

檀勤良
王瑞武
潘昕昕
高瑞

著

OPERATION
MODELS OF FUEL SUPPLY
CHAIN FOR
BIOMASS ELECTRICITY
GENERATION

BIOMASS ELECTRICITY

生物质发电燃料供应链 运营模式研究



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

国家自然基金项目 (71373077) 资助

OPERATION MODELS OF
FUEL SUPPLY CHAIN
FOR BIOMASS ELECTRICITY GENERATION

生物质发电燃料供应链 运营模式研究

檀勤良 潘昕昕 王瑞武 高 瑞 / 著

BIOMASS ELECTRICITY



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

生物质发电燃料供应链运营模式研究 / 檀勤良, 潘昕昕, 王瑞武, 高瑞著.

北京: 中国经济出版社, 2017. 10

ISBN 978 - 7 - 5136 - 4857 - 8

I. ①生… II. ①檀…②潘…③王…④高… III. ①生物能源—发电—供应链管理—研究—中国 IV. ①F426. 61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 227049 号

责任编辑 赵静宜

责任印制 巢新强

封面设计 华子图文

出版发行 中国经济出版社

印刷者 北京建宏印刷有限公司

经销者 各地新华书店

开 本 710mm × 1000mm 1/16

印 张 11

字 数 157 千字

版 次 2017 年 10 月第 1 版

印 次 2017 年 10 月第 1 次

定 价 49.00 元

广告经营许可证 京西工商广字第 8179 号

中国经济出版社 网址 www.economyph.com 社址 北京市西城区百万庄北街 3 号 邮编 100037

本版图书如存在印装质量问题, 请与本社发行中心联系调换 (联系电话: 010 - 68330607)

版权所有 盗版必究 (举报电话: 010 - 68355416 010 - 68319282)

国家版权局反盗版举报中心 (举报电话: 12390)

服务热线: 010 - 88386794

序 言

“创新、协调、绿色、开放、共享”5大新发展理念是我国必须坚持的核心发展理念。“绿色”体现了我国对发展绿色能源的要求。为推动我国“政治、经济、文化、社会、生态”五位一体全面发展，因地制宜、合理开发和利用新能源及可再生能源必然是我国能源和电力行业改革的重要举措。2009年联合国气候变化峰会上，中国政府声明将大力发展可再生能源及核能，预计到2020年，非化石能源在我国能源结构中占比15%。2014年国务院下发的《能源发展战略行动计划（2014—2020年）》，将这一要求明确化，要求到2020年，非化石能源占一次能源消费比重达到15%，贯彻实施“绿色低碳”战略，着力优化能源结构。

生物质能是仅次于煤炭、石油和天然气3大常规能源的世界第4大能源，是当前消费量最大的可再生能源。美国、丹麦及德国等欧美发达国家从20世纪末就开始大力发展和利用生物质能源，并已基本实现了对生物质能的规模化应用和生产。2014年，全球木质颗粒产量达2410万吨，其主要产源为美国、德国、加拿大和瑞典等国。我国作为农业大国，生物质资源极为丰富，特别是农林剩余物。《生物质能发展“十二五”规划》中提到，我国每年可能源化利用的秸秆资源约3.4亿吨，可能源化的稻谷壳、甘蔗渣等约6000万吨；而每年可能源化的林业剩

余物和能源植物约 3.5 亿吨；每年可能源化的城市生活有机垃圾约 1.5 亿吨。由此可见，我国生物质能源具有巨大的发展和利用潜力。生物质发电作为生物质能源利用的主要形式，近年来备受各国的重视。我国一直鼓励将生物质发电作为生物质能源利用的重要途径，并相继出台了一系列相关政策，通过给予生物质发电上网电价优惠等措施来大力扶持生物质发电产业。经过多年的努力，我国生物质发电企业已初步形成了从生物质燃料收集到生物质电能产出的供应链运作模式，截至 2015 年，我国生物质发电累计并网装机容量达 1171 万千瓦，预计到 2020 年底，生物质发电装机将达 1500 万千瓦以上。随着我国农林业经济的发展和生态文明建设的深化，生物质发电产业的规模将得到进一步扩大。

生物质燃料的稳定、可靠供应是保障生物质发电正常运作的关键因素。本书主要围绕生物质燃料供应模式展开研究，以协同学为主要指导方法，旨在通过不同方案和方法的比选寻找供应效率高，经济效益好同时兼具可操作性的生物质燃料供应模式。在此基础上，本书结合我国生物质燃料供应侧的实际特点，提出了相应的方案措施，为我国寻找科学、高效的生物质燃料供应模式，提高生物质发电行业的整体运作效率提供一定的参考和借鉴依据。

