

高等学校轻工专业试用教材

# 制浆造纸实验

陈佩蓉 屈维均 何福望 编

屈维均 主编

中国轻工业出版社

高等学校轻工专业试用教材

# 制浆造纸实验

陈佩蓉 屈维均 何福望 编

屈维均 主编

中国轻工业出版社

(京)新登字 034 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

制浆造纸实验/屈维均主编. —北京: 中国轻工业出版社, 1990. 5 (1995. 7 重印)  
高等学校轻工专业试用教材

ISBN 7-5019-0716-1

I. 制… II. 屈… III. 制浆-造纸-实验 IV. TS7-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 11113 号

高等学校轻工专业试用教材

**制浆造纸实验**

陈诚善 屈维均 何福望 编

屈维均 主编

\*

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街 6 号)

北京交通印务实业公司印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

\*

787×1092 毫米 1/16 印张:20.75 字数:486 千

1990 年 5 月 第 1 版第 1 次印刷

1995 年 8 月 第 1 版第 3 次印刷

印数:11,001 15,000 定价:12.00 元

ISBN 7-5019-0716-1/TS·0462

## 前 言

本教材是在轻工业部制浆造纸工程专业教材编审委员会的主持下，按华南理工大学、天津轻工业学院、西北轻工业学院、大连轻工业学院和南京林业大学等院校的代表共同商定的编写大纲编写的，在华南理工大学、天津轻工业学院、西北轻工业学院原有实验教材的基础上，作了充实和修改。

根据实验课的性质与任务，本教材编写过程中注意到以下几点：

1. 安排设计性研究性的实验内容 要求学生查阅文献，自拟实验方案，选择检测方法，并综合分析实验结果。通过一个课题，将有关的实验技能的训练有机的联系起来。

2. 突出实验原理及不同实验方法的比较。每个实验除介绍实验原理外，并介绍不同实验方法的特点和相互比较，附思考题以启发学生思维。

3. 更新实验内容，增加现代测试技术的介绍。

4. 考虑到各院校实验教学的条件不同，因此，除基本实验外，可根据具体情况另增选部分内容。

全书共分四章，第一章由陈佩蓉编写，第二章由屈维均编写（其中第三节由陈佩蓉编写），第三章由何栢堃编写（其中第三节由周庆乐编写），第四章由屈维均编写（其中第二节由余家骛编写）。本书由华南工学院屈维均主编，轻工业部造纸工业科学研究所钱任、张春龄主审。

本教材除可作制浆造纸工程专业“专业实验”课教学用之外，也可供有关科研人员、工厂技术人员及高等院校有关专业师生参考。

本教材在编写过程中得到担任有关课程教学的同志们的关心和帮助，我们一并在此向他们表示深切的谢意。并欢迎广大师生及读者批评指正。

# 目 录

<b>第一章 造纸植物纤维原料的形态结构观察与化学成分分析</b> .....	( 1 )
<b>第一节 造纸植物纤维原料的生物结构与纤维形态观察</b> .....	( 1 )
一、植物纤维原料生物结构的观察.....	( 1 )
二、植物纤维原料细胞形态的观察.....	( 15 )
三、植物原料的纤维形态测定.....	( 17 )
思考题.....	( 25 )
<b>第二节 造纸植物纤维原料的化学成分分析</b> .....	( 25 )
一、植物纤维原料分析用试样的制备.....	( 25 )
二、植物纤维原料水分的测定.....	( 26 )
三、植物纤维原料灰分的测定.....	( 29 )
四、植物纤维原料抽提物的测定.....	( 30 )
五、植物纤维原料中纤维素的测定.....	( 35 )
六、植物纤维原料中综纤维素的测定.....	( 38 )
七、植物纤维原料中聚戊糖的测定.....	( 41 )
八、植物纤维原料中木素的测定.....	( 47 )
九、原料中甲氧基的测定.....	( 51 )
十、原料中乙酰基的测定.....	( 55 )
十一、原料中羧基含量的测定.....	( 56 )
思考题.....	( 62 )
主要参考文献.....	( 63 )
<b>第二章 制浆试验及其检测</b> .....	( 64 )
<b>第一节 蒸煮试验及其检测</b> .....	( 64 )
一、蒸煮原料的准备.....	( 64 )
二、蒸煮液的配制及其测定.....	( 65 )
三、蒸煮试验方案的制订.....	( 76 )
四、蒸煮试验设备与操作.....	( 78 )
五、粗浆得率的测定.....	( 79 )
六、纸浆的筛选及筛分.....	( 81 )
七、纸浆硬度的测定.....	( 83 )
八、黑液的分析.....	( 89 )
九、蒸煮试验报告提纲.....	( 97 )
思考题.....	( 97 )
<b>第二节 纸浆漂白试验及其检测</b> .....	( 97 )

