

林产工业技术丛书

远红外木材干燥

吴 玮 编著



黑龙江科学技术出版社

远红外木材干燥

吴 玮 编著

黑龙江科学技术出版社

一九八二年·哈尔滨

封面设计：徐桂荣

远红外木材干燥

吴玮 编著

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区分部街 28 号)

黑龙江新华印刷厂附属厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本 787×1092 毫米 1/32·印张 4·插页 1·字数 76 千

1982 年 12 月第一版·1982 年 12 月第一次印刷

印数：1—7,100

书号：15217·066

定价：0.48 元

内 容 简 介

本书在介绍有关木材的性质和远红外加热基础知识的同时，着重介绍了电热远红外木材烘干的机理，烘干炉的设计参数，烘干炉的结构和烘干工艺等内容。可供木材加工工程技术人员及林业院校有关木材干燥专业的教师和学生参考。

前 言

目前,世界许多国家的木材工业,尤其是细木工工业,逐渐趋向于自动化生产。从我国的情况看,无论干燥速度,还是所需最终含水率方面,大型企业到中小型企业,以至手工业者,也都必须寻求合理的干燥方法,而木材干燥则是决定木制品质量的重要工艺手段。另外,为节约能源,提高能源利用率,木材工业企业也不得不寻求更加经济合理的木材干燥方法。

近年来,远红外木材干燥技术在我国已得到了迅速发展。电热远红外木材干燥,就是广泛应用的一项重要技术成果,为木材烘干闯出了一条新路。这种干燥技术与其他干燥方式相比,不仅烘干周期短,烘干成本低,木材不翘不裂,而且还能显著地节能。从木材中每脱掉一公斤水耗电一度,能源利用效率高达70%。因此,电热远红外木材干燥技术深受广大木材加工和木制品厂家的欢迎。本书所叙述的内容,就是上述技术成果的总结。

本书初稿完成后,承蒙黑龙江大学赵恩来同志予以审核,并且还得到了耿力力、徐丽军、宁燕妮、王仁伟等同志的协助,在此一并致谢。

由于本人水平有限,书中错误在所难免,敬望读者批评指正。

目 录

第一章 木材的性质.....	1
第一节 木材的构造.....	1
第二节 木材中的水分.....	4
第三节 木材的干缩、湿胀和缺陷.....	7
第四节 木材干燥过程中水分的扩散.....	10
第二章 远红外加热基础知识及木材烘干机理.....	15
第一节 红外线的性质.....	15
第二节 热辐射定律.....	22
第三节 远红外涂料.....	34
第四节 远红外木材烘干机理.....	37
第三章 烘干炉的设计.....	51
第一节 烘干炉的设计参数.....	51
第二节 烘干炉的结构.....	60
第三节 辐射元件的选择.....	66
第四节 辐射元件的电路联接与功率计算.....	72
第五节 气氛的温度与湿度.....	82
第六节 烘干炉所需电力的估算.....	88
第四章 远红外木材烘干工艺.....	91
第一节 烘干工艺特点.....	91
第二节 烘干工艺.....	92
第五章 参数测试和质量检验.....	97

第一节	辐射量的测量·····	97
第二节	含水率的测量·····	106
第三节	烘干质量的检验·····	109
附录 1	湿度表·····	(112—113之间)
附录 2	我国五十三个城市年平均平衡含水率(%)估计值·····	113
附录 3	与干燥有关的木材性质·····	114

第一章 木材的性质

第一节 木材的构造

木材的种类很多，在构造上有共同的特征，又各有不同的特点。构造上的不同引起性质上的差别，在加工处理时就要区别对待。不能把性质上差别较大的几种木材放在一起，用同样工艺进行干燥处理，因为有的木材容易干燥，有的木材难于干燥。

各种木材，按树木类别的不同，分为针叶树材和阔叶树材两大类。

松、云杉、落叶松、杉、柏、水杉、紫杉等树种的树叶形状象针，一般称为针叶树材；又由于在这类木材的横切面上看不见导管的管孔，又叫作无孔材；还由于这些木材中的材质多数比较软，又叫作软材。针叶材的共同特点是，主干圆直，不分叉，重量比较轻。

