



可再生能源丛书

# 生物质 热化学转换技术

刘荣厚 牛卫生 张大雷 编著



化学工业出版社

可再生能源丛书

# 生物质热化学转换技术

刘荣厚 牛卫生 张大雷 编著



化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

生物质热化学转换技术/刘荣厚,牛卫生,张大雷  
编著. —北京:化学工业出版社,2005.5

(可再生能源丛书)

ISBN 7-5025-7172-8

I. 生… II. ①刘…②牛…③张… III. 生物能  
源-热化学-转换 IV. TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 054793 号

---

可再生能源丛书

生物质热化学转换技术

刘荣厚 牛卫生 张大雷 编著

责任编辑:侯玉周

文字编辑:孙凤英

责任校对:李林

封面设计:关飞

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

· 购书咨询 (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真 (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 15 $\frac{1}{4}$  字数 294 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7172-8

定 价: 30.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 序

可再生能源，包括太阳能、风能、生物质能、水能、地热能、海洋能，是广泛存在、用之不竭、可以自由索取、最终可依赖的初级能源。直至近二百年化石能源得以大规模开发使用以前，它一直是人类赖以生存与发展的主要能源来源。当前，化石能源与核裂变能已成为最主要的商品能源，可再生能源中只有水能在商品能源中占有明显的份额。自 20 世纪 70 年代开始，人们认识到根据当今化石能源的开发使用力度，它将在几十至一百多年间衰竭，对于人类未来能源可持续供应来说，我们又将重新进入可再生能源为主的新时期。

与化石能源相比，可再生能源具有能量密度低；随着季节、昼夜与气候条件的变化而变化，不连续；难于携带和运输等特点。若要取代化石能源则需解决一系列科学技术问题 and 经济性能问题，整个过程需要长时间的持续努力。可喜的是，近年来，可再生能源的开发利用得到了日益增强的重视与支持，取得了一些重要的进展，大大增强了人类在化石能源衰竭后仍能依赖可再生能源可持续发展的信心。

化学工业出版社组织出版的《可再生能源丛书》，由各领域的知名专家编写，将为广大读者提供有关知识、进展情况和今后工作的方向，动员大家来更好地参与和支持开发利用可再生能源的伟大事业。相信定会受到大家的欢迎，取得预期的效果。

**中国科学院院士、中国太阳能学会名誉理事长**

**严陆光**

**2004 年 10 月**

**于北京**

# 前 言

能源消耗的迅速增长，矿物燃料资源储量的有限性、不可再生性，特别是矿物能源利用所带来的严重的环境污染，使得人们越来越重视可再生清洁能源的开发和利用。在各种可再生能源资源中，生物质能是地球上惟一能够固定碳的清洁的可再生能源，它量大面广，开发潜力巨大。

生物质热化学转换技术包括直接燃烧、气化、热裂解和液化技术，除了能够直接提供热能外，还能以连续的工艺和工厂化的生产方式，将低品位的生物质转化为高品位的易储存、易运输、能量密度高且具有商业价值的固态、液态及气态燃料，以及热能、电能等能源产品。因此生物质热化学转换技术和产品具有极大的潜在市场，成为世界、特别是我国发展多元化清洁能源战略的重要组成部分。

本书在参考国内外大量资料的基础上，根据编著者多年的研究成果和经验，结合当今世界生物质能领域的研究发展前沿，系统地阐述了生物质热化学转换技术原理、工艺、设备及其应用，希望能对我国可再生能源研究、开发、推广、应用和管理产生有益的影响，对我国生物质能的研究跟上国际先进水平产生积极作用。本书可供新能源和可再生能源领域的高等院校师生、研究人员、管理人员和工程技术人员参考。

本书由上海交通大学刘荣厚教授、沈阳农业大学牛卫生讲师和辽宁省能源研究所张大雷研究员共同编著。由刘荣厚教授统稿。

特别强调，本书第五章（生物质热裂解机理及反应动力学）及第六章（生物质热裂解液化技术）中大部分内容是国家自然科学基金资助项目（项目编号：50276039）的研究成果。

