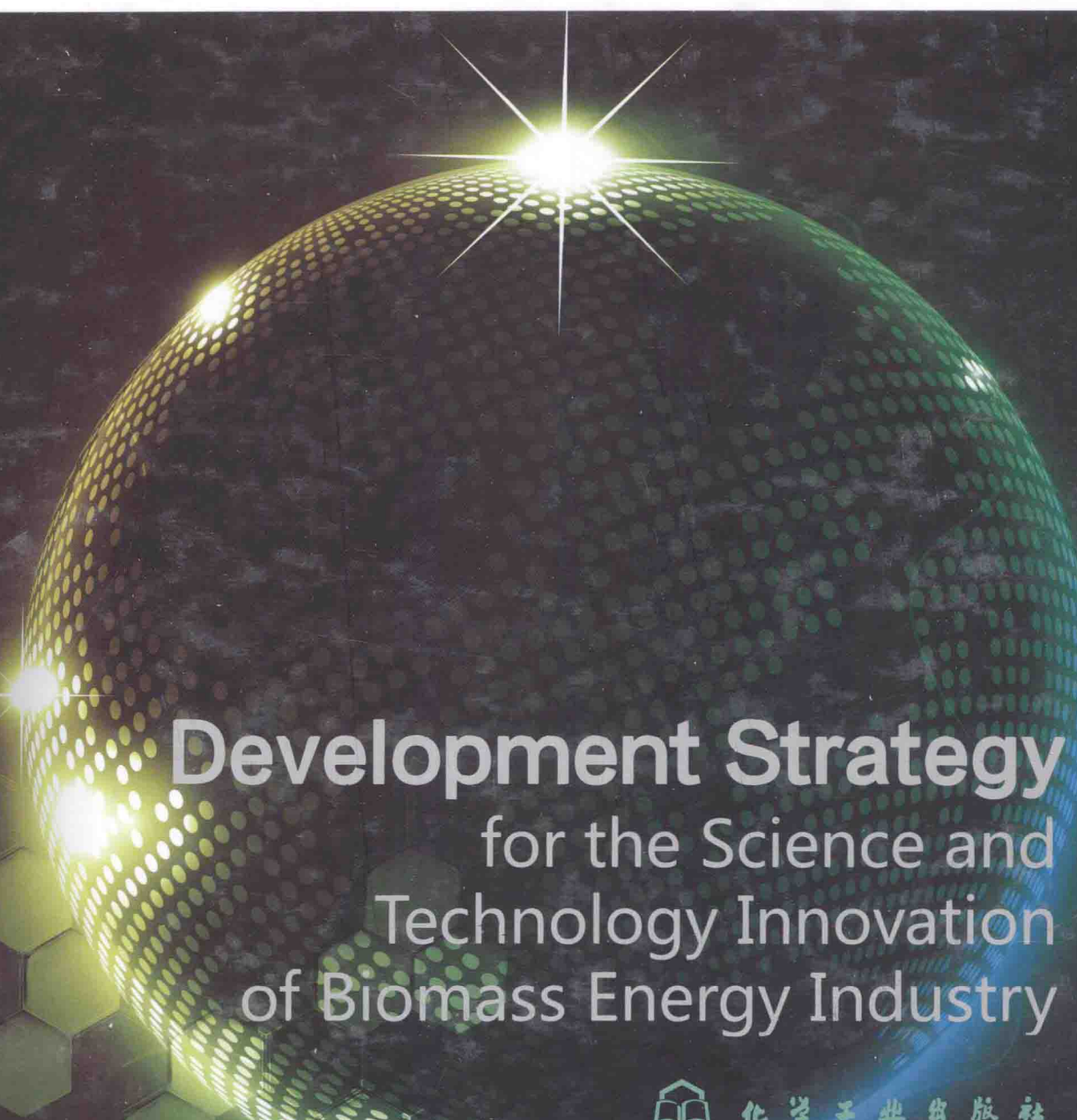




贾敬敦 马隆龙 蒋丹平 葛毅强 主编

生物质能源产业 科技创新发展战略



Development Strategy
for the Science and
Technology Innovation
of Biomass Energy Industry



化学工业出版社



创新驱动
绿色发展

贾敬敦 马隆龙 蒋丹平 葛毅强 主编

生物质能源产业 科技创新发展战略

Development Strategy
for the Science and
Technology Innovation
of Biomass Energy Industry



