

# 竹材

赵仁杰 喻云水 编著

# 人造板工艺学

中国林业出版社

878

75653  
245

# 竹材人造板工艺学

赵仁杰 喻云水 编著

中国林业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

竹材人造板工艺学/赵仁杰, 喻云水 编著. —北京: 中国林业出版社, 2002. 5  
ISBN 7-5038-3081-6

I. 竹… II. ①赵… ②喻… III. 竹材-木质板-工艺学 IV. TS653

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 031531 号

## 竹材人造板工艺学

---

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

E-mail cfphz@public. bta. net. cn 电话 66184477

发行 新华书店北京发行所

印刷 三河市富华印刷包装有限公司

版次 2002 年 6 月第 1 版

印次 2002 年 6 月第 1 次

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 14

字数 349 千字

印数 1~2000 册

---

定价 30.00 元

# 前 言

我国竹材人造板生产以丰富的竹材资源为依托，以较为先进的木材人造板工艺技术为基础，多年来得到了迅猛的发展，形成了竹材人造板的系列产品和竹材工业体系的雏形。为适应竹材人造板工业发展的需要，在总结科技创新成果和生产实践资料的基础上，编著了这本《竹材人造板工艺学》。

本书的前七章分别介绍了竹材人造板的结构、性能及其所使用的胶粘剂；阐述了竹材人造板构成单元的制备、干燥、施胶与胶合的工艺理论和工艺方法；论述了竹材人造板的加工与二次加工工艺，以使读者对竹材人造板的基本生产工艺有较全面和系统的了解，并对其相关的工艺理论有较深入的认识；阐明了竹材人造板的各个主要工序，分别在各自的工艺理论指导下，由于构成单元的几何形态不同，不同板种可以分别具有不同的工艺方法，使其形成不同板种之间各相关工序的横向体系。由于竹材人造板的品种类型较多，且各有其特点，为了突出各主要板种自成一体的工艺流程与工艺特点，本书在第八及第九章又分别简要介绍了各类竹材人造板和竹材复合人造板的基本生产工艺，使其形成各个板种独立的纵向体系。本书试图通过纵向体系与横向体系的结合来阐述竹材人造板工艺学。这种编著方式，一方面是祈求避免将众多产品逐个从原料到成品的加工方法和工艺理论的纵向阐述，所造成的具有共同之处的多次重复；另一方面又祈求避免因篇幅局限，造成对基本工艺理论的阐述不深，使读者不得要领的缺陷。诚然，这种在详细阐述竹材人造板具有共性的工艺知识和工艺理论的基础上，再分别简略介绍各个板种工艺特点的编著方式，在人造板工艺学编著领域中尚属首次。这是一种新的探索，当否有待读者判别和检验。由于编著者学识水平有限，谬误在所难免，恳请国内同仁与读者给予批评指正。

《竹材人造板工艺学》全书共分十章，第二章竹材人造板常用胶粘剂与涂料及第十章胶粘剂与竹材人造板性能的检验由喻云水撰写，其余八章均由赵仁杰撰写。本书引用了大量科研成果与生产中的创新技术，作者在此对这些成果与技术的创造者们表示钦佩，是他们奠定了竹材人造板工业的基础。本书的编写得到了张建辉、唐忠荣、赵星的帮助，谨表谢忱。

本书资料丰富，内容切合实际，是目前国内外较全面论述竹材人造板工艺的专著。本书可供人造板企业的工程技术人员阅读，可供从事人造板教学与科研的人员参阅，也可作为林业院校木材科学与技术专业的教材。

作 者

2002 年元月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 竹材与竹材人造板的结构和特性</b> .....	(1)
1.1 竹材的结构与性能 .....	(1)
1.1.1 竹材的结构 .....	(1)
1.1.2 竹材的化学性质 .....	(2)
1.1.3 竹材的物理性质 .....	(3)
1.1.4 竹材的力学性质 .....	(6)
1.1.5 竹材的加工特性 .....	(8)
1.2 竹材人造板的结构与特性 .....	(9)
1.2.1 竹材人造板的结构形式.....	(10)
1.2.2 竹材人造板的结构特性.....	(11)
1.2.3 竹材人造板的使用特性.....	(12)
1.3 竹材人造板的分类.....	(12)
1.3.1 竹材人造板的分类方法.....	(12)
1.3.2 竹材人造板的类型.....	(13)
1.4 竹材人造板的物理力学性能.....	(15)
1.4.1 竹材人造板的物理性能.....	(15)
1.4.2 竹材人造板的力学性能.....	(16)
1.5 竹材人造板的生产过程.....	(18)
<b>第二章 竹材人造板常用胶粘剂与涂料</b> .....	(19)
2.1 常用胶粘剂的类型与选择.....	(19)
2.1.1 常用胶粘剂的类型.....	(19)
2.1.2 对胶粘剂的选择与要求.....	(19)
2.2 常用胶粘剂主要原料的性质.....	(22)
2.2.1 甲 醛.....	(22)
2.2.2 苯 酚.....	(23)
2.2.3 尿 素.....	(23)
2.2.4 三聚氰胺.....	(24)
2.3 酚醛树脂胶粘剂.....	(24)
2.3.1 热固性酚醛树脂的形成、分类与性质.....	(24)
2.3.2 影响酚醛树脂质量的主要因素.....	(26)
2.3.3 热固性酚醛树脂胶粘剂的生产工艺.....	(28)

