



木材应用基础

「日」渡辺治人 著
张勤丽 张齐生 张彬渊 译

木材应用基础

〔日〕渡边治人 著

张勤丽 张齐生 张彬渊 译

上海科学技术出版社

木材应用基础

〔日〕渡边治人 著

张勤丽 张齐生 张彬洲 译

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海东方印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 15.75 字数 413,000

1986年7月第1版 1986年7月第1次印刷

印数 1—1,900

统一书号: 15119·2452 定价: 3.45元

译者的话

木材是一种组织构造极其复杂的生物材料。树木在生长过程中,也就是木材在形成过程中又受到各种外界条件的影响,这些内在和外加因子使木材的物理及力学性质极其错综复杂。本书系著者综合了国内外很多学者的研究成果写成,深入地阐述了木材的组织构造及其与物理、力学性质之间的关系,各种性质的表现形态、相互关系、计算公式及测定方法等,内容深而广,理论性强,对于从事有关木材、木制品及人造板的研究、教学和生产的科技人员,是一本极有价值的参考书,所以我们译了出来。

全书共五章,第一至三章主要叙述木材的形成、木材的化学成分及木材的组织构造,第四章叙述木材的物理性质,第五章叙述木材的力学性质。

本书第一、二、三章由张彬渊同志翻译,第四章由张齐生同志翻译,第五章由张勤丽同志翻译,全书由张勤丽同志校核。译稿承南京林业大学张景良、陆彦直、尹思慈、阮锡根、邹经文等同志帮助校阅,在此表示感谢。

由于译者水平所限,译文难免有错误和不当之处,敬请读者指正。

译者 1984年12月

前 言

木材是立木生长时增生的木质部细胞的集团。因此，在木材上鲜明地刻着生命、生长和生活的历史。譬如年轮，木材的缺陷——未成熟材、应力材、节子、生长应力、应变或者木材的各向异性、不均一性都无一不是树木长期生长的记录。其中不论哪一种，对于既继承了先天的因子又受到后天因子影响而不断生长的树木来说，似乎可以说都曾经起到过必不可少的作用。当然，这样的木材形成的经历与木材的成份和组织构造，以及木材的各种物理及力学性质都有着明显的因果关系。因此对于从事抚育林木及木材利用的人们来说，很好了解树木在生长时期形成木材的过程，掌握作为一种生物材料的木材的复杂的本质是极为重要的。并且，也只有这样，在理解并解决了有关木材的各种问题之后，才能制定出基本的方针。

多年来著者主要在九州大学，其后在东京农业大学从事有关木材的组织构造和物理性质的研究和教学工作。在此期间积累了大量的资料。本书就是参考了这些资料而写成的，共分木材的形成、化学成分、组织构造、物理性质、力学性质等五章，阐述各部分的理论基础及研究动态。但是由于著者水平有限，本书在全盘的统一、各部分的表达方面恐怕还存在不少不妥之处，尽管如此，只要本书能为学习木材、从事木材研究、利用以及抚育森林的人们起到一些参考作用的话，那我将感到无比的高兴。

在此，首先向本书中引用或参考了的专业书、论文、图表的各位著者表示深厚的敬意和谢意。另外，本书的出版承蒙农林省林业试验场场长上村武博士为首的、从专业上给予支援和帮助的农林省林业试验场木材部、九州大学农学部木材理学研究室以及东京农业大学木材工学研究室的各位同仁志士为之尽力，对他们的深