一、漂液的制备	( 97 )
二、漂液的分析	( 101 )
三、漂白试验方案的制订	( 105 )
四、漂白操作	( 106 )
五、漂白残余药品的测定	( 107 )
六、漂白损失的测定	( 108 )
七、纸浆白度的测定	( 109 )
八、纸浆返黄值的测定	( 112 )
九、漂白试验报告提纲	( 114 )
思考题	( 114 )
<b>第三节 化学纸浆的分析</b>	( 114 )
一、化学纸浆平均试样的采取方法	( 114 )
二、化学纸浆水分含量的测定	( 115 )
三、化学纸浆灰分的测定	( 115 )
四、化学纸浆灰分中的二氧化硅含量的测定	( 116 )
五、纸浆中二氯甲烷抽提物的测定	( 116 )
六、纸浆碱溶解度的测定	( 118 )
七、化学浆中聚戊糖含量的测定	( 123 )
八、化学浆中木素含量的测定	( 123 )
九、漂白浆还原性能与铜价的测定	( 124 )
十、化学浆平均聚合度的测定	( 127 )
附录A	( 136 )
附录B	( 139 )
附录C	( 140 )
思考题	( 141 )
主要参考文献	( 141 )
<b>第三章 抄纸实验及其检测</b>	( 142 )
<b>第一节 打浆实验及其检测</b>	( 142 )
一、实验室常用的打浆设备及其操作	( 142 )
二、打浆过程中的检测	( 147 )
三、实验报告提纲	( 156 )
思考题	( 156 )
<b>第二节 造纸辅料的检测</b>	( 157 )
一、松香、松香胶及松香乳液的分析	( 157 )
二、硫酸铝的分析	( 162 )
三、表面施胶剂的分析	( 165 )
四、填料和色料的分析	( 170 )
五、实验报告及提纲	( 175 )

思考题	( 75 )
第三节 纸浆流送的检测	( 75 )
一、流浆箱中纸浆速度分布的测定	( 75 )
二、供浆系统速度脉动的测定	( 83 )
三、纸浆在圆管流动过程中流动曲线的测定及流动状态的观察	( 188 )
四、布浆整流元件流体阻力的测定	( 91 )
五、实验报告提纲	( 92 )
思考题	( 92 )
第四节 纸页的抄造实验	( 93 )
一、纸页成形系统及设备	( 93 )
二、手抄纸页程序	( 196 )
三、手抄纸页的切裁及处理	( 197 )
四、多层纸和纸板的实验室抄造	( 197 )
思考题	( 197 )
第五节 纸和纸板技术性能的检测	( 197 )
一、纸与纸板检测的准备	( 198 )
二、纸与纸板纵横向和正反面的测定	( 199 )
三、纸与纸板定量、厚度、紧度和松厚度的测定	( 200 )
四、抗张强度和伸长率的测定	( 202 )
五、破裂功(吸收功)和抗张能量吸收的测定	( 206 )
六、纸和纸板撕裂度的测定	( 207 )
七、纸和纸板耐破度的测定	( 210 )
八、纸和纸板耐折度的测定	( 212 )
九、纸张平滑度的测定	( 216 )
十、纸和纸板透气度的测定	( 217 )
十一、纸和纸板吸收性的测定	( 221 )
十二、纸张湿强度的测定	( 222 )
十三、纸和纸板印刷表面强度的测定	( 223 )
十四、纸和纸板施胶度的测定	( 225 )
十五、纸和纸板尘埃度的测定	( 227 )
十六、纸张不透明度和透明度的测定	( 228 )
十七、纸和纸板Z-向强度的测定	( 229 )
十八、纸板戳穿强度的测定	( 232 )
十九、纸板挺度的测定	( 234 )
二十、纸板和瓦楞纸板压缩强度的测定	( 236 )
二十一、实验报告提纲	( 242 )
思考题	( 242 )
第六节 纸张纤维组成的剖析	( 242 )