本书的研究主要有以下 4 方面的贡献：

(1) 基于协同学理论，探索分析我国生物质发电供应链系统的协同学特性和初始协同控制参量，建立生物质发电供应链系统协同学模型，探析我国生物质发电供应链系统的序参量，分析生物质发电供应链系统的协同演化路径。

(2) 明确我国生物质发电供应链系统的异质利益主体，依据生物质发电供应链系统异质利益主体协同度指标构建协同度模型，以探究分析我国生物质发电供应链系统的协同运作状态。

(3) 将农村正式组织引入供应链中,探索这一条件下的燃料供应链运行模式,充分发挥正式组织的主导作用,有效保证燃料的质量、供应稳定性以及燃料价格的合理性。

(4) 将农户的秸秆供给数量设置为模糊变量,分析不同供应链模式下的契约数量及秸秆供给情况。同时在模糊供给条件下,探讨了成本分担契约、收益共享契约和期货契约对生物质发电燃料供应链的影响,提升了农户对生物质发电燃料供应环节的参与度。

本书是我结合近年来的部分研究成果及研究侧重整理归纳而成的,由于水平与能力所限,在生物质燃料供应链研究中的诸多方面本书尚未涉及,希望在后续的工作中能够进一步完善。本书难免有不足与错误之处,恳请国内外同行批评指正。

本研究得到了国家自然科学基金项目(71373077)等项目的资助,在此表示衷心的感谢。研究过程中参考了前人的研究成果;在调研过程中得到了许多生物质发电厂、电力公司等单位的大力支持;本书得到张兴平教授的指导和博士生刘源的帮助,在此一并表示感谢。

序 言

作者

2017年7月

目 录

CONTENTS

第1章 绪论	/ 1
1.1 生物质能发展及应用现状	/ 1
1.1.1 生物质能发展现状	/ 1
1.1.2 生物质发电现状	/ 4
1.2 生物质发电燃料供应现状及问题	/ 7
1.2.1 生物质发电燃料供应模式	/ 7
1.2.2 生物质发电供应过程中的问题	/ 8
1.3 文献综述	/ 11
1.3.1 生物质发电研究	/ 11
1.3.2 生物质发电燃料供应链研究	/ 13
第2章 生物质发电供应链系统异质利益主体协同度分析	/ 21
2.1 异质利益主体协同研究概述	/ 21
2.2 理论基础	/ 25
2.2.1 供应链协同理论	/ 25
2.2.2 复杂系统理论	/ 27

2.3	生物质发电供应链系统异质利益主体协同度指标体系	30
2.3.1	指标体系构建原则	30
2.3.2	协同度指标体系构建	32
2.3.3	定性指标的赋值方法	34
2.4	生物质发电供应链系统异质利益主体协同度模型构建	35
2.5	算例分析	38
2.5.1	模型计算	38
2.5.2	计算结果分析	45
第3章	生物质发电供应链系统的协同学研究	47
3.1	生物质发电供应链系统协同学研究概述	47
3.1.1	协同学研究现状分析	47
3.1.2	生物质发电供应链系统的协同学特性	50
3.2	理论基础	51
3.2.1	协同学概论	51
3.2.2	协同学主要概念和原理	52
3.2.3	哈肯基本模型	54
3.3	生物质发电供应链系统的协同控制参量探索	55
3.3.1	协同参量探索分析	55
3.3.2	协同参量探索结果	56
3.4	生物质发电供应链系统的协同学模型构建	57
3.4.1	郎之万方程	57
3.4.2	生物质发电供应链系统的协同学模型	58
3.5	算例分析	61
3.5.1	模型计算	61
3.5.2	计算结果分析	65