本书在编写过程中，参考了一些国内外有关资料，在此向各位作者表示深深的谢意。由于书中内容涉及面广，编著者水平有限，难免存在不足之处，欢迎读者批评指正。

编著者

2005年2月28日

## 内 容 提 要

本书是《可再生能源丛书》之一。本书全面系统地介绍了生物质热化学转换技术的概念、分类，生物质的物理化学特性，生物质直接燃烧技术，生物质压缩成型和炭化技术，生物质气化技术，生物质热裂解机理及反应动力学，生物质热裂解液化技术理论与实践等内容，以期对我国可再生能源研究与开发起到积极的推动作用。

本书可供新能源和可再生能源领域的高等院校师生、研究人员、管理人员和工程技术人员参考。

# 目 录

<b>第一章 生物质热化学转换技术概述及特性</b> .....	1
<b>第一节 生物质热化学转换技术概述</b> .....	1
一、开发生物质能的意义.....	1
二、生物质热化学转换技术分类.....	3
<b>第二节 生物质的化学组成</b> .....	4
一、生物质的化学组成.....	4
二、纤维素.....	5
三、半纤维素.....	10
四、木质素.....	13
<b>第三节 生物质燃料的工业分析和基</b> .....	15
一、生物质的工业分析组成和元素分析组成.....	15
二、生物质的工业分析.....	16
三、燃料的基准及不同基成分的换算.....	22
<b>第四节 生物质的元素分析</b> .....	25
一、元素分析.....	25
二、碳、氢含量测定原理.....	25
三、硫含量测定.....	27
四、氮含量测定.....	28
五、磷和钾含量测定.....	28
六、氧含量测定.....	28
<b>第五节 燃料的热值</b> .....	30
一、燃料热值的定义.....	30
二、燃料热值的表示方法.....	30
三、燃料热值的估算.....	33
<b>第六节 生物质的物理特性和热性质</b> .....	34
一、粒度、形状和粒度分布.....	35
二、密度和堆积密度.....	36
三、摩擦和流动特性角.....	37
四、比热容.....	37

五、导热性 .....	37
<b>第二章 生物质的直接燃烧</b> .....	39
第一节 生物质燃烧的反应热力学和化学平衡 .....	39
一、燃烧热力学 .....	39
二、化学反应平衡 .....	39
第二节 生物质燃烧反应动力学 .....	42
一、异相化学反应速度 .....	42
二、生物质的燃烧过程 .....	43
三、完全燃烧的条件 .....	47
第三节 生物质燃烧的物质平衡与能量平衡 .....	47
一、生物质燃烧过程的物质平衡计算 .....	48
二、燃烧装置的热平衡 .....	52
第四节 省柴灶 .....	53
一、我国旧式柴灶存在的弊病 .....	53
二、省柴灶结构 .....	54
三、柴灶的节能途径 .....	55
四、省柴灶的设计 .....	58
五、省柴灶实例 .....	62
第五节 炕连灶和燃池 .....	64
一、炕连灶 .....	64
二、燃池 .....	71
<b>第三章 生物质压缩成型和炭化技术</b> .....	76
第一节 生物质压缩成型的发展 .....	76
一、生物质压缩成型的概念 .....	76
二、生物质压缩成型技术的发展 .....	76
第二节 生物质压缩成型原理 .....	77
一、生物质压缩成型原理 .....	77
二、生物质压缩成型的主要影响因素 .....	79
第三节 压缩成型的工艺与技术 .....	82
一、生物质压缩成型的工艺类型 .....	82
二、生物质压缩成型技术 .....	83
第四节 成型燃料的物理特性及燃料性能 .....	94
一、密度 .....	94
二、耐久性 .....	94
三、热值 .....	95



