

木结构设计手册

(第二版 按GBJ 5—88新编)

建筑结构设计手册丛书编委会

中国建筑西南设计院
四川省建筑科学研究院 编
重庆建筑工程学院

中国建筑西南设计院 主编

中国建筑工业出版社

目 录

基本符号		第二节 木屋架设计	68
第一章 木材	1	第三节 钢木屋架设计	74
第一节 建筑用材的主要树种	1	第四节 天窗	86
第二节 木材的构造	2	第五节 木屋盖的空间稳定	87
第三节 木材的物理性质	6	第六节 屋架在吊装时的验算和加固	91
第四节 木材的力学性质	10	第七节 新利用树种木材的设计要点	92
第五节 木材缺陷	15	第八节 地震区木结构的设计要点	93
第六节 承重木结构对木材含水率的要求和选材标准	17	第九节 台风地区木结构设计要点	97
第二章 基本设计规定	21	第七章 胶合木结构的设计和构造	100
第一节 木结构设计的基本方法	21	第一节 胶合木结构的优点及采用条件	100
第二节 木材强度设计值的确定方法	23	第二节 胶合木结构的分类	100
第三节 木材斜纹承压计算	28	第三节 层板胶合木结构	103
第四节 钢材设计指标及其使用规定	29	第四节 胶合板结构	112
第五节 结构用胶及其胶粘能力的检验规定	30	第八章 设计对施工的质量要求	114
第三章 木结构构件的计算	33	第一节 对材料的质量要求	114
第一节 计算公式	33	第二节 对施工工艺的要求	114
第二节 轴心受拉和轴心受压构件	33	第三节 对构件制作的质量要求	116
第三节 受弯构件	36	第四节 木结构的连接制作和装配	117
第四节 拉弯和压弯构件	37	第五节 对木结构运输和安装的要求	118
第四章 木结构的连接	40	第九章 木结构的防腐、防虫、防火	120
第一节 齿连接	40	第一节 木腐菌对木结构的危害	120
第二节 螺栓连接和钉连接	42	第二节 昆虫对木结构的危害	122
第三节 斜键连接	50	第三节 木材的天然耐腐性和浸注性	125
第四节 承拉螺栓、贴角焊缝的计算和构造规定	51	第四节 木结构防腐、防虫的设计原则	127
第五节 连接设计中的注意事项	52	第五节 木结构防腐、防虫的构造措施	127
第五章 屋面木基层和吊顶	56	第六节 木结构防腐、防虫的化学处理	130
第一节 屋面构造	56	第七节 木材的燃烧和木结构防火设计原则	134
第二节 屋面构件的计算	58	第八节 木材防火剂及防火剂处理方法	136
第三节 木屋盖的吊顶	60	第十章 木结构的检查、维护和加固	138
第六章 屋盖结构	62	第一节 常见的损害	138
第一节 屋盖承重木结构的设计原则	62	第二节 检查要点	141
		第三节 维修和加固的基本原则	142
		第四节 维护和加固的若干实例	144

第十一章 木屋盖设计计算实例	152	12-7 吊顶搁栅及主梁截面选用表	304
11-1 12m有吊顶三角形豪式 方木屋架	152	12-8 方木、原木轴心受压构件截面 选用表	306
11-2 15m不等节间豪式原木屋架	168	12-9 螺栓连接计算表	310
11-3 15m上弦偏心抵承的三角形豪式钢 木屋架	183	12-10 圆钢拉杆、拉力螺栓承载力设计 值及钢垫板尺寸	312
11-4 15m有悬挂吊车的三角形豪式 钢木屋架	192	12-11 钢木屋架下弦节点抵承板 选用表	313
11-5 15m带天窗芬克式钢木屋架	202	12-12 铁件规格表	314
11-6 18m混合式钢木屋架	216	12-13 原木解锯计算表	316
11-7 21m有吊顶梯形豪式钢木屋架	226	附录一 常用建筑用材树种名称对 照表	318
11-8 18m钢下弦胶合木屋架	235	附录二 我国五十三个城市木材平衡 含水率估计值(%)	323
第十二章 计算图表	240	附录三 主要树种的木材物理力学 性质	325
12-1 常用材料和构件自重表	240	附录四 原木单齿连接承压面积 A_c 计算表	354
12-2 常用截面几何特征表	242	附录五 木材防腐处理前后技术措施	355
12-3 屋架杆件长度及内力系数表	258	附录六 轴心受压构件的稳定系数	359
12-4 挂瓦条、屋面板、椽条截面 选用表	292		
12-5 简支椽条截面选用表方木椽条表 使用说明及举例	293		
12-6 楼层搁栅截面选用表	302		

第一章 木 材

第一节 建筑用材的主要树种

建筑承重构件用材的要求，一般说来最好是：树干长，纹理直，木节少，扭纹少，能耐腐蚀和虫蛀，易干燥，少开裂，具有较好的力学性质，并便于加工。但能完全符合这些条件的树种是有限的，在设计中，应按就地取材的原则，结合实际经验，在确保工程质量的前提下，以积极、慎重的态度，逐步扩大树种的利用。

结构用材可分两类：针叶材和阔叶材。结构中的承重构件多采用针叶材。阔叶材主要用作板肖、键块和受拉接头中的夹板等重要配件。

我国各地区可供选用的常用树种如下：

1) 黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古：红松、松木、落叶松、杨木、云杉、冷杉、水曲柳、桦木、槲栎、榆木。

2) 河北、山东、河南、山西：落叶松、云杉、冷杉、松木、华山松、槐树、刺槐、柳木、杨木、臭椿、桦木、榆木、水曲柳、槲栎。

3) 陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆：华山松、松木、落叶松、铁杉、云杉、冷杉、榆木、杨木、桦木、臭椿。