2.4 脲醛树脂胶粘剂	(31)
2.4.1 脲醛树脂的形成与性质	(31)
2.4.2 影响脲醛树脂质量的主要因素	(32)
2.4.3 脲醛树脂胶粘剂的生产工艺	(34)
2.5 三聚氰胺树脂胶粘剂	(37)
2.5.1 形成原理	(37)
2.5.2 影响三聚氰胺树脂质量的主要因素	(39)
2.5.3 生产工艺实例	(40)
2.6 光敏涂料	(41)
2.6.1 光敏涂料的组成与固化原理	(41)
2.6.2 光敏涂料的特点	(42)
2.6.3 光敏涂料的种类	(42)
2.6.4 光引发剂	(43)
2.6.5 光敏涂料的应用	(44)
<b>第三章 构成单元的制备</b>	<b>(45)</b>
3.1 竹材机械加工的方式与构成单元的形状	(45)
3.1.1 竹材的机械加工方式	(45)
3.1.2 构成单元的形状与相应的加工方式	(47)
3.2 竹篾的制备	(49)
3.2.1 弦向竹篾的加工	(49)
3.2.2 径向竹篾的加工	(51)
3.2.3 丝篾的加工	(52)
3.2.4 几种竹篾在竹材人造板生产应用中的比较	(52)
3.3 竹帘的制备	(54)
3.3.1 竹帘的分类	(55)
3.3.2 单篾帘的制备	(55)
3.3.3 束篾帘的制备	(57)
3.4 竹席的制备	(57)
3.4.1 竹席对竹篾的质量要求	(57)
3.4.2 竹席的编织	(58)
3.5 竹片的制备	(58)
3.5.1 辗平—刨削法制备竹片的工艺	(59)
3.5.2 锯剖—刨削法制备竹片的工艺	(66)
3.6 网状竹束的制备	(67)
3.7 竹碎料的制备	(68)
3.7.1 竹碎料的类型	(68)
3.7.2 竹碎料的原料	(68)
3.7.3 原料的选择与储存	(69)
3.7.4 竹碎料的制备工艺	(69)

3.8 竹单板的制备	(71)
3.8.1 竹材的选材与软化	(71)
3.8.2 竹材的旋切	(71)
3.8.3 竹单板的漂白	(72)
<b>第四章 构成单元的干燥</b>	<b>(74)</b>
4.1 构成单元的终含水率	(74)
4.1.1 构成单元最适宜的终含水率	(74)
4.1.2 构成单元含水率的测定方法	(74)
4.2 构成单元干燥的基本原理	(76)
4.2.1 干燥的基本原理	(76)
4.2.2 干燥的方法	(77)
4.3 构成单元的干燥设备	(81)
4.3.1 对流传热式网苳干燥机	(81)
4.3.2 对流传热式干燥窑	(88)
4.3.3 接触传热式干燥机	(90)
4.3.4 联合加热式干燥机	(92)
4.4 干燥工艺	(94)
4.4.1 机干工艺	(94)
4.4.2 窑干工艺	(95)
4.5 构成单元的干缩与变形	(95)
4.5.1 构成单元的干缩	(96)
4.5.2 构成单元的变形与防止	(96)
<b>第五章 构成单元的施胶</b>	<b>(98)</b>
5.1 胶粘剂的调剂	(98)
5.1.1 胶粘剂的组成	(98)
5.1.2 胶粘剂的调制工艺与设备	(100)
5.2 施胶方法与工艺	(102)
5.2.1 施胶方法的分类	(102)
5.2.2 施胶设备与工艺	(103)
5.3 施胶后的陈化与干燥	(110)
5.3.1 施胶后的陈化	(110)
5.3.2 施胶后的干燥	(111)
5.4 施胶量	(112)
5.4.1 施胶量的计算	(112)
5.4.2 适宜的施胶量	(112)
<b>第六章 竹材人造板的胶合</b>	<b>(114)</b>
6.1 胶合原理	(114)
6.1.1 影响胶合的因素	(114)
6.1.2 胶合理论	(114)