化学工业出版社

·北京·

内 容 提 要

本书全面系统地汇集了生物质能源产业发展的成就和积累,提出了许多新观点、新思路、重要结论和针对性举措,具有很好的前瞻性和开拓性。具体内容由总体报告和专题报告两部分组成。总体报告包括:发展生物质能源产业的背景与意义;生物质能源的产业科技创新现状与发展态势;生物质能源产业科技创新发展的重点任务;生物质能源产业科技创新发展的对策措施与政策建议。按照背景—现状—前瞻—政策建议的思路,开展我国生物质能源产业科技创新发展战略研究,探讨适合我国生物质能源产业发展的方向和模式。专题报告包括:生物资源专题、生物燃气专题、生物质液体燃料专题、生物质发电专题、生物基材料和化学品专题、生物质固体燃料专题、全球生物质能发展态势专题、前沿技术专题等。各个专题围绕我国生物质资源情况、生物质能主要技术产品方向、现阶段全球生物质能发展状况等方面逐一分析,力图为提升我国生物质能源产业的科技创新能力、推动我国生物质能源产业链和商业模式的形成和发展、构筑战略性新兴产业以及生物质能源领域的科技决策提供建议和参考。

本书为引领我国生物质能源产业未来一个时期内的发展方向提供了依据,适合作为生物质能源产业科技领域的科研人员、业界人士以及相关领域的管理人员的参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

生物质能源产业科技创新发展战略/贾敬敦等主编.
北京:化学工业出版社,2014.1
ISBN 978-7-122-19125-0

I. ①生… II. ①贾… III. ①生物能源-产业发展-研究-中国 IV. ①F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 282157 号

责任编辑:赵玉清
责任校对:王素芹

文字编辑:张春娥 向东
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市万龙印装有限公司
880mm×1230mm 1/16 印张 33¼ 字数 1071 千字 2014 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:268.00 元

版权所有 违者必究



编写人员名单

主 编：贾敬敦 马隆龙 蒋丹平 葛毅强
副 主 编：储富祥 蒋剑春 刘晓风 周劲松 张 辉
孙康泰 魏 珣
执行主编：蒋大华 张秀海 孙永明 郑 涛 张 琦
编写人员：（按姓氏汉语拼音排序）

蔡昌达	柴国华	车东升	陈 芳	陈国强	陈洪章
陈 俐	陈小莉	陈 勇	董长青	董 璐	董玉平
范鹏飞	方 扬	高绪伟	戈 伟	郭飞强	郭 凯
郭卫红	韩 键	韩 旭	何 方	何晓峰	胡瑞波
季琦燕	姜 洋	金书秦	金玉成	靳艳玲	景海春
孔晓英	雷廷宙	李昌珠	李 东	李海滨	李宏业
李 江	李 强	李文哲	李 杨	李 颖	李振江
梁敬翠	刘爱忠	刘华财	刘军利	刘 亮	刘姝娜
刘天中	刘旭明	刘玉鹏	刘志斌	刘智全	吕兆川
骆仲泱	梅自立	南静娅	彭小伟	戚 杰	亓 伟
钱万强	任晓锋	任勇志	桑 涛	孙 康	孙玉玲
王春鹏	王清文	王 琼	王世伟	王舒雅	王树荣
王铁军	王 彤	王旭波	王学勤	咸 漠	项阳阳
肖显斌	肖志红	谢华玲	邢 鹏	徐增富	许 敏
闫亚飞	闫志英	杨 晟	杨富裕	杨建明	杨 帅
杨秀山	杨艳丽	姚宗路	叶活动	易维明	阴秀丽
应汉杰	雍晓雨	余春江	袁月祥	张大雷	张丽敏
张亮亮	张 鹏	张彤辉	张 宇	赵长明	赵 海
赵立欣	赵增立	郑 菲	郑永红	周攻克	周国栋
周 俊	朱华平	朱文静	朱锡锋	庄会永	

序

能源是当今世界可持续发展的核心战略问题之一，与食品、人口、环境一起被列为国际经济和社会发展的四大战略研究主题。随着现代社会对于化石能源的高度依赖和大量消耗，能源短缺成为经济发展的重大潜在风险，全球气候变化与环境污染日益严重，能源资源问题深刻影响着人类经济社会的长远发展，也使得人类社会面临战争和饥荒等重大威胁。21 世纪是人类社会从化石能源走向可持续能源的时代。人类将在致力于节约、清洁、高效利用化石能源的同时，致力于发展先进可再生能源。发展生物质能源，可以有效消除废弃物生物质带来的环境污染，培育新兴生物质资源可以有效利用边际土地，保育生态环境。同时，利用生物质能源能有效补充和替代部分化石能源，并再次减少常规化石能源利用排放的污染，双向清洁作用显著。生物质能源巨大的发展潜力为应对化石能源短缺开辟了新途径，世界各国对此高度重视。许多国家提出了明确的发展目标，制定了相关发展规划、法规和政策，成为促进能源多样化和实现可持续发展的重要资源。美国的玉米乙醇、巴西的甘蔗乙醇、北欧的生物质发电、德国的沼气等纷纷出台，各国在可再生能源发展中不约而同地走上了以生物质能源为主导的道路。