4) 广东、广西：杉木、松木、陆均松、鸡毛松。罗汉松、铁杉、白栎、红栎、红锥、黄锥、白锥、檫木、山枣、紫树、红桉、白桉、拟赤杨、木麻黄、乌墨、油楠。

5) 湖南、湖北、安徽、江西、福建、江苏、浙江：杉木、松木、油杉、柳杉、红栎、白栎、红锥、白锥、栗木、杨木、檫木、枫香、荷木、拟赤杨。

6) 四川、云南、贵州、西藏：杉木、云杉、冷杉、红杉、铁杉、松木、柏木、红锥、黄锥、白锥、红桉、白桉、槲木、木莲、荷木、榆木、檫木、拟赤杨。

7) 台湾：杉木、松木、台湾杉、扁柏、铁杉。

此外，各地往往对同一树种，有不同的称呼，在附录一中，将这些树种的标准名称、木结构设计规范用名、别名、拉丁名及产地列出对照表，供选材时参考。

常用木材的主要特性简单介绍如下：

落叶松——干燥较慢，易开裂，早晚材的硬度及收缩均有大的差异，在干燥过程中容易轮裂，耐腐蚀性强。

铁杉——干燥较易，干缩在小至中等之间，耐腐蚀性中等。

云杉——干燥易，干后不易变形，干缩较大，不耐腐。

马尾松、云南松、赤松、樟子松、油松等——干燥时可能翘裂，不耐腐，最易受白蚁危害，边材蓝变色最常见。

红松、华山松、广东松、海南五针松、新疆红松等——干燥易，不易开裂或变形，干

缩小，耐腐性中等，边材蓝变色最常见。

栎木及柞木——干燥困难，易开裂，干缩甚大，强度高，甚重甚硬，耐腐性强。

青冈——干燥难，较易开裂，可能劈裂，干缩甚大，耐腐性强。

水曲柳——干燥难，易翘裂，耐腐性较强。

桦木——干燥较易，不翘裂，但不耐腐。

新利用树种木材的主要特性介绍如下：

槐木——干燥困难，耐腐性强，易受虫蛀。

乌墨（密脉蒲桃）——干燥较慢，耐腐性强。

木麻黄——木材硬而重，干燥易，易受虫蛀，不耐腐。

隆缘桉、柠檬桉和云南蓝桉——干燥困难，易翘裂；云南蓝桉能耐腐，隆缘桉和柠檬桉不耐腐。

檫木——干燥较易，干燥后不易变色，耐腐性较强。

榆木——干燥困难，易翘裂，收缩颇大，耐腐性中等，易受虫蛀。

臭椿——干燥易，不耐腐，易呈蓝变色，木材轻软。

桤木——干燥颇易，不耐腐。

杨木——干燥易，不耐腐，易受虫蛀。

拟赤杨——木材轻、质软、收缩小，强度低，易干燥，不耐腐。

注：木材的干燥难易系指板材而言，耐腐性系指心材部分在室外条件下而言，边材一般均不耐腐。在正常的温、湿度条件下，用作室内不接触地面的构件，耐腐性并非是最重要的考虑条件。

第二节 木材的构造

组成针叶材的主要细胞和组织是管胞、木射线等。其中管胞占木材体积90%以上，是构成针叶材的最主要分子。

组成阔叶材的主要细胞和组织是木纤维、导管、木射线及轴向薄壁组织等，其中木纤维常占木材体积50%以上，是组成阔叶材的主要分子。

木材的微观构造：在显微镜下观察木材各组成分子的细微特征及其相互联系，是研究及鉴定木材的重要方法。

木材的宏观构造：在肉眼及放大镜下观察木材的各种构造及其特征，是生产上常用的识别木材的主要方法。

以下所述主要是指木材的宏观构造而言。

一、木材的正交三向切面

木材各种分子的形态、大小和排列各不相同，例如：管胞、木纤维、轴向薄壁组织和导管等为轴向排列，木射线则为横向排列，从而造成木材的各向异性；即在不同的切面上，木材各分子的特征各不相同，其物理性质、力学强度也因之而异。因此，常利用木材三个切面上的特征来识别木材，研究木材的性质和用途。

木材主要的切面是横切面、径切面和弦切面，如图1-1。

横切面是指与树干或木纹方向垂直锯割的切面，在这个切面上，木材的各种分子的形

象和排列情况都清楚地反映出来。因此，它是观察和识别木材的主要切面。径切面是指平行于树干或纹理，沿木射线并与年轮成垂直方向切取的切面。弦切面是指平行于树干或纹理而与年轮相切的切面。径切面与弦切面统称为纵切面。

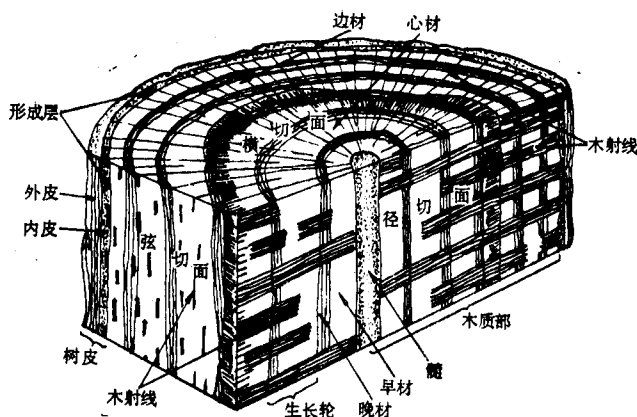


图 1-1 木材的正交三向切面图

二、边材和心材

边材：指在生活树木中包含有生活细胞和储藏物质的木材部分；靠近树皮处，材色一般较浅，含水率一般较大。

心材：指在生活树木中，不包含生活细胞，同时，其中轴向薄壁组织和射线薄壁组织内含的淀粉和糖类已不存在，或已转化为心材物质的内部木材。心材靠近髓心，其材色通常较边材为深。

有些树种，心材和边材区别显著，如马尾松、云南松、落叶松、麻栎、刺槐、榆木等，称为心材树种。有的树种，木材外部和内部材色一致，但内部的水分较少，称为熟材树种或隐心材树种，如冷杉、云杉等。有的树种，外部和内部既没有颜色上的差异，也没有含水量的差别，称为边材树种，如桦木、杨树等。

