

WOOD ANATOMY AND ULTRASTRUCTURE
OF GYMNOSPERMOUS WOODS IN CHINA

中国裸子植物材的木材 解剖学及超微构造



周崧 姜笑梅 著
中国林业出版社

中国裸子植物材的木材解剖学
及超微构造

WOOD ANATOMY AND
ULTRASTRUCTURE OF
GYMNOSPERMOUS
WOODS IN CHINA

周 峯 姜笑梅 著

中国林业出版社

(京)新登字033号

中国裸子植物材的木材解剖学及超微构造

周 崑 姜笑梅 著

中国林业出版社出版(北京西城区刘海胡同7号)

新华书店北京发行所发行 中国科学院印刷厂印刷

787mm×1092mm 16开本 印张40.75 插页140页 865千字

1994年10月第1版 1994年10月第1次印刷

印数 1—1200册 定价: 165 元

ISBN 7-5038-1178-1/TB·0233

周崧 1929年出生,中国林业科学研究院木材工业研究所研究员。1953年毕业于安徽大学林学系,一直专门从事木材解剖及超微构造的研究。主持了国家自然科学基金项目“中国裸子植物木材超微构造研究”,获林业部科技进步2等奖。相继发表了以《中国松属木材管胞胞壁瘤状层的电镜观察》为代表的研究论文30余篇。主编了《中国胶合版用材树种及其性质》专著,获林业部科技进步3等奖,参与编写《木材学》、《中国农业百科全书》等4部专著。

姜笑梅 1946年出生,中国林业科学研究院木材工业研究所副研究员。1968年毕业于北京师范大学生物系,1982年获南开大学生物系硕士学位。参加过3项国家自然科学基金项目的研究,其中一项获林业部科技进步2等奖。发表研究论文20余篇。现主持国家“八五”攻关“短周期工业材解剖性质的研究”子专题、世界银行贷款造林技术推广项目“材性研究”课题。

序

木材超微构造的研究是木材解剖学进一步的发展，此类研究我国开始得较晚，至70年代末80年代初，由于有了高分辨率的扫描电镜和透射电镜，才有可能对木材更细微构造进行观察和研究。不同的细微构造决定着木材的不同性质，这些性质又影响着木材的利用，而这些性质的差异又常是直接或间接地归因于细胞壁部分的超微构造，特别是木材与水分之间的关系已被视为各种性质中的关键问题之一，要弄清其中的关系则须经常涉及到木材的超微构造。其次木材在负荷或加工情况下的破坏性状常与木材破坏表面和加工表面的超微构造密切相关，木材在制浆造纸过程中，特别是打浆对木材纤维的超微构造的变化及纤维间结合性状亦是十分重要的课题。因此，可以说，由于对木材细胞壁超微构造研究的深入和发展，使得木材的利用、处理、胶合、涂饰、干燥、机械加工工艺及木材负荷状况下破坏面等的超微构造，比以往有更清楚地了解木材构造的作用。

本书作者在60年代初期，曾对裸子植物木材进行过许多有益的研究，值得提出的如在“中国落叶松属木材解剖性质及其归类”的研究中将落叶松属从木材解剖等的角度分为红杉类和落叶松类两类，并已得到广泛的承认；在“长白落叶松木材构造性质与干缩关系”的研究中较好地从事木材构造性质上，说明落叶松木材的向异性干缩和木材易开裂的原因等。至80年代初，又开始了裸子植物木材超微构造的研究，发表了不少有价值的论文并完成了这本裸子植物木材超微构造的研究专著。这本书较全面而系统地研究了裸子植物材的超微构造和其三维构造特征，它是迄今为止，有关木材超微构造研究的包括裸子植物种类最多的一部专著（包括4纲8目12科42属100种），其中还包括了一些引种栽培和构造特征特殊的属和种类，不仅较全面地描述了这些种类在扫描电镜和透射电镜下的木材解剖特征（或三维构造）和超微构造，而且还对一些构造特征进行了专门的研究和介绍，如管胞瘤状层的形成及有关形态学特征的研究，并确认瘤状层是区分裸子植物材的重要标志之一；细胞壁的形成和纹孔的超微构造和形态发生；中国裸子植物木材具缘纹孔类型的研究和划分及其在植物分类学中的意义；裸子植物木材不同类型交叉场纹孔的形态特征；以及裸子植物木材中径列条的7种异常类型等的建立。

