

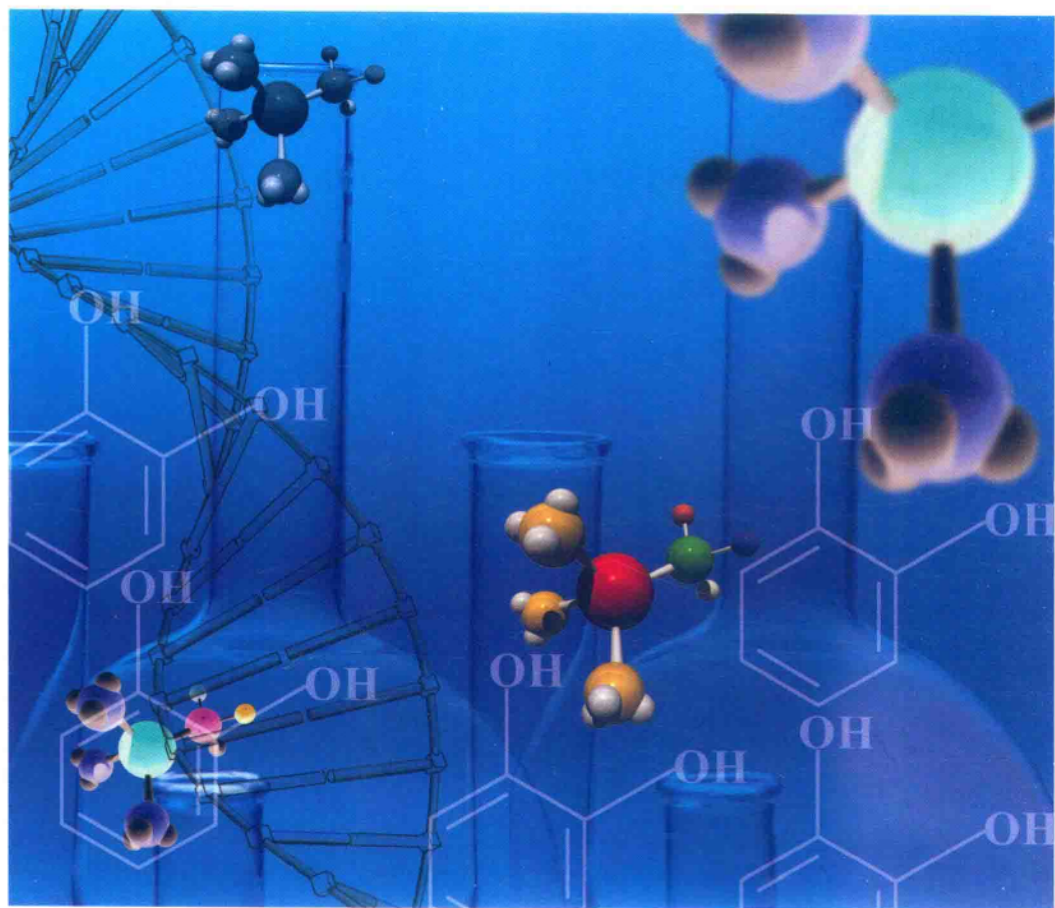


普通高等教育“十五”国家级规划教材

制浆造纸分析与检测

ZHIJIANG ZAOZHI FENXI YU JIANCE

石淑兰 何福望 主编



 中国轻工业出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

制浆造纸分析与检测

石淑兰 何福望 张 曾 杨汝男 编

石淑兰 何福望 主编

詹怀宇 主审



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

制浆造纸分析与检测/石淑兰, 何福望主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2017. 2

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 5019 - 3920 - 6

I. 制… II. ①石… ②何… III. ①制浆 - 化学分析 - 高等学校 - 教材 ②造纸 - 化学分析 - 高等学校 - 教材 IV. ①TS74②TS75

· 中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 007685 号

责任编辑: 林 媛

策划编辑: 林 媛 责任终审: 滕炎福 封面设计: 孙 巍

版式设计: 郭文慧 责任校对: 燕 杰 责任监印: 胡 兵

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2017 年 2 月第 1 版第 11 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 24.75

字 数: 620 千字

书 号: ISBN 978 - 7 - 5019 - 3920 - 6

定 价: 48.00 元

邮购电话: 010 - 65241695 传真: 65128352

发行电话: 010 - 85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

170064J1C111ZBW

前 言

《制浆造纸分析与检测》是在全国普通高校教学指导委员会轻工指导小组的主持下组织编写的,由天津科技大学(原天津轻工业学院)、陕西科技大学(原西北轻工业学院)、华南理工大学和大连轻工业学院联合编写。

