

木材工业实用技术指导丛书

中国林学会木材工业分会
南京林业大学木材工业学院

组织编写

◎ 丛书主编 张齐生 张贵麟

木材干燥技术

► 杜国兴 李大纲 编著

.....



◎ 中国林业出版社

木材工业实用技术指导丛书 (第一辑)

• • • • •



《木材识别与选购指南》

定价:16.00 元

《木材干燥技术》

定价:14.00 元

《人造板》

定价:18.00 元

《木工胶粘剂》

定价:18.00 元

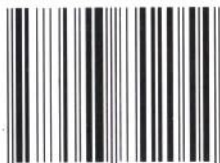
《家具及木制品制作》

定价:19.00 元

《家具木工识图》

定价:15.00 元

ISBN 7-5038-4205-9



9 787503 842054 >

丛书策划: 徐小英 杨长峰

责任编辑: 萧 风

封面设计: 赵 芳

版式设计: 沈 江

定价: 14.00 元



木材工业实用技术指导丛书

中国林学会木材工业分会
南京林业大学木材工业学院 组织编写

● 丛书主编 张齐生 张贵麟

木材干燥技术

▶ 杜国兴 李大纲 编著

· · · · · ·

● 中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

木材干燥技术 / 杜国兴, 李大纲编著. - 北京: 中国林业出版社, 2005. 12
(木材工业实用技术指导丛书. 第一辑/丛书主编: 张齐生, 张贵麟)
ISBN 7-5038-4205-9

I. 木… II. ①杜…②李… III. 木材干燥 IV. S781.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 158787 号

出版 中国林业出版社(100009 北京西城区刘海胡同7号)

E-mail forestbook@163.com **电话** (010)66162880

网址 www.cfph.com.cn

发行 中国林业出版社

印刷 北京林业大学印刷厂

版次 2005 年 12 月第 1 版

印次 2005 年 12 月第 1 次

开本 190mm × 210mm

印张 7.5

字数 110 千字

印数 1 ~ 5 000 册

定价 14.00 元

**“木材工业实用技术指导丛书（第一辑）”
编委会**

顾 问：王 恺

主 编：张齐生 张贵麟

副主编：周定国 丁美蓉

编 委：（按姓氏笔画为序）

丁美蓉	马启升	王 恺	叶克林	吕 斌
吕建雄	庄寿增	李大纲	吴智慧	张齐生
张贵麟	陈绪和	周定国	周捍东	周晓燕
徐小英	梅长彤	傅 峰		

**《木材干燥技术》
编审人员**

编 著：杜国兴 李大纲

主 审：顾炼百



森林担负着保护生态环境和提供木材资源两大功能。几千年来,我国木材工业从原始的作坊、简单的工厂到今天现代化的企业,科学技术在其发展进程中发挥了巨大的作用。目前,我国的木材工业在分类、品种、市场和技术等方面形成了完整的体系,已成为木材工业大国,正向木材工业强国迈进。

随着社会经济的发展、人类文明的进步和居民生活水准的提高,对木材及其制品的数量和质量提出了越来越高的需求,对木材加工技术,包括掌握技术的人群也提出了越来越高的要求。尤其是近几十年来,世界上木材资源的重点逐步从天然林向人工速生林转移,针对新型木材原料的材性、加工和应用技术以及相应的文化内涵都形成了新的技术范畴,对木材工业科技工作者提出了一系列新的研究课题。

改革开放以来,我国木材工业在投资主体、经营模式、管理机制和市场流通等方面都发生了巨大变化,出现了与计划经济时代完全不同的运行模式,形成大、中、小企业并行,先进与后进技术共存的运作现状,这就需要向社会提供适合不同层次的组织和人群阅读的各类技术资料。半个世纪以来,林业高等院校、科研院所和中国林业出版社编写出版了大量与木材工业相关的专业图书,对促进我国木材工业的发展做出了突出的贡献,但与今天我国木材工业的发展需求尚存差距。

为了推动我国木材工业的可持续发展,培养和造就一支充满活力的技术队伍,根据中国林学会木材工业分会的建议,组织编写了“木材工业实用技术指导丛书”。本次先期出版第一辑,包括《木材识别与选购指南》《木材干燥技术》《人造板》《木工胶粘剂》《家具及木制品制作》和《家具木工识图》等六册,今后还将根据专业和读者的需要编写续辑。

本套丛书具有如下特点:一是强调专业针对性,每本书针对一个专业方向、一个技术问题或一个产品,以适应读者的需要;二是强调内容适用性,丛书在编写过程中避免了过多的理论叙述,注重实用,易懂,可操