四、燃烧性能 .....	95
第五节 生物质炭化技术 .....	97
一、概述 .....	97
二、炭化炉的分类、构造及操作运行 .....	97
三、不同炭化炉的性能比较 .....	104
四、实例 .....	105
<b>第四章 生物质气化技术</b> .....	109
第一节 生物质气化技术的发展 .....	109
第二节 生物质气化原理 .....	111
一、生物质气化的反应过程 .....	111
二、气化反应动力学 .....	116
第三节 气化过程的指标及其影响因素 .....	118
一、气化过程的指标 .....	118
二、气化过程中的影响因素 .....	120
第四节 气化工艺、气化设备与工作原理 .....	123
一、气化工艺 .....	123
二、气化设备与工作原理 .....	125
第五节 生物质气化的应用 .....	142
一、集中供气系统 .....	142
二、气化发电系统 .....	147
<b>第五章 生物质热裂解机理及反应动力学</b> .....	153
第一节 生物质热裂解机理及影响因素 .....	153
一、生物质热裂解的概念 .....	153
二、生物质热裂解反应机理 .....	153
三、影响生物质热裂解过程及产物组成的因素 .....	157
第二节 生物质热裂解工艺类型及研究开发现状 .....	160
一、生物质热裂解工艺类型 .....	160
二、生物质热裂解液化技术的工艺流程 .....	160
三、生物质热裂解液化技术研究及开发现状 .....	161
四、生物质热裂解液化反应器的类型 .....	163
第三节 生物质热裂解特性及反应动力学研究 .....	165
一、前言 .....	165
二、生物质热裂解特性 .....	166
三、生物质热裂解反应动力学研究 .....	168
<b>第六章 生物质热裂解液化技术</b> .....	188

第一节 旋转锥反应器生物质闪速热裂解液化装置.....	188
一、旋转锥反应器简要介绍.....	188
二、旋转锥反应器生物质闪速热裂解装置的组成及工作原理.....	188
三、旋转锥反应器生物质闪速热裂解液化物质与能量平衡.....	196
第二节 流化床反应器生物质闪速热裂解液化装置.....	203
一、装置组成及热裂解工艺过程.....	203
二、生物质与沙子混合体系的常温流态化试验（冷态试验）.....	206
三、生物质热裂解液化试验.....	213
第三节 国外典型生物质热裂解液化装置.....	220
一、旋转锥.....	220
二、流化床.....	221
三、循环流化床.....	222
四、引流床.....	224
五、真空移动床.....	225
六、烧蚀反应器.....	226
第四节 生物油的特性.....	228
一、生物油组成成分.....	228
二、生物油的典型特性.....	228
三、生物油的精制.....	230
第五节 生物油的应用.....	232
一、概述.....	232
二、生物油用于燃烧.....	232
三、涡轮机发电.....	232
四、生物油作为柴油机代用燃料.....	233
五、生物油制取化学品.....	235
六、生物油制取胶黏剂.....	235
七、农业废弃物热裂解循环利用制取缓释肥.....	236
八、不可冷凝气体及木炭的应用.....	236
<b>参考文献</b> .....	238

# 第一章 生物质热化学转换 技术概述及特性

## 第一节 生物质热化学转换技术概述

### 一、开发生物质能的意义

#### 1. 能源的重要性

能源是维持和发展社会经济、人类生活及物质文明的最基本因素，人们的各种生产活动和日常生活都离不开能源。随着人类社会的发展，能源消耗量不断增加。尤其是近一百多年来，产业革命后工业的大发展以及全世界人口的增长，使得人类对能源的消耗量急剧增长。可以说，一个国家的生产力能够得以迅速发展、人民生活水平能够得以提高，都要依靠足够的能源来保证。

从 18 世纪第一次产业革命开始，人类便开始大规模地应用各种矿物资源（又称化石能源），现在由于化石能源（如煤、石油、天然气等）的日益减少，出现能源紧张。同时由于利用化石能源带来的环境污染加剧，使地球环境不断恶化。进入 21 世纪，人类已面临严重的能源问题，解决能源短缺问题和能源开发利用中引起的环境污染问题将是人类可持续发展的关键所在。为缓解能源需求的压力，兼顾经济增长和环境保护，能源格局的更新、新能源和可再生能源的开发利用已成为大势所趋。