一、纸样的分离	( 242 )
二、观察鉴别	( 244 )
三、纤维配比的测定	( 246 )
四、纤维的重量因数及其测定	( 247 )
五、实验报告提纲	( 249 )
思考题	( 249 )
主要参考文献	( 249 )
<b>第四章 仪器分析及实验数据处理方法</b>	<b>( 250 )</b>
<b>第一节 光谱分析</b>	<b>( 250 )</b>
一、原料中木素的测定	( 251 )
二、原料和纸浆中酸溶木素的测定	( 253 )
三、纸浆中聚戊糖的测定	( 255 )
四、纸浆中含铁量的测定	( 257 )
五、白液和绿液中含钠和钾的测定	( 261 )
思考题	( 263 )
<b>第二节 色谱分析</b>	<b>( 264 )</b>
一、气相色谱分析	( 264 )
二、液相色谱分析	( 279 )
思考题	( 285 )
<b>第三节 电化学分析</b>	<b>( 285 )</b>
一、电位分析	( 285 )
二、电导分析	( 297 )
思考题	( 301 )
<b>第四节 实验数据处理方法</b>	<b>( 301 )</b>
一、有效数字及运算法则	( 301 )
二、误差的基本概念	( 303 )
三、实验数据的处理	( 306 )
思考题	( 313 )
主要参考文献	( 313 )
附录一、饱和蒸汽的压力与温度的关系	( 314 )
附录二、pH值标准缓冲溶液的配制	( 315 )
附录三、常用酸、碱在20℃时的浓度和比重表	( 317 )
附录四、原子量表	( 320 )
附录五、纸、纸板和纸浆测试的标准空调条件	( 321 )
附录六、中华人民共和国国家标准“纸、纸板和纸浆——表示性能的单位”(GB5032-85)的附录(摘录)	( 322 )



# 第一章 造纸植物纤维原料的形态结构

## 观察与化学成分分析

### 第一节 造纸植物纤维原料的生物结构与纤维形态观察

我国造纸工业采用的植物纤维原料种类繁多，有木材纤维、非木材纤维两大类，后者包括禾本科植物纤维、韧皮纤维及种毛纤维。造纸原料的纤维形态对其所生产的纸浆和纸的性能有很大的影响，因此必须对原料的纤维形态进行观察，以鉴别他们对制浆造纸的使用价值。

#### 一、植物纤维原料生物结构的观察

##### (一) 观察的基本方法

一般采用显微镜观察法，为了研究植物的生物结构必须制备薄而透明的原料切片，必须制备好横切面、径切面和弦切面三个切面的切片。将制备好的切片放在载玻片上，盖上玻片，在光学显微镜下进行观察。

近年来用物理方法对植物纤维原料细胞的微细结构及化学成分分布进行了研究，这种方法有极谱法、紫外显微镜法和电子显微镜法等。

##### (二) 纤维原料的切片及制片操作

(1) 取样 从原料上取有代表性试样（木材取 $1\text{cm}^3$ ，禾草取适宜的一小段）。

(2) 排除空气 把试样放在水中煮沸约20~30分钟后，取出浸入冷水中，浸泡40~60分钟，如此煮沸浸泡重复多次，直至将试样中的空气排净为止。

(3) 软化 对于较松软的试样在排除空气后，浸入甘油酒精中（甘油和酒精各半的混合液），对于较硬的试样可采用10~30%的氢氟酸水溶液作软化剂，泡软后取出，用水冲洗1~2小时，软化到用剃刀可以切之成片即可。

(4) 切片 软化后的试样可以用切片机或徒手切片。对于某些质软的原料如龙须草等，则需要用蜡铸切片法，通过浸蜡、铸蜡等手续将试样埋于石蜡柱内，然后再进行切片，其厚度约为 $10\mu\text{m}$ 左右。选择比较满意的薄片放置培养皿中，用二甲苯及不同浓度的酒精进行脱蜡。

(5) 染色 为了便于观察及测量，须将薄片进行染色。对于不同试样采用不同的染料。针叶材等试样常用1%的番红水溶液染色。竹类等原料多用番红及孔雀绿二重染色。

注：番红溶液的配方是：番红1g，苯胺水溶液——80ml蒸馏水和3ml苯胺的混合液，95%酒精10ml。

(6) 脱水 将染色的切片用20, 40, 60, 80, 90, 95, 100%酒精逐渐脱水。脱水时间根据酒精的浓度的增加而减少，最初30分钟，最后3~5分钟。