作，文字简练，有助掌握；三是强调知识先进性，丛书中所收集的技术、工艺和设备都是近年来在实践中得到应用并证明有良好收效的较新资料，杜绝平庸的长篇叙述，突出技术创新和自主知识产权。本套丛书适合于木材工业企业的生产和管理人员阅读，也可供希望了解和掌握木材工业技术知识的人员参考。

这里还要强调的是本套丛书的编者，大多是近年来在木材工业教学科研领域崭露头角的年轻博士和教授。这标志着我国木材工业学术队伍兴旺发达，后继有人。

本套丛书在编写过程中，得到了我国著名的木材工业专家王恺教授的指导关心和中国林学会木材工业分会、南京林业大学木材工业学院和中国林业出版社的大力支持，受到了我国从事木材工业产品生产、销售和应用的相关单位和个人的关注，谨此表示衷心的感谢！我们确信，本套丛书的出版和发行，将会推动我国木材工业技术的普及和推广提升到一个新的水平。

張齊生

中国工程院院士
南京林业大学教授

2005 年 12 月

序	张齐生
一、木材干燥的物理基础	(1)
(一) 木材干燥的意义	(1)
(二) 木材与水分	(2)
1. 木材中水分的状态	(2)
2. 木材平衡含水率	(3)
(三) 木材在气体介质中的对流干燥过程	(5)
1. 木材干燥曲线	(5)
2. 木材干燥时内部水分的移动	(6)
3. 木材表面水分的蒸发	(6)
4. 影响木材干燥速度的因素	(7)
(四) 木材干燥过程中的应力与变形	(8)
1. 木材的干缩	(8)
2. 木材干燥的内应力及其产生原因	(10)
3. 不同干燥阶段的木材内应力	(11)
4. 木材各向异性引起的应力变形	(14)
(五) 测定木材含水率的主要方法	(15)
1. 重量法	(15)
2. 电测法	(15)
(六) 木材干燥的基本原理	(16)
(七) 木材干燥的基本原则	(16)
二、木材干燥方法	(19)
(一) 蒸汽干燥	(19)
(二) 热水干燥	(19)
1. 热水干燥的设备组成和工作原理	(20)

2. 热水干燥的优点	(21)
(三) 炉气干燥	(22)
1. 炉气间接加热木材干燥窑	(22)
2. 炉气直接加热木材干燥窑	(27)
(四) 除湿干燥	(29)
1. 除湿干燥机的组成及工作原理	(29)
2. 除湿干燥机的分类	(31)
3. 除湿干燥的优缺点	(31)
(五) 真空干燥	(31)
1. 真空干燥法的分类	(32)
2. 真空干燥法的优缺点	(35)
(六) 太阳能干燥	(35)
1. 太阳能干燥的优缺点	(35)
2. 太阳能干燥的适用范围	(35)
三、木材干燥窑及其设备	(37)
(一) 木材干燥窑	(37)
1. 干燥窑的分类	(37)
2. 顶部风机干燥窑	(38)
3. 端部风机干燥窑	(40)
4. 侧风机型干燥窑	(41)
(二) 木材干燥设备	(45)
1. 干燥窑壳体	(45)
2. 干燥窑大门	(46)
3. 供热与调湿设备	(47)
4. 通风设备	(53)
5. 木材干燥检测控制设备	(59)
(三) 木材干燥窑的类型分析及干燥方法的选用	(65)
1. 木材干燥窑的类型分析	(65)
2. 干燥方法的选用	(66)

四、木材干燥工艺及操作	(69)
(一)窑干木材的堆积	(69)
1. 木材堆积的方法	(69)
2. 成材和毛料堆积的规则	(70)
(二)干燥基准	(71)
1. 干燥基准分类	(71)
2. 干燥基准的调整	(75)
(三)含水率检验	(76)
1. 木材初含水率的测定	(76)
2. 分层含水率的测定	(77)
3. 木材干燥过程中的含水率	(78)
(四)木材窑干过程的实际操作	(79)
1. 预热阶段	(79)
2. 干燥阶段	(81)
3. 终了处理	(84)
4. 冷却出窑	(85)
(五)木材干燥质量及其检验	(85)
1. 干燥锯材含水率检验规则	(86)
2. 干燥锯材的应力指标用含水率试验板解应力试片确定	(86)
(六)干燥缺陷的预防与纠正	(91)
五、木材干燥工艺操作实例	(91)
(一)25mm 厚隆缘桉地板坯料干燥工艺	(91)
1. 材 性	(91)
2. 干燥工艺	(91)
3. 干燥结果	(93)
(二)50mm 厚东北桦家具材干燥工艺	(93)
1. 材 性	(93)
2. 干燥工艺	(94)
3. 干燥结果	(95)