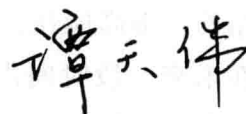
生物质资源是地球上再生资源的核心组成部分，是维系人类经济社会可持续发展最根本的保障。我国生物质资源量丰富，开发利用生物质能源，把有机废弃物转化为生物燃气、液体燃料等清洁能源，把城乡环保卫生产业转变为环保能源产业，把荒山荒地转变为能源生产基地，将有助于降低我国对化石燃料的过度依赖，维护国家能源安全，保障社会可持续发展；有助于改善公共卫生，减少温室气体排放和环境污染，实现循环经济和低碳发展；有助于增加农民收入，促进农民就业，改善农村环境，促进农村经济发展。发展生物质能源产业，非常适合像我国这种具有巨大生物质资源储量的农业大国，对建设新农村、推动城镇化以及建设资源节约型、环境友好型社会和培育战略性新兴产业具有非常重要的意义，也是转方式、调结构、维护社会和谐与稳定以及促进社会经济持续发展的重要推手。这不仅是重现白云蓝天，建设美丽中国的重要举措，更是实现创新、驱动发展战略的具体行动。因此，发展生物质能源科技创新水平并推动其实现产业化是我国的一项重大战略需求。

近些年来，在科技部等相关部门的大力支持下，我国的生物质能源技术已经取得了较为

丰硕的研究成果，在气体、液体、固体能源以及生物基材料方面的关键技术和产业示范取得了重大突破，部分产业技术与世界相比处在并行位置，有些方面还处于世界领先地位，具有重要的影响力。但是，作为战略性新兴产业，保持技术持续进步、积极抢占世界制高点，仍有大量的产业科技创新工作需要不断完善。在“不与农争地，不与民争粮”的原则下，“围绕产业链部署创新链，围绕创新链完善资金链，加大科技支撑引领力度，突破关键技术和核心装备的制约，推动产学研用结合和生物质能源产业链的形成，重视商业模式和服务模式的创新，大幅提高自主创新能力，并作为战略性新兴产业予以重点培育和扶持，全面提升产业竞争力”是当前和今后我们必须长期坚持的适合我国国情的生物质能源产业科技创新驱动道路。

科技部中国农村技术开发中心的研究人员会同国内知名的生物质能源领域的专家学者，在系统梳理从生物燃气、液体燃料、固体燃料、生物质发电、生物基材料和化学品等生物质能源产业布局、全产业链与产业技术体系构建及科技发展现状的基础上，站在国家的战略高度，分析了产业前沿技术、生长点和未来发展方向，提出了适合我国生物质能源产业发展的商业模式和战略布局，并给出了保障措施和政策建议。

我认为本书系统地汇集了生物质能源产业发展的成就和积累，提出了许多新观点、新思路、重要结论和针对性举措，具有很好的前瞻性和开拓性。衷心希望专著的出版能够为生物质能源产业科技领域的科研人员、业界人士以及相关领域的管理人员提供参考，同时也为引领我国生物质能源产业未来一个时期内的发展方向提供依据。



中国工程院院士 北京化工大学校长

前言

Foreword

当前，全球新一轮科技革命和产业变革正在孕育兴起，与我国全面建成小康社会、创新型国家和加快转变经济发展方式形成历史性交汇，科学技术越来越成为推动经济社会发展的主要力量，创新驱动是大势所趋。在推动我国工业化、信息化、城镇化和农业现代化“并联式”同步发展的进程中，化石能源短缺、环境污染加剧以及温室气体减排的压力增大对我国经济社会健康持续发展的限制作用逐渐显现。能源与环境问题已成为 21 世纪人类社会共同面临的重大挑战。目前，我国已探明的人均煤炭、石油和天然气资源分别为世界平均值的 42.5%、17.1% 和 13.2%。我国以煤炭为主的能源消费结构使二氧化碳排放量居世界前列，雾霾等大气污染严重和减排的国际压力越来越大。大量研究与实践表明，低碳、循环、绿色的可持续发展将是应对变革、创造和谐未来的历史选择。因此，综合解决能源-环境-发展的问题，调整产业结构，由高能耗、高污染、粗放型增长向低能耗、低排放、集约型的绿色增长转型将是我国在未来一段时间内的紧迫任务，寻找传统化石能源的可再生替代品刻不容缓。在此过程中，依靠科技创新驱动绿色发展将是一道主旋律，大力发展高品质可再生清洁能源已成为国家的战略选择。

生物质能源作为唯一可以转化为气、液、固三相燃烧的含碳可再生能源，具有绿色、低碳、环保等特点，其规模化应用还可实现有机废弃物的循环利用，减少化石能源燃烧的污染排放，在节约能源、克霾减排等方面具备很多优点，在替代传统化石能源方面展现了巨大优势，在世界范围内日益受到人们的重视。西方国家在第一次石油危机之后将生物质能源作为替代石油的首要可再生能源选择。美国、巴西等国家已经开始利用国内富足的粮食作物生产生物质能源替代石油。欧盟在欧洲共同农业政策框架下，推广利用油菜籽生产的生物柴油补充交通燃料的消费，并成为世界上最大的生物柴油生产以及应用地区。在世界范围内，超过 50 个国家拥有生物质能发电站，生物质能源受到全球越来越多的关注。

