

68.831

YHX

# 木材干燥工艺

杨宏宪 编

中国铁道出版社

# 木材干燥工艺

杨宏宪 编

中国铁道出版社

1980年·北京

# **木材干燥工艺**

**杨宏宪 编**

**中国铁道出版社出版**

**责任编辑 林连照**

**封面设计 关乃平**

**新华书店北京发行所发行**

**各地新华书店经售**

**中国铁道出版社印刷厂印**

**开本: 787×1092 $\frac{1}{2}$  印张: 6.625 字数: 146 千**

**1980年5月第1版 1980年5月第1次印刷**

**印数: 0001—11,000 册 定价: 0.55 元**

## 前 言

木材，是国民经济各部门在进行社会主义建设中所必需的重要原料之一。由于木材中含有大量的水分，因此在使用之前，必须根据其用途把含水率降低到合于使用的程度。

木材干燥是木材利用方面一门很重要的技术。木材干燥质量的好坏，对于木制品的结构形状和强度以及使用寿命等，都有密切的关系。一般木制品，既要求经久耐用，又要表面美观，因此采用的干燥方法应不致损害木材强度及其外表状态。概括起来，木材干燥可以取到下列几方面的作用：

一、预防木结构在使用时发生变形和开裂，以提高木零件的强度与耐久性。因为木材的含水率若在纤维饱和点以下的范围内发生变化时，木材就会发生湿胀干缩的现象，而由于木材的不均匀胀缩，就会引起木材的变形和开裂。因此，如将木材含水率干燥到与木零件含水率的要求相适应的程度，就可以使木零件的形状保持稳定，从而使木结构在安装与使用时达到结合牢固、平整、严密、美观和耐用的要求。

二、提高和改善木结构中木零件的力学强度和物理性质。当木材含水率低于纤维饱和点时，木零件的力学强度将随着含水率的降低而有所提高。同时干燥后的木材，可以改善其工艺性质，提高木零件胶合、装饰的质量，并且可以减小它的导电性和导热性。

三、预防木材的变质与腐朽。当木材含水率降低到20%以下时，可免除木腐菌和昆虫的危害，所以木材干燥通常是把含水率降至8~20%。这样就不仅增强了木材的抗腐力，而且可以保存木材的固有强度和物理性质。

四、减轻木结构的重量。经过室干的木材，其重量约可减轻30~50%。这一点，对减轻客车自重，提高车辆的运载能力来说，有特别重要意义。

木材干燥的方法，可分为自然干燥和人工干燥两大类。人工干燥的方法很多，有室干、接触干燥、辐射干燥、高频电介质干燥、石蜡油干燥、真空干燥、离心干燥、化学干燥等等，其中以采用室干法最为普遍。自然干燥（即气干）的设备比较简单，干燥技术也比较容易掌握，但由于气干所需的时间较长，而且受自然条件限制，很难达到预定的质量要求，因此，一般的木材加工厂和铁路机车车辆工厂，大都采用室干法来进行木材干燥。

木材经过适当干燥以后，不但可改善其品质，而且可节约用材。但如果干燥不当，则往往使木材发生翘曲、变形或破裂，反而造成浪费。因此，正确地选择干燥设备和干燥工艺方法，对于提高木材干燥质量是十分重要的。而为了正确地掌握木材干燥的技术，就必须对木材的构造及木材干燥的原理和方法等有所了解，以便在实际操作时有所遵循。这就是编写本书的目的。

本书根据国内外资料和铁路客车制造工厂的经验编写而成。在本书编写过程中，得到东北林学院木材工业系朱政贤、熊民樟两位老师在百忙中予以审校，谨表谢意。由于作者水平不高，难免有错误或不足之处，尚希读者批评指正。