随着科学技术日新月异的进步和人们生活需求的不断增长,制浆造纸工业得到了长足的发展。由于新工艺、新技术的不断涌现,制浆造纸分析与检测技术在诸多方面也得到了相应的发展。例如,制浆、漂白和造纸新技术的出现,新纸种的问世,化学添加剂在造纸生产中的广泛应用,以及严格的环境保护要求等等,这些无疑都促使分析测试技术的内容越加丰富新颖,其方法更加准确、方便和快捷。现代仪器分析技术的广泛应用,促进了制浆造纸分析与检测技术的不断进步和提高。正是在这种形势下,在原《制浆造纸实验》基础上,重新编制了《纸浆造纸分析与检测》一书,在内容编排上作了较大的充实和改进,以适应当代制浆造纸生产和科研的需要。

本书在编写过程中力求内容充实、实用,又应具有先进性和创新性。为此,在内容和形式编排上有如下特点:

1. “造纸植物纤维原料的生物结构与纤维形态观察”一章,搜集充实了我国科技工作者对我国培育的速生材、草类和新造纸原料(如红麻等)的生物结构特征的分析图片及对原料特征的分析;
2. 将造纸植物纤维原料和纸浆的化学成分分析等内容合并为一章,将相同的分析项目放在一起论述,并补充了一些新的分析方法;
3. 为配合环境保护法规的实施,增加了“制浆造纸废水分析与检测”一章,对我国当前造纸工业废水的排放标准和主要废水指标的分析方法作了介绍;
4. 基于造纸化学助剂在我国企业中日益广泛应用,增加了“制浆造纸化学助剂的分析”一章;
5. 在“仪器分析在制浆造纸工业中的应用”一章中,所涉及的现代测试技术面更广,仪器分析种类更多,分析方法更新,以使读者能更全面地了解现代测试技术的实际应用;
6. 根据读者建议,将标准溶液和一般溶液的配制方法等内容集中编排,放在附录中,以便于使用时查阅,也可避免各章节中的内容重复出现。

本书共分八章。其中:杨汝男编写第一、五章;石淑兰编写第二章和第八章的第一、二、三、四节;张曾编写第三章和第八章的第五、六、七、八节;何福望编写第四、六、七章;附录由石淑兰摘编。本书由石淑兰、何福望担任主编,詹怀宇负责主审。

在本书编写过程中,得到许多前辈和同仁的支持和帮助,担任相关课程教学的老师们根据多年教学实践,对本书的编写提出了宝贵的建议,在此一并表示谢意。

本书可作为制浆造纸工程(轻化工程)学科本、专科学生和研究生的教学实验教材,也可作为在制浆造纸工业及其相关领域从事生产、技术、科研、检验和管理等方面人员的参考用书。

当今科技发展迅速,分析与检测技术也在不断创新,本书虽力求内容有较好的实用性和先进性,但由于编者水平以及资料搜集所限,不足和错误之处在所难免,望予以批评指正。

编者

2002年12月

说 明

本教材自 2003 年 5 月第 1 版第 1 次印刷至今,已经历了 8 年。鉴于在此期间,我国对造纸工业及其相关化学品的分析与检测国家标准已进行了修订。因此,特参照《中国轻工业标准汇编》造纸卷(下册)(中国轻工业出版社 2010 年出版)和国家环境保护标准等,对相关国家标准编号的变更信息整理制表,增列为附录六(“国家标准编号更新对照表”),供读者对照参考,请予以关注。

编 者
2011 年 5 月

目 录

第一章 造纸植物纤维原料的生物结构与纤维形态观察	1
第一节 植物纤维原料生物结构的观察	1
一、试验前的准备	1
二、植物纤维原料的生物结构	2
第二节 植物纤维原料细胞形态的观察	10
一、观察前的准备	10
二、细胞形态的观察	11
第三节 植物纤维原料的纤维形态测定	13
一、纤维长度、宽度的测定及分配频率计算	13
二、细胞壁厚及细胞腔直径的测量	19
三、纤维粗度、毫克根数的测定及质量因子的计算	19
四、非纤维细胞含量的测定	21
主要参考文献	21
第二章 造纸植物纤维原料和纸浆的化学成分分析	22
第一节 分析用试样的采取	22
一、植物纤维原料分析用试样的采取	22
二、纸浆试样的采取	23
第二节 分析试样水分的测定	24
第三节 灰分及酸不溶灰分含量的测定	25
一、灰分含量的测定	26
二、纸浆酸不溶灰分的测定	28
第四节 抽出物含量的测定	29
一、水抽出物含量的测定	29
二、1%氢氧化钠抽出物含量的测定	30
三、有机溶剂抽出物含量的测定	32
第五节 纤维素含量的测定	35
第六节 综纤维素含量的测定	37
第七节 聚戊糖含量的测定	40
一、容量法的测定原理	40
二、仪器	42
三、试剂	42
四、测定步骤	43
五、聚戊糖的结果计算	44
六、注意事项	44