按能源是否具有“可再生”或“不可耗尽性”划分，可将能源分为不可再生能源和可再生能源两大类。不可再生能源主要指化石能源，包括煤、石油、天然气和核能等。而可再生能源根据世界能源理事会划分，主要包括太阳能、风能、地热能、生物质能、海洋能和水能六大类。新能源和可再生能源资源丰富，分布广，可以再生，开发潜力巨大，是保护生态环境的清洁能源。如将可再生能源加以充分利用，完全可以取代目前使用的化石能源，满足人类需要。从长期的能源发展战略角度来审视，新能源和可再生能源的开发和利用，是“零”排放或“低”排放的技术，是未来可持续发展型能源结构的基础。开发新能源和可再生能源特别是把它们转化为高品位能源，因地制宜，多种能源互补，以逐步减少和替代化石能源的作用，是保护生态环境，走经济社会可持续发展之路的重大措施。化石能源在 21 世纪是一个从兴盛走向衰落，从基本满足人类的需要走向短缺，从疯狂的开采走向理

智开发的过程，据预测 21 世纪下半叶，随着石油和天然气的枯竭，太阳能和生物质能将获得迅速发展。到 2100 年，太阳能和生物质能等可再生能源将占世界一次能源构成的 50%。因此，在 21 世纪，以化石燃料为主体的世界能源系统将转化为以太阳能和生物质能等可再生能源为主体的世界能源系统。

## 2. 生物质资源的价值

在各种可再生能源中，具有广泛使用价值的能源是生物质能，大力开发与有效利用生物质能，对促进自然界生态环境向着良性循环发展具有极大的潜力。生物质是自然界中有生命的可以生长的各种有机物质，包括动植物和微生物。生物质本身具有一定的能量，并可转化成不同形式的能。生物质中可以被人们当作能源加以利用的部分称为生物质能。它是指直接或间接地通过绿色植物的光合作用，把太阳能转化为化学能后固定和储存在生物质内的能量。而作为研究对象的生物质，通常是指农业和林业废弃物，如秸秆、稻壳、锯屑、甘蔗渣、花生壳、动物粪便及城市生活垃圾等。生物质由 C、H、O、N、S、P 等元素组成，被喻为即时利用的绿色煤炭。它具有挥发组分高，炭活性高，硫、氮含量低（含 S 0.1%~1.5%；含 N 0.5%~3%），灰分低（0.1%~3%）的优点。因此生物质能是惟一既具有矿物燃料属性，又可储存、运输、再生、转换的特点，并较少受自然条件制约的能源。所以，生物质能以其不可替代的优势，受到各国的普遍关注，开发利用生物质能资源迫在眉睫。

首先，生物质能具有许多优点。①分布十分广泛，远比石油丰富，可以不断再生。生物质能是地球上最普通的一种可再生能源，它遍布于世界陆地和水域的千万种植物之中，犹如一个巨大的太阳能化工厂，不断地把太阳能转化为化学能，并以有机物的形式储存于植物内部，从而构成一种储量极其丰富的可再生能源——生物质能源。地球每年由光合作用产生的生物质约有 1200 亿吨，其所含能量为目前世界能源消费总量的 5 倍。而生物质能仅作为能源来利用还不到其总量的 1%，但给人们提供的能量却占世界总能耗的 14%。②从生物质能资源中提取或转化得到的能源载体更具有市场竞争力。生物质资源经深层转化后生成的甲醇、汽油、液氢、柴油等燃料不含有害成分，适于内燃机使用，而若从石油或煤中提炼出零排放的液体燃料，其生产成本就会大大增加。③开发生物质能资源，可以促进经济发展，提高就业机会，具有经济与社会的双重效益。生物质能的开发与利用，可以为农村和边远山区、林区就近提供廉价能源，以促进经济的发展和生活的改善。开发生物质能还可增加农村就业力。农业的发展必然会造成劳动力的过剩。因此，保证就业就是繁荣农村的一个重要条件，巴西利用生物质的酒精工业提供了 20 万个工作岗位。④在贫瘠的或被侵蚀的土地上种植能源作物或植被可以改善土壤，改善生态环境，提高土地的利用程度。⑤城市内燃机车辆使用从生物质资源提取或生产出的甲醇、液态氢时，有利于保护环境。在工业