本书是用扫描电镜和透射电镜观察和研究裸子植物木材解剖特征和超微构造的一部专著，国内尚属首次出版，在国际上也是一本较好的著作，它将有助于裸子植物包括现代种和化石种的木材鉴别，同时对木材解剖特征及超微构造特征与木材加工处理中各有关性质的关系做了研究和介绍，为木材利用提供了一些有用的证据；而且还根据这些特征探讨了

2 序

其进化趋势，为裸子植物系统发育和亲缘关系提出了木材方面的科学依据。

本书具有较高的学术水平和较重要的社会效益，对我国木材构造及木材学的发展具有一定的意义，它将是研究部门和教学部门较好的参考书和教科书，也是使用木材部门不可缺少的一本专著。

唐 耀

1989年3月于昆明

前 言

木材细胞壁超微构造的研究开始于1946—1948年，及至50年代初期细胞壁超微构造的研究已引起美国、德国、日本及澳大利亚等许多国家的木材解剖学家及木材工艺学家的极大兴趣，并开始进行这方面的工作，做了不少的研究。

1956年我国第一次编制12年自然科学规划，当时由于世界各国对细胞壁研究已十分活跃，对我国亦产生了影响，国内许多木材解剖学家和木材性质等方面的研究专家，纷纷提出“细胞壁亚微观结构研究”课题的建议，并被正式列入12年自然科学规划中。但事实上，由于我国经济力量不足，科研经费很少，也缺乏人才，设备问题始终得不到解决。因而此项研究完全落空。及至50年代末和60年代初，国家又处于3年自然灾害的困难时期，同样谈不上解决昂贵的研究设备问题。及至60年代中期中国又开始进入十年动乱时期，科学研究处于可要可不要的位置，林业科研包括木材科学的科研工作几乎完全处于停顿状态，要解决设备问题更是不可能。在此期间，一些坚持搞科研工作的人被视为走“白专”道路。即使如此，仍有少数人仍坚持看书查文献，为将来开展工作做些准备，前后十几年的时间白白地浪费过去。1978年党的十一届三中全会以来，随着我国社会主义建设和科学事业的发展，特别是党中央提出将国家建设的重点转移到经济建设中来，和实现祖国四个现代化的宏伟目标，全国人民受到鼓舞。在此种形势下，作者亦深深感到中国木材解剖学的研究事业必须在原有的基础上提高一步，木材细胞壁超微构造的研究空白必须尽快地填补，在一个拥有10亿多人口和960万平方公里的国土上，必须有人进行这方面研究。作者虽然深感自己的基础不足，但同时也感到责任重大。在同志们的鼓励和领导的支持下，没有设备，人员不足，先干起来再说，看来是切合实际的。当时一方面积极争取解决设备（电子显微镜等）问题，一方面进行各方面的准备并开始利用国内其它部门已有的电子显微镜做一些研究工作。经与三机部621研究所联系，利用该所的电镜开始了一些研究。并于1982年在《林业科学》杂志（18卷3期）上发表了作者的第一篇关于木材超微构造方面的论文《中国松属木材管胞瘤状层的电镜观察》，这可能也是我国木材工业部门的第一篇以论文形式发表的木材超微构造文章。文章发表后得到国内外学者的好评和鼓励，特别是得到德国著名木材超微构造和木材防腐学学者，瘤状层的发现者，W. Liese教授的好评。

经过多方面的努力和争取，在林业部、林科院领导和本院的许多专家的支持下，约于1983年我院自荷兰飞利浦公司进口了一台TEM400型透射电子显微镜和一台SEM505型扫描电子显微镜，为进行木材细胞壁超微构造的研究提供了必要条件。

1982—1983年作者有机会去美国超微构造研究中心进修，回国后我们自己的木材超微

构造实验室已筹备就绪。实验室虽然很小（仅14m²左右），设备也不齐全，但总算是有了一个可以进行工作的地方。这些都是经过当时中国科学院林业土壤研究所的芦洪瑞同志和刚刚分配来的植物解剖学研究生姜笑梅等同志，一张桌子、一个瓶子的多方面努力筹建起来的。虽然，直到今天裸子植物木材超微构造的试验观察工作已经完毕（1987年12月），当时我们仍然没有自己的超薄切片机，因此一些必须用超薄切片机进行研究的工作仍未开始。需要指出的是，这类设备在林科院内是有的，但使用起来很不方便，故在本项研究中很少采用超薄切片，深感遗憾。

