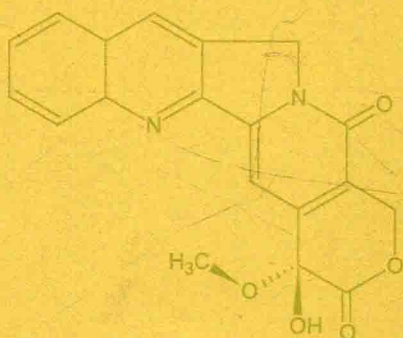
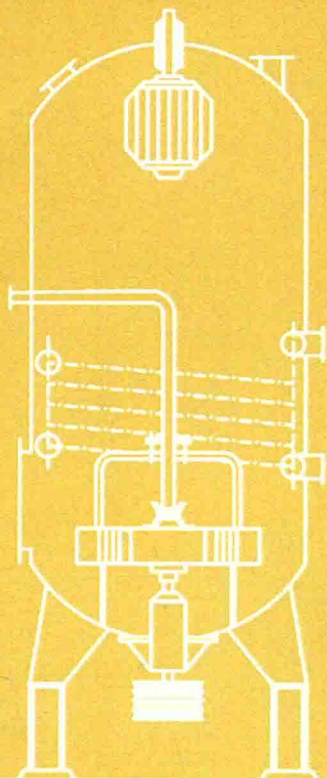




国家林业和草原局普通高等教育“十三五”规划教材
“十三五”江苏省高等学校重点教材
全国高等院校林产化工专业系列教材

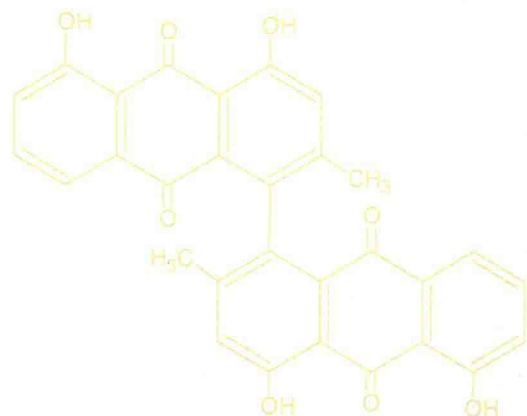


Chemistry and Technology of Forest Products

林产化学工艺学

左宋林 主编

李淑君 张力平 罗金岳 副主编



中国林业出版社
China Forestry Publishing House

国家林业和草原局普通高等教育“十三五”规划教材
“十三五”江苏省高等学校重点教材
全国高等院校林产化工专业系列教材

林产化学工艺学

左宋林 主 编
李淑君 张力平 罗金岳 副主编

中国林业出版社

内容简介

《林产化学工艺学》是我国林产化工专业的核心专业课教材，是国家林业和草原局“十三五”规划教材和“十三五”江苏省高等学校重点教材。根据林产原料的种类及其化学组成与结构特点，本教材全面系统介绍了它们的主要加工方法、原理、技术和应用，全书分为4篇16章。第一篇分为4章，主要介绍松脂的来源、化学组成和加工；第二篇分为4章，主要介绍植物精油、次生代谢产物和林特资源的提取和利用；第三篇分为5章，主要介绍林产原料的热解与活性炭的性能、生产和应用；第四篇分为3章，主要介绍林产原料的水解原理、水解产物的化学和生物化学加工利用。本教材知识全面、系统，实践性强，重点突出，反映了现代林产化工的发展水平。它不仅是林产化工专业本科学生系统学习林产原料加工利用主要知识的核心教材，也是从事林产化工研究、教学与开发的研究生、教师以及科技工作人员全面了解以林产资源为基础的生物质化学加工利用技术的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

林产化学工艺学 / 左宋林主编. —北京: 中国林业出版社, 2019. 3

国家林业和草原局普通高等教育“十三五”规划教材

“十三五”江苏省高等学校重点教材

全国高等院校林产化工专业系列教材

ISBN 978-7-5038-9960-7

I. ①林… II. ①左… III. ①林化产品—工艺学—高等学校—教材 IV. ①TQ351

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 039112 号

国家林业和草原局生态文明教材及林业高校教材建设项目

中国林业出版社·教育分社

策划编辑: 杨长峰 吴 卉 肖基浒

责任编辑: 肖基浒

电 话: (010)83143555

传 真: (010)83143516

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail: jiaocaipublic@163.com 电话: (010)83143520

http: //lycb. forestry. gov. cn

经 销 新华书店

印 刷 三河市祥达印刷包装有限公司

版 次 2019年3月第1版

印 次 2019年3月第1次印刷

开 本 850mm × 1168mm 1/16

印 张 37.25

字 数 954千字

定 价 80.00元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

全国高等院校林产化工专业系列教材
编写指导委员会

主任：王 飞

副主任：蒋建新 李淑君

委员：(按姓氏笔画为序)

