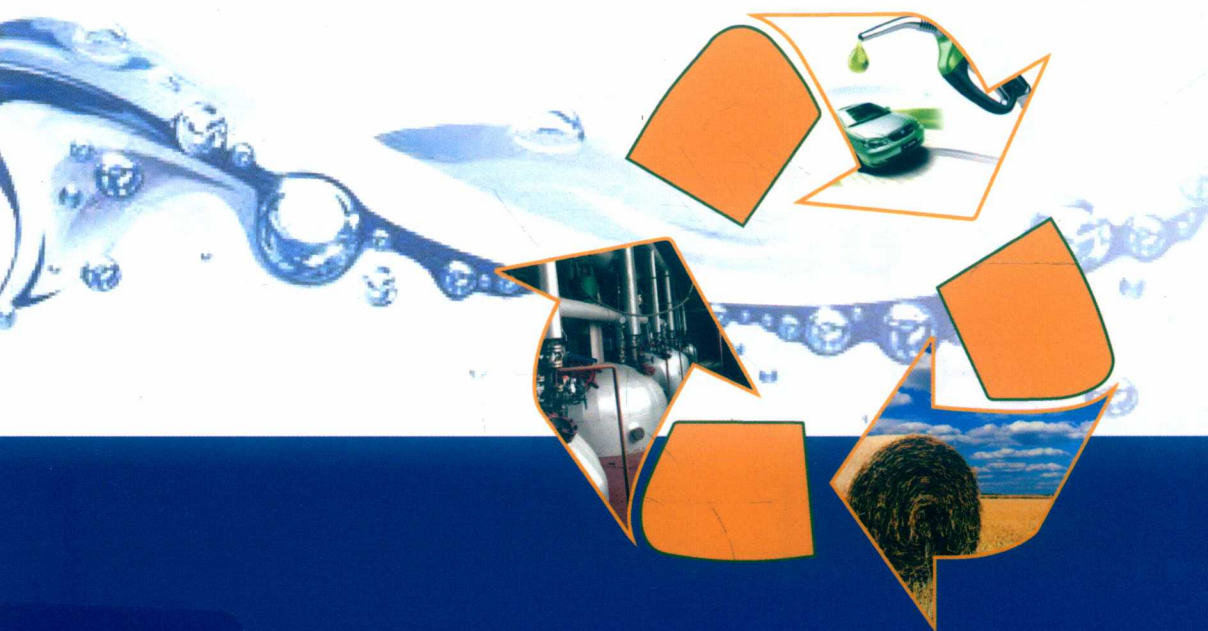


生物质水解转化酯类 燃料及化学品

雷廷宙 林 鹿 王志伟 著



科学出版社

生物质水解转化酯类燃料及化学品

雷廷宙 林 鹿 王志伟 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书较为全面系统地介绍了生物质基酯类燃料及与其相关联的平台化合物(如乙酰丙酸、糠醛、糠醇、5-羟甲基糠醛等)的研究进展情况,并对酯类燃料进行综合评价。全书共6章,包括概述、生物质基乙酰丙酸的制取技术、生物质基乙酰丙酸酯类燃料制取技术、乙酰丙酸中间产物化学品制取技术、酯类车用替代燃料的复配技术和生物质水解转化酯类燃料及化学品的综合评价等。

本书可作为生物质能源、化学化工、全生命周期评价等领域高等院校和科研机构科研工作者和研究生的参考书,也可作为相关行业专业技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

生物质水解转化酯类燃料及化学品/雷廷宙,林鹿,王志伟著. —北京:科学出版社,2019.6

ISBN 978-7-03-060054-7

I. ①生… II. ①雷… ②林… ③王… III. ①生物质—转化—酯—生物燃料—研究 IV. ①TK63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 285818 号

责任编辑:刘翠娜 孙 曼/责任校对:杨 赛

责任印制:师艳茹/封面设计:蓝正设计

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

天津斯科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2019年6月第一次印刷 印张:22 1/2

字数:533 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

早在原始社会，人类就以“钻木取火”的方式使用生物质。随着社会的不断发展进步，生物质能的开发利用成为当今工业化进程的必然要求，能源和化学品的消耗使生物质的研究受到国际社会的广泛关注。据统计，生物质的年储能量约是世界主要燃料消耗量的 10 倍，而作为能源利用的还不足 1%，未被利用的生物质多以自然腐朽分解和人为燃烧的方式将能量和碳资源返回到自然界中，造成了能量和资源的极大浪费，同时也给自然环境增添了负担。近十年来，我国石油进口量逐年攀升，2017 年我国进口原油 4.2 亿 t，对外依存度为 67.4%，2018 年我国原油对外依存度高达 72.3%，远超国际石油安全的警戒线。党的十九大报告指出，推进绿色发展，推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系。因此，通过生物质能源转换技术生产清洁燃料、电力、化学品等，可以减少对化石能源的依赖，缓解能源和环境压力。

