(69)
<b>第4章</b>	<b>木材干燥室壳体与设备</b>	<b>(70)</b>
4.1	干燥室壳体与门的结构	(71)
4.1.1	金属结构壳体	(71)
4.1.2	砖混结构壳体	(72)
4.1.3	门	(74)
4.2	供热设备	(75)
4.2.1	蒸汽加热设备	(75)
4.2.2	导热油与热水加热设备	(82)
4.2.3	炉气供热设备	(85)



(141)	4.2.4 加热器在干燥室内的分布与安装	(88)
(141)	4.3 调湿设备	(88)
(141)	4.3.1 喷蒸调湿设备	(88)
(141)	4.3.2 喷水调湿设备	(88)
(141)	4.3.3 进、排气装置	(89)
(141)	4.4 通风设备	(90)
(141)	4.4.1 通风机概述	(90)
(141)	4.4.2 离心通风机	(90)
(141)	4.4.3 轴流通风机	(92)
(141)	4.4.4 通风机传动、分布与安装	(95)
(141)	4.4.5 干燥室内用电动机	(96)
(141)	4.4.6 挡风板	(97)
(141)	4.5 干燥室内设备的防腐蚀措施	(97)
(141)	4.5.1 表面涂漆法	(98)
(141)	4.5.2 表面喷铝法	(98)
(141)	4.6 材堆运输与装卸设备	(99)
(141)	4.6.1 材堆运输设备	(99)
	4.6.2 材堆装卸设备	(101)
(141)	4.7 检测仪表与设备	(103)
(141)	4.7.1 温度测定仪表	(103)
(141)	4.7.2 介质湿度测量仪表	(105)
(141)	4.7.3 木材含水率检测仪	(107)
(141)	4.7.4 木材干燥过程的自动控制	(109)
(141)	技能训练	(115)
(141)	<b>第5章 木材室干技术</b>	<b>(118)</b>
(141)	5.1 木材室干工艺的内容及制定依据	(119)
(141)	5.1.1 木材室干工艺	(119)
(141)	5.1.2 木材室干工艺的制定依据	(119)
(141)	5.2 锯材的堆垛	(120)
(141)	5.2.1 装堆方式及材堆尺寸	(120)
(141)	5.2.2 隔条及其使用	(121)
(141)	5.2.3 装堆应注意事项	(122)
(141)	5.3 干燥基准	(122)
(141)	5.3.1 干燥基准的软与硬	(123)
(141)	5.3.2 干燥基准的种类	(123)
(141)	5.3.3 干燥基准的选用与制订	(137)
(141)	5.4 木材干燥应力与热湿处理工艺	(141)
(141)	5.4.1 木材干燥过程中的应力变化	(141)

(88)	5.4.2 木材室干过程中的热湿处理工艺	(142)
(88)	5.4.3 木材干燥曲线	(146)
(88)	5.5 木材的高温干燥和低温干燥简介	(148)
(88)	5.5.1 高温干燥方法及其干燥工艺	(148)
(88)	5.5.2 高温干燥对干燥室的要求	(149)
(00)	5.5.3 高温干燥的优缺点及适用性	(150)
(00)	5.5.4 低温干燥的特点及适用性	(150)
(00)	5.6 小径木锯材的干燥	(150)
(00)	5.7 木材室干过程检测与干燥质量检测	(152)
(20)	5.7.1 含水率检验板与含水率试验板	(152)
(00)	5.7.2 木材室干过程检测	(152)
(70)	5.7.3 干燥质量检测	(156)
(70)	5.8 木材室干的实施与操作	(164)
(80)	5.8.1 操作步骤	(164)
(80)	5.8.2 室干操作注意事项	(165)
(00)	5.8.3 干燥室操作中常见故障及原因分析	(166)
(00)	技能训练	(169)
(101)		
	<b>第6章 木材特种干燥技术</b>	(173)
(80)	6.1 木材除湿干燥	(174)
(102)	6.1.1 除湿干燥的主要设备及工作原理	(174)
(107)	6.1.2 除湿干燥工艺	(177)
(001)	6.1.3 除湿机的维护与保养	(179)
(112)	6.1.4 除湿干燥的优缺点及其应用	(181)
	6.2 木材太阳能干燥	(181)
(111)	6.2.1 太阳辐射与太阳能集热器	(182)
(111)	6.2.2 太阳能干燥室	(185)
(111)	6.2.3 太阳能干燥工艺	(188)
(111)	6.2.4 太阳能干燥的优缺点及其应用	(189)
(120)	6.3 木材真空干燥	(190)
(051)	6.3.1 真空干燥的基本原理	(190)
(121)	6.3.2 真空干燥设备	(190)
(122)	6.3.3 真空干燥工艺	(193)
(122)	6.3.4 真空干燥法的特点及应用	(196)
(123)	6.3.5 两种节能真空干燥新技术	(197)
(83)	6.4 木材微波干燥和高频干燥	(198)
(137)	6.4.1 微波干燥	(198)
(141)	6.4.2 高频干燥	(201)
(141)	6.4.3 高频和微波干燥的特点及应用	(203)