(7) 透明 采用二甲苯透明，一般处理5~10分钟即可。若不透明需再用100%酒精处理，直至置切片于二甲苯中呈透明为止。

(8) 封片 将已透明之切片置于载玻片中央，保持少量二甲苯，以防过干使空气进入，加一滴加拿大胶（或用光学树胶）于切片，然后盖上玻片，用镊子轻轻压平，贴好标签，应注明原料名称、别名、学名、样品产地等，将其置于无灰尘处，干燥后则为永久片供观察用。

### (三) 原料切片的光学显微镜观察

在本部分将介绍针叶材（主要以松木为例），阔叶材（主要以桦木为例）及禾本科植物（以芦苇等为例）的生物结构。为此，利用植物纤维原料的三个切面（横切面、径切面和弦切面）的切片，在光学显微镜下进行观察。

径切面与弦切面主要有以下两点不同，一是在两个切面上木射线的形状不同，在径切面上木射线成条状，它以不同的高度，沿着径向穿过顺着树干纵向排列的各种细胞。而在弦切面上，木射线的形状如同小锁链状，它由短小的薄壁细胞组成，其高度与宽度各不相同，但接近边缘处逐渐变尖，成纺锤状。其次，只有在径切面上才可看到年轮的分界线，由于弦切面与年轮的分界线平行，所以观察不到。

#### 1. 针叶材

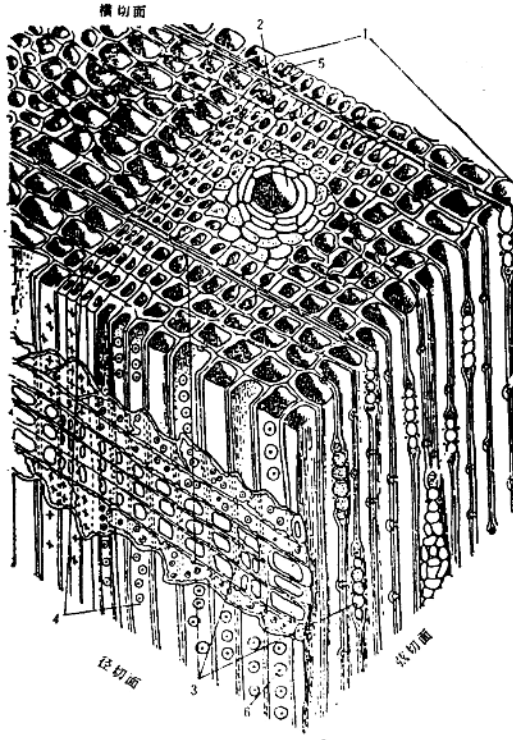


图 1-1-1 针叶材（松木）的显微镜结构图

1—年轮 2—树脂道 3—木射线 4—早材管胞 5—晚材管胞 6—具缘纹孔

在针叶材中，管胞占细胞总容积的90~95%左右。此外，有少量木射线管胞及木射线薄壁细胞。一些针叶材中有树脂道，在松木、云杉切面上应注意树皮的构造。

先用肉眼观察，然后在低倍显微镜下观察。

观察内容：树皮、形成层、木质部、树心、木射线、年轮、管胞、纵向树脂道。

树皮：可分为内皮和外皮。外皮是从内皮终止处开始到树干最外围的树皮为止。外皮由已死亡的木栓细胞组成。在外皮的薄壁细胞中有大的椭圆形树脂道孔，他们沿着外皮伸展，其构造与木质部的树脂道不同，整个树脂道都由活的薄壁细胞组成，树脂道周围有2~3层紧密排列的薄壁细胞。内皮是从形成层开始到木射线终止处为止。内皮称为韧皮部，属于有生命的组织。它的主要细胞是筛管，它们在木射线之间有规则地沿着径向排列成行，并被沿着弦切面方向排列的薄壁细胞层所隔断。内皮中的纤维细胞的胞壁被赫氏染色剂染成蓝色。

形成层：位于韧皮部和木质部之间，它是一个由活细胞组成的薄层。

木射线：在横切面上观察到窄的径向条纹，即为木射线，它的宽窄不同，有的很窄，有的较宽。他们与年轮和形成层相交，进入韧皮部后稍稍变粗。由髓心起直到树皮的射线称为初生木射线，由木质部到树皮的射线称为次生木射线。木射线由木射线薄壁细胞组成。