乙酰丙酸(酯)及其衍生物能够由生物质类纤维素和半纤维素转化获得，含有酮基、羧基、醛基等高反应活性官能团，是合成高附加值化学品的平台化合物，在燃料、材料、医药、农药、化妆品、涂料、橡胶和表面活性剂等方面有广阔的应用前景。此外，乙酰丙酸乙酯还可以作为一种新型的液体燃料添加剂，因为其和生物柴油性质相似，所以以适当比例添加在汽油或柴油中时，可使汽/柴油的燃烧更加环保。 γ -戊内酯作为一种潜在的平台化合物，可用于食品添加剂、有机中间体、润滑剂、增塑剂、药品和黏合剂等，也是一种重要的绿色环保的汽/柴油添加剂，可由纤维素或半纤维素经催化降解得到，在此过程中， γ -戊内酯保留有适当的官能团，被用作树脂溶剂及各种有关化合物的中间体，制备其他碳基化学品、材料及液体燃料等，具有无毒、可生物降解的特性，被认为是最具应用前景的生物质基平台化合物之一。因此，利用生物质制备酯类燃料及化学品，具有重要的社会和环境意义。

生物质水解转化制备酯类燃料及化学品是一种安全、温和、稳定的生物质利用方式。生物质首先在催化剂的作用下，得到一系列的糖类化合物，再经水解、酯化、醇解、加氢、脱水等过程获得目标产物，反应路径简单，过程安全温和。在《生物质水解转化酯类燃料及化学品》一书中，详细介绍了生物质水解转化制备燃料和化学品的发展现状，从生物质的预处理出发，重点介绍生物质水解的方法研究、催化剂研究、动力学研究和产物分离研究等内容，阐明了生物质水解转化过程中的反应机理，所得产物以乙酰丙酸、乙酰丙酸酯和 γ -戊内酯为主，糠醛、糠醇、5-羟甲基糠醛、甲基四氢呋喃和脂肪族类液体燃料为辅，提出酯类燃料与汽/柴油复配技术，并对生物质制备酯类燃料进行了全生命周期评价。

该书的出版有助于加深生物质研究领域的学生和学者对生物质水解技术的理解，也将拓展他们在酯类燃料领域的知识见解，为进一步推动生物质化学化工的发展提供理论支撑，也为生物质的理论研究与应用探索之间架起了一座桥梁。



中国工程院院士

前 言

生物质来源于光合作用,具有清洁可再生的优点,是目前可再生能源中唯一可转化为固态、液态和气态燃料的碳资源,同时还能燃烧供热、发电和转化为高附加值化学品。生物质能是仅次于石油、天然气和煤炭的第四大能源,是当今人类社会赖以生存的重要能源。我国生物质资源丰富,理论储量在 50 亿 t 左右,主要有农作物秸秆及农产品加工剩余物、林业剩余物、生活垃圾、有机废水和能源植物等,可作为能源化利用的约合 4.6 亿 t 标准煤。因此,相关部门对生物质能的利用极为重视,已连续多次将生物质能利用技术研究列入国家重点攻关项目,如大中型沼气工程、生物质成型燃料、生物质液体燃料、生物质气化与气化发电等,并相继取得了一系列成果。

生物质的三大组分为纤维素、半纤维素和木质素,通过水解、醇解等过程将其转化为乙酰丙酸和 γ -戊内酯等平台化合物,这些平台化合物可以通过酯化、卤化、加氢、氧化脱氢、缩合等方式制取高品位的酯类燃料,同时还可联产高附加值化学品。随着生物质能源化工的发展,化石基产品将逐步被替代,以期能有效缓解能源危机和环境污染问题,维护国家能源安全和可持续发展战略。

为推动生物质能源领域的技术进步,反映生物质液体燃料的研究进展,作者较全面地收集了本领域的有关资料,结合作者近年来的研究成果,著成了《生物质水解转化酯类燃料及化学品》一书。全书共 6 章,首先从生物质能的发展和前景入手,详细介绍了生物质基液体燃料和化学品的研究现状。第 2 章到第 4 章着眼于酯类燃料的制备技术,包括水解、醇解、酯化等过程,分别介绍了乙酰丙酸、乙酰丙酸酯、 γ -戊内酯、糠醛、糠醇等平台化合物的制备方法、原理以及反应动力学。第 5 章则是以酯类燃料的复配技术为主,介绍了酯类化合物与汽/柴油形成复配燃料的理化特性、动力性、经济性和排放性能。最后,第 6 章在前几章内容的基础上,对生物质水解转化酯类燃料及化学品进行综合评价,详细介绍了生命周期评价理论和分析方法。其中,第 1 章由雷廷宙研究员、王志伟研究员和关倩副研究员负责撰写,第 2 章由雷廷宙研究员和徐海燕副研究员负责撰写,第 3 章和第 4 章由林鹿教授、徐海燕副研究员、关倩副研究员和曾宪海教授负责撰写,第 5 章由雷廷宙研究员和王志伟研究员负责撰写,第 6 章由王志伟研究员负责撰写。

