





Y1787479

目 录

摘要	I
英文摘要	III
1 引言	1
1.1 研究的目的和意义	1
1.1.1 能源问题成为当前经济发展的瓶颈	1
1.1.2 建设生态文明	2
1.1.3 黑龙江省社会经济发展的需要	2
1.2 国内外研究综述	3
1.2.1 国外研究综述	3
1.2.2 国内研究综述	4
1.3 研究的主要内容和方法	6
1.3.1 研究的主要内容	6
1.3.2 研究的方法	7
1.4 研究的技术路线及创新之处	8
1.4.1 研究的技术路线	8
1.4.2 本文的创新之处	8
2 生物质能相关理论	9
2.1 相关概念界定	9
2.1.1 生物质	9
2.1.2 生物质能	9
2.1.3 生物质能的类别	9
2.1.4 生物质能的特点	10
2.2 生物质能发展的理论基础	11
2.2.1 可持续发展理论	11
2.2.2 生态农业理论	12
2.2.3 循环经济理论	13
3 典型国家生物质能发展经验借鉴	14
3.1 美国	14
3.2 欧盟	15
3.3 巴西	15
3.4 印度	16
3.5 小结	16
4 黑龙江省生物质能发展现状及存在的问题分析	18
4.1 研究区域概况	18
4.2 黑龙江省生物质能发展现状	18

4.2.1 沼气	18
4.2.2 生物燃料乙醇	19
4.2.3 生物柴油	19
4.2.4 生物质发电	19
4.3 黑龙江省生物质能发展中存在的问题	20
4.3.1 新技术开发力度不足	20
4.3.2 生物质能利用规模小	20
4.3.3 生物质能成本高	20
4.3.4 政策环境不完善	21
4.4 小结	21
5 黑龙江省生物质能资源因素分析	22
5.1 农业废弃物类生物质能储量估算	22
5.2 畜禽粪便类生物质能储量估算	24
5.3 林业废弃物类生物质能供给潜力	28
5.4 小结	30
6 黑龙江省未来能源供求预测	31
6.1 灰色系统的原理及灰色模型 $GM(1, 1)$ 的建模	31
6.1.1 灰色系统原理	31
6.1.2 灰色模型 $GM(1, 1)$ 的建模	31
6.2 用 $GM(1, 1)$ 模型对黑龙江省能源消费量进行预测	35
6.3 用 $GM(1, 1)$ 模型对黑龙江省能源供给量进行预测	36
6.4 结果分析	37
6.5 小结	38
7 黑龙江省不同种类生物质能发展序列分析	39
7.1 层次分析法的基本过程	39
7.1.1 指标体系构建与选取	39
7.1.2 构造判断矩阵	40
7.1.3 生物质能领域专家打分	41
7.1.4 判断结果	41
7.2 主要结论	42
7.2.1 黑龙江省生物质能发展时间序列	42
7.2.2 影响黑龙江省生物质能发展各因素排序	43
7.3 小结	43
8 推进黑龙江省生物质能发展的对策	44
8.1 制定生物质能发展规划	44
8.2 制定生物质能发展政策	44
8.3 构筑生物质能开发利用的技术保障体系	46
8.4 注重生物质多元化利用	46

目 录

8.5 加强多学科交叉研究	46
8.6 加大对生物质能的宣传力度	47
8.7 小结	47
结论	48
致谢	49
参考文献	50
附录	53
攻读硕士学位期间发表的学术论文	62



CONTENTS

Chinese Abstract.....	I
English Abstract	III
1 Introduction	1
1.1 Aims and significance of the research.....	1
1.1.1 Energy problem become the bottleneck of economic development	1
1.1.2 Construction of ecological civilization.....	2
1.1.3 Harbin's economic development.....	2
1.2 Summary of the research at home and abroad.....	3
1.2.1 Summary of the research abroad	3
1.2.2 Summary of the research at home	4
1.3 Content and method of the research	6
1.3.1 Content of the research.....	6
1.3.2 Method of the research	7
1.4 Innovation of the research	8
1.4.1 Technical line.....	8
1.4.2 Innovation of this research	8
2 Related theories of biomass energy	9
2.1 Related definitions.....	9
2.1.1 Biomass	9
2.1.2 Biomass energy	9
2.1.3 Categories of biomass energy	9
2.1.4 Characteristics of biomass energy	10
2.2 Basical theories of development of biomass energy	11
2.2.1 Sustanable development theory	11
2.2.2 Ecological agriculture theory.....	12
2.2.3 Circular economy theory	13
3 Experience of biomass energy development of some typical nations	14
3.1 U.S.....	14
3.2 EU.....	15
3.3 Brazil	15
3.4 India.....	16
3.5 Summary	16
4 Present situation and problems of biomass energy development in Heilongjiang.....	18
4.1 Overview of the research region.....	18
4.2 Present situation of biomass energy development in Heilongjiang.....	19

4.2.1 Biogas.....	18
4.2.2 Ethanol.....	19
4.2.3 Biodiesel.....	19
4.2.4 Biomass power	19
4.3 Problems of biomass energy development in Heilongjiang.....	20
4.3.1 Insufficient to new technology development.....	20
4.3.2 Small scale biomass energy utilization.....	20
4.3.3 High cost of biomass energy.....	20
4.3.4 Policy is imperfect.....	21
4.4 Summary	21
5 Factors of biomass energy resources in Heilongjiang Province.....	22
5.1 Estimate of agricultural waste biomass energy resources.....	22
5.2 Estimate of manure biomass energy resources	24
5.3 Potential of the supply of forest waste biomass energy resources.....	28
5.4 Summary	30
6 Forecasting of the future of energy supply and demand in Heilongjiang Province.....	31
6.1 Gray system theory and the gray model GM(1,1)	31
6.1.1 Gray system theory	31
6.1.2 Set up gray model GM(1,1).....	31
6.2 Using gray model GM(1,1) forecast energy consumption of Heilongjiang Province	35
6.3 Using gray model GM(1,1) forecast energy supply of Heilongjiang Province	36
6.4 Analysis	37
6.5 Summary	38
7 Analysis of different types of biomass energy development in Heilongjiang Province.....	39
7.1 Basic process of AHP	39
7.1.1 Set up and select the indicators.....	39
7.1.2 Construction matrix	40
7.1.3 Experts rate of biomass energy	41
7.1.4 Determine the results	41
7.2 Main conclusions.....	42
7.2.1 Time series of biomass energy development in Heilongjiang Province	42
7.2.2 Ranking the factors of impacting biomass energy in Heilongjiang Province	43
7.3 Summary	43
8 Strategies of developing biomass energy in Heilongjiang Province	44
8.1 Formulating the plan of biomass energy development	44
8.2 Formulating the policy of biomass energy development	44
8.3 Establish technical security system of biomass energy	46
8.4 Emphasis on diversification use of biomass	46

CONTENTS

8.5 Strengthen the interdisciplinary research.....	46
8.6 Strengthen the propaganda of biomass energy	47
8.7 Summary	47
Conclusion.....	48
Acknowledgement	49
References	50
Appendix	53
Published article during specializing the degree of master.....	62



独 创 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含未获得

（注：如没有其他需要特别声明的，本栏可空）或其他教育机构的学位或证书使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：王海东 日期：2010年6月11日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权学校可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：王海东 日期：2010年6月11日

导 师 签 名：李翠霞 日期：2010年6月4日



摘要

随着我国经济的高速发展，能源与环境逐渐成为我国经济发展的瓶颈。一方面我国的能源对外依存度逐渐上升，而且传统的化石能源属于不可再生能源，化石能源的枯竭正在日益临近；另一方面传统的化石能源对环境污染的问题日益严重，越来越多的国家和地区着手开发利用可再生能源，尤其是生物质能。

生物质能属于环境友好型可再生能源，并且生物质能可以制成液体，添加到石油中使用，这一特点使得在变更燃料的过程中，可以不对现有的汽车工业产生影响，在此过程中节省了巨大的经济成本，生物质能的这一特点是其它可再生能源所不具备的。本文在对国内外理论研究及典型国家发展生物质能经验的基础上，对黑龙江省目前生物质能的发展状况及存在的问题做了简要的分析。从存在的问题入手，首先对黑龙江省生物质能的资源因素做了分析，估算了黑龙江省主要类别生物质能的储量，其次利用灰色理论对黑龙江省的能源供求进行了预测，通过预测结果，进一步阐明了开发生物质能的迫切需求。然后，利用层次分析法得出黑龙江省生物质能发展的时间序列，并对影响黑龙江省生物质能发展的各因素的影响权重进行了排序。最后从制定发展规划、出台鼓励政策、构筑技术保障体系、完善市场运作机制等方面对黑龙江省生物质能发展提出建议。

本文是对黑龙江省发展生物质能的一次探索性研究，文中首次对黑龙江省的生物质能储量进行了估算，首次对黑龙江省未来能源供求进行了预测，首次对黑龙江省主要类别生物质能的发展顺序进行了排列，并对影响黑龙江省生物质能发展的各因素重要性进行了排序。

关键词 生物质能；储量；预测；发展



Study of Development Trend of Biomass Energy in Hei Longjiang Province

Abstract

With China's rapid economic development, energy and environment has become its bottleneck. On the one hand, our dependence on foreign energy gradually increased, the traditional fossil fuels are non-renewable energy, and fossil energy depletion is approaching. The other hand, traditional fossil fuels bring the problem of environmental pollution. More and more countries and region begin to develop and use renewable energy, especially biomassenergy.

Biomassenergy is environment-friendly renewable energy, can be made into liquid, be added into the oil, which makes auto industry uninfluenced during the process of changing the fuel and save huge economic costs. The other renewable energy sources are not available above features.

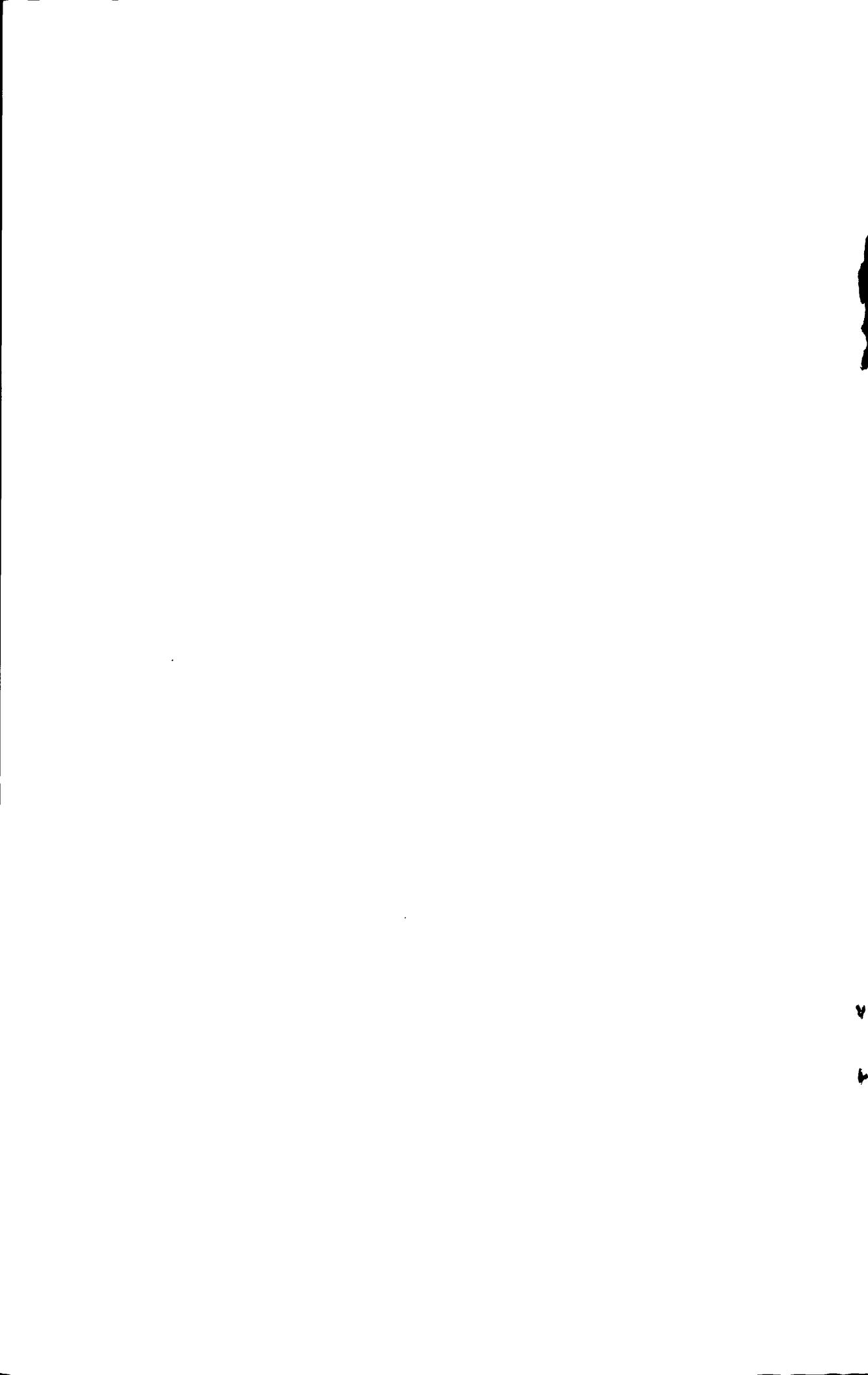
Based on the development of theoretical study at home and abroad and the experience of typical nation on biomass energy, this paper makes a brief analysis of the development and current problems of biomass energy in Heilongjiang Province. As for the problems, firstly, all biomass energy resources factors in Heilongjiang Province were analyzed to estimate the type of its reserves; secondly, followed by the gray theory, it is predicted tha the needs of development of biomass energy in Heilongjiang Province is urgent and important.