化国家，对生物质能的观念也有了明显变化。过去被看作“穷人的燃料”，现在则看作是对环境、对社会有利的能源，并扩大了对生物质能的开发和利用。生物质含硫和含氮量均较低，灰分份额也很小，燃烧后  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和灰尘排放量比化石燃料要小得多。同时，生物质在其利用过程中，对大气环境的二氧化碳净排放量为零，不会像化石燃料一样引起和加剧温室效应。

由于生物质能具有上述优点，其开发与利用已越来越受到重视。它不仅可以缓解由于经济发展所带来的能源短缺问题，还可以同环境协调发展，具有独特的环境效应。

其次，我国迫切需要发展生物质能。能源对国民经济的发展起着重要作用，农村能源的状况直接影响和制约着农业的发展。当前，我国农村能源分布的不平衡也带来了生态和环境的一系列问题。一方面，大部分地区农村能源短缺，目前我国约有 44.5 万个农村企业和 (6.8~7.5) 亿人口需要使用柴草作为燃料，使用方法仍然是传统炉灶的直接燃烧，热效率不到 10%，生物质能的利用水平很低。而且随着农村经济的发展，农村消费能源的速度增长很快，加重了我国能源短缺的现状。中国的薪炭林面积大约为  $533\text{hm}^2$ ，而森林实际砍伐面积大大超过此数，从而造成森林的过度的樵采，导致森林覆盖面积急剧下降，植被破坏严重，生态环境严重恶化，水土流失加剧，自然灾害频繁。另一方面，由于其他能源进入农村，部分农村（特别是较发达地区的农村）生物质能使用量下降，生物质相对过剩，面临生物质如何处理的问题。特别是近几年来由于农业废弃物的烧荒引起大面积烟雾污染，导致大气质量陡然恶化，严重影响空中和陆地交通的事件也时有报道。因此，无论从解决我国能源短缺问题，还是从生态和环境保护出发，对生物质能转化和利用的研究都是一项迫在眉睫的大课题。

## 二、生物质热化学转换技术分类

### 1. 生物质热化学转换技术的定义

生物质热化学转换技术是指在加热条件下，用化学手段将生物质转换成燃料物质的技术。

### 2. 生物质热化学转换技术的分类

生物质热化学转换可分为直接燃烧、气化、热裂解和加压液化四种技术。各种技术采用各自的设备及运转参数，并产生各自的产物。生物质热化学转换技术及产品如图 1-1 所示。

生物质的直接燃烧是最普通的生物质能转换技术，所谓直接燃烧就是燃料中的可燃成分和氧化剂（一般为空气中的氧气）进行化合的化学反应过程，在反应过程中强烈放出热量，并使燃烧产物的温度升高。其主要目的就是取得热量。

气化，是指将固体或液体燃料转化为气体燃料的热化学过程。生物质气化就是利用空气中的氧气或含氧物质作气化剂，将固体燃料中的碳氧化生成可燃气体



学组成主要有纤维素 (Cellulose)、半纤维素 (Semi-cellulose)、木质素 (Lignin) 和提取物 (Extractives) 等, 这些高分子物质在不同的生物物质、同一生物物质的不同部位分布不同, 甚至有很大差异。因此, 了解生物物质的化学组成及各成分的性质是研究和开发生物质热化学转换技术和工艺的基础理论依据。

生物物质的化学组成可大致分为主要成分 (Major components) 和少量成分 (Minor components) 两种。

主要成分是由纤维素、半纤维素和木质素构成, 存在于细胞壁中, 如图 1-2 所示。

少量成分则是指可以用水、水蒸气或有机溶剂提取出来的物质, 也称“提取物”。这类物质在生物物质中的含量较少, 大部分存在于细胞腔和胞间层中, 所以也称非细胞壁提取物。提取物的组分和含量随生物物质的种类和提取条件而改变。属于提取物的物质很多, 其中重要的有天然树脂、单宁、香精油、色素、木脂素及少量生物碱、果胶、淀粉、蛋白质等。生物物质中除了绝大多数为有机物质外, 尚有极少量无机的矿物元素成分, 如钙 (Ca)、钾 (K)、镁 (Mg)、铁 (Fe) 等, 它们在生物物质热化学转换后, 通常以氧化物的形态存在于灰分中。