第4章 生物质发电燃料供应的系统动力学模型 / 67

4.1 理论基础 / 67

4.1.1 系统动力学理论 / 67

4.1.2 委托代理理论 / 71

4.1.3 演化经济学理论 / 74

4.2 生物质燃料供应链系统商业模型的构建 / 77

4.2.1 系统动力学方法的选择依据 / 77

4.2.2 生物质燃料产业价值链分析 / 78

4.2.3 生物质燃料运营模式系统动力学模型构建 / 84

4.2.4 本章小结 / 96

第5章 生物质燃料供应链系统动力学仿真 / 97

5.1 案例选取以及模型初值 / 97

5.2 模型仿真 / 100

5.3 模型动态分析 / 103

5.3.1 村委会的动态分析 / 104

5.3.2 收购站的动态分析 / 106

5.3.3 发电企业的动态分析 / 108

5.4 本章小结 / 110

第6章 生物质发电燃料模糊供应模型 / 111

6.1 理论基础 / 111

6.1.1 模糊数学理论 / 111

6.1.2 三角模糊数 / 113

6.2 农户—中间商—电厂模式下的模糊供给模型 / 114

6.2.1 分散决策下供应链协调 / 114

6.2.2 集中决策下供应链协调 / 119

6.3 农户—农村正式组织—电厂模式下的模糊供给模型	121
6.3.1 分散决策下供应链协调	121
6.3.2 集中决策下供应链协调	122
6.4 案例分析	123
6.5 本章小结	126
第7章 生物质发电供应链契约协调研究	128
7.1 理论基础	129
7.1.1 供应链管理理论	129
7.1.2 供应链契约理论	129
7.2 成本分担契约	131
7.2.1 双方成本分担契约	132
7.2.2 三方成本分担契约	138
7.2.3 案例分析	140
7.3 收益共享契约	142
7.3.1 分散决策	143
7.3.2 集中决策	145
7.3.3 案例分析	146
7.4 期货契约	148
7.4.1 模型构建	148
7.4.2 案例分析	149
7.5 本章小结	151
参考文献	153
索 引	165

第 1 章

绪 论

1.1 | 生物质能发展及应用现状

1.1.1 生物质能发展现状

第 1 章

绪 论

生物质能源包括农林剩余物（如秸秆等）、城市垃圾剩余物和生产剩余物等，其利用方式主要有生物质发电、生物质成型燃料、生物质燃气和生物质液体燃料等。生物质资源具有以下优点：

（1）广泛分布易获取。生物质资源具有普遍性、易获取性，几乎在任何国家、任何地区都可以获得，并且价格低廉，生产过程简单。

（2）储量丰富且可再生。在光照下，植物通过光合作用，源源不断地将能量以生物质的形式储存在植物中，据推算，生物质能源的年生产量远远超过全世界总能源需求量，相当于目前世界总能耗的 10 倍，而生物质能源的开发利用量还不到总量的 1%。

（3）低污染。发展生物质能源可以充分发挥清洁替代作用。生物质在燃烧过程中，基本没有硫化物的产生，其燃烧所释放的 CO_2 基本相当于其生长时所吸收的 CO_2 ，所以生物质能源的碳排放量几乎为零。

(4) 可储存。相较于风能和太阳能等清洁能源,生物质能以燃料的形式进行储存。

美国、丹麦和德国等国家 20 世纪末就开始大力发展和利用生物质能源,在这些国家,生物质能已经实现规模化应用和生产。截至 2015 年,全球生物质发电装机容量约 1 亿千瓦,其中美国 1590 万千瓦、巴西 1100 万千瓦,生物质热电联产已成为欧洲,特别是北欧国家重要的供热方式;全球生物质成型燃料产量约 3000 万吨,欧洲是世界上最大的生物质成型燃料消费地区,年均约 1600 万吨;全球沼气产量约为 570 亿立方米,其中德国沼气年产量超过 200 亿立方米,瑞典生物天然气满足了全国 30% 车用燃气需求;全球生物液体燃料消费量约 1 亿吨,其中燃料乙醇全球产量约 8000 万吨,生物柴油产量约 2000 万吨。

我国作为农业大国,生物质资源丰富,特别是农林剩余物。《生物质能发展“十三五”规划》中提到,我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 4.6 亿吨标准煤,我国生物质能源发展和利用的潜力巨大。大力发展生物质能源可以有效提高我国可再生能源利用比例,缓解能源压力,改善人居环境,对我国政治、经济、社会和环境等方面均会产生深远的影响。

(1) 缓解能源压力。生物质能源作为可再生能源,分布广泛,具有广阔的应用前景,国内外生物质发电和生物质能成型燃料等技术相对成熟,可以进行大范围推广,推进化石能源的清洁替代。中国化石能源储量丰富,但人均占有量较少,并且中国对化石能源的消耗量巨大,我国煤炭、石油、天然气已探明储量仅分别为 34 年、13 年和 29 年,站在国家能源战略的层面,必须大力发展可再生能源,并对我国的能源结构进行调整。

