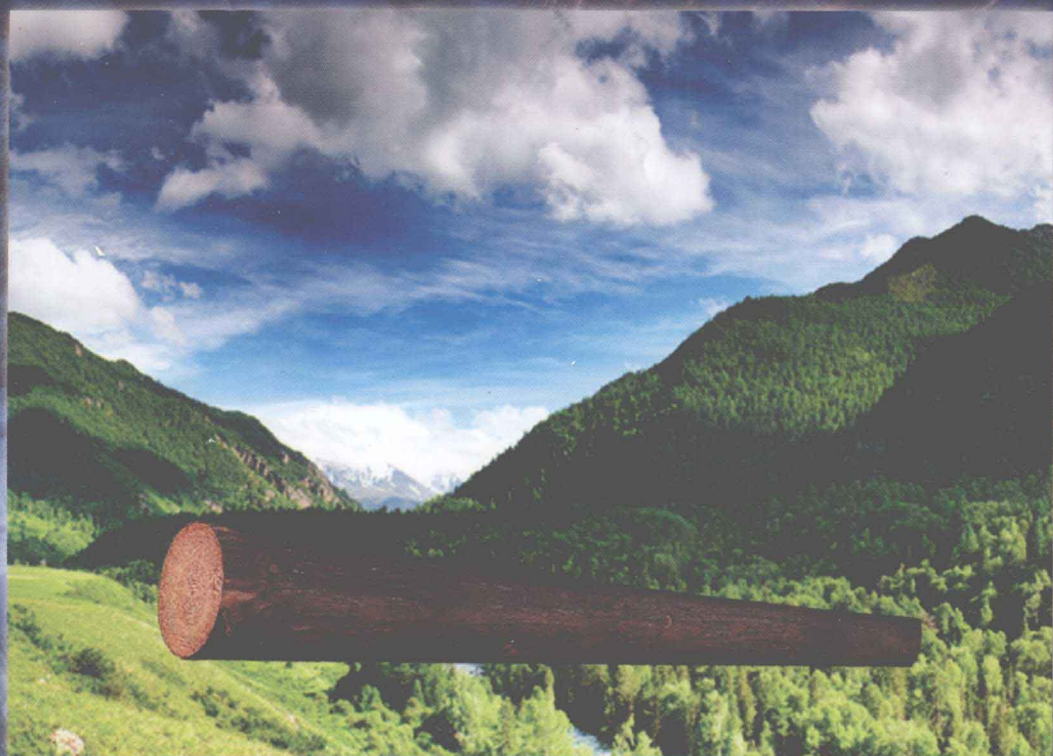


李 坚 郭明辉 赵西平 著



# 木材品质与营林环境



科学出版社

## 内 容 简 介

本书重点阐述了木材品质与立地质量、气候变化、培育措施等的关系；归纳了木材形成与环境作用的系统研究和方法；介绍了木材品质特征及其变异；总结了木材品质的预测和评定结果；构建了几种人工林优质木材的培育模式。

本书适于从事木材科学、森林生态、森林经营、环境保护等专业教学、科研和生产的人员学习与参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

木材品质与营林环境/李坚, 郭明辉, 赵西平著. —北京: 科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-031220-4

I. ①木… II. ①李…②郭…③赵… III. ①木材性质-研究 IV. ①S781

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 100285 号

责任编辑: 张会格 莫结胜 刘 晶/责任校对: 张怡君

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京彩虹伟业印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011年5月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2011年5月第一次印刷 印张: 27 1/4

印数: 1—1 000 字数: 539 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 前 言

木材是人类最先开始利用的物质之一，与国计民生息息相关。木材也是一种可再生的资源，这是其他材料无法比拟的，所以，其备受人类的关注。随着天然林资源逐渐缩减及天然林保护工程的实施，可供加工利用的木材越来越少，取而代之的将是大量的人工林资源。研究人工林木材品质、木材形成及其培育技术具有重要意义。

未来优质人工林怎样培育？为了解决这一问题，世界各国对木材品质与环境作用的研究十分活跃，取得了可喜的成果。复杂的环境因子的综合作用决定了森林的存在、树种的组成、林木的生长和发育，对林木生长中形成的木材品质产生重要的影响。不同的环境因子往往彼此制约，对木材的形成起综合作用，相互关系复杂，涉及地理位置、海拔、立地条件（土壤质地、坡形等）、气候变化等多种因素。该领域大量的研究表明，优质人工林的培育应以木材性质为基础，用生物学、林学和环境科学的观点，全面认识林木的生态效益；着眼于在不同生态环境中的树木的生长与木材品质的形成，在科学的经营措施下，改进木材的品质。

