

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EVALUATION ON BIOENERGY IN CHINA

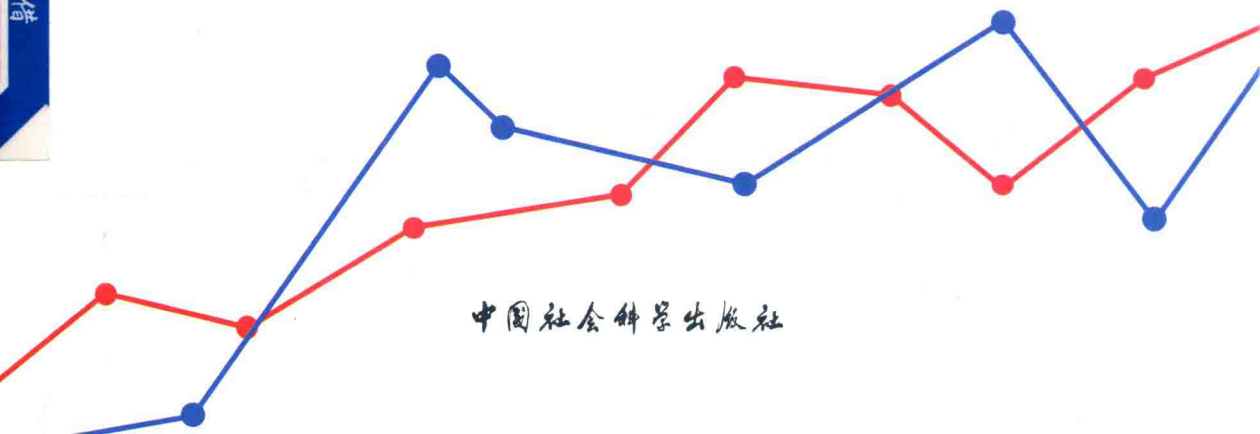
Economic and Environmental Evaluation on Bioenergy in China

中国生物质能 经济与环境的评价

林琳 —— 著

中国社会科学出版社

非
外
借



ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EVALUATION ON BIOENERGY IN CHINA

Economic and Environmental Evaluation on Bioenergy in China



中国生物质能
经济与环境的评价

林琳 —— 著

中国社会科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国生物质能经济与环境的评价/林琳著. —北京: 中国社会科学出版社,
2017. 3

ISBN 978 - 7 - 5161 - 6779 - 3

I. ①中… II. ①林… III. ①生物能源—产业发展—研究—中国
②生物能源—环境质量评价—中国 IV. ①F426. 2②X821. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 182350 号

出 版 人 赵剑英
责任编辑 凌金良
特约编辑 金 泓
责任校对 郝阳洋
责任印制 张雪娇

出 版 中国社会科学出版社
社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号
邮 编 100720
网 址 <http://www.csspw.cn>
发 行 部 010 - 84083685
门 市 部 010 - 84029450
经 销 新华书店及其他书店

印刷装订 北京鑫正大印刷有限公司
版 次 2017 年 3 月第 1 版
印 次 2017 年 3 月第 1 次印刷

开 本 710 × 1000 1/16
印 张 13.5
插 页 2
字 数 211 千字
定 价 49.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书, 如有质量问题请与本社营销中心联系调换
电话: 010 - 84083683
版权所有 侵权必究

目 录

绪论	(1)
第一章 能源与生物质能	(14)
第一节 能源概述	(14)
一 能源概念与分类	(15)
二 世界能源消费现状和趋势	(18)
三 中国能源消费现状和趋势	(20)
第二节 生物质能的概述	(21)
一 生物质能的基本概念	(22)
二 生物质能的分类和特点	(23)
三 生物质能在世界能源供应中的地位	(26)
第三节 生物质能开发利用的背景	(27)
一 能源危机是一个不可避免的事实	(27)
二 开发利用生物质能是历史必然的选择	(29)
第四节 生物质能开发范围	(34)
一 生物质能产业结构	(34)
二 生物质能产业发展的机遇和挑战	(35)
第二章 生物质能开发利用的理论基础	(37)
第一节 可持续发展理论	(37)
一 可持续发展理论的含义及原则	(38)
二 生物质能开发利用的理论基础与背景	(41)