#### (1) 松木

为了了解树木的结构，观察树枝的切片是比较方便的方法，因为树枝具有成年树干所有的各种成分，二者的区别仅在于各成分的相对尺寸不同而已。

① 松木树枝的横切面：为便于观察，可用赫氏染色剂染色，在此和落叶松的管胞中间，沿着树干方向可以看到纵向树脂道，在弦切面上可观察到横向树脂道。

② 松木木质部的横切面：木质部位于形成层与髓心之间，是树干最主要部分，用间苯三酚加浓硫酸作染色剂。

观察内容：管胞、纵向树脂道、纹孔、胞间层。

在低倍显微镜下观察。

管胞：如前所述，针叶材的细胞主要是管胞，早材管胞腔大，胞壁较薄，导水性好。晚材管胞腔窄，胞壁较厚，主要起机械支持作用。管胞均为死细胞，他们沿着径向有规则地排列。

纵向树脂道：一般位于年轮的后半部，分布在晚材管胞中间。

木射线：木射线沿径向与年轮相交，大部分木射线是窄条状的。宽度为一个木射线薄壁细胞的，称为单列，这是针叶材的特征。

年轮分界线：在横切面上有很多围绕髓心的同心圆层，这就是年轮。它在早材与晚材管胞的分界处，这里可以看出早材管胞与晚材管胞在结构上的差别。

具缘纹孔：在早材管胞的径向细胞壁上。

胞间层：由于木素的浓度较高，如用间苯三酚作染色剂时，则显出较清晰的红色。

管胞次生壁的多层结构。

纵向树脂道的结构。

③ 松木木质部的径切面：用间苯三酚加浓硫酸作染色剂。

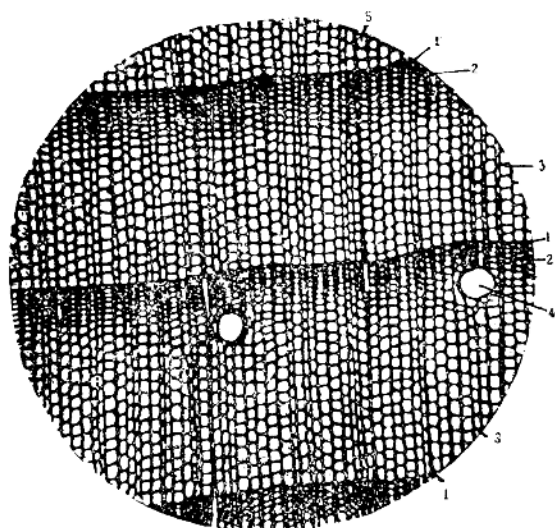


图 1-1-2 松木横切面 (放大70倍)

1—年轮分界线 2—年轮的晚材部分 3—年轮的早材部分 4—纵向树脂道 5—木射线

在径切面上可以找到在横切面上看到的全部组织和成分。  
 开始在低倍显微镜下，然后在高倍显微镜下观察。  
 观察内容：年轮、管胞、纵向树脂道、木射线等。

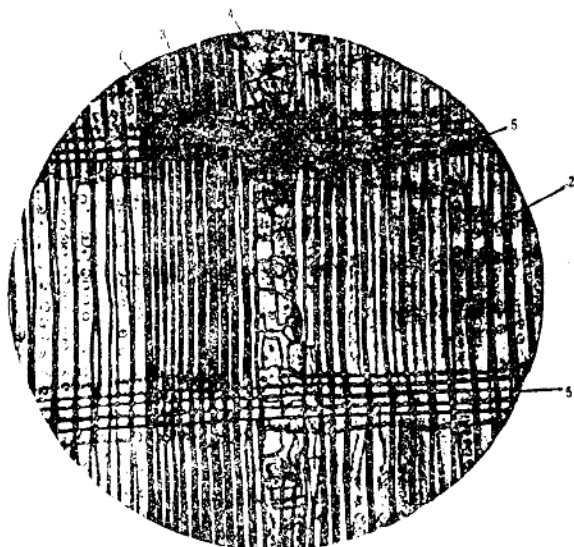


图 1-1-3 松木径切面 (放大90倍)