在本书成稿之际,首先感谢河南省生物质能源重点实验室里诸多同事的支持和鼓励。同时也非常感谢 863 计划“木质纤维素水解生产柴油代用燃料技术研究”(2007AA05Z404)和“生物质水解制备乙酰丙酸燃料关键技术”(2012AA051802)等项目在研究领域提供的经费资助,保证了本书研究的正常开展。最后,诚挚感谢陈高峰、辛晓菲、杨淼、张孟举、安亮亮、齐天、李学琴、杨延涛等在文献资料收集、插图编排和文字校对上所提供的大力帮助。

生物质水解转化酯类燃料及化学品是一个正在迅速发展的新领域，由于作者水平有限，本书可能还存在一些疏漏和不足，希望相关专家和读者批评指正，以便再版时能进一步修正和完善。

著 者

2019 年 1 月于郑州

目 录

序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 生物质能及其发展	1
1.1.1 生物质能定义及概述	1
1.1.2 生物质能技术领域及应用	1
1.1.3 生物质能发展前景	6
1.2 生物质基液体燃料及其发展	10
1.2.1 生物质基液体燃料研究发展背景	10
1.2.2 生物质基乙酰丙酸及酯类燃料研究现状	15
1.2.3 生物质基液体燃料的发展及前景	25
1.3 生物质基化学品研究	34
1.3.1 糖基化学品及其衍生物	34
1.3.2 淀粉基精细化学品	37
1.3.3 纤维素及其衍生物	45
1.3.4 半纤维素及其衍生物	50
1.3.5 木质素及其衍生物	52
参考文献	55
第 2 章 生物质基乙酰丙酸的制取技术	67
2.1 生物质原料组成	67
2.1.1 纤维素	68
2.1.2 半纤维素	69
2.1.3 木质素	70
2.2 乙酰丙酸的制备方法	71
2.2.1 糠醇催化水解法	71
2.2.2 生物质直接水解法	73
2.2.3 两种乙酰丙酸合成方法对比	75
2.3 水解原料预处理技术研究	76
2.3.1 物理法	77
2.3.2 化学法	78
2.3.3 物理化学法	80
2.3.4 生物法	81
2.4 纤维素水解技术	81
2.4.1 无机酸水解	82
2.4.2 有机酸水解	84
2.4.3 固体酸催化水解	85

2.4.4 酶水解	85
2.4.5 超临界水解	86
2.4.6 离子液体水解	86
2.5 生物质水解制乙酰丙酸技术原理	87
2.5.1 纤维素水解为葡萄糖	87
2.5.2 葡萄糖水解制 HMF	88
2.5.3 HMF 转化为乙酰丙酸	89
2.6 生物质水解制乙酰丙酸反应研究	89
2.6.1 均相催化剂催化生物质制备乙酰丙酸	89
2.6.2 固体酸催化生物质制备乙酰丙酸	91
2.6.3 有机溶剂体系中生物质制备乙酰丙酸	92
2.6.4 离子液体催化生物质制备乙酰丙酸	93
2.7 生物质水解反应动力学研究	93
2.7.1 纤维素水解反应动力学	94
2.7.2 半纤维素水解反应动力学	95
2.8 水解产物的分离和提纯技术	97
2.8.1 减压蒸馏	97
2.8.2 溶剂萃取和反应萃取	97
2.8.3 吸附与离子交换	99
2.8.4 活性炭吸附法	100
参考文献	100
第3章 生物质基乙酰丙酸酯类燃料制取技术	108
3.1 乙酰丙酸酯化法	108
3.2 单糖及多糖制备乙酰丙酸酯技术	110
3.2.1 葡萄糖的催化转化	110
3.2.2 果糖的催化转化	118
3.2.3 多糖的催化转化	123
3.3 纤维素制备乙酰丙酸酯技术	126
3.3.1 纤维素结构及性能	126
3.3.2 纤维素的催化转化技术	130
3.4 生物质制备乙酰丙酸酯技术	138
3.4.1 生物质制备乙酰丙酸酯的研究	138
3.4.2 生物质制备乙酰丙酸酯技术路径	139
3.5 γ -戊内酯的制备技术	145
3.5.1 乙酰丙酸(酯)加氢合成 γ -戊内酯的研究	146
3.5.2 γ -戊内酯的应用研究	155
参考文献	162
第4章 乙酰丙酸中间产物化学品制取技术	171
4.1 愈创木酚和紫丁香醇及其制取技术	171
4.1.1 愈创木酚及其制取技术	171
4.1.2 紫丁香醇及其制取技术	174