近年来，人工林培育研究获得了突破性进展，其研究内容越来越多地与其他学科交融渗透，综合拓展，并注重于先进性和应用性；所获取的树木生长发育过程、木材形成机制、培育措施优化等科学知识也越来越丰富，这将为改善我国现有人工林经营管理模式、提高人工林木材品质提供越来越多的科学可靠的新理论、新方法和新技术。

承蒙国家自然科学基金多个项目（项目编号：30871969、30471355等）及教育部和国家外国专家局“111计划”的资助，笔者在木材品质与营林环境领域展开了长期广泛而深入的研究。本书的绝大部分内容反映了笔者近年来的研究成果，如木材形成与环境作用的系统研究方法；木材品质特征及其变异，木材品质预测，木材品质与立地质量、气候变化、培育措施等的关系；木材品质的评定，人工林优质木材培育模式构建等内容。在编写本书的过程中，笔者援引和参考了生物木材学、森林气象学、森林经营学及其他学科方面的成果，在此，向相关作者表示感谢。

研究生关鑫、袁媛、秦磊、刘晓健、胡建鹏、李志勇、贾萧然、刘芳廷、付纪磊、李斌参与了做实验和资料查找工作，在此向他们表示诚挚的谢意！

本书的特点是内容较全面，理论深度较高，实用性比较强，系统阐述了人工林优质木材培育的研究方法、研究成果，总结出了操作性比较强的人工林培育模式，反映和跟踪了本学科前沿的研究动态。

限于水平，疏漏和不妥之处在所难免，恳请读者指正。

著 者

2010年11月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 木材品质概述 .....	1
1.2 木材品质与营林环境的研究意义 .....	5
参考文献.....	6
<b>第 2 章 木材品质与营林环境的研究内容和方法</b> .....	7
2.1 木材品质的检测 .....	7
2.2 木材品质的变异性.....	12
2.3 幼龄材与成熟材的界定方法.....	25
2.4 木材品质的预测.....	27
2.5 立地环境和培育措施与木材品质的关系.....	37
2.6 气候变化与木材品质的关系.....	40
2.7 木材品质的评定.....	59
2.8 木材碳汇研究的计量方法.....	59
2.9 人工林优质木材培育模式的构建.....	61
参考文献 .....	62
<b>第 3 章 木材形成及其品质特征</b> .....	64
3.1 木材形成过程.....	64
3.2 木材品质特征.....	82
3.3 木材品质形成的影响因素 .....	103
参考文献.....	106
<b>第 4 章 木材品质的变异性</b> .....	107
4.1 木材的各向异性 .....	107
4.2 种内株间木材品质的变异性 .....	109
4.3 株内木材品质的变异性 .....	111
4.4 几种针叶人工林木材品质的变异规律 .....	126
4.5 木材生长轮材性变异规律的生物学解释 .....	151
4.6 木材品质变异的主要原因 .....	152
参考文献.....	156

<b>第 5 章 木材品质的预测</b> ·····	157
5.1 以枝条预测树干木材品质 ·····	157
5.2 几种木材的幼龄材与成熟材的界定 ·····	160
5.3 以幼龄材预测成熟材木材品质 ·····	171
参考文献·····	184
<b>第 6 章 立地质量与木材品质</b> ·····	185
6.1 土壤条件与木材品质 ·····	185
6.2 立地条件与木材品质 ·····	192
参考文献·····	217
<b>第 7 章 气候变化与木材品质</b> ·····	218
7.1 气候变化 ·····	218
7.2 影响木材品质的主要气候因素 ·····	228
7.3 几种针叶树木材品质形成对气候变化的响应 ·····	246
7.4 气候变化影响木材品质形成的滞后效应 ·····	277
7.5 气候长期变化趋势对几种针叶树木材品质形成的影响 ·····	291
参考文献·····	312
<b>第 8 章 培育措施与木材品质</b> ·····	316
8.1 人工林培育的主要措施 ·····	316
8.2 林分结构对木材品质的影响 ·····	334
8.3 初植密度对几种针叶树木材品质的影响 ·····	346
8.4 间伐对木材品质的影响 ·····	362
8.5 修枝对木材品质的影响 ·····	380
8.6 施肥对木材品质的影响 ·····	387
8.7 灌溉对木材品质的影响 ·····	392
8.8 培育措施对木材品质形成的联合作用 ·····	393
参考文献·····	397
<b>第 9 章 木材品质评定</b> ·····	398
9.1 人工林红松木材品质评定 ·····	398
9.2 人工林樟子松木材品质评定 ·····	402
9.3 人工林落叶松木材品质评定 ·····	405
参考文献·····	408
<b>第 10 章 木材的碳汇效应</b> ·····	409
10.1 木材碳素的储存机制·····	409
10.2 提升和发挥碳汇功能的途径·····	410
10.3 木材碳汇·····	412