编 者

1979年8月

# 目 录

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 第一章 木材的基本知识.....                        | 1  |
| 第一节 木材的宏观构造.....                        | 1  |
| 第二节 木材的微观构造.....                        | 7  |
| 第三节 客车常用树种及成材种类与材质要求.....               | 11 |
| 第二章 湿空气的基本性质及 $I-d$ 图在干燥过程<br>中的应用..... | 18 |
| 第一节 湿空气的基本性质.....                       | 18 |
| 第二节 湿空气的 $I-d$ 图及其在木材干燥过程中<br>的应用.....  | 26 |
| 第三章 木材中的水分及木材含水率的测定.....                | 28 |
| 第一节 木材中的水分.....                         | 28 |
| 第二节 木材含水率的测定.....                       | 31 |
| 第三节 气干材含水率的变化及木材的平衡含<br>水率.....         | 35 |
| 第四节 纤维饱和点.....                          | 40 |
| 第五节 木材的干缩变形及其容积重.....                   | 42 |
| 第四章 木材干燥的基本规律.....                      | 59 |
| 第一节 木材干燥及水分传导.....                      | 59 |
| 第二节 木材干燥曲线.....                         | 61 |
| 第三节 木材在干燥过程中发生的应力与变形.....               | 62 |
| 第四节 木材干燥缺陷及其消除方法.....                   | 65 |
| 第五章 木材干燥室的类型和构造.....                    | 72 |
| 第一节 干燥室的分类.....                         | 72 |
| 第二节 周期式强制循环干燥室.....                     | 73 |

|      |                  |     |
|------|------------------|-----|
| 第三节  | 周期式自然循环干燥室       | 81  |
| 第四节  | 连续式强制循环干燥室       | 84  |
| 第五节  | 木材干燥室的建筑及其防腐与维修  | 85  |
| 第六章  | 木材干燥室的设备         | 91  |
| 第一节  | 运载与装卸设备          | 91  |
| 第二节  | 蒸汽加热设备           | 96  |
| 第三节  | 通风设备             | 107 |
| 第四节  | 木材干燥的测量与试验仪器     | 116 |
| 第七章  | 成材室干工艺           | 122 |
| 第一节  | 干燥室及设备的检查        | 122 |
| 第二节  | 木料的堆积            | 124 |
| 第三节  | 成材干燥基准           | 128 |
| 第四节  | 含水率检验与应力检验       | 145 |
| 第五节  | 成材室干工艺过程         | 151 |
| 第八章  | 成材的大气干燥          | 162 |
| 第一节  | 大气干燥的基本概念        | 162 |
| 第二节  | 成材的大气干燥          | 164 |
| 第三节  | 强制气干法            | 171 |
| 第九章  | 木材的特种干燥法         | 175 |
| 第一节  | 木材的高频电介质干燥       | 175 |
| 第二节  | 木材的石蜡油高温干燥       | 181 |
| 第三节  | 木材的微波干燥          | 191 |
| 第四节  | 太阳能木材干燥法         | 194 |
| 附 录  |                  |     |
| 附录一  | 湿空气 $I-d$ 图      | 197 |
| 附录二  | 湿度表              | 198 |
| 附录三  | 我国53城市木材平衡含水率估计值 | 200 |
| 参考资料 |                  | 203 |

## 第一章 木材的基本知识

木材干燥是通过汽化的方法将木材内所含水分排出体外的结果。木材内水分蒸发及排出的快慢及其对木材质量的影响，除与干燥介质的温度、湿度等条件有关外，并且与木材的树种、结构，也有很大关系。因此，在学习木材干燥工艺之前，必须对木材构造的基本知识有所了解，以便于进一步理解和掌握木材干燥的工艺方法。

### 第一节 木材的宏观构造

木材的宏观构造，一般分为二类：一类为肉眼与放大镜下的显著特征，也就是木材构造方面的性质；另一类属于木材物理方面的性质，如颜色，光泽，重量，气味等。上述两方面的特性对于帮助干燥工作者识别木材有着极重要的意义。

木材的宏观构造，如图 1—1、图 1—2 及图 1—3 所示。研究木材的构造时，常常以木材的三个切面来观察木材的主要特性（图 1—1）。

横切面：与树轴成垂直的切面叫横切面。

径切面：通过髓心顺着木纹方向的切面叫径切面。

弦切面：与木纹平行，不通过髓心而与年轮相切的切面，叫弦切面。

径切面和弦切面统称为纵切面。

#### 一、髓 心

髓心位于树干的近中心（真正位于中心的很少见，一般

总是多少偏向树干的一边)。它是由柔软、疏松、机械性质较差的细胞所组成的。从树干的横切面上看，大多数树木的髓心呈圆形或椭圆形。但也有树木的髓心呈四角形（如桉木）、星形（如栎木）。在径切面上髓心呈深色的狭条状。