自1984年开始，作者等即着手为“中国裸子植物木材的超微构造”的研究进行准备，并向中国科学院自然科学基金委员会（现已改名为国家自然科学基金）申请对课题的资助。1985年初课题资助获得批准，“中国裸子植物木材的超微构造”的研究课题得以正式开始进行。

树木一般可分为裸子植物（或称针叶树）和被子植物（又称阔叶树）两大类。裸子植物的胚珠（大孢子囊）裸露，不为子房所包裹，故称裸子植物；被子植物则胚珠（或种子）不裸露，被包于子房内，故称被子植物。裸子植物中除银杏外，大多具有常绿的旱生型的针状树叶，故又有针叶树之称。

裸子植物在植物分类系统中，通常作为一个自然类群出现，即裸子植物门（Gymnospermae），下设纲、目、科、属、种。裸子植物的发生、发展历史悠久，它的最初的代表是出现在3.45—3.95亿年前的古生代泥盆纪，及至石炭纪、二叠纪逐渐发达，在中生代特别繁盛，种类几倍于今日。其中的科达、种子蕨、本奈苏铁等，于三叠纪（？）和白垩纪相继绝灭（徐仁，1980）。这也是由于裸子植物经历了漫长的古生代、中生代、新生代时期，地史气候经过多次变化，裸子植物种系亦随之演变交替，一些老的种类相继绝灭，一些种类仍保留下来，和一些新的种类出现。迄今保留的现代裸子植物门已是一个不很大的植物群团。迄今裸子植物仅保存有不足或近800种，分别隶属于4纲9目12科71属（《中国植物志》7卷1978）。

我国是裸子植物种类较多的国家，资源亦较丰富，现有的裸子植物约236种47变种，分别隶属于4纲8目11科41属，其中包括引种栽培的1科7属51种2变种（《中国植物志》7卷1978），其中不少种类是第三纪的孑遗植物，或称“活化石”植物。

裸子植物多为高大乔木，绝大多数种类是单轴生长的，它的茎干常连续贯穿树冠及至顶枝，整个茎干的尖削度较小，树干多数挺直，利用此类茎干进行木材加工制材常具有最少的加工剩余物。它是当今世界上最重要的工业用材树木，多数是林业经营上的重要用材树种，也是我国木材工业用材的主要部分。

裸子植物树木，经常组成大面积的纯林，或由少数种类组成针叶混交林，或针、阔混交林等。对于这样的森林组成或林分结构进行采伐时比由许多树种组成的林分要有利得多，也包括经济上的利益。

裸子植物的木材种类虽然不是很多，但其资源数量是很丰富的。从我国历年的木材年

采伐量和木材使用量的情况看，虽然裸子植物木材的生产在整个木材生产比例中有下降趋势，但目前仍是以裸子植物木材为主的，特别是我国北方林区。此外，裸子植物木材除具有高而挺直的树干外，还具有比大多数阔叶树材为直的纹理，结构也较均匀，具有长的纤维，材质较柔软和易于加工等木材特征，故常为人们所喜爱，迄今每年仍为人类提供着大量的木材。

裸子植物木材有着十分广阔的用途，由于其茎干长而直，常为人类提供着许多用于房屋建筑、桥梁建筑、铁路建筑及各种矿井建筑所需用的木材，裸子植物木材还是制作长纤维浆的好原料，深受制浆造纸部门的喜爱，特别是制作高强度的纸如水泥袋纸等必须用裸子植物木材制浆，一些用量比较大的新闻纸，虽可用一些双子叶植物木材制浆，但仍需掺用适当比例的裸子植物长纤维浆以保证纸的强度。此外，尚可用于电杆，家具等的制作，亦可用制各种人造板、层积结构材、直升飞机的螺旋桨，木材经胶浸注成形可用制导弹的前锥体和用塑料单体浸注的木材（加压或不加压）再经原子辐射使硬化则制成一些供特殊用途的材料。由于木材的声振特性及其辐射能力，是用以制作一些乐器的根据。此外，木材尚是一种为人们所喜爱的能源材料，特别在一些国家的节假日喜欢在自己家中的壁炉中用木材取暖。因为这不仅是取暖、而且是一种美的享受。何况，木材尚是一种再生资源，只要对林木进行科学管理和合理的经营，是可以做到木材的永续利用的。