心材是由边材转变而成的。心材密度一般较大，材质较硬，天然耐腐蚀性也较高。

三、年轮、早材和晚材

年轮：指一年内木材的生长层。它在横切面围绕髓心呈环状，在径切面呈条状，在弦切面呈“V”字形（图1-2）。

年轮在许多针叶材和阔叶树环孔材中甚为明显；如松木、杉木、落叶松、栎木、水曲柳、槐木、榆木等。但在阔叶树散孔材、辐射孔材及部分针叶材中则不明显或较不明显。如杨木、桤木、桦木、青冈、拟赤杨、桉树等。

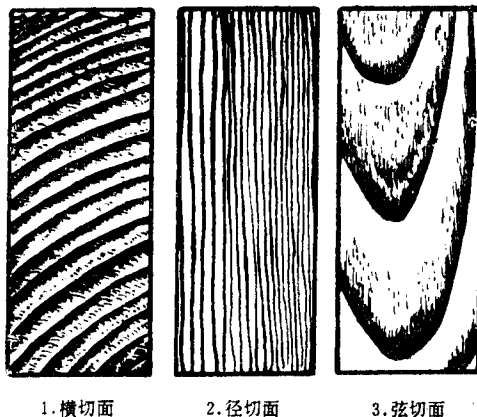


图 1-2 松树的横切面、径切面、弦切面

早材：指一个年轮中，靠近髓心部分的木材。在年轮显明的树种中，早材的材色较浅，一般材质较松软、细胞腔较大、细胞壁较薄、密度和强度都较低。

晚材：指一个年轮中，靠近树皮部分的木材。材色较深，一般材质较坚硬、结构较紧密、细胞腔较小、胞壁较厚，密度和强度都较高。

在年轮显明或较显明的树种中，在一个年轮内从早材过渡到晚材，有渐变和急变的区别。

渐变：指一个年轮中，早材和晚材界限不明显，从早材过渡到晚材颜色逐渐变化；如冷杉、云杉的木材都是如此。

急变：指一个年轮中，早材和晚材界限明显，从早材过渡到晚材颜色突然变化；如云南松、马尾松、铁杉、落叶松等的木材都是这样。

四、木 射 线

在木材的横切面上可以看见许多由髓心向树皮辐射的条纹，这些条纹称为髓线，在木质部中的髓线称为木射线，在韧皮部里的髓线称为韧皮射线。

木射线主要由薄壁细胞组成，它或断或续地横穿年轮，是木材中唯一横向排列的组织，在树木生长过程中起横向输导和贮存养料的作用。

木射线在木材的三个切面上表现出不同的形状。在横切面呈辐射状条纹，显露出它的宽度和长度；在径切面呈横行的窄带状或宽带状，显露其长度和高度；在弦切面上呈顺木纹方向的短线状或木梭形，显露其宽度和高度（图1-1）。

木射线按宽度可分为窄木射线和宽木射线两类（有的分为三类或五类）。窄木射线单凭肉眼看不清或完全看不见；宽木射线则肉眼即能明显看出。木射线宽度的变动范围在0.015~0.6mm之间。

针叶材和一些阔叶材，如杨木、桦木等只有窄木射线，有的阔叶材如桤木、栎木、青冈、臭椿等则既有窄木射线，也有宽木射线。

宽木射线是由许多窄木射线紧密地并列而形成的，也称为多列木射线。有的树种，如桤木等，其宽木射线中，除窄木射线外，还夹杂有木纤维或其它细胞；在肉眼下看，它的结构较松，光泽较暗，这种宽木射线称为聚合木射线，又称假宽木射线。另一些树种如麻栎、栓皮栎、青冈等，其宽木射线全部由窄木射线组成，常简称宽木射线，又称复合木射线，也叫真宽木射线，其结构紧密，光泽发亮。

木射线在木材中的体积因树种而异，一般针叶材的木射线占木材体积的5~10%，阔叶材则占9~36%。

由于木射线是横向排列的，所以它的存在会影响木材力学强度和物理性质。例如，宽木射线会减低木材沿径面破坏时的顺纹抗劈、顺纹抗拉及顺纹抗剪强度，但对径向横压及弦面剪力等的强度则会提高。在木材干燥时，容易沿木射线开裂。木射线有利于防腐剂的横向渗透。宽木射线在木材的径面上常表现为美丽的花纹。