---

6.2	组坯、铺装、预压与预热 .....	(117)
6.2.1	组坯与铺装 .....	(117)
6.2.2	板坯的预压 .....	(119)
6.2.3	板坯的预热 .....	(119)
6.3	竹材人造板的胶合 .....	(120)
6.3.1	胶合方法与热压机理 .....	(120)
6.3.2	干热法胶合工艺 .....	(124)
6.4	热压系统 .....	(129)
6.4.1	热压系统的组成 .....	(129)
6.4.2	热压机 .....	(130)
6.5	板材热压胶合质量的缺陷及其原因 .....	(133)
<b>第七章</b>	<b>竹材人造板的加工与二次加工</b> .....	<b>(134)</b>
7.1	竹材人造板的加工 .....	(134)
7.1.1	裁边 .....	(134)
7.1.2	砂光 .....	(135)
7.2	竹材人造板的二次加工 .....	(136)
7.2.1	二次加工的目的及对基材的要求 .....	(136)
7.2.2	浸渍纸贴面工艺 .....	(137)
7.2.3	光敏涂料的涂饰工艺 .....	(139)
7.2.4	涂膜工艺 .....	(145)
7.2.5	封边工艺 .....	(146)
<b>第八章</b>	<b>各类竹材人造板的工艺特点</b> .....	<b>(147)</b>
8.1	竹材胶合板 .....	(147)
8.1.1	工艺特点 .....	(147)
8.1.2	性能特点 .....	(149)
8.2	竹篾层积材 .....	(150)
8.2.1	工艺特点 .....	(150)
8.2.2	性能与评价 .....	(151)
8.3	竹席胶合板 .....	(152)
8.3.1	分类 .....	(152)
8.3.2	工艺特点 .....	(152)
8.3.3	性能特点 .....	(154)
8.4	竹帘(弦向)胶合板 .....	(155)
8.4.1	生产工艺流程 .....	(156)
8.4.2	工艺特点 .....	(156)
8.4.3	性能与评价 .....	(158)
8.5	重组竹 .....	(159)
8.6	竹碎料板 .....	(161)
8.6.1	概述 .....	(161)



8.6.2 普通竹碎料板 .....	(161)
8.7 竹地板 .....	(163)
8.7.1 结构与分类 .....	(163)
8.7.2 长条竹地板的工艺特点 .....	(164)
8.7.3 方块竹地板(竹青地板)的工艺特点 .....	(166)
8.8 竹材模压制品 .....	(167)
8.8.1 概 述 .....	(167)
8.8.2 竹席瓦楞板 .....	(167)
<b>第九章 各类竹材复合人造板的工艺特点</b> .....	<b>(170)</b>
9.1 竹材复合人造板的分类与特性 .....	(170)
9.2 竹木复合人造板 .....	(171)
9.2.1 单板覆面竹席胶合板 .....	(171)
9.2.2 竹片覆面胶合板 .....	(172)
9.2.3 竹木复合地板 .....	(173)
9.3 覆膜、覆塑竹胶合板 .....	(174)
9.3.1 覆膜竹材胶合板 .....	(174)
9.3.2 覆塑竹帘胶合板 .....	(175)
9.3.3 径向竹篾帘复合板系列产品 .....	(177)
9.4 夹芯结构竹胶合板 .....	(181)
9.4.1 夹芯结构竹胶合板的特点 .....	(181)
9.4.2 夹芯结构竹胶合板的工艺特点 .....	(182)
9.5 空芯结构竹胶合板 .....	(185)
9.5.1 网络结构复合板 .....	(185)
9.5.2 竹木复合空芯板 .....	(187)
9.5.3 竹管空芯复合板 .....	(187)
<b>第十章 胶粘剂与竹材人造板性能的检验</b> .....	<b>(188)</b>
10.1 胶粘剂的检验 .....	(188)
10.1.1 原料的检验 .....	(188)
10.1.2 胶粘剂的检验 .....	(191)
10.2 竹材人造板性能的检验 .....	(200)
10.2.1 表面理化性能的检验 .....	(200)
10.2.2 物理力学性能的检验 .....	(206)
<b>参考文献</b> .....	<b>(210)</b>

# 第一章 竹材与竹材人造板的结构和特性

竹材和木材都是自然生长的有机体，同属于非均质材料和各向异性材料。但竹材径小、中空、壁薄的几何形态，在竹壁厚度上存在着化学成分和物理力学性能差异很大的竹青、竹肉和竹黄三大层的结构特征，使其具有独特的性能。竹材与木材相比，具有强度高、韧性好、刚度大，易纵向剖削等特点。由于竹材的几何形态和结构特征，在材质和材性方面难免存在一些缺陷。例如竹材在纵向、弦向和径向的力学强度和干缩率的差异；竹青、竹黄的难胶合性等等，这些缺陷都影响竹材的应用和使用寿命。

以竹材为主要原料生产的竹材人造板，由于其结构的合理性，大大改变了竹材的形态与结构，改善和提高了竹材的物理力学性能，扩大了竹材的应用领域。竹材人造板的生产是充分合理地利用竹材、改善竹材性能的一个重要方法。