1—年轮分界线 2—早材管胞 (有较大的具缘纹孔) 3—晚材管胞 4—纵向树脂道 5—木射线

**早材管胞：**早材管胞系纵向生长的细长管状细胞，细胞端部呈凹形或钝尖形，腔大，有呈两个同心圆状的具缘纹孔。在管胞末端纹孔特别多，上下排列的管胞各以其倾斜末端相互衔接。

**晚材管胞：**细胞窄而长，胞壁较厚，胞腔小，端部较尖，壁上有刚能察觉的斜缝状纹孔，纹孔数量较早材少。

**纵向树脂道：**如果径切面正好通过树脂道中心，而且在切面上包括了树脂道两边的全部细胞，则可看到，树脂道由一些长度较小的，伸入到孔道中的分泌细胞组成，此外还可见到比分泌细胞长0.5~1倍的窄的死细胞和与薄壁细胞伴生的细胞以及管胞。

**木射线：**木射线为窄条状，它由横穿管胞的薄壁细胞组成，在径切面上可以看到木射线的宽度，如在木射线内有水平树脂道时，则其宽度为多列细胞，排列在中间的称为中央木射线，具单纹孔，在上下两边者为边缘木射线，有具缘纹孔和齿形加厚的细胞壁，又称为木射线管胞。

管胞与木射线细胞壁上的纹孔也对应生长，称为交叉场纹孔，其形状随树种而异，松木的交叉场纹孔为窗形。

④ 松木木质部的弦切面：染色剂同上。

在弦切面上可以观察到：

管胞：在弦切面上的管胞胞壁上不常看到具缘纹孔。

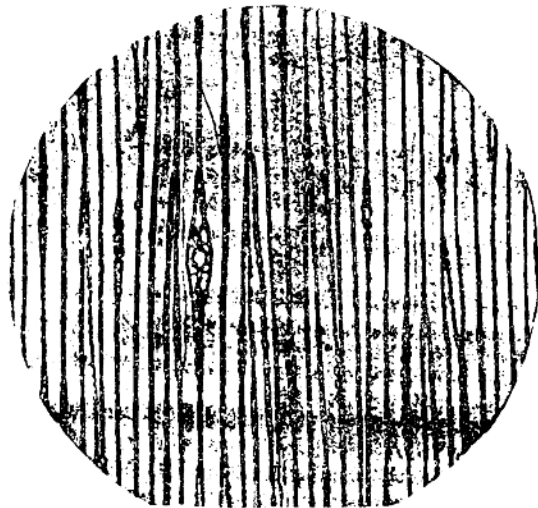


图 1-1-4 松木弦切面（放大90倍）

**树脂道：**与径切面观察到的相同。

**木射线：**为不同高度的窄条状，一般为单列，也可见到较高的内有水平树脂道的木射线。水平树脂道被横向切断，它的构造原则上与纵向树脂道无区别，但尺寸小1~1.5倍，平均直径为0.04mm。

## (2) 云杉

云杉的边材很宽。木质部的颜色是白的，有时带有浅黄色的斑点。年轮的分界线容易辨别，早材比晚材颜色浅、松软、发育得好，晚材比早材紧密，略带灰黄色，在早材和晚材部分都有树脂道。松木的晚材为红色或褐色，根据颜色的不同，很容易将二者区分开。

云杉与松木的生物结构不同，其主要区别如下：

云杉的早材管胞占绝大多数，每个年轮的结构完全一样，属于均一的软木材种。

云杉纵向树脂道的结构与松木不同，围绕树脂孔道的分泌细胞个小而数量多，其细胞壁很快增厚并被木质化。观察不到死细胞，薄壁细胞的伴生细胞数量不多，但这些细胞壁增厚很多。

云杉的交叉场纹孔为小的缝状纹孔，根据这个特点可以区别云杉管胞和松木管胞。

① 云杉木质部的横切面：在横切面上，早材管胞具有几乎是正方形的切面，它逐

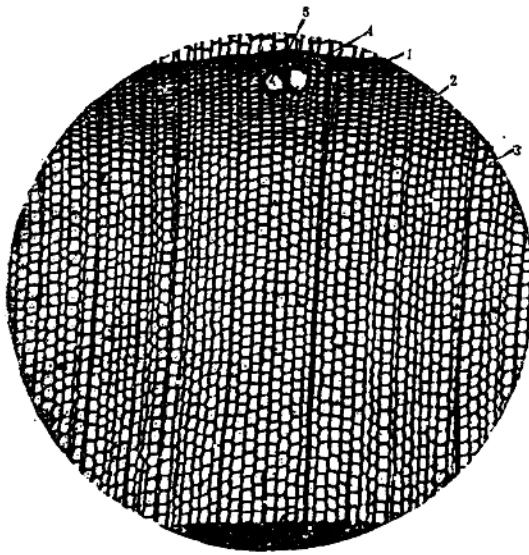


图 1-1-5 云杉横切面 (放大70倍)