我国拥有丰富的生物质资源，规模庞大的农工业生产、日益发展的现代养殖业、人口数量最大的居民生活带来了海量的农林秸秆、工业废水、畜禽粪便等有机废弃物，也带来了环境隐患。若能将这些有机物资源充分转化为能源形式，将有利于弥补我国能源需求，实现能

源多元化，减少中国对煤炭、石油、天然气等传统能源的依赖；有助于大幅减少温室气体排放，降低碳排放量，减少空气污染和环境压力，带动生态产业，推动循环经济，建设现代村镇，势必极大促进城镇化发展，为经济结构转型升级和四化同步添砖加瓦。而且，生物质能源与其他可再生能源相比，是唯一的一种和农民直接发生“关系”的能源，可以帮助农民增收，促进农村经济发展，显著扩大内需，是破解“三农”问题的一个非常好的“抓手”和发展现代农业的必经路径。因此，生物质能源涉及“保民生”和“经济战略转型”等两大国家战略。开发利用生物质能源，是发展低碳经济、循环经济和生态经济的重要内容，是促进农村发展和农民增收的重要措施，是培育和发展战略性新兴产业的重要任务。党的十八大报告中明确提出“建设美丽中国”的理念，对我国生态环境的保护提出了明确的目标，这也为包括生物质能源在内的清洁能源应用带来了良好的契机。

为准确把握我国生物质能源产业的科技发展现状，探讨生物质能源产业未来发展趋势，提升生物质能源产业的科技创新能力，促进生物质能源产业的持续快速发展，2013年3月，科技部中国农村技术开发中心启动了我国生物质能源产业科技创新发展战略研究，组织了中国科学院广州能源研究所、北京过程工程研究所、青岛生物能源与过程研究所、成都生物所、昆明植物所、北京植物所、中国林业科学研究院、中国林业科学研究院林产化学工业研究所等10余家科研院所，中国农业大学、浙江大学、北京化工大学、南京工业大学、东北农业大学、华南理工大学、中国石油大学等10余所高等院校以及山东民和牧业股份有限公司、杭州能源环境工程有限公司等企业的高水平专家组成战略研究课题组，从生物质资源、基础研究与学科建设、前沿研发与技术创新、集成示范与成果转化、企业创新与产业模式等方面，逐一分析其科技创新情况，明确发展方向和重点并提出政策建议。

经过近一年的深入研究，通过文献与专利检索、专家研讨、实地调研等方式，课题组系统搜集整理了相关数据和案例，深入分析了我国生物能源产业科技创新的发展现状和前景，形成了《生物质能源产业科技创新发展战略研究》报告。报告全面梳理了生物质能源产业发展现状、全产业链发展情况、企业布局情况，综述了生物质能源产业前沿技术、产业生长点和未来发展方向，提出了发展思路、方向及发展对策、政策建议。

《生物质能源产业科技创新发展战略研究》由总体报告和专题报告两部分组成。总体报告包括：发展生物质能源产业的背景与意义；生物质能源的产业科技创新现状与发展态势；生物质能源产业科技创新发展的重点任务；生物质能源产业科技创新发展的对策措施与政策建议。按照背景—现状—前瞻—政策建议的思路，开展我国生物质能源产业科技创新发展战略研究，探讨适合我国生物质能源产业发展的方向和模式。专题报告包括：生物资源专题、生物燃气专题、生物质液体燃料专题、生物质发电专题、生物基材料和化学品专题、生物质固体燃料专题、全球生物质能发展态势专题、前沿技术专题等。各个专题围绕我国生物质资源情况、生物质能主要技术产品方向、现阶段全球生物质能发展状况等方面逐一分析，力图为

提升我国生物质能源产业的科技创新能力、推动我国生物质能源产业链和商业模式的形成和发展、构筑战略性新兴产业以及生物质能源领域的科技决策提供建议和参考。

中国工程院院士、北京化工大学校长谭天伟教授应邀为本书作序，在此表示衷心感谢！

生物质能源领域广泛，进展迅速，而本书篇幅有限，编写时间紧张，加之编者经验和水平有限，疏漏和不妥之处在所难免，敬请同行专家和广大读者批评指正。

《生物质能源产业科技创新发展战略》编写组

二〇一三年十月

目 录

总 体 篇

第一章	发展生物质能源产业的背景与意义	3
第二章	生物质能源的产业科技创新现状与发展态势	9
第三章	我国生物质能源产业科技创新发展的重点任务	25
第四章	生物质能源产业科技创新发展的对策措施与政策建议	36