情厚意表示衷心的感谢。

最后，向承担本书出版的农林出版株式会社の猪瀬寅三氏的好意表示衷心的感谢。

渡辺治人

1978 年 1 月

目 录

第一章 木材的形成	1
第一节 树木	1
(一)树木的出现	1
(二)树木的生长	2
1. 初生长(高生长)(2) 2. 次生长(径生长)(5)	
第二节 树干的形成	6
(一)树干的层次构造	6
(二)形成层	8
1. 形成层的构造(8) 2. 形成层原始细胞的分生和木质部细胞的形成(10) 3. 形成层的活性化(13) 4. 新生细胞的大小和细胞壁的增厚(15)	
(三)木质部的形成	16
1. 未成熟材、成熟材、过熟材的形成(17) 2. 边材、中间材、心材的形成(18) 3. 应力木的形成(20)	
(四)韧皮部的形成	21
(五)树干内的生长应力	24
第三节 木质部细胞的细胞壁	27
(一)木质部细胞壁的层次构造和构成物质	27
(二)细胞壁的形成	28
1. 形成层的细胞分裂(29) 2. 不断发展的木质部细胞壁的表面生长(29) 3. 不断发展的木质部细胞壁的加厚生长(30) 4. 细胞壁的木质化(32)	
(三)木质部细胞间的连接	34
1. 纹孔的形成(34) 2. 纹孔的构造(37) 3. 纹孔的细分和纹孔排列的大致区分(38)	
 第二章 木材的化学成分	41
第一节 木材的组成	41

(一)木材的元素组成	41
(二)木材的化学组成	41
1. 木材的组成分析(48) 2. 针叶材和阔叶材的比较(49) 3. 热带材和温带材的比较(51)	

第二节 木材的成分.....53

(一)纤维素	58
1. 从木材中分离纤维素(53) 2. 纤维素和葡萄糖的关系(53)	
3. 纤维素的化学结构(54) 4. 纤维素的性质(55)	
(二)半纤维素及其它高聚糖	56
1. 全纤维素 (56) 2. 从木材中分离半纤维素(56) 3. 半纤维素中的糖单元(57) 4. 半纤维素的性质(59) 5. 木材内存在的半纤维素以外的高聚糖(59)	
(三)木素	60
1. 从木材中分离木素(60) 2. 木素的化学结构(61) 3. 木素的性质(63)	
(四)浸提成分	63
1. 能用中性有机溶剂或冷水浸提的次要成分(64) 2. 不能用中性有机溶剂或冷水浸提的次要成分(66)	

第三节 树干木质部组织内主要成分的形成.....67

(一)树干木质部组织内主要成分的形成	67
(二)树干木质部组织内的多糖类和木素的分布	69

第三章 木材的组织构造.....74

第一节 木材的形态构造(粗视构造).....74

(一)髓、木射线、生长轮	74
1. 髓心(74) 2. 木射线(74) 3. 生长轮、年轮(75)	
(二)边材、中间材、心材	76
(三)木纹、花纹、肌理、波痕	78
1. 木纹(78) 2. 花纹(80) 3. 肌理(80) 4. 波痕(81)	

第二节 木材的解剖构造(在光学显微镜下的构造).....81

(一)针叶树	81
1. 管胞(82) 2. 轴向薄壁组织(87) 3. 木射线(89) 4. 胞间	

道, 胞间腔(91)	
(二)阔叶材	92
1. 导管(93) 2. 管胞(101) 3. 木纤维(102) 4. 轴向薄壁组织(103) 5. 异细胞和异常组织(106) 6. 木射线(107) 7. 胞间道(110)	
第三节 木材的超微构造(超光学显微镜构造)	111
(一)概述	111
(二)木材细胞壁的纤维素骨架	112
1. 纤维素骨架的形态单元(112) 2. 纤维素骨架的结晶度(117) 3. 胶束的大小和定向(119) 4. 细胞壁的骨架构成(120)	
(三)木材细胞壁的半纤维素——缔结物质	127
(四)木材细胞壁的木素皮壳	128
第四节 木材构造的缺陷	129
(一)采伐前产生的缺陷	129
1. 未成熟材(129) 2. 节子(130) 3. 应力木(131) 4. 压缩破坏(135) 5. 脆性(136) 6. 脆心(136) 7. 斜纹(137) 8. 开裂(137) 9. 霜害缺陷(139) 10. 树脂缺陷(139) 11. 夹皮(140) 12. 矿物质条纹(140) 13. 白斑(140) 14. 蛇形虫道(141)	
(二)采伐后产生的缺陷	141
1. 碰伤、搭钩伤痕(141) 2. 干裂(141) 3. 溃陷(142) 4. 表面硬化(143) 5. 翘曲(144) 6. 倒纹理(146) 7. 缺棱(146) 8. 化学变色(146) 9. 风化(146)	
(三)其它生物类引起的缺陷	147
1. 由菌类引起的缺陷(147) 2. 由昆虫引起的缺陷(152) 3. 由海生钻木动物造成的缺陷(154)	
第四章 木材的物理性质	156
第一节 木材的重量	156
(一)木材的密度和比重	156
(二)木材实质的密度	158
(三)木材的空隙率和实质率	159
(四)木材密度与含水率的关系	161
(五)树干内木材密度的差异	163