王 飞(南京林业大学)

王宗德(江西农业大学)

左宋林(南京林业大学)

李淑君(东北林业大学)

李湘洲(中南林业科技大学)

杨 静(西南林业大学)

黄 彪(福建农林大学)

蒋建新(北京林业大学)

《林产化学工艺学》编写人员

主 编：左宋林

副主编：李淑君 张力平 罗金岳

编写人员：（按姓氏笔画排序）

王宗德（江西农业大学）

左宋林（南京林业大学）

李淑君（东北林业大学）

张力平（北京林业大学）

罗金岳（南京林业大学）

姜 萍（南京林业大学）

韩世岩（东北林业大学）

廖圣良（江西农业大学）

序

随着地球上人口的不断增长和资源的不断消耗,人口、资源和环境之间的矛盾日益突出,作为地球上唯一的可再生含碳资源,生物质资源开发利用受到越来越多的关注。据估计,以高聚糖和木质素为主要组分的植物生物质资源每年以约 1600 多亿吨的速度再生,其蕴含能量是石油年产量的 15~20 倍。因此,利用生物质资源生产人类所需要的燃料、化学品和材料等产品,满足人类日益增长的物质需要,成为现代世界科技和产业发展的主要方向和内容。

林产化学加工是以林业资源及其加工剩余物的加工利用为内涵的工程学科。该学科起源于 20 世纪上半叶,由我国知名的林业教育家、科学家和社会活动家梁希先生在浙江大学和国立中央大学(现南京大学)所创立的森林利用化学研究室。在中华人民共和国成立初期,由于我国石油资源紧缺、石油和煤化工技术落后,依靠化学加工利用森林资源生产人们所必需的化学品,成为我国工业发展的重要组分部分,曾为我国的国民经济建设做出了重要贡献。在 20 世纪 90 年代,随着石油和煤等化石资源的大量开采、煤化工和石油化工产业的建立,我国林产化学加工领域受到影响,发展停滞不前。

在 21 世纪初期,由于生物质资源加工利用的高度重视和快速发展,以林产生物质资源的化学加工利用为内涵的林产化学加工重新焕发出巨大的生机和活力,发展迅速。目前,传统的林产化学加工已发展成为化学和生物化学加工方法并重、化学、化工、生物、医学、材料等学科交融的现代林产化学加工学科,其产品范围包括化学品、能源与材料,服务领域涵盖现代农药、绿色食品、新能源和新材料等新兴产业和行业,在国民经济建设和社会发展中发挥着越来越重要的作用。

我国的林产化工专业由南京林业大学创立于 1952 年,目前已在全国绝大部分的林业院校和部分农业院校设立了林产化工专业,为我国林产化工行业的建立和发展培养了大量的人才,是我国林产化学加工领域发展的基础。教材资源是专业建设和人才培养的核心内容和基础性工作,具有不可替代的作用。在 20 世纪 80 年代和 90 年代,以南京林业大学林产化工专业教材为主体编写了第一套林产化工专业系列教材;此后,尽管部分教材进行了修订或编写,但总体上已不能反映,尤其是 21 世纪以来,林产化学加工工程学科发展的内涵变化和对人才培养的新要求,因此,教育部全国林业工程专业教学指导委员会林产化工分会主任单位南京林业大学组织召开了全国林产化工教材工作会议,召集全国林产化工领域一线的专家、教授规划编写能反映现代林产化学加工工程内涵的系列教材。它们不仅包括原有的《林产化学工艺学》《林产精细化学品工艺学》《林源活性物化学与利用》《林特产品化学与利用》等教材,还包括反映林产化学加工新方向的《生物质能源与化学品》《生物资源生物化学加工利用》《生物基功能材料》《生物质热化学转化与炭材