不同生物物质的典型化学组成见表 1-1。

表 1-1 不同生物物质的化学组成

/%

类 型	纤 维 素	半 纤 维 素	木 质 素	提 取 物	灰 分
软木	41	24	28	2	0.4
硬木	39	35	20	3	0.3
松树皮	34	16	34	14	2
小麦秸	40	28	17	11	7
稻壳	30	25	12	18	16
泥煤	10	32	44	11	6

生物物质的主要成分, 即细胞壁物质, 属于高分子化合物, 这些高分子化合物相互穿插交织构成复杂的高聚合物体系。要把这些物质彼此分离又不受到破坏是非常困难的。因此, 目前用任何一种方法分离出来的各种组分, 实际上只能代表某一组分的主要部分。

## 二、纤维素

纤维素是自然界中资源最为丰富的碳水化合物, 是植物细胞壁的主要成分。例如木材中纤维素的含量约 40%~55%, 禾本科植物如稻草、芦苇等的茎秆含 40%~50%, 亚麻等韧皮纤维中含 60%~85%, 而棉花中含量则为 88%~90% 以上。因此, 可以说纤维素是自然界最丰富的一种可再生有机资

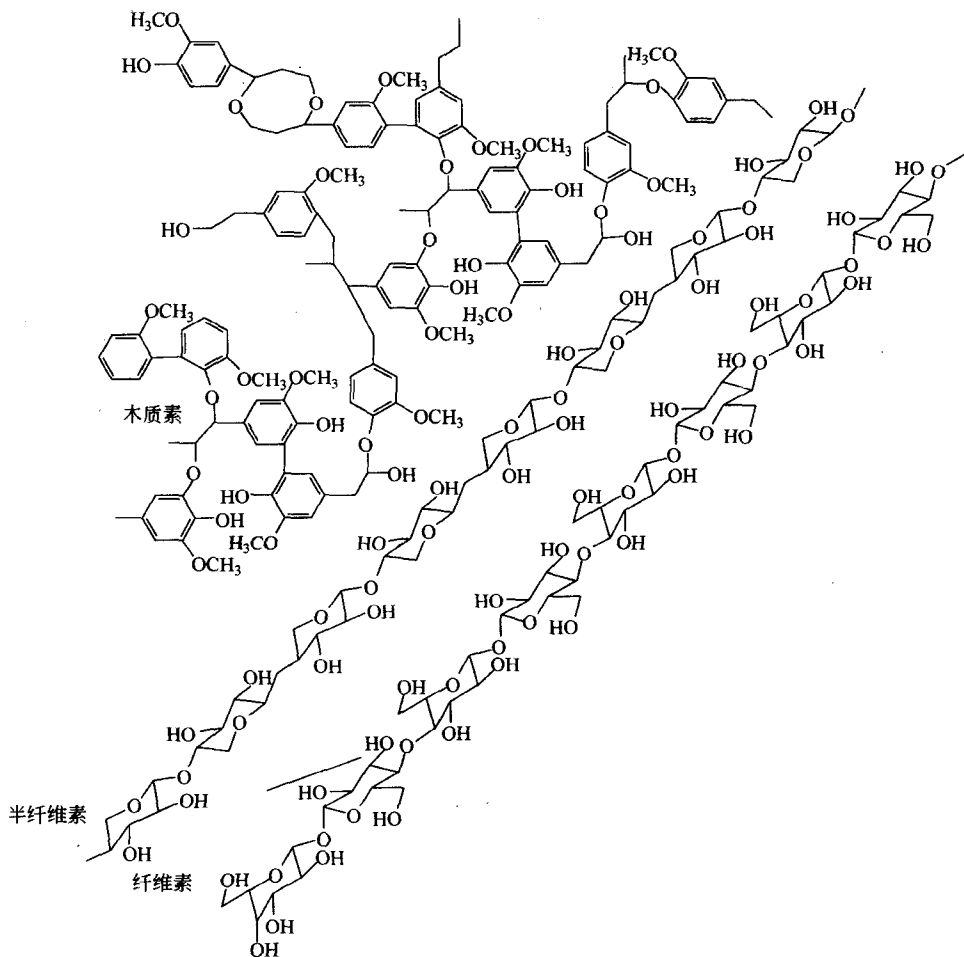


图 1-2 生物质的主要成分

源。为了能有效、合理、充分地利用纤维素资源，需要对其结构和性质等进行了解。

### 1. 纤维素的结构

#### (1) 纤维素大分子的化学结构

纤维素的结构如图 1-3 所示。从图 1-3 可以看出，纤维素是以 D-吡喃式葡萄糖基作为结构基环，基环间以 β-糖苷键连接，是由脱水 D-吡喃式葡萄糖单元通过相邻糖单元的 1 位和 4 位之间的 β-糖苷键连接而成的线形大分子，其分子式是  $(C_6H_{10}O_5)_n$ ，其中  $n$  为聚合度。由于纤维素是高分子化合物，具有大分子的多分散性或者不均一性，因此，测定的聚合度为平均聚合度。如天然棉纤维素大约



