

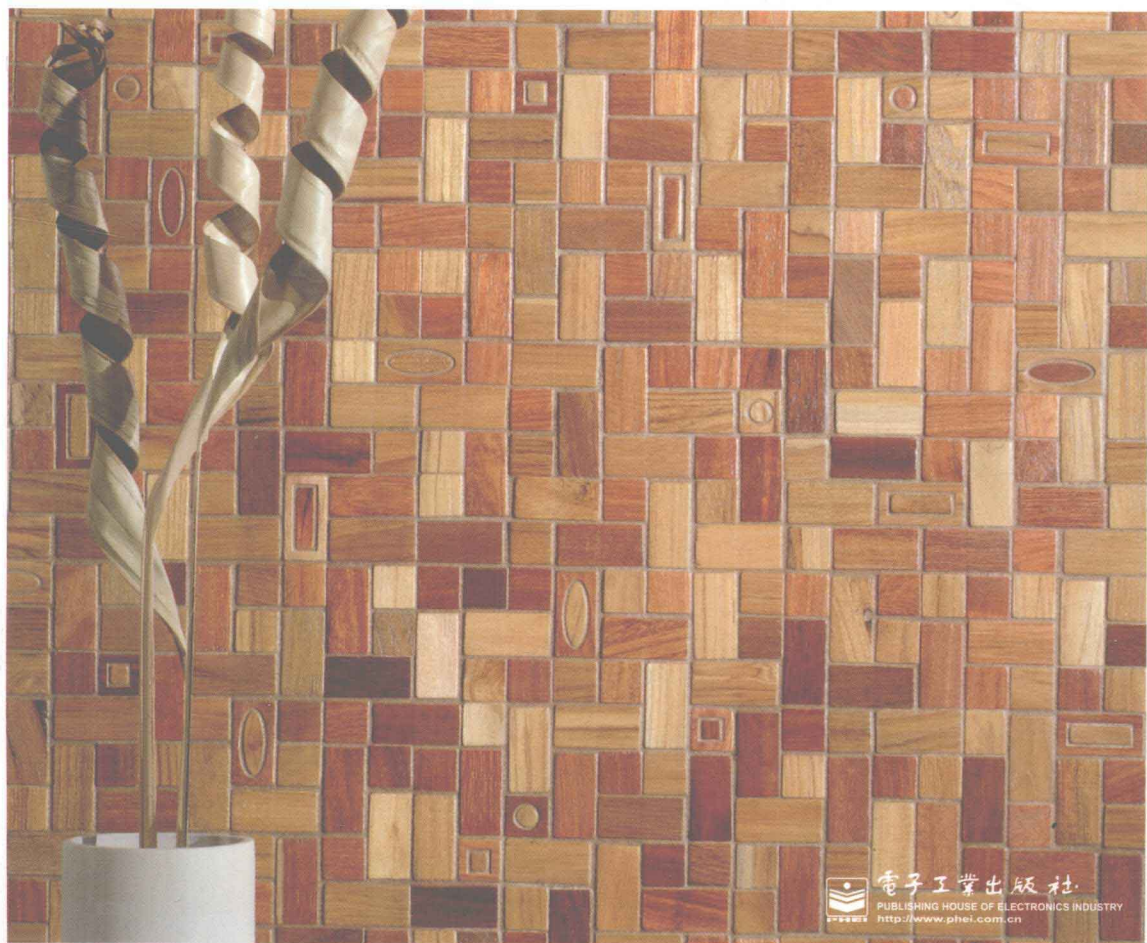
MARK CHINA
MARK杂志社 策划

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION IN WOOD

建筑设计师材料语言:

木材

[西] 迪米切斯·考斯特 (Dimitris Kottas) 编著
飞思数字创意出版中心 监制



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION IN WOOD

建筑设计师材料语言:

木材

[西] 迪米切斯·考斯特 (Dimitris Kottas) 编著
飞思数字创意出版中心 监制



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内容简介

Abstract

本书详细介绍了木材的应用原理并汇总了精选案例。这本书由两部分组成, 1~4章介绍了读者想要知道的有关木材的一切, 从技术性能到最新的木制材料的特点。5~24章通过领先的建筑事务所设计的系列项目, 说明木材在当代建筑中的重要性, 拓展了木材应用于建筑领域的可能性。本书是木制材料设计的宝贵参考资料。

本书适合设计师、建筑师、建筑专业学生及教师参考阅读。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

建筑设计师材料语言. 木材 / (西) 考斯特(Kottas,D.) 编著. -- 北京: 电子工业出版社, 2012.6
ISBN 978-7-121-16538-2

I. ①建… II. ①考… III. ①木材—建筑材料 IV. ①TU5②TU531.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第046433号

责任编辑: 侯琦婧

特约编辑: 马 鑫

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

装 订: 中国电影出版社印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 720×1000 1/16 印张: 18.5 字数: 414.4千字

印 次: 2012年6月第1次印刷

印 数: 4000册 定价: 88.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

建筑设计师材料语言：

木 材



木材是最古老的建筑材料之一，遍布地球的大部分地区，今天仍然在广泛使用。这种天然材料所固有的形状和结构上的不规则曾被看做融入到工业化生产系统的难题。然而近来，随着建筑行业对更强的环境意识和责任感的重新定位，木材作为最重要的建材之一，已在很大程度上恢复了其所应有的位置。如今它体现着低能源消耗等特性，其生产也有益于自然环境。改善木材原料的一个重要途径是通过处理和加工。作为一种以植物为基础的有机材料，很容易受到昆虫、菌类和细菌的侵袭。所有这些潜在的问题都有预防性处理措施。现在，越来越多的无毒、对环境无害处理后的木材产品出现。工程木材产品的研发改善了木材的结构和机械性能。工程木材产品是将木板、纤维、木条或木片黏合在一起，包括胶合板、多层胶合木料（Glulam）、层压胶合板（LVL）和定向刨花板（OSB）等。这些结构性产品具有独特的审美特质，正被越来越多的室内设计师、家具设计师和建筑设计师所采用。



1. 建筑用木材

木材在建筑中的使用可以追溯到数千年以前。事实上，木材是人类所使用的第一种建筑材料。人们使用木材最直接的方式是用原木当梁柱，或把原木水平堆砌成墙。从那时起，建筑中木材的使用在建筑和覆层应用方面就停止了进步。历史上，某些技术性的里程碑，例如，方形截面技术的面世（使更高精密度和更强调节度成为可能），以及屋顶桁架技术，都是值得关注的。14 ~ 17 世纪，西班牙所使用的“环路”（Lazo）系统，是一项有趣的架顶技术。这项技术使屋顶得以伸展到 10m，并促进了多面斜顶的建造。

建筑用木制品或木材制品，自初始形态以来的加工程度大为不同。今天，传统技术仍与技术先进的产品共存。市场上木材产品系列的范围很广，制作这些产品的木材，包括极高机械规格的预制件在内，都经过了不同程度的加工。

现代制造系统使定制木结构建筑系统的生产成为可能。定制木结构建筑系统是由单个与指定情况相适应的要素构成的。相对于大批量生产封闭系统而言，这些系统所具备的灵

活性是一个极大的优势，而前者的应用则更为有限。现代制造业更偏向于“开放系统”。人们通常把这种系统看成产品，将其设计用作地板、墙壁和屋顶。

木材的性能

木材是唯一一种具有结构性能的可再生自然资源，也是唯一一种用于建筑中的活跃元素。这种固有的特质甚至在树木被锯开后依然存在。这种内在特性体现于木质部件移动或出现缺陷时。

树木的种类大约为 3 万种，其中约 2 000 种都用作商业采伐。在同种木材范围内，木材所表现出的特质都可以大为不同。人们通常会将木材分为硬质与软质。大部分松柏科树木（如松树、冷杉、雪松等）都不是软木材。考虑到生长快，树色浅的因素，对木材的商业性开发主要局限于北半球。比起软木材，硬木材主要生长