第八节 木素含量的测定	44
一、木素定量分析的方法和依据	45
二、酸不溶木素(克拉森木素)含量的测定	46
三、酸溶木素含量的测定	49
第九节 果胶和单宁含量的测定	51
一、果胶含量的测定	52
二、单宁含量的测定	55
第十节 纸浆抗碱性和碱溶解度的测定	57
一、纸浆 α -纤维素的测定	58
二、纸浆碱溶解度的测定	60
第十一节 漂白浆还原性能与铜价的测定	63
第十二节 化学浆粘度和聚合度的测定	65
第十三节 功能基含量的测定	73
一、甲氧基含量的测定	74
二、羟基含量的测定	77
三、羧基含量的测定	81
四、羧基和酚羟基含量的同时测定法(非水电导滴定法和非水电位滴定法)	84
五、磺酸基和羧基含量的同时测定法(离子交换法和电导滴定法)	87
主要参考文献	90
第三章 制浆试验及其检测	91
第一节 蒸煮试验及其检测	91
一、原料准备及水分测定	91
二、蒸煮液的配制及其测定	92
三、蒸煮试验设备与操作程序	101
四、蒸煮试验的检测	102
五、蒸煮废液的分析	110
第二节 化学机械法制浆试验及其检测	116
一、试验准备	116
二、化学预处理与磨浆试验用设备及操作程序	116
三、化学机械法制浆试验的检测	118
第三节 纸浆漂白试验及其检测	118
一、浆料准备及水分测定	118
二、漂液的制备及其测定	118
三、漂白试验设备	124
四、漂白试验方案的制定及漂白操作	124
五、漂后残余漂白剂含量的测定	125
六、纸浆白度与返黄值的测定	127
主要参考文献	129

第四章 造纸试验及其检测	130
第一节 打浆试验及其检测	130
一、实验室常用的打浆设备及其操作	130
二、打浆过程中的检测	135
第二节 造纸辅料的检测	144
一、松香、松香胶及松香乳液的分析	144
二、硫酸铝的分析	150
三、造纸填料的分析	153
四、荧光增白剂的分析	157
第三节 纸页的抄造试验	159
一、纸页成形系统及设备	160
二、纸页抄造程序	162
三、多层纸和纸板的实验室抄造	163
第四节 纸张纤维组成的剖析	163
一、纸样的分离	163
二、纤维的观察鉴别	165
三、纤维配比的测定	166
四、纤维的质量因数及其测定	168
主要参考文献	170
第五章 纸和纸板物理性能的检测	171
第一节 纸和纸板检测的准备	171
一、纸和纸板试样的采取	171
二、试样的处理	172
第二节 纸和纸板纵横向和正反面的测定	173
一、纸和纸板纵横向的测定	173
二、纸和纸板正反面的测定	173
第三节 纸和纸板定量、厚度、紧度和松厚度的测定	174
一、纸和纸板定量的测定	174
二、纸和纸板厚度的测定	175
三、纸和纸板紧度和松厚度的测定	176
第四节 纸和纸板抗张强度和伸长率的测定	177
一、摆锤式拉力机(肖伯尔式)	178
二、恒伸长式拉伸试验仪	180
第五节 纸和纸板撕裂强度的测定	184
一、仪器的结构与工作原理	184
二、仪器的检查及校准	185
三、测定步骤	186
四、数据处理及结果计算	186
第六节 纸和纸板耐破强度的测定	187