料》等教材。均列入国家林业和草原局“十三五”规划教材的编写计划。

本套教材全面系统地反映了现代林产化工的知识技术体系，教材特色鲜明，充分体现了基础性、系统性和实践性，既重视学生知识技术体系的构建，又高度重视学生在学习过程中实践和创新能力的培养。是全国林产化工专业建设和综合改革的主要成果之一，并为进一步打造高质量的林产化工精品课程建设奠定了坚实基础，必将促进全国林产化工专业建设的发展。本套教材不仅是林产化工专业学生系统学习林产化工知识技术的书籍，也是从事林产化工研究、教学与开发的研究生、教师以及科技工作人员全面学习掌握以林产资源为基础的生物质化学加工利用知识和技术的参考用书。

最后，借此机会感谢组织和参与本套教材编写的专家和学者，以及中国林业出版社对本套教材的编写和出版所付出的辛勤劳动和心血。

是为序。

中国工程院院士



2019年1月

前 言

自 20 世纪末开始,随着石油和煤等化石资源的大量消耗和环境的不断恶化,人口、资源和环境之间的矛盾日益突出,生物质作为地球上唯一可为人类生存和发展提供生产燃料、化学品和材料等产品的含碳可再生资源,它的开发利用受到世界各地政府和科技工作者前所未有的重视。在此背景下,以林产生物质资源为主要原料的化学加工利用,即林产化工行业迎来新的发展机遇,重新焕发出巨大的生机和活力。以化学加工利用为主的传统林产化工逐渐演变成为化学和生物化学加工利用并重的现代林产化工,并成为生物质化学加工利用中最具生命力和发展前景的主要方向。因此,林产化工的内涵和外延都呈现出显著的变化:在原料和产品方面,从主要以林产特色资源为原料逐渐发展成为以广泛的林产生物质资源为原料的全质化利用,从生产化学品为主逐渐发展成为生产化学品、生物质燃料和材料等全方位产品;在产业和行业方面,从传统林产化工相关产业发展成为涵盖现代农药、医药、绿色食品、新能源和新材料等新兴产业和行业;在学科基础方面,从主要涉及林学和化学化工逐渐拓展为与生物学、医学、材料学等学科交叉融合;在方法和手段方面,从传统林产化工逐渐发展成为与自动化、数字化、信息化等结合的加工方法和手段;在加工水平和效率方面,林产资源的开发水平和利用效率不断提高;在作用和地位方面,现代林产化工在国民经济建设和社会发展过程中发挥着越来越重要的作用,社会影响力持续提高。本教材正是顺应传统林产化工向现代林产化工快速发展而编写的。

随着林产化工内涵的不断发展和服务的产业范围的不断扩大,一方面,新理论、新技术和新产品不断涌现,另一方面,要求现代林产化工高素质人才具有更加丰富和扎实的基础理论知识、更加全面系统的专业知识,以及更强的理论联系实际和解决问题等方面的实践能力和创新能力。近 5 年来,南京林业大学承担了教育部全国林产化工专业综合改革以及江苏省品牌专业建设任务,南京林业大学、东北林业大学和江西农业大学分别开展了林产化工专业的卓越农林人才教育培养计划改革,重点推进了现代林产化工专业的内涵建设、人才实践能力和创新能力的培养模式改革。其中,作为全国林产化工专业的核心专业课程资源建设成为专业建设和人才培养模式改革的重要内容和支撑。2002 年 8 月,南京林业大学安鑫南教授第一次主编出版了《林产化学工艺学》,作为林产化工的核心专业课教材在全国使用,获得了各方好评。但该教材已使用了 10 多年,因此,重新编写该教材已经成为全国林产化工专业建设和人才培养的迫切要求。“十三五”期间,南京林业大学组织全国主要的林产化工专业单位编写《林产化学工艺学》,被列入国家林业和草原局普通高等教育“十三五”规划教材的编写计划,并被江苏省教育厅批准为“十三五”江苏省高等学校重点教材。