(2) 改善生态环境。化石能源燃烧产生大量的硫氧化物和氮氧化物,对环境造成严重污染,并且化石能源的过度开采还会对当地植被造成严重

破坏。每到收获季节,为了抢收抢种,虽然从国家到地方政府均出台了秸秆禁烧政策,但秸秆焚烧现象仍屡禁不止,严重污染了大气环境。此外,秸秆随意丢弃现象也较严重,造成了极大的浪费。如果农作物秸秆能够得到充分的利用,不仅可以使环境问题得到改善,还能为农民带来一定的收益,达到一举多得的效果。

(3) 解决“三农”问题,促进农业产业结构升级,改善农业生产经营管理方式,推动林业经济发展,有利于创造就业机会,增加农民收入,有利于发展绿色能源、促进农村工业的发展,有利于优化农村能源结构,改善生态环境,有利于优化农村生活环境。

截至2015年,我国生物质能利用量约为3500万吨标准煤,其中商品化生物质能利用量约为1800万吨标准煤,生物质能的利用已经具有一定的规模,如表1-1所示。

表 1-1 2015 年全国生物质能利用现状

利用方式	利用规模		年产量		折标煤
	数量	单位	数量	单位	万吨/年
1. 生物质发电	1030	万千瓦	520	亿千瓦时	1520
2. 户用沼气	4380	万户	190	亿立方米	1320
3. 大型沼气工程	10	万处			
4. 生物质成型燃料	800	万吨			400
5. 生物燃料乙醇			210	万吨	180
6. 生物柴油			80	万吨	120
总计					3540

数据来源:生物质能发展“十三五”规划

我国生物质发电技术基本成熟,2015年生物质发电总装机容量为1030万千瓦,年发电量约520亿千瓦时,其中,农林生物质(秸秆等)直燃发电约530万千瓦,垃圾焚烧发电约470万千瓦,沼气发电约30万千瓦;我国生物质成型燃料具有产业化基础,2015年生物质成型燃料年利用量约

800 万吨；我国生物质燃气产业发展良好，2015 年我国沼气理论产量约 190 亿立方米，其中规模化沼气工程约 10 万处，产气量约 50 亿立方米；我国生物质液体燃料产业处于发展初期，2015 年我国生物柴油产量约 80 万吨，燃料乙醇产量约 210 万吨。

1.1.2 生物质发电现状

我国一直鼓励将生物质发电作为生物质能源利用的重要途径，并出台了《国家发展改革委关于完善农林生物质发电价格政策的通知》等政策，给予生物质发电优惠上网电价，以及其他相关的优惠政策，如发电量全部并网、退税、交通优惠等，对生物质发电产业进行大力扶持。我国生物质发电方式主要有农林生物质直燃发电、垃圾焚烧发电和沼气发电等，其中，农林生物质直燃发电是最主要的生物质发电方式。2014 年，我国生物质发电装机容量超过 9400 兆瓦，比 2005 年增长了 3.7 倍。随着我国农林业经济的发展和生态文明建设，生物质发电产业规模将进一步扩大，《能源行业加强大气污染防治工作方案》中明确提出，到 2017 年实现生物质发电装机容量 11000 兆瓦。

在优惠政策的刺激下，各地生物质燃料制备公司以及机械设备制造公司大量成长起来，表 1-2 则列出了对应的燃料公司情况。

表 1-2 燃料公司情况

编号	名称	地址
R001	福瑞斯沃德木业经销有限公司	黑龙江省哈尔滨市
R002	兴华木业有限公司	黑龙江伊春市
R003	沈阳蓝天环保颗粒有限公司	辽宁省沈阳市
R004	一能信生物质能源科技有限公司	辽宁省大连市
R005	博铭颗粒加工厂	天津市宁河县
R006	宏宇生物质燃料有限公司	天津市
R007	百实茂新能源发展有限公司	重庆市