1—年轮分界线 2—晚材管胞 3—早材管胞 4—木射线 5—树脂道

步过渡到晚材管胞，晚材管胞的切面是正方形或长方形，它们的细胞壁比落叶松薄。木射线为单列。树脂道单个地或成对地分布在管胞中，树脂道孔由4~8层不太大的、但胞壁较厚的、活的薄壁细胞组成，这些细胞的胞壁厚度几乎与树脂道孔四周的管胞壁厚一样。

② 云杉木质部的径切面：在径切面上，早材管胞具有大的具缘纹孔，在云杉的树干和树枝的木质部中，主要是在晚材部分，有时可以看到管胞壁有螺旋形的增厚。木射线的分布是不均匀的，中央木射线的薄壁细胞有2~6个(有时10个)小孔，细胞常略为锯齿状。边缘木射线的管胞为1~2列，有小的具缘纹孔，表面是光滑的或略成波状。

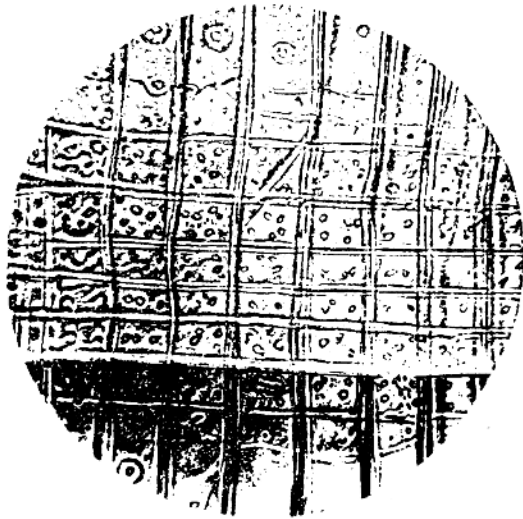


图 1-1-6 云杉的径切面 (放大70倍)

③ 云杉的弦切面：晚材管胞的弦切面上有椭圆形的，沿着管胞纵向排列的具缘纹孔，在径向上有内孔成缝状的具缘纹孔。木射线是单列的，也有包括水平树脂道的多列木射线，它们比一般的木射线宽且高，明显地成纺锤形。

## 2. 阔叶材

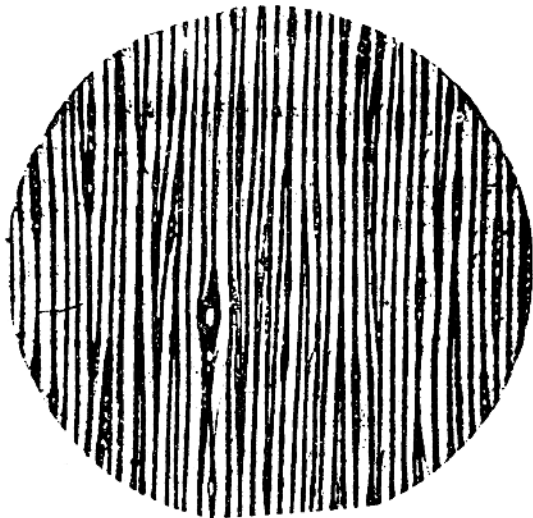


图 1-1-7 云杉的弦切面 (放大90倍)