(六)早材和晚材的密度以及木材密度和生长度的关系	164
第二节 木材和水分	167
(一)木材的水分吸着	167
(二)木材的平衡含水率,纤维饱和点,最大含水率	172
(三)木材的水分吸着滞后	176
第三节 木材的湿胀和干缩	178
(一)水分引起的木材的湿胀干缩	178
1. 木材湿胀干缩的各向异性(183) 2. 木材的化学成分和湿胀(185) 3. 微纤丝倾角和应力对木材湿胀干缩的影响(187) 4. 木材的密度和湿胀干缩(190) 5. 木材的湿胀干缩各向异性的原因(192) 6. 木材的湿胀速度(194) 7. 结合(吸着)水的容积缩小(195) 8. 湿润热(湿胀热)(196) 9. 湿胀压(200) 10. 自由能和熵(202)	
(二)由水溶液和有机溶液引起的湿胀	204
1. 选择吸着(204) 2. 溶质的移动(205) 3. 由水溶液和有机溶液引起的湿胀(205)	
第四节 水分在木材内的移动	207
(一)水分在木材内移动的通道	207
(二)木材内水分移动的原因	209
1. 依靠毛细管张力的毛细管水的移动(209) 2. 靠扩散而进行的水蒸汽的移动(211) 3. 靠表面扩散进行的结合水的移动(212)	
(三)干燥时针叶材内水分的移动	215
1. 纤维饱和点以上的水分的移动(215) 2. 纤维饱和点以下的水分的移动(218) 3. 木材内的水分的理论扩散率(219)	
第五节 加压注入时木材内流体的移动	223
(一)木材的渗透性	223
(二)外压对针叶材内液体渗透的影响	226
1. 空气和液体界面不成弯液面的情况下(226) 2. 在空气和液体的界面呈弯液面的情况下(228)	
(三)被加压注入针叶材内的液体的流动	229
(四)向针叶材内注入液体所需的压力和时间	231

1. 注入的压力(231) 2. 注入时间(232)	
(五)通过木材内的液体的容积流量随时间的变化	234
第六节 溶质在木材内的扩散	235
(一)溶质向被极性溶剂饱和了的针叶材内的扩散	235
(二)溶质向被无极性溶剂饱和了的针叶材内的扩散	238
(三)药液在木材内的渗透深度	238
第七节 木材的热学性质	239
(一)木材的热膨胀和热收缩	239
(二)木材的热容量和比热	245
(三)稳定状态下木材的导热系数	248
(四)木材的传热	254
(五)导热时木材内的水分的分布	255
(六)木材的导温系数(加热材内部的温度变化)	256
(七)木材内热的传导	257
(八)木材的热辐射的性质	261
(九)加热后木材性质的变化	262
1. 空气加热(262) 2. 蒸汽加热(263)	
第八节 木材对于振动和声音的性质	263
(一)木材的共振	263
1. 木材的纵向共振(265) 2. 木材的横向共振(266) 3. 木材的扭转共振(267)	
(二)利用木材振动的非破坏性试验	267
(三)木材内的声速	267
(四)木材的声的损耗衰减(由于内摩擦而产生的衰减)	270
(五)木材声波的辐射衰减	272
(六)木材的声阻	273
(七)木材的空间声学性质	275
1. 声的透射(275) 2. 声的吸收(277) 3. 混响(279)	
第九节 木材对光、γ射线、X射线的性质	279
(一)木材对光的性质	279
1. 木材的颜色(279) 2. 木材的光泽(281) 3. 木材的荧光现象(281) 4. 木材的余辉现象(281) 5. 木材的磷光现象(282) 6. 木材的双折射(282)	