Then, the author derived the time series development of biomass energy and the impact of bioenergy development in Heilongjiang Province by AHP. Finally, from the formulation of development plans, incentives, and building a technical support system, improving market mechanisms, this paper makes some recommendations on the development of biomass energy in Heilongjiang Province.

This paper is the exploratory research to the development of biomass energy in Heilongjiang Province. In this paper, it is the first time to estimate for biomass energy reserve, predicte future energy supply and demand, arrange in the development order of the major categories of biomass energy and the importance of various factors in Heilongjiang Province.

Key words biomass energy; reserve; forecast; development

Candidate: Wang Haidong
Speciality: Industrial Economics
Supervisor: Prof.LiCui-xia



1 引言

1.1 研究的目的和意义

能源是人类社会发展的永恒主题。人类社会的每一次进步都伴随着能源利用技术的进步。在能源利用的历史上有三次主要的变革，第一次是人类进入农业社会以柴薪为主要能源，第二次是人类进入工业社会以煤炭为主要能源，石油能源的利用成为人类进入现代化文明的主要标志之一。能源利用的每一次变革都给社会带来了深远的影响，给社会经济的发展注入了强大的动力。人类社会发展到今天，能源与发展的关系更加的息息相关，能源的短缺和传统能源利用给环境造成的污染成为了能源制约经济社会发展的瓶颈。能源安全问题越来越突出，对国际的政治经济影响都产生了巨大的影响。任何一个国家和地区的发展都需要能源作为支撑，对新能源的开发与研究变的刻不容缓，可以说谁掌握了能源谁就获得了发展的主动权。

1.1.1 能源问题成为当前经济发展的瓶颈

(1) 能源短缺对经济的不利影响

目前，世界各国发展对能源的需求逐渐显现出供应无法满足需求的局面，能源价格不断的上涨，给各国经济发展带来了巨大压力。据英国《金融时报》2007年7月10日报道，国际能源机构在最新发表的报告中警告说，全世界在未来5年内将面临能源短缺，进而导致石油价格上升到创纪录的水平，并使西方国家加重对石油输出国组织(欧佩克)的依赖。

中国人口数量大，同时中国是能源相对贫乏的国家。据估计，我国煤炭能源剩余可采储量为900亿t，可供开采不到百年；石油能源剩余可采储量为23亿t，可供开采仅仅14年；天然气能源剩余可采储量为6310亿m³，可供开采不过32年。与世界平均水平相比，我国人均石油资源为世界平均值的17.1%，人均天然气资源为世界平均值的13.2%，人均能源资源占有量不到世界平均水平的一半，即使是资源最丰富的煤炭，人均资源量也只有世界平均值的42.5%。

与此同时，中国经济近年来飞速发展，工业化与城市化进程不断推进，中国能源的消费量也在快速增长。从中国主要能源消费量占世界消费总量的比重来说，中国的煤炭消费总量世界第一，中国的石油消费总量世界第二，2007年中国天然气消费量和产量增幅均居全球第二。据专家预测，在2030年到2050年期间，中国每年人均能源消费量最多可能达到目前世界平均消费水平，届时能源消费总量将达到40亿吨标准煤。消费和生产之间的缺口粗略估算可能达到能源消费总量的50%在这样严峻的形势下，寻找新型能源保证能源安全成为实现国家可持续发展战略的重中之重。

(2) 传统能源对环境造成的污染

传统化石能源的燃烧释放出大量的CO₂从而导致大气污染、温室效应和酸雨。目前，我国大气污染属煤烟型污染，以煤炭为主的能源结构是形成大气污染的主要原因，大气中90%的SO₂，70%的烟尘，85%的CO₂来自于煤炭的燃烧，同时，CO₂的排放是造成温室效应的主

要原因。相关资料显示全球平均温度已升高 0.3~0.6℃。全球变暖将引起大陆的冰雪消融和海洋表层热膨胀，导致海平面上升，将给生态系统、农业生产带来严重影响。酸雨是全球性区域环境污染问题之一，同样是来自于化石能源。化石能源燃烧释放的硫的氧化物和氮的氧化物与大气中的水蒸气经过反复的化学反应形成硫酸与硝酸，伴随雨雪同时落下。酸雨对生态环境及生物体的影响危害极其严重。酸雨进入地表水和地下水被人食用后，会影响人的健康；会破坏生态系统，造成水体生物死亡；会破坏土壤，导致土壤酸化和贫瘠化，使农作物产量下降，对各种建筑物的表面也有很大的腐蚀破坏。

（3）能源利用效率低下

单位 GDP 能耗过高是我国亟需解决的问题。中国的单位 GDP 能耗要远远高于发达国家。其主要原因在于作为耗能大国，中国单位 GDP 能耗比先进国家高 4-5 倍，生产单位产品的能耗比发达国家高出 50% 至 100%。许多能源专家称，节能将是二十一世纪最重要的国家战略之一，也是最后一个国情产业。据 2010 年《政府预算报告》称，经初步测算，2009 年全国能源消费总量为 31.0 亿吨标准煤，同比增长 6.3%，单位万元 GDP 能耗为 1.08 吨标准煤，同比下降 2.2%。虽然“十一五”期间中国万元 GDP 能耗下降 10%，但与世界发达国家相比，中国仍是日本、美国的 4-5 倍。

1.1.2 建设生态文明

随着可持续发展理念的不断深化推广，生态文明建设逐渐得到人们的认可，本世纪将是生态文明的世纪。胡锦涛总书记在党的十七大报告中强调指出：“建设生态文明，基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式。循环经济形成较大规模，可再生能源比重显著上升。主要污染物排放得到有效控制，生态环境质量明显改善。生态文明观念在全社会牢固树立。”

2010 年二月底闭幕的十一届全国人大常委会第十三次会议提出，将从多个方面采取措施，大力发展战略性新兴产业，加强规划引导，完善扶持政策。将绿色经济、低碳经济发展理念和相关发展目标纳入“十二五”规划和相关产业发展规划中，抓紧研究制定《节能环保产业发展规划》、《新能源产业发展规划》、《发展低碳经济指导意见》、《加快推行合同能源管理促进节能服务业发展的意见》等。

1.1.3 黑龙江省社会经济发展的需要

黑龙江省能源消费以煤炭为主，单位 GDP 能耗呈下降趋势。在黑龙江省能源消费结构中，煤炭的消费比重由 1952 年的 98.3%，下降到 2007 年的 66%，但仍居首位。这主要是由于东北地区有 70% 以上主焦煤资源集中在黑龙江省鸡西、鹤岗、双鸭山、七台河一带，煤炭储量占全省的 70%，黑龙江省煤炭资源优势将延续二十年左右，能源消费仍将以煤为主。2007 年全省共消耗能源 9374 万吨（标准煤，下同），比上年增长 7.4%，其中一次能源消费总量 7957.9 万吨，比上年增长 3.9%；原煤消费量 5250.5 万吨，增长 5.2%，原油消费量 2340.5 万吨，增长 1.9%，天然气消费量 328.5 万吨，增长 3.6%，水电消费量 38.4 万吨，下降 24.7%。

黑龙江省作为国家重要的能源生产基地，承担着支持全国能源需求和平衡全省用能的两大任务，面临着经济增长与环境保护的双重压力。在此背景下，全省上下坚持节约与开发并重，把节约放在首位，同时要开发新的能源。黑龙江省作为农业大省，生物质能储量丰富；同时黑龙江省还着力打造发展潜力巨大，在黑龙江省发展生物质能一方面可以解决目前的农村农产品废弃物，畜禽粪便的污染问题，改善生态环境，同时又可以优化黑龙江的能源结构，促进经济发展。

1.2 国内外研究综述

1.2.1 国外研究综述

国外生物质能技术的开发是从 20 世纪 70 年代末期开始的，现在已有了很大进展。早在 1630 年，Van Helmeuy 就发现生物质厌氧发酵能产生可燃气体。1776 年，意大利物理学家 Volta 发现沼泽中有可燃气体产生，1806 年 Herry 确定这种气体是甲烷。1868 年 Beccamp 首次提出甲烷形成过程是一种微生物过程。1950 年，美国学者 R. E. Hungate 提出了厌氧培养技术，发明了 Hungate 装置，并在实际应用中逐步完善了这套技术，为厌氧微生物的研究创造了前所未有的条件，促进了厌氧微生物的分离、培养、纯化、生理生化特征等厌氧微生物学研究的迅速发展。

生物柴油这一概念最早由德国工程师鲁道夫狄赛尔于 1894 年提出，在 1900 年巴黎博览会上，他展示了使用花生油作燃料的发动机。生物柴油的生产系统的研究工作开始于 20 世纪 50 年代末至六十年代初，在 20 世纪 70 年代的石油危机之后得到了较快的发展。1983 年美国科学家 Graham Quick 首先将亚麻籽油的甲酯用于发动机，燃烧了 1000 小时，并将可再生的脂肪酸甲酯定义为生物柴油 “biodiesel”。

Hall D O. (1997) 在《工业化国家未来生物质能发展的前景》中提出鉴于发展水平、资源禀赋等差异，不同国家和地区生物质能消费在总能耗中所占比例差别很大：发达国家普遍在 3% 左右，如美国为 4%，芬兰、瑞典和奥地利较高，分别为 18%、16% 和 13%。

Lars Nikolaisen (1998) 在《秸秆能源产品的技术环境与经济》中提到巴西和印度是发展中国家利用农作物秸秆发电比较好的国家。截至 2002 年，巴西农作物秸秆装机容量为 $1.67 \times 10^6 \text{ KW}$ ，其中蔗渣是主要的燃料，约占秸秆总装机容量的 94%。

Jacques K, Lyons T P, Kelsall DR (1999) 在《The alcohol Textbook》中提出汽油醇 (Gasohol, 燃料乙醇和汽油的混合物) 作为汽油替代能源在世界许多国家和地区的车辆燃油市场上得到广泛应用和推广。生物质原料的选择通常采取地区主要农作物，例如，巴西以甘蔗为原料；而北美则主要采用淀粉质谷物，其中 90% 为玉米；加拿大主要采用低营养的大麦玉米小麦等谷物中 90% 为玉米；加拿大主要采用低营养的大麦、玉米、小麦等谷物。

Chang J, Dennis YC Leung, Wu CZ (2003) 在《对中国可再生能源的产品消费及展望的评论》中提出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

重要领域是寻找新的替代能源。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。

Berndes G, Hoogwijk M, Broek R. (2003) 在《生物质能在未来全球能源供给中的贡献》中提出基于生物质能利用现状研究,结合资源禀赋、生态环境现状和科技进步水平可以估算生物质能的开发潜力。目前大量的研究就是从整个能源角度探讨生物质能的利用潜力。

在美国,美国国会于2000年6月通过了《生物质R&D法案》,开展利用生物质获得燃料、动力、化学品和原料的各项相关研究,计划生物质燃料占美国运输燃料消费总量的比例由2001年的0.5%,上升到2010年的4%,2020年的10%,2030年的20%;生物产品的化学制品和原料将从2001年的125亿磅(占有美国化学用品总量的5%),增加到2010年的12%,2020年的18%,2030年的25%。2002年提出了《生物质技术路线图》,计划2020年使生物质能和生物质基产品较2000年增加20倍,达到能源总消费量的25%(2050年达到50%),每年减少碳排放量1亿t和增加农民收入200亿美元的宏大目标。

在欧盟,1997年发表了白皮书《能源的未来:可再生能源》,计划将再生能源占总能源的比例到2010年提高到2倍(1995年的5.4%到2010年的11.5%),其中生物质达3倍(1995年的3.3%到2010年的8.5%)。其重点是发展生物质能。白皮书计划2010年欧盟的生物质能产量将达到135百万t油当量。2002年发表了绿皮书《欧盟能源供应安全战略》,计划欧盟的生物燃料比例到2020年,将占汽车燃料的20%。

在日本,日本内阁于2002年12月27日通过了《日本生物质综合战略》,资源作物作为能源和产品的原料将得到灵活应用。具体要求达到:用碳素量换算为废弃物类生物质80%以上可利用、未利用生物质25%以上可利用;资源作物用碳素量换算可利用量为10万t。