4.2 糠醛与糠醇的制取技术	175
4.2.1 糠醛及其制取技术	175
4.2.2 糠醇及其制取技术	187
4.3 5-羟甲基糠醛的制取技术	199
4.3.1 5-羟甲基糠醛合成的催化反应体系	199
4.3.2 5-HMF 合成的溶剂体系	205
4.3.3 催化转化糖类化合物合成 5-HMF 的反应机理	208
4.3.4 5-HMF 合成的影响因素	209
4.4 甲基四氢呋喃的制取技术	211
4.4.1 甲基四氢呋喃的研究进展	212
4.4.2 不同催化剂对合成 2-甲基四氢呋喃及其中间产物的影响	215
4.5 脂肪族类液体燃料	219
参考文献	223
第 5 章 酯类车用替代燃料的复配技术	232
5.1 酯类柴油燃料的理化特性	232
5.1.1 互溶性与低温流动性	234
5.1.2 雾化及蒸发性	237
5.1.3 氧化安定性	250
5.1.4 发火性与热值	252
5.1.5 防腐性与洁净性	258
5.2 酯类燃料动力性、经济性和排放性	272
5.2.1 醇类复配燃料	272
5.2.2 γ -戊内酯柴油复配燃料	285
5.2.3 乙酰丙酸酯类复配燃料	290
5.3 酯类汽油燃料的理化特性	299
5.3.1 互溶性	302
5.3.2 密度	303
5.3.3 低位热值	304
5.3.4 馏程	304
5.3.5 氧化安定性	304
5.4 酯类汽油燃料在点燃式内燃机上的使用特性	305
5.4.1 内燃机常用运行参数基本概念	305
5.4.2 混合燃料使用特性	308
5.5 酯类燃料配方技术	314
5.5.1 配方优选方法	314
5.5.2 配方优选技术	317
5.5.3 配方优选验证	320
参考文献	320
第 6 章 生物质水解转化酯类燃料及化学品的综合评价	323
6.1 生命周期评价理论概述	323
6.1.1 生命周期评价理论	323

6.1.2	生命周期评价的技术框架	323
6.1.3	环境、能源和经济因素确定	324
6.1.4	生命周期分析软件	325
6.2	生物质水解转化酯类燃料及化学品生命周期分析	327
6.2.1	能源与环境分析	327
6.2.2	经济性分析	343
6.3	小结	348
	参考文献	348

第1章 概述

1.1 生物质能及其发展

1.1.1 生物质能定义及概述

生物质是指生物通过土地、水、大气等生长而来的有机物质，它包括植物通过光合作用而产生的木质产物及动物和微生物产生的其他各种有机体组织。生物质有广义和狭义之分。广义的生物质范畴为一切动物、植物、微生物及它们在成长过程中产生的废弃物，有代表性的生物质如农作物及其废弃物、林业及其废弃物、动物粪便等；狭义的生物质主要是指农林业生产过程中除粮食、果实以外的秸秆、树木等木质纤维素，农产品加工业下脚料，农林废弃物及畜牧业生产过程中的禽畜粪便和废弃物等物质^[1]。

生物质能是通过生物把太阳能经有机合成转变为化学能，即将能量储存于生物质内的表现形式。生物质能最基本的合成途径是绿色植物的光合作用，通过光合作用产生的生物质又可加工转变为固态、液态及气态燃料。生物质能作为世界第四大能源，与传统能源的煤炭、石油和天然气不同，可大量地再生。

生物学家的统计研究显示，地球绿色植物每年经光合作用合成的生物质约有 1730 亿 t，其中，地球陆地上的生物质产量高达 1000 亿~1250 亿 $t \cdot a^{-1}$ ，海洋的生物质产量高达 500 亿 $t \cdot a^{-1}$ ^[2]。这些生物质如果全部转化为生物质能，可以达到全球能源总消耗量的数十倍。可见生物质能每年的供给量已经远远超过全世界能源总需求，目前，全球能源消耗平均每年以 3% 的速度递增，随着化石能源资源的逐年减少，生物质能资源巨大的市场潜力凸显出来，在经历了多次世界性石油危机之后，国际上对生物质能的关注和利用达到了一个新高度。

1.1.2 生物质能技术领域及应用

1. 生物质能技术领域

生物质能利用技术可分为生物质发电和供热、液体燃料、气体燃料和成型燃料等(图 1-1)。生物质能在六种可再生能源技术中占有重要的地位，是一种可以收集、储存、运输的，最接近常规化石燃料的可再生能源，在推动低碳经济发展的过程中显示出独特的优势和广阔的发展空间。

