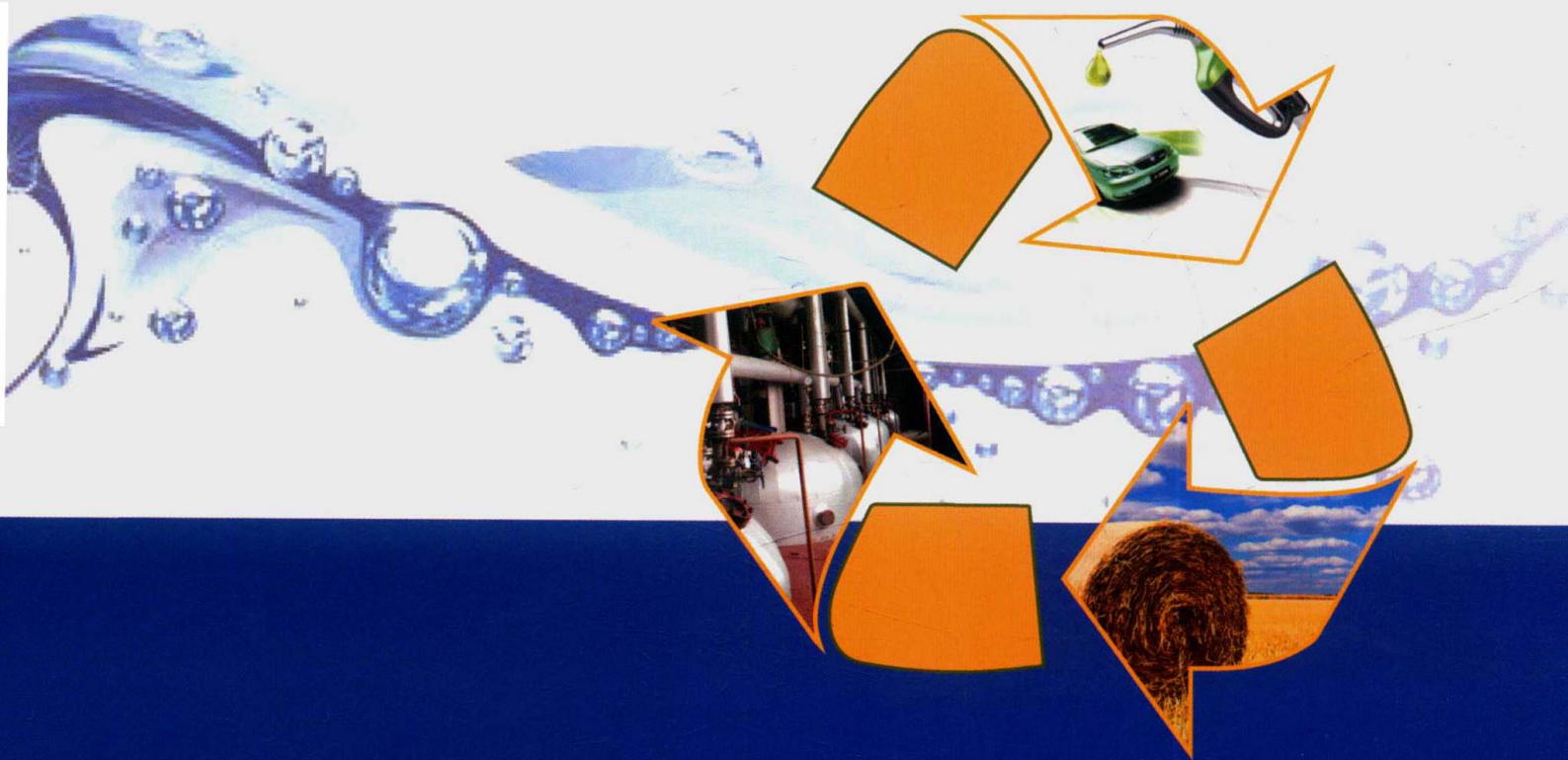


# 生物质水解转化酯类 燃料及化学品

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

# 原书缺页

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  $\gamma$ -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、 $\gamma$ -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。