竹材人造板是人造板的一个重要分支，是仅次于木材人造板的系列产品。对竹材人造板进行合理的分类，有利于掌握其生产的基本规律。熟悉竹材人造板的物理力学性能，便于合理的设计产品结构和选择工艺参数，也便于正确使用各类竹材人造板。

## 1.1 竹材的结构与性能

### 1.1.1 竹材的结构

竹材主要是指竹子的竹秆，它是竹子利用价值最大的部分。竹秆是竹子地上茎的主干，竹秆外形多为圆锥体或椭圆锥体。竹秆的长度、径级、竹壁厚度和竹节的数量，依竹子的种类不同，其差异很大。如毛竹竹秆可高达10~20m；胸径多为10~20cm，竹壁厚度在10mm左右，其竹节数量也可达数十个之多。一些小径杂竹，其直径仅1cm左右，秆高2~3m，竹壁厚度仅2~3mm，竹节也只有十几个。

竹秆具有明显的竹节和节间两部分。竹节的节隔把竹秆分隔成空腔，称为髓腔。髓腔周围的壁称为竹壁。在竹秆的节间，竹材的维管束排列互相平行，而在竹节处的维管束呈弯曲走向并且纵横交错而形成节隔。节隔的存在有利于加强竹子生长的直立性能，也有利于水分和养料的横向输导，但对竹材的劈裂性能带来了不良影响。在生产习惯上，常将竹壁厚度的不同组织自外向内称之为竹青、竹肉和竹黄三个部分。在解剖学上则将竹壁分为表皮、皮层、基本组织、维管束和竹腔壁等五个部分。

#### 1.1.1.1 表皮

表皮是竹壁的最外一层细胞，由长形细胞和短形细胞纵向相间排列而成。长形细胞外侧面胞壁特别肥厚，短形细胞又分为硅质细胞和栓质细胞两种，通常互相连接，极少孤立存在。硅质细胞中有硅酸盐结晶，加强了表面的硬度。表皮上亦分布有少数气孔。

### 1.1.1.2 皮层

表皮之内无维管束分布的部分称为皮层。其细胞呈圆柱状，纵向排列，一般为3~7层。皮层幼嫩时常含叶绿体，使竹秆呈现绿色。皮层与内面的基本组织不能截然分开。生产上所称的竹青即为表层与皮层两部分组成，它使竹青组织紧密、质地坚韧、表面光滑和呈现绿色。

### 1.1.1.3 基本组织

基本组织环绕维管束，并充塞于维管束与维管束之间，是构成维管束内外的营养组织。基本组织由薄壁细胞组成，在横切面上呈多角形或椭圆形；在径切面上呈四边形或长方条形。它的细胞壁薄、较柔嫩，故强度不高。

### 1.1.1.4 维管束

维管束为木质纤维、导管、筛管及伴胞等组成。其中主要是木质纤维（机械组织）。木质纤维细胞壁厚、腔窄、纤维狭长（例如毛竹的纤维长度为其直径的7~8倍），因此质地坚韧，是造纸的好原料。

生产上所称的竹肉即由基本组织与维管束组成。在竹材的横切面上，肉眼可以看见的深色斑点，就是维管束，在维管束周围是基本组织。愈近竹青，维管束分布愈密，基本组织愈少，故其质地致密，力学强度较大。愈近竹黄，维管束愈稀、基本组织多，其力学强度也低。竹肉占竹壁厚度的绝大部分，是竹材物理力学性质的主要体现者，同时也是生产竹材人造板可供利用的最好和最多的部分。

### 1.1.1.5 竹腔壁

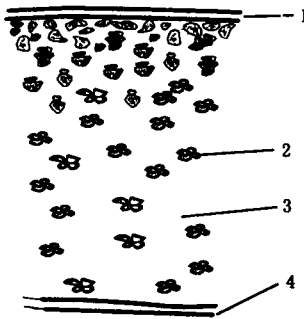


图 1-1 竹材的解剖构造

1. 表皮及皮层 2. 维管束  
3. 基本组织 4. 竹腔壁

竹腔壁是竹壁的最内部分。竹腔壁无维管束分布，它是由数层至数十层高度木质化的石细胞组成，厚度为0.3~1.0mm。石细胞呈短方柱形，大小及形状一致，排列也很整齐紧密、硬度大、质脆，一般呈黄色，故称之为竹黄。竹腔壁内表面光滑，原始髓组织枯死，形成薄膜称之为竹衣（如毛竹等）；也有在形成空心时，尚留有层片状或髓，近似海绵（如慈竹等）。竹黄的物理力学性能比竹青、竹肉都差，较难进行加工利用，特别是竹青、竹黄的润湿性差，难以进行胶合，给竹材人造板的生产造成不利影响。

综上所述，竹材的构造（图 1-1）特点是：竹材为非匀质结构；竹子无形成层，生长期间不能横向增大；竹材无髓心，没有横向的木射线；各类细胞均与竹秆纵向平行排列；竹材维管束分布于基本组织之间，故竹材易于纵向劈裂。