榆、杨、桦等树种的树叶扁平宽阔，一般称为阔叶材。在这类木材的横切面上可看得见导管的管孔，所以又叫作有孔材。

阔叶材还可按硬、软程度分类。栎、桦、水青冈、水曲柳、黄檀、丝栗、榆、槐等树种的材质硬而重，叫作硬阔叶材。杨、椴、泡桐等树种的材质较软较轻，叫作软阔叶材。

研究木材的构造时，可以看到针叶材和阔叶材各有其特征，这些特征可以在横切面，弦切面和径切面这三个切面上

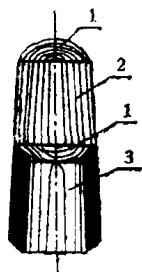


图1—1 树干
基本断面

1—横切面；2—径
切面；3—弦切面

进行观察。沿着和树干相垂直的方向切开的平面是横切面；沿着树干的直径方向，并且通过木材中心切开的平面是径切面；沿着和年轮相切的方向切开的平面是弦切面。径切面和弦切面统称为纵切面。图 1—1 示出了树干的基本切面。

在显微镜下可以看到，木材的任何一部分几乎都是由很多蜂巢状的小腔室所组成，这些小腔室叫作细胞。针叶材的组织比较简单，主要由管胞、木薄壁组织、木射线、树脂道等所组成；阔叶材的组织比较复杂，主要是由导管、木纤维、阔叶材管胞、木薄壁组织、木射线、树脂道等所组成。这些细胞组织，构成不同树种材质的共性和特殊性。

各种木材，不论是以管胞为主要组成部分的针叶材，或者是以木纤维为主要组成部分的阔叶材，它们的一切性质都和细胞壁有关。因此，应对细胞壁的微观构造有所了解，才能掌握木材的性质和变化规律。

细胞壁是由细胞间质、初生壁、次生壁这三部分组合而成（图 1—2）。

细胞间质：细胞间质是无定形的胶体物质，充满在细胞之间起着缓冲层的作用。它不妨碍细胞的生长，但能减弱细胞间的相互压力。

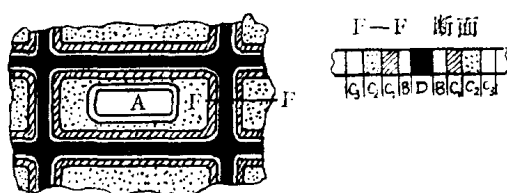


图 1-2 细胞壁的构造

A—细胞腔；B—初生壁；C₁—次生壁外层；

C₂—次生壁中层；C₃—次生壁内层；D—细胞间质

初生壁：初生壁为母细胞分裂子细胞时最先形成的一层细胞壁，它是由纤维素、半纤维素、果胶质及木质素等所构成的。

次生壁：次生壁为母细胞分裂成子细胞后，在初生壁的内层出现的一种加厚组织。它是细胞增大过程中的最后形成的一层组织，它的厚度随细胞种类不同而不同，有的较厚，有的极薄。次生壁在加厚过程中，有时留下细胞间的孔道，即为纹孔。

次生壁由纤维素和木质素组成，其中以纤维素较多，木质素较少。

总之，组成细胞壁的基本物质是纤维素，纤维素是由微胶粒所组成。

木材中吸着水吸附在微胶粒与微胶粒的间隙中。当吸着水增多时，这些间隙扩张；当吸着水减少时，间隙也随着缩小，这样就引起木材的湿胀和干缩。

在次生壁加厚过程中，为了便于相邻的细胞间交流水分而留下来的孔道，叫作纹孔。由此可以看出，纹孔是两个相

邻细胞之间交流水分、养分的主要通道。在多数木材中，一个细胞的纹孔与相邻的另一个细胞的纹孔连接成一对，叫作纹孔对。纹孔对之间的隔膜称为纹孔膜。纹孔又可分为单纹孔和重纹孔两种。

无论是针叶材还是阔叶材，其细胞与细胞之间都是靠重纹孔对或单纹孔对而连通起来的。所以在木材干燥过程中，纹孔对水分运动的影响很大。

第二节 木材中的水分

木材中的水分主要可以分为自由水、吸着水和化合水三种。存在于细胞腔中的水分叫自由水，它的增减只影响木材的重量，而不影响木材的性质；存在于细胞壁中的水分叫吸着水，它的变化，使木材产生收缩和膨胀；存在于木材组成的化学成分中的水分，叫化合水，这种水分很少，在干燥过程中没有变化。

木材中，水分含量的多少称为含水率，一般用绝对含水率表示：

$$W = \frac{\text{湿材重量} - \text{全干材重量}}{\text{全干材重量}} \times 100\%$$

即
$$W = \frac{G_{\text{湿}} - G_{\text{干}}}{G_{\text{干}}} \times 100\%$$

式中 $G_{\text{湿}}$ ——木材初重；

$G_{\text{干}}$ ——木材在 $95 \sim 105^{\circ}\text{C}$ 的温度下，干燥到重量不变时的重量。

木材按其干湿程度可分为六种。

湿材：长期放在水中，含水率大于生材的木材，一般含水率大于 100%。

生材：含水率和新伐木材基本上一致的木材，其含水率一般在 60~100% 之间。

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。这种木材的含水率因各地的干湿情况不同，变化范围一般在 8~20% 之间。