---

10.4 人工林木材碳汇过程对生长环境的响应机制·····	418
参考文献·····	422
<b>第 11 章 人工林优质木材培育技术</b> ·····	<b>423</b>
11.1 人工林优质木材培育·····	423
11.2 几种人工林优质木材培育模式·····	427
参考文献·····	428

# 第1章 绪 论

## 1.1 木材品质概述

### 1.1.1 木材品质概念

木材品质，即木材的质量。木材品质是众多因素的综合体现，这些因素既有相对独立的一面，彼此之间又有一定的联系。不同树种，即便是同一树种，木材品质也有很大差异。

从外形来看，纹理通直、干型圆满度合理的就是好材。进一步还要看生长轮宽度、晚材率和木材密度。对针叶材一般要求是生长轮宽度在4mm以下的，为最好的木材；5mm左右的就是中等的木材。对晚材率一般不提具体的指标，但是，木材密度是强度方面必须考虑的指标。制作家具和装饰板往往要考虑木材的花纹和木材的膨胀收缩，尤其是阔叶材必须要考虑木材的干缩性，这是保持家具的尺寸稳定的十分重要的指标。对造纸材首先要考虑纤维的长度，当然木材密度也是要考虑的一个指标。总之，材质分类的主要指标不外是生长轮宽度、晚材率、木材密度和纤维长度（针叶材的管胞长度）这四个项目。划分等级时还应根据具体用途有所调整，以便做到合理利用木材。了解和评价木材品质，不论是在木材流通领域，还是在加工领域，都具有重要意义。

### 1.1.2 木材品质的评价指标

关于木材的品质评价目前还没有一个统一的标准。在短周期工业材的定向培育过程中，可以根据工业林的应用范围，进行人为的育林措施调整，使之在林木生长过程中达到定向培育的目的。木材的品质在木材的应用和流通领域中占有十分重要的地位，木材品质评价的合理与否，直接影响着它的利用率。品质的评定在某种程度上影响着木材幼龄材与成熟材的划分。在木材某些品质的评定过程中，如果木材的解剖特征量达到了利用的标准，那么成熟期的界限是有所不同的。因而，木材的品质评价是与木材的用途相关联的。总之，木材的品质评定是一项综合而又系统的研究工作，需要进行全方位、多指标的综合评定。

木材品质根据用途不同各有侧重点。木材中相当一部分是用于结构材的，那么力学强度将是选材的第一标准。人们都愿意使用力学强度高的木材，以保持结构的持久性。现实生活中人们希望木材在密度最小的情况下具有最大强度，因此品质系数，即材料的极限强度与密度的比值，是评定木材价值的重要依据之一。



木材某种强度的品质系数随树种而异，一般物理力学性质阔叶材的比针叶材好，特别是冲击弯曲强度、剪切强度和断面硬度表现更为突出。但从品质系数上比较，针叶材在顺纹抗压强度和静力弯曲方面的品质系数比阔叶材大。为了全面理解木材品质的各项指标，认识它们的重要性，以下分成几个项目予以叙述。

### 1.1.2.1 生长轮构造

春季树木顶梢开始芽膨胀，同时形成层的细胞开始分裂，向外侧生成韧皮部的细胞，向内侧生成木质部的细胞。这样生长的木材细胞，由于其大小、形状和排列不同，形成了各个树种的显著特征。春季生长的细胞，不仅壁薄，而且胞腔直径大，称为早材；秋季生长的细胞，壁厚，胞腔直径较小，称为晚材。产地、立地条件、气候因子及遗传因素等都影响细胞的生长和形状。在树木停止生长前，所形成的晚材细胞形状扁平，而且排列整齐，自然地形成了界限，这就是生长轮的轮界。