1.2.2 国内研究综述

袁振宏,吴创之,马隆龙(2005)在《生物质能利用原理与技术》一书中提出生物质能属于清洁能源,有助于国家的环境建设和CO₂减排。我国矿物质能源消费的SO₂排放量已居世界第一位,CO₂排放量仅次于美国居第二位。我国有矿物质燃料消费所每年排放的CO₂总量可达22.7亿吨,相当于6.2亿吨碳排量,是全球GHG总排量的11.8%左右。生物质的有害物质含量仅为中质烟煤的10%左右。同时,生物质生产和能源利用过程所排放的二氧化碳可纳入自然界碳循环,实现二氧化碳零排放,是减排CO₂的最重要的途径。

姚向君,田宜水(2005)在《生物质能资源清洁转化利用技术》中提出我国由于地广人多,常规能源不可能完全满足日益增长对能源的需求,而且国际上正在制定各种有关环境问题的公约,限制CO₂等温室气体排放,这对以煤炭为主的我国是很不利的。因此,改变我国能源生产和消费方式,利用生物质能等可再生的清洁能源对建立可持续的能源系统,促进国民经济发展和环境保护具有重大意义。立足于我国现有的生物质资源,研究新型转换技术,开发新型装备既是可持续发展的迫切需要,又是减少排放、保护环境、实施可持续发展战略的需要。

吴创之,马隆龙(2003)在《生物质能现代化利用技术》中分别论述了生物质能在国外与国内的发展前景。2010年,国际上发达国家主要把目标集中于大型生物质气化发电技术上,

在推广直接燃烧的同时，发展可以进入商业应用的 IGCC 发电系统。2050 年，这一时期生物质发电和液体燃料将比常规能源具有更强的竞争力，包括环境和经济上的优势，所以生物质能将会是综合指标优于矿物燃料的能源品种，将占有主导地位。在国内，2020 年~2050 年生物质能将逐渐成为主要能源之一。

姚向君，王革华，田宜水（2006）在《国外生物质能的政策与实践》中提出全球每年通过光合作用储藏在生物圈的生物质能约为 2.3×10^{21} J，相当于固定了 60Gt 的碳），生物质能未来发展潜力巨大。具 IEA (International Energy Agency, 国际能源机构) 统计，2001 年世界一次能源总产量为 10038Mtoe。其中，原油产量为 3531Mtoe，占一次能源产量的 35%；煤炭产量为 2349Mtoe，占 23.4%；天然气产量为 2128Mtoe，占 21.2%；核能产量为 692Mtoe，占 6.9%；可再生能源产量为 1352Mtoe，占 13.5%。根据 IEA 的定义，生物质能分为固体生物质、木炭、城市固体废物、生物液体燃料和沼气等，其中固体生物质是世界产量最大的可再生资源，占世界一次能源产量的 10.4%，占可再生能源产量的 77.4%。

肖波，周英彪，李建芬（2006）在《生物质能循环经济技术》中提到在目前世界的能源消耗中，生物质能耗占世界总能耗的 14%，仅次于石油、煤炭、和天然气，位居第四位。而在发展中国家，生物质能耗占有较大比重，达到 50% 以上。我国是一个农业大国，农业人口占总人口的 70% 以上，农村生活用能主要是依靠秸秆和薪柴，据资料显示，农村总能耗的 65% 以上为生物质能，其中薪柴消耗量约占总能耗的 29%。然而，生物质能由于其分散性和能量密度低其规模利用和高效利用都较困难，所以经济效益较差，这也是目前生物质能不能成为商品能源的主要原因。

程备久，卢向阳，蒋立科，潘登奎（2008）在《生物质能学》中提出生物质能在我国可持续发展战略中具有重要地位，主要表现在以下几个方面：1、以新技术转化生物质的能源利用方式，可大幅度提高农村能源利用效率。采用节能炉灶可使热效率从原来的 10%~15% 提高到 20%~25% 左右，而采用生物质能转化技术可使热效率提高到 35%~40%，节约资源，改善农民的居住环境，提高生活水平。2、因地制宜的利用当地生物质能资源（秸秆、薪柴、谷壳和木屑等），建立分散、独立的离网电站或并网电站，可以弥补我国电力供应的缺口（我国每年人均用电不到 $1000 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，只有韩国的 1/5 左右，而人均生活用电更低，只有 $110 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 左右），拥有广阔市场前景。3、生物质能的利用可根本解决我国农村普遍存在的而又始终无法根治的“秸秆问题”，避免作物秸秆形成的废弃物被遗弃在田间地头，甚至就地焚烧，并影响高速、航空交通和人民生活。将农林废弃物转化为优质能源形成产业化，可大量消纳秸秆废弃物，达到消除秸秆危害的目的。

通过对上述资料的分析总结，可以看出目前国内外关于生物质能的研究主要集中于以下几个方面：

（1）生物质能转化技术的研究

生物质能转换技术包括生物转换、化学转换和直接燃烧三种。生物质能转换的方式有生物质气化、生物质固化、生物质液化和生物质发电四种。目前全世界各种生物质利用技术处于不同的发展阶段，几种主要的生物质利用技术如：生物质燃烧和碳化已完全商业化；生物质高温热解已发展到示范阶段；厌氧热解、乙醇发酵在技术上完全成熟；生物质气化虽还不经济，但已得到充分开发，正朝着实现商业化发电方向实现。

（2）生物质能发展对生态环境的影响研究

生物质的硫含量、氮含量低，作为燃料时，燃烧释放的硫化物和氮化物较少，CO₂的净排放量也接近于零。所以，从对大气的影响上，生物质能弥补了化石燃料燃烧对环境的压力，促进生态系统的良性循环。但生物质能的发展也有它的局限性。有部分学者认为生物质需水量大，能源作物的光合作用效率低，生物质的生产将局限在降水充足的地区，生物质生产将与粮食生产等其他类型的土地利用相竞争。生物质能发展还表现在影响生物的多样性。通常认为多年生的本地作物替代一年生农作物能够保护生物多样性；相反如果用生产生物质能的作物替代自然覆盖，比如森林和湿地，那么生态系统的功能将削弱，生物多样性将降低；此外，生物质能的利用对水土流失、土壤肥力变化和水污染等生态环境问题都有重要影响。

（3）生物质能发展可行性及发展前景的研究

生物质由于能量密度低，分散分布，利用过程需增加预处理，或需附加的转换设备，从而利用的成本较高，其所占比例会逐渐下降，在经济发达地区已基本为化石燃料所代替。而通过生物质能转化技术获得的优质能源生产成本普遍过高，和化石能源产品竞争处于不利地位，因而也很难为消费者接受。从直观的经济效益出发，生物质项目是否可行，决定于该项目的经济效益是否大于零，即生物质产品收入应大于其系统及运行的总投资成本。但从宏观、全面的角度上看，政策障碍、机构体制、信息传播、投资障碍、技术产业化条件才是造成生物质能商业化利用进程受阻的深层原因。总的来说，生物质能开发必须克服两个关键障碍：一是降低生物质能的成本，只有生物质能产品的价格低于市场同类型的化石能源价格，它才会被消费者接受；其次，利用生物质能，特别是在发展能源作物的时候，不能对生态环境产生不利影响，不能对粮食安全构成威胁。

1.3 研究的主要内容和方法

1.3.1 研究的主要内容

全文的研究分为两大部分共八章。第一部分是对相关理论的阐述，第二部分是对黑龙江省生物质能发展的实证分析以及对黑龙江省发展生物质能提出政策建议。

第一章为绪论。主要阐述了本文研究的背景和意义，重点回答了为什么要发展生物质能，为什么要研究生物质能发展趋势；其次简单介绍了本文的主要研究方法；最后概括介绍了各章的主要内容以及全文的框架结构、研究方法。

第二章对生物质能的相关主要概念进行界定，同时对生物质能发展的理论基础进行阐述。

第三章为国外典型的国家发展生物质能的经验及启示，这里主要包括美国、日本、巴西等国的经验。

第四章为黑龙江省生物质能发展综合评价。第一小节对所研究区域的概况做了简要的介绍，第二小节对黑龙江省生物质能发展现状进行了描述，第三小节对当前黑龙江省生物质能的发展存在的问题进行了分析。

第五章对黑龙江省主要类别的生物质能储量进行了估算，得出黑龙江省生物质能发展潜力巨大的结论。

第六章利用灰色理论模型对黑龙江省能源未来消费量及需求量进行预测，并对预测结果进行分析。

第七章为黑龙江省生物质能发展趋势。针对前几章的分析提出生物质能发展趋势。利用层次分析法对各类生物质能的发展进行时间序列的分析。

第八章对黑龙江省生物质能发展提出政策建议。

1.3.2 研究的方法

(1) 定性与定量相结合。在产业发展理论、区域开发理论、区域可持续发展理论以及采用宏观与微观、理论与实践，定性与定量相结合的分析方法对黑龙江省生物质能发展战略进行研究。定性分析：包括对黑龙江省生物质能发展现状、可行性及发展潜力进行分析。定量分析：对黑龙江省能源供求进行预测，在定性分析的基础上对黑龙江省生物质能未来发展的时间序列进行研究。

(2) 规范分析与实证分析相结合。本文对国内外生物质能研究与开发现状进行系统分析的基础上，揭示了我国生物质能开发利用具有的优势和不足，从理论上提出生物质能的开发利用需要从战略高度，认真规划，逐步发展。实证上以黑龙江省为例，做具体分析研究。

1.4 研究的技术路线及创新之处

1.4.1 研究的技术路线

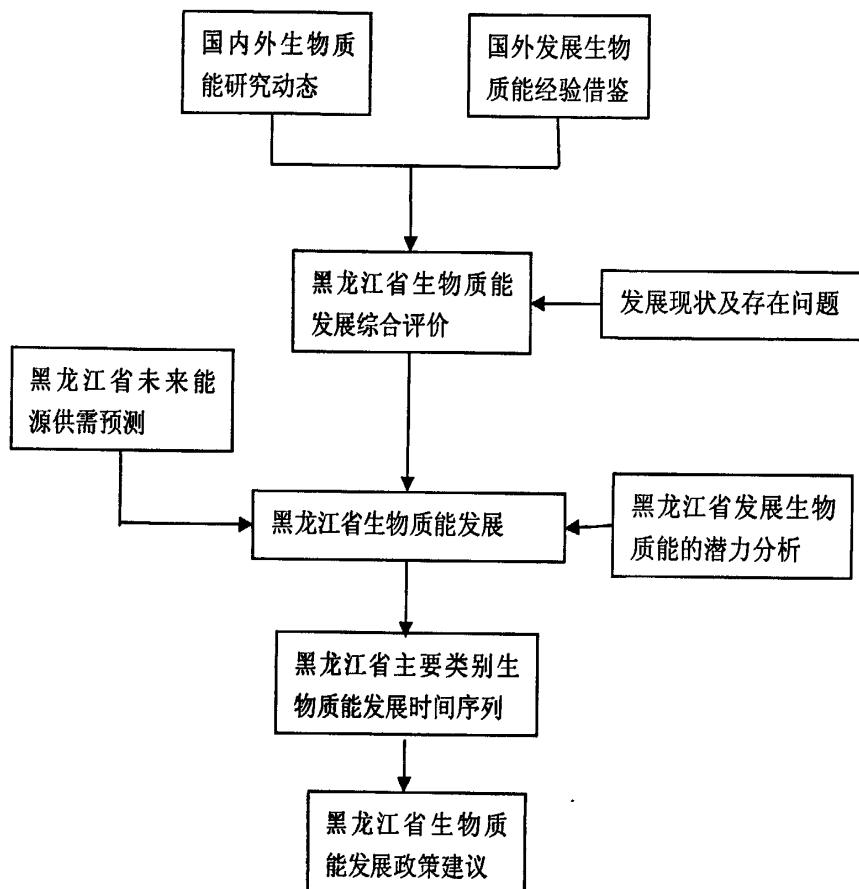


图 1-1 研究的技术路线
Fig.1-1 Technical Line of The Research

1.4.2 本文的创新之处

本文的创新之处在于根据国内外现有的研究成果,首次从学术的角度对黑龙江省生物质能的发展趋势进行了比较全面深入的探索性研究。首次对黑龙江省主要类别的生物质能储量进行了估算。首次对黑龙江省发展生物质能的趋势进行研究并提出了黑龙江省发展各类生物质能的时间序列。为黑龙江省发展生物质能战略提供有益的参考。

2 生物质能相关理论

2.1 相关概念界定

2.1.1 生物质

生物质（biomass）是指利用大气、水、土地等通过光合作用而产生的各种有机体，即一切有生命的可以生长的有机物质通称为生物质。它包括植物、动物和微生物。

广义上，生物质包括所有的植物、微生物以及以植物、微生物为食物的动物及其生产的废弃物。有代表性的生物质如农作物、农作物废弃物、木材、木材废弃物和动物粪便。狭义上，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（简称木质素）、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。

生物质如果不能通过能源或物质方式被利用，微生物会将它分解成基本成分水、二氧化碳以及热能。因此，人类利用生物质作为能源来源，无论是作为粮食、取暖、发电或生产液体燃料，都符合大自然的循环体系。