作为世界第四大能源，生物质能对温室气体减排和环境保护发挥越来越重要的作用。生物质能技术的发展对促进能源结构优化、保障能源安全、稳定能源价格、维护能源市场正常秩序、节能增效、推动建立可持续发展型能源生产方式和消费模式、有效扩大内需、增加社会就业、优化区域环境、提高农村地区人民生活水平都有着重要的作用。以固体成型燃料为例，现今，各种成型设备已经实现自动化或半自动化生产，不会产生

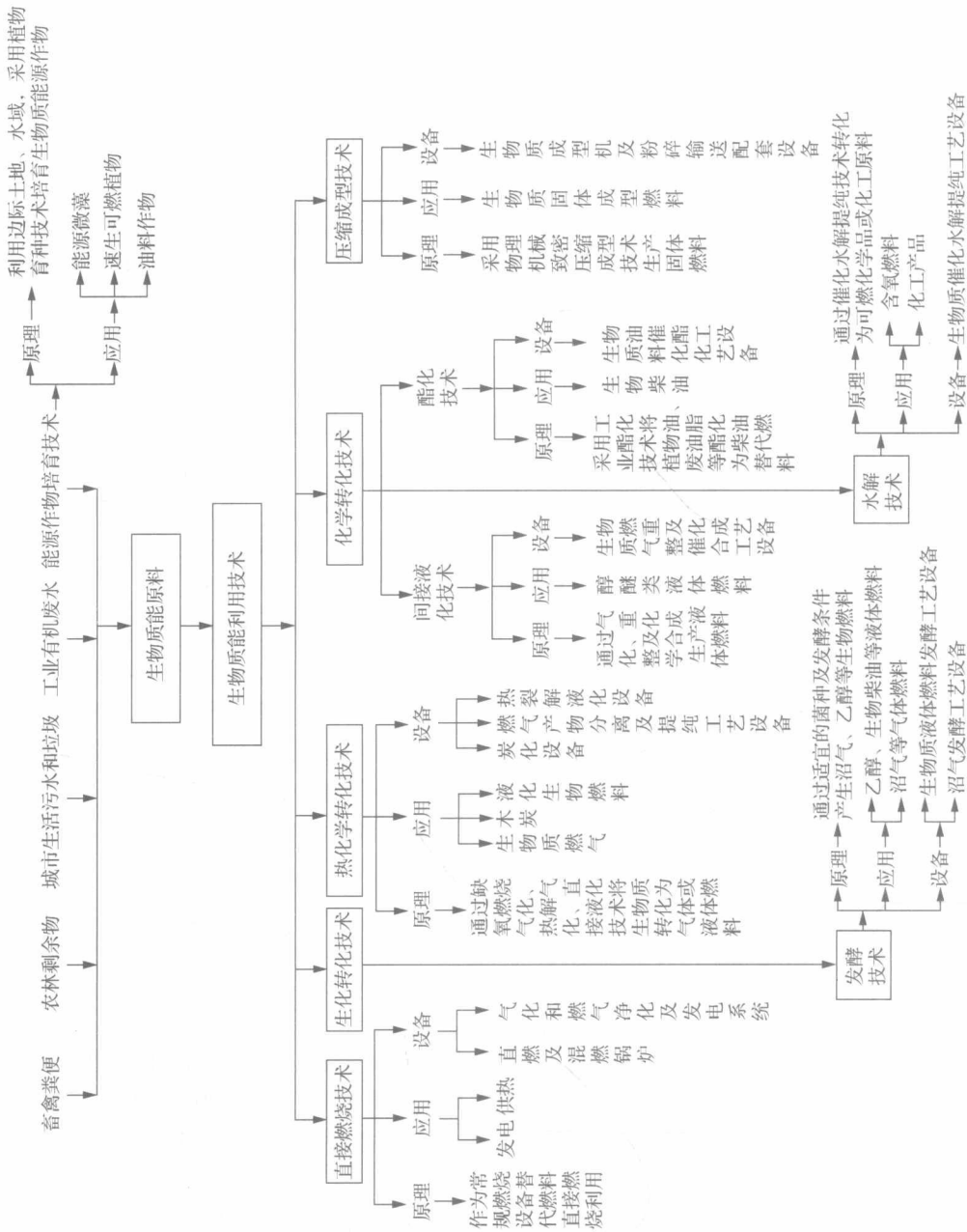


图 1-1 生物质能利用技术构成

有害体或污染物,从生产到运输均具有较高的可靠性与安全性。并且,随着技术的不断进步,成型设备的主要工作部件使用寿命也越来越长,设备生产及稳定性也越来越可靠。目前,液压式成型机易损件的使用寿命已达 1000h 以上,改进后的块状环模成型机的模具寿命可达 800h 以上,粉碎与成型单位产品能耗也降至 $60\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{t}^{-1}$ 以下。生物质成型燃料燃烧后的灰尘及排放指标比煤低,可实现 CO_2 、 SO_2 减排,减少温室效应,有效地保护生态环境。生物质成型燃料进入规模化生产后,不仅环保效益明显,还可安排农民就业,增加收入,经济和社会效益同样显著^[3]。