一、仪器的结构与工作原理	187
二、仪器的校对	188
三、测定步骤	189
四、数据处理及结果计算	190
第七节 纸和纸板耐折度的测定	190
一、肖伯尔耐折度仪	191
二、MIT 耐折度仪	193
第八节 纸和纸板平滑度的测定	194
一、仪器的结构与工作原理	194
二、仪器的校对	194
三、测定步骤	195
四、数据处理及结果计算	195
第九节 纸和纸板透气度的测定	196
一、肖伯尔(Schopper)型透气度仪	196
二、本特生(Bendtsen)型透气度仪	198
第十节 纸和纸板吸收性的测定	200
一、毛细吸液高度测定法[克列姆(Klemm)法]	200
二、表面吸收速度测定法(高兹纳克法)	201
三、浸水法	202
第十一节 纸和纸板施胶度的测定	203
一、墨水划线法	203
二、液体渗透法	204
第十二节 纸和纸板尘埃度的测定	204
一、测试仪器	205
二、测定步骤	205
三、数据处理及结果计算	205
第十三节 纸和纸板结合强度的测定	206
一、Z 向抗张力的测定	206
二、思考特(Scott)内结合强度的测定	207
第十四节 纸和纸板印刷表面强度的测定	208
一、仪器结构与工作原理	208
二、仪器的校对	209
三、仪器的准备	210
四、测定步骤	210
五、数据处理及结果计算	211
第十五节 纸和纸板湿强度的测定	211
一、按规定时间浸水后耐破度的测定	211
二、按规定时间浸水后抗张强度的测定	212
第十六节 纸张不透明度和透明度的测定	213
一、不透明度的测定	213

二、透明度的测定	214
第十七节 纸张柔软度的测定	215
一、仪器的结构与工作原理	215
二、仪器的特性参数及仪器的校对	215
三、测定步骤	216
四、数据处理及结果计算	217
第十八节 纸板戳穿强度的测定	217
一、仪器的结构与工作原理	217
二、仪器的特性参数及仪器的校对	217
三、测定步骤	218
四、数据处理及结果计算	218
第十九节 纸板挺度的测定	219
一、仪器的结构与工作原理	219
二、仪器的特性参数及仪器的校对	219
三、测定步骤	220
四、数据处理及结果计算	221
第二十节 纸板压缩强度的测定	221
一、纸板环压强度的测定	221
二、瓦楞原纸平压强度的测定	224
三、瓦楞原纸边压强度的测定	225
第二十一节 纸浆实验室纸页物理性能的测定	226
一、实验仪器	226
二、试样的制备与处理	227
三、测定步骤	227
主要参考文献	229
第六章 造纸废水的监测	230
第一节 造纸废水的采集和保存	231
一、造纸废水的采集	231
二、水样的保存及初步处理	231
第二节 造纸废水的检测	231
一、悬浮物(SS)的测定	232
二、pH的测定	232
三、溶解氧(DO)的测定	232
四、五日生化需氧量(BOD ₅)的测定	236
五、化学耗氧量(COD)的测定	237
主要参考文献	242
第七章 制浆造纸化学助剂的分析	243
第一节 蒽醌(AQ)的测定	243

一、纯度的测定	243
二、灰分的测定	244
三、初熔点的测定	244
四、干燥减量的测定	246
第二节 羧甲基纤维素(CMC)的测定	247
一、水分的测定	248
二、有效成分的测定	248
三、钠含量的测定	248
四、粘度的测定	249
五、pH 的测定	250
第三节 淀粉及其衍生物的测定	250
一、水分的测定	250
二、淀粉及其衍生物硫酸化灰分的测定	251
三、淀粉细度的测定	251
四、淀粉及其衍生物粘度的测定	252
五、淀粉及其衍生物酸度的测定	253
六、淀粉及其衍生物氮含量的测定	253
第四节 聚丙烯酰胺(PAM)的测定	255
一、固体物含量的测定	255
二、不溶物含量的测定	256
三、特性粘度的测定	256
四、粉状聚丙烯酰胺溶解速度的测定	261
第五节 聚乙烯醇(PVA)的测定	262
一、挥发分的测定	262
二、氢氧化钠含量的测定	263
三、乙酸钠含量的测定	264
四、聚乙烯醇纯度的测定	265
五、透明度的测定	265
六、平均聚合度的测定	266
第六节 聚合氯化铝(PAC)的测定	267
一、相对密度的测定(密度计法)	268
二、氧化铝(Al_2O_3)含量的测定	269
三、盐基度的测定	269
四、水不溶物含量的测定	270
五、pH 的测定	271
主要参考文献	271
第八章 仪器分析在制浆造纸工业中的应用	272
第一节 紫外—可见光谱分析	273
一、紫外光谱法测定原料和纸浆中木素的含量	274