### 1.1.2.2 木材密度

木材密度是指木材的质量与其所占有的木材体积的比。这个共同占有的体积，常因水的体积变化而有所变化，木质部内的空气也会因温度的升高或下降而有变化，这些都会影响共同占有体积的变异。这样，就要规定一个标准状态（1atm，温度 20℃，湿度 65%），以便于比较不同环境的木材密度值。木材密度是表示材质的一个最直接的指标，例如，以木纤维作原料的造纸工业，就要用木材密度计算它的配料当量；建筑结构用材，要根据木材密度和强度指标设计构件的尺寸。另外，木材密度又和木材的另一些指标有密切的关系，生长轮宽度、晚材率都直接关系到木材密度的变化，甚至它和木材的强度也有极为紧密的关系。由此可见，木材密度是表示木材材质的重要指标。

### 1.1.2.3 生长轮宽度与晚材率

生长轮宽度和晚材率都与木材密度存在着紧密的相关关系。木材密度基本是随着生长轮宽度的增加有减少的趋势；只有窄生长轮宽度的一小段存在增加现象，然后，又随轮宽的增加而逐渐减少。晚材率增加，木材密度亦随之增加，只是增加幅度不是成正比的直线关系，而是曲线关系，晚材率与木材密度的相关性较为明显。生长轮宽度与木材密度的相关性还与树种有关。

针叶材生长轮宽和木材密度的关系是：生长轮宽度窄的木材，其密度较高，同时晚材率也较大；生长轮宽度较宽的木材，其密度逐渐减少，而且晚材率也较小。阔叶材与针叶材相比，有着完全相反的相关关系，即阔叶材中生长轮宽度逐渐增加时，木材密度急剧上升，达到一定值时逐渐平稳下来。针叶材生长轮宽度

开始增加时,木材密度急剧下降,达到一定值之后,又逐渐平稳下来。另外,针叶材中的被压材也和阔叶材一样,表现了相同的相关性。

#### 1.1.2.4 生长量与成材的密度

利用木材时,除考虑木材的材质外,还应考虑木材的生长量。什么样材质的林木为好,这关系到它的适应性,进一步说,取决于林木的生长量。木材的密度在相同树种中,存在着大约50%的差异性。作为木材强度,在同一树种中也不可避免地会有50%的变化。在针叶材中,一般生长轮宽度窄的晚材率高,木材密度也较大,所以强度和硬度都较好。但是,从林木生长方面来看,往往生长较差、生长轮宽度较窄、细胞壁薄或者被风雪压抑而生成的生长轮宽度的树木,是不适于作为建筑结构用材的。

#### 1.1.2.5 干形与材质

木材的生长是从叶片的光合作用开始的,其产物由叶片输送到树枝,然后再到树干,提供生长木质所需的能量。枝叶量较大的树木,生成的物质就多,并向树干下部积累,促使根部形成了宽生长轮。枝叶量较小的郁闭林内的树木,树冠下枝因阳光不足而自然枯落,生成物质往下输送减少,树干下部生长轮较窄。另外,对孤立木,由于外力作用,树干下部同时开始肥大生长,造成树干中部和下部生成物质的堆积,所形成的材质是不理想的,有的部位强度和密度偏大,有的部位生长轮较宽,强度和密度偏小。

#### 1.1.2.6 纤维形态

纤维形态是指纤维的长度、宽度、长度和宽度的均一性、长宽比、壁腔比,及非纤维细胞的含量等,纤维的形态与纸张的性能有极密切的关系。纤维长度不仅与纸张撕裂度呈直线关系,而且随着制纸原料纤维的增长,可以提高纸张的抗张强度、耐破度和耐折度。因此,纤维长度是衡量植物纤维原料优劣的较重要的指标之一。在考虑纤维长度对纸张强度的影响时,只看纤维的平均长度是不全面的,应该考虑纤维长度、宽度的不均一性,其不均一性常用频率分布表示。