(二) γ 射线(γ -ray)的照射对木材的影响	283
(三)木材对 X 射线的性质	284
第十节 木材的电学和磁学性质	290
(一)木材的导电性能	290
1. 电阻率和电导率(290) 2. 木材的电导机理(291)	
(二)木材对直流电的性质	294
1. 含水率对木材的直流电导的影响(294) 2. 温度对木材的直流电导的影响(297) 3. 密度和纤维走向对木材的直流电导的影响(298) 4. 木材的直流电导电性对时间的依存性(299) 5. 木材的直流电导对电压的依存性(300) 6. 压缩力对木材的直流电导的影响(301) 7. 木材的压电效应和热电效应(301) 8. 木材的驻极体效应(303) 9. 木材界面的动电性质(304)	
(三)木材对交流电的性质	305
1. 低频交流电和木材(305) 2. 木材的介电常数(306) 3. 含水率对木材介电常数的影响(308) 4. 频率和温度对木材介电常数的影响(309) 5. 密度、灰份含量和纤维走向对木材介电常数的影响(311) 6. 木材的电介质极化和松弛现象(312) 7. 木材的电介质功率因数(314) 8. 木材的高频电阻率(318) 9. 木材的高频电加热(321)	
(四)木材和木材成份对磁的性质	323
第十一节 木材的表面性质	324
(一)木材的表面结构	324
(二)木材的摩擦	325
1. 摩擦系数(325) 2. 摩擦的机理(326) 3. 木材和钢之间的摩擦(327) 4. 木材和木材之间的摩擦(331)	
(三)木材表面的浸润	332

第五章 木材的力学性质335

第一节 应力和应变335

(一)应力和应变的种类	335
(二)弹性和塑性	338
(三)应力-应变图	338
(四)弹性模量	340

(五)应力集中	341
(六)静粘弹性	342
1. 粘弹性的概念(342) 2. 线性粘弹性的力学模型(344)	
(七)动粘弹性	348
1. 沃伊特元素(350) 2. 麦克斯韦元素(354)	
第二节 木材的弹性	356
(一)概论	356
(二)正交各向异性物体的弹性	357
(三)静态试验	363
(四)动力试验	366
1. 木材的纵向振动试验(367) 2. 木材的横向振动试验(368)	
3. 木材的扭转振动试验(369) 4. 端部加载的悬臂梁的横向(弯曲)振动(371)	
5. 横向振动动力试验举例(371) 6. 木材的各向异性的性质对横向振动的影响(372)	
(五)影响木材弹性的主要因子	373
1. 纤维走向(373) 2. 密度(比重)(374) 3. 含水率(376)	
4. 温度(379) 5. 化学成分和细胞壁构造(381) 6. 节子和枯木(382)	
7. 频率对动杨氏模量的影响(382) 8. 加载速度和持续载荷(382)	
第三节 木材的粘弹性	383
(一)木材的粘弹性的特点	383
1. 弹性滞后(383) 2. 蠕变和应力松弛(384) 3. 时间-应变图(386)	
4. 线性粘弹性(387) 5. 迭加原理(387)	
(二)木材的粘弹性的表现	388
1. 低应力级的木材的粘弹性表现的函数型(389) 2. 高应力级的木材的粘弹性表现的流变模型(391)	
3. 持续载荷和破坏机理的关系(392)	
(三)影响木材的粘弹性表现的主要因子	396
1. 温度(396) 2. 含水率(398)	
第四节 木材的静态强度	401
(一)抗拉强度	401
1. 纤维素分子和木材单纤维的抗拉强度和断裂长度(401) 2. 纵向抗拉强度(405)	
3. 横向抗拉强度(405) 4. 纵向拉伸破坏	