二、紫外光谱法测定纸浆中己烯糖醛酸含量	276
三、分光光度法测定原料和纸浆中聚戊糖的含量	279
四、纸浆、纸和纸板中铁、铜和锰含量的测定	281
五、纸和纸板中二氧化钛含量的测定(分光光度法)	286
六、分光光度法测定蒸煮废液中残留蒽醌	289
七、分光光度法测定木素中邻醌和共轭羰基含量	291
第二节 红外光谱分析	292
一、木素的红外光谱定性分析	293
二、木素的红外光谱的定量分析	296
三、红外光谱法测定纤维素的结晶度	296
四、纸和纸板中无机填料和无机涂料的定性分析(红外光谱法)	298
第三节 原子吸收光谱分析	299
一、纸浆、纸和纸板中铜含量的测定(火焰原子吸收光谱法)	300
二、纸浆、纸和纸板中铁含量的测定(火焰原子吸收光谱法)	301
三、纸浆、纸和纸板中锰含量的测定(火焰原子吸收光谱法)	302
四、纸浆、纸和纸板中钙、镁含量的测定(火焰原子吸收光谱法)	303
五、纸浆、纸和纸板中钾、钠含量的测定(火焰原子吸收光谱法)	305
六、纸和纸板中二氧化钛含量的测定(火焰原子吸收光谱法)	307
七、纸和纸板中无机填料和无机涂料的定性定量分析(原子吸收光谱法)	308
八、白液和绿液中钠和钾含量的测定(原子吸收光谱法)	309
第四节 气相色谱分析	311
一、气相色谱法测定原料和纸浆中的糖类组分	311
二、气相色谱法测定木素降解产物	317
三、气相色谱法测定树脂组分	319
第五节 液相色谱分析	321
一、液相色谱法测定黑液和纸浆中蒽醌含量	322
二、凝胶渗透色谱法测定纤维素和木素的聚合度分布(或分子量分布)	323
第六节 核磁共振波谱分析	328
一、木素核磁共振氢谱(^1H -NMR)分析	328
二、木素核磁共振碳谱(^{13}C -NMR)分析	330
三、木素核磁共振磷谱(^{31}P -NMR)分析	331
第七节 电子显微镜分析	333
一、植物纤维原料、浆料和纸页的超微结构分析	333
二、扫描电镜—X—射线能谱法(SEM—EDXA)测定原料和浆料纤维细胞 各形态区的木素分布	336
三、纸和纸板中无机填料和无机涂料的定性分析(电子显微镜—X—射线 能谱法,参照	339
第八节 电化学分析	344
一、电位分析	344
二、电导分析	352

主要参考文献	356
附录	358
附录一 分析实验用标准溶液、指示剂和试液的制备	358
附录二 常用基准物质的干燥条件和应用	375
附录三 常用酸碱溶液的相对密度和质量分数与物质的量浓度	376
附录四 国际原子量表	378
附录五 纸、纸板和纸浆性能的国际单位与我国常用单位换算关系	379
附录六 国家标准编号更新对照表	381

第一章 造纸植物纤维原料的生物结构与纤维形态观察

在全球范围内,高等植物大约有三十万种,但是目前用于造纸工业的只有几百种。这不仅要看原料的来源是否丰富、运输是否方便、采购价格是否合理,还要考虑原料中所含纤维的数量和质量。因此对造纸植物纤维原料生物结构与纤维形态进行观察和测定,用以评价植物纤维原料制浆造纸性能的优劣是至关重要的。

第一节 植物纤维原料生物结构的观察

目前研究造纸植物纤维原料生物结构的常用方法是光学显微镜法和电子显微镜法。两种方法的精度不同:在电子显微镜分辨率范围内的结构一般被称为超微结构,常用来进行植物纤维微细结构的研究;光学显微镜法常用来进行生物结构的观察和研究。本节重点介绍后者,电镜分析详见第八章第七节。

一、试验前的准备

(一)切片

(1)选择部分有代表性的原料试样,并适量切取(木材 1cm^3 ,草类等其他原料一小段)。

(2)将试样放入沸水中煮 20 ~ 30min。取出,放入冷水中浸泡 40 ~ 60min。将以上两程序重复多次,直至将试样中的空气排净为止。

(3)对于硬度较大的试样,采用 10% ~ 30% 氢氟酸水溶液浸泡至软化后取出,用清水清洗 1 ~ 2h。对于较软的试样,采用甘油:酒精 = 1:1 的溶液浸泡,进行软化。软化程度为用剃刀能将其切割成片为止。