结构性能		
	软木材	硬木材
密度	450 kg/m ³	675 kg/m ³
抗压度		6000 kPa
杨氏模量	10 MPa	10 MPa
热膨胀系数		
横纹	34 × 10-6 K ⁻¹	40 × 10-6 K ⁻¹
顺纹	3,5 × 10-6 K ⁻¹	4,0 × 10-6 K ⁻¹
导热系数	0.14 W/m ² · K	0.21 W/m ² · K

在温带及热带气候区，颜色、纤维和纹理图案多种多样。硬木材生长较慢。

木材的内部结构天生就是非均质的，具有显著的方向性。在主方向方面，木材的机械性能和物理性能是不同的：与木材纹理方向一致，还是横穿木材纹理，抑或是与树干相切。从本质上讲，木材是一种耐磨的材料，因为木材取自树干，而树干支撑的是整棵树的重量。在外力作用下，树干中纤维方向与树木内所产生张力的方向是平行的。出于此因，人们可以将树干看成原本就是有结构性的。此外，作为一种活性材料，木材有许多特质，这些特质在性能方面将木材与金属或钢筋混凝土构件区别开。

按照木材的内部结构，可将其分为两类，即裸子植物与被子植物。第1类，此类树木结球果且分泌树脂，四季常青，生长在温带北方地区，是建筑用木材的主要来源。

第2类，此类树木为阔叶落叶树，尽管它们的基本成分也包括相同的元素，但其所拥有的多孔结构已将其与裸子植物区别开。这种区别是通过一种名为“导管”的细胞群表现出来的，这些细胞专门存在于树液的流动过程中。

被子植物，作为密度更大、抵抗力更强、更

耐用的木材来源，生长于温带地区，主要用于制作橱柜。

从微观尺度上讲，横切树干后，人们很容易便能将树皮、韧皮与木材和木质部区别开来。

树皮可分为明显的3层：外树皮，能够保护树木不受外界环境侵袭；内树皮，通过内树皮，叶子所产生的树液能够供给树循环；形成层，这是一种活性层，在形成层内，细胞有丝分裂促成生长。“有丝分裂”即1个细胞分裂成2个细胞。

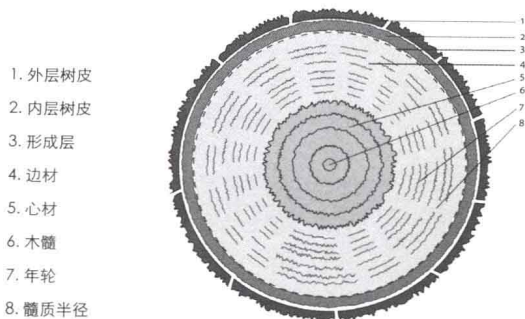
在树干部分的木材中，与每个生长季节相对应的年轮是十分明显的，外圈的年轮颜色更浅，由软质而年轻的木质构成，称为“边材”。年轮间距离越宽，证明当时树木的生长速度越快，而在同一树种当中，年轮间距离越宽，则说明此处木材密度越小，抵抗力越差。

树干内部即心材，是树木内没有生命的中心细胞核部分。由于木质化过程，其颜色比边材更深。在针叶树中，心材部分含有树脂，而在落叶树中，心材部分则有丹宁酸沉积物。与树木早期生长阶段相对应年轮间木材偶尔会是软质的，且质量较差。

除去这些区别，有的树种边材和心材是很难区分的，这可能是由于抽检的树木比较年轻，或者由于其自身构成，如落叶松、桦木、赤杨、菩提树和俄勒冈松。边材能更好地吸收治疗药物，但无论是在物理方面还是防虫和抗菌方面，总是不如心材的抵抗力强。