技能训练 .....	(204)
<b>第7章 木材联合干燥技术</b> .....	(206)
7.1 气干与人工干燥联合干燥 .....	(207)
7.2 太阳能与除湿联合干燥 .....	(207)
7.3 除湿与常规联合干燥 .....	(209)
7.4 其他联合干燥技术 .....	(210)
综合实训 .....	(212)
参考文献 .....	(214)

# 绪 论

## 1 木材干燥及其研究对象

木材取自树木，是一种天然高分子多孔性材料。由于树木的生理需要，木材中含有大量的水分，另外木材在水运、水中保存和加工过程中还可能浸入或吸收水分，只有当这些水分大部分排出后，木材才能有效利用。所谓木材干燥就是指排除木材中所含水分的处理过程。

木材水分可以通过蒸发、沸腾或传导方式排除，其中以蒸发为主。当湿木材周围空气中的水蒸气含量低于该温度下的最大蒸汽含量时，木材中的水分就会蒸发。一般空气（阴雨天空气除外）中的水蒸气含量都低于同温下的最大蒸汽含量。因此，正常气温下，空气中的湿木材都会蒸发水分，如同湿衣服在空气中会变干一样。从这个意义上说，湿木材只要暴露在空气中，随时都在干燥。当然，通常所讨论的木材干燥不仅限于此，主要是指有组织、有控制、按照一定规程进行的干燥过程。木材干燥技术则是实施和控制这一干燥过程的具体方法和手段。

木材干燥所指的木材为实体木材，因此，其研究对象主要指锯材和地板块毛料、梭坯毛料、鞋楦毛料等其他小木料或半成品。至于胶合板、刨花板、纤维板生产中的单板、碎料、木片等薄小木质材料的干燥，在方法上与实体木材干燥有所不同，因此，不包括在本课程范围之内。

## 2 木材干燥的目的及意义

木材干燥的目的，概括起来主要有以下四个方面：

### (1) 防止木材变形和开裂，保证产品的加工质量

木材含水率在纤维饱和点以下范围内变化时，木材就会发生干缩或湿胀。由于这种干缩或湿胀的不均匀性，必然会引起木材变形甚至开裂。如将木材干燥到其含水率与使用环境相适应的程度，就能保持木材形状和尺寸的稳定。因此，适当干燥木材是生产高质量产品的重要前提。例如按东北地区采暖条件要求干燥的水曲柳镶拼地板（含水率8%左右），远销到港澳铺装使用（最高平衡含水率约为17%），就会因吸湿膨胀而变形凸起。而按上海使用条件（平均平衡含水率约为15.6%）干燥的水曲柳镶拼地板用于包头（平均平衡含水率约为10.7%），又会因失水干缩而产生缝隙。二者均不符合使用要求。

### (2) 提高木材的力学强度，改善木材的物理性能

含水率低于纤维饱和点时，除抗冲击韧性外，木材的其他力学强度都会随着含水率的降低而增高，反之强度降低。例如，松木由含水率30%降到18%，静曲强度从50MPa增至110MPa。另外，含水率适度降低，还可降低木材的导电性和导热性，改善木材的工艺性能，提高制品的加工质量、胶合质量和涂装效果。