## 1.1.2 竹材的化学性质

竹材是一种多年生天然植物的主干，其化学成分比较复杂。大量的研究表明：纤维素、半纤维素和木质素是形成竹材细胞壁的主要成分，直接参与竹材材质的形成，三者的总量在90%以上；油脂、单宁、色素、果胶、蛋白质、淀粉、糖分、无机物等成分也部分沉积在细胞壁内，但主要存在于细胞腔内。竹材的化学成分见表 1-1。

表 1-1 竹材的化学成分

名称	纤维素	半纤维素	木质素	冷水浸提物	热水浸提物	醇、乙醚浸提物
含量 (%)	(40~60) 50.38	(14~25) 20.86	(16~34) 25.45	(2.5~5.0) 3.92	(5.0~12.5) 7.72	(3.5~5.5) 4.55
名称	醇、苯浸提物	1%NaOH浸提物	蛋白质	脂肪和蜡质	淀粉	还原糖
含量 (%)	(2~9) 5.45	(21~31) 27.26	(1.5~6) 2.55	(2~4) 2.87	(2~60) 3.60	2左右 2.0
名称	氮素	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	其他灰分元素	总灰分
含量 (%)	(0.21~0.26) 0.24	(0.11~0.24) 0.16	(0.5~1.2) 0.82	(0.1~0.5) 0.3	(0.3~1.3) 0.72	(1.0~3.5) 2.04

从表 1-1 可知竹材的化学成分含量(括号内的数值)变动范围较大(括号下为平均值)。这主要是由于竹种、竹龄、产地(立地条件)和竹材部位(高度部位和竹壁部位)的不同而异。从表 1-2 可以看出四川省长宁县的毛竹,由于竹龄和竹壁部位的不同,其主要化学成分含量的变化。

表 1-2 毛竹的主要化学成分 (%)

名称	4 年生		6 年生	
	竹青	竹黄	竹青	竹黄
纤维素	45.62	37.41	43.68	34.79
木质素	32.37	28.08	30.33	26.76
半纤维素、多缩戊糖	22.90	21.90	22.94	21.53

竹材的化学成分是影响竹材材性和加工利用的重要因素。纤维素是竹材顺纹抗拉强度特别高的主要原因;半纤维素和木质素将木纤维细胞胶粘在一起,起着支持纤维素骨架的作用,因而赋予竹材较高的弹性和抗压强度。各种竹子随着竹龄的增加,纤维素、半纤维素的含量逐年减少,木质素的含量逐年增加,一般至 6 年后趋于稳定,因而竹材的物理力学性能也趋于稳定。因此作为竹材人造板原料的竹材,应使用 6 年生左右的竹子较为理想。竹材的浸提物多存在于竹材组织的细胞腔内,也部分沉积在细胞壁和纹孔口上,因而阻碍竹材的渗透性,这对竹材防腐、防霉的浸渍处理过程有一定的影响。此外,竹材的浸提物可以看作是竹材的天然填充剂,常将竹材组织中的空隙填满,因而能减少竹材的干缩或湿胀性,有增强竹材尺寸稳定性的作用。

### 1.1.3 竹材的物理性质

竹材的物理性质包括密度、含水率、干缩性等内容,现简要进行介绍。

#### 1.1.3.1 密度

竹材的密度是指竹材单位体积的质量,用“g/cm<sup>3</sup>”表示之。竹材的密度是一个重要的物理量,据此可估计竹材的重量,并可判断竹材的其他物理力学性能。因此,竹材的密度也与竹材人造板的性能有着密切关系。

竹材的密度有多种表示方法,同一竹材用不同的表示方法,其密度值不同。竹材密度常

用的表示方法有如下两种：

$$\text{气干密度} = \frac{\text{竹材的气干质量}}{\text{竹材的气干材积}} \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$\text{基本密度} = \frac{\text{竹材的绝干质量}}{\text{竹材的生材材积}} \quad (\text{g/cm}^3)$$

竹材的密度大小与竹材化学成分含量的多少一样，是依竹种、竹龄、立地条件和竹秆部位的不同而变化的。

### 1. 密度与竹种的关系

不同竹种的解剖结构和化学成分的含量不同，因而其密度不同。几种主要经济竹种的密度见表 1-3。

表 1-3 主要经济竹种的密度 (g/cm<sup>3</sup>)

竹种	密度	竹种	密度	竹种	密度	竹种	密度
毛竹	0.81	茶秆竹	0.73	硬头黄竹	0.55	凤凰竹	0.51
刚竹	0.83	苦竹	0.64	撑篙竹	0.61	粉单竹	0.50
淡竹	0.66	车筒竹	0.50	青皮竹	0.75	麻竹	0.65
慈竹	0.46						