三 生物质能产业可持续发展的途径	(46)
第二节 循环经济理论	(47)
一 循环经济的概念及特征	(48)
二 循环经济的经济可行性	(52)
三 循环经济与生物质能	(53)
第三节 产业结构优化升级理论	(56)
一 产业结构优化升级的含义	(56)
二 产业结构优化升级的特点	(57)
三 产业结构优化升级的内容	(57)
四 产业结构优化与生物质能	(58)
第三章 国内外生物质能产业研究状况	(62)
第一节 国外生物质能产业的研究状况	(63)
一 理论研究	(63)
二 实证研究	(66)
三 国外发展生物质能的政策措施	(68)
第二节 中国生物质能产业的研究状况	(70)
一 理论研究	(71)
二 实证研究	(73)
三 小结	(76)
第四章 中国生物质能开发利用的概况	(80)
第一节 中国生物质能开发利用的现状	(80)
一 中国生物质资源的特点	(81)
二 中国生物质资源的拥有量及分布	(83)
第二节 中国发展生物质能开发利用的动因	(88)
一 能源危机是开发利用生物质能的直接动力	(88)
二 丰富的生物质资源是发展生物质能的巨大引力	(89)
三 良好的生态效益和经济效益是生物质能得以 开发利用的推动力	(90)
四 增加农民收入和就业机会是生物质能开发的 社会驱动力	(92)

第三节 中国生物质能应用进展	(93)
一 生物质能开发利用机构简介	(94)
二 中国生物质能应用进展	(95)
三 中国生物质能开发利用政策分析	(97)
四 典型应用领域	(100)
第四节 中国开发与利用生物质能存在的问题	(103)
一 阻碍生物质能开发利用的因素	(104)
二 中国生物质能开发利用的发展前景及政策建议	(108)
第五节 中国与国外生物质能开发利用的比较及启示	(112)
一 中国与欧盟发展生物质能的比较及启示	(112)
二 巴西开发利用生物质能对中国的启示	(114)
 第五章 生物质能开发利用方式及状况分析	(118)
第一节 生物质能开发利用方式	(118)
一 生物质热解综合技术	(118)
二 生物质固化成型	(119)
三 燃料乙醇	(119)
四 生物质气化	(120)
五 生物质发酵产氢	(120)
六 生物质燃烧技术	(121)
第二节 生物柴油发展分析	(121)
一 生物柴油概述	(121)
二 生物柴油效益分析	(125)
三 发展生物柴油有着良好的应用前景	(126)
四 中国生物柴油业发展建议	(130)
第三节 燃料乙醇业发展分析	(131)
一 中国可用于生产燃料乙醇的秸秆资源分析	(131)
二 国际燃料乙醇产业分析	(136)
三 中国燃料乙醇产业分析	(138)
四 全球燃料乙醇行业发展对中国的启示	(139)

第六章 生物质能开发的经济技术评价	(142)
第一节 技术经济评价概述	(142)
一 技术经济学	(142)
二 技术经济评价	(143)
第二节 基于层次分析法的生物质能开发集总加权 评价模型	(144)
一 层次分析法	(144)
二 集总加权评价模型	(145)
第三节 生物质能利用系统评价结果	(151)
第七章 中国生物质能开发利用的政策法规	(154)
第一节 中国现有生物质能开发利用政策法规 形成的背景	(154)
一 推进中国能源安全与发展的需要	(154)
二 中国能源产业壮大与完善的需要	(155)
第二节 中国目前颁布的有关生物质能 开发利用的政策	(156)
一 《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》	(156)
二 《中华人民共和国可再生能源法》	(157)
三 《国务院关于加强节能工作的决定》	(159)
四 《可再生能源发电价格和费用分摊 管理试行办法》	(160)
五 《可再生能源发电有关管理规定》	(162)
六 《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》	(163)
七 《国家发改委关于可再生能源产业发展 指导目录》	(164)
八 《能源发展“十一五”规划》	(166)
九 《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》	(166)
十 《中华人民共和国节约能源法》	(168)