最后，树心部分即是心材中心部位的木材，此部分时间最久，通常是最硬的部分，且裂纹情况很严重。

心材的中心是髓质，其尺寸不尽相同，橡树的木髓尺寸小，而柳树的则较大。



原木的横截面

树木中主要的细胞是纤维，纤维贯穿于整棵树。在裸子树木中，这些细胞属于管胞，而在被子树木中，这些细胞则是厚壁组织。

细孔即那些树木横截面中的小孔或纵切面上细小的隆起，肉眼可辨，十分明显，针叶树中这些小孔构成了树脂道，而在落叶树中，它们构成了导管。

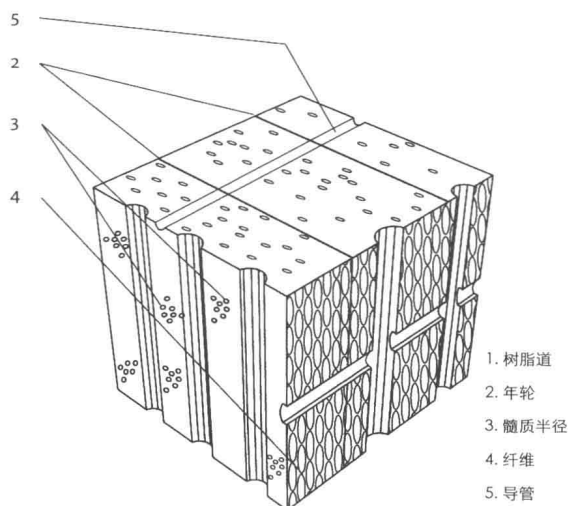
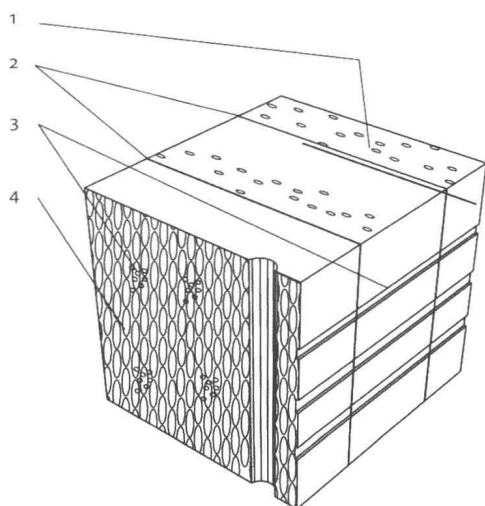
径向结构是由一种名为薄壁组织的细胞构成的。这种组织小而方，有着薄薄的细胞壁，贮存着营养物质和能源。它们位于后生长的树木中，将树纤维连接起来。这种细胞过剩会导致木材在结构上出现缺陷。

下面是对细胞壁乃至树木基本成分的描述。

- 纤维素：规模较大，占树木总质量的40%～50%，是葡萄糖的聚合物；线性结构，由于分子间氢桥数量的提高而呈现出分散的纤维状；尽管它有相对较短的晶体列，聚合度在5 000～10 000之间，其中多少有些呈结晶状。它无色、无味，构成了

一串一串的微纤维，这些微纤维在外力拉伸下有很强的耐力。尽管纤维素潮湿时会软化，而且溶于酸，但它却不溶于水。

- 半纤维素：占整棵树的20%～30%。它是一种非结晶型的分支聚合物，由低聚合度的糖分在150～200范围内形成。它构成了部分连接纤维素的基质，如遇漂白剂或碱则极易降解。
- 木质素：占整棵树的20%～30%，是一种复杂的酚类三维聚合物。木质素组成了深色纤维素结合结构的基质。木质素不溶于水且结构紧凑，保护并防止纤维素进水，给予树木广泛而全面地保护。随着时间的推移，此种物质在细胞壁内的累积会使其实力逐渐增加，而其灵活性却会渐渐变小。树液是另一种存在于树木细胞结构中的元素。在干木材内，树液占到重量的10%～15%，以以下3种形式出现。