(4)一般软化后的试样可以用切片机或剃刀沿横向、弦向和径向进行切片,但是有些试样,如草类一般只切横向切片。片的厚度一般约为 $10\mu\text{m}$ 。对于质地软的原料,较难进行切片操作,需要事先进行浸蜡、铸蜡后再进行切片,然后用二甲苯和不同浓度的酒精进行脱蜡。

(二)制片

(1)制片前,先要对薄片进行染色。染色的目的是为了便于观察。常用的染色试剂为 10g/L 的番红水溶液和孔雀绿。针叶材等试样常用前者;竹类等原料要用两者进行二重染色。10g/L 的番红水溶液是用 1g 番红、83mL 苯胺水溶液(80mL 蒸馏水、3mL 苯胺)及 10mL 95% 的酒精配制而成。

(2)将染色后的切片脱水处理,即用浓度逐渐增加(体积分数为 20%、40%、60%、80%、90%、95%、100%)的酒精逐级脱水。时间随酒精浓度的增加而递减,开始为 30min,最后为 3 ~ 5min。

(3)脱水后的试样,要在二甲苯中进行 5 ~ 10min 的透明处理。如果透明程度不够,则可用 100% 酒精再次处理,直至切片在二甲苯中达到较好的透明程度为止。

(4)将经过透明处理的切片置于载玻片中央,切片中要含有少量二甲苯,以防空气进入,滴一滴光学树胶或加拿大胶于切片上,盖上玻片,并用镊子轻轻压平,贴好标签,注明原料名称及

产地等,置于空气洁净处,干燥后即完成制片。

(三)调节显微镜

(1)选择合适的目镜和物镜,安装好后,转动反光镜使其朝向光源,并调整光圈,使显微镜中出现明亮的视场。

(2)将切片放在载物台上,并夹稳。

(3)先转动粗动调节手轮,使镜筒缓缓下降,直到物镜下端靠近切片(要注意观察,千万不可撞坏切片),反向转动粗动调节手轮,使镜筒徐徐上升,同时观察切片,直到看清切片中的物像,再用微动调焦手轮往返转动,调到物像最清晰为止。

(四)观察

观察时,可前后左右移动切片,选不同位置,观察原料的生物结构。

二、植物纤维原料的生物结构

目前造纸工业将植物纤维原料分为三类:第一类是木材纤维类,包括阔叶材和针叶材;第二类是非木材纤维类,包括禾本科类纤维、韧皮纤维、叶纤维及种毛纤维;第三类是半木材纤维类(其纤维形态及生物结构介于木材与禾草类原料之间),这类原料主要指棉秆。这里按此分类扼要介绍在光学显微镜下观察到的几种具有代表性的植物纤维原料的生物结构。

(一)针叶材的生物结构

针叶材的木质部是造纸工业的主要原料。它主要由管胞、木射线管胞和木射线薄壁细胞及围成树脂道的分泌细胞组成,其中管胞是约占 90%~95%的造纸细胞。图 1-1 为我国广东马尾松生物结构图,图 1-2、图 1-3 及图 1-4 分别表示树干的横切面、径切面和弦切面。