第八章 促进中国生物质能产业发展的思路	(170)
第一节 生物质能产业发展内涵	(170)
一 生物质能产业化的基本内涵	(170)
二 指导思想	(172)
三 基本原则	(172)
第二节 政策支撑体系	(173)
一 多种机制并存的生物质能支持政策体系的建立	(173)
二 明晰管理部门职责,遵循外部性原则,制定系列 支持政策	(175)
三 正确处理好各主体间的关系,稳步发展 非粮生物质能	(178)
第三节 技术支撑体系	(179)
一 中国生物质能开发利用技术发展现状	(180)
二 中国生物质能开发利用技术存在的问题	(183)
三 中国生物质能开发利用技术体系的建立与完善	(185)
第四节 市场支撑体系	(190)
一 建立多方协作共荣的原料市场支撑体系	(190)
二 加大政府投入,建立良好的销售流通体系	(192)
三 制定合理的生物质能消费需求政策,优化 能源消费结构	(193)
第五节 组织管理体系	(195)
一 构建合理、健全的生物质能发展组织管理体系	(196)
二 构建高效、规范、制度化的组织管理运行体系	(200)
参考文献	(203)

绪 论

一 研究背景和意义

(一) 发展生物质能的研究背景

气候是人类生存环境的基本组成部分。气候和气候变化是由逐日的天气和天气变化累积而成。20 世纪 70 年代末, 科学家开始认识到气候变化是一个潜在的严重问题。科学研究表明, 近百年来, 地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化, 这种变暖是由自然的气候波动和人类活动共同引起的。1988 年, 世界气象组织和联合国环境规划署建立了政府间气候变化专家委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), 主要任务是定期对气候变化科学知识的现状、气候变化对社会和经济的潜在影响, 以及适应和减缓气候变化的可能对策进行评估, 为各国政府和国际社会提供权威的科学信息。IPCC 自成立以来, 已组织世界上数以千计的不同领域的科学家完成了四次评估报告和“综合报告”。IPCC 第四次评估已经公布的三个工作组的评估报告 (AR4) 和决策者摘要 (SPM), 给出了对气候变化影响及对策的最新认识。指出最近 100 年 (1906—2005 年) 地球表面平均温度上升了 0.74°C (0.56°C — 0.92°C), 最近 50 年升温率几乎是过去 100 年的两倍。指出人类活动“很可能”是导致气候变暖的主要原因^①。预计到 21 世纪末, 全球地表平均增温 1.1°C — 6.4°C , 全球平均海平面上升幅度为 0.18 — 0.59 m 。在未来 20 年中, 气温大约以每 10 年 0.2°C 的速度升高, 即使所有温室气体和气溶胶浓度稳定在 2000 年的水平, 每 10 年

^① IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis.

也将增暖 0.1°C 。如果 21 世纪温室气体的排放速率不低于现在的水平,将导致气候进一步变暖,某些变化会比 20 世纪更显著。报告还指出,从所有大陆和多数海洋得到的观测数据表明,许多自然系统正在受到区域气候变化,特别是温度升高的影响。在肯定了气候变化影响、适应与脆弱性问题的复杂性之后,报告指出,继续升温 3°C — 4°C (相当于温室气体稳定浓度为 $550\text{—}650\mu\text{L/L}$) 后,其带来的不利影响将更为严重^①。

“气候变化既是环境问题,也是发展问题,归根到底是发展问题”^②。1990 年第二次世界气候大会部长级会议上,通过了《科学技术会议声明》和《部长宣言》,提出应立即开始“气候变化公约”谈判的主张,并在同年成立了由联合国全体成员国参加的气候公约“政府间谈判委员会 (INC)”,正式拉开了公约谈判的序幕。并在 1992 年 6 月的联合国环境与发展大会上,由 153 个国家和地区一体化组织正式签署了《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC),以下简称《公约》。这是迄今为止在国家环境与发展领域中影响最大、涉及面最广、意义最为深远的国际法律文书,它涉及了人类社会的生产、消费和生活方式,涉及各国国民经济和社会发展的方方面面。1994 年 3 月 21 日,即得到第 50 个国家的批准 90 天后,《公约》开始生效。到目前为止,《公约》有 189 个缔约方,其秘书处设在德国波恩。《公约》的最终目标是将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上。《公约》确立了公平原则和发达国家与发展中国家共同但有区别的原则,规定发达国家应率先减少温室气体的排放,在 2000 年将其温室气体的排放稳定在 1990 年的水平上。