原书缺页

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
<b>第 3 章</b>	<b>生物质基乙酰丙酸酯类燃料制取技术</b>	<b>108</b>
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	$\gamma$ -戊内酯的制备技术	145
3.5.1	乙酰丙酸(酯)加氢合成 $\gamma$ -戊内酯的研究	146
3.5.2	$\gamma$ -戊内酯的应用研究	155
	参考文献	162
<b>第 4 章</b>	<b>乙酰丙酸中间产物化学品制取技术</b>	<b>171</b>
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
<b>第 5 章 酯类车用替代燃料的复配技术 .....</b>	<b>232</b>
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 $\gamma$ -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
<b>第 6 章 生物质水解转化酯类燃料及化学品的综合评价 .....</b>	<b>323</b>
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

原书缺页

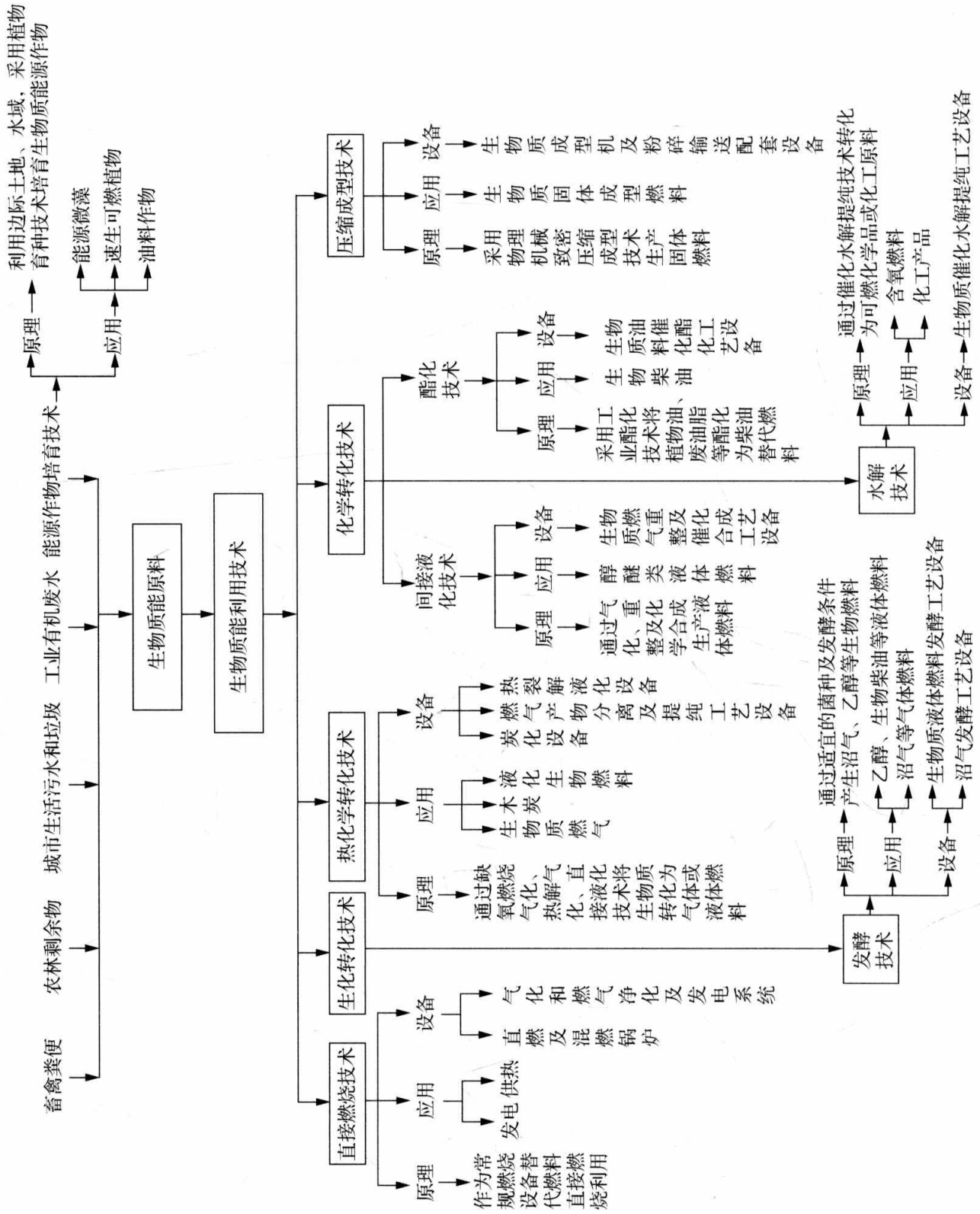


图 1-1 生物质能利用技术构成

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  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  降排,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<sup>[3]</sup>。

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<sup>[4]</sup>。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<sup>[5]</sup>。

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<sup>[6]</sup>(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<sup>[7]</sup>。

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

原书缺页

原书缺页

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<sup>[12]</sup>;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,进行生物质能的研发。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 m<sup>3</sup>,其中,德国沼气年产量超过 200 亿 m<sup>3</sup>;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<sup>[13]</sup>。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 10<sup>9</sup>MW,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