在热转化方面,生物质能可以直接燃烧或经过转换形成便于储存和运输的固体、气体和液体燃料,可用于以石油、煤炭及天然气为燃料的工业锅炉和窑炉中。随着生物质能源的现代化生产,很多国家面临的废弃物问题可以得到解决,人口增长带来的能源需求问题得到缓解。欧洲一些国家把生物质能技术主要用于燃料和发电,目的是将生物质作为石油和煤的替代燃料。以农作物秸秆为例,秸秆加工设备、锅炉、热风炉、发电设备等都已产业化,同时把秸秆出口到中东一些国家。而美国将秸秆作为重要的工业原料或饲料加工和出口,加工过程实现了全程机械化或工厂化,秸秆在田间的收集方式主要是“秸秆打捆”技术^[4]。纵观全球生物质能发展过程,大体呈现出多元化、综合化、规模化的趋势:燃料乙醇作为生物能源战略重点产业,规模持续发展壮大,作为生物燃料产业的发展基础,原料、生产和利用技术趋于多元化。以纤维素乙醇为主的第二代生物燃料产业化成为技术研发重点,生物质能转化的技术研发力度加大;部分技术已实现或初步实现产业化,一些前沿性技术在形成一定规模的基础上,进入中试或者产业化初级阶段^[5]。

生物质能的应用方式及技术构成较为复杂,可通过液体燃料、固体燃料、燃烧发电、气化供气等多种方式实现应用,技术手段包括热化学转化、生化转化、化学(催化)转化、物理转化(压缩成型)、直接燃烧等,形成的能源产品形式多种多样^[6](图 1-1)。

2. 生物质能应用现状

生物质能应用十分广泛,在工业、农业、制造业等领域,电机发电、供暖、锅炉、日常生活等方面都发挥着重要的作用。生物质能还在纺织、印染、造纸、食品、橡胶、塑料、化工、医药等工业产品加工工艺过程中扮演了重要的角色。现阶段,生物质能的重要研究方向是将可再生的生物质通过处理使其得到高品位的利用,以替代化石能源,因此生物质能的发展前景广阔。同时,由于生物质燃料含硫量和含氮量低,配套专用锅炉可以达到很高的清洁燃烧水平,一般只需要适当除尘即可达到天然气的锅炉排放标准,是国际公认的可再生清洁能源,不会因为大力发展而对环境产生负面的影响^[7]。

生物质能以技术与方法作为其不断发展的动力,在原材料来源基本固定的情况下,改善加工工艺和简化处理工程将是需要花费一定时间研究的课题。因此,立足于国内外生物质能技术发展现状,解决中国生物质能技术发展中的技术问题尤为关键。例如,中国生物质能技术的发展必须进行工程化研究,发展市场应立足于农村,同时需要国家的产业政策支持等。但生物质能也存在一些局限性,例如,生物质成型设备磨损部位材料

的快速磨损问题、热处理工艺、运行参数试验优化、生产系统中的可靠性等关键技术问题需进一步突破,这是最终实现成型燃料产业化所要突破的技术瓶颈^[8]。

随着经济全球化的不断发展,世界煤炭、石油资源被大量使用,随之而来的是全球气温升高,煤炭、石油价格高涨等负面影响,因此,发展生物质能越来越成为全球各个国家的战略性目标。随着规模化农林产业的发展,在生产和加工过程中产生的农林废弃物也越来越多。目前虽然开发和利用农林废弃物等生物质已经引起了人们的广泛关注,但是在很多地方,处理农林废弃物的方法仍然是焚烧和填埋等^[9],农林废弃物的利用率普遍较低。制取生物质液体燃料是目前农林废弃物利用的主要方式之一,因此,有效提高液体燃料产品的品质就成了提高农林废弃物利用率的主要方法。我国针对实际情况,制定了财政补贴、税收减免、优惠贷款、用户补助等一系列扶持政策。从资源状况、国内外技术发展水平来看,目前和今后的一段时间,生物质液体燃料、成型燃料和沼气将是发展较快、应用较广的生物质能源,以高附加值的液体燃料和化学品为目标产物的转化过程将显现出强的生命力。