但在木材使用中也经常会遇到许多问题，由于木材是一种多孔性和各向异性材料。在沿着木材的三个主要方向试验时，现出不同的物理性质和木材结构，此种现象可能是起因于细胞壁的结构，特别是超微构造。同时，木材是一种吸湿物质，由于大气温度和湿度的变化，木材可以丧失和获得水分，常引起木材尺寸的改变，甚至开裂变形，究其原因也与木材的超微构造有关。木材是可以生物降解的，即通过各种生物，如真菌、细菌和一些昆虫（如白蚁）等的侵袭，使木材的组成成分受到不同程度的降解变质或腐朽。为了防止木材腐朽的发生或延长木材使用年限，常需用一些适合的防腐剂浸注，但浸入深度和浸注的难易程度是依树木种类的不同而有区别的，这不仅与木材渗透性有关，与木材的超微构造亦关系至密。如落叶松、云杉、冷杉等均属难浸注树种，而马尾松则渗透性较好，通过对它们的木材解剖及超微构造的研究，有可能得到关于木材浸注能力优劣原因的满意回答。

此外，关于裸子植物的系统分类和系统发生等问题，迄今似仍有较大的分歧。关于裸子植物的分类系统现在仍有6—7个之多，各个系统之间的分歧已是比较大的。如银杏目的亲缘关系和系统位置问题，红豆杉科、三尖杉科及松杉类等的系统分类和位置问题，各家意见是很不一致的。现代分类学中木材解剖学的巨大作用已得到广泛的承认，木材解剖学的证据已经充满在许多植物分类的现代系统中。作者拟根据木材解剖学及木材超微结构的观点对此进行探讨，并提出我们的看法。

为了使本项研究工作做得更深入一些，不是单纯的种的特征描述，作者在整体设计中，在中国裸子植物木材解剖及超微构造的研究过程中，注意一些可以深入的基础性的课题并进行深入一步的研究。派生的课题包括：①黄花落叶松木材超微结构及其对渗透性

的影响；② 13种国产裸子植物木材径列条的扫描电镜观察；③ 裸子植物木材交叉场纹孔的电镜观察研究；④ 中国裸子植物木材瘤状层的研究；⑤ 中国裸子植物木材中的晶体及硅石；⑥ 中国裸子植物材具缘纹孔结构类型的研究；⑦ 裸子植物木材构造特征的进化趋势等。这种作法，对本项研究中，特别是一些基础工作的深入和提高十分有利，亦有利于人才的培养。

此外，本专著中有关种的扫描电镜和透射电镜下木材特征的描述方式、方法、标准（除少数外，如结构细，指管胞弦向直径 $<30\mu\text{m}$ ，结构中，管胞弦向直径为 $30\sim 45\mu\text{m}$ ，结构粗，管胞弦向直径 $45\mu\text{m}$ 以上）多数是根据我们自己的理解、体会拟定的，当然已参考了一些与现有的裸子植物有关木材解剖的特征资料。

扫描电子显微镜下的特征，包括：① 生长轮；② 管胞；③ 交叉场纹孔；④ 轴向木薄壁组织；木射线；树脂道；其他包括各种晶体、径列条等，其中以交叉场纹孔、螺旋加厚、径列条等与光学显微镜下看到的有较大区别。透射电子显微镜下的特征，主要包括具缘纹孔，分别就纹孔塞、膜缘、具缘纹孔缘等部分进行介绍；交叉场纹孔膜；瘤状层；及细胞壁组成和微纤丝的排列方向等。

由于本研究在透射电子显微镜观察的样品均是一次复型或直接碳复型制成，因而所有特征大小的测量，如瘤状物的大小，膜缘微纤丝束的粗细均不是真正的大小，特征表面均有一层甚薄的碳膜和金属铬的膜，但总的厚度不大。