2.1.2 生物质能

生物质能（biomass energy）是以生物质为载体的能量，即把太阳能以化学能形式固定在生物质中的一种能量形式。生物质能是唯一可再生的碳源，并可转化成常规的固态、液态和气态燃料，是解决未来能源危机最有潜力的途径之一。在2005年2月28日第十届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议上通过，自2006年1月1日起施行的《中华人民共和国可再生能源法》将生物质能的含义解释为：生物质能，是指利用自然界的植物、粪便以及城乡有机废物转化成的能源。在世界能耗中，生物质能约占14%，在不发达地区占60%以上。全世界约25亿人的生活能源90%以上是生物质能。生物质能的优点是易燃烧，污染少，灰分较低；缺点是热值及热效率低，体积大而不易运输，直接燃烧生物质的热效率仅为10%~30%。另外，生物质能与化石能源均属于以碳氢为基本组成的化学能源，这种化学组成上的相似性也带来了利用方式的相似性，故生物质能的利用、转化技术可在已经成熟的常规能源技术的基础上发展、改进，但是生物质的组成多为木质素、纤维素之类难降解有机物，因此利用、转化技术也更为复杂多样，特别是利用生物催化、转化的技术更为重要。

2.1.3 生物质能的类别

（1）林业生物质能资源

林业生物质能不仅是广大农村的主要能源，而且是现代无污染清洁能源的载体，发展林业生物质能不仅能减缓农村能源短缺问题，增加经济收入，提高生活水平，还能保护森林资源，改善生态状况。作为五大林种之一的薪炭林是林业生物质能的主体，而在森林抚育、采

伐和木材加工过程所产生的剩余物、小径木、废材等也是重要的林业生物质能。林业生物质能带来的效益是多方面的。它是一种高度清洁的能源，是减少温室气体排放，防止全球环境恶化的一种科学选择，其显著特点在于资源和环境的双赢，以及生态、经济、社会效益的协调统一。大力发展林业生物质能，既可以提供丰富的清洁能源，又可以显著增加森林资源。

（2）农业生物质能资源

农业生物质能主要是指农产品加工业废弃物，即农业废弃物。农业废弃物是农业生产、农产品加工、畜禽养殖业和农村居民生活排放的废弃物的总称。它主要包括农田和果园残留物（如秸秆、杂草、落叶等）、牲畜和家禽的排泄物、农产品加工的废弃物和污水、人粪尿和生活废弃物。农业废弃物如果任意排放不仅造成农村生活环境的污染，而且还会污染农业水源，影响农产品的品质，危害农业生产。

（3）生活污水和工业有机废水资源

生活污水主要由农村和城镇居民生活、商业和服务业的各种排水组成，如冷却水、洗浴排水、洗衣排水、厨房排水、粪便污水等。工业有机废水主要是酒精、酿酒、制糖、食品、制药、造纸及屠宰等行业生产过程中排出的废水等，其中，都富含有机物。

（4）城市固体废物资源

固体废弃物又称垃圾，是指人类在生产过程和社会生活中丢弃的固体或半固体物质。固体废弃物可以说是“错误时间放置在错误地点的资源”，在某种条件下为废物的，在另一种条件下却可能成为宝贵的原材料或另一种产品。许多固体废弃物经过处理具有较高的利用价值。一些固体废弃物可以作为二次资源加以利用，这种二次资源与自然资源相比具有生产效率高、能耗低、环境废物少等优点；还有一些固体废弃物是农业生产必不可少的优质有机肥源。因此，世界各国都非常重视并大力发展固体废弃物的综合开发利用。固体废弃物的资源化利用主要表现在建筑材料、工业原料、能源材料及其在农业上的利用等几个方面。

2.1.4 生物质能的特点

生物质作为一种能源物资，与化石资源相比，主要具有以下几个重要特点。

（1）时空无限性。生物质的产生不受地域的限制；在符合光照条件前提下，也不受时间的限制。生物质的时空无限性是化石能源所无可比拟的，也正是这种无限性诱导人类将目光瞄准了生物质能。地球生命活动为人类提供了巨大的生物质资源，这是生物质特性的直接反映。初步估计，每年地球上由植物光合作用固定的碳约 2×10^{11} t，含有的能量约为 3×10^{21} J，相当于人类每年消耗能量的 10 倍。

（2）可再生性与减少二氧化碳排放的特性。在太阳能转化为生物质能的过程中， CO_2 与 H_2O 是光合作用的反应物，在生物质能消耗利用时， CO_2 与 H_2O 又是过程的最终产物。生物质的可再生性表明，利用生物质能可实现温室气体 CO_2 的零排放，而化石燃料在使用过程中会排放 CO_2 ，导致地球温室效应。在实际利用生物质的过程中也需要投入能量，但可减少 CO_2 的排放。

（3）洁净性。生物质资源是一类清洁的低碳燃料，由于其含硫量和含氮量都较低，同时灰分含量也很小，因此燃烧后 SO_x 、 NO_x 和灰尘排放量均比化石燃料少得多，是一种清洁

的燃料。以秸秆为例，1 万吨秸秆与能量相当的煤炭比较，其使用过程中，CO₂ 排放量减少 1.4 万吨，SO₂ 排放量减少 40t，烟尘减少 100t。

(4) 低能源品位性。生物质的化学结构更多地属于碳水化合物类，即化合物中的氧元素含量较高，可燃性元素 C、H 所占比例远低于化石能源，能源密度偏低。此外，以生物体形式体现的生物质含水量高达 90%。因此生物质在利用前需要经过预处理及提高能源品位等过程，从而增加了生物质能利用的实际成本。

(5) 分散性。除规模化种植的作物及大型工厂、农场的废弃生物质原料外，生物质的分布极为分散。生物质的分散处理与利用既不利于生物质转化成本的降低，也难使生物质能成为能源资源系统的主流能源。生物质的集中处理必然加大运输成本比例。这是目前生物质能在能源系统中所占比例不高的重要原因。

2.2 生物质能发展的理论基础

2.2.1 可持续发展理论

可持续发展的核心理论，尚处于探索和形成之中。目前已具雏形的流派大致可分为以下几种：

(1) 资源永续利用理论

资源永续利用理论流派的认识论基础在于：认为人类社会能否可持续发展决定于人类社会赖以生存发展的自然资源是否可以被永远地使用下去。基于这一认识，该流派致力于探讨使自然资源得到永续利用的理论和方法。

(2) 外部性理论

外部性理论流派的认识论基础在于：认为环境日益恶化和人类社会出现不可持续发展现象和趋势的根源，是人类迄今为止一直把自然（资源和环境）视为可以免费享用的“公共物品”，不承认自然资源具有经济学意义上的价值，并在经济生活中把自然的投入排除在经济核算体系之外。基于这一认识，该流派致力于从经济学的角度探讨把自然资源纳入经济核算体系的理论与方法。

(3) 财富代际公平分配理论

财富代际公平分配理论流派的认识论基础在于：认为人类社会出现不可持续发展现象和趋势的根源是当代人过多地占有和使用了本应届于后代人的财富，特别是自然财富。基于这一认识，该流派致力于探讨财富（包括自然财富）在代际之间能够得到公平分配的理论和方法。

(4) 三种生产理论

三种生产理论流派的认识论基础在于：人类社会可持续发展的物质基础在于人类社会和自然环境组成的世界系统中物质的流动是否通畅并构成良性循环。他们把人与自然组成的世界系统的物质运动分为三大“生产”活动，即人的生产、物资生产和环境生产，致力于探讨三大生产活动之间和谐运行的理论与方法。

2.2.2 生态农业理论

生态农业是指在保护、改善农业生态环境的前提下，遵循生态学、生态经济学规律，运用系统工程方法和现代科学技术，集约化经营的农业发展模式。生态农业是一个农业生态经济复合系统，将农业生态系统同农业经济系统综合统一起来，以取得最大的生态经济整体效益。它也是农、林、牧、副、渔各业综合起来的大农业，又是农业生产、加工、销售综合起来，适应市场经济发展的现代农业。

生态农业是相对于石油农业提出的概念，是一个原则性的模式而不是严格的标准。而绿色食品所具备的条件是有严格标准的，包括：绿色食品生态环境质量标准；绿色食品生产操作规程；产品必须符合绿色食品标准；绿色食品包装贮运标准。所以并不是生态农业产出的就是绿色食品。

生态农业是以生态学理论为主导，运用系统工程方法，以合理利用农业自然资源和保护良好的生态环境为前提，因地制宜地规划、组织和进行农业生产的一种农业。是 20 世纪 60 年代末期作为“石油农业”的对立面而出现的概念，被认为是继石油农业之后世界农业发展的一个重要阶段。主要是通过提高太阳能的固定率和利用率、生物能的转化率、废弃物的再循环利用率等，促进物质在农业生态系统内部的循环利用和多次重复利用，以尽可能少的投入，求得尽可能多的产出，并获得生产发展、能源再利用、生态环境保护、经济效益等相统一的综合性效果，使农业生产处于良性循环中。生态农业不同于一般农业，它不仅避免了石油农业的弊端，并发挥其优越性。通过适量施用化肥和低毒高效农药等，突破传统农业的局限性，但又保持其精耕细作、施用有机肥、间作套种等优良传统。它既是有机农业与无机农业相结合的综合体，又是一个庞大的综合系统工程和高效的、复杂的人工生态系统以及先进的农业生产体系。

以生态经济系统原理为指导建立起来的资源、环境、效率、效益兼顾的综合性农业生产体系。中国的生态农业包括农、林、牧、副、渔和某些乡镇企业在内的多成分、多层次、多部门相结合的复合农业系统。20 世纪 70 年代主要措施是实行粮、豆轮作，混种牧草，混合放牧，增施有机肥，采用生物防治，实行少免耕，减少化肥、农药、机械的投入等；80 年代创造了许多具有明显增产增收效益的生态农业模式，如稻田养鱼、养萍，林粮、林果、林药间作的主体农业模式，农、林、牧结合，粮、桑、渔结合，种、养、加结合等复合生态系统模式，鸡粪喂猪、猪粪喂鱼等有机废物多级综合利用的模式。生态农业的生产以资源的永续利用和生态环境保护为重要前提，根据生物与环境相协调适应、物种优化组合、能量物质高效率运转、输入输出平衡等原理，运用系统工程方法，依靠现代科学技术和社会经济信息的输入组织生产。通过食物链网络化、农业废弃物资源化，充分发挥资源潜力和物种多样性优势，建立良性物质循环体系，促进农业持续稳定地发展，实现经济、社会、生态效益的统一。因此，生态农业是一种知识密集型的现代农业体系，是农业发展的新型模式。

2.2.3 循环经济理论

循环经济 (cyclic economy) 即物质闭环流动型经济，是指在人、自然资源和科学技术的大系统内，在资源投入、企业生产、产品消费及其废弃的全过程中，把传统的依赖资源消耗的线形增长的经济，转变为依靠生态型资源循环来发展的经济。

资源的高效利用和循环利用为目标，以“减量化、再利用、资源化”为原则，以物质闭路循环和能量梯次使用为特征，按照自然生态系统物质循环和能量流动方式运行的经济模式。它要求运用生态学规律来指导人类社会的经济活动，其目的是通过资源高效和循环利用，实现污染的低排放甚至零排放，保护环境，实现社会、经济与环境的可持续发展。循环经济是把清洁生产和废弃物的综合利用融为一体经济，本质上是一种生态经济，它要求运用生态学规律来指导人类社会的经济活动。

循环经济，它按照自然生态系统物质循环和能量流动规律重构经济系统，使经济系统和谐地纳入到自然生态系统的物质循环的过程中，建立起一种新形态的经济，循环经济在本质上就是一种生态经济，要求运用生态学规律来指导人类社会的经济活动。是在可持续发展的思想指导下，按照清洁生产的方式，对能源及其废弃物实行综合利用的生产活动过程。它要求把经济活动组成一个“资源——产品——再生资源”的反馈式流程；其特征是低开采，高利用，低排放。本质上是一种生态经济，它要求运用生态学规律来指导人类社会的经济活动

3 典型国家生物质能发展经验借鉴

近年来，国外十分重视可再生能源对未来能源供给的重要作用，纷纷采取立法和各种政策措施支持可再生能源的技术开发、市场开拓和推广应用，使得可再生能源产业得到快速发展，产业化水平逐步提高，在能源构成中的比重越来越大。

3.1 美国

目前美国是世界第二大生物乙醇生产国。1994年其生物乙醇生产总量约52亿L，目前估计年产63亿L或更多。美国有20多个州生产乙醇，生产总量约占燃料油总销售量的10%，约有1亿辆机动车使用含有乙醇的汽油。如E10和E85（分别含10%和85%的乙醇）型汽油等。美国总能源消费中生物质能占4%（1998年），生物质原料发电装机容量约1000MW。目前生物质能生产及利用可提供7万个就业岗位，2020年将提供26万个工作岗位，届时生物质发电总装机容量要超过30000MW。