过去人们经常用纤维长宽比来衡量纤维原料的优劣,但是试验数据表明,其理由并不充分。针叶树原材料纤维长宽比小于草类原料,但是针叶树木纤维原料优于草类原料。

### 1.1.3 木材品质的功能价值

木材品质决定木材的使用价值,因此,木材品质评价是非常重要的。通常用影响木材产品质量的一些材性指标衡量木材品质。木材品质好坏与否因其用途的

不同而异，没有任何一种木材能够满足所有的用途，木材品质评价也就根据不同的用途而定。

### 1.1.3.1 结构用材与木材材性指标的关系

结构用材最重要的指标是力学强度，而木材的力学强度主要是由木材的密度和微纤丝角决定的。国外大量的实验研究与报道表明：木材的力学强度与木材密度呈明显的正相关关系，木材密度越大，则其力学强度越高。木材的次生壁微纤丝角与木材的抗拉伸强度呈负相关，微纤丝角越小，其抗拉伸强度越大。另外，微纤丝角越小，木材的尺寸稳定性越好。

密度是木材物理性质中最重要的内容，一般木材作为承重构件时，它的品质主要取决于密度。众多学者的研究表明，木材的力学性质与密度密切相关，木材强度和刚度随密度的增加而增加。因此，木材单位体积燃烧热和热传导性也随密度的增加而增加，许多学者认为可利用密度来估算强度值。

### 1.1.3.2 纸浆、纸张性能对木材的要求

(1) 纤维长度。撕裂强度与纤维长度的  $3/2$  次方成正比；抗张强度与纤维长度成正比；耐破强度与纤维长度的  $1/2$  次方成正比。国际上有时用  $(\text{耐破强度} \times \text{撕裂强度})^{-2}$  指标来比较纸的强度。这个指标也与纤维长度呈线性相关。近年的研究结果和大量的生长实践表明，纤维长度不仅与纸张撕裂强度呈线性相关，而且纤维较长能提高纸张的抗张强度（裂断长）、耐破度及耐折度。因此，纤维长度是衡量植物纤维原料优劣的重要指标之一。

(2) 纤维的长宽比。过去，造纸工作者常用纤维长宽比来衡量原料的优劣，认为长宽比越大，撕裂强度越高。但根据试验结果看，理由尚不充分。许多学者认为这个指标有待于进一步研究验证。但对于同一种木材来讲，这个规律基本成立，而且长宽比小于 35 的纤维制得纸张的强度较低。纤维板对纤维原料的要求也是长度大，长宽比较大。

(3) 木材纤维细胞壁厚度、胞腔直径及壁腔比。纤维细胞壁的绝对厚度与纸张性能的关系不大，而纤维细胞壁厚度与胞腔直径之比（壁腔比）对纸张性能影响极大。一般认为细胞壁薄而腔大的纤维制成的纸强度大，这是由于壁薄腔大的纤维有柔软性，纤维交织得好。而壁厚腔小的纤维比较僵硬，彼此结合差，制成纸张强度较低，纸张较疏松，吸水性好。曾经有人对木材纤维原料进行研究并指出，壁腔比小于 1 是好原料，等于 1 是中等原料，大于 1 是劣原料。研究表明，凡晚材率高的木材制成纸张后，除撕裂度外，其他强度均较差，即是受到壁腔比的影响。一般来说，薄壁纤维造纸耐破强度、抗张强度均好，而厚壁纤维造纸厚度、挺度、撕裂度好，但抗张强度、耐破强度、造纸性能、耐折强度都较低，而

且不易打浆。

(4) 密度。一般密度越大,纸浆得率越高。但是密度一般与纤维的壁腔比呈正相关。密度过大(通常是由壁腔比大引起),将使纸张强度降低。而且密度大,打浆能耗大,纸的透气性差。一般造纸材密度为 $0.4\sim 0.6\text{g/cm}^3$ 。