窑干材：经过窑干处理后，含水率约为 7~15% 的木材。

全干材：含水率等于零的木材。

在木材由湿变干的过程中，开始时仅自由水减少，一直到细胞腔中的自由水完全失去，而细胞壁中的吸着水处于饱和状态，此种状态称为纤维饱和点，此时的含水率便称为纤维饱和点的含水率。

纤维饱和点的含水率 ($W_{\text{纤}}$) 随树种不同而有不同。例如，当 $t = 20^{\circ}\text{C}$ 时，一些树种的含水率为：水曲柳 23%，黄菠萝 28.4%，楸木 26.7%，柞木 24%，榆木 25%。变化范围一般在 23~33%。

实际上，在大气条件下，对于一切树种来说，纤维饱和点的含水率可以近似地取 30% 的数值作为平均值。

在纤维饱和点以上时 ($>30\%$)，木材含水率的变化对木材的力学性质无显著影响，但在含水率低于纤维饱和点的含水率时，力学性质发生变化，木材发生收缩、变形等现象。

含水率越减小，收缩率越增大，当含水率减少到零时，收缩率达到最大。二者成一定的线性比例关系。但在纤维饱和点以上时，则含水率的增减对于木材的胀缩几乎没有什么影响（图 1—3）。

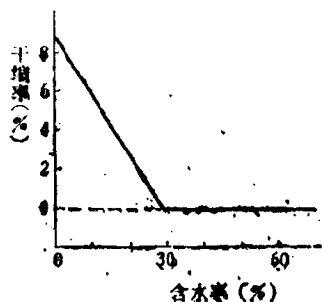


图 1—3 木材干缩与纤维饱和点关系

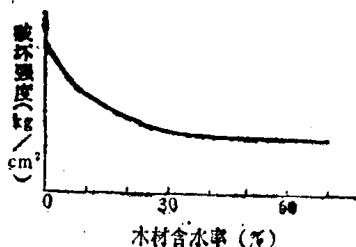


图 1—4 木材强度与纤维饱和点的关系

木材含水率达到纤维饱和点以下时，木材的强度将随含水率的减小而提高，当含水率在纤维饱和点含水率以上时，其力学性质呈平衡状态（图 1—4）。

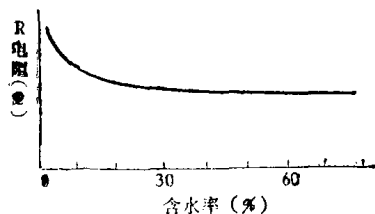


图 1—5 木材电阻值与纤维饱和点间关系

当木材含水率在纤维饱和点以上时，木材导电性为一常数；当含水率在纤维饱和点以下时，其导电性随含水率的减小而减小。以电阻来说，木材含水率在纤维饱和点以下时，随含水率增加而减小，随含水率减少而增

大；在纤维饱和点以上时，电阻基本恒定不变（图1—5）。

第三节 木材的干缩、 湿胀和缺陷

木材在干燥时，其尺寸及容积的减小称为干缩。前面已经谈到木材中的水分有两种，一种是存在于细胞腔中的自由水，一种是存在于细胞壁中的吸着水。在干燥过程中，自由水蒸发得较快，但它的蒸发不会引起木材的干缩，而存在于细胞壁中的水分蒸发较慢，这种水分的增减与木材干缩有关。

干缩是细胞壁内的吸着水从木材中排出后的结果。由于吸着水的排出，使得细胞壁变薄，引起木材尺寸和容积的缩小。存放在自然气候条件下的木材，一般来说，在含水率降低到纤维饱和点以下时，其干缩的程度足以引起木材开裂的危险。