型式(406)	
(二)抗压强度(短柱的压缩)	407
1. 概论(407)	
2. 纵向抗压强度(407)	
3. 横向抗压强度(410)	
4. 部分抗压强度(412)	
(三)屈曲强度	414
(四)抗弯强度(弯折模量)	416
1. 概论(416)	
2. 弯曲试验(419)	
3. 弯曲破坏型式(422)	
(五)扭转强度	423
(六)抗剪强度	426
(七)劈裂强度(劈裂阻力)	426
第五节 木材的动态强度	428
(一)概论	428
(二)冲击强度	429
第六节 木材的硬度	433
第七节 木材的耐磨性	435
第八节 木材的疲劳强度和蠕变极限	436
(一)疲劳强度	436
(二)蠕变极限	440
第九节 影响木材强度和硬度的主要因子	442
(一)纤维走向	442
(二)密度(比重)	446
(三)含水率	454
(四)温度	460
(五)其他因子	468
1. 树种(468)	
2. 晚材率(468)	
3. 年轮宽度(469)	
4. 心边材(470)	
5. 在树木内的部位(470)	
6. 化学成分(471)	
7. 木材的组织构造(473)	
8. 木材构造上的缺陷(474)	
9. 试件的形状、尺寸(479)	
10. 加载或变形的速度(482)	
11. 热处理(483)	
第十节 结构用木材	485
(一)木材的许用应力	485
(二)根据木材的杨氏模量来推算抗弯强度	487

第一章 木材的形成

第一节 树 木

(一) 树木的出现

凡是生产木材的植物都是木本植物(woody plant), 木本植物属于蕨类植物(Pteridophyta)和种子植物(Spermatophyta)。蕨类植物不生产商品木材。种子植物分裸子植物(Gymnospermae)和被子植物(Angiospermae), 生产商品木材的树木只限于裸子植物和被子植物。裸子植物被分成苏铁目(Cycadales), 银杏目(Ginkgoales), 松柏植物目(Coniferales), 买麻藤目(Gnetales)。苏铁目的杆茎不能做商品木材。买麻藤目兼有裸子植物和被子植物的特征, 其化学性质接近于被子植物, 但通常属于裸子植物。一般情况下, 针叶材(coniferous wood, softwood)是由属于银杏目和松柏植物目的针叶树生产的。被子植物分单子叶植物类(Monocotyledons)、双子叶植物类(Dicotyledons)。通常, 阔叶材(dicotyledonous wood, hardwood)是由属于双子叶植物的阔叶树生产的。

在地球上, 裸子植物出现于2~3亿年前的古生代(Palaeozoic era)(图1-1)。从古生代的二迭纪(Permian period)开始出现苏铁目、银杏目、松柏植物目, 苏铁目和银杏目在中生代(Mesozoic era)的侏罗纪(Jurassic period)曾广为繁殖非常茂盛。松柏植物有高大的树干, 在中生代时非常茂盛, 形成了大森林。现在生产木材的针叶树属于松柏植物目, 它是新生代(Cainozoic era)第三纪(Tertiary period)褐煤的主体。被子植物的出现比裸子植物晚1~2亿年, 开始出现于距今约1亿年前中生代的侏罗纪。包括很多种阔叶树的双子叶植物, 到中生代的白垩纪(Cretaceous period)