含树脂木材与不含树脂木材的内部结构

- ◆ 组成液（4%~5%）：从化学角度讲，组成液仅存于组分的有机分子中，因此仅会通过分解和燃烧而流失。
- ◆ 浸渍水（多孔且吸湿）：浸渍水能够渗透到细胞壁中。其会导致木材径向、横向膨胀，或者缩水。这是因为细胞壁的厚度取决于其水分含量，当细胞壁水分含量饱和，细胞壁先会变厚，接着变薄，丧失水分。浸渍水在木材的物理特性中影响很大，因为它使木质软化。浸渍水可以从空气中吸收，所以它在木材中的存在与环境条件是相对应的。纤维（PSF）的饱和点标志着吸水上限。与干燥量相比，饱和点通常在 20% ~ 30% 左右。在正常环境下的室内环境条件中，饱和点在 10% ~ 15% 左右；而在室外环境条件中，饱和点为 15% ~ 18%。由于需要减少木材的

吸湿运动，最后该数值为建筑用木材可容许的最大水分含量。工业用干木材水分含量水平可低于 10%。

- ◆ 吸入水：由毛细管吸收，含量不受限制。吸入水存在于树木的树管或导管中，填充细胞内的空余或细胞间的空间。吸入水含量可超 100%，尤其是在绿木中，是树木伐倒干燥后第一种消失的元素。它不能从空气中吸收取得，只能通过液态水与树木的直接接触获得。吸入水不会影响木材中的尺寸变化，也很少影响木材的物理属性，但却影响着树木的表现密度、可加工性及是否易生长蚀木菌类。

萃取物占树木的 5% ~ 6%，根据树种的不同，其类型和数量也不尽相同。萃取物包括树脂或松节油、丹宁酸或多酚、植物油、植物脂肪、树蜡、色素及胶状物等物质。这

不同类型木材的属性

	裸子植物	被子植物
叶子	多年生	落叶
年轮	十分明显，清晰可辨	通常较难辨认
髓质	直径很小，树龄越老，直径渐小	树种不同，直径不同
纤维组织	无	构成树的主干
脉管组织	脉管细胞传输液体，构成树的主干	脉管细胞仅传输液体
营养或储备细胞	构成髓半径及树脂道，通常不明显，比较细微	构成髓半径及薄壁组织，通常十分明显，极易辨别，薄壁容器通常以分离的细胞形态出现，呈链状或斑点状

些萃取物在很大程度上影响了树木的气味和毒性，换句话说，这些物质影响着树木对于生物攻击的抵抗能力。

除去细孔，木材的实际密度（木材的质量及其纯体积之间的关系），事实上所有树种的实际密度都是相同的，为 $1\,550\text{kg/m}^3$ 。

然而，树木的表观密度却确实会在多孔性以及木材的水分含量方面有所变化。大多数树木会有 $400 \sim 850\text{kg/m}^3$ 的表观密度，轻于石头（ $2\,000 \sim 3\,200\text{kg/m}^3$ ），金属（ $2\,600 \sim 11\,300\text{kg/m}^3$ ），以及塑料（ $900 \sim 1\,400\text{kg/m}^3$ ）。

至于水分含量在 $5\% \sim 25\%$ 的树木，水分含量每变动 1% ，其质量便会相应变动 0.5% 。

至于受热膨胀和收缩，木材是最稳定的建材之一。实际上，温度升高导致的水分流失会引起收缩，这种收缩能够有效地缓解受热膨胀。

树木横纹的膨胀系数为 $0.3 \times 10^{-4} \sim 0.6 \times 10^{-4}/\text{K}$ ，顺延膨胀指数为横切的 $1/10$ 。

机械强度

就物理特性而言，与其他建材相比，木材的主要特质是其良好的强度 - 重量比：其强度 - 重量比是混凝土的 3 倍，钢铁的 $3 \sim 4$ 倍。

此外，作为一种结构材料，值得注意的是木材顺纹（尽管其抗压力很小，仅为上述的 $1/5 \sim 1/7$ 横纹受力）受压缩力情况下的弹性属性及强抗压力。

同样，木梁展现出对牵引力（是其压缩力的 $1.5 \sim 3$ 倍）和弯曲度的良好耐力，这是上述两种特性的产物。由于其纤维结构，其纯抗压力也非常突出。这些特性决定了接合处的形态，接合处集中张力，并通过改变方向来疏导张力。