家,实施了世界上规模最大的乙醇开发计划,乙醇燃料已经占该国汽车燃料消费量的 50% 以上。美国开发出利用纤维素废料生产乙醇的技术,建立了 1MW 的稻壳发电示范工程,年产乙醇 2500t。

## 2. 国内生物质能发展现状

近几年,中国生物质能的发展卓有成效并取得了诸多研究成果,尤其是在生物质成型燃料和生物质燃油方面更是取得突破性的进展,其中,生物质燃油技术是利用农林业废弃物生产出高品质、高清洁度的生物质燃油,其生产工艺是用高温将生物质燃料转变成一氧化碳和氢气合成气,然后将合成气用管道送到合成塔,在催化剂和一定的温度、压力下合成航空煤油、汽油和柴油,生产出的生物质燃油不含硫、氮等污染物质,也不含重金属,是非常清洁的能源。

我国生物质能源化利用技术领域与发达国家大致相同,主要包括液体燃料、生物质燃气、成型燃料及发电技术等。近年来,我国“十一五”“十二五”“十三五”期间的可再生能源发展规划、生物质能发展规划纷纷重点支持生物质能源技术和产业的发展。预计到 2020 年,我国单位 GDP 碳排放量较 2005 年降低 40%~45%;非化石能源占一次能源消费的比重达 15%左右;到 2030 年,非化石能源占一次能源消费比重提高到 20%左右;生物质能将在单位 GDP 碳排放量降低中发挥重要的作用,同时生物质能因独特的优势,将在新农村建设、美丽乡村建设、城镇化发展与能源利用和生态文明建设中发挥更加重要的作用。

近年来,我国消化吸收并自主研发了适合国情的生物质能技术,多数技术达到了国际先进水平。在先进生物质发电技术方面,研发了适合国情的生物质发电技术,开发了适合我国国情的农业生物质直燃电站成套的技术与设备;开发了小型高效生物质气化发电核心技术和热电联供、气电联供成套工艺和装置,建设了不同条件下的生物质气化发电及热电气联供示范工程。在生物质制备清洁燃料的关键技术与示范方面,建成了万吨级裂解生物油的生物质热裂解示范工程、年产千吨级生物质基含氧液体燃料及化学品的工程示范系统和万吨级生物质制备混合醇燃料示范工程,整体技术达到国际先进水平,为进一步拓展生物质能应用领域奠定了技术基础。在生物质燃料乙醇的制备及综合利用技术集成与示范方面,以能源作物和木质纤维素为原料,以生产生物质燃料乙醇为主,利用废渣和废液生产沼气、油脂等能源产品,同时联产建材、化学品和肥料等高附加值产品,具有较强的经济竞争优势,建设年产万吨级工业示范工程,形成清洁、高效、低成本的生物质能综合开发技术新体系。在新型能源藻的培育与能源产品转化技术方面,开发了能源藻的生物能源产业化关键技术,形成围绕能源藻的育种、大规模培养、能源化生产、航空燃油制备与应用模式、生物炼制等技术集成。在生物质低能耗固体成型燃料装备研发与应用方面,研制大规模、低能耗将原料预处理、粉碎、成型工艺组合集成为一体化、智能化的成型燃料生产设备,以乡镇为单位建立成型燃料厂,开发了适合我国国情的农作物秸秆成型燃料技术,建成了多个万吨级示范基地<sup>[14]</sup>。