## 1.2 木材品质与营林环境的研究意义

我国是一个少林的国家,人均林地面积、森林蓄积量均很低,随着经济建设的发展、人口的增长和人民生活水平的提高,对木材的需求量日益增加,同时对木材的性质、规格和品质都有更高的要求,而我国的木材综合利用率极低,加剧了供需矛盾。随着天然林资源的逐渐减少,人工林已得到广泛重视和迅速发展,经精心培育的人工林生长迅速,能在短期内提供较多的商品材,收益高、见效快,可作为一种新的木材资源弥补天然林资源的不足。尽管20世纪60年代以来,我国大面积营造人工林,但由于当时忽视了木材性质与营林培育关系的研究,未能按照木材最终用途对木材的要求营造人工林并实现定向培育,以致现已成林的大部分木材难以充分适应市场的要求。人工林培育的总体目标是定向、速生、丰产、优质、稳定及高经济效益,而目前在优质方面的工作仍很粗放,从微观上研究人工林培育与木材品质的关系主要集中在良种选育方面,培育措施与木材品质的研究尚处于初级阶段。因此,对人工林资源的培育和开发利用研究将是一项长期而又艰巨的任务,需要整个林业及木材加工业都紧紧围绕这一中心,继续致力于人工林培育与木材品质和加工利用方面的探索,真正实现人工林木材优化培育和合理利用<sup>[1]</sup>。

木材品质与营林环境研究以木材品质研究为纽带(图1-1),一方面,通过研究不同遗传特征、不同立地条件和不同培育措施对材质的影响,探求木材品质的变异规律,有助于确定最佳林木培育措施,使林木真正达到速生、丰产、优质,以满足国民经济各部门对木材质量越来越高的要求;另一方面,通过木材品质与加工利用关系研究,可以探明木材品质对木材加工利用的影响原理,根据木材品质制订最优加工工艺,从而真正做到合理、高效利用,使有限的木材资源得到充分利用<sup>[2]</sup>。

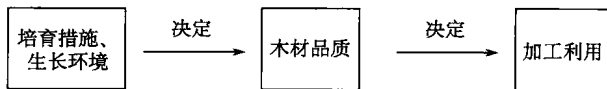


图1-1 木材品质优化与培育环境作用研究思路

就木材的品质而言,习惯上把木材的物理性质、力学性质、化学性质等看做木材的基本性质,即木材的材性;而木材的重量、纹理、硬度等看做用材部门对

木材质量的要求,即木材的材质<sup>[3]</sup>。对木材品质的研究主要通过对木材解剖特征(纤维形态特征、微纤丝角、管胞形态特征)、木材物理特征(生长轮宽度、晚材率、基本密度和干缩性质)、木材力学性能(抗弯强度、顺纹抗压强度、冲击韧性和硬度等)和化学性能(心材、边材 pH,各种抽提物,酸碱缓冲容量)等的研究,来揭示木材品质的变异规律,因为木材品质的变异规律既是木材改良的基础,又是提高木材品质的理论依据。

### 参 考 文 献

- [1] 刘盛全,江泽慧. 人工林的发展和人工林材性与培养及利用关系学. 世界林业研究, 1995, (4): 42~46
- [2] 郭明辉. 木材品质培育学. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2001: 19
- [3] 王金满. 木材材质预测学. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993: 13

## 第2章 木材品质与营林环境的研究内容和方法

随着科学的发展,人们的视野更开阔,各个学术领域的研究也更深入。木材品质形成与环境作用的研究内容十分广泛,多学科相互交叉渗透,领域宽,深度大,既有基础理论,又有应用科学,研究方向众多,分析测试手段多种多样。随着这一领域研究的不断加强、现代分析手段的不断更新、人类生活质量的不断改善,木材-人类-环境的关系也越来越紧密。

国内外从事木材学、林学和生理生态学等有关教学、科研、生产、管理的专家、学者和企业家们对木材品质形成与环境作用的研究投入了极大的热情,发表了许多有价值的专著和论文。下面就笔者近年来在这一领域展开的主要研究方向和一些研究方法作一综述,期望给在这一领域从事研究或工作的同仁以借鉴。

### 2.1 木材品质的检测

如绪论中所述,对木材品质的研究主要通过木材解剖特征(纤维形态特征、微纤丝角、管胞形态特征)、木材物理特征(生长轮宽度、晚材率、基本密度和干缩性质)、木材力学性能(抗弯强度、顺纹抗压强度、冲击韧性和硬度等)和化学性能(心材、边材 pH,各种抽提物,酸碱缓冲容量)等的研究。木材品质的变异性很大,影响其变异的因子也很多,如树种、树龄、部位、立地条件等,但亦存在一定的规律。管胞(木纤维)长度关系到木材的加工利用性能,因此,准确测定其长度非常重要。