(三)46mm 厚杨木细木工板材料干燥工艺	(95)
1. 试 材	(95)
2. 干燥工艺	(95)
3. 干燥结果	(96)
附录 常用木材干燥基准表	(97)
附表 1 针叶树锯材窑干基准表	(97)
附表 2 针叶树锯材基准表的选用	(99)
附表 3 阔叶树锯材窑干基准表	(100)
附表 4 阔叶树锯材基准表的选用	(103)
参考文献	(104)
后 记	(105)

木材经正确的干燥处理后,可以防止开裂变形和腐朽变质;可以提高木材强度,改善加工性能;可以减轻木材重量便于运输。因此,木材干燥是合理利用木材、节约木材的重要技术措施,是木材加工生产中一道不可缺少的重要工序。

(一) 木材干燥的意义

木材干燥就是在控制介质温度和相对湿度的条件下,对木材加热,使木材内部水分向表层移动、表层水分向外界蒸发,逐步从木材中排除水分的过程。为了达到有效的干燥质量,必须控制干燥介质的温度、湿度,采用合理的干燥工艺和操作方法。目前采用较为普遍的方法是对流干燥的方法。

木材是可再生的天然资源,而木材又是多孔材料,能调节人们居住环境的舒适性,有利于人们的身心健康,随着人民生活水平的不断提高,越来越多的居民采用木材来装饰家庭,但由于对木材知识缺乏,尤其对木材干燥知识的不了解,用未经干燥处理的木材制品或用干燥质量不合要求的木材生产木制品,给自己或他人带来许多损失。那么,对木材进行干燥处理又有哪些好处?主要有以下几方面:

(1) 提高木材和木制品使用的稳定性。我们知道,树木生长不仅有沿树高方向的生长,而且有增加树干直径的水平生长,因此从树木中加工出来的木材就属于各向异性材料。木材长期暴露在空气中,其中的水分就会随着空气相对湿度的变化而变化,发生木材随空气湿度增加而膨胀和随空气湿度减少而收缩的湿胀和干缩现象。而这种木材中水分不均匀导致的木材湿胀干缩,往往会引起木材的开裂和变形,从而影响使用,造成浪费。实木地板常见的扒缝、起翘多与木材的干燥质量有关,例如扒缝是有的木

地板铺上几天后,板条之间出现了较大的缝隙,这大多与地板铺设前含水率过高有关,因室内高温或风干而收缩;起翘主要是因为实木地板没有经过正规干燥处理所引起。生产单位若在使用前,将木材干燥到使用要求的含水率,并符合干燥质量要求,就可以保证木制品结构的稳定性,使之外形美观、经久耐用。

(2)提高木材和木制零件的强度。我们知道木材是从树木加工而来,而树木的生长是由成千上万的细胞不断生长而来,因此我们所使用的木材就是成千上万的细胞有规律排列而形成,这些组成木材的细胞是由细胞壁和细胞腔组成,当木材中的水分仅存在于木材细胞壁,这时我们称之为吸着水;当不仅木材细胞壁中有水分而且细胞腔中也有水分我们称细胞腔中这种水分为自由水。当木材细胞腔中没有水分,水分仅存在于细胞壁时,木材的强度随木材含水率的降低而提高。由此可见,当木材经干燥处理并达到要求的含水率后,不仅可以改善木材的切削加工性能,而且可以提高木结构零件的强度、胶接强度和木制品的表面装饰质量,同时也能提高木材的保温性与绝缘性,减少导热性与导电性。

(3)预防木材的降等和腐朽。木材是天然高分子聚集体,主要由纤维素、半纤维素和木质素组成,同时也含有少量树脂、树胶、色素等内含物。湿木材如果长时间堆放在露天空气中,若不采取适当的保护措施,会发生腐朽或虫害。因此木材经60℃左右温度干燥处理后,当木材含水率降低到20%以下时,可以大大减少菌类和害虫的侵害与破坏。一些生产单位,把木材干燥到含水率8%~15%左右,不仅保证了木材的固有性质和强度,而且也提高了木材的抗腐蚀能力。