从表 1-3 可知，主要经济竹种的密度在 0.46~0.83 g/cm<sup>3</sup> 的范围，最大密度与最小密度之差达 0.37 g/cm<sup>3</sup>。一般来说密度大的竹种，其材质硬度大、强度高，而密度小的竹种，其材质的塑性和柔软性比较好。在竹材的加工利用和竹材人造板的生产中，可以按照产品的用途与性能要求，根据竹材的密度来选择适合的竹种。

### 2. 密度与竹龄的关系

竹子由于没有形成层，从幼龄竹到老龄竹的生长过程中，没有明显的体积增长，但是竹材的细胞壁及其结构随着竹龄的增加，木质化程度提高，内含物增加，因而密度加大。到老龄竹阶段，竹子生命力衰退，由于呼吸的消耗和物质的转移，竹材密度呈下降趋势（表 1-4）。

表 1-4 竹材基本密度与竹龄的关系 (g/cm<sup>3</sup>)

竹种	竹龄年	密度									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
淡竹		0.486	0.491	0.554	0.508	0.610	0.636	0.629			
毛竹		0.452	0.558	0.608	0.626	0.615	0.630	0.624	0.657	0.610	0.606
贵州毛竹		0.542		0.583		0.620		0.641		0.630	
宜兴毛竹		0.529		0.596		0.627		0.626		0.600	

### 3. 密度与立地条件的关系

一般来说，同一竹种在气候温暖多湿，土壤深厚肥沃的条件下，竹子生长好，竹秆粗大，但竹秆组织较疏松，密度较小；反之则密度较大。

### 4. 密度与竹秆部位的关系

就同一种竹秆而言，从竹秆基部到梢部，其密度呈逐渐增加的趋势。这是因为竹材从基部开始秆径和竹壁厚度逐渐减小，但竹秆中维管束的总数没有减少，故维管束的密集度相应增加，从而使竹材的密度加大。同理在竹壁的横断面上，维管束的密集度从外侧到内侧逐渐

减少,故靠近竹青侧的密度大,靠近竹黄侧的密度小。可见竹秆的密度与维管束数量的多少直接相关。

图 1-2 是毛竹密度与竹秆部位的关系曲线。1~9 表示同一竹秆不同高度部位的密度。例如 1 为根部以上 1~2m 的密度曲线;2 为根部以上 2~3m 的密度曲线,其余依此类推。

### 1.1.3.2 含水率

竹材中所含水分的数量,通常以含水率表示。含水率有两种表示方法,一种是绝对含水率,另一种是相对含水率。它们的计算公式分别如下:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_c} \times 100\%$$

$$W_1 = \frac{m_1 - m_0}{m_1} \times 100\%$$

式中:  $W$ ——绝对含水率(%) ;

$W_1$ ——相对含水率(%) ;

$m_1$ ——含水率测定时的试样质量(g) ;

$m_0$ ——绝干试样质量(g)。

在木材科学和工业生产中,一般都使用绝对含水率。新鲜竹材的含水率与竹龄、部位和采伐季节等有密切关系。一般来说,含水率随竹龄的增加而减少。在同一竹秆中,基部的含水率比梢部的含水率高,即竹秆从基部至梢部,其含水率呈逐渐降低的趋势(表 1-5)。

表 1-5 新鲜毛竹竹秆不同高度的含水率

竹秆上的高度	0/10	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10
竹材含水率(%)	97.10	77.78	74.22	70.52	66.02	61.52	56.58	52.81	48.84	45.74

在同一竹秆、同一高度的竹壁厚度方向上,从竹壁外侧(竹青)到竹壁内侧(竹黄),其含水率逐渐增加。例如新鲜毛竹的竹青、竹肉和竹黄的含水率分别为 36.74%、102.83%和 105.35%。

此外,新鲜竹材的含水率还与采伐季节有关。夏季采伐的竹材含水率最高,冬季采伐的竹材含水率最低。新鲜竹材的含水率一般在 70%以上,最高可达 140%,平均约为 80%~100%。

### 1.1.3.3 干缩性

竹材和木材一样,当含水率高时,在空气中或在强制干燥的条件下,竹材内部的水分就会不断蒸发而导致竹材几何尺寸的缩小,称之为干缩。竹材水分的蒸发速度在不同的切面有很大的差别。以毛竹为例,当水分蒸发速度最大的横切面设定为 100%时,则弦切面、径切面、竹黄面、竹青面依次分别为 35%、34%、32%、28%。据此可知,为了提高竹材的干燥速度,应先将竹青、竹黄剔除后再进行人工干燥。竹材干缩通常比木材小,但同样存在不同方向的干缩率差异。这是因为竹材的干缩率主要是竹材维管束中的导管失水后产生干缩所致,而竹材中维管束的分布疏密不一,分布密的部位,干缩率就大;分布疏的部位,干缩率就小。