### (3) 预防木材腐朽变质，延长木材的使用寿命

木腐菌和昆虫的寄生都需要一定的温度、湿度、空气和养料，四个条件缺一不可。当木



材含水率低于 20% 或高于 100% 时, 不利于木腐菌和昆虫生存。因此只要把木材干燥到含水率低于 20%, 就可以增加木材的抗腐蚀性性能, 确保木材的固有特性, 延长使用寿命。

#### (4) 减轻木材重量, 降低运输费用

经过干燥的木材, 重量一般可减轻 30% ~ 40%。如在林区将原木就近制材, 并将锯材干燥到含水率低于 20% 外运, 将会节约大量运力, 降低费用, 保证质量。

综上所述, 干燥是合理利用木材、节约木材的重要技术措施, 是木材“精、深”加工过程中至关重要的关键环节。木材干燥涉及行业很多, 包括家具、装饰、建筑、造车、造船、纺织、乐器、军工、机械制造、仪器制造、邮电器材、体育用品、文具玩具等, 几乎所有使用木材的部门都要进行木材干燥。因此, 木材干燥对社会的进步和经济的繁荣都具有重要意义。

### 3 木材干燥方法

木材干燥的方式、方法很多。按照木材中水分排出的方式可分为三种: 即热力干燥、机械干燥和化学干燥。热力干燥是通过热力作用使木材中的水分产生蒸发或沸腾排出木材的方法; 机械干燥通过离心力或压榨作用排出木材中的水分; 化学干燥使用吸水性强的化学品(如氯化钠等)吸取木材中的水分。其中, 机械干燥和化学干燥由于存在严重缺点, 除偶尔用为辅助干燥方法外, 极少采用。实际木材干燥生产采用的都是热力干燥, 以后如不特别说明讨论的都是热力干燥。

热力干燥按干燥条件控制与否可分为大气干燥(简称气干, 也叫天然干燥)和人工干燥两类。大气干燥完全利用自然界中大气的热能、湿度和风力对木材进行干燥。除大气干燥外, 所有人为控制干燥条件的干燥方法都叫人工干燥, 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(按照干燥介质温度的高低可分为低温室干、常温室干和高温室干)、除湿干燥、太阳能干燥、真空干燥(间歇式)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, 在交变电磁场作用下, 木材内部水分子极化, 摩擦生热干燥木材。

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。

需要特别说明的是, 常规干燥是以常压湿空气为干燥介质, 以饱和蒸汽、热水、炉气等为热媒, 通过散热器间接加热, 用进排气道换气辅助调节介质温度、湿度, 对木材进行干燥处理的方法。这是一种传统的人工干燥木材方法, 也是国内外应用最普遍、最重要的方法。无论过去还是现在, 在木材干燥生产中都占有绝对的主导地位。过去叫“空气干燥”(也叫蒸汽干燥), 后来由于以此为基础的除湿干燥(除湿方法不同)、太阳能干燥(热源不同)、真空干燥(负压加速木材中水分蒸发)等的出现, 为了与这些以湿空气为介质的新干燥方法区别, 因而把传统的“空气干燥”概括为“常规干燥”。



## 4 木材干燥技术的发展趋势

随着国内外木材加工工业化程度的不断提高和电子技术、节能技术、材料技术的快速进步,木材干燥技术也有了很大的发展。除湿干燥、太阳能干燥等新技术得到广泛应用,常规干燥设备的工艺性、保温性、密封性、防腐性进一步增强,干燥成本降低,干燥质量和经济效益大为提高,为木材工业产品质量的提高奠定了基础。

未来木材干燥的发展集中体现在以下几方面:

### (1) 干燥方法仍以常规干燥为主,其他干燥为辅

从干燥量来看,目前国内外80%~90%木材采用常规室干和气干。气干虽然简单易行,经济实用,但由于干燥速度慢、周转时间长、占地面积大、终含水率高等,难以收到常规干燥的效果,发展有一定的局限性。因此,常规干燥应是未来发展的主要趋势。