“议定书”规定了《公约》附件一国家的量化减排指标,即在 2008—2012 年(第一承诺期)其温室气体排放量在 1990 年的水平上平均削减 5.2%。“议定书”中规定了六种温室气体,分别是二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亚氮(N_2O)、氢氟碳化物(HFC_s)、全氟

① 林而达等:《气候变化影响的最新认知》,《气候变化研究进展》2007 年第 3 卷第 3 期。

② 胡锦涛:《携手开创未来 推动合作共赢》,《人民日报》(海外版)2005 年 7 月 8 日。

氟化物 (PFC_s)、六氟化硫 (SF₆)。“议定书”还规定了三种“灵活机制”来帮助附件一所列缔约方以成本有效的方式实现其部分减排目标,这三种机制是排放贸易 (ET)、联合履行 (JI) 和清洁发展机制 (CDM)。排放贸易和联合履行主要涉及附件一所列缔约方之间的合作;而清洁发展机制涉及附件一所列缔约方与发展中国家缔约方之间在二氧化碳减排量交易方面的合作关系。在“议定书”和《公约》谈判过程中,欧盟由于其产业结构、能源结构和环保技术方面的优势,不仅在温室气体控制方面提出了较高的目标,而且主张采取强制性的温室气体减排措施,包括提高能源效率、节约能源、促进包括生物质能在内的可再生能源的发展等。所以,能源的安全不仅仅是能否找到我们需要的能源供应,还涉及能源消耗产生的二氧化碳的国际排放权分配,即未来可能的气候变化国际公约是否会限制中国的二氧化碳排放,从而限制中国的能源消耗,威胁我们的能源安全。

生物质能在中国是仅次于煤炭、石油和天然气的第四位能源资源,占全部能源消耗总量的 20%,在整个能源系统中占有重要的地位。生物质能 (Bioenergy) 是蕴藏在生物质中的能量,是绿色植物通过叶绿素将太阳能转化为化学能而储存在生物质内的能量^①。生物质 (Biomass) 是指有机物中除化石燃料外的所有来源于动、植物能再生的物质。它包括所有的动物、植物和微生物,以及由这些有生命物质派生、排泄和代谢的许多有机质。生物质资源在中国主要包括农业废弃物和能源生物资源 (能源/化工专用动植物和藻类)。目前,能源生物资源主要是指能源农业、能源林业资源,包括油料植物、能源作物等。而其中农业废弃物包括四大类:植物类废弃物 (农林生产过程中产生的残余物)、动物类废弃物 (牧、渔业生产过程中产生的残余物)、加工类废弃物 (农林牧渔业加工过程中产生的残余物) 和农村城镇生活垃圾等。

生物质能的优点:一是可再生性。二是低污染性。生物质的硫含量、氮含量低,生物质作为燃料时,燃烧过程中的硫化物和氮化物较少,二氧化碳净排放量近似于零;用新技术开发利用生物质能不仅有助于减轻温室效应,促进生态良性循环,而且可替代部分石油、煤炭等化

① 陈益华等:《我国生物质能利用的现状与发展对策》,《农机化研究》2006 年第 1 期。

石燃料,成为解决能源危机与环境问题的重要途径之一。三是广泛分布性。缺乏煤炭的地域可充分利用生物质能。四是具有燃烧容易,灰分低的特点。但由于技术和经济的原因以及可再生能源分布较为分散,能量密度、热值及热效率低等特点,目前其利用率尚不高,仅占全球能源消耗总量的 22%^①。因此,应把生物质能当作发展可再生能源的重要选择,改善能源消耗结构,保证中国经济的快速增长和社会的可持续发展。