为了让读者全面掌握林产化工的知识体系,本教材涵盖林产化工的各个方面,因此,本教材的第一个特点是内容全面系统。在加工原料方面,不仅包括林产原料中有机小分子组分,也包括林产原料中纤维素、半纤维素和木质素等生物高分子组分;既包括了各种特色林产资源,还包括现代林产化工拓展的林产生物质资源。在加工方法方面,不仅有林产原料的化学加工利用方法和技术,也包括生物化学加工利用技术。在生产技术方面,不仅有生产原理等基础知识,也包括主要生产方法的工艺和设备。第二个特点是重点突出。为了提高学生学习效率,在每一章的开始都简要介绍了该章的主要内容和要求掌握的主要内容;在每一章的最后都增加了思考题。第三个特点是理论联系实践的特色鲜明。在知识内容的安排上,按照原料来源、组成与性质、加工方法、生产工艺设备和应用的递进逻辑关系组织知识点,并强调基础化学和化工原理等化学和化工基础知识在专业知识中的运用和体现。同时,高度重视实践过程中实例的讲解和分析。最后,教材体现了现代林产化工的发展趋势和特色,每一章都比较系统地介绍了各种资源的利用现状、采用的加工技术和生产的各类产品,以及对相关领域发展的作用和影响,从而加深对现代林产化工与国民经济和社会发展之间关系的认识。

本教材以林产资源的化学、热化学和生物化学加工为骨架,构建了现代林产化学加工工艺学的知识体系。本教材总计4篇16章,其中第一篇和第二篇主要介绍树木分泌物、次生代谢产物等少量组分提取、分离、纯化和利用的技术、方法和工艺;第三篇介绍林产原料热化学转化和活性炭的基础知识、主要技术、设备与工艺;第四篇介绍林产原料的水解及其化学利用与生物化学利用方法、设备与工艺以及应用。

南京林业大学左宋林教授担任本教材主编,东北林业大学李淑君教授、北京林业大学张力平教授和南京林业大学罗金岳教授担任副主编。第1章至第3章和第5章由南京林业大学罗金岳编写,第4章由江西农业大学王宗德教授和廖圣良助理研究员编写;第6章和第8章由东北林业大学李淑君教授编写,第7章由东北林业大学韩世岩副教授和南京林业大学姜萍副教授编写;第9章至第13章由南京林业大学左宋林教授编写;第14章至第16章由北京林业大学张力平教授编写。统稿工作由南京林业大学左宋林教授完成。感谢南京林业大学王飞教授、中国林业科学研究院林产化学工业研究所王成章研究员、中国林业科学研究院资源昆虫研究所张宏研究员,他们为本教材的编写提供了宝贵意见。

本教材内容涉及范围广,尽管历经3年的组织和编写,但限于编者的水平和能力,难免有不足之处。敬请各位读者提出宝贵意见,以便重印再版时订正,使本教材的质量得到不断提高。

编者

2018年9月

目 录

序
前言

第一篇 松脂加工

第 1 章 松脂形成与采集	(2)
1.1 采脂树种	(2)
1.1.1 马尾松	(3)
1.1.2 云南松	(3)
1.1.3 思茅松	(3)
1.1.4 南亚松	(3)
1.1.5 湿地松	(3)
1.2 松树的树脂道结构	(3)
1.3 松脂的形成与分泌	(6)
1.3.1 松脂的形成	(6)
1.3.2 松脂的分泌	(6)
1.4 松脂采集工艺	(7)
1.4.1 采脂术语	(7)
1.4.2 采脂工具	(8)
1.4.3 采脂工艺	(9)
1.5 影响产脂量的因素	(16)
1.5.1 树种	(17)
1.5.2 树干的直径和树龄	(17)
1.5.3 空气湿度与土壤水分	(17)
1.5.4 气温与季节	(17)
1.5.5 树木生长情况与环境条件	(18)
1.5.6 采脂对树木生长和木材性质的影响	(18)
1.6 松脂的分级标准与储运	(18)
1.6.1 松脂的质量标准	(18)
1.6.2 松脂的储运	(19)
第 2 章 松脂化学基础	(21)
2.1 松脂的组成与性质	(21)
2.1.1 松脂的一般性状	(21)