				裸子植物						被子植物
				种子蕨目	可达铁目	银杏目	苏铁目	本内苏铁目	松柏植物目	
新生代 Cainozoic	第四纪 Quaternary		冲积期							
			洪积期							
	第三纪 Tertiary	上第三纪	上新期							
			中新期							
		下第三纪	渐新期							
			始新期							
			古新期							
中生代 Mesozoic	白垩纪 Cretaceous	上白垩纪								
		下白垩纪								
	侏罗纪 Jurassic			?	?					
	三叠纪 Triassic									?
古生代 Paleozoic	二叠纪 Permian	白云石								
		下二叠统(世)								
	石炭纪 Carboniferous									
	泥盆纪 Devonian			?	?					
	志留纪 Silurian									
	奥陶纪 Ordovician									
	寒武纪 Cambrian									

图 1-1 地球上树木出现的时代

才茂盛起来。买麻藤目在其后的新生代第三纪才出现。

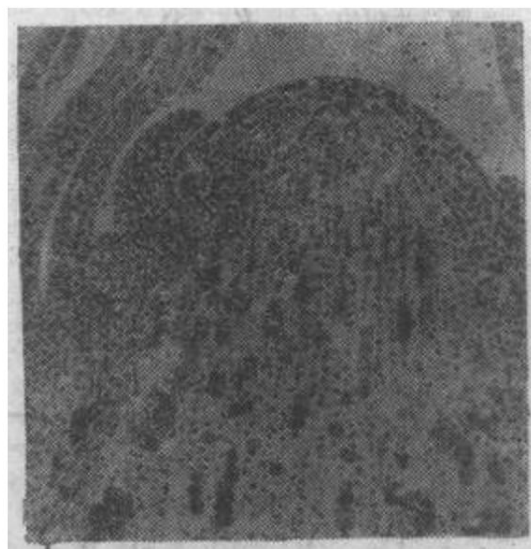
(二) 树木的生长(growth)

1. 初生长(primary growth, 高生长)

在树木的芽上有称生长点(growing point)的顶端分生组织(apical meristem)(图 1-2)。构成该组织的是一种很小的大体上为等边形的细胞,具有强裂的分生能力。细胞壁薄而柔软,借细胞质的膨压(turgor pressure)而保持刚性。生长点的这种组织称谓原分生组织(primordial meristem),它分为外部的表皮原

(dermatogen), 中间部分的皮层原(periblem)和内部的中柱原(plerom)(图 1-3 a-a)。由生长点的细胞分裂而产生的细胞, 进一步分裂, 增加细胞数目, 此外, 已形成的细胞本身也伸长, 芽也逐渐伸长。

随着芽的伸长, 生长点的下部开始发生变化, 细胞的形状和大小产生明显的差别。该部分称为初生分生组织(primary meristem), 由原表皮层(proto-derm)、原形成层(procambium)和初生基本组织(primary



不断分化成形成层的组织

图 1-2 松木生长点纵剖面

fundamental tissue)构成(图 1-3 b-b)。这些组织的细胞是由原分生组织直接变化而产生的, 分裂很强烈。最外部的原表皮层是由表皮原变成的。其内部都是顺着原分生组织纵向排列的细胞群, 细胞内出现倾斜的隔膜而逐渐分裂, 进行滑移生长(sliding growth), 在纵剖面上伸长, 而且两端稍稍变尖, 在横剖面上形成比周围细胞小得多的富有原生质的细胞群, 称为原形成层, 在树木中, 形成孤立的束, 在初生基本组织内为纵向的细线条, 呈环状分布。除了原表皮层和原形成层部分, 初生基本组织中进行纵横分裂而形成原分生组织的细胞, 不伸长, 形体比原表皮层和原形成层的细胞大, 因为细胞间通常存在间隙, 所以能区别于其它组织。

再经过一段时间, 初生分生组织转变为初生永久组织(primary permanent tissue)。该部分由表皮(epidermis)、维管束(vascular bundle)和基本组织(fundamental tissue)组成(图 1-3 c-c)。其中, 维管束由初生韧皮部(primary phloem)、初形成层(primary cambium)和初生木质部(primary xylem)三部分组成, 基本组织由初生皮层(primary cortex)和中柱(central cylinder, stele)两部分构成。中柱在茎的中央部分, 维管束通过