(二) 发展生物质能的意义

能源是人类社会生存、国民经济发展的必备资源和重要战略物资。占目前世界一次能源供应 87.7%^②的化石能源,因其不可再生性、稀缺性以及附带产生的诸多严重环境问题,已经制约人类的可持续发展。世界能源委员会在《1992 年世界能源资源调查》报告^③中指出,以目前的消费速度,全世界已探明的煤、石油和天然气储量将分别在 262 年、49 年和 57 年后用完。不管该数据是否精确,它至少说明了化石能源以目前的消费方式将影响未来人类的发展,能源将成为未来人类社会发展的瓶颈。此外,化石能源的大量使用也是大气中二氧化碳、二氧化硫等温室气体和污染气体浓度不断升高的一个非常重要的原因,大气中二氧化碳浓度由 1958 年以来夏威夷莫纳罗亚气象台大气二氧化碳浓度长期测量发现的 315 $\mu\text{L/L}$ 上升到 2003 年 376 $\mu\text{L/L}$,并呈逐年上升加剧趋势^④。能源紧缺以及由其产生的生态环境恶化,使得当今能源和环境科学研究的一个重要领域成为寻找新的替代能源。在这些新能源中,由于核能、大型水电具有潜在的生态环境风险^⑤,风能和地热等具有区域性资源制约,大力发展这些能源受到了限制和质疑,而生物质能却以资源丰富、生态环境友好光彩夺目。生物质能服务的对象主要是农村生产、

① 陈益华等:《我国生物质能利用的现状与发展对策》,《农机化研究》2006 年第 1 期。

② 唐炼:《世界能源供需现状与发展趋势》,《国际石油经济》2005 年第 11 期。

③ 林宗虎:《论未来的中国能源》,《自然杂志》2001 年第 23 期。

④ <http://www.edu.cn/20041015/3117997.shtml> 2005-510.

⑤ Chang J., A Review on the Energy Production, Consumption, and Prospect of Renewable Energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2003, 7: 453, 468.

生活用能,对于中国有着 7.5 亿农民的具体国情以及生物质资源丰富、农村用能短缺、品位低的现实,大力发展生物质能,直面“三农”、能源和环境三大主题^①,具有重要的战略意义。

1. 发展生物质能是解决农村就业问题的一个重要手段

生物质能产业打破了传统农业的局限,开辟出农产品及其废弃物新的利用方式,拓宽了农民增收渠道,有利于转变农业增长方式,发展循环经济,延长农业产业链,有利于农村富余劳动力就业。已有的一些研究表明^②,与石油、煤炭、天然气、核能等传统能源产业相比,生物质能产业能创造更多的就业机会,如表 0-1 所示。

表 0-1 生物质能和其他能源创造的就业机会比较 (FAO)

部门	工作岗位数 (人·年)/太瓦时
石油	260
天然气	250
煤炭	370
核能	75
木材能乙醇 (来自甘蔗)	1000—4000

可见按照能源方式每太瓦时可以创造的工作岗位数中制取乙醇的部门最多,而高技术的核能部门是最少的,石油、天然气部门相差不多,远远少于用甘蔗来生产乙醇的部门。在中国林木生物质能研究课题组^③进行的类似相关研究中,得出同样的结果。在工业化国家中,陆上石油业 (包括开采、冶炼和销售) 生产每百万吨标准油的能源需要的工作岗位为 959 个,煤炭业为 925 个,天然气业为 430 个,而生物质固体燃料业为 3000—5000 个,生物乙醇业为 18000—28000 个,植物柴油业为

① 石元春:《发展生物质产业是解决能源问题的新出路》,blog.sina.com.cn/u/2586895780。

② Developing Countries Are Combating Climate Change: Actions in Developing Countries that Growth in carbon emissions, *Energy Policy* 2003, (26): 233-237.

③ 中国林木生物质能研究课题组:《中国林木生物质能源发展潜力研究报告》,《中国林业产业》2006 年第 1 期。

29000 个, 生物质发电业为 1650 个。欧盟国家面临严重的失业问题, 应把发展生物质能看作解决本国就业问题的一个重要手段。

2. 发展生物质能有利于解决“三农”问题, 增加农民收入

中国 80% 人口生活在农村, 尽管煤炭等商品能源在农村的使用迅速增加, 但生物质一直占有重要地位^①。中国一直注重农产品向食品转化, 但由于市场容量制约, 近几年还是出现了卖粮难、卖果难的局面。种植油料作物来生产生物柴油, 走的是农产品向工业品转化之路, 而且液体燃料市场广阔, 是一条强农业、富农民的可行途径。而通过发展农林生物质发电、种植能源作物和能源植物, 开发新型农村能源产业, 将促进农村经济更快发展。通过发展沼气、生物质固体成型燃料和生物质气化开发中, 可使农林业生物质利用逐步迈向产业化, 形成一个门类众多的产业化体系。调查表明, 秸秆造纸和炭化可使秸秆增值数倍到数十倍^②, 能够为农村提供高效清洁的生活燃料, 改善农民的生活条件。所以发展生物质能有利于解决“三农”问题, 增加农民收入。