续表

编号	名称	地址
R008	泓永胜生物质颗粒公司	河北省邢台市
R009	文安县大淀玉米种植合作社	河北省廊坊市
R010	大森林生物质能源颗粒公司	河北省邢台市
R011	龙铭生物能源科技有限公司	河北省廊坊市
R012	三木能源科技有限公司	河北省衡水市
R013	利岗农产品加工厂	河北省内丘县
R014	蔚蓝生物质能源有限公司	河北省邢台市
R015	聚新能源科技有限公司	河北省冀州市
R016	大森生物质能源有限公司	山东省菏泽市
R017	临清新能颗粒燃料有限公司	山东省临清市
R018	鸿亿生物燃料有限公司	山东省临沂市
R019	邦德瑞新能源有限公司	山东省青岛市
R020	夏津鸿润新能源有限公司	山东省德州市
R021	鑫地生物质能源有限公司	河南省商丘市
R022	三利热能开发有限公司	河南省方城县
R023	金燃生物质能源开发有限公司	安徽省霍邱县
R024	兴旺新型燃料有限公司	安徽省太和县
R025	新宇生物能源有限公司	安徽省合肥市
R026	瑞祺生物质颗粒厂	江苏省泗阳县
R027	邳州市汇昌生物质燃料公司	江苏省徐州市
R028	光大生物能源(灌云)有限公司	江苏省连云港市
R029	华农生物质能源有限公司	江苏省兴化市
R030	韩永生物能源有限公司	江苏省宿迁市
R031	铭盛新能源科技有限公司	江苏省宜兴市
R032	事强实业有限公司	上海市
R033	昂格瑞农业科技有限公司	湖北省武汉市
R034	林邦新能源有限公司	江西省九江市
R035	南昌欲超生物科技有限公司	江西省南昌市
R036	震声生物质能源发展管理公司	浙江省安吉县
R037	东阳江南生物质燃料颗粒厂	浙江省金华市
R038	绍兴明丰新能源	浙江省绍兴市

第 1 章

绪论

续表

编号	名称	地址
R039	横店宏博生物质燃料颗粒厂	浙江省金华市
R040	科行环保生物质颗粒有限公司	浙江省东阳市
R041	正立能源科技有限公司	浙江省富阳市
R042	洁源生物质燃料制品厂	浙江省安吉县
R043	进中生物食用菌有限公司	浙江省乐清市
R044	久泰生物质能源有限公司	浙江省临海市
R045	元和新能源有限公司	福建省政和县
R046	茂源生物颗粒厂	广西壮族自治区贵港市
R047	祥瑞生物质能源有限公司	广西壮族自治区桂平县
R048	合力生物燃料有限公司	广东省广州市
R049	绿迪新能源有限公司	广东省东莞市
R050	绿能生物质能源有限公司	广东省乐昌市
R051	八步区信都兴业木糠粒制品厂	广东省佛山市

当然由于我国生物质发电产业正处于发展阶段，在某些方面依然面临着严峻的考验：

（1）秸秆燃料收集成本高。目前，我国多数生物质电厂少有盈利，主要是由于秸秆燃料收集成本高，且占生物质电厂发电总成本的 60% 左右，严重制约我国生物质能产业的发展，近年来，各地秸秆收购价格依然保持着较高的增长速度；同时，同一地区多家生物质能源企业相互竞争，也是导致秸秆燃料收集困难的主要原因。

（2）运输成本高。在国家政策的扶持下，我国生物质产业迅速发展起来，同时也暴露出电厂选址及收储点选址方面存在的问题：一方面，电厂和收储点选址不合理导致运输距离过远，运输成本过大，农户运送秸秆不方便；另一方面，由于不合理地规划、审批新建生物质电厂，同一地区可能存在多家生物质能源企业，企业之间为收集秸秆而相互竞争，导致秸秆价格超出了企业所能承受的范围。

（3）建设成本高。生物质电厂单位容量机组投资成本约为火电厂的 2

倍，但其在技术上并不具有明显的优势，过高的投资建设成本会影响可再生能源的竞争能力。我国生物质直燃发电机组中的设备大多由国外进口设备组成，在先进技术层面无自主知识产权的现状也成为制约生物质电厂发展的一个重要因素。

(4) 燃料收集困难。我国目前的生物质发电企业大多采用生物质发电直燃技术，主要生物质燃料为农林剩余物（如秸秆）。农业和林业剩余物具有明显的季节性特征，这为生物质电厂的燃料持续稳定收集及储存带来了较大的挑战；其次，我国主要以家庭为单位种植农作物，农田散布、交通不便等因素影响了生物质发电企业和燃料收购中间商的积极性，同时也影响了农户售卖生物质燃料（如秸秆）的积极性，可见，我国农业种植方式和种植结构的特性制约着生物质发电燃料的收集和运输。此外，农户供给意愿弱，农事集中，抢收抢种，从事秸秆收集工作的劳动力普遍缺乏等方面的因素也在一定程度上增加了生物质燃料收集过程中的困难。

1.2 生物质发电燃料供应现状及问题

1.2.1 生物质发电燃料供应模式

目前生物质发电供应链的主要运营模式有 2 种，即农户—电厂；农户—中间商—电厂。其中，农户—中间商—电厂模式是当前的主流供应模式。中间商或者代理人受利益驱动，会主动到田间收集农户的秸秆，再经过干燥、打包等预处理后，运送到电厂。在这种模式下，农户前期资金投