相对于其他可再生能源来说，发展生物质能可以增加农民收入，所以美国对生物质能是比较偏重的。美国目前的生物质能利用量仅次于可再生能源来源中的水能，占总能耗的3%。

美国生物质能技术研究与开发委员会的长期目标主要有3方面。第一，构建生物质能系统。2001年生物质能在总能耗中所占的比例是3%，2010年将增长到4%，2020年将达到5%；第二，生物质运输燃料。生物质运输燃料占总运输燃料的比例希望能有大幅度增加，其份额在2001年为0.5%，希望到2010年能占4%，2020年能占10%，2030年则达到20%；第三，生物质制塑料或其它化学品的比例得到提升。2001年生物质化学品的产量是56.7万t，占总化学品产量的5%，到2010年、2020年和2030年这个比例希望分别可以达到12%、18%和25%。

为了实现上述目标，美国加强了技术研发、市场开拓以及政策推动。对于生物质能的原料而言，需要提高农作物的产量，培育生产易加工的农作物；加工工艺的重点应该是提高转化率，以发展生产具有高附加值产品的工艺为重点。总之，技术的发展是首要的，它将使生物质能体现出越来越大的作用，从而降低美国对石油的依赖、提高美国的能源独立性，同时还可以增加农民收入。

美国的可再生能源技术发展战略的长期一致性很值得借鉴。那就是以国家先期投入引导产业界参与研制和开发远期（20年甚至50年后）可以发挥重大作用的关键技术，同时加速其产业化并形成相应的装备制造体系。美国政府始终具有支持企业占领可再生能源技术制高点的战略眼光和决心。

为确保生物质能技术研发及推广工作的开展，美国能源部计划在4年内投入500万科研经费，吸引相关单位参与其拟定的项目。美国现在已掀起新一轮的生物质能开发利用热潮，有大量的机构参与到该项目中。为进一步开拓经费来源，美国政府还推出了购买可再生能源信用卡的措施，以购买合同的形式提供科研经费。同时，为了将生物质能技术转化为经济效益，美国在加大研发力度的同时也在促进相关产业链的发展。美国能源部在网上公布的一些项目中就有相当一部分是关于生物质能产业的上下游工程的。这对于我国发展生物质能工程的发

展很有借鉴意义，产业链的协调发展更会促进生物质能技术的产业、商业化进程。

3.2 欧盟

欧盟将生物质能分为木柴、沼气和生物燃料三大类。以目前的发展进度，2010年，欧盟木柴产量会达到8200万t石油当量，低于1997年白皮书提出的1亿t的目标。按欧盟的计划，2010年沼气发电量为100万kW。生物燃料包括生物乙醇或生物柴油，目前在欧盟的份额仍然很小，1998年只占石油燃料消费总量的0.15%。欧盟计划2010年生产生物燃料1700万t，但是需要巨大的资金投入，估计实际只能达到1170万t。

欧盟委员会的目标是在2010年生物质能达到能源消费总量的7%。欧盟强调，为实现这一目标，必须满足如下四个条件。第一，成员国必须签订旨在保证总体目标的严格条约；第二，减少生物燃料与化石燃料的价格差，例如采用财政手段（减税、补贴和财政支持）；第三，石油公司应该组织大规模推广活动；第四，应加强该领域的科学研究，如可替代能源资源氢（它与甲醇一起用于燃料电池，并且可由一些能源包括可再生能源制取）的生产和利用。需要强调的是，税收政策，尤其是“消费税”在欧盟国家是非常有效的能源政策工具，无论各国间的税率差别如何。总体看来，在欧盟，柴油价格的69%和汽油价格的75%都是税金。此外，实践证明德国2000年出台的《可再生能源促进法》是有效的，它促进了该国可再生能源的发展。该法律规定，电力运营商有义务以一定价格向用户提供可再生能源发电，政府根据运营成本的不同对运营商提供金额不等的补助——这一政策是全球的首创，现已成为各国竞相效仿的对象。

从欧盟层面到国家层面都有大量的生物质能项目和其他可再生能源项目。目前的发展还不够充分，但未来的资金投入和研发支持和是相当可观的。这些措施将根据欧洲共同体条约第87和88款来操作。对包括生物质能在内的各类可再生能源，共同体已经提出了一整套发展日程表，特别是对生物质能何时可与传统能源相竞争等作了说明。

3.3 巴西

巴西是世界上生物质能生产及利用的先驱，全球最大的生物质能项目普罗阿克尔（PRO-ALCOOL）于1975年在巴西建立。普罗阿克尔项目（PRO-ALCOOL），是目前世界上最大的商品化利用生物质能项目。该项目正式启动于1997年，以20%的酒精比例在首府圣保罗实行（后来又提高到25%的比例在全国推行），并在税收、补贴和优惠贷款等方面实施政府支持政策。至今，巴西已利用蔗渣生产了约2000亿L生物乙醇，现在每日以乙醇替代20万桶进口石油。在80年代高峰期有500多万辆机动车使用纯乙醇作燃料，另有900万辆使用混合了20%乙醇的汽油。从1976年起，普罗阿克尔项目投资113亿美元，以生物乙醇替代了270亿美元的进口汽油。近年来巴西蔗渣发电率提高，许多蒸馏厂除了生产液态燃料外，还用蔗渣发电。若自给有余，则出售给国家电网。

巴西生物质能在其能源供应中占到1/3。主要的现代化利用方式是将用甘蔗生产的乙醇（每年130~140亿L）用于机动车辆，以及在钢铁工业中大量使用木炭。2002年巴西消费275

亿L燃料，其中汽油占150亿L，其他为乙醇，替代率接近50%。为了提高效率和降低成本，PRO-ALCOOL项目正在朝着更经济更合理化方向发展。

近年来，巴西政府颁布法令，重新启动了生物柴油计划。巴西早在20世纪80年代就已经成功地进行过生物柴油的小型实验性生产，但是由于生产成本过高，没有扩大生产规模。该计划的目的与国家乙醇项目的目的相近：一是开发多样化的替代能源，减少对进口石油的依赖；二是增加农民收入和就业机会。巴西拥有充足的生物柴油原料，仅巴西东北部地区就有适合种植蓖麻的土地200万hm²，在几年之内，蓖麻的年产量就可达到200万t，生物柴油产量达到1.12亿L，并创造10万个新的就业机会。巴西已经具备成为世界上最大的生物柴油生产国的一切条件。巴西科技部在2002年10月制订的目标是，到2005年生物柴油的掺和比为5%，至2020年达到20%。

3.4 印度

随着经济的快速发展、工业化进程的加快以及人口的迅猛增加，能源短缺的印度对石油的需求以年均近10%的速度递增，预计到2030年石油对外依存度可能达到94%（2000年为65%）。为减少对石油等一次能源的过度依赖，印度政府决定首先在广大农村推广使用包括生物质能在内的各种可再生能源，以缓解能源紧张的现状。

作为一个农业大国，印度农业生产剩余物数量巨大，为生物质资源提供了大量的原材料。由于印度全国人口的70%生活在农村，因此在农村推广包括生物质能在内的可再生能源对社会的稳定、能源的合理化使用起着至关重要的作用。2000年印度消费生物质能达到198Mt标煤，占总能耗的40%；在居民用能中，生物质能占到了85%；而在农村居民用能中，这一比例更高。由于世界主要产油区都是政治相对不稳定的地区，因此在国内组织更多的生物质替代燃料是印度能源安全乃至国家安全的重要保证。一些简单的生物质能项目投资少，同时能够解决农村就业问题。如一个供500人使用的农村能源项目大约只需4.3万美元的投资，并且每个项目可以解决25人的就业问题。

印度非常规能源部部长在印度2004年7月首届“农村发展暨可再生资源全国大会”上透露，印度政府计划在每个邦建立一个可再生能源中心，负责各地可再生能源的使用。同时，政府计划在2012年之前，在全国2.5万个偏远村庄实施新的能源安全计划。从2004年开始，政府将在一些村庄进行这项能源安全计划的试点。

3.5 小结

通过对以上几个具有代表性的国家在发展生物质能过程中的一些政策措施，可以发现很多值得我们借鉴的地方。影响世界各国生物质能战略制定的主要因素包括以下3个方面：第一，生物质能资源储量及分布；第二，现有生物质能技术及其发展潜力；第三，国家能源战略规划框架。

世界各国发展生物质能的目的是不尽相同的。发展中国家发展生物质能的目的基本上是一致的，就是缓解农村及边远地区的能源问题。中国过去也是如此。发达国家发展生物质能

的目的则有着本质的不同。20世纪80年代,发达国家发展生物质能的基本动力是受石油危机的影响,解决能源短缺的问题;进入90年代,发展生物质能的主要目的则演变为解决环境问题。无论是前者还是后者,都给生物质能技术的发展提供了市场需求,从而带动了生物质能产业的发展。以上几个具有代表性的国家和组织在发展生物质能方面制定了相对完善的法令和优惠政策,大致可分为以下几类,如表3-1所示。

表3-1 具有代表性国家发展生物质能政策摘要

Tab.3-1 Summarization of the Policy of Development of Biomass Energy in Typical State

政府策略类别	主要措施
设立法律与规章	由政府主持制定生物质能发展的法律、法规或条例,以立法的形式确定生物质能发展的地位及强制性
税收政策	减税、征收生态税
价格政策	对可再生能源实行优惠的价格政策或采取价格补偿
补贴政策	投资补贴、产出补贴、设备补贴、弹性补贴
财政政策	政府采购、低息(贴息)贷款

4 黑龙江省生物质能发展现状及存在的问题分析

4.1 研究区域概况

黑龙江省位于中国的东北部，是中国位置最北、纬度最高的省份，系由省内最大的河流黑龙江而得名，在祖国的版图上犹如一只腾飞的天鹅，土地总面积约47.30万平方公里，占全国陆地总面积的4.9%，全省耕地面积11.78万平方公里，约占全国耕地面积的9%，居全国第1位。北部和东部隔黑龙江、乌苏里江与俄罗斯相望，西部与内蒙古自治区毗邻，南部与吉林省接壤。黑龙江省设哈尔滨、齐齐哈尔、鸡西、鹤岗、双鸭山、大庆市、伊春、佳木斯、七台河、牡丹江、黑河、绥化12个省辖市和1个大兴安岭地区。2007年末，全省总人口3824万人。2009年，黑龙江省实现地区生产总值8288亿元。

黑龙江省生物质能资源极为丰富。黑龙江省还有大量的城市和工业有机废弃物等可供回收利用，生物质总量和人均占有量是其他省区不可比拟的。近年来黑龙江省凭借资源优势，在国家政策的支持和引导下，开始合理规划、大力发展生物质能产业，在生物质气化供气、生物质固体燃料、生物质液体燃料、生物质能发电等方面初具规模。

4.2 黑龙江省生物质能发展现状

4.2.1 沼气

黑龙江省的农村沼气建设起步于70年代，受气候的影响，农村沼气发展明显滞后于南方10多年。在南方地区兴起第二次沼气建设热潮时，黑龙江省也开始兴建农村户用沼气，其目的是解决农村生活用能问题。由于当时的气候和技术问题，没出二年，建设的沼气池几乎全部冻裂报废，极大的伤害了农民群众建设沼气的积极性。90年代，在资源短缺，石化能源价格上涨的背景下，国内掀起第三次沼气建设高潮。此时黑龙江省农村沼气才进入初期发展阶段，随着气候的变暖和科技人员的不断研究，从技术上解决了沼气池安全越冬问题。但是沼气建设并没有得到广大农民的认可，冬季产气少、不产气等问题仍然影响农村沼气发展。21世纪，黑龙江省农业结构进行了战略调整，畜牧养殖业得到迅速发展。在政策的惠及下，农村沼气技术进一步完善，黑龙江省农村沼气进入了快速发展阶段。沼气技术与农业生产技术紧密结合，形成北方“三位一体”、“四位一体”沼气建设模式，农村沼气的效益逐渐显现出来，沼气建设在保护生态、减少污染、发展循环经济和资源高效利用等方面发挥了重要作用。近几年，我省农村沼气经过学者坚持不懈取得了显著成效。尤其是2006年，省委、省政府把发展农村清洁能源作为新农村基础设施三项核心任务（农村人畜饮水、清洁能源、乡村道路）之一。投入增加、范围扩大、速度加快，有效的推动黑龙江省农村沼气的健康发展。

据统计，目前黑龙江省新建户用沼气池8.7万个，新增沼气工程53处，秸秆气化、固化示范项目12个，户用沼气项目已覆盖全省所有市（地），并在83个县（市、区）的1549

个村展开。建设集约化养殖场沼气工程 9 处, 年总产气量达到 1652 万立方米。在秸秆气化集中供气工程方面, 黑龙江省从 1997 年就开始试点工作, 至 2005 年底, 已建秸秆气化集中供气工程 41 处、供气规模 1 万多户。在沼气国债项目推动下, 黑龙江省近年完成近 7 万个清洁沼气“一池三改”项目, 它将给至少 7 万农户的生产生活带来很大变化。