五、导 管

导管是轴向的细胞系列，形成节状的管子，在树木中起输导作用。它的细胞腔大，在肉眼或放大镜下，横切面呈孔状，称为管孔，是阔叶材（除水青树外）独有的特征；故阔

叶材又称有孔材。针叶材没有导管，在横切面上看不出管孔，称无孔材。根据管孔排列形状，阔叶材可分为环孔材、散孔材、半环孔材（或半散孔材）、辐射孔材四类（图1-3）。

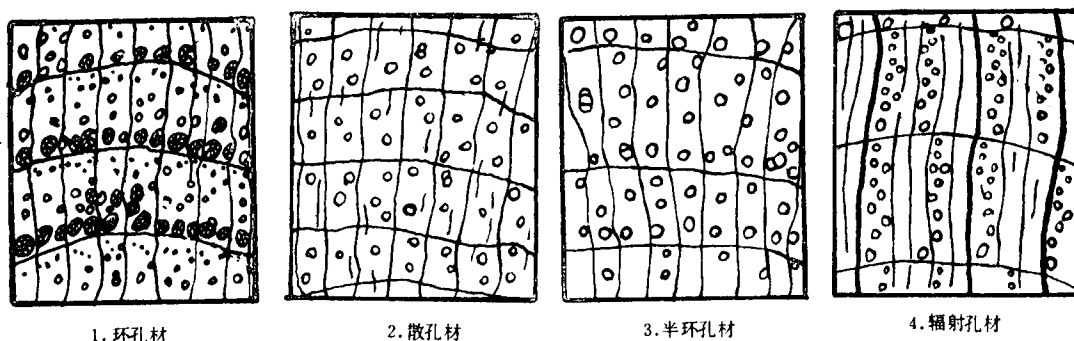


图 1-3 阔叶材管孔的分布形态

环孔材：在一个年轮内，早材管孔比晚材管孔大很多，早材管孔沿年轮呈环状排列，有一列、二列或多列的；如槐木、水曲柳、榆木等。

散孔材：指一个年轮内，早、晚材管孔的大小没有显著的差别，均匀地、星散地分布于全年轮内，如桦木等。

半环孔材（或半散孔材）：在一个年轮内，管孔的排列介于环孔材与散孔材之间，即早材管孔较大，略呈环状排列，早材到晚材的管孔逐渐变小，其间界限不明显，如红椿等。

辐射孔材：早、晚材管孔差异不大，几个一列呈辐射状横穿年轮，与木射线平行或斜列，如青冈、拟赤杨等。

六、树脂道

树脂道是针叶材中的松属、云杉属、落叶松属、黄杉属、银杉属和油杉属所特有，是含有松脂的细胞间隙；分纵生树脂道和横生树脂道两种。纵生树脂道沿树干方向纵生，在木材横切面上呈白色或褐色点状、孔状或油点状，在径、弦切面呈深色的线状或点状。横向树脂道存在于木射线中，在弦切面上有时可见为褐色点状。

七、轴向薄壁组织

轴向薄壁组织是衍生自纺锤形成层原始细胞的薄壁细胞，在木材横切面呈颜色较浅的短线状，其明显程度及分布类型在木材鉴别上很重要，阔叶材有些树种中很发达，如泡桐、麻栎、栓皮栎、高山栎等，针叶材一般很少。

轴向薄壁组织根据其与导管连生的关系可分为离管型和傍管型两类（图1-4）。

离管薄壁组织：指轴向薄壁组织的分布不依附于导管而呈星散状、网状或带状等，如桦木、桤木、麻栎等。

傍管薄壁组织：指轴向薄壁组织环绕于导管周围，呈浅色环状、翼状或聚翼状，如榆树、泡桐、刺槐等。

轴向薄壁组织在树木中起贮藏养分的作用。大量的轴向薄壁组织的存在，使木材容易

开裂，并降低其力学强度。

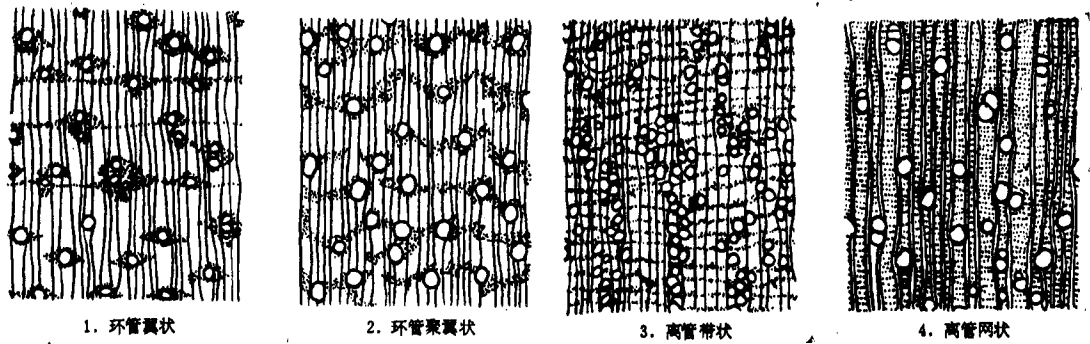


图 1-4 阔叶材轴向薄壁组织分布形态

八、侵 填 体

侵填体是阔叶材导管中的一种内含物，由薄壁细胞挤入导管腔中而形成，它的化学成分主要为木素与纤维素。侵填体多存在于一些树种的心材中，在横切面上呈白色点状，如刺槐、橡木、麻栎等很显著。

具侵填体多的树种，天然耐腐性较强，但透水性则大为减低，不利于防腐剂的渗透。

九、髓 斑

髓斑存在于如桦木、桤木、椴木等某些阔叶材及杉木等针叶材中，是昆虫的幼虫对形成层的危害而形成，由一些排列不规则的薄壁细胞组成，在横切面上沿年轮呈半圆形或弯月形，在纵切面上呈线状，其颜色较周围木材为深。木材中若有大量髓斑存在，则木材的力学强度会减低。

十、髓 心

髓心一般位于树干中心，但树木生长受环境影响，有时会形成偏心构造，使木材组织不均匀。偏宽年轮与偏窄年轮的木材物理力学性质差异较大。有些树种如泡桐、臭椿等髓心很大，有时达数十毫米，形成空心。

髓心的组织松软，强度低，易开裂。因此，要求质量高的用材部分，不许带有髓心。

第三节 木材的物理性质

一、木材含水率

1. 含水率的计算与测定

木材含水率是指木材中所含水分的重量占其烘干重量的百分率，可按下列公式计算：

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1-1)$$

式中 W ——木材含水率(%)；

m_1 ——木材烘干前的质量(g)；

m_0 ——木材烘干后的质量(g)。

木材含水率通常用烘干法测定，即将需要测定的木材试样，先行称量，得 m_1 ；然后放入烘箱内，以 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 的温度烘 6 小时后，任意抽取 2~3 个试样进行第一次试称，以后每隔两小时将上述试样称量一次；最后两次质量之差不超过 0.002g 时，便认为已达全干，此时木材的质量即为木材烘干后的质量 m_0 。将所得 m_1 和 m_0 代入式 (1-1) 计算即得木材的含水率。采用此法测得的含水率比较准确，但费时间，并需一定的设备，适用于要求较精确的情况。