中国与世界其他国家相比,具有独特的优势,幅员辽阔,并且生物质资源丰富、种类繁多,分布在全国各个省区,具有广阔的发展空间。目前,我国生物质能的发展也具备了一定的规模,并积累了一些经验,有的已经进入产业化阶段。以秸秆综合利用为资源价值的生物质能装备及相关产业,是一种具有可再生性和广泛应用性特征的绿色能源“富矿”^[10]。

3. 生物质能发展优势

生物质能有很多与生俱来的特性,与传统能源相比,具有可再生、清洁低碳、可替代、原料丰富等优势。

生物质是由太阳能到化学能的植物载体,从这个角度看,绿色植物通过光合作用产生的有机化合物将直接储存在生物体内部。由于太阳能源源不断地输送到地球,有生命的植物也将不断地产生新的生物质,生物质能与风能、太阳能无差别地实现了能源的永续利用。我国农林业和畜牧业都是生物质能来源的重要途径,农林产品加工制成可持续利用的生态产品,不仅解决了能源供给问题,还能有效减少农林废弃物的堆积对环境产生的负面影响。不同生物具有生物多样性,具有不同储存形式的生物质能可作为能源可持续发展的稳定来源,不仅如此,由太阳能转化成的化学能来源于自然,消耗于自然,可被环境降解,因此生物质能对资源环境的发展起到了推动和促进作用。

生物质的主要形式为有机化合物,这种新能源中的有害物质含量很低,属于清洁能源。同时,生物质能的转化过程是通过绿色植物的光合作用将二氧化碳和水合成生物质,生物质能的使用过程又生成二氧化碳和水,形成二氧化碳的循环排放过程,能够有效减少二氧化碳的净排放量,降低温室效应。生物质能的开发过程并不影响原有的生态效益和经济效益的发挥,而是通过采集生产剩余物,实现高效率的能源转化。另外,生物质能的发展还可以带动我国广大宜林荒山荒沙地种植能源林,既不占用耕地,又可以恢复植被;并且以灌木为主的能源林收割后还能自然萌生更新,是能源建设和生态建设的最佳结合。从一个国家或地区的角度来看,生物质能是林业管理和土地利用总系统中的重

要组成部分,可以对林业和能源产业同时起到促进作用。因此,生物质能的开发将成为农业、林业等方面可持续经营和管理的一项基本动力。

生物质资源丰富,分布广泛。世界自然基金会预计,全球生物质能潜在的可利用量达 $350\text{EJ}\cdot\text{a}^{-1}$ (约合 82.12 亿 t 标准油,相当于 2016 年全球能源消耗量的 62%)。另外,根据我国《可再生能源中长期发展规划》统计,目前我国生物质资源每年可转换为能源的潜力约 5 亿 t 标准煤,今后随着造林面积的扩大和经济社会的发展,我国生物质这种新能源每年转换的潜力可达 10 亿 t 标准煤。在传统能源日渐枯竭的背景下,生物质能源是理想的替代能源,是继煤炭、石油、天然气之后的新能源^[11]。

4. 生物质能来源途径

生物质能主要来自以下途径:农作物秸秆和农业加工剩余物、薪材及林业加工剩余物、禽畜粪便、工业有机废水和废渣、城市生活垃圾和能源植物。通过特定的设备将这些原料转换为高品位能源,如液体燃料、固体成型燃料、气体燃料和电能,在这些不同形式的生物质能中,生物质液体燃料因其特殊的合成工艺和广泛的应用领域,越来越受到人们的关注,其研究技术也将是中国未来发展生物质能所面临的重要课题。通过生物质资源生产的燃料乙醇和生物柴油,替代由石油制取的汽油和柴油,是可再生能源开发利用的重要方向。

我国生物质能资源十分丰富,涵盖了农业剩余物、林业剩余物、城市固体生活垃圾、畜禽粪便、污水、能源作物等。仅农业剩余物年产量达 8 亿多吨,可作为燃料利用的约 4 亿 t,折合约 2 亿 t 标准煤,林业剩余物中每年可作为燃料利用的约 3 亿 t,折合 1.5 亿多吨标准煤,即农业和林业剩余物可利用量总计折合约 3.5 亿多吨标准煤;与此同时,目前我国仅城市固体垃圾年产量就有 2 亿 t,随着城镇化的发展和城镇率的提升,预计 2020 年达 3 亿 t 以上;加上能源作物和有机废弃物等生物质资源,每年约 5 亿 t 标准煤可作为能源利用^[9]。