专 题 篇

第五章	生物质燃气燃料	43
第六章	生物质液体燃料	71
第七章	生物质成型燃料	103
第八章	生物质发电	123
第九章	生物基材料与化学品	168

各 论 篇

第十章	生物质能源全球发展态势	203
第十一章	我国发展生物质能源的原料和资源分析	228
第十二章	生物质能源的前沿技术	266
第十三章	我国生物质能源研究领域科技投入概述	280
第十四章	生物质直燃发电	299
第十五章	生物质混燃发电	307
第十六章	生物质固定床气化发电	319
第十七章	生物质流化床气化发电	340
第十八章	淀粉基全降解生物基材料	358
第十九章	聚酯类生物塑料	370
第二十章	生物基热固性树脂	383
第二十一章	木塑复合材料	394
第二十二章	生物基功能炭材料	405

第二十三章	生物基精细化学品	416
第二十四章	生物基平台化合物	428

文献分析篇

第二十五章	生物质厌氧发酵产沼气国际态势分析	441
第二十六章	生物制氢国际态势分析	453
第二十七章	生物燃料乙醇国际态势分析	465
第二十八章	生物柴油国际态势分析	479
第二十九章	生物质发电国际态势分析	492
第三十章	聚乳酸国际态势分析	504
第三十一章	聚羟基脂肪酸酯国际态势分析	518

>>>> 生物质能源产业科技创新
发展战略

ONE

总 体 篇

第一章

发展生物质能源产业的背景与意义

能源是维持人类社会存在和发展的基本保障之一。能源概念不仅局限于工业和生产，也与政治、经济、贸易、金融、国际关系和国家安全紧密相关。

对今天的中国，能源问题也显得尤为突出。一方面，近几十年来工业迅猛发展，能源大量消耗。2012年，我国原油的依存度达到58%，天然气的对外依存度达近30%，据估计，2030年我国能源对外依存度将超过75%，能源安全受到威胁；另一方面，粗放用能方式也面临挑战。如以煤炭为主的能源利用方式会使得温室气体排放增加，甚至会产生灾害性雾霾。同时，全面建设小康社会亟须转变城镇化过程中的村镇落后用能方式，带来居民生活品质 and 环保的双重收益……因此，综合解决能源与环境、能源与农村发展的问题，实现经济增长方式向可持续转变成为当前我国的迫切需求，在我国寻找和开发清洁可再生能源，逐步替代相对匮乏的一次能源显得尤为重要。

生物质是地球上唯一可再生的碳源和唯一可直接转化为气体、液体、固体等能源的可再生清洁资源。生物质能源的开发利用为综合解决能源-环境-城镇化发展的问题提供了一条可行出路。目前，世界各国都将生物质能源作为解决资源、环境、经济问题的有效途径和重要手段之一，开发力度逐步加大，并在欧洲等发达国家逐渐形成新兴产业。我国是农业大国、人口大国、能源消费大国，面临的资源、环境、能源等问题更加突出，但我国蕴含丰富的生物质资源，所以，在我国大力发展生物质能源产业，对促进农村经济、社会可持续发展，改善环境质量以及缓解能源紧缺，培育战略性新兴产业等方面具有重要的、现实的意义。

一、发展生物质能源产业的战略意义

生物质能源产业是延长现代种植、养殖等农业产业链，带动加工、制造等工业产业升级，提供后端能源产品服务的综合性产业，与促进农村城镇经济发展、缓解生态环境压力、改善能源结构息息相关，是转变经济发展方式的主要战略性新兴产业的重要组成部分。

1. 发展生物质能源产业是推进新农村和城镇化建设的重要举措

我国是农业大国，约50%的人口居住于农村地区。而在农村地区，相比较而言，社会经济发展水平较低，基础设施较落后，环境卫生条件较差。发展生物质能源产业，一方面可增加农村地区清洁能源供应，逐步改变农村长期低效的用能方式，并且可有效改善农村卫生状况和农民生产生活条件；另一方面可以延伸传统农业产业链，提高农业生产效益，增加农民收入，促进农民就业，对加快农工一体化进程、实施农业综合开发具有重要的推动作用。有研究表明，中国每年有约3.4亿吨农作物秸秆和3.5亿吨林业剩余物可供能源化利用（农业部，2010；彭卫东，2013），相当于3.7亿吨标煤。农民每卖1t秸秆或林业剩余物就能获二三百元现金，合计年新增收入约1700亿元和获得250万~300万个收集和储运工作岗位。而目前禽畜粪便、工业有机废水、城市污水以及有机垃圾等生物质原料具有年产能0.6亿吨标煤的资源潜力，其中全国年产出禽畜粪便约30亿吨（湿重），如作为生产沼气的原料，每吨售10~20元，农民可获300亿~600亿元新增收入。利用我国50%的低质地进行生物质能资源开发，可实现年产值约1万亿元，加上秸秆、畜禽粪便等，