2.1.2	松脂的组成	(21)
2.2	松节油的组成与性质	(26)
2.2.1	脂松节油的组成	(26)
2.2.2	松节油的性质	(29)
2.3	松香的组成与性质	(36)
2.3.1	松香的组成	(36)
2.3.2	松香的性质	(42)
第3章	松脂加工工艺	(56)
3.1	水蒸气蒸馏的基本原理	(56)
3.2	松脂加工工艺流程	(59)
3.2.1	连续式水蒸气蒸馏法	(59)
3.2.2	间歇式水蒸气蒸馏法	(61)
3.2.3	简易蒸汽法	(63)
3.2.4	滴水法	(63)
3.2.5	CO ₂ 或N ₂ 循环活气法	(64)
3.2.6	溶剂沉淀分离法	(65)
3.2.7	国外松脂加工工艺流程	(65)
3.3	松脂加工工艺与设备	(67)
3.3.1	松脂在工厂中的贮存与输送	(68)
3.3.2	松脂的溶解	(72)
3.3.3	溶解脂液的净制	(78)
3.3.4	净制脂液的蒸馏	(88)
3.3.5	滴水法松脂加工工艺	(97)
3.3.6	产品的包装与贮存	(99)
3.3.7	松脂加工厂的技术经济指标	(101)
3.4	影响松香、松节油产品质量的因素	(102)
3.4.1	松香、松节油质量指标	(102)
3.4.2	影响脂松香质量指标的因素	(102)
3.4.3	松香结晶及其防止	(106)
3.4.4	影响脂松节油产品质量的因素	(111)
3.5	松脂加工废水处理	(111)
3.5.1	松脂加工废水特征	(111)
3.5.2	松脂加工废水治理技术	(111)
第4章	硫酸盐松节油和木浆浮油加工	(116)
4.1	硫酸盐松节油的加工与应用	(117)
4.1.1	粗硫酸盐松节油的回收	(117)
4.1.2	粗硫酸盐松节油的精制	(119)
4.1.3	硫酸盐松节油的应用	(121)

4.2	木浆浮油的加工与应用	(122)
4.2.1	粗木浆浮油的组成与应用	(122)
4.2.2	粗木浆浮油的提取与精制分离	(126)
4.2.3	精制分离产品的组成与应用	(135)
4.3	木浆浮油中植物甾醇的提取与应用	(138)
4.3.1	木浆浮油中植物甾醇的组成	(138)
4.3.2	植物甾醇的提取	(139)
4.3.3	植物甾醇的应用	(140)

第二篇 林产原料提取利用

第5章	植物精油加工	(144)
5.1	我国植物精油资源及其主要品种	(144)
5.2	植物精油的发展历史和现状	(149)
5.2.1	发展历史	(149)
5.2.2	中国现状	(150)
5.3	植物精油的应用	(150)
5.3.1	植物精油在杀虫方面的应用	(150)
5.3.2	植物精油在抗菌方面的应用	(151)
5.3.3	植物精油在医学方面的应用	(151)
5.3.4	植物精油在美容护肤品中的应用	(152)
5.4	植物精油化学基础	(152)
5.4.1	精油在植物体内的分布及分泌	(152)
5.4.2	植物精油的化学成分	(154)
5.5	植物精油的加工方法	(162)
5.5.1	植物精油加工方法的选择	(162)
5.5.2	原料的贮存与预处理	(163)
5.5.3	水蒸气蒸馏法	(164)
5.5.4	溶剂浸提法	(167)
5.5.5	榨磨法	(180)
5.5.6	吸附法	(184)
5.5.7	超临界流体萃取法	(188)
5.5.8	原油精制、成品包装及贮运	(189)
5.6	我国主要的植物精油生产	(192)
5.6.1	松节油	(192)
5.6.2	柏木油	(192)
5.6.3	樟脑油	(193)
5.6.4	中国肉桂油	(196)
5.6.5	八角茴香油	(198)
5.6.6	山苍子油	(199)
5.6.7	桉叶油	(200)

5.6.8	甜橙油	(202)
5.6.9	茉莉浸膏	(203)
第6章	植物单宁提取	(206)
6.1	植物单宁及其分类	(206)
6.1.1	植物单宁的通性	(206)
6.1.2	植物单宁的分类	(207)
6.2	植物单宁化学基础	(208)
6.2.1	缩合单宁	(208)
6.2.2	水解单宁	(223)
6.3	单宁的提取与分离	(229)
6.3.1	单宁的提取	(229)
6.3.2	单宁的分离和纯化	(230)
6.3.3	单宁的定性鉴定及定量测定	(233)
6.3.4	单宁化学结构的研究方法	(234)
6.4	栲胶及其生产工艺过程	(237)
6.4.1	栲胶原料	(237)
6.4.2	栲胶的组成及其理化性质	(239)
6.4.3	栲胶生产工艺过程	(243)
6.4.4	没食子酸及其生产工艺	(253)
6.5	单宁的用途	(254)
6.5.1	单宁在皮革鞣制中的应用	(255)
6.5.2	单宁在食品中的应用	(257)
6.5.3	单宁在医药工业中的应用	(259)
6.5.4	木工胶黏剂	(261)
第7章	林产活性物质提取	(263)
7.1	林产原料活性物质提取的基本工艺流程	(263)
7.1.1	原料的采集	(263)
7.1.2	原料的预处理	(264)
7.1.3	活性物质的提取	(265)
7.1.4	活性物质的分离纯化	(266)
7.1.5	活性物质的干燥	(269)
7.2	黄酮类化合物	(270)
7.2.1	黄酮化合物的结构分类	(270)
7.2.2	黄酮化合物的性质	(272)
7.2.3	黄酮化合物的提取	(274)
7.2.4	黄酮化合物的分离	(275)
7.2.5	银杏叶中黄酮化合物的提取分离工艺	(277)
7.2.6	黄酮化合物的生物活性及应用	(278)