15%湿度下不同树种的物理防腐力，单位：N/m²及MPa

	压缩	牵引	弯曲	纯力
弗兰德斯松木	34.8	58.8	49.0	4.4
杉木	42.8	74.5	60.8	3.9
桃花心木	66.7	117.7		
白蜡木	61.8	71.1	112.8	7.1
桦木	63.7	39.2	55.9	
山毛榉	52.0	105.9	78.5	10.5
橡树	44.1	72.6	63.7	7.8
柚木	88.3	107.8	88.3	9.8

木材的另一特性是，在短时间内承受强张力。出于此因，当木结构自重与偶然受到的负荷相比较轻时，木结构会更有效地抵抗外力。最后，当湿度和温度升高，木材的物理属性会变弱，反之则会增强，了解此点是很重要的。

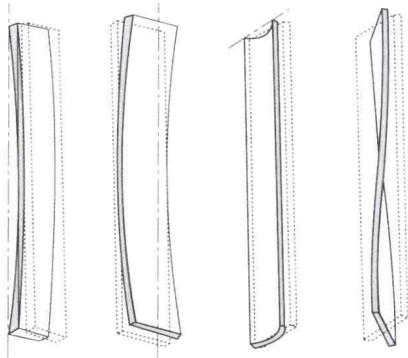
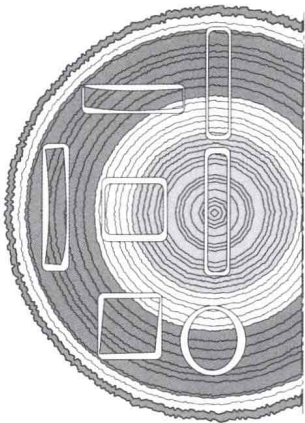
耐火性

木材的防火等级很低，这意味着建筑法规会限制木材在特定环境下的应用。然而，木材在火中的表现却是可以预测并相对稳定的，为其提供了稳定火情的时间。从另一方面来讲，由水分流失引起的收缩抵消了木材

在火中的受热膨胀。通常，在大型建筑物中，没有必要为了达到特定的防火等级而去将区域尺寸划分过大。对抗炎产品的应用改善了木材的遇火反应，但却没有改善其稳定性。其中一个主要限制因素是金属连接件，金属连接件只有 15 分钟的防火等级。在只有轻微超尺寸的情况下，防火等级可以达到 30 分钟，通过覆盖金属元件，防火等级可以达到 60 分钟。

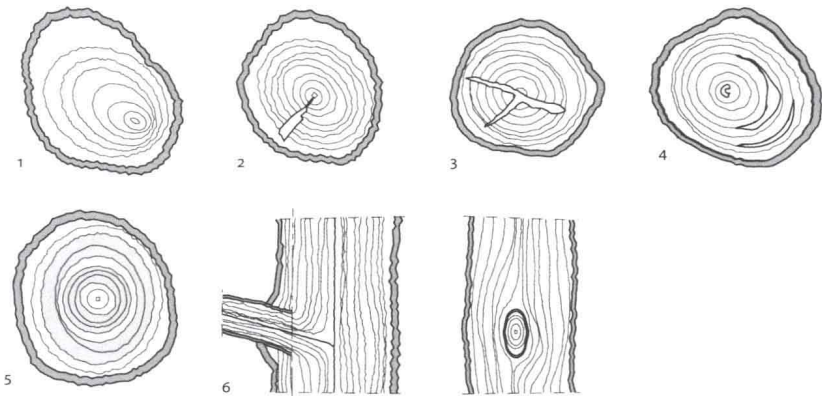
在立柱结构的建筑物中，人们使用石膏板作内包层来保护建筑物的结构，因为使用小块木材无法达到最小防火等级。此外，在楼层之间和毗邻住所之间安装合适的防火屏