目前,我国以秸秆原料为代表的生物质资源的收集主要有三种方式。第一种是农民分散送厂,这种方式虽然一次性投资较少,但是运输成本高,供料不稳定;第二种是在农村建立原料收购点,这种方式虽然运输成本有所降低,供料也相对稳定,但是一次性投资较高;第三种是加工企业直接收集,这种方式虽然运输成本低,供料稳定性最好,但是一次性投资也是最高的,并且干燥成本及对交通条件的要求都比较高。以上三种收集原料的方式虽然可以适用不同规模的生物质原料加工厂,但是在实际操作过程中,要考虑投资资金、利润收益、当地民情、政策扶持、技术工艺管理等多方面的因素,并且实际运行过程中不如理论分析的效果那么理想,存在着多种多样的问题。因此,生物质原料的收集是制约成型燃料技术发展的瓶颈,不过生物质原料的收集技术发展将经历一个由不成熟走向成熟的过程,根据产业生命周期理论,生物质原料收集技术的发展过程可分为形成期、成长期和成熟期。

总的来说,充足的原料资源是实现生物质能规模化生产的前提条件。我国森林资源、禽畜粪便、工业有机垃圾、城市生活垃圾、能源植物总量丰富,具有很大的开发利用潜力。生活中所用的能源系统在发挥其基本的经济功能和生态功能的同时,仍有大量的剩

余物产出,成为目前相对经济和容易获取的原料资源。并且,随着生物质能产业的发展,原料收集技术也会越来越成熟,为未来生物质原料来源提供有力保障。

1.1.3 生物质能发展前景

1. 国外生物质能发展现状

生物质能的研究始于 20 世纪 30 年代,日本、美国开始研究应用机械驱动活塞式成型技术和螺旋式生物质能成型技术;70 年代,欧洲一些国家,如意大利、丹麦、法国、德国、瑞士等,也开始重视生物质液体燃料技术的研究,并研制、生产出相应设备^[12];80 年代,泰国、印度、菲律宾等亚洲国家研制出了加黏结剂的生物质成型机,并建立了生物质固化、液化、气化等专业生产厂。历经 80 多年的发展,现今这项技术逐步成熟,已进入大范围规模化、产业化应用阶段。

自 20 世纪 70 年代的“石油危机”后,生物质能的开发利用引起了世界各国政府和科学家的关注,欧美等发达国家和地区将发展生物质产业作为一项重大的国家战略推进,纷纷投入巨资,进行生物质能的研究。国外生物质能源化利用技术领域主要包括液体燃料、生物质燃气、成型燃料及发电、藻类等能源植物培育与能源转化等。2016 年,全球生物燃料总产量为 8231 万 t 油当量,其中,美国占比 43.5%,巴西占比 22.5%,欧洲占比约 16%。2016 年,全球生物质液体燃料产量中,生物柴油产量约为 3280 万 t,乙醇产量为 7915 万 t;沼气产量约为 600 亿 m³,其中,德国沼气年产量超过 200 亿 m³;全球 500 个大型沼气厂的热量年产出为 500 亿 MJ;生物质成型燃料生产量约 3500 万 t,其中,德国、瑞典、芬兰、丹麦、加拿大、美国的生产量占总量的 50%以上;生物质发电累计装机容量约为 1.1 亿 kW,当年(2016 年)生物质能发电量近 5000 亿 kW·h,占总发电量的 2%,在可再生能源发电中仅次于水能和风能的发电量,全球生物质能发电装机容量已超过 5000 万 kW,可替代 9000 多万吨标准煤,其中,美国生物质能发电总装机容量超过 1 万 MW,占美国可再生能源发电总装机容量的 40%以上^[13]。生物质能持续发展,有助于满足一些国家日益增长的能源需求,实现环境和生态改善的目标。然而,生物质能行业也面临诸多挑战,尤其是源于低油价、低煤价及一些市场政策不确定性的挑战。

生物质能的开发与应用在世界重大研究课题中占有越来越大的分量,在全球能源结构的优化中扮演了极其重要的角色。世界各国政府与研究学者把生物质能发展计划提升到战略决策地位。在全球具有模板意义的有印度的“绿色能源工程”、美国的“能源农场”、日本的“阳光计划”和巴西的“酒精能源计划”等,这些计划着重强调了生物质能在其国家发展中的中流砥柱作用。许多国家已经注重对生物质能技术研发的投资,并实现了商业和产业化运营模式,其中,美国、瑞典已经对生物质能进行了较充分的利用,能够把生物质能应用在军事、医疗、生活等方面,在其国家能源的战略部署中占有相当大的比例。美国生物质能发电的总装机容量已经到达一个全新的高度,超过 10⁹MW,单机容量就高达 30MW;美国纽约的 Staten 垃圾处理站采用生物降解法将垃圾降解为沼气,不仅供应发电,还对农产肥料的供给提供了帮助。巴西是乙醇燃料开发应用最有特色的国