4.2.2 生物燃料乙醇

黑龙江省是全国五个首批在全省开展乙醇汽油试点的省份之一。拥有年产 25 万吨乙醇生产能力的黑龙江华润酒精有限公司是提供燃料乙醇的唯一指定厂家, 承担年产 10 万吨以上燃料乙醇的任务, 其生产的燃料乙醇主要用于满足本省的需求。我省即将建成一个利用甜高粱秸秆年产 50 万吨乙醇的万亩“甜高粱”绿色能源生产基地。甜高粱秆在众多乙醇生产原料中, 生产成本最低, 而且利用边际性土地种植, 不争粮不争地。在环保方面, 可降低汽车一氧化碳平均排放量 60% 以上, 对该地区的二氧化碳的含量起到净化作用。据悉, 该项目由黑龙江东南亚投资管理有限责任公司投资 2.4 亿元人民币, 由东北农业大学提供技术支持, 预计一年内建成一座利用甜高粱秸秆年产 50 万吨乙醇的万亩绿色油田生产基地, 着力打造哈大齐工业走廊绿色生态经济带。该项目把盐碱地变为甜高粱的生产基地, 加工区位于哈大齐工业走廊大庆经济区, 在肇东、大庆、齐齐哈尔建立三个战略基地, 辐射六县一市, 可带动近万户农民脱贫致富。

4.2.3 生物柴油

黑龙江省的生物柴油生产起步较晚、企业规模不大。据悉, 我省福贵生物柴油厂年产生生物柴油超过万吨, 其生产的生物柴油国内销售市场很好。生物柴油无毒、可降解, 添加 20% 的生物柴油, 可减少 70% 的二氧化硫排放, 降低 90% 空气毒性。资源可再生且生态效应良好的生物燃油技术与产品目前正受到越来越多的关注。

4.2.4 生物质发电

生物质能发电具有电能质量好、可靠性高、间歇性低、技术成熟等特点, 在发达国家发展比较迅速。就美国来说, 其生物质动力工业已成为仅次于水电的第二大可再生能源工业, 加州电力供应的 40% 来源于生物质发电。据悉, 黑龙江省生物质能如能充分开发利用, 年发电可达 200 亿 kwh 以上。目前黑龙江省正在加速开发利用生物质能进行发电, 其中包括已经建成投产的规模较大的望奎县和肇州县生物质能发电厂。望奎县引进的国能生物发电项目是全国第一个以植物秸秆为原料的生物发电项目, 该项目年可处理植物秸秆 30.8 万 t, 年发电 2.75 亿 kwh。据报道, 哈尔滨市、龙江县、清河县等地也在大力引进生物质能发电项目。

4.3 黑龙江省生物质能发展中存在的问题

4.3.1 新技术开发力度不足

生物质能利用的科技含量非常高，生物质能技术是否先进成为生物质利用多少的关键。生物质能利用技术落后不仅是黑龙江省的主要问题，而且也是全国范围内普遍存在的问题。对生物质能研发投入相对较少，技术含量较低，低水平重复研究居多，许多关键技术未能得到解决；我国生物质能技术起步晚，产业基础薄弱，大部分生物质能开发利用尚处于试验示范阶段；运行经验匮乏。生物质能产业发展需要强大的装备制造业为基础。目前国内相对薄弱的生物质能设备制造业使得生物质能设备本地化和商业化进程困难较大，这对黑龙江省发展生物质能产业形成了巨大的障碍，对国外技术和进口设备形成依赖。尚未建立起完备的生物质能工业体系，要实现生物质能的大规模生产，还需要在生产工艺和产业组织等方面做大量工作。而生物质发电、燃料乙醇一些技术相对成熟的项目尚缺乏标准体系和服务体系的保障，产业化程度低，大规模生物质能产业化的体系尚未形成。

4.3.2 生物质能利用规模小

生物质利用过程中的原料供应是一个复杂的系统工程。生物质资源主要是农业、林业废弃物，其利用存在资源分散，季节性强、收集运输困难等问题。黑龙江省地势多山，农业生产并不十分集中，农业收割后秸秆等生物质资源广泛分布在农村地区，不便收集；林业废弃物更是分散分布在各个山区，交通不便，运输困难。收集手段落后，使得生物质能利用工程的规模很小，运行成本过高，难以形成规模效益。原材料的短缺也限制了生物质能的大规模生产。为了保证粮食安全，以粮食为原料的生物质燃料生产在黑龙江省不具备发展条件。黑龙江省生物质燃料乙醇生产应提倡以非粮食作物为原料，由于土地资源缺乏，未来发展可以考虑开发荒山荒地等土地资源。黑龙江省生物柴油应该以地沟油为主要原料，但原料来源有限，不足以支撑生物柴油的大规模化生产。因此，生物质原材料短缺是制约生物燃料规模化发展的重要因素。

4.3.3 生物质能成本高

生物质能的成本主要包括原材料成本以及生产成本，其中原料成本包括原料收集的费用和原料运输等方面的费用；生产成本则主要取决于技术。由前述知，生物质资源分散、收集困难，使得生物质能附加成本增加，而以粮食为原料的生物质能燃料成本更高。生物质原料成本成为制约生物质燃料发展的重要因素。其次由于生产技术原因，相关配套设备尚未产业化，发展生物质工程一次性投资较大，设备折旧费用和财务费用等固定成本导致总生产成本也较高。以上种种原因造成的生物质能的成本过高使得生物质能产品缺乏市场竞争能力，投资回报率低使投资者的投资积极性大打折扣，而销售价格高又打击了消费者的积极性，从而

形成恶性循环，导致生物质能市场无法正常发展。

4.3.4 政策环境不完善

生物质能产业是兼具生态效益、经济效益、社会效益的弱势产业。从国外的发展经验看，生物质能市场发育初期必须有政府的强力支持，如投资、融资、税收、补贴、市场开拓等优惠政策。我国虽然已经出台一系列政策，但财政税收优惠政策出台相对滞后。如《可再生能源法》明确指出要制定激励可再生能源发展的税收优惠政策和贷款优惠政策，但至今相关的具体政策尚未出台。而且有关补贴政策与实际发展不相适应。根据《可再生能源法》规定，财政部设立了可再生能源发展专项资金，出台了《可再生能源发展专项资金暂行管理办法》，但如何申报资金、优惠政策幅度多少等没有明确提出。同时，该办法将风电、太阳能及海洋能发电作为重点补贴对象，而没有明确将具有多种社会效益的农林生物质发电列为补贴范畴。

生物质能的产业链很长，需要大量的资金投入。从生物质能作物的种植，生产到销售，整个过程中是没有工业废物的，所有的残余物都可以利用起来，因此发展生物质能产业需要形成一个完整的产业链，这样才能产生综合经济效益。但政府在政策层面缺乏对生物质能企业的支持，市场推广、产业链打造缺乏政府政策支持成为生物质能企业发展面临的最大问题。最后，黑龙江省生物质能目前缺乏合理有效的运行模式，由于没有建立科学完善的服务管理体系，存在生物质能工程设备维护和运行管理不善等问题。在现行能源价格条件下，技术标准未规范，造成市场管理混乱的现象。

4.4 小结

本章首先陈述了所研究区域也就是黑龙江省的概况，从本部分可以看出黑龙江省具有优秀的自然因素条件，具备发展生物质能的巨大潜力。接下来根据黑龙江省的实际情况，叙述了黑龙江省主要类别生物质能：沼气、生物燃料乙醇、生物柴油、生物质发电四类主要生物质能的发展现状，及目前存在的新技术开发力度不足、生物质能利用规模小、生物质能成本高政策环境不完善的问题。

5 黑龙江省生物质能资源因素分析

黑龙江省自然资源丰富,生物质能储量也十分丰富,为了具体的体现黑龙江省生物质能的蕴藏量,本部分将会根据国内已有的方法对黑龙江省主要类别的生物质能的可用量进行估算。表 5-1 显示的是中国主要类别的生物质能的储量及各部分所占比重。从中可以看出,农业生产剩余物,畜禽粪便和薪柴和林木类生物质能约占到全部生物质能的 97%。所以本文在对黑龙江省生物质能储量进行估算时,只对农业生产剩余物、畜禽粪便、薪柴和林木生物质能三类生物质能的可用量进行估算。中国主要类别生物质能储量如表 5-1 所示:

表 5-1 中国主要生物质能资源汇总

Tab.5-1 Summarization of the Main Biomass Resources in China

类型	实物总蕴藏量 (10 ⁸ t)	总蕴藏潜力量 (10 ⁸ tce)	理论可获得量 (10 ⁸ tce)	所占比例 (%)
农业生产剩余物	7.28	3.58	1.79	38.9
畜禽粪便	39.26	18.8	1.02	22.14
薪柴和林木生物质能	21.75	12.42	1.66	36.01
城市垃圾	1.55	0.22	0.089	1.93
城市废水	482.4	0.09	0.047	1.02
合计		35.11	4.6	100

5.1 农业废弃物类生物质能储量估算

这里的农业废弃物主要是指农作物秸秆资源。黑龙江省作为全国十三个粮食主产区之一,各种农作物秸秆的储量非常丰富。本章在综合运用生物质能现有估算方法的基础上,利用已有统计资料和数据,定量计算了黑龙江省秸秆类生物质能的数量。

(1) 秸秆实物蕴藏量的估算方法和参数选取

秸秆,通常指农作物籽收获后的植株,是农村最主要的农作物副产品。农作物秸秆主要包括粮食作物、油料作物、棉花、麻类和糖料作物等五大类。农作物秸秆除用于还田造肥、作为造纸等工业原料和畜牧饲料外,剩余部分都可以作为燃料使用。由于秸秆产量未列入国家有关部门的统计范围,其产量通常依据农作物的产量计算而得。计算公式如下:

$$CR = \sum_{i=1}^n Qc_i \cdot r_i$$

式中, CR 为秸秆资源实物量, Qc_i 为第 i 类农作物的产量, r_i 为第 i 类农作物的谷草比系数

(Residue to Product Ratio, 缩写为 RPR, 也有学者称之为“产量系数”或“经济系数”)。

秸秆资源估算的关键是农作物谷草比系数(RPR)的确定, 它是可以通过田间试验和观测得到的经验常数, 不同地区、不同品种的农作物大致相同, 可能略有差异。不同学者在估算中国秸秆资源时, 采用了不同农作物谷草比系数。综合已有研究的 RPR 选择方法, 并考虑不同农作物的地理分布, 本文选取的 RPR 系数如表 5-2 所示。

表 5-2 不同农作物谷草比系数(RPR)

Tab.5-2 Residue to Product Ratio(RPR) of Various Crops

农作物	水稻	小麦	玉米	豆类	薯类	葵花籽	高粱
谷草比系数	1	1.1	2	1.7	1	2	2

(2) 折标能源总量

根据以上各类生物质能资源的实物量, 乘以相应的折标系数, 就可以得到不同种类生物质能折合成标准能源的总量。对于秸秆资源能源潜力量 ECR, 就是在 CR 计算过程中引入不同类型农作物秸秆的折标系数 η_i , 其计算公式如下:

$$ECR = \sum_{i=1}^n Qc_i \cdot r_i \cdot \eta_i$$

不同种类秸秆生物质能资源 η_i 值如表 5-3 所示。

表 5-3 不同种类秸秆的生物质能折标系数 (单位: kg ce/kg)

Tab.5-3 Standard Conversion Coefficient of Different Types of Biomass

稻秆	麦秆	玉米秆	豆秆	薯类秆	葵花秆	杂粮秆
0.429	0.500	0.529	0.543	0.486	0.529	0.05

(3) 理论可获得量

上述计算的生物质资源量只是理论蕴藏量, 代表着生物质能资源的理论最大开发潜力。在此基础上还需要计算理论可获得量, 即理论上可以用来进行能源生产的生物质能资源量。秸秆生物质能理论可获得量计算公式如下:

$$ECR' = \sum_{i=1}^n Qc_i \cdot r_i \cdot \eta_i \cdot \lambda_i$$

式中, ECR' 表示秸秆生物质能的理论可获得量, λ_i 表示第 i 种作物秸秆可获得系数。可获得

系数通常由某地区该种生物质资源的多种制约因子决定,如秸秆资源的收集半径。

结合相关文献,本文计算时认为:随着技术进步和观念变革,单就资源收集潜力来说,秸秆资源可近似认为100%可获得,其中秸秆约50%用于能源利用。

(4) 数据来源

本文所有计算数据均来自于官方出版公布的相关统计年鉴资料和数据,数据基期为2007年,地理分布以地级市(农垦总局除外)为单元。利用上述方法和公式首先计算各地区生物质能资源的实物量,再利用各类资源的折标系数计算出其能源量。黑龙江省主要农作物产量如表5-4所示:

表5-4 黑龙江省主要农作物产量(单位:万吨)