特种干燥目前就干燥量而言所占比例并不大,但这些方法各有其特点,在某些方面的优越性是常规干燥所不及的,因此,在一些行业或地区有其独特的适用性。

### (2) 发展联合干燥

联合干燥可综合不同干燥方法的优点,取长补短,是木材干燥技术发展的重要方向。根据德国资料介绍,大容量直接室干比气干后再室干每立方米投资费用高8%,干燥成本高6%。由此可见气干-室干联合干燥的优越性。同样微波-真空联合干燥、除湿-太阳能联合干燥等都具有良好的节能效果。

### (3) 节能降耗

木材干燥的能源消耗占制品生产能耗的40%~70%。因此降低木材干燥的能源消耗,对节约能源、降低成本具有重要意义。节能途径有:①发展太阳能干燥、除湿干燥等节能干燥方法;②进一步改进常规干燥室的性能,如提高干燥室壳体的保温和密封性,回收废气热量;③适当采用木材废料作燃料。

### (4) 完善干燥工艺

由于木材材种和质量要求的不同,高温、常温和低温干燥都将得到发展。其中,低温干燥以其适合硬阔叶树材的干燥、干燥质量稳定等特点近年来备受重视,根据欧美在发展低温预干方面的成功经验,未来低温预干在我国将会广泛采用。高温干燥的应用要扬长避短。常温干燥有待进一步完善。

## 5 我国木材干燥工业的现状

我国木材干燥工业从新中国成立后至1979年30年间初步形成,改革开放20多年间得到全面发展,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几个特点:

### (1) 企业的干燥意识增强

过去靠简单晾晒或土法干燥解决木材干燥的现象已经少见,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,甚至在绥芬河、满洲里等一些木材集散地出现了集中近百家木材干燥专业企业的干燥城,且投资该产业的资金仍呈逐年递增之势,说明我国木材干燥工业正处在快速发

展时期。

(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、炉气干燥等各种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室, 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) 经营模式逐渐与国际接轨, 集中加工, 集中干燥的局面初步形成

随着我国“天然林保护工程”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

仅以绥芬河市为例, 1998 年有干燥室 4 间, 总设计装材量为 300m<sup>3</sup>; 2002 年有干燥室 126 间, 总设计装材量为 9925 m<sup>3</sup>; 到 2004 年, 干燥室近 400 间, 总设计装材量约 32 000 m<sup>3</sup>。

(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、气密性、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《锯材干燥质量标准》、《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》等标准和规定, 使我国木材干燥技术的规范化发展有法可依。

我国木材干燥工业在快速发展的同时, 也还存在一些不容忽视的问题, 主要表现在:

(1) 木材干燥技术管理与操作人员奇缺

现有技术人员技术水平偏低, 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, 由此造成一些不应有的损失。

(2) 干燥质量检验不够规范

虽然国家早已颁布实施了国家标准 GB/T 6491—1999《锯材干燥质量》, 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。

(3) 节能意识不强

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。今年我国提出建设节约型社会, 并有相应的政策措施出台, 这为木材干燥工业节能工作提供了良好的发展契机。

据有关资料统计, 目前国外干燥材占锯材 30% 以上, 美国西部达 60%。近几年我国木材干燥工业的快速发展虽然使锯材干燥率明显提高, 但还远没达到发达国家的水平。不过我国木材干燥工业已经有了一个良好开端, 只要能不断地解决发展中存在的人才、质量等关键问题, 木材干燥工业必将为我国的经济发展起到积极的推动作用。

# 第1章

## 木材干燥的基础知识

### 学习目标

#### 知识目标：

1. 明确干燥介质的概念与作用，了解水蒸气的三种状态及其性质和特点；
2. 掌握湿空气的组成和主要参数，了解  $I-d$  图的构成与作用；
3. 了解炉气的概念及木材干燥用炉气的要求；
4. 了解木材中水分的存在状态和移动途径，明确纤维饱和点的概念及其提出的意义，了解木材水分的蒸发过程与木材平衡含水率的概念及影响因素；掌握木材内部水分移动的动力及影响水分移动的因素；
5. 掌握木材干缩湿胀性及与木材变形的相互关系；
6. 了解木材的热学性质与对流加热（冷却）；
7. 了解木材的电学性质与电介加热；
8. 掌握木材的对流干燥机理及影响因素。