生物质能产业可催生 1000 个生物质能源规模企业, 带动 500 万农户, 促进农村工业化、城镇化, 农村富余劳动力就近转移就业, 缩小工农差距和城乡差距, 农民增收 4000 亿元。生物质原料相对分散, 转化加工工厂以中小型为主, 按其原料资源量, 全国可以有数万个, 到每县则能有数十个, 由此将农村向工业化和小城镇化推进, 而服务型行业及其工作岗位也会随之得到发展。

因此, 发展生物质能符合我国“四化同步”的发展道路, 可以促进工业化和城镇化良性互动、城镇化和农业现代化相互协调, 推动工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展。

2. 发展生物质能源产业是加快生态环境保护、应对气候变化的有效手段

长期以来, 煤炭在我国能源消费结构中一直处于主导地位。以煤为主的能源消费结构和粗放型的增长方式已对我国生态环境造成了极大威胁。大量水资源被消耗或污染, 煤矸石堆积大量占用和污染土地, 酸雨影响面积达 100 多万平方千米, 主要污染物排放总量居世界前列, CO_2 排放量也位居世界前列。国内生态环境难以继续承载粗放式发展, 国际上应对气候变化的压力日益增大, 迫切需要绿色转型发展。同时, 大量的养殖废弃物的随意排放、农作物秸秆的焚烧和丢弃、轻工企业污水的低效处理, 已给土壤、水体和空气带来了严重的污染。汽车尾气的排放也增加了空气中的可吸入颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 以及空气粉尘。在应对化石能源危机和全球气候变化过程中, 世界各国逐渐由以化石能源或碳基能源为基础的发展模式转向以新能源和低碳为特征的“绿色经济”发展模式。发展生物质能源产业, 可有效替代传统能源利用, 降低 CO_2 排放, 还可减少薪柴使用量, 控制水土流失, 减少传统有机废弃污染物, 是推动节能减排和生态环境保护的战略举措之一, 是实现低碳发展、促进生态文明建设的有效途径之一。

与使用纯汽油相比, 使用 E10 汽油 (添加 10% 的燃料乙醇) 在 $35\text{ }^\circ\text{F}$ [$t/^\circ\text{C} = \frac{5}{9}(t/^\circ\text{F} - 32)$] 下, 普通车的 PM 排放可减少 36%, 高排量车的 PM 排放可减少 64.5%。与使用石化柴油相比, 使用纯生物柴油的柴油机可以实现 PM 排放减少 68%, 如果采用调和型生物柴油 B20 (石化柴油中添加 20% 的生物柴油), 也可以实现 PM 排放减少 16%~33%。生物质液体燃料的使用对降低 PM 的排放具有非常重要的作用 (David Tilman, 2006)。

沼气燃料的温室气体排放因子远低于煤和石油, 据统计, 1990—2005 年的 15 年中, 我国的农户沼气累计提供了相当于 3000 万吨标煤的能量, 相当于减排 7.3 亿吨温室气体。按照农户沼气以及规模化沼气工程的发展规划, 到 2020 年将达到年产约 600 亿立方米沼气, 可相应减排温室气体当量 1.2 亿吨。届时如全年全国温室气体排量达 40 亿吨, 则沼气可做 3% 的直接减排贡献。沼气在净化提纯至 97% 甲烷含量的情况下与天然气基本无异, 而以液化天然气代替汽油、柴油, $\text{PM}_{2.5}$ 排放量要比传统柴油车辆低 90% 以上。

此外, 沼气发酵剩余沼液还可作为有机肥, 长期施用可促进土壤团粒结构的形成, 使土壤疏松, 增强土壤保水、保肥能力, 改善土壤理化性质, 使土壤有机质、总氮总磷及有效磷等养分均有不同程度地提高。

3. 发展生物质能源是改善能源结构、保障国家能源安全的战略途径

我国能源消费仍以化石能源为主。2012 年全国能源消费总量约为 36.17 亿吨标准煤, 其中原煤占 67.1%、原油 18.4%、天然气 5%, 水电、核电、风电、太阳能、生物质能等新能源比例较低, 仅约 8%。在能源供应体系中油气资源供需紧张, 2012 年我国石油净进口量达 2.84 亿吨, 石油对外依存度上升至 58%。且油气进口来源相对集中, 进口通道受到限制, 远洋自主运输能力不足, 能源储备应急体系不够健全, 应对国际市场波动和突发性事件能力相对不足, 能源安全保障压力巨大。利用资源优势科学发展生物质能源产业, 优化能源利用结构, 部分替代化石能源消费, 增强能源安全保障, 是我国经济社会顺应时代发展的要求。