(4)减少木材的重量。由于生材初含水率很高,甚至超过它本身的重量,经过短期存放,自然干燥后,能减轻木材重量。

(二)木材与水分

1. 木材中水分的状态

一棵活树,其须根不间断地把土壤中的水分通过树干输送到树叶,所

以树干里含有大量的水分。活树被伐倒并锯制成各种规格的锯材后，水分的一部分或大部分仍然保留在木材内部，这就是木材中水分的由来。用新采伐的树木制成的板材和方材叫生材。

木材可按干湿程度分为6级：

湿材：长期放在水内，含水率大于生材的木材；

生材：和新采伐的木材含水率基本一致的木材；

半干材：含水率小于生材的木材；

气干材：长期在大气中干燥，基本上停止蒸发水分的木材；此类木材含水率因各地气候干湿条件的不同，变化范围一般在8%~18%之间；

窑干材：经过窑干处理，含水率约为7%~15%的木材；

全干材：含水率等于0的木材。

木材是由为数极多的各种细胞组成的。每一个细胞都具有细胞壁和细胞腔。细胞壁上的纹孔与导管末端的穿孔使多数细胞的细胞腔并联或串联地相互沟通，构成大毛细管系统。细胞壁的主要成分是纤维素，其次是半纤维素和木质素。在组成细胞壁的纤维素链、基本纤丝、微纤丝及纤丝等之间，都有极为细微的间隙。它们相互连通，构成多级的微毛细管系统。木材中的水分就包含在这两大类毛细管系统之内，并可沿着系统的通路向纵横方向移动。由细胞腔与纹孔等组成的大毛细管对水分的束缚力不大，其中水分的蒸发比较容易。因此，大毛细管系统内的水叫做自由水。细胞腔不能从空气中吸取水分。若不把木材浸泡在河、池之中，其自由水的含量不会增多，只会由于向外界蒸发而减少。细胞壁内的各级微毛细管系统具有从空气中吸取水分（即吸湿）的能力。微毛细管系统中的水分叫做吸着水。吸着水的改变会影响木材体积和尺寸的变化；而自由水的减少只会影响木材的重量。

2. 木材平衡含水率

木材平衡含水率是制订干燥基准、控制和调节干燥过程、控制仓库中的已干材和成品的尺寸、拟定各种木制品用材所需干到的终含水率标准等所必须考虑的问题。

当细胞腔中不含有或极少含有自由水时，每逢周围气候状态（温度、

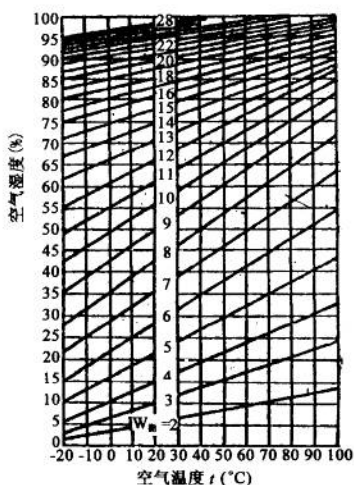


图 1-1 木材平衡含水率

细薄木料在一定空气状态下,最后达到的吸湿稳定含水率或解吸稳定含水率,叫做平衡含水率。一块木材沿着全厚度受到气候条件变化的影响的快慢和程度不同,木材表面比内部先达到平衡含水率。在指定的温度下,木材的吸湿量随着空气相对湿度(即空气中水蒸气相对压力)的升高而加大。当相对湿度升高到接近于 100% 时,吸湿量达到最大值,此时的平衡含水率叫做纤维饱和点。纤维饱和点随着温度的升高而降低。例如,纤维饱和点在温度为 20℃ 时约为 30%,在 70℃ 时降低为 26%,在 100℃ 时降低为 22%。一般认为,我国多种木材在 20℃ 时的平均纤维饱和点为 30%。干木材在吸湿时达到的稳定含水率,低于在同样气候条件下湿木材在解吸时的稳定含水率。此现象叫做吸湿滞后,或吸收滞后。在相对湿度变异范围为 60% ~ 90% 时,多种木材的吸湿滞后的平均值约为 2.5%。细薄木料及气干材的吸湿滞后很小,生产上可忽略。高温窑干材吸湿滞后较大。