还有采用根据含水率与导电性的关系制成的水分测定仪进行快速测定含水率的方法。使用这种测定仪时，先接通电源，将水分测定仪的插针插入被测的木材，打开开关，在刻度盘上即可读出该木材的含水率。这种仪器有多种，一般适用于木材纤维饱和点以下的含水率测定，并以测定薄板为主。其优点是简便迅速，便于携带，测定时不破坏木材；适于在工地或贮木场大批测定木材含水率时使用。

2. 纤维饱和点

潮湿木材放在空气中干燥，首先蒸发细胞腔中的自由水，当自由水蒸发完毕，而细胞壁中的吸着水尚在饱和状态时，称为纤维饱和点。这时的木材含水率，称为纤维饱和点含水率。纤维饱和点的含水率因树种、气温和湿度而异，一般在空气温度为 20°C 与空气湿度为 100% 时，纤维饱和点的含水率在 23~31% 之间，平均约为 30%。

纤维饱和点是木材物理力学性质变异的转折点。当木材含水率在纤维饱和点以上变化时（例如木材含水率由 50% 降到 40%），木材强度不因含水率的变化而改变；但木材含水率在纤维饱和点以下变化时（例如木材含水率由 25% 降到 10%），木材强度随含水率的降低而增加或随含水率的增加而减小。同样，木材含水率在纤维饱和点以上变化时，木材没有膨胀、收缩的变化；当木材含水率在纤维饱和点以下变化时，木材随含水率的减少而产生收缩或随含水率的增加而发生膨胀。

3. 平衡含水率

木材长期放置于一定的温度和一定的相对湿度的空气中，会达到相对恒定的含水率。此时的木材含水率称为平衡含水率。若当木材的实际含水率小于平衡含水率时，木材产生吸湿；若当木材实际含水率大于平衡含水率时，则木材蒸发水分，称为解湿。木材因吸湿和解湿而产生膨胀和收缩。

木材的平衡含水率主要随空气的温度和湿度的改变而变化（其中以相对湿度的影响较大）。因此，随地区和季节的不同，木材的平衡含水率有所不同（附录二）。其它如树种、心材和边材、木材尺寸大小、锯制方向等因素，对木材平衡含水率变异的影响较小。在生产中一般要求木材达到平衡含水率再使用，才能使木材较少发生开裂和变形。

二、木材的干缩性

木材的干缩性是指木材从湿材变化到气干或全干状态时，其尺寸（纵向或横向）或体积随含水率的降低而不断缩小的性能。

木材干缩的程度通常用干缩率表示。干缩率是指湿材（其含水率高于纤维饱和点）

变化到干材，干燥前、后尺寸之差对于湿材尺寸的百分比。木材的干缩率分为气干和全干两种；二者又都分为体积干缩率、纵向线干缩率（顺木纹方向）、弦向线干缩率和径向线干缩率（横木纹方向）几种。体积干缩率影响木材的密度。木材的纵向干缩率很小，一般为0.1%左右，弦向干缩率为6~12%，径向干缩率为3~6%，径向与弦向干缩率之比一般为1:2。径向与弦向干缩率的差异是造成木材开裂和变形的重要原因之一。

木材干缩率的测定，一般采用木材的含水率从湿材到规定的气干状态，或从湿材到全干状态这样两种情况进行实测后，按下列公式计算：

1. 线干缩率：

气干干缩率

$$\beta_w = \frac{l_{\max} - l_w}{l_{\max}} \times 100 \quad (1-2)$$

全干干缩率

$$\beta_{\max} = \frac{l_{\max} - l_0}{l_{\max}} \times 100 \quad (1-3)$$

式中 ρ_w ——木材弦向或径向气干干缩率，以%计；

β_{\max} ——木材弦向或径向全干干缩率，以%计；

l_{\max} ——湿材时木材在弦向或在径向的长度，以mm计；

l_w ——气干时木材在弦向或在径向的长度，以mm计；

l_0 ——全干时木材在弦向或在径向的长度，以mm计。

2. 体积干缩率：

气干干缩率

$$\beta_{vw} = \frac{V_{\max} - V_w}{V_{\max}} \times 100 \quad (1-4)$$

全干干缩率

$$\beta_{v\max} = \frac{V_{\max} - V_0}{V_{\max}} \times 100 \quad (1-5)$$

式中 β_{vw} ——木材气干体积干缩率，以%计；

$\beta_{v\max}$ ——木材全干体积干缩率，以%计；

V_{\max} ——湿材时木材的体积，以mm³计；

V_w ——气干时木材的体积，以mm³计；

V_0 ——全干时木材的体积，以mm³计。

一般说来，在含水率相同的情况下，木材密度大者，横纹（径向、弦向）收缩大，密度小者，横纹收缩小，纵向收缩则相反。在同一树种中，弦向收缩最大，径向次之，纵向最小。

三、木 材 密 度

木材的密度是指木材单位体积的质量，通常分为气干密度、全干密度和基本密度三种。

气干密度 ρ_w 按下式计算：

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (1-6)$$

式中 ρ_w ——木材的气干密度，以g/mm³计；
 m_w ——木材气干时的质量，以g计；
 V_w ——木材气干时的体积，以mm³计。

全干密度 ρ_0 按下式计算

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad (1-7)$$

式中 ρ_0 ——木材的全干密度，以g/mm³计；
 m_0 ——木材全干时的质量，以g计；
 V_0 ——木材全干时的体积，以mm³计。

基本密度 ρ_y 按下式计算：

$$\rho_y = \frac{m_0}{V_{\max}} \quad (1-8)$$

式中 ρ_y ——木材的基本密度，以g/mm³计；
 V_{\max} ——木材饱和水分时的体积，以mm³计。

基本密度为实验室中判断材性的依据，其数值比较固定、准确。气干密度则为生产上计算木材气干时质量的依据。密度随木材的种类而有不同，它是衡量木材力学强度的重要指标之一。一般说来，密度大的，力学强度亦大，密度小的力学强度亦小。

四、木材的变形和开裂

木材含水率变化时，会引起木材的不均匀收缩，致使木材产生变形。由于木材在径向和在弦向的干缩有差异以及木材截面各边与年轮所成的角度不同而发生不同形状的变化，如图1-5所示。锯成的板材总是背着髓心向上翘曲的。