针叶材和阔叶材的主要区别之一为,管胞是针叶材中的主要细胞,生长过程中的管胞除了是运输水分和养分的通道外,还具有机械支撑的作用。木纤维是阔叶材中的主要细胞,仅起机械支撑作用,导管则是其运输水分和养分的主要通道。下面以红松木材为例,具体说明在木材品质形成与环境作用的研究过程中,各项指标的取样和测定方法。

#### 2.1.1 木材解剖特征

##### 2.1.1.1 管胞(木纤维)长度

管胞(木纤维)的长度一般采用离析法测定,具体取样和测定步骤如下。

(1) 将木材试样(高 15~20mm,宽 10mm,长为从髓心到树皮的半径长)按每个生长轮分早材、过渡带和晚材,劈成片状,放入试管中,加入 30%硝酸

至浸没木材为止，放在试管架上，然后放入烘箱中加热，在 80℃ 情况下烘 8~10h。

(2) 将试管取出，倒出硝酸，用水冲洗试管中的试样数次，用大拇指按着试管口，用力振荡，木材变为木浆。

(3) 用针或毛笔挑少量木浆于载玻片上，加上一滴水，盖上盖玻片，置于配备测微尺的显微投影仪下进行测量。

(4) 每个试样测量 30 个管胞长度，求出平均值，即为此生长轮中早材、过渡带或晚材的平均管胞长度。

### 2.1.1.2 微纤丝角

采用碘染色法测量生长轮早材、过渡带和晚材切片的微纤丝角。具体步骤如下。

(1) 试样的几何尺寸为高 15~20mm、宽 10mm，长为从髓心到树皮的半径长。将试样用热水浸泡软化大约 7d，然后在乙醇和甘油混合液 (1:1) 中浸泡 15d 以上，取出后按生长轮分早材、过渡带、晚材，顺序切片，尽量保持切片与弦切面平行。切片厚度：早材为 25 $\mu$ m 左右，晚材为 12 $\mu$ m 左右，每个部位切取 5~8 片。

(2) 脱木质素。将切片放在 10% 硝酸和 10% 铬酸的混合液中 5~6min (夏天)。

(3) 脱水。将脱木质素的切片用蒸馏水洗净，再在 50% 或 80% 的乙醇中脱水，一般为 2~3min。

(4) 染色。将脱水后的切片放在载玻片上，用 4%~6% 的碘化钾溶液 1~2 滴染色；2~3min 后，用滤纸吸去剩余的碘化钾溶液。

(5) 固定。在染色的切片上再加 1~2 滴 40%~50% 的硝酸溶液，待切片颜色变成棕褐色，盖上盖玻片，用滤纸吸去多余的硝酸溶液，以免腐蚀显微镜的镜头。

(6) 测定。将做好的切片放在 400 倍的显微镜下测定。显微镜上配有旋转刻度盘，通过旋转刻度盘，使“十”字线平行于 S<sub>2</sub> 层微纤丝排列方向，记下读数。两读数之差即为微纤丝角角度。

所测生长轮内的早材、过渡带和晚材分别选取 2~3 片，随机测取 20 个数据。

### 2.1.1.3 胞壁率和管胞直径

试样与测量微纤丝角所用试样为同一块试样。在横切面上切取 15~20 $\mu$ m 厚的切片，切片尽可能切得较长，每一圆盘同一部位切 3~5 片，放在处理盘中，

加水, 以免切片卷曲。经番红染色, 脱水 (经 30%、50%、80%、95% 的乙醇, 无水乙醇, 无水乙醇与二甲苯混合液, 二甲苯顺序处理), 然后放在载玻片上, 用光学树脂胶固定, 盖上盖玻片, 置于干燥处, 待固定好后再进行测定。

采用计算机视觉系统<sup>[1]</sup>测定, 其测定原理为首先对灰度图像进行二值化处理, 然后对木材分子边缘进行检测, 确定和识别单一管胞分子的几何形状, 从而确定其几何尺寸, 能对整幅图像中所有木材分子遍历检测, 因此, 可按每个生长轮的早、晚材测量管胞分子内、外腔直径和壁厚等。而木材的胞壁率则根据二值图像中壁的像素数与整个测试区域内像素数的比值来确定。此方法具有测量速度快、测试过程简单、人为误差因素少、精度高、测量和分析自动化程度高等优点, 是目前最先进的测试方法。