瘤状物分布的疏密程度，分别为

稀疏：二瘤状物之间间隔 5—7 个以上瘤状物；

中等密度：二瘤状物间隔 2—4 个瘤状物；

较密：二瘤状物间间隔 1—2 个瘤状物；

密集：瘤状物经常相邻接；

群聚状：几个小瘤状物聚合成一个大瘤状物者。

或以数字表示，个数/每100平方微米

膜缘辐射状微纤丝束排列的疏密程度：

密：微孔弦向间隔约 1—2 根微纤丝束宽；

中等密度：微孔弦向间隔约 3—4 根微纤丝束宽；

稀疏：微孔弦向间隔约 5—7 根以上微纤丝束宽。

本专著分为两个主要部分：第一部分包括：木材解剖学和超微构造的研究历史；裸子植物木材在扫描电镜下的木材构造特征；木材细胞壁的超微构造及有关形态发生；及有关木材超微构造研究的电镜技术等 5 章进行介绍。第二部分包括：裸子植物木材构造特征的进化趋势及其在系统分类和系统发育中的意义；中国主要裸子植物木材种的扫描电镜和透射电镜下的构造特征的描述，包括 4 纲 8 目 12 科 42 属 100 种等。

作者分工如下：周崑同志负责主持本项研究，并负责本项研究的设计、计划的编写，及电镜的观察试验等；负责本专著编写提纲的制定，主持全书的撰写和全书的统稿；负责

采伐量和木材使用量的情况看，虽然裸子植物木材的生产在整个木材生产比例中有下降趋势，但目前仍是以裸子植物木材为主的，特别是我国北方林区。此外，裸子植物木材除具有高而挺直的树干外，还具有比大多数阔叶树材为直的纹理，结构也较均匀，具有长的纤维，材质较轻软和易于加工等木材特征，故常为人们所喜爱，迄今每年仍为人类提供着大量的木材。

裸子植物木材有着十分广阔的用途，由于其茎干长而直，常为人类提供着许多用于房屋建筑、桥梁建筑、铁路建筑及各种矿井建筑所需用的木材，裸子植物木材还是制作长纤维浆的好原料，深受制浆造纸部门的喜爱，特别是制作高强度的纸如水泥袋纸等必须用裸子植物木材制浆，一些用量比较大的新闻纸，虽可用一些双子叶植物木材制浆，但仍需掺用适当比例的裸子植物长纤维浆以保证纸的强度。此外，尚可用于电杆，家具等的制作，亦可用制各种人造板、层积结构材、直升飞机的螺旋桨，木材经胶浸注成形可用制导弹的前锥体和用塑料单体浸注的木材（加压或不加压）再经原子辐射使硬化则制成一些供特殊用途的材料。由于木材的声振特性及其辐射能力，是用以制作一些乐器的根据。此外，木材尚是一种为人们所喜爱的能源材料，特别在一些国家的节假日喜欢在自己家中的壁炉中用木材取暖，因为这不仅是取暖，而且是一种美的享受。何况，木材尚是一种再生资源，只要对林木进行科学管理和合理的经营，是可以做到木材的永续利用的。

但在木材使用中也经常会遇到许多问题，由于木材是一种多孔性和各向异性材料。在沿着木材的三个主要方向试验时，现出不同的物理性质和木材结构，此种现象可能是起因于细胞壁的结构，特别是超微构造。同时，木材是一种吸湿物质，由于大气温度和湿度的变化，木材可以丧失和获得水分，常引起木材尺寸的改变，甚至开裂变形，究其原因也与木材的超微构造有关。木材是可以生物降解的，即通过各种生物，如真菌、细菌和一些昆虫（如白蚁）等的侵袭，使木材的组成成分受到不同程度的降解变质或腐朽。为了防止木材腐朽的发生或延长木材使用年限，常需用一些适合的防腐剂浸注，但浸入深度和浸注的难易程度是依树木种类的不同而有区别的，这不仅与木材渗透性有关，与木材的超微构造亦关系至密。如落叶松、云杉、冷杉等均属难浸注树种，而马尾松则渗透性较好，通过对它们的木材解剖及超微构造的研究，有可能得到关于木材浸注能力优劣原因的满意回答。

此外，关于裸子植物的系统分类和系统发生等问题，迄今似仍有较大的分歧。关于裸子植物的分类系统现在仍有6—7个之多，各个系统之间的分歧已是比较大的。如银杏目的亲缘关系和系统位置问题，红豆杉科、三尖杉科及松杉类等的系统分类和位置问题，各家意见是很不一致的。现代分类学中木材解剖学的巨大作用已得到广泛的承认，木材解剖学的证据已经充满在许多植物分类的现代系统中。作者拟根据木材解剖学及木材超微结构的观点对此进行探讨，并提出我们的看法。