2016 年,我国燃料乙醇产能约 230 万 t,年产量与产能基本相当,生物柴油产能达

300 多万吨, 年产量不足 100 万 t; 全国共有 4000 多万户用沼气池, 规模化沼气工程 10 万多处, 沼气理论年产量约 200 亿  $\text{m}^3$ , 其中, 规模化沼气工程年产气量 50 多亿立方米; 生物质成型燃料生产总量约 800 万 t; 生物质发电并网装机容量近 0.13 亿 kW, 年发电量 634.1 亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$ , 年上网电量 542.8 亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$ <sup>[15]</sup>, 占非可再生能源总装机容量的 5.1%、发电量的 17%, 低于风能和太阳能的发电量。我国生物质能在整体技术水平与产业规模等方面与发达国家相比较为落后, 主要体现在资源开发利用率低、系统转化率不高、产品经济性较差、关键装备及其产业化水平落后、产业规模和占比较小。目前, 在欧盟主要国家生物质能利用率约占可再生能源利用率的 60%, 超过其他可再生能源利用率之和, 在总能源利用中约占 18%; 而生物质能利用在我国可再生能源利用率中约占 8%, 在总能源利用中约占 0.9%。2016 年, 我国生物燃料总产量为 206 万 t 油当量, 占世界生物燃料总产量的 2.5%; 年发电量 634.1 亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$ , 占世界生物质能发电总量的 12.6%。

在生物质液体燃料方面, “十二五”期间, 我国组织实施了“生物质制备清洁燃料关键技术与示范”“非粮燃料乙醇关键技术开发与示范”等国家 863 计划主题项目及“生物质制备液体燃料技术”重点专项, 为推动生物质液体燃料规模化利用并实现其替代石油提供技术支撑。但目前, 除了纤维素制备生物航油研究在国际上处于领跑地位以外, 燃料乙醇和生物柴油存在系统转化效率低、产品成本相对较高、项目经济性差等问题, 仍处于跟跑阶段。近年来, 国家依托 973、863 等计划项目, 支持我国微藻固碳与生物能源全套技术的基础研究、应用技术研究及工程示范, 目前, 国内从事微藻能源和微藻减排课题研究的大学和科研单位有数十家。与西方发达国家相比, 我国在微藻生物燃料方面起步晚, 投入的研究开发经费还相当少, 企业参与力度小, 技术研究和产业发展水平整体相对落后, 尚处于产业培育期, 还没有形成规模化示范, 属于跟跑阶段。

在生物质燃气方面, 近年来, 我国在采用不同物料的沼气发酵工艺技术、微生物菌剂、规模化沼气工程的设备和装备技术、沼气发酵产品和发酵残余物综合利用等方面取得了较大的进步; 在生物质热解气化方面, 燃气净化分离的成本持续下降, 气化设备连续运行的稳定性不断加强。沼气技术正处于转型升级的关键阶段。但沼气工程装备及净化提纯装备的制造水平比国外明显偏低, 设备及系统自动化水平较低, 运行可靠性较差, 容积产气率较低, 高效发酵菌种和酶产品有待提升; 生物质热解气化方面, 依然存在燃气净化分离成本高, 尤其是焦油低成本清洁化脱除技术不成熟, 针对多种原料的气化设备连续运行稳定性差, 大规模集成化智能式装备技术属于跟跑阶段等问题。