7.3	活性多糖类化合物	(279)
7.3.1	多糖化合物的结构分类	(279)
7.3.2	多糖化合物的性质	(279)
7.3.3	多糖化合物的提取与分离	(280)
7.3.4	落叶松中阿拉伯半乳聚糖的提取分离工艺	(280)
7.3.5	多糖化合物的生物活性及应用	(281)
7.4	生物碱类化合物	(282)
7.4.1	生物碱化合物的结构和分类	(282)
7.4.2	生物碱化合物的性质	(286)
7.4.3	生物碱化合物的提取与分离	(288)
7.4.4	三颗针中小檗碱的提取分离工艺	(289)
7.4.5	生物碱化合物的生物活性及应用	(289)
7.5	苯丙素类化合物	(290)
7.5.1	香豆素类化合物	(291)
7.5.2	木脂素类化合物	(294)
7.6	醌类化合物	(297)
7.6.1	醌类化合物的结构分类	(297)
7.6.2	醌类化合物的性质	(299)
7.6.3	醌类化合物的提取分离	(300)
7.6.4	醌类化合物的生物活性及应用	(301)
第8章	林特资源提取	(303)
8.1	生漆	(303)
8.1.1	中国漆树资源	(303)
8.1.2	生漆采割与萃取	(303)
8.1.3	生漆的组成与性质	(303)
8.1.4	生漆的致敏性质	(309)
8.1.5	生漆的加工	(309)
8.1.6	生漆的产品和应用	(310)
8.2	紫胶	(310)
8.2.1	紫胶虫和紫胶原胶	(310)
8.2.2	紫胶的组成及理化性质	(311)
8.2.3	紫胶的加工	(314)
8.2.4	紫胶产品的理化常数	(317)
8.2.5	紫胶的利用	(318)
8.3	天然橡胶	(319)
8.3.1	天然橡胶的产胶植物	(319)
8.3.2	三叶橡胶的加工及性能	(320)
8.3.3	银胶菊橡胶的制备及性能	(329)
8.3.4	蒲公英橡胶的制备及性能	(330)

8.4 植物色素	(332)
8.4.1 植物色素生产的原料	(332)
8.4.2 植物色素的加工	(333)
8.4.3 植物色素的精制	(335)

第三篇 林产原料热解利用

第9章 林产原料热解基础知识	(340)
9.1 林产原料的种类、结构与化学组成	(340)
9.1.1 林产原料的种类与特点	(340)
9.1.2 植物细胞壁的基本结构与化学组成	(341)
9.2 热解基本概念	(342)
9.3 林产植物原料的干燥	(342)
9.3.1 林产植物原料的水分及含水率	(343)
9.3.2 林产原料干燥的基本过程、方法与装置	(343)
9.4 林产原料的热解	(346)
9.4.1 林产原料热解的理论基础	(346)
9.4.2 木材热解的四个阶段	(346)
9.4.3 热解过程中林产原料的物理性质与形态变化	(348)
9.4.4 林产原料的热解产物	(349)
9.5 林产原料主要高分子组分的热解	(351)
9.5.1 纤维素的热解	(351)
9.5.2 半纤维素的热分解	(353)
9.5.3 木质素的热分解	(354)
9.5.4 林产原料的热解	(354)
9.6 影响林产原料热解的主要因素	(355)
9.6.1 林产原料的性质	(355)
9.6.2 热解温度	(356)
9.6.3 升温速度	(357)
9.6.4 热解压力	(357)
9.6.5 热解气氛	(358)
9.6.6 热解溶剂	(358)
9.6.7 催化剂或添加剂的影响	(359)
第10章 林产原料热解工艺与设备	(361)
10.1 热解方式	(361)
10.1.1 按热解产物分类	(361)
10.1.2 按热解条件分类	(362)
10.2 林产原料的热解气化	(362)
10.2.1 气化技术的发展历史	(362)
10.2.2 热解气化技术分类	(362)