在木材由全干状态逐渐润湿的过程中，可以看到木材膨胀现象，这叫作木材的湿胀。

干缩和湿胀是木材固有的性质。这种性质使木制品的尺寸不稳定，带来不利影响。

木材沿着年轮方向的干缩叫作弦向干缩；沿着树干半径方向或木射线方向的干缩叫径向干缩；整块木材由湿材烘干到全干状态时的体积干缩叫作容积干缩。

纤维饱和点以下，吸着水每减少1%的含水率所引起的干缩的数值叫作干缩系数。

木材是纵、弦、径三向异性的物体。拿干缩这个性质来说，纵向的极小，弦向的最大，径向干缩约为弦向干缩的

$$\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}。$$

一定容积（单位体积）的木材重量叫做木材的容积重。
木材的容积重一般用三种方式表示。

公定容积重：等于试材的全干重量与试材被水分所饱和时的容积的比值，即

$$\text{公定容积重} = \frac{\text{试材的全干重量}}{\text{饱和湿材容积}} (\text{克/厘米}^3)$$

若用符号表示则为

$$\gamma_{\text{公}} = \frac{G_{\text{干}}}{V_{\text{饱}}} (\text{克/厘米}^3)$$

全干容积重：等于试材的全干重量与全干试材的容积的比值，即

$$\text{全干容积重} = \frac{\text{试材的全干重量}}{\text{全干试材容积}} (\text{克/厘米}^3)。$$

若用符号表示则为：

$$\gamma_{\text{全}} = \frac{G_{\text{干}}}{V_{\text{干}}} (\text{克/厘米}^3)。$$

气干容积重：一般取木材在较充分气干时的重量对此时容积的比值。

我国主要木材的各项干缩系数和容积重等可参考附录3。

木材在干燥过程中，由于干缩不均匀和内应力的作用等项原因，会出现开裂、翘曲、皱缩和节的脱落等缺陷。

开裂：不正确的干燥工艺，造成被干成材产生端面裂纹

(端裂)、表面裂纹(表裂)和内部裂纹(内裂)(图1—6)。

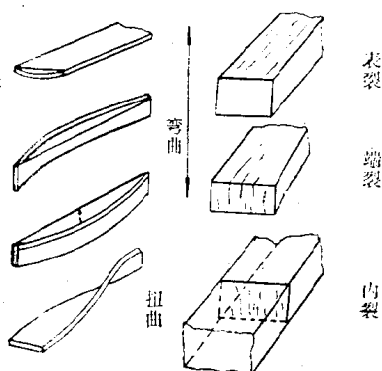


图1—6 木材的缺陷

端裂：水分从木材端面的蒸发远比从侧面的蒸发强烈，这是因为顺木材纤维方向的导水性远远大于横跨纤维方向的导水性，因此，端面内含水率迅速降低，引起木材端面的不均匀干缩，并且产生使木材组织破坏的张应力。

端面裂纹通常沿着木射线方向发展。干燥硬阔叶树种宽板的端裂纹，有时达1米以上的深度。

为了防止端裂的产生和发展，应该降低水分由端面蒸发的强度，这就要求从烘干工艺上进行控制。

表裂：由于在干燥过程中，表面的水分蒸发过强，以致表面各层内发生的张应力达到破坏木材组织的程度，这时就会在板面和板边形成表面裂纹。这种裂纹程度还能够加长加大，直到表面各层木材的张应力转化为压应力为止。应力转化后，表面裂纹逐渐闭合，虽然用肉眼看不甚显著，但木材的质量已经降低。

心板最容易产生径向表面裂纹，原因是心板的弦向干缩远远大于径向干缩。

防止表面开裂的方法是，在前期干燥要缓慢进行。

内裂：在干燥后期，当木材内部的张应力达到足以破坏木材组织的程度时，就在木材内部形成叫作蜂窝裂的裂纹或

裂孔。内裂纹一般是沿着木射线发生和发展的，麻栎是最易产生蜂窝裂的木材。

翘曲：木材的径向干缩和弦向干缩的不一致，是成材干燥时发生翘曲的原因。一般来说，较宽的板材容易翘曲。

斜纹理，交错纹理和年轮的偏宽都会引起被干木材的扭转和翘曲。

正确地堆积材堆，是防止成材发生翘曲的主要方法。

皱缩：皱缩是由于木材细胞的破坏而引起的。当细胞腔内的自由水被排出之后，空气来不及透入细胞腔代替排出的水分，细胞腔成为部分真空。这时，微胶粒和微胶粒之间的凝聚力使细胞壁压入细胞腔，致使一部分较大的细胞发生溃陷，在纵断面上形成皱缩。

节的脱落：木材干燥时，水分从节的端面蒸发快于从成材表面的蒸发，而且节的组织比较密实，这样，节的干缩大于周围木材的干缩，使得节与周围木材的连结减弱，并使它稍许突出于板材表面，因此，很易脱落。

第四节 木材干燥过程中 水分的扩散

木材里的水分可以顺着纤维方向移动，从木材的两个端面排出，也可以横跨纤维方向移动，从木材的侧面排出，这种性质叫作木材的水分传导性，也称之为扩散。

一块湿木材存放于大气中，木材表面层内的自由水，由于和周围空气充分接触首先蒸发完毕，蒸发面将逐渐向内伸