2012 年, 我国生物液体燃料共计生产约 266 万吨, 其中生物质乙醇年产量为 166 万吨, 生物柴油和航空生物燃料年产量约为 100 万吨, 而 2012 年国内的成品油表观量为 25080 万吨, 生物质液体燃料替代汽柴油的比例约为 1%。目前我国沼气年产量约为 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$, 相当于 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气。2012 年中国天然气表观消费量达到 1475 亿立方米, 生物燃气替代天然气比例约为 6.7% (轻工业环境保护研究所, 2013)。虽

然当前在化石燃料为主的能源消费结构中,生物质能源所占比例并不高,但是随着开发技术的成熟,经济成本的下降,生物质资源的愈加丰富,生物质能源的替代比例将会越来越高,由此逐步改善以煤炭为主的能源结构,促进常规能源资源更加合理有效地利用,缓解与能源相关的环境污染问题,使我国能源、经济与环境协调发展,实现可持续发展的目标。

二、生物质能源产业发展的国内外环境

随着全球经济一体化和国内外政治、经济、社会、能源和技术的融合发展,持续推进生物质能源产业科技创新和产业跨越发展,已是我国生物质能源产业亟待解决的核心问题。我国现已指明了生物质能源产业发展方向,而经济环境的严峻形势和经济转型的驱动需求,明确了生物质能源产业发展目标,科学技术的日新月异,支撑着产业科技创新的突破点。本节将系统分析我国生物质能源产业科技发展的国内外战略环境。

1. 科学技术支撑生物质能源产业的现代化

目前,我国作出了实施创新驱动发展战略的重大部署,将科技创新作为提高社会生产力和综合国力的战略支撑,这是在综合分析国内外形势、立足国家发展全局作出的重大战略决策。实施创新驱动发展战略决定着国家的未来。全社会都已充分认识到科技创新的巨大作用。

从全球范围看,科学技术越来越成为推动经济社会发展的主要力量,创新驱动是大势所趋。新一轮科技革命和产业变革正在孕育兴起,一些重要科学问题和关键核心技术已经呈现出革命性突破的先兆,带动了关键技术交叉融合、群体跃进,变革突破的能量正在不断积累。即将出现的新一轮科技革命和产业变革与我国加快转变经济发展方式形成历史性交汇,为我们实施创新驱动发展战略提供了难得的重大机遇。

从国内看,推进经济结构转型和经济社会科学发展,创新驱动是重要的战略选择。我国经济总量已跃居世界第二位,社会生产力、综合国力、科技实力迈上了一个新台阶。同时,发展中的不平衡、不协调、不可持续问题依然突出,人口、资源、环境压力越来越大。物质资源必然越用越少,而科技和人才却会越用越多。我们要推动新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展,必须及早转入创新驱动发展轨道,把科技创新潜力更好地释放出来,充分发挥科技进步和创新的作用。

生物质能源产业发展的核心竞争力提升日益依赖前沿技术的原始创新,世界主要国家围绕生物质能源转化的生物技术、化学技术、信息技术、智能装备技术等,进行核心共性技术的竞争性创新,以科技创新带动生物质能源产业发展,将创新资源向产业链高端集聚,积极抢占先机、占领产业发展的制高点,已是生物质能源产业现代化发展的战略性选择。生物燃气高效制备的多元原料利用技术、高浓度厌氧发酵技术、规模化工程装备的突破,使得生物燃气从最初的沼气灯、炊事灶具到发电、热电联用、车用发动机燃料等方面,工程规模从最初的 10m^3 以下到现在的 10000m^3 以上。纤维素酶的突破、生物质炼制关键技术的突破,使得生物液体燃料从单纯使用粮食制备燃料乙醇,发展到非粮乙醇,再到纤维素乙醇,产品也从乙醇发展到多元醇、多种烷烃,甚至是航空燃料。科学技术的创新与突破,支撑着生物质能源科技的原始低效开发利用,向高值、高效、现代的利用方式转变,推动生物质能源产业的现代化。

2. 社会经济发展促进生物质能源的产业化

近年来,我国科技进步和创新的支撑作用增强,城乡基本公共服务水平提高,可持续发展能力有所提升。但是,发展方式粗放的特征比较明显,发展效率总体不高,发展代价过高、过大,发展的不平衡、不协调、不可持续矛盾仍然较为突出,我国转变经济发展方式的任務仍然艰巨。尤其是近来的国际金融危机和动荡,国际环境发生了深刻复杂变化。国与国之间的竞争,从某种意义上说就是发展方式的竞争。要在更趋复杂的国际环境中趋利避害,在更加激烈的国际竞争中把握主动权,必须加快构建更具活力、更富有竞争力的发展方式。

目前,我国经济发展内生条件发生了新的变化,人口老龄化加快,劳动力低成本优势减弱,生产要素供给条件发生重大变化,能源资源约束更趋强化,潜在增长水平趋于下降,这些都对转变经济发展方式提出了