木材发生开裂的主要原因是，由于木材沿径向和沿弦向干缩的差异以及木材表层和里层水分蒸发速度的不均匀，使木材在干燥过程中因变形不协调而产生横木纹方向的撕拉应力超过了木材细胞间的结合力所致。

根据云南松和落叶松的使用经验，方木和原木裂缝的位置与髓心的位置有密切关系，一般具有下列规律性：

- 1) 凡具有髓心的方木和板材，一般开裂严重，无髓心的开裂较轻微；
 - 2) 在具有髓心的方木和原木中，裂缝的开口位置一般发生在距离髓心最近的材面上；
 - 3) 原木的裂缝一般总是朝向髓心，当木材构造均匀时，裂缝多而细；构造不均匀时，则裂缝少而粗；
 - 4) 原木或具有髓心的方木中存在扭转纹时，裂缝会沿扭转纹而发展成为斜裂。
- 方木和原木的裂缝位置大致如图1-6所示。

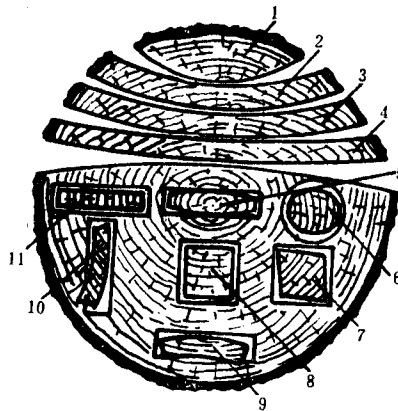


图 1-5 木材变形

1—弓形收缩后成橄榄核形；2、3、4—瓦形反翘；5—两头缩小成纺锤形；6—圆形收缩后成椭圆形；7—方形收缩后成菱形；8—正方形收缩后成矩形；9—长方形收缩后成瓦形；10—长方形收缩后成不规则状态；11—长方形收缩后成矩形

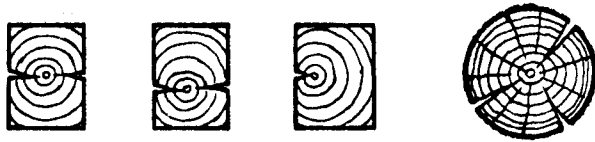


图 1-6 方木和原木的裂缝位置

第四节 木材的力学性质

木材在物理力学性质方面都具有特别显著的各向异性。顺木纹受力强度最高，横木纹最低，斜木纹介于两者之间。木材的强度还与取材部位有关，例如树干的根部与梢部、心材与边材、向阳面与背阳面等都有显著的差异。此外，无疵病的清材与有疵病（木节、斜纹、裂缝等）的木材之间差异更大。本节所述的木材力学性质，只涉及清材（没有疵病的）标准小试件按专门试验方法确定的力学指标。

一、木材顺纹受压、受拉、受剪和静力弯曲强度

按照现行国家标准《木材物理力学试验方法》进行试验的、标准小试件破坏时的应力，在本节中称为木材的强度。木材顺纹受压、受拉、受剪和静力弯曲强度在附录三表中列出。

木材受拉、受剪，在极小的相对变形下突然发生破坏的性质称为具有脆性破坏性质；相反，木材受压、受弯破坏前具有较大的、不可恢复的塑性变形性质。

木材顺纹受压强度比受拉低。木材受弯强度则介于二者之间，并一般符合下列关系：

$$\frac{f_m^s}{f_c^s} = \frac{3 - \frac{f_t^s}{f_c^s} - 1}{\frac{f_t^s}{f_c^s} + 1} \quad (1-9)$$

式中 f_t^s 、 f_c^s 、 f_m^s 分别为清材标准小试件的顺纹受拉、顺纹受压及受弯强度。

二、木材受拉、受压、受剪及弯曲弹性模量

木材的弹性模量与树种、木材密度和含水率等因素有关。

木材的弯曲弹性模量已列在附录三中。

木材顺纹受压和顺纹受拉弹性模量基本相等，部分树种的试验数值列于表1-1。

木材横纹弹性模量分为径向 E_R 和切向 E_T (图1-7)，它们与木材顺纹弹性模量 E_L 的比值随木材的树种而不同。当缺乏试验数据时，可近似取为：

$$\frac{E_T}{E_L} \approx 0.05 \quad \frac{E_R}{E_L} \approx 0.10$$

各树种木材的顺纹弹性模量 E_L 可由表1-1查得，当缺乏试验数据时，可近似地按附录三中该树种木材的静力弯曲弹性模量的

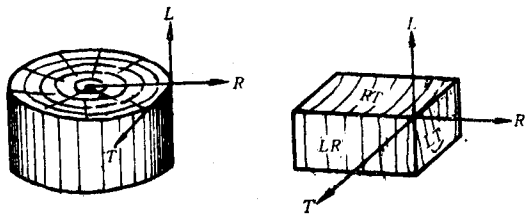


图 1-7 木材正交三向轴和三向切面

L—纵向；RT—横切面；R—径向；LR—径切面；T—弦向；LT—弦切面

1163
222

数值提高10%作为 E_L 值。

木材顺纹受拉和受压的弹性模量

表 1-1

树 种	产 地	弹性模量 $E_L (\times 10^3 \text{MPa})$	
		顺纹受拉	顺纹受压
臭冷杉	东北长白山	10.7	11.4
落叶松	东北小兴安岭	16.9	
鱼鳞云杉	东北长白山	14.7	14.2
红皮云杉	东北长白山	12.2	11.0
红 松	东 北	10.2	9.5
马尾松	广 西	10.6	
樟子松	东 北	12.3	
杉 木	广 西	10.7	
木 荷	福 建	12.8	12.3
拟赤杨	福 建	9.4	9.4