## 2.1.2 木材物理特征

### 2.1.2.1 生长轮宽度和晚材率

(1) 测试方法一: 将圆盘横切面刨平, 取包含髓心在内沿东西方向截取的试样, 作一条通过髓心且垂直于生长轮的直线, 用显微测长仪测量直线上每一生长轮的宽度及相应的晚材宽度, 精确到 0.01mm。

计算晚材率的公式为

$$\text{晚材率} = \frac{\text{晚材带宽}}{\text{生长轮宽}} \times 100\% \quad (2-1)$$

(2) 测试方法二: 利用直接微密度扫描仪测得生长轮密度连续的实测值, 根据密度变异特点, 判定生长轮界限和生长轮内早材、晚材分界限, 利用所编的计算机程序, 计算各分界限内的点数, 因为每点间的距离为 0.1mm, 所以可求得生长轮宽度、早材宽度、晚材宽度、晚材率。此方法证实生长轮宽度、早材宽度、晚材宽度与生长轮密度、早材密度、晚材密度的——对应关系。

笔者比较了两种测定方法, 结果表明第二种方法更准确, 是一种简便、快捷和精度高的理想测量方法。

### 2.1.2.2 生长速率

采用相对半径增大率 (RR) 的方法进行测量:

$$\text{RR} = \frac{r_2 - r_1}{r_1} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中:  $r_1$  为髓心与生长轮内部界限 (早材开始处) 的距离;  $r_2$  为髓心与生长轮外部界限 (晚材终止处) 的距离。



### 2.1.2.3 生长轮密度

(1) 测试原理：使用直接扫描式 X 射线微密度计测量。其基本原理是 X 射线穿过木材后，强度的衰减与木材密度有如下关系：

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (2-3)$$

$$\rho = \frac{1}{\mu t} \ln \frac{I_0}{I} \quad (2-4)$$

式中， $I$  为穿过木材后的 X 射线强度； $I_0$  为穿过木材前的 X 射线强度； $\rho$  为木材密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )； $t$  为试样厚度 ( $\text{cm}$ )； $\mu$  为质量衰减系数 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )，其为与 X 射线波长及物质种类有关的常数。

本项实验  $\mu$  的定标方法为使用红松木材标准样品，先求出其  $\rho$ ，然后对标准木材样品进行扫描，将扫描曲线积分求得总强度  $I$ ，其次在同样条件下进行空白扫描，求得  $I_0$ ，代入公式 (2-4) 求得  $\mu$ 。根据实验研究<sup>[2]</sup>得知，木材质量吸收系数大小不受木材样品厚度的影响，也不受不同方向的 X 射线扫描的影响。该测试方法具有快速、高效、精确的测试优点，能进行木材生长轮与密度组成分析，即分析木材平均密度、平均早材密度、平均晚材密度、最大和最小密度、木材密度梯度和木材密度的变异幅度等，能研究木材密度的动态变化，真正揭示生长过程中木材密度的变化规律，为材性的改良提供了新手段。

(2) 测试系统：X 射线源采用铜钨 X 射线管，发出的 X 射线通过准直狭缝 ( $\Phi 0.15\text{mm}$ ) 后经单色器滤色，照射到木材样品上，样品置于可平动的样品架上，计算机控制步进电机，将丝杆螺旋转动变为平动。样品在平动过程中与 X 射线保持垂直。接收狭缝的孔径为  $0.15\text{mm}$ 。测试中 X 射线管压为  $20\text{kV}$ ，电流为  $20\text{mA}$ 。测试系统见框图 2-1。

(3) 样品制备：在试样含水率为  $12\%$  左右的气干状态下，从宽  $2.5\text{cm}$ 、厚  $5\text{cm}$ 、长为从髓心到树皮的半径长的样木上，切取宽  $1.0\text{cm}$ 、厚  $3\text{mm}$ 、长为半径长的薄片，薄片厚度必须均匀，表面光滑。

(4) 测试时，使扫描路径沿木材径向，扫描速率为  $1.6\text{cm}/\text{min}$ ，取样间隔为  $0.1\text{mm}$ ，并用软盘记录其强度。

(5) 利用计算机求出各点的密度值。

### 2.1.2.4 干缩率

试样的制备与测试按照国家标准 (GB1927—1943—91)《木材物理力学试验方法》的有关规定进行。

## 2.1.3 木材力学特征

测定指标为顺纹抗拉强度、横纹抗压强度 (局部、全部)、横纹抗弯强度、