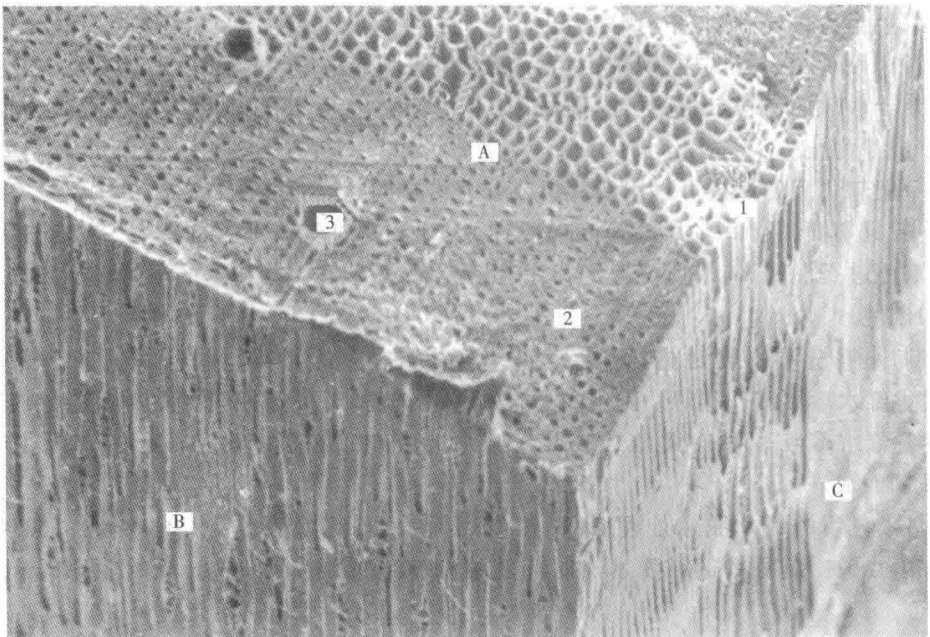


图 1-1 马尾松三向切面 $\times 70$

A—横向 B—弦向 C—径向 1—早材 2—晚材 3—树脂道

如图 1-2 所示,在横切面上可见纵向生长的管胞横向断面。图中 2 为腔小、壁厚、色深的

晚材管胞;图中1为腔大、壁薄、色浅的早材管胞。早材和晚材构成年轮。早材和晚材之间为年轮界限。沿径向生长的细胞为木射线。图中3为纵向树脂道。

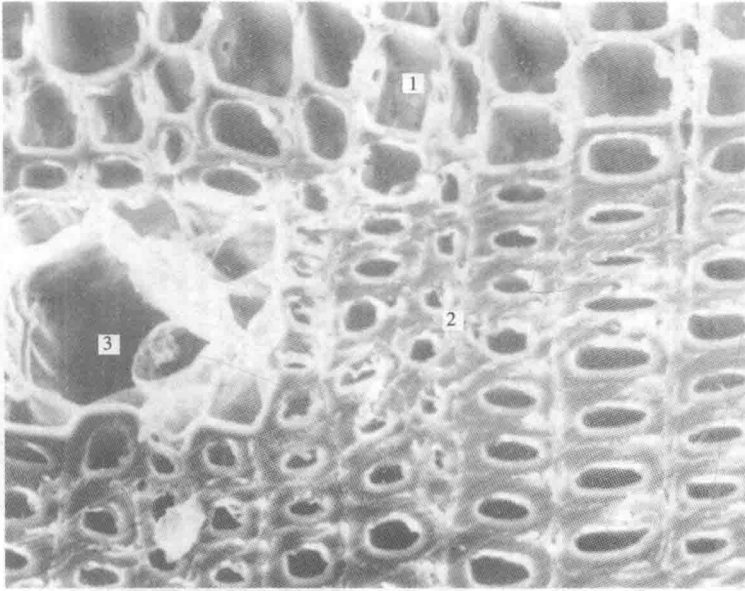


图 1-2 马尾松横切面(SEM × 300)

1—早材 2—晚材 3—树脂道

如图 1-3 所示,在径切面上较粗大的条状细胞为管胞,横向条状细胞为木射线,两者交叉的区域被称为交叉场,在管胞的壁上可见一排排的纹孔。

如图 1-4 所示,在弦切面上可见较粗大的条状细胞为管胞及被横向切断的木射线的横断面组成的一列列圆孔。

针叶材中还含有较多的树脂道,在横、径切面中较大的圆孔为纵向树脂道。图 1-4 上夹在木射线中间、并使木射线形成两列或多列的较大的圆形通道为径向树脂道,两者互相沟通形成了立体的树脂道网。

各种针叶材的生物结构较为相似。图 1-5、图 1-6 及图 1-7 示出了红杉、落叶松和火炬松的横切面。

(二)阔叶材的生物结构

阔叶材的细胞组成要比针叶材复杂。图 1-8 为南京杨的横切面及径切面的两向剖面图,图 1-9 为南京杨横切面,图 1-10 为南京杨弦切面,图 1-11 为杜仲木质部横切面。从图中可见,阔叶材主要由以下几种细胞组成:

导管是阔叶木最明显的特征。在以上各横切面的图上都可以看到大孔径的导管。阔叶木可根据导管的管孔的散布情况的不同,分为散孔材和环孔材。如果在一个年轮内导管直径没有明显差别的称为散孔材;如果在早材中导管的直径较大,而在晚材中导管的直径明显变小,在横切面上形成环形孔状结构者为环孔材。导管的排列也有单孔式与复孔式两种。在横切面上,单孔式导管每组只有一个管孔;复孔式导管每组有两个以上的管孔。导管由许多导管分子组成,其长度一般都小于 1mm。导管分子两端开口,首尾相接,沿树轴方向形成许多通道,以输送树液。