3. 发展生物质能有利于保证国家能源安全

中国是一个能源生产和消费大国, 又是以煤为主要能源消费的国家, 煤炭消费量占中国一次能源消费总量的 75% 以上, 接近世界同类国家平均值 3 倍; 中国能源消耗居世界第二位, 由于能源需求的日益增长, 中国能源的对外依存度不断提高。未来, 中国石油对外的依存度将会更高。由于化石能源日渐枯竭, 因此, 尽快改善能源消耗结构, 加大能源保障安全已十分迫切。

中国人均能源资源占有量不到世界平均水平的一半。据估计, 中国煤炭资源最多可利用 150 年^③; 已探明的石油资源为 32×10^8 吨, 石油总储量为 300×10^8 — 600×10^8 吨。以目前的消费速度粗略估算, 到 2030 年石油资源将只剩下 18%, 到 2037 年将可能全部耗尽。中国的生物质资源丰富, 理论生物质能资源有 50×10^8 吨左右。中国尚有近 $1 \times 10^8 \text{ hm}^2$ (一公顷) 宜农、宜林荒山荒地, 用于发展能源农业和能源林业, 可以

① 梁卫平:《21 世纪生物质能研究》,《科技情报开发与经济》2007 年第 17 期。

② 毕于运:《生物质能源的开发与利用》,《生物学教学》2008 年第 7 期。

③ 孙振钧:《中国生物质产业及发展取向》,《农业工程学报》2004 年第 20 期。

生产生物质液体燃油,是发展洁净的可替代能源的重要资源。通过发展生物燃料乙醇和生物柴油,可以为石油替代开辟新的渠道,弥补石油资源不足。

4. 发展生物质能有利于改善生态环境

发展和利用生物质能是调整能源结构、保障能源安全的重要措施。能源危机和环境污染是目前全球面临的共同难题。全球经济的高速发展,尤其是日益增加的能源需求,正在改变世界经济的格局。在人类对能源消耗不断增加的同时,环境污染等问题日益突出。为了应对能源危机和环境污染,一些国家在 20 世纪 60 年代就开始着手寻找替代能源,特别是可再生能源,目前已取得相当程度的进展。目前,欧盟许多国家能源安全不仅包括能源供应的安全,也包括由于能源生产与使用所致的生态环境安全。

中国煤炭消费量的 80% 是直接燃烧,造成环境污染问题严重,除城市烟尘污染外,酸雨现象也频频发生。生物质能属于低碳能源,它的应用技术开发把森林砍伐和木材加工剩余物以及农林剩余物如秸秆、麦草等原料通过物理或化学化工的加工方法,使之成为高品质的能源,保护环境,对于逐步改变中国以化石燃料为主的能源结构,走可持续发展的能源道路具有重要作用。

另外,中国农业废弃物对环境形成了越来越大的面源污染压力,通过实施生物质能利用技术,使生活垃圾和各种农业废弃物转化成为清洁能源和有机肥,变“废”为“宝”,能从根本上解决农村普遍存在的“畜牧公害”和“秸秆问题”;同时,开发利用生物质能可以替代常规能源,节约能源并能在减排二氧化硫和二氧化碳方面做出贡献。张培栋、王刚^①根据国际通用的减排量计算方法,对中国农村户用沼气替代传统生物质能和煤炭所产生的二氧化碳和二氧化硫的减排量进行了计算分析。研究表明,1996—2003 年,每年可减少二氧化碳排放 39.76×10^4 — 419.39×10^4 吨,减少二氧化硫排放 2.13×10^4 — 6.20×10^4 吨。并预测了未来情景,证明中国农村户用沼气工程的建设能减轻农村环境