Tab.5-4 Yield of Major Farm Crops in Heilongjiang Province

	水稻	小麦	玉米	高粱	豆类	薯类	葵花籽
哈尔滨	333.8		667.1	0.7	65.6	20.6	0.5
齐齐哈尔	88.8	1.3	316.8	4.4	93.7	48.5	13.7
鸡西	95.9	0.1	58		32.3	1.3	0.2
鹤岗	23.6	0.2	24.3		8.1	0.4	
双鸭山	33.2	0.1	71.7	14.8	27.5	3	0.3
大庆	38.3	0.6	160.7		8.2	5	2.2
伊春	21	0.1	15.6		20.4	0.8	0.2
佳木斯	151	2	113		87.3	7.3	0.7
七台河	11.2		30.1		11.3	0.9	0.1
牡丹江	31.3	0.5	101.1	0.1	35.1	5.6	2.1
黑河	6.3	36.8	15.9		83.8	9.5	0.1
绥化	198.3	0.2	560.8	3.4	51	36	2.3
大兴安岭		5.6	0.3		8.8	2.3	
农垦总局	798.1	50.7	251.3	0.2	128.9		2
总计	1658.5	77	1568.5	23.6	527.3	89	24.4

数据来源:2008年黑龙江统计年鉴

(5) 估算结果

根据以上方法和数据,计算得到2007年黑龙江省秸秆类生物质能的最终可利用量,如表5-5所示。

5.2 畜禽粪便类生物质能储量估算

黑龙江省是畜牧大省,近几年畜牧业发展迅速,畜禽养殖数量也不断增加,猪、奶牛、肉牛、羊等的饲养量迅速扩大。至2006年,黑龙江省猪的养殖数量达到1670.4万头,占全国猪养殖总量的3.3%,奶牛的养殖数量达到178.1万头,肉牛的养殖数量达到538.4万头,肉牛和奶牛养殖总量占全国牛养殖总量的5.6%,羊的养殖数量达到1180.3万只,占全国羊

养殖总量的 3.2%。

表 5-5 黑龙江省各地区秸秆能源可用量(单位: 万吨标准煤)

Tab.5-5 The Quantity of Straw Biomass Energy of Different Region in Heilongjiang Province

地区	可用量	地区	可用量
1 大兴安岭	6. 31924	8 牡丹江	79. 01036
2 鹤岗	21. 80766	9 大庆	99. 55416
3 伊春	22. 50022	10 佳木斯	135. 154
4 七台河	23. 81242	11 齐齐哈尔	249. 4923
5 双鸭山	59. 39853	12 绥化	372. 9273
6 黑河	60. 92174	13 农垦总局	378. 6344
7 鸡西	66. 60982	14 哈尔滨	460. 079
总计			1485. 75

畜禽粪便也是一种重要的生物质资源。畜禽粪便经干燥可直接燃烧供应热能, 若经厌氧处理还可产生甲烷和肥料。畜禽粪尿排泄量与动物种类、品种、性别、生长期等因素有关。

(1) 畜禽粪便实物排放量的估算方法和参数选取

畜禽粪便也是一种重要的生物质资源。畜禽粪便经干燥可直接燃烧供应热能, 若经厌氧处理还可产生甲烷和肥料。畜禽粪尿排泄量与动物种类、品种、性别、生长期等因素有关。根据各类畜禽每日粪便产生量和畜禽的饲养周期可以估算畜禽粪便排放量, 公式如下:

$$D = \sum_{i=1}^n Qd_i \cdot d_i \cdot m_i = \sum_{i=1}^n Qd_i \cdot M_i$$

式中, D 为畜粪实物量, Qd_i 为第 i 类畜禽的数目, d_i 为第 i 类畜禽每天粪便的产量, m_i 为第 i 类畜禽的饲养周期, M_i 为第 i 类畜禽在整个饲养周期内粪便排放总量。值得指出的是, 从统计年鉴中收集到的畜禽养殖头数一般包括出栏和存栏两部分, 且各类畜禽生长期不一样。存栏头数的饲养期按全年 365 天计算, 出栏头数的饲养期参考国外资料和实际调查, 确定如下: 肉猪一般为 300 天; 家禽大致为 55 天。一般认为出栏的牛、猪、禽分别为肉牛、肉猪、肉禽, 而对于生长期较长且当年出栏少的羊、马、驴、骡等则按照全年饲养计算。不同类型单位畜禽饲养期内的排泄量如表 5-6 所示。

表 5-6 本文选取的单位畜禽饲养期内粪便排放总量(单位: kg)

Tab.5-6 Total Amounts of Livestock and Poultry Feces Produced During Feeding Period

肉猪	存栏猪	肉牛	奶牛	羊	马	驴骡	家禽
1050	1460	8200	21900	632	5237	3092	4. 5

(2) 折标能源总量

根据以上各种畜禽粪便类生物质能资源的实物量，乘以相应的折标系数，就可以得到各种畜禽粪便类生物质能的折合成标准能源的总量。对于畜禽粪便资源能源潜力量 ED ，就是在

ED 计算过程中引入不同类型畜禽粪便的折标系数 η_i ，其计算公式如下：

$$ED = \sum_{i=1}^n Qd_i \cdot M_i \cdot \eta_i$$

不同种类畜禽粪便的折标系数 η_i 如表 5-7 所示：

表 5-7 不同种类畜禽粪便的折标系数 (单位: kgce/kg)

Tab.5-7 Standard Conversion Coefficient of Different Types of Biomass

牛粪	猪粪	马粪	羊驴骡粪	鸡粪
0.471	0.429	0.529	0.529	0.643

(3) 理论可获得量

上述计算的生物质资源量只是理论蕴藏量，代表着生物质能资源的理论最大开发潜力。在此基础上还需要计算理论可获得量，即理论上可以用来进行能源生产的生物质能资源量。畜禽粪便类生物质能的理论可获得量的计算公式如下：

$$ED' = \sum_{i=1}^n Qd_i \cdot M_i \cdot \eta_i \cdot \lambda_i$$

式中， ED' 表示畜禽粪便类生物质能的理论可获得量， λ_i 表示第 i 类畜禽粪便的可获得系数，可获得系数通常由某地区该种生物质资源的多种制约因子决定，如畜禽粪便的收集率。

结合相关文献，本文计算时认为：随着技术进步和观念变革，单就资源收集潜力来说，畜禽粪便可近似认为 100% 可获得，畜粪 1/3 用于能源利用。

(4) 数据来源

本文所用计算数据来自于官方出版公布的相关统计年鉴资料和数据，数据基期为 2007 年，地理分布以地级市（农垦总局除外）为单元。利用上述方法和公式首先计算各地区畜禽粪便类生物质能资源的实物量，再利用各类资源的折标系数计算出其能源量。黑龙江省畜牧业生产情况如表 5-8 所示：

表 5-8 黑龙江省畜牧业生产情况

Tab.5-8 Number of Livestock in Heilongjiang Province

	黄牛及 肉牛	奶牛	马	驴	骡	肉猪出 栏量	猪年末 数量	羊年末数 量	家禽
	(头)	(头)	(头)	(头)	(头)	(头)	(头)	(只)	(只)
哈尔滨	828703	388915	79178	11178	6851	3104796	2446737	409500	36944822
齐齐哈尔	495682	373958	38004	24599	5665	2605562	1842356	1830382	14216000
鸡西	73205	20830	7438	1129	1320	444595	312873	208130	3601900
鹤岗	16715	9876	440	43	11	177052	130733	48675	1173000
双鸭山	217063	14016	3474	318	145	859244	550062	388670	5069000
大庆	163794	311090	32389	15721	2408	1086083	822184	739551	8534376
伊春	59954	26058	3776	512	146	298021	198972	432931	3800736
佳木斯	285964	32935	5085	1110	882	1343182	983449	555534	7548650
七台河	26440	1121	2673	198	512	193120	137833	93694	1800000
牡丹江	301801	7011	27508	2480	9690	722299	553836	332925	5603000
黑河	124887	53321	7774	612	222	211959	162997	430441	1365000
绥化	526756	278037	70272	15692	3455	4584321	3047793	941459	21826732
大兴安 岭	19152	2034	4222	350	214	46747	43718	107523	488000
农垦总 局	530274	295167	2995	1556	52	3009424	1948524	1681046	13183988

(5) 估算结果

根据以上方法和数据计算得到黑龙江省畜禽粪便类生物质能的最终可利用量, 如表5-9所示:

表 5-9 黑龙江省各地区畜禽粪便类生物质能储量(单位: 万吨标准煤)

Tab.5-9 The Quantity of Manure Biomass Energy of Different Region in Heilongjiang Province

地区	理论可获得量	地区	理论可获得量
哈尔滨	57.61128686	佳木斯	15.65470486
齐齐哈尔	48.24759396	七台河	1.79887584
鸡西	5.408227393	牡丹江	11.55816318
鹤岗	1.890621347	黑河	7.586946032
双鸭山	10.12634272	绥化	51.35125925
大庆	28.36702755	大兴安岭	1.047409395
伊春	5.018451034	农垦总局	44.84876463
总计	290.515674		

5.3 林业废弃物类生物质能供给潜力

黑龙江省全省林业经营总面积 3175 万公顷, 占全省土地面积的 2/3。有林地面积 2007 万公顷, 活立木总蓄积 15 亿立方米, 森林覆盖率达 43.6%, 森林面积、森林总蓄积和木材产量均居全国前列, 是国家最重要的国有林区和最大的木材生产基地。黑龙江省是全国最大的林业省份之一, 天然林资源是黑龙江省森林资源的主体, 主要分布在大小兴安岭和长白山脉及完达山。

通常的林木生物质能是指可用于能源或薪材的森林及其他木质资源, 主要来源于薪炭林、林业生产的“三剩物”、灌木林平茬复壮、经济林修剪和林业经营抚育间伐过程产生的枝条和小径木, 还有造林苗木截干、城市绿化树和绿篱修剪等。林木质生物资源量的估算可以用不同林种的面积、可取薪柴系数以及单位面积产柴量等指标计算得出。本文利用这种方法计算了林业生产采伐剩余物、林木抚育间伐量、薪炭林这三种主要类型的林木质资源, 公式如下:

$$FR = \sum_{i=1}^n Qf_i \cdot r_i$$

式中, FR 表示林木生物质资源实物量, Qf_i 为第 i 种林木资源量, r_i 为相应的折算系数。根据各大林区采伐数据和样地试验数据, 的取值和相关计算参数如表3所示。采伐剩余物包括梢头、枝、叶等, 约占林木生物量的40%, 计算中用材林只取达到采伐标准的成熟林和过熟林, 防护林和特种用途林取需要采伐更新的过熟林面积。木材加工剩余物为原木的34.4%, 包括板条、板皮、刨花、锯末等。根据国家林业局的相关技术规定, 中、幼龄林在其生长过程中间伐2-4次, 针叶树种和阔叶树种的修剪次数平均为2-3次。薪柴和林木生物质能相关参数如表5-10所示:

表 5-10 薪柴和林木生物质能计算相关参数

Tab.5-10 Some Paraments for the Estimation Biomass from Firwood and Forest Residues

种类	采伐剩余物	抚育间伐量	薪炭林
r_i	40%	$8m^3/hm^2$	100%
折重	$1.17t/m^3$	$0.9t/m^3$	$1.17t/m^3$

我国林木资源可获得量可以根据当年实际薪炭林面积、实际采伐原木数、实际森工加工产品数和实际抚育出材量来计算, 本文取其可获得系数为40%, 所有林木资源中约1/3用作能源。黑龙江省林业生产情况如表5-11所示:

表 5-11 黑龙江省林业生产情况

Tab.5-11 Basic Statistics on Forestry in Heilongjiang Province

指标	幼林抚育面 积 (千公顷次)	成林抚育面 积 (千公顷)	林木采伐 (万立方米)	薪炭林 (千公顷)
数量	594.1	308.5	758.4	15.5

根据以上的估算方法和相关系数 (薪柴的折标煤系数取 0.571 kgce/kg) 等指标对黑龙江林木生物质能进行估算, 结果为 766370.8 tce 。这里需要说明的是目前, 我国的森林采伐利用率为61%, 木材综合利用率63%, 按现有生产规模和加工能力推算, 森林采伐利用率为61%, 木材综合利用率63%, 每提高一个百分点, 分别相当于增加木材供给 100 万 m^3 , 和 40 万 m^3 。但就目前的情况看, 部分林产品加工的废弃物已经被充分利用了, 如用来制作各种人造板材。且随着木材加工技术和废弃物的人造板材利用比率的提高, 林产品加工废弃物的数量将呈逐年下降的趋势。所以本章并未对加工剩余物的能源可用量进行估算。

5.4 小结

本章根据国内已有的方法和已有的经验数据对黑龙江省主要生物质能的储量进行了估算。经计算黑龙江省农业废弃物类生物质能、畜禽粪便类生物质能、薪柴林木类生物质能的潜在可用量分别为 1485.8 万吨标准煤、290.5 万吨标准煤、76.6 万吨标准煤，共计 1852.9 万吨标准煤。其占黑龙江省 2007 年一次能源消费量的比重为 23.3%，由此可见黑龙江省的生物质能可开发潜力是十分巨大的。黑龙江省主要类别的生物质能储量分布比例如图 5-1 所示：