为了某种用途或用于某种位置，从选中一块木材开始，发现潜在的变形是很重要的。



切开木料后所显现的标准状锯面、截面及其变形

1. 不规则生长（侧偏）
2. 径向裂纹
3. 乌鸦脚状
4. 震动
5. 双边材
6. 树节



木材的先天缺陷

障也是很重要的，这是通过在阻碍火焰传播的立柱结构中为其他楼层、相邻层或屋顶结构加入元件而实现的。

高湿度状况下的木材

作为一种建筑材料，木材所呈现的许多问题都是由于其吸湿特性。木材是一种倾向于与周遭环境同化，根据气温的浮动和相对湿度的变化来吸收或排出水分的材料。

外部应用时，平衡含湿量在 11% ~ 18% 之间，室内应用时则为 10% ~ 12%。持续的高湿度含量（20% 以上）会导致菌类性腐蚀，而同时容易滋生噬木虫，如白蚁和 Anobides（树屑样颗粒）。通常两种现象会同时存在，尤其是在靠近潮湿地带的区域（浴室、厨房、落水管等）。

因此，采用通风设计方案及使木材遇水时能及时排水，以此来保护木材是很重要的，尤其是在木质部件与其他材料接触或高危情况出现时。

然而，为横纹的膨胀和收缩而做出的设计是很重要的，即通过留出必要的活动自由。膨胀和收缩发生于所有的木材建造中。此种方法在设计木质部件之间的接合时尤为重要。大体说，最严重的膨胀收缩情况发生于沿年轮线的地方，因此最为稳定的是那些径切部位的木材。

耐风力

我们需要考虑到由风力引起的升力会作用在较轻的木结构上这一问题。充分确保屋顶与墙壁接合及墙壁与地基、地形接合非常重要。建筑物的稳定要求是与金属建筑技术所使用的相似解决方案。在金属建筑技术中，

建筑物正面的部件与屋顶将水平荷载传给了地基。

地震反应

地震产生大量短暂负荷，在这种情况下木制结构展现了最佳反应。事实上，在地中海国家，为了改善墙壁构造的抗震性能，传统上人们总是将木质部件加入其中。

声学特性

木材具有良好的吸声性能，因为这个原因，人们通常将木材用于体育和零售建筑中，并且收效良好。然而，木材却不是一种好的隔音材料。木质建筑部件十分轻便，这就意味着仅凭重量木材并不能提供良好的隔音，尤其是低频率。尽管如此，通过采用多种不同厚度层及性能的木材，实现真正的高规格还是可能的。更难解决的问题是对碰撞噪声的隔音。对于此问题，正在大量进行该领域的研究。

木材制品

实木

成型木材主要应用于立柱结构中，尽管在非木质建筑类型中它也应用于屋顶和地板结构中。成材截面通常尺寸很小（从 38mm × 39mm ~ 45mm × 240mm），产地在美国、加拿大及北欧国家。应用最普遍的树种是松树和冷杉。

较大块的实木板产自条板木或胶合在一起的小块木板。它们被称为胶合层压木材（厚度宽度相同的胶合条板）、细木工板（复合板横纹镶面）及复合板（由机械或化学连接的企口板）。



胶合板

层压木材

层压木材产品出现于 20 世纪初，弗里德里克·奥托·海策（Friedrich Otto Hetzer）于 1901 年获得第一个关于直梁的专利。通过利用市场上大量的小刨面木质部件，他生产出了不限尺寸的部件。5 年后，他又获得了弯曲件系统的专利，从那时起，层压木材产品的发展开始引人注目。1920 年，已有 200 多幢使用海策专利的层压木材结构的建筑物。第二次世界大战及随之而来的限钢令为这项技术提供了决定性的推动。

尽管层压木材多在大型建筑物或公共建筑中采用，由于对生物制剂和大气制剂的保护，层压木材开始应用于室外场所（人行道和桥梁），并应用到原本只有金属和混凝土等材料的领域中。

用于黏合材料中的树脂（尤其是甲醛树脂）在室外环境下表现良好，并有着不错的阻燃性能。目前的趋势正向着使用对环境冲击较小的黏合剂发展，但是到目前为止，对它们的应用性及耐久性，人们很少去做彻底的测试。