在生物质成型燃料及发电方面, 成型燃料的关键技术与设备取得进步, 一体化、自动化技术不断提升, 规模化运行水平不断提高, 但受煤炭价格低迷的影响, 成型燃料产量增速小于预期规划。我国是一个农业大国, 8 亿多人口生活在农村, 发展生物质成型燃料, 一方面是因为生物质资源极其丰富, 每年资源总量达 5 亿 t 标准煤以上, 农村生活用能还处在依赖低品位利用的生物质能阶段; 另一方面是因为农村能源, 尤其是优质能源普遍短缺, 能源供求矛盾十分突出, 每年约有 2 亿多吨的生物质秸秆被废弃或荒烧, 造成了严重的空气污染, 极大地影响了社会、经济、环境、生态和人们的生活, 成为各级政府关切的一个严重的社会问题<sup>[16]</sup>。在生物质先进发电技术方面, 适合我国国情的农

业生物质直燃电站成套的技术设备、高效生物质气化发电核心技术和供热发电得到持续开发。截至2016年年底,全国已投产生物质发电项目665个。与国际社会相比,国内生产系统智能化控制水平低,系统能耗较高,属于并跑阶段;在生物质发电方面,与国外技术相比,缺乏先进燃烧技术优化设计软件,发电效率存在较大差距,混燃发电由于政策和监测技术的缺乏,发展极其迟缓,属于跟跑阶段。

从总体来看,我国生物质能产业发展处于初期阶段,各个研究领域产业发展很不平衡,有的领域已经初步产业化,而多数领域还处于技术路线选择和定型阶段。其中,生物质液体燃料整体处于技术路线选择和定型阶段。沼气已形成较大规模的产业,基于热化学过程的生物质气化及合成液体燃料形成千吨级示范。生物质成型燃料及直燃发电已经形成一定的产业规模,生物质发电规模比例逐步增大。微藻能源目前尚处于产业培育期,还没有形成规模化示范。

### 3. 我国生物质能发展展望

随着经济社会的发展,未来我国将面临更加严峻的能源消耗、环境保护等方面的压力,能源的生产方式需要发生巨大的改变以应对压力并解决相关问题。同时,农作物废物和畜禽粪便等产生量将与日俱增,这些生物质资源也需要更加合理地利用和转化。生物质能工程科技的发展对优化能源结构、促进生态环境改善具有重大意义。生物质能在我国能源生产和消费结构中所占比例逐步上升,将进一步发挥三种作用:一种生物质资源的能源化利用节省了化石能源,减少化石能源利用过程中的污染物排放量;二是生物质资源本身具有清洁环保性,对环境影响小,加上生物质能利用技术的突破性进步,其全生命周期的温室气体和污染物排放量将更低,相比化石能源发挥更加明显的环境保护作用;三是生物质资源的能源化利用实现了变废为宝,避免了生物质资源随意焚烧和乱弃带来的环境污染。

目前,我国已有一批长期从事生物质转换技术研究开发的科技人员,已经初步形成具有中国特色的生物质能研究开发体系,对生物质转化利用技术在理论和实践上进行了广泛的研究,获得一批具有较高水平的研究成果,部分技术已形成产业化,为今后进一步研究开发打下了良好的基础。

同时,我国生物质资源丰富,能源化利用潜力大。全国可作为能源利用的农作物秸秆及农产品加工剩余物、林业剩余物和能源作物、生活垃圾与有机废弃物等生物质资源总量每年约5亿t标准煤。2015年,生物质能利用量约3500万t标准煤,其中,商品化的生物质能利用量约1800万t标准煤<sup>[17]</sup>。生物质发电和液体燃料产业已形成一定规模,生物质能、生物天然气等产业已起步,呈现良好的发展势头。

当今是我国实现能源转型升级的重要时期,是新型城镇化建设、生态文明建设、全面建成小康社会的关键时期,生物质能面临产业化发展的重要机遇<sup>[18]</sup>。

随着我国经济体系的不断成长和优化,虽然环境问题和能源缺口矛盾稍有缓解,但是在日益增长的能源消耗下,传统化石能源依旧面临诸多考验。党的十九大报告对国家农村环境政策、优化能源产业结构做出重要调整,生物质能作为清洁能源,是环境友好