为了使本项研究工作做得更深入一些，不是单纯的种的特征描述，作者在整体设计中，在中国裸子植物木材解剖及超微构造的研究过程中，注意一些可以深入的基础性的课题并进行深入一步的研究。派生的课题包括：① 黄花落叶松木材超微结构及其对渗透性

撰写前言、第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章和第 6 章的苏铁科、银杏科、南洋杉科、松科、杉科、柏科等种的描述；姜笑梅同志负责指导并参加部分样品制备，电镜观察试验并负责第 5 章的撰写，及第 6 章的罗汉松科、三尖杉科、红豆杉科、麻黄科、买麻藤科种的描述。此外，丁水汀同志负责样品制备，洪调研同志提供木材标本，院电镜室同志们协助使用电镜，特在此致谢。

周 崧

成稿于1990年12月

目 录

CONTENTS

序

前言

第1章 木材解剖学及超微构造研究史	1
CHAPTER 1 History of wood anatomy and ultrastructure	
1.1 木材解剖学史 (History of wood anatomy)	1
1.1.1 早期的研究 (Early studies)	2
1.1.2 20世纪以来的研究和发展 (The studies and developments since 20 th century).....	3
1.1.3 木材系统分类解剖学 (Systematic wood anatomy)	5
1.1.4 木材系统发育解剖学 (Phylogenetic wood anatomy)	8
1.1.5 木材工艺解剖学 (Technical wood anatomy).....	11
1.2 木材超微构造研究史 (History of wood ultrastructure).....	12
1.2.1 早期历史 (Early history)	12
1.2.2 50年代以来的研究简况 (The brief introduction of the research since fifties)	13
1.2.3 木材性质与超微构造 (Wood properties and ultrastructure).....	15
第2章 裸子植物木材在扫描电子显微镜下的特征	18
CHAPTER 2 The characteristics of wood structure in Gymnospermous wood under SEM	
2.1 扫描电镜的特点及图象上的差异 (The characteristics of scanning electron microscope and their images making the differences to light microscope).....	18
2.1.1 扫描电镜的特点 (The characteristics of scanning electron microscope)	19
2.1.2 图象上的差异 (The differences of images)	19
2.2 扫描电子显微镜下的木材构造特征 (The characteristics of wood structure under SEM)	20
2.2.1 生长轮 (Growth ring)	20
2.2.1.1 生长轮或年轮 (Growth ring or annular ring)	20
2.2.1.2 假生长轮和不连续生长轮(断轮) (False growth ring and discontinuous growth ring)	21
2.2.1.3 早材和晚材 (Early wood and late wood).....	23
2.2.1.4 生长轮和材质 (Growth ring and wood quality)	23

2 目 录

2.2.2 管胞 (Tracheids)	26
2.2.2.1 管胞的排列及形状 (The form and arrangement of tracheid)	28
2.2.2.2 管胞长度及其变异 (The length of tracheids and their variation)	28
2.2.2.3 管胞和细胞胞壁的纹孔和雕纹 (Pits and sculptures of wall of tracheids and cells)	33
2.2.3 交叉场纹孔及纹孔式 (Cross field pit and pitting)	42
2.2.3.1 光学显微镜下交叉场纹孔的形态特征 (The morphological characteristics of cross field pit under light microscope)	43
2.2.3.2 电镜下交叉场纹孔的性状及其变异 (Characteristics and differences of cross field pit under electron microscope)	44
2.2.4 木射线 (Wood or xylem ray)	53
2.2.4.1 木射线组成 (The composition of wood ray)	54
2.2.4.2 木射线类型 (Types of wood ray)	57
2.2.4.3 木射线细胞断面形状 (Shape of cross section of wood ray cell)	58
2.2.5 轴向薄壁组织 (Axial parenchyma)	58
2.2.6 树脂道 (Resin canal or resin duct)	59
2.2.6.1 正常树脂道 (Normal resin canal)	60
2.2.6.2 创伤树脂道 (Traumatic resin canal)	61
2.2.7 索状管胞 (Strand tracheids)	61
2.2.8 径列条及其异常类型 (Trabeculae and their abnormal types)	62
2.2.8.1 中国裸子植物木材中出现过径列条的科、属、种 (Trabeculae presented in species, genera and families of gymnospermous woods in China)	62
2.2.8.2 径列条的形态特征及其异常类型 (The morphological characteristics of trabeculae and their abnormal types)	64
2.2.8.3 径列条的发生及其构造 (The origin and structure of trabeculae)	67
2.2.9 细胞内含物 (Cell inclusions)	69
2.2.9.1 拟侵填体 (Tylosoid)	69
2.2.9.2 晶体 (Crystals)	69
2.2.9.3 硅石 (Silica)	74
2.2.9.4 树脂 (Resin)	75
2.2.9.5 淀粉粒 (Starch grain)	75
2.2.9.6 其他物质 (Other substances)	75
2.2.10 细胞间隙 (Intercellular space)	75
2.2.10.1 轴向胞间隙 (Longitudinal intercellular spaces)	76
2.2.10.2 径向胞间隙 (Radial intercellular spaces)	76
第3章 木材细胞壁的超微构造及其形成	77
CHAPTER 3 Ultrastructure and formation of the wood cell wall	
3.1 基本构造物质 (Basic structural substances)	78