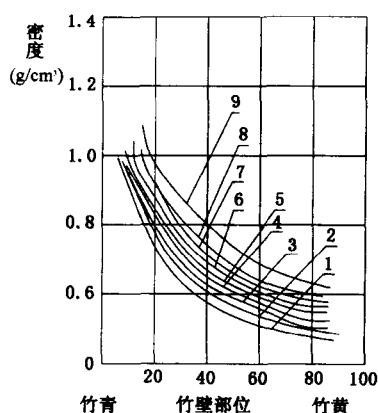


图 1-2 同一竹秆不同高度部位的竹间密度曲线图

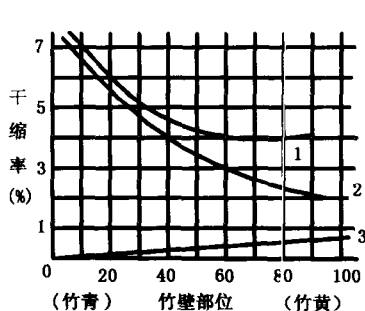


图 1-3 竹材(节间)干缩率与部位的关系

1. 弦向 2. 径向 3. 纵向

竹材的结构特点决定了竹材的干缩率具有如下特征(图 1-3)。

#### 1. 各个方向的干缩率顺序

弦向最大, 径向(壁厚方向)次之, 纵向(高度方向)最小。

#### 2. 各个部位的干缩率顺序

弦向和径向干缩率顺序都是竹青最大, 竹肉次之, 竹黄最小; 纵向干缩率顺序是竹黄最大、竹肉次之、竹青最小。

#### 3. 竹龄对干缩率的影响

竹龄愈小, 弦向和径向的干缩率愈大, 随着竹龄的增加, 弦向和径向的干缩率逐步减少。纵向干缩率与竹龄无关, 平均为 0.1% 左右。

#### 4. 竹种不同, 竹材的干缩率也不同, 并且干缩率差异较大

由于竹材的弦向干缩率最大, 加之竹壁外侧(竹青)比内侧(竹黄)的弦向干缩率又大, 因此, 原竹在运输、储存期间, 常常由于自然干燥, 特别是阳光暴晒而产生应力, 使竹秆开裂而影响使用。

#### 1.1.3.4 吸水性

竹材的吸水性与水分蒸发是两个相反的过程。干燥的竹材吸水能力很强, 其吸水速度与竹材长度成反比(即竹材越长, 吸水速度越小), 但与竹材的横断面大小关系不大。这说明竹材的吸水和干燥一样, 主要是通过其横切面进行的。竹材吸收水分后, 各个方向的尺寸和竹材体积都会增大, 强度下降。利用竹材的吸水性, 可以对竹材进行蒸煮软化和防霉、防虫处理。

### 1.1.4 竹材的力学性质

竹材的力学性质是指竹材抵抗外力作用的性能。包括抗拉强度、抗压强度、静曲强度和抗剪、硬度、抗冲击性能等。

竹材的抗拉强度约为木材的 2 倍, 抗压强度比木材约高 10% 左右。钢材的抗拉强度虽为竹材的 2.5~3.0 倍, 但钢材的密度为竹材的 10 倍左右, 因此, 竹材的比强度为钢材比强度的 3~4 倍。此外竹材还具有很好的弹性和较好的柔软性。竹材与木材、钢材的强度比较见表 1-6。

竹材力学性质与其含水率、竹秆部位、竹龄、立地条件和竹种等密切相关, 且差异较大。

#### 1.1.4.1 含水率

竹材和木材一样, 在纤维饱和点以下时, 其强度随含水率的增加而降低; 在纤维饱和点以上时, 含水率增加, 则强度变化不大。当竹材处于绝干状态时, 因质地变脆而强度下降。

#### 1.1.4.2 竹秆部位

竹材的强度是由竹材自身的解剖结构决定的。我们知道竹材主要由具有厚壁细胞的维管束和薄壁细胞组成的基本组织所构成, 所以维管束的多少及其分布是影响竹材强度的主要因素。由于在竹材的高度方向, 维管束密集度由下而上逐渐增大; 在竹壁厚度方向, 维管束密集度由外而内逐渐减小。所以, 在同一竹秆上, 上部比下部的力学强度大; 竹壁外侧比内侧的力学强度大。



表 1-6 竹材、木材、钢材的强度比较

种类	抗拉强度 (MPa)		抗压强度 (MPa)		取样地点
	强度	平均	强度	平均	
竹材	毛竹	194.8		64.0	湖南省石门县
	刚竹	283.3	208.2	54.0	
	淡竹	182.1		35.9	
	麻竹	195.1		41.1	
木材	杉木	77.2		40.6	湖南省江华瑶族自治县 长白山区
	红松	98.1	107.3	32.8	
	麻栎	143.2		57.7	
	樟木	110.8		46.5	
钢材	软钢	378~425			
	半软钢	440~500	517~556		
	半硬钢	520~600	以上		
	硬钢	>730			