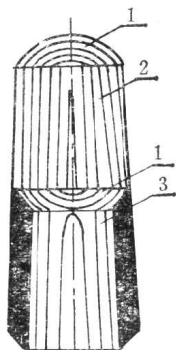


图 1—1 树干基本断面

1 —— 横切面；2 —— 径切面；  
3 —— 弦切面。

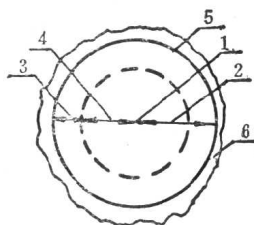


图 1—2 树干沿径向的区分

1 —— 髓心；2 —— 木质部；3 ——  
边材；4 —— 心材；5 —— 形成层；  
6 —— 树皮。

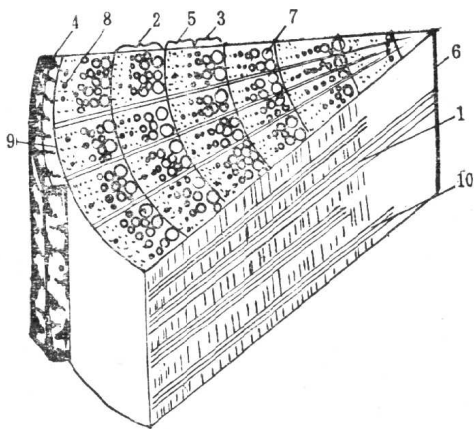


图 1—3 各个切面中的木材结构

1 —— 初生木射线；2 —— 年轮；3 —— 早材；4 —— 树皮；5 ——  
晚材；6 —— 髓心；7 —— 导管；8 —— 树脂道；9 —— 形成层；  
10 —— 次生木射线。

一般来说，针叶树材的髓心比较通直，阔叶树材中的髓心多半是弯曲的。带髓心的成材在干燥中易发生裂纹。

## 二、形成层

形成层是位于木质部和韧皮部之间的薄层（见图 1—2）。它向内分生木质部，向外分生韧皮部。向内分生木质部细胞的速度要比向外分生韧皮部细胞的速度快十倍以上，因此木质部的增长速度就大于韧皮部的增长速度。

## 三、木质部

木质部位于髓心与形成层之间，是由于形成层的活动而产生的。木质部和髓心一起占总材积的75~94%，是树木的主要组成部分。它除了对树木起机械支撑作用外，还起着输送水分和养料的作用，并能贮藏养分。

## 四、年轮

在生长季节中所产生的一层木材叫年轮。年轮厚度的大小，表示生长季节的长短和生长速度的快慢。在横切面上，年轮呈同心圆。但在某些树种如紫杉，松柏，千金榆的年轮呈弯曲的波浪形，在径切面上年轮呈明显的条状。而在弦切面上，呈曲线状或呈抛物线状的V字形。

年轮的数目多少与树木的年龄相同。树木一年生长一个年轮。但也有例外的，由于树木的叶子遭受虫害或突然干旱及早霜袭击等原因，有的树木在一年中形成二个年轮。

## 五、早材与晚材

由于形成层的活动，在早春或夏初期间所形成的内层木材，其质疏松，材色较淡，这层木材称为早材。外层是形成

层在夏末初秋所生长的木材，质密，坚硬，材色较深，这一层木材称晚材。也就是在一个生长季节形成一个年轮。一个年轮包括一个早材与一个晚材。

一般地说，针叶树材比阔叶树材年轮较清晰，如落叶松、马尾松等。而阔叶树材的早材与晚材的颜色差别不大。但环孔材的早材孔隙度大，晚材孔隙度小，这样形成的年轮就比较清晰。如榆木和柞木，用肉眼就可以很清晰地看出年轮。而散孔材的年轮就不像环孔材那样清晰。

## 六、木 射 线

所有的树木都具有木射线。在木材的横切面上可以看到有两种木射线（见图1—3）：一种是从髓心穿过年轮，一直达到树皮，颜色较淡的，叫初生木射线；另一种是不达到髓心的，叫次生木射线。木射线是在树木生长过程中形成的。木材的大部分射线为次生木射线。木射线顺着纹理方向称为高度，垂直于木材纹理方向称为宽度。

用肉眼可以看见的清晰的木射线，叫宽射线（如柞木）。用肉眼难以看见的木射线，叫窄射线（如槭树）。用肉眼完全看不到的木射线，叫极窄射线（如山杨）。

阔叶树材的木射线体积约占木材总体积的9~36%，针叶树材约占5~10%。但不同树种的木射线数量也不相同，如：松树木射线的体积占木材总体积的4.7%，而栎树约占36.2%。具有宽木射线的树种，在成材干燥时易从木射线处裂开，如柞木。