10.2.3	热解气化原理	(363)
10.2.4	热解气化的典型工艺	(364)
10.2.5	林产原料热解气化过程的当量比	(366)
10.3	林产原料的热解液化	(367)
10.3.1	快速热解液化	(367)
10.3.2	快速热解液化的典型技术	(367)
10.3.3	高压热解液化	(368)
10.3.4	林产原料热解油的组成与应用	(369)
10.4	林产原料的炭化	(370)
10.4.1	炭化	(370)
10.4.2	炭化窑炉	(370)
10.4.3	生物质炭与木炭的用途	(373)
10.5	干馏装置与工艺	(375)
10.5.1	木材干馏工艺	(375)
10.5.2	明子干馏工艺	(376)
第 11 章	活性炭的结构与性能	(379)
11.1	单质碳材料	(379)
11.1.1	金刚石	(379)
11.1.2	石墨	(380)
11.1.3	富勒烯	(380)
11.1.4	碳纳米管	(380)
11.1.5	石墨烯	(381)
11.1.6	卡宾碳	(382)
11.2	微晶质炭	(382)
11.2.1	微晶质炭的种类	(382)
11.2.2	类石墨微晶	(382)
11.2.3	微晶质炭的微观结构组成	(383)
11.2.4	微晶质炭微观结构的研究手段	(384)
11.3	木炭的组成、微观结构与性能	(384)
11.3.1	化学组成与性质	(384)
11.3.2	炭的物理性能	(388)
11.3.3	木炭质量标准	(391)
11.4	活性炭的微观组织结构	(392)
11.5	活性炭的孔隙结构	(392)
11.5.1	孔隙的形成	(392)
11.5.2	孔隙的形状	(392)
11.5.3	孔隙的尺寸与分类	(393)
11.5.4	各类孔隙的特点和性质	(393)
11.5.5	孔隙结构的表征方法	(394)

11.6	活性炭的化学结构	(396)
11.6.1	活性炭的基本化学结构	(396)
11.6.2	元素组成和存在方式	(396)
11.6.3	活性炭表面官能团	(396)
11.7	活性炭的吸附性能	(398)
11.7.1	吸附	(398)
11.7.2	吸附的作用力和吸附热	(399)
11.7.3	吸附等温线	(400)
11.7.4	吸附等温线方程	(401)
11.8	活性炭吸附的特点与影响因素	(404)
11.8.1	活性炭吸附剂的特点	(404)
11.8.2	活性炭吸附过程的主要影响因素	(405)
11.9	活性炭的主要性能指标	(408)
第12章	活性炭生产方法与工艺设备	(411)
12.1	活性炭的种类、生产原料与方法	(411)
12.1.1	活性炭的种类	(411)
12.1.2	制备活性炭的原料种类和生产方法	(412)
12.2	气体活化法的基础知识	(413)
12.2.1	气体活化法的基本原理	(413)
12.2.2	气体活化法的活化反应	(413)
12.2.3	活化反应动力学	(415)
12.2.4	孔隙结构的形成与发展过程	(417)
12.2.5	气体活化的主要影响因素	(418)
12.3	气体活化法生产活性炭的典型工艺	(420)
12.3.1	气体活化法生产不定型颗粒活性炭	(420)
12.3.2	气体活化法生产粉状活性炭	(429)
12.3.3	气体活化法生产成型颗粒活性炭	(434)
12.4	化学药品活化法生产活性炭	(439)
12.4.1	化学药品活化法	(439)
12.4.2	氯化锌活化法	(440)
12.4.3	磷酸活化法生产活性炭	(460)
12.4.4	碱金属化合物活化法	(463)
第13章	活性炭应用与再生	(467)
13.1	活性炭的应用	(467)
13.1.1	活性炭应用发展历史	(467)
13.1.2	活性炭在气相吸附中的应用	(468)
13.1.3	活性炭在液相吸附中的应用	(471)
13.1.4	活性炭在催化领域的应用	(474)