更加紧迫的要求。当前我国经济总体上呈现缓中趋稳的态势,经济运行出现了一些积极变化,但经济回稳的基础还不牢固,经济社会发展中的各种矛盾和问题亟须解决,必须坚持加快转变经济发展方式,把稳增长放在更加重要的位置,把稳增长的过程转化为转变经济发展方式的过程,激活经济增长动力创造条件,为更长时期较快发展赢得时间和空间。

我国将生物质能源产业作为战略型新型产业的主要方向,是经济发展转型的主要方式,生物质能源产业要改变传统工业、能源生产的方式向绿色、低碳的战略性新兴产业发展,带动经济由低效、基础投资、出口向高科技产业发展。生物质能源在整合产业链技术资源、建设产业技术创新战略联盟的基础上,推动国内生物质能源的部分技术已进入到产业化阶段,并逐步形成商业模式。生物燃气产业技术逐渐具备支撑产业商业化应用的条件,涌现出了一批技术先进、运行稳定的示范工程,如山东民和 3MW 生物燃气发电工程、北京德青源 2MW 生物燃气发电工程、内蒙古蒙牛澳亚示范牧场 1MW 生物燃气发电工程和广西武鸣 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 车用生物天然气项目等。

生物质热解气化研究与示范应用方面也取得了很大进展,已经形成了兆瓦级的循环流化床及流化床生物质气化装置及其发电系统,建成生物质热解气化项目近 1400 处。

目前,中粮集团第一批企业率先实践,已经成为我国乙醇汽油领域的领头企业,在国内 4 家燃料乙醇试点企业中,中粮集团有限公司除控股丰原生化外,已经全资控股华润酒精、持有吉林燃料乙醇 20% 的股份。中粮集团有限公司发展模式关键在于将战略部署与技术创新并重,在项目开发和生产运行过程中,实现了多项技术创新,拥有多项专利技术。2011 年还与英国 TMO 可再生能源公司签订了联合技术开发协议,针对非粮燃料乙醇商业化项目进行前期准备。

在开发高附加值生物基新材料和化工产品方面,山东龙力生物科技股份有限公司等企业积极探索,取得了较好的收益。山东龙力生物科技股份有限公司和山东大学合作,以玉米芯为原料实现了玉米芯生物炼制的产业化。“玉米芯废渣制备纤维素乙醇技术与应用”中是利用玉米芯木糖加工废渣生产纤维素酶和燃料乙醇,既可以将原料和预处理成本转移到高附加值产品中去,又能就地产酶,同步酶解发酵生产乙醇。剩余的木质素也用于生产高值的化工产品,从而提高了生产工艺的整体经济效益,形成产品多元化的合理产业结构。8t 玉米芯约可生产 1.5t 乙醇、1.5t 木糖相关产品、1t 多木质素和 1.5tCO₂,发酵废液还可生产沼气,使生产成本接近了粮食乙醇生产水平。作为国内首家纤维素乙醇定点生产企业,山东龙力生物科技股份有限公司通过与中国石化合作,已将其产品供应于汽油销售市场。国内经济的发展推动了生物质能源产业的快速发展,成为支撑形成生物能源商业模式的重要抓手。

3. 政策法规推动生物质能源产业的商业化

纵观国内外生物质能发展历程,近年来快速发展的主要原因是利用现有的政策体系,加强生物质能源产业发展,特别是通过制定生物质能源产业的专业性的规划、法规和财税政策等,推动产业快速发展。

(1) 战略规划引领生物质能产业的多元化发展方向

① 国际发展规划方面 美国 2002 年提出“生物质技术路线图”,提出加速提高美国开发生物质能和生物基产品的能力的规划;2008 年发布《国家生物燃料行动计划》,提出降低纤维素生物燃料成本,促进生物燃料产业及其供应链的发展;2012 年 4 月,美国政府发布《国家生物经济蓝图》,提出“建立并发展以生物质资源可持续利用、生物技术为基础的生物经济”。欧盟 2008 年发布欧盟战略能源技术计划(SET 计划),提出加强生物质能的技术研发,提升产业竞争力;欧盟还制定了 2020 年能源战略,启动战略性能源技术计划“促进可再生能源使用指令 2009/28/EC”,着力发展可再生能源,减少对化石能源的依赖,计划到 2020 年,整个欧盟的能源消耗中至少有 20% 来自可再生能源,且每个成员国运输领域的能源消耗中至少有 10% 来自生物燃料。澳大利亚 2009 年制定了《可再生能源目标》,确定到 2020 年包括生物质能在内的可再生能源的电力占总供应的 20%;2011 年修订可再生能源目标,将可再生能源发展总规划分为“小规模可再生能源计划”和“大型可再生能源目标”。

② 国内发展规划方面 我国政府亦高度重视生物质能的开发利用,先后出台了一系列战略规划,为生物质能源的不同领域提出了明确目标。2007 年制定《国家中长期发展规划纲要》和《可再生能源中长期发