3.1.1 基质(或衬质) (Matrix)	78
3.1.1.1 果胶 (Pectins)	78
3.1.1.2 半纤维素 (Hemicelluloses).....	79
3.1.2 构架物质 (Framework substances)	81
3.1.3 结壳物质 (Encrusting substances)	81
3.1.3.1 木化作用 (Lignification)	81
3.1.3.2 心材材色的形成 (Formation of colored heartwood)	83
3.2 细胞壁的形成与发育 (The formation and development of the cell wall)	84
3.2.1 细胞板及中层的形成 (The formation of cell plate and middle lamella).....	84
3.2.2 初生壁的形成 (The formation of primary wall)	88
3.2.2.1 有序颗粒假说 (The ordered granule hypothesis)	89
3.2.2.2 颗粒移动学说 (The moving particle theory)	91
3.2.2.3 微管或模板假说 (The microtubule or template hypothesis)	91
3.2.2.4 复网生长学说 (Multi-net growth theory)	92
3.2.2.5 初生壁中的非纤维素成分 (The component of non-cellulose in primary wall)	93
3.2.3 次生壁的形成 (The formation of the secondary wall).....	94
3.3 纤丝 (Fibrils)	95
3.3.1 纤丝 (Fibrils)	95
3.3.2 微纤丝 (Microfibrils)	95
3.3.2.1 微纤丝的直径 (The diameter of microfibrils)	96
3.3.2.2 微纤丝横切面的形状 (The shape of microfibrils in cross section).....	96
3.3.3 基本纤丝 (Elementary fibrils)	97
3.3.4 纤维素的化学结构 (The chemical constitution of cellulose)	98
3.3.5 纤维素的物理性质 (The physical properties of cellulose).....	99
3.3.5.1 纤维素的晶体结构 (The crystalline structure of cellulose)	99
3.3.5.2 纤维素的结晶度 (The crystallinity of cellulose)	101
3.4 细胞壁层次和微纤丝排列方向 (Layers of cell wall and microfibrils orientation)	102
3.4.1 胞间层或中层 (Intercellular layer or middle lamella)	103
3.4.2 初生壁 (Primary wall)	103
3.4.3 次生壁 (Secondary wall)	104
3.4.4 三生壁 (Tertiary wall)	106
3.5 纹孔的形态发生和超微构造 (Ultrastructure and morphogenesis of pits)	107
3.5.1 初生纹孔场及细胞间连丝 (Primary pit field and plasmodesmata).....	107
3.5.2 单纹孔 (Simple pit)	108