由 15300 个葡萄糖基组成，木材纤维素平均聚合度约为 10000。根据不同品种和来源，纤维素的相对分子质量可以在 5000~250000 范围内变化。纤维素大分子的两个末端基性质不同。在一端的葡萄糖碳原子上存在一个苷羟基，当葡萄糖环结构变成开链式时，此羟基即转变成醛基具有还原性，故苷羟基具有潜在还原性，又有隐性醛基之称。另一端在末端的 4 位碳原子上存在仲醇羟基，不具有还原性，故整个大分子具有极性并呈现出方向性。因此，纤维素的反应活性主要取决于葡萄糖单元上的羟基的性质，由于空间位阻等因素，一般苷羟基的反应活性比仲醇羟基高。

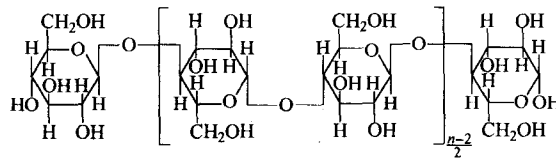


图 1-3 纤维素的结构

## (2) 纤维素的超分子结构

纤维素大分子的葡萄糖基上带有多个羟基，彼此之间由于分子引力和氢键的作用，使分子链之间极易聚集成束，这种束状结构称为超分子结构。纤维素的超分子结构是植物细胞壁的骨架，对植物体有支持和保护作用，它埋藏在半纤维素、果胶和某些蛋白质中，成熟了的细胞壁再与基架物质木质素相结合。

国际上有两种纤维素超分子结构学说：一种是两相结构理论，另一种是无定形结构理论，前一种应用较广。两相结构理论认为纤维素的超分子结构由结晶区和无定形区构成。据 X 射线研究，纤维素大分子的聚集，一部分的链分子彼此间以氢键结合，排列得有规则，彼此间距离最小，结合得最紧密，它呈现清晰的 X 射线衍射，这部分称为结晶区；另一部分的分子链间虽有一定程度的氢键结合，但从空间数量上还没有达到在 X 射线图谱上反映出来的程度，因此链分子排列的规则性较差，不整齐，较松弛，但并不是完全无序的排列，其趋向与纤维主轴平行，这部分称为无定形区。纤维素的聚集状态，即所谓纤维素的超分子结构，就是形成一种由结晶区和无定形区交错结合的体系。结晶区与无定形区之间并没有明显的突变界限，而是逐步过渡的。一个纤维素大分子可以通过几个结晶区和无定形区，最后既可以终止在结晶区，也可以终止在无定形区，如图 1-4 所示。往往纤维素超分子结构中存在的结晶区与无定形区两相直接影响着纤维素的化学反应性能、化学反应的均一性以及产品的使用性能。

根据两相结构理论，纤维素超分子结构中结晶区质量占纤维素总质量的百分