衍生木材板

这是由木质胶镶面、小块木材或木质纤维素构成的，由黏合剂接合的木板。衍生板主要用作二级结构元件之间的填料（托梁、桁条等），且具有物理和机械特性，这些特性在整块部件的所有截断方向都是高度一致的。它们可以用作壁骨结构隔膜，也可当成镀层材料使用。

胶合板是多用于结构中的木板。胶合板是通过将多层薄木片粘着在一起而制成的（通过“去皮”工艺得到质地良好的木板）。胶合板是由奇数

标准欧洲企口板样式



厚 (cm)	15.5	15.5	19.5	12.5
	19.5	19.5		15.5
	22.5			19.5
	35.5			
宽 (cm)	95	95	115	95
	115	115	135	115
	135		155	
	155			
长 (cm)	150~450	150~450	150~450	150~450
	450~600	450~600	450~600	450~600

的镶面构成的，这些镶面都粘着在一起，连续镶面按纹理方向垂直叠加。这样导致一整块板内据有机械属性的部分纹理方向都相同。胶合板的性能是由所使用的黏合剂及镶板的类型决定的。因此，胶合板可分为不同等级，有的适用于室内，有的则适用于室外。

制作胶合板最常使用的树种是俄勒冈松、加州松和南部松，以及热带落叶树，如奥古曼木。在黏合剂方面，酚醛树脂是室外用胶合板中最常用的。出于此因，此种类型的夹板通常称为“酚醛板”。

在其所有优点中，其中之一即胶合板尺寸稳定且抗翘曲。在轻骨构造及其他类似结构中，胶合板广泛用于镀层，并在结构上与壁骨结构相得益彰。

定向刨花板（OSB），是为结构应用而特别设计的，尽管它偶尔也用做室内镀层材料。定向刨花板通过用压力将木纹粘在一起而制造。外层的木纹是朝向木板的长度方向的，而在里层，它们则为垂直方向。这样木板就能从朝向两方木纹的机械抗力所

能发挥的最大价值中获益。定向刨花板的外观十分独特，缕缕木纹构成了淡黄色的粗糙外表。

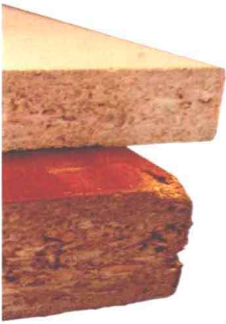
定向刨花板应用于屋顶与墙的架设，以及天花板和镀层中。与胶合板相比，其结构属性并不逊色。它的优点包括使用轻松、轻便。它是由生长迅速的树种——黄松木、白杨和桦树制成的，在生产过程中只有 15% 的木材浪费。

刨花板（在英国及某些国家也称为“硬纸板”），是在压力下将碎木粘在一起制成的。它很少用于建筑应用中，因为其大多数生产是针对非建造应用的（门、家具等）。作为一种机械耐腐蚀元件，它最常用于建造屋顶，偶尔应用于地板及天花板的建造中。可以对碎木板进行多种处理：改善其防水性；阻燃性；对其使用杀虫剂或杀菌剂；甲醛处理等。在最后加工方面，刨花板可以裸露、加盖木质胶合板、镀上塑料层或聚酯层、喷漆或涂漆。

硬纸板是由木质纤维结合黏合剂或树木天然树脂而构成的，其主要



定向刨花板（OSB）



刨花板

结构木材标准尺寸

6 × 12/14/16/18/20/24 cm

8 × 12/14/16/20/24 cm

10 × 12/20 cm

12 × 12/20/24 cm

欧洲标准实木样式

	厚度 d	宽度 b
板条	d ≤ 40 mm	b < 80 mm
木板	d ≤ 40 mm	b ≥ 80 mm
厚板	d > 40 mm	b > 3d
方材	b ≤ d ≤ 3b	b > 40 mm

欧洲方形截面木材标准尺寸

6 × 6/8/12 cm

8 × 8/10/12/16 cm

10 × 10/12/20/22 cm

12 × 12/14/16/20/24 cm

14 × 14/16 cm

16 × 16/18/20 cm

18 × 22 cm

20 × 20/24 cm

长度 16 m