4 目 录

3.5.3 具缘纹孔 (Bordered pit)	109
3.5.3.1 具缘纹孔的形态发生 (Morphogenesis of bordered pit)	109
3.5.3.2 具缘纹孔的构造及构造类型 (Structure and structural types of bordered pit).....	113
3.5.3.3 各科木材中具缘纹孔类型及其在分类学中的意义 (Types of bordered pit in different families and their significance in taxonomy)	116
3.5.4 附物纹孔 (Vestured pit)	120
3.6 交叉场纹孔膜的超微构造及其变异 (The ultrastructure of cross field pit membrane and its variation)	130
3.6.1 交叉场纹孔膜射线薄壁细胞一侧的性状 (The characteristics of cross field pit membrane on the ray parenchyma cell side).....	131
3.6.2 交叉场纹孔膜管胞一侧的性状 (The characteristics of cross field pit membrane on the tracheid side)	132
3.7 瘤状层 (Warty layer)	133
3.7.1 瘤状层的形成及其形态学特征 (The formation and morphological features of warty layer)	134
3.7.1.1 瘤状层的形成 (The formation of warty layer)	134
3.7.1.2 瘤状层形态特征 (The morphological characteristics of warty layer).....	135
3.7.2 瘤状层的化学组成及有关性状 (The chemical component of warty layer)	139
3.7.3 中国裸子植物木材管胞及导管中的瘤状层 (The warty layer in tracheids and vessels in gymnospermous woods of China)	141
3.7.4 瘤状层在裸子植物木材中的分类学意义 (Taxonomic significance of warty layer in gymnospermous woods)	142
3.8 射线及轴向薄壁组织的细胞壁超微构造 (Ultrastructure of cell wall of ray and axial parenchyma)	148
3.8.1 射线薄壁组织细胞的细胞壁构造 (Cell wall structure in ray parenchyma)	149
3.8.2 轴向薄壁组织细胞的细胞壁构造 (Cell wall structure in axial parenchyma)	151
第4章 裸子植物木材构造特征的进化趋势及其在系统发育上的意义	152
CHAPTER 4 Evolutionary trends and phylogenetic significance in characteristics of wood structure of Gymnosperms	
4.1 裸子植物木材构造特征的进化趋势 (Evolutionary trends in character- istics of wood structure of gymnosperms)	152
4.1.1 生长轮 (Growth ring)	153
4.1.2 管胞 (Tracheid)	153
4.1.2.1 管胞长度 (The length of tracheid).....	154
4.1.2.2 纹孔式 (Pitting)	154
4.1.2.3 具缘纹孔膜的构造类型 (The structural types of bordered pit membrane).....	155
4.1.2.4 眉条 (Crassula(e) or bar(s) of sanio).....	156

4.1.2.5 管胞胞壁的加厚 (Thickening of the tracheid wall)	157
4.1.3 木薄壁组织 (Wood parenchyma).....	158
4.1.4 木射线 (Wood ray)	159
4.1.5 树脂道 (Resin canal)	160
4.1.6 瘤状层 (Warty layer).....	161
4.1.7 裸子植物次生木质部构造特征进化途径提要 (Outline of evolutionary trends in secondary xylem structure characteristics of gymnosperms)	162
4.2 裸子植物木材构造特征在植物分类学和系统发育方面的意义 (Taxonomic and phylogenetic significance in wood structure characteristics of gymnosperms)	163
4.2.1 有代表性的裸子植物的分类系统 (Representative classical systems of gymnosperms)	164
4.2.2 裸子植物中与植物分类和系统发育有关问题的探讨和建议 (Discussion and suggestion of taxonomic of plant and phylogenetic in gymnosperms)	170
第 5 章 木材试样制备的电子显微镜技术	179
CHAPTER 5 Preparative techniques of wood specimens for electron microscope	
5.1 透射电镜的木材试样的制备技术 (Preparative techniques of wood specimens for TEM)	179
5.1.1 透射电镜的特点 (Characteristics of transmission electron microscope).....	179
5.1.2 金属投影法和复型法 (Metal shadowing and replication)	180
5.1.2.1 金属投影法 (Metal shadowing)	180
5.1.2.2 复型法 (Replication)	181
5.1.3 超薄切片技术 (Techniques of ultrathin sections)	184
5.1.3.1 超薄切片的要求 (Quality requirements for ultrathin sections)	184
5.1.3.2 取材 (Sampling)	186
5.1.3.3 固定 (Fixation)	186
5.1.3.4 脱水 (Dehydration).....	186
5.1.3.5 渗透和包埋 (Permeation and embedment)	186
5.1.3.6 超薄切片 (Ultrathin sections)	189
5.2 扫描电镜木材试样制备技术 (Preparative techniques of wood specimens for SEM)	194
5.2.1 扫描电镜的特点 (Characteristics of scanning electron microscope)	194
5.2.2 木材试样的制备 (Preparation of wood specimens)	194
5.2.3 拍摄木材三维构造照片的技术 (Technique for making photograph of the three- dimensional structure of wood).....	195
第 6 章 扫描电镜和透射电镜下裸子植物 100 种的木材解剖特征及超微构造的	