## 七、树 脂 道

在某些针叶树的横切面上每一年轮的晚材中，有许多浅色的小点状或油点状的小孔即是树脂道（见图1—3之8）。树

脂道的多少及大小，能帮助我们鉴别木材。如：松属材的树脂道既大又多；云杉的树脂道很小而少；落叶松的树脂道较大但少。

树脂道占总树干的体积极微，对木材性质影响不大，但由于树脂道充满了树脂，可以提高木材的耐腐能力。

## 八、管 孔

在木材的横切面上，有许多大大小小的孔眼，大孔在肉眼非常明显易见；小孔在显微镜下才能见到。阔叶材的导管较大，叫有孔材；针叶材没有导管，用肉眼看不出有孔，叫无孔材。阔叶材的导管，在横切面上呈孔状，叫管孔。

（见图 1—3 之 7）。根据各种木材管孔的排列方向不同，又可分为环孔材和散孔材两大类。

、环孔材是指一个年轮内，早材管孔比晚材管孔显得特别大，沿着年轮呈环状排列，有一列、二列或多列之分。如刺楸通常为一系列，刺槐为多列。

散孔材是指一个年轮内，早晚材管孔的大小没有显著的区别，而呈均匀或比较均匀地分布，如桦木。

某些阔叶材的心材导管中，常含有一种泡沫状的填充物，这种填充物叫做浸填体。浸填体的有无或多少，对识别木材也有帮助。如刺槐、擦树含浸填体较多。麻栎和栓皮栎在外貌特征上很相似，但麻栎心材含有较多的浸填体，而栓皮栎心材却很少或不含浸填体。具有较多浸填体的树种，其天然耐久性比较强。

某些木材导管内常含有树胶或其它沉积物。树胶与浸填体的区别是：树胶不像浸填体那样有光泽，呈不定形的褐色或红褐色的胶块，如黄菠萝、苦楝等木材就含有这种胶块。某些树种含有矿物质或有机沉积物，如含有白垩质沉积物的

桃花心木、柚木等。含有这些沉积物的热带木材都难于加工，天然耐久性很高。

### 九、木薄壁组织

在木材的横切面上，可以看见一部分材色较周围略浅的组织，用水湿润后更为显著。这部分组织，叫木薄壁组织。常见有木薄壁组织的树种如枫杨、桦木、栎树、山杨等。木薄壁组织在干燥时易开裂。

### 十、波 痕

常见有波痕的木材有栎树、黄檀、七叶树、椴木、榉木等。在木材弦切面上，用肉眼观察，有细的水平线纹，尤其是湿润的木材更为显著，这种细纹称为波痕。

### 十一、髓 斑

髓斑是由树木形成层受到虫害及冻害，使未成熟的韧皮部和木质部受伤，并使木射线中断，形成层在受害处又形成了一层愈伤组织，即为髓斑。髓斑在横切面上沿年轮方向排列的呈半月形，在纵切面上为深色条状。

常见有髓斑的树种是：桦木、槭树、柳树、樱桃、黄檀等。

### 十二、其它特征

观察木材的颜色、光泽、花纹、气味、重量、硬度、纹理、结构等辅助特征对识别木材也有一定的帮助。

#### 1. 颜色

主要是由于木材细胞内含有色素等原因，而使各种木材具有不同的颜色。例如：樱桃呈黑色或浅黑色，栎树心材为

红色；紫檀、红豆树的木材呈褐色。

## 2. 光泽

主要是指木材对光线的反射作用，例如，黄菠萝具有光泽；松、杉具有绢丝光泽。

## 3. 花纹

由于木材构造的不同，而形成各种花纹。如柞木具有银光花纹；色木具有鸟眼花纹；水曲柳具有美丽的波浪花纹。

## 4. 气味

木材由于含有树脂、芳香油类、单宁等而具有各种气味。例如：樟树具有特殊的香气；落叶松、松木等具有松香味。

## 5. 重量与硬度

椴木、杨木、柳木、楸木等木材比较轻而软。槐树、榆木、桦木、柞木及枣木较重而且硬度较大。

## 6. 纹理与结构

木材纹理是指木材中各种细胞之间的排列方向，木材纹理结构是指各种细胞之间隙的大小性质。各种木材纹理与结构有所不同。如纹理直而结构粗的有栓皮栎；材质细密的有黄杨木；结构均匀的如椴木等。