木材受剪弹性模量 G (也称剪变模量),随产生剪切变形的方向而不同(图1-7): G_{LT} 表示变形产生在纵向和切向所组成的平面上的剪切模量; G_{LR} 表示变形产生在纵向和径向所组成的平面上的剪变模量; G_{RT} 表示变形产生在径向和切向所组成的平面上的剪变模量。

木材的剪切模量随树种、密度的不同而有差异。部分树种的试验数据列于表1-2。

部分树种木材的剪切模量

表 1-2

树 种	剪 切 模 量 ($\times 10^3 \text{MPa}$)	
	G_{LT}	G_{LR}
红皮云杉	0.6307	1.2172
红 松	0.2866	0.7543
马尾松	0.9739	1.1705
杉 木	0.2967	0.5348
山 杨	0.1827	0.9001
白 桦	0.9976	1.9310
柞 栎	1.2152	2.3795
水 曲 柳	0.8439	1.4783

注:本表摘自中国林业科学研究院研究报告“木材剪变模量的初步研究”,1964年。

当缺乏试验数据时,木材的剪变模量与顺纹弹性模量 E_L 的相对比值,可近似地取为:

$$\frac{G_{LT}}{E_L} \approx 0.06; \quad \frac{G_{LR}}{E_L} \approx 0.075; \quad \frac{G_{RT}}{E_L} \approx 0.018$$

三、木材顺纹受剪性质

木材顺纹受剪具有下列性质:

1) 木材受剪破坏是突然发生的,具有脆性破坏的性质。在剪切破坏前,应力与应变之间的关系一般符合正交三向异性材料的弹性变形规律。

2) 根据单齿($h_c/h = 1/3$)剪切的电算应力分析和试验表明,沿剪切面上剪切应力的分布是不均匀的(图1-8)。剪切面上的平均剪切应力值 $\bar{\tau}$ 与最大剪切应力值 τ_{\max} 之间的关系为:

l_v/h_c	5	6	7
$\bar{\tau}/\tau_{\max}$	0.608	0.520	0.445

3) 剪切面上剪切应力 τ_{xy} 的分布状态, 随构件的几何尺寸(l_v 、 h_c 、 h)及木材的弹性模量而不同。根据鱼鳞云杉、 $h_c/h=1/3$ 、 $h_c=60\text{mm}$, 对不同 l_v 的单齿剪切电算结果表示如图1-9。

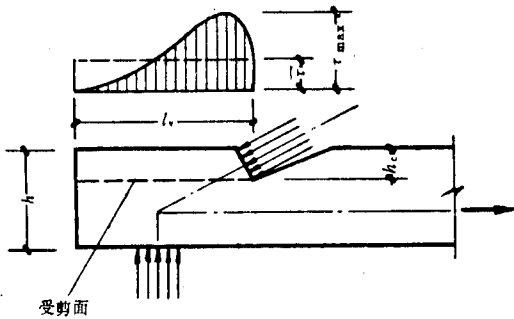


图 1-8 单齿剪切应力

由图1-9可见, τ_{\max} 大约发生在距下弦净截面(图中纵向轴线)的 $5/6 h_c$ 处; 当剪面长度 l_v 增大时, τ_{\max} 降低甚微, 但 τ_{xy} 的分布状态随之而不同, 直到 l_v 增加到 $9h_c$ 以上时, τ_{xy} 的分布状态几乎不再改变。虽然试件的剪面长度 l_v 实际上大于 $9h_c$, 但 τ_{xy} 仅分布在 $9h_c$ 的长度以内, 故 $9h_c$ 。

这一剪面长度称为应力分布的最大长度或有效剪切长度。

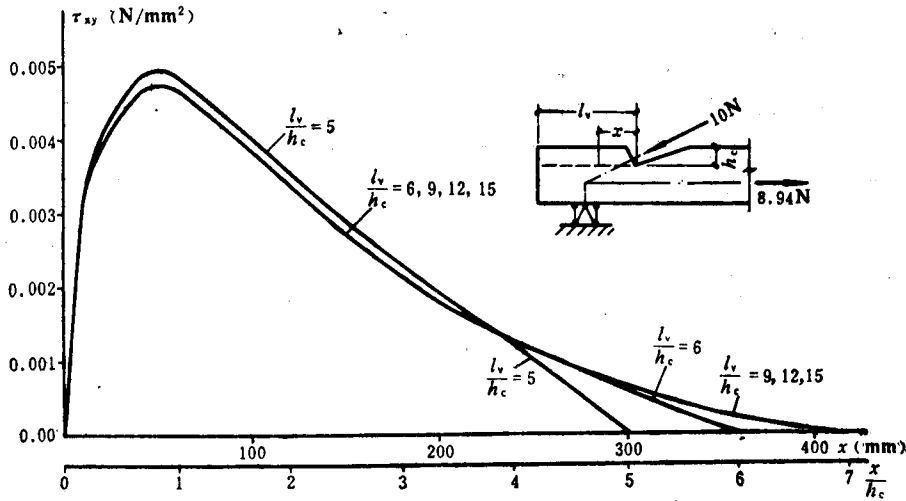


图 1-9 剪切应力 τ_{xy} 沿剪面的分布状态

4) 刻齿深度 h_c 与构件截面高度 h 的比值愈大, 则木材平均剪切应力 $\bar{\tau}$ 与最大剪切应力 τ_{\max} 的比值愈低。因此, 减小刻槽深度可以提高木材的平均剪切强度(表1-3)。

刻齿深度对木材平均剪切强度的影响

表 1-3

$\frac{h_c}{h}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{\bar{\tau}}{\tau_{\max}}$	0.275	0.313	0.340	0.350
相 对 值	1.00	1.14	1.24	1.27