木纤维是造纸用细胞,约占 50% ~ 80%。阔叶材不仅造纸细胞含量比针叶材低,而且木

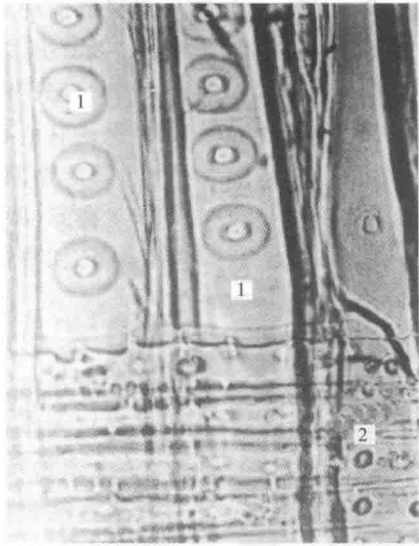


图 1-3 马尾松径切面(LM × 200)

1—纤维管胞上具缘纹孔 2—交叉场纹孔

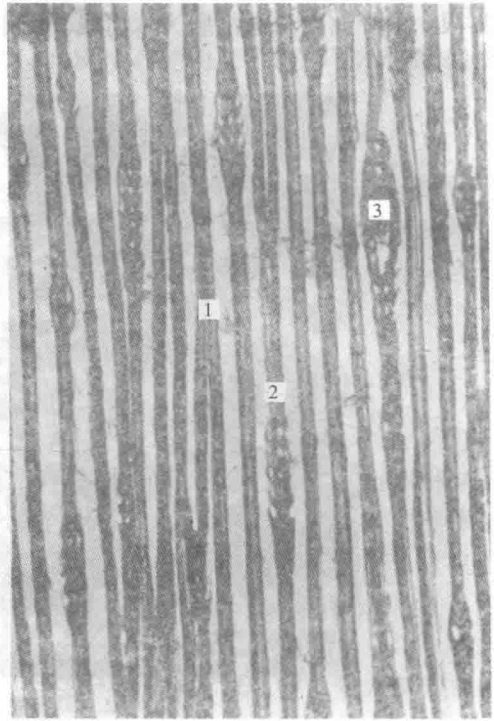


图 1-4 马尾松弦切面 × 100

1—管胞 2—木射线 3—树脂道

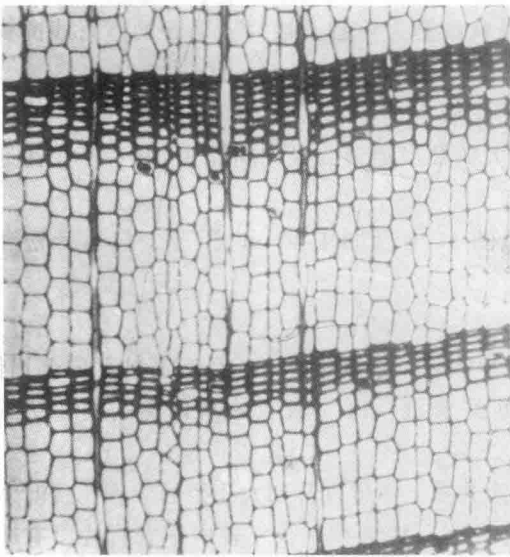


图 1-5 红杉横切面(LM × 65)

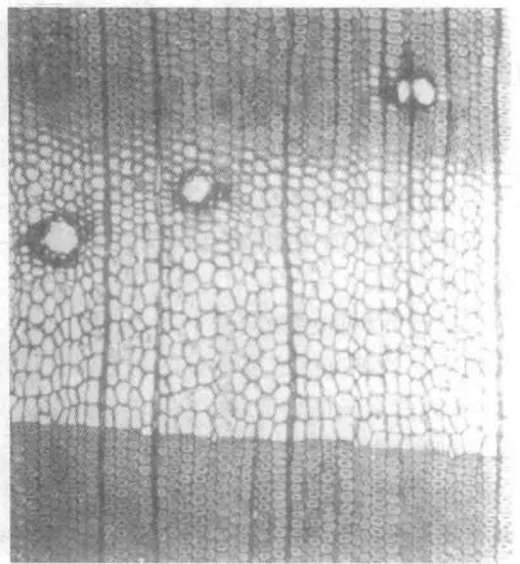


图 1-6 落叶松横切面(LM × 65)

纤维与针叶材的管胞相比又细又短,两端尖锐。在横切面上,它位于导管和条状的木射线之间,呈现出四角形或多角形的不规则的细胞腔和较厚的细胞壁。一般将阔叶材的木纤维分为三类:纹孔较大的而且布满整个细胞的叫管胞,纹孔较小但较少的叫纤维管胞,纹孔不明显或