# 第二节 木材的微观构造

用肉眼或放大镜观察木材的构造，只能看到一般表面特征，至于要了解组成木材的微观组织，则需要利用显微镜才能观察到。了解木材微观组织，对于我们研究木材的水分传导及其变化规律有一定的帮助。因此，本节将讲述木材细胞的简单构造与生长过程，以及介绍与木材干燥有关的微观构造。

## 一、木材细胞的构造和生长过程

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。这些小腔室就叫做细胞。

树木的生长是由于木材细胞联合活动的结果。细胞由细胞壁、原生质、质体、液胞、细胞核、核仁等所组成。

细胞是有生命的。当细胞生活的时候，细胞腔内充满着原生质。当细胞死亡以后，原生质就慢慢消失，只剩下中空的细胞腔。在细胞壁上留下来的孔隙叫纹孔，这是由于细胞生长时细胞壁未加厚到的地方，而留下来的孔隙。纹孔的作用是进行两个细胞间生理上的联系，如水分、气体、物质、溶液的交换都是通过纹孔来互相沟通。在木材干燥的过程中，纹孔对水分的传导影响较大。

所以说，木材是由无数的细胞所组合起来的一个组织，再由许多组织构造成一个器官，如树根、树干、树冠等。各个器官联合起来便构成一个完整的植物体。

木材的生长是依赖于细胞数量的增加及细胞的伸长来进行的。每个幼细胞在生长期內，细胞的体积与表面积之间的比例是时刻都在改变的，而细胞是经过表面而得到营养的。由于体积增加快而面积增加慢，这时细胞为了继续得到充足的营养，就开始进行分裂。这种分裂的形式主要是产生在木材器官营养细胞中。由于木材器官营养细胞的分裂而进行繁殖，便使活树逐年增高、长大。

## 二、木材的微观构造

在显微镜下我们可以看到木材各种不同的细胞。针叶材的组织比较简单，主要是由管胞、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，构成各不同树种木材的共同性和特殊性。

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，也不论是具有宽木射线的重而硬的柞木或者是具有狭木射线的轻而软的椴木，它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，三部分组合而成的，如图 1—4 所示。

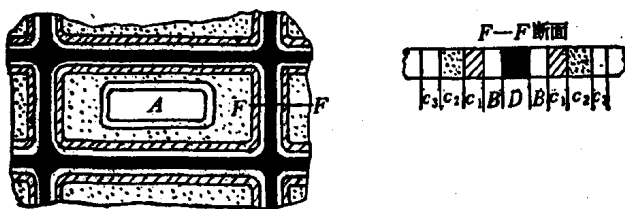


图 1—4 细胞壁的构造示意图

A——细胞腔，B——初生壁，C——次生壁，C<sub>1</sub>——外层，C<sub>2</sub>——中层，C<sub>3</sub>——内层，D——细胞间质。

### 1. 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。

### 2. 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。

### 3. 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最后形成的一层组织。它的厚度随着细胞的种类不同而不同，有的极厚，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。

次生壁是由纤维素和木质素组成的。其中以纤维素比较多，木质素较少。

次生壁根据小纤维在次生壁的排列又可分为三层（见图1—4）。

（1）外层：为靠近初生壁的一层，其厚度较薄，但较内层要厚一些。这层主要是由纤维素和半纤维素所组成。这层小纤维素的方向与细胞的长轴方向垂直，或略有倾斜，倾斜度约为 $45^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。

（2）中层：是次生壁三层中最厚的一层，约占细胞壁总厚度的50%以上。这层主要是由纤维素，半纤维素及少量的木质素所组成。纤维排列方向与细胞的长轴方向平行，或稍有倾斜，但一般的倾斜度不超过 $5^{\circ}$ 。

（3）内层：为靠近细胞腔的一层薄膜，是三层中最薄的一层。主要是由木质素及纤维素所组成。纤维的排列方向与外层相同，与木纹方向垂直或稍呈倾斜状。

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的。

木材中的吸着水吸附在微胶粒与微胶粒的间隙之中。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。这样就使木材发生湿胀与干缩。

在次生壁加厚过程中，为了便于相邻的细胞交流水分而留下来的孔道，叫做纹孔。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，叫做纹孔对。纹孔对之间的隔膜，称为纹孔膜。纹孔又可分为单纹孔及重纹孔两种。