#### 技能目标：

1. 熟练掌握根据压力或温度查表确定饱和和蒸汽其他参数的方法和根据温度查表确定常压过热蒸汽其他参数的方法；
2. 学会自制干湿球温度计，熟练掌握用干湿球温度计测量空气湿度的方法；
3. 会用  $I-d$  图确定空气的各种参数；
4. 熟练掌握通过空气温度、湿度确定木材平衡含水率的方法；
5. 学会查资料确定常见木材的干缩系数，并计算木材干缩（湿胀）量或干、湿木材的尺寸。



木材干燥是一个复杂的过程，包含着多种物理现象，涉及到木材的加热、木材水分的传导、水分的蒸发、木材干燥内应力等。只有了解这些物理现象，掌握其变化规律，进而采取科学有效的工艺措施，才能取得满意的干燥效果。本章仅就木材干燥过程中的各种物理现象和有关规律做简单介绍，以说明木材干燥的机理。

## 1.1 常用木材干燥介质

对流干燥是木材干燥的重要方法。对流干燥必须借助干燥介质，干燥过程的控制是通过调整干燥介质状态来实现的，学习木材干燥技术必须了解干燥介质。另外，空气是最重要的干燥介质，木材的运输、存放、加工、使用都是在空气中进行的，其含水率将随空气状态的变化而变化，正确把握空气中木材的含水率变化规律也要了解空气的性质。因此，本节专门介绍包括空气在内的常用木材干燥介质的性质。

所谓干燥介质，是指在干燥过程中将热量传给木材，同时将木材排出的水蒸气带走的媒介物质。

干燥介质可为气体，亦可为液体。在常规室干中，干燥介质为湿空气；在过热蒸汽干燥中，干燥介质为过热蒸汽；在炉气干燥中，干燥介质为炉气；在有机溶剂干燥中，干燥介质为有机溶剂。目前，木材干燥生产中最为常用的干燥介质主要有三种，即湿空气、水蒸气和炉气。

### 1.1.1 水蒸气与过热蒸汽

水可分为饱和水和不饱和水。一定气压下，达到沸腾温度时的水称为饱和水，否则称为不饱和水。水达到饱和状态时的温度称为该压力条件下的饱和温度，用符号  $t_{bh}$  表示。一定的压力对应有相应的饱和温度，通常所说的水的沸点特指常压下水的饱和温度。

水蒸气按其存在状态可分为干饱和蒸汽、湿饱和蒸汽和过热蒸汽。

#### 1.1.1.1 干饱和蒸汽

干饱和蒸汽简称干蒸汽，是与沸腾水处于相平衡的蒸汽或无沸腾水的蒸汽，呈无色、透明状。从蒸汽锅炉引出的蒸汽即为干饱和蒸汽。干饱和蒸汽的压力称为饱和压力  $p_{bh}$ ，相应的温度称为饱和温度  $t_{bh}$ ，二者有对应关系，见表 1-1。由表可以看出，当温度不高时，饱和压力很小，随着温度的升高，饱和压力迅速明显增加。表中其他参数：密度  $\rho$  指单位体积的质量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；质量体积  $v$  指单位质量的体积 ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )；汽化潜热指单位质量饱和水蒸发成等温蒸汽所吸收的热量；焓  $I$  指以  $0^\circ\text{C}$  水所含热量（能量）为零时，单位质量干蒸汽所含有的全部热量（能量）（单位： $\text{kJ}/\text{kg}$ ）；焓与汽化潜热之差 ( $I - \lambda$ ) 即为等温水所含有的热量。由此可以看出，水汽化所需热量远远大于等温水所含有的热量。

在  $90 \sim 250^\circ\text{C}$  范围内，还可近似地用以下经验公式表示，即

$$p_{bh} = 10 \left( \frac{t_{bh}}{10} \right)^4 \quad (1-1)$$

式中： $p_{bh}$ ——饱和压力（Pa）。

应该指出，蒸汽的饱和温度等于在该压力下水的沸点温度。