^① 张培栋、王刚:《农村户用能源生态工程北方模式能量转化研究》,《太阳能学报》2005 年第 20 期。

污染,有助于部分缓解全球气候变暖的趋势。因此,在当前气候变化形势下,发展生物质能不仅能解决农村、农民问题,也能保护生态环境,缓解能源危机。

二 国内外研究现状

(一) 国际研究现状

自从1981年8月在内罗毕召开联合国新能源和可再生能源会议以来,许多国家对能源、环境和生态问题越来越重视,特别是利用现代新能源技术和新材料来开发包括生物质能在内的新能源,备受各国关注。目前,生物质能的技术研究和开发利用已成为世界重大热门课题之一,许多国家都制定了相应的开发研究计划,如日本的阳光计划、印度的绿色能源工程、巴西的酒精能源计划等,其中,生物质能的开发利用都占有相当大的比重。现在,国外有许多生物质能利用技术与设备已达到了商业化应用的程度,实现了规模化产业经营。目前,世界各国正逐步采用如下方法利用生物质能:一是热化学转换技术,获得木炭焦油和可燃气体等品位高的能源产品,该方法又按其热加工的方法不同,分为高温干馏、热解、生物质液化等方法;二是生物化学转换法,主要指生物质在微生物的发酵作用下,生成沼气、酒精等能源产品;三是利用油料植物所产生的生物柴油;四是直接燃烧技术,包括炉灶燃烧技术、锅炉燃烧技术、致密成型技术和垃圾焚烧技术等^①。

生物质发电已占发达国家可再生能源发电量的70%。在美国生物质发电装机容量已达10.5GW,70%为生物质—煤混合燃烧工艺,单机容量10—30MW,发电成本3—6美分/(kW·h),预计到2015年装机容量将达16.3GW。美国生物质能利用占一次能源消耗总量的4%左右。欧洲是生物质能开发利用非常活跃的地区,新技术不断出现,并且在较多的国家得以应用。

1991年,在瑞典瓦那茂兴建了世界上第一座完成的生物质气化燃气轮机/发电机—汽轮机/发电机联合发电厂,净发电量6MW,净供热

^① 马常耕、苏晓华:《生物质能源概述》,《世界林业研究》2005年第6期。

量 9MW，系统总效率达 80% 以上。该国用催化裂解法处理生物质燃气中的焦油水平处于世界领先地位。

在芬兰，使用上流式气化炉生产生物质燃气，用于区域集中供热，已达到商业化水平。该国的生物质气化设备制造厂在 1988 年前生产的 9 套设备，分别在芬兰、瑞典各地运行。在芬兰有世界上第一个以泥炭为原料用气化合成氨的方法来生产化肥的厂家。

位于丹麦首都哥本哈根以南的阿维多发电厂被誉为全球效率最高、最环保的热电联供电厂之一。阿维多电厂每年燃烧 15×10^4 吨秸秆，可满足几十万用户的供热和用电需求。使用秸秆发电，电厂降低了原料的成本，百姓享受了便宜的电价，环境受到保护，新能源得以开发，同时还使农民增加了收入。

在发展中国家，印度的生物质能开发利用搞得比较好，以前沼气应用比较多，近期生物质压缩成型、气化技术等进展显著。生物质气化炉与柴油机/发电机组成的 3.7kW、25kW、70kW 及 100kW 系统中，100kW 系统发电效率为 35%。发电用于水泵、磨谷机和其他小型电气设备，其中 3.7kW 发电系统已推广应用数百台。生物质气化炉产出的燃气还用于烟草、茶叶、食品、木材加工等生产过程中。

巴西是个盛产甘蔗的国家，而在 1965 年制定了“国家森林法”，开始大量营造薪炭林，在巴西的东北部有 $1/3$ 的土地 ($5000 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 适宜营造薪炭林，在该地区的巴伊亚州，已用桉树作原料兴建了一座 25MW 生物发电站，并投入商业运营，以薪炭林木材作燃料的发电潜力将超过甘蔗。

畜禽粪便生产沼气的技术在欧、美等发达国家发展很快。已有成套热电沼气工程技术、不同型号气—油联合发电机、大型实用型沼气发酵罐体、储料罐体、预处理和输配气和输配电系统等。另外，农业废弃物制氢技术和以农业有机废水为原料的生物燃料电池技术研究有望成为农业有机废水资源化利用的一个重要新途径^①。20 世纪 90 年代以来，德国在间歇式干法沼气发酵技术的研发上又取得了新的进展。1999 年春季德国农村中农户共拥有 600 个沼气设备，目前已发展到 800 个。德国

① 李建政、汪群慧：《废物资源化与生物能源》，化学工业出版社 2004 年版。