竹材节间的维管束互相平行，而节部的维管束分布呈弯曲交错状态，因此节间的抗拉强度比节部高 25% 左右，但对抗压强度的影响不大。表 1-7 是毛竹竹秆各部位与强度的关系。表 1-8 是竹壁厚度上各部位的力学强度。

表 1-7 毛竹竹秆各部位与强度的关系

项目	竹 秆 高 度 (m)							平均	
	1	2	3	4	5	6	7		
顺纹抗拉强度 (MPa)	121.9	141.0	160.8	160.4	161.0	163.3	162.9	153.1	
	151.8	183.6	186.7	194.3	200.8	207.0	212.6	190.9	
顺纹抗压强度 (MPa)	62.2	64.6	65.2	65.8	66.5	68.9	70.8	66.3	
	58.5	61.4	67.1	65.5	67.2	67.8	68.4	65.1	
静曲强度 (MPa)	134.8	144.0	145.9	150.0	156.5	166.5	165.7	152.0	
	133.4	141.6	146.2	146.8	154.6	155.7	163.5	148.9	
顺纹抗剪强度 (MPa)	18.1	18.2	19.0	19.2	20.5	20.3	22.5	19.7	
	16.1	17.0	18.5	18.6	19.1	19.1	19.9	18.3	
弹性模量 (MPa)	顺纹抗拉	10787.3	11473.8	11964.1	12944.8	13337.0	14219.6	14219.6	12650.6
		9806.7	10395.1	11081.5	11571.9	11964.1	12258.3	12356.4	11375.7
	顺纹抗压	5295.6	6374.3	6766.6	7256.9	7943.4			6766.6
		5295.6	6178.2	6570.5	6864.6	7060.8			6374.3
	静弯曲	10493.1	11571.9	11768.0	11964.1	12356.4	12944.8	13533.2	1262.2
		10100.9	10885.4	11473.8	11669.9	11571.9	12258.3	12864.7	11571.9

注：每栏上列数据为有节部位强度，下列数据为节间部位的强度。

表 1-8 竹壁高度上各部位的力学强度

强度	竹材部位	外侧	中层	内侧
	抗拉强度 (MPa)		424.0	223.2
抗拉弹性模量 (Mpa)		23210	10888	6241

## 1.1.4.3 竹 龄

竹子在生长期,随着竹龄的增加,其木质化程度逐步提高,这无疑将增加竹材的强度,所以竹龄与竹材强度关系密切。竹材的强度对竹材的加工利用至关重要,故采伐时必须选择好适合的竹龄。一般2年以下的幼竹强度较低,其后力学强度逐年提高,5~8年生竹材的力学强度稳定在较高水平,9~10年及以上竹龄的竹材,由于纤维老化发脆,力学强度会有所降低。毛竹竹龄对力学强度的影响见表1-9。不同竹种、不同地区的竹材其力学强度与竹龄的关系虽有一些差异,但基本趋势是一致的。

表 1-9 毛竹竹龄对力学强度的影响

强度 (MPa)	竹龄 (年)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
抗拉强度	132.65	171.27	195.56	182.43	180.75	177.03	188.56	21.63	181.59	181.90
抗压强度	43.07	9.41	64.08	68.12	68.18	68.12	66.11	74.00	63.60	61.43

## 1.1.4.4 立地条件

竹株立地条件好,竹子生长快,竹材组织疏松,故力学强度较低;反之在立地条件差的条件下,竹子生长缓慢,竹材组织紧密,其力学强度也高。不同立地等级的毛竹力学强度见表1-10。

表 1-10 不同立地条件下的毛竹力学强度

立地等级	竹材平均胸径	顺纹压缩强度	顺纹拉伸强度
	(cm)	(MPa)	(MPa)
1	12.5	63.00	180.76
2	10.5	66.04	184.69
3	9.8	64.50	185.03
4	8.1	67.12	198.86

## 1.1.4.5 竹 种

不同竹种,其内部结构不同,因此在力学性能上也必然会有差异。不同竹种的竹材力学强度差异见表1-11。

表 1-11 不同竹种的竹材力学强度 (MPa)

强度	竹种				
	毛竹	慈竹	麻竹	淡竹	刚竹
抗拉强度	188.77	227.55	199.10	185.89	289.13
静曲强度	163.90			213.36	194.08

## 1.1.5 竹材的加工特性

竹材与木材相比,在结构与形态、化学成分和物理力学性能上都有很大的差异,这些差异给竹材加工带来了一定难度,并导致了有别于加工木材的方式与特点。

(1) 竹材径小、中空、壁薄和尖削度大的几何形态,增加了对其进行加工利用的难度,不但局限了加工方法,并且也大大降低了竹材加工利用率。与木材相比,竹材的直径比较小。一般工业生产中使用的木材直径有数十厘米,而竹材直径小的只有1~2cm,大的一般也不过十