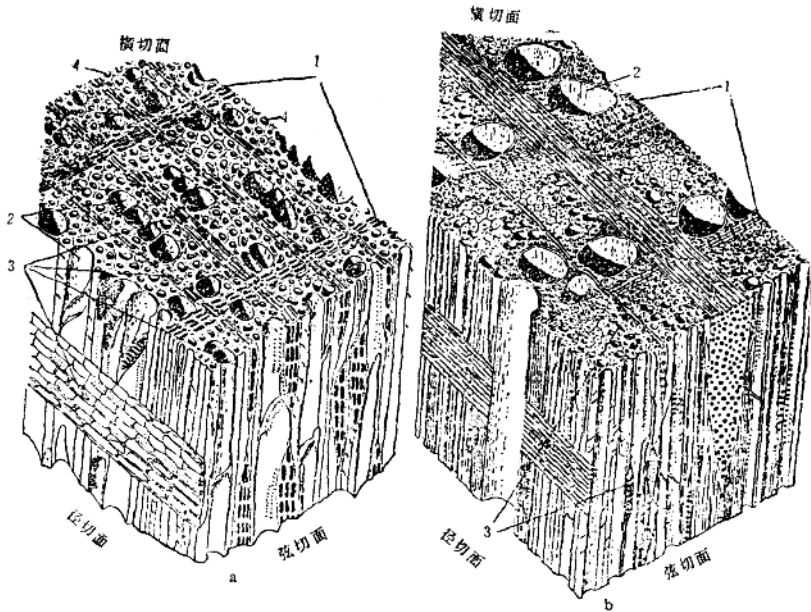


图 1-1-8 阔叶材的显微镜结构

a—桦木 (散孔材)  
 b—槲木 (环孔材)  
 1—年轮 2—导管 3—木射线 4—木纤维

(1) 桦木树枝的横切面：染色剂为间苯三酚加浓硫酸和碘加碘化钾。

在桦木树枝的横切面上，用肉眼或是用放大镜观察时可以看到树皮、木质部、年轮和木射线。由于木质部的全部细胞均已木质化，故被染色剂染成红色。在树皮中只有数量不多的石细胞和内皮纤维被染成红色。在已着色的木质部和树皮之间是形成层，中心是髓心，仍具有原来的颜色，在其薄壁细胞中积存了如同淀粉颗粒状的营养物和油滴。

从形成层向外的切片部分称为树皮，树皮又分为内皮和外皮。从紧贴形成层到木射线结束的部分称为内皮。内皮的功能是起输导作用，它由筛管、内皮薄壁细胞、石细胞和韧皮纤维等细胞组成。

筛管是细胞壁内含有纤维素的活细胞（未着色），在木射线之间他们成径向行列分布。在木材的横切面上通过木射线薄壁细胞可以找到筛管。

内皮薄壁细胞起贮存作用，为含有淀粉颗粒的活细胞，他们沿着切线方向成层状排列。

石细胞比较短小，韧皮纤维的细胞壁大大增厚且已木质化，在内皮边界处，它们成紧密的层状排列。

外皮由活的薄壁细胞组成，细胞中含有淀粉颗粒和其它物质。



## (2) 桦木木质部的横切面

染色剂为间苯三酚和浓硫酸。

先在低倍显微镜下，后在高倍显微镜下进行观察。

成年桦木木质部的组织和细胞分布情况与其树枝木质部中细胞分布的情况相同。每个年轮的宽度可能不同，这与当年的气候条件有关。

观察内容：木纤维、导管、木射线、木薄壁细胞。

① 木纤维：是小的死细胞，在横切面上呈四角形或多角形，细胞壁明显加厚，具有单纹孔，胞腔窄小（杨木木纤维壁较薄，胞腔较大），为每个年轮中的主要组成部分，是机械支撑组织。



图 1-1-9 桦木的横切面（放大70倍）

1—年轮分界线 2—导管 3—木射线 4—木纤维

② 导管：分布在木纤维之间的较大的孔眼就是导管，它较均匀地沿着径向分布在年轮内，桦木属于散孔材，导管是输导组织，由死细胞组成。

③ 木射线：在横切面上为窄条状，有初生木射线和次生木射线两种。它们横穿年轮经过形成层到达韧皮部，在那里略为加粗而消失。木射线全部由木射线薄壁细胞组成，它们既是贮存组织也是输导组织，由于它们贮有颗粒状的淀粉，故被碘染成蓝色，从而容易识别。

④ 木薄壁细胞：系纵向排列的薄壁细胞，在横切面上有多种排列方式：或不规则地分布于木纤维中；或分布于年轮的末端；也有在木纤维中排列成同心环状的。由于是活细胞可被碘染成蓝色。因此，容易观察到。

在木质部的所有细胞无论是活细胞还是死细胞，其胞壁都已被木质化。