注: 表中“相对值”系以 $h_c=h/3$ 、 $l_v/h_c=12$ 时的平均剪切强度作为100%。

5) 受剪面上的着力点处有横向压紧力时(图1-10b), 平均剪切强度较高; 无横向压紧力时(图1-10a), 由于产生横纹撕裂现象引起平均剪切强度降低。

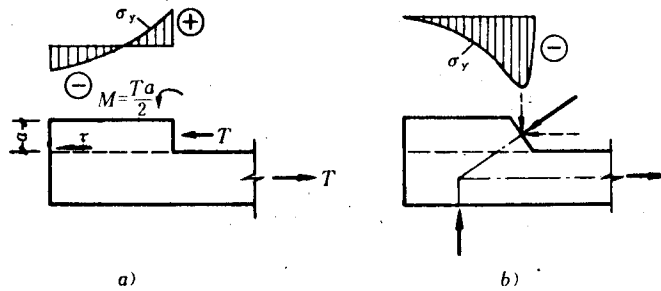


图 1-10 剪切面上横木纹方向的应力 σ ,

四、木材横纹承压的性质

木材横纹承压的特点是受力时变形较大、无明显的破坏特征，直到木材被压至很密实之后，荷载还可继续增加而无法确定其最终的破坏值。因此，一般取它的比例极限值作为木材横纹承压的强度指标（附录三表中第14-17栏）。

木材横纹承压（图1-11）分为全表面承压和局部表面承压。它的强度大小决定于承压面的长度 l_a 和非承压面的自由长度 l_c 的比值：当 $\frac{l_c}{l_a} = 0$ 时，即为全表面承压，此时强度最低；当 $\frac{l_c}{l_a} = 1$ 且 l_a 等于或小于试件高度 h 时，则为局部承压，此时强度最高；若比值 l_c/l_a 再增加，强度几乎保持不变。

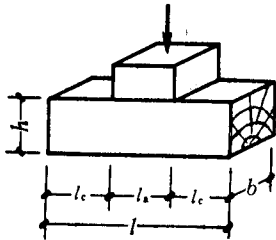


图 1-11 木材横纹承压

此外，当承压面位于试件的一端且承压长度 l_a 为试件长度 l 的1/3时，木材横纹承压比例极限介于局部表面承压和全表面承压之间，一般可取二者的平均值。

五、含水率对木材强度的影响

木材含水率在纤维饱和点以下时，含水率愈高则强度愈低。

木材顺纹受拉、受压、受弯及横纹承压，可按下列公式将试件含水率为 $W\%$ 时的强度 f_w 换算成含水率为12%时的强度 f_{12} ：

$$f_{12} = f_w [1 + \alpha(W - 12)] \quad (1-10)$$

式中 W ——试验时试件的含水率（%），一般在9~15%范围内；

α ——含水率换算系数，按表1-4采用。

含水率换算系数 α

表 1-4

受 力 性 质	公式(1-10)中 代替 f_{12} 的符号	公式(1-10)中 代替 f_w 的符号	α 值	适用树种
顺纹受压强度	f_{c12}	f_{cW}	0.05	一切树种
弯曲强度	f_{m12}	f_{mW}	0.04	一切树种
弯曲弹性模量	E_{12}	E_w	0.015	一切树种
顺纹受剪强度	f_{v12}	f_{vW}	0.03	一切树种
顺纹受拉强度	f_{t12}	f_{tW}	0.015	阔叶树
横纹全表面承压比例极限值	$f_{c,100,12}$	$f_{c,100,W}$	0.045	一切树种
横纹局部表面承压比例极限值	$f_{c,10,12}$	$f_{c,10,W}$	0.045	一切树种
横纹承压弹性模量	$E_{10,12}$	$E_{10,W}$	0.055	一切树种

木材的弹性模量、顺纹受剪等都具有类似性质，亦按公式(1-10)进行换算。

六、温度对木材强度的影响

1) 温度愈高，则木材的强度愈低。强度降低的程度与木材的含水率、温度值及其延续作用的时间等因素有关。

2) 当温度不延续作用时，木材受热的温度不致改变其化学成分的条件下(例如通常的气候条件)，当温度降低时木材还能恢复其原来的强度。

3) 气干材受温度为66°C延续作用一年或一年以上时，其强度降低到一定程度后即不会再降低，但当温度降低到正常温度时，其强度也不会再恢复。

4) 当温度达到100°C以上时，木材才会开始分解为组成它的化学元素(碳、氢和氮)。当温度在40~60°C长期作用时，也会产生缓慢的碳化，促使木材的化学成分逐渐改变。

5) 含水率较大的木材在高温作用下其强度的降低也较大，特别在高温作用的头2~4昼夜时间内，强度的降低格外显著。

6) 当温度长期作用时，木构件的所有部分将会获得与它的环境相同的温度。但是在通常气温条件下(例如在房屋中)，木材周围的空气温度随季节不同而变动颇大。因此，木构件的温度不一定能达到周围空气的最高温度。

木材的温度和含水率对木材(松木)顺纹受压强度的影响列于表1-5。

木材的温度和含水率对木材(松木)顺纹受压强度的影响

(以 $W = 15\%$, $t = 15^\circ\text{C}$ 时的木材顺纹受压强度为100%)

表 1-5

温度 t (°C)	含 水 率 W (%)							
	0	9	15	26	30	60	70	134
+100	135	51	35		23	16		
+80	146	65	51		30	26		
+60	161	79	68		37	35		
+40	167	89	79		44	42		
+25	181	103	96		51	51		
+15	186	116	100	63			60	56
-2	198	134	110	89			80	76
-16	200	159	135	93			114	136
-26	203	166	138	93			93	149
-42	202	173	149	101			150	149
-79	192	156	138	110			141	148

七、长期荷载对木材强度的影响

木材具有一个显著的特点，就是在荷载的长期作用下木材强度会降低(表1-6)。所施加的荷载愈大，则木材能经受的时间愈短。为使结构荷载作用的时间无论多么长木材都不致破坏，木结构设计以木材的长期强度为依据(图1-12)。

木材的长期强度与瞬时强度的比值随木材的树种和受力性质而不同，一般大约为：

顺纹受压 0.5~0.59； 顺纹受拉 0.5；
静力弯曲 0.5~0.64； 顺纹受剪 0.5~0.55。