相对湿度或水蒸气相对压力)发生变化,木材细胞壁中的吸着水含量也相应地变化。若细胞壁中微毛细管系统内的水蒸气分压力比空气中的大,则水蒸气从细胞壁内向木材外部移动,并向大气中蒸发,使得吸着水含量减少。此现象叫做解吸。相反地,若微毛细管系统内的水蒸气分压力比空气中的小,则水蒸气从空气往细胞壁中渗透,即木材从空气中吸湿,使得吸着水含量增大。此现象叫做吸湿。木材含水率在解吸过程中达到的稳定值叫做解吸稳定含水率,在吸湿过程中达到的稳定值叫做吸湿稳定含水率。

(三)木材在气体介质中的对流干燥过程

1. 木材干燥曲线

当木材在一定的温度和湿度的气态介质中干燥时,若每隔一定时间测定木材含水率的变化,并且以时间为横坐标,以含水率为纵坐标画出的曲线图,叫做干燥曲线(图 1-2)。

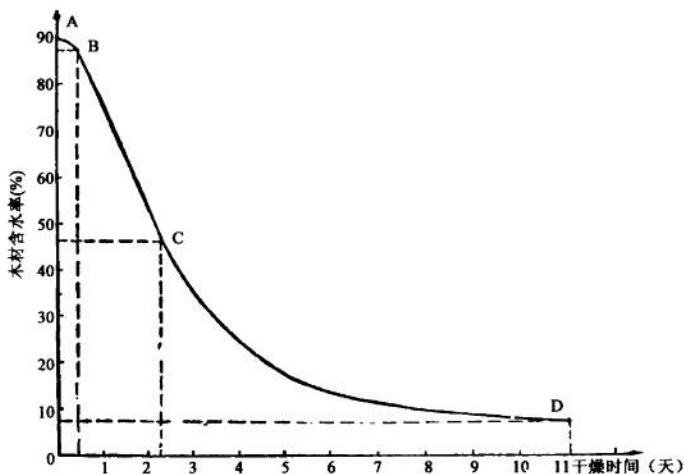


图 1-2 木材干燥曲线

在干燥曲线图上可以分析干燥过程。木材干燥的全过程可以分为三个阶段:

(1) 预热阶段: 曲线图上的 AB 阶段是木材的预热阶段。在此阶段内一方面提高干燥窑内介质温度, 同时要把它的湿度提高到 90% ~ 100%。目的是暂时不让木材中的水分向空气中蒸发, 从表层到中心均匀地把温度提高到干燥基准上要求的值。预热所需要的时间依树种和锯材的厚度而异。

经过预热以后,木材的温度和含水率沿断面分布均匀一致,此时就可以按照预定的干燥基准降低介质的温度和湿度,开始进行干燥过程。

(2)等速干燥阶段:曲线图中向下倾斜的直线BC表示等速干燥阶段。此阶段是自由水蒸发时期。只要介质的温度、湿度和循环速度保持不变,含水率的降低速度也保持不变。由于木材表层的自由水蒸发完毕后,内部还有自由水,所以,曲线图上向下倾斜直线线段的终了,并不等于说木材内的自由水已经完全排除干净。

在等速干燥阶段内,空气温度越高,湿度越低,自由水蒸发越强烈,若气流以较大的速度吹散并破坏木材表面上的饱和蒸汽边界层,则蒸发速度将相应得到提高。以上是理想的干燥状态,实际生产中,锯材的等速干燥阶段是观察不到的。

(3)减速干燥阶段:自由水蒸发干净以后,吸着水开始蒸发,随着吸着水的蒸发,蒸发过程逐渐向微毛细管部分深入,微毛细管系统对吸着水吸附力越大,水分蒸发时所需吸收的热量越多,干燥过程的时间越长,含水率降低的速度也越慢。因此,纤维饱和点以下的干燥阶段叫减速干燥阶段,曲线图上的CD线段即表示该阶段。

在减速干燥阶段,要提高水分蒸发速度必须提高介质温度,降低湿度并保持较高的气流循环速度。但是水分蒸发速度受木材内部水分传导速度的制约,而且内部水分传导速度决定了总的木材干燥速度。

2. 木材干燥时内部水分的移动

木材中的水分在一定条件下可在木材内部移动,这称为木材的水分传导性。水分可以顺纤维方向移动而从木材两端排出,也可以横跨纤维方向从木材侧面排出,就大多数板材而言,长度远大于厚度宽度。板材的侧面积远大于端面积。因此尽管水分顺纤维传导比横跨纤维的传导为易,但对木材干燥起决定作用的是横跨纤维的传导。

木材干燥过程中,木材内部水分移动的动力主要是含水率梯度和温度梯度。

3. 木材表面水分的蒸发

木材表面水分的蒸发总是在一定的温度、湿度和气流速度下进行。在