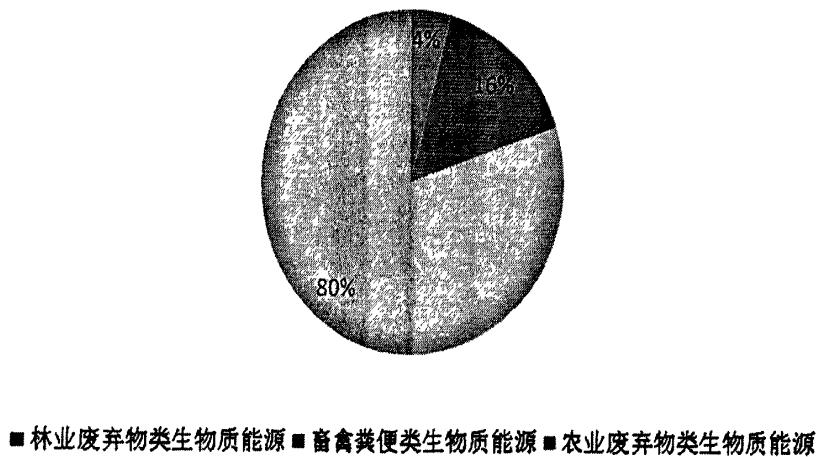


图 5-1 黑龙江省主要类别生物质能分布比例

Fig.5-1 The Proportion of Biomass Energy of Major Categories in Heilongjiang Province

6 黑龙江省未来能源供求预测

对黑龙江省未来能源消费和需求预测，本章主要采用灰色系统预测方法。灰色系统理论是邓聚龙教授在 20 世纪 70 年代末、80 年代初提出的。灰建模型是以一切随机变量为研究对象，将随机过程看成是在一定范围内变化的、与时间有关的灰色过程。以“部分信息已知，部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象，主要通过对“部分”已知信息的生成、开发，提取有价值的信息，实现对系统运行规律的正确认识和有效控制。基于灰色模型的预测方法已广泛应用于各个领域，取得一大批理论和应用成果。

6.1 灰色系统的原理及灰色模型 GM(1, 1)的建模

6.1.1 灰色系统原理

灰理论中的基本原理包括：

默承认原理：若没有理由认为 P 不成立，则默认 P 成立。

默否认原理：若没有理由认为 P 成立，则默认 P 不成立。

信息差异原理：凡信息必有差异，差异即信息。

信息认知原理：认知以信息为根据，凡认知必有根据。

白化原理：若没有理由否认 λ 为真元，则在准则 L 下，默认为 λ 真元的代表。

解的非唯一性原理：若没有理由否认 y 为解，则默认 y 为解；求解途径不同，则默认解非唯一。

灰性不灭原理：人类认知为灰。

6.1.2 灰色模型 GM(1, 1)的建模

灰色模型 GM(1, 1)的建模过程如下

(1) 设原始数据列为：

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)), x^{(0)}(k) \geq 0, k=1, 2, \dots, n;$$

对 $X^{(0)}$ 作一次累加生成数列：

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)), \text{ 其中}$$

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i),$$

$$(k=1, 2, \dots, n);$$

(2) 灰微分方程为:

$$x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) = b, \text{ 其中 } Z^{(1)} \text{ 为 } X^{(1)} \text{ 的紧邻均值生成数列:}$$

$$Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)), z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1);$$

a, b 为待定系数, 分别为发展系数和灰作用量;

(3) $x^{(1)}(k)$ 的白化方程式为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u$$

用最小二乘有矩阵算式 $\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$;

$$\text{其中, } B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix};$$

$$Y_N = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T;$$

(4) GM(1, 1)白化模式的响应式即方程的解为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-ak} + \frac{b}{a};$$

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k);$$

(5) 求出 $X^{(1)}$ 的模拟值:

$$\hat{X}^{(0)} = (\hat{x}(1), \hat{x}(2), \dots, \hat{x}(n));$$

$$\text{由 } \hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1);$$

$$\text{得: } \hat{X}^{(0)} = (\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2), \dots, \hat{x}^{(0)}(n)).$$

(6) 检验

残差 $e(k)$:

$$e(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$$

相对误差:

$$\Delta_k = \left| \frac{e(k)}{x^{(0)}(k)} \right|$$

平均相对误差:

$$\Delta_k = \left| \frac{e(k)}{x^{(0)}(k)} \right|$$

平均相对误差:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta_k$$

原始数据方差:

$$S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}]^2$$

残差:

$$S_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n [e^{(0)}(k) - \bar{e}]^2$$

其中:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k), \quad \bar{e} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n e^{(0)}(k)$$

方差比值:

$$C = \frac{S_2^2}{S_1^2}, \quad P = \{ |e^{(0)}(k) - \bar{e}| < 0.6745S_1 \}$$

根据灰色系统理论, 残差 $e(k)$, 相对误差 Δ_k , 方差比值 C 越小, 模型精度越好, 当发展系数 $a \in [0.3, 2)$ 时, 模型可用于中长期预测。精度等级如表 6-1 所示:

表 6-1 精度等级

Tab.6-1 Precision grade

等级精度	一级	二级	三级	四级
P	>0.95	>0.80	>0.70	≤0.70
C	<0.35	<0.50	<0.65	≥0.65

6.2 用 GM (1, 1) 模型对黑龙江省能源消费量进行预测

(1) 原始数据序列为:

$$X^{(0)} = \{3716.4, 4581.0, 5539.7, 6261.3, 6270.5, 6635.5, 6702.1, 6390.0,$$

$$5663.1, 5830.8, 6204.2, 6309.8, 7619.6, 7657.3, 7957.9\}$$

(2) 一次累加生成数据列为:

$$X^{(1)} = \{3716.4, 8297.4, 13837.1, 20098.4, 26368.9, 33004.4, 39706.5,$$

$$46096.5, 51759.6, 57590.4, 63794.6, 70104.4, 77619.4, 85239.0, 92896.3, 100854.2\}$$

(3) 建立矩阵及数据列:

$$B = \begin{pmatrix} -6006.9 & 1 \\ -11067.3 & 1 \\ -16967.8 & 1 \\ -23233.7 & 1 \\ -29686.7 & 1 \\ -36355.5 & 1 \\ -42901.5 & 1 \\ -48928.1 & 1 \\ -54675.0 & 1 \\ -60692.5 & 1 \\ -66949.5 & 1 \\ -73861.9 & 1 \\ -81429.2 & 1 \\ -89067.7 & 1 \\ -96875.3 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Y_N = \{4581.0, 5539.7, 6261.3, 6270.5, 6635.5, 6702.1, 6390.0,$$

$$5663.1, 5830.8, 6204.2, 6309.8, 7515.0, 7619.6, 7657.3, 7957.9\}$$

(4) 计算参数列 \hat{a} :

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = \begin{pmatrix} -0.025436 \\ 5223.222 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$$

(5) 将 $a=-0.025436$, $b=5223.222$ 带入式: $\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}) e^{-ak} + \frac{b}{a}$ 中, 计

算得到时间响应函数, 即:

$$\hat{x}^{(1)}(K+1) = 209064.017549929 e^{0.025436k} - 205347.6175499292$$

对黑龙江省能源消费量的预测如表 6-2 所示:

表 6-2 黑龙江省能源消费量预测 (单位: 万吨标准煤)

Tab.6-2 Forecast of Quantity of Energy Consumption in Heilongjiang Province

年份	1980	1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
实际值	3716.4	4581.0	5539.7	6261.3	6270.5	6635.5	6702.1	6390.0	5663.1
预测值	3716.4	5385.9	5524.7	5667.0	5813.0	5962.7	6116.4	6273.9	6435.6
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
实际值	5830.8	6204.2	6309.8	7515.0	7619.6	7657.3	7957.9	-	-
预测值	6601.4	6771.4	6945.9	7124.8	7308.4	7496.7	7689.8	7887.9	8091.1
年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
实际值	-	-	-	-	-	-	-	-	-
预测值	8299.6	8513.4	8732.7	8957.7	9188.4	9425.2	9668.0	9917.1	10172.6

(6) 检验:

基于上述黑龙江省生物质能消费量的 16 维年度数据, 参照灰色系统模型预测精确程度等级的划分, 可以得到原始序列数据的方差 $S_2^2=285557.34$, 残差的方差 $S_1^2=1183503.99$, 其后检验比值 $C=S_2/S_1=0.4912$, 可知对黑龙江省生物质能消费量的灰预测精度为二级, 能够较好地表明消费量的变动趋势, 对未来发展趋势的预判具有一定的说服力。

6.3 用 GM (1, 1) 模型对黑龙江省能源供给量进行预测

利用灰色理论模型经过和以上相同的过程对黑龙江省能源供给量进行预测, 可以得到以下结果, 如表 6-3 所示:

检验: 基于上述黑龙江省生物质能消费量的 16 维年度数据, 参照灰色系统模型预测精确程度等级的划分, 可以得到原始序列数据的方差 $S_2^2=857703.8981$, 残差的方差

$S_1^2=1070021.6413$ ，其后检验比值 $C= S_2/S_1=0.8953$ ，可知对黑龙江省生物质能消费量的灰预测精度为二级，能够较好地表明消费量的变动趋势，对未来发展态势的预判具有一定的说服力。

表 6-3 黑龙江省能源供给量预测 (单位: 万吨标准煤)

Tab.6-3 Forecast of Quantity of Energy Supply in Heilongjiang Province

年份	1980	1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
实际值	10855.9	12708.8	13615.8	14014.0	14163.6	12803.0	13389.4	12572.0	11494.0
预测值	10855.9	13050.6	13040.4	13030.2	13019.9	13009.7	12999.5	12989.4	12979.2
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
实际值	11374.8	11716.6	11991.3	13625.0	13755.6	13922.4	13542.2	-	-
预测值	12969.0	12958.8	12948.7	12938.5	12928.4	12918.3	12908.1	12898.0	12887.9
年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
实际值	-	-	-	-	-	-	-	-	-
预测值	12877.8	12867.7	12857.6	12847.6	12837.496	12827.4	12817.4	12807.3	12797.3

6.4 结果分析

黑龙江省未来一次能源消费量与供给量如图 6-1 所示。根据以上对黑龙江省未来能源供需发展的预测可以明显的看到，黑龙江省的能源供给数量基本保持在一个比较稳定的水平上，但是能源的消耗量却是随着时间每年都在增长，照这样的趋势发展下去，黑龙江省的能源供求一定会出现矛盾。这就对黑龙江省发展生物质能提出了可观要求。根据第五章的估算，黑龙江省的各种生物质能的发展潜力大约相当于 1852.9 万吨标准煤。

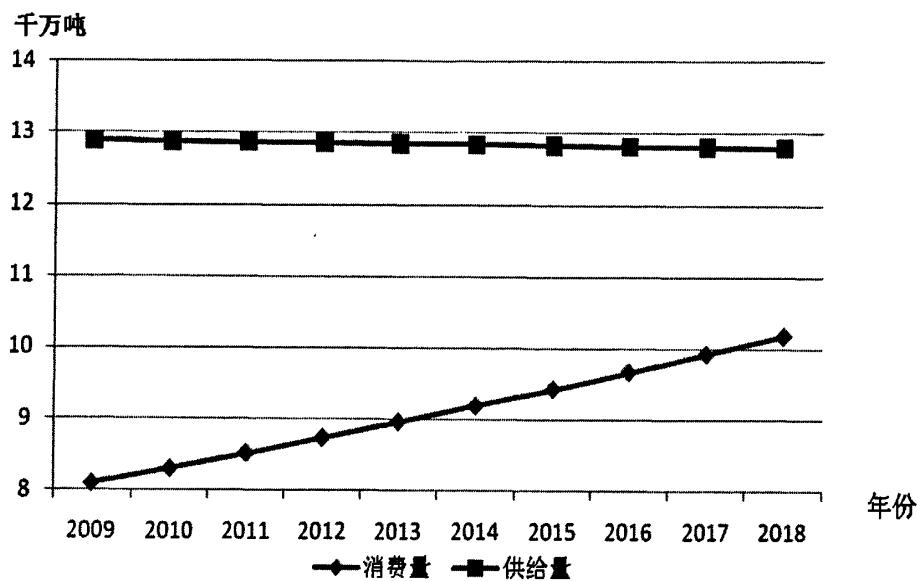


图 6-1 黑龙江省能源供求预测
Fig.6-1 The Forecast of Energy Supply and Demand in Heilongjiang Province

6.5 小结

本章利用灰色理论模型对黑龙江省一次能源的供给量和需求量分别作了预测。从预测结果可以发现，黑龙江省未来的能源供给量一直在一个比较固定的水平上徘徊，而能源需求量却在稳步的攀升。这就给黑龙江省的能源供应提出了挑战，为了黑龙江省的可持续发展，黑龙江省必须寻找和开发可再生能源。

7 黑龙江省不同种类生物质能发展序列分析

由于发展生物质能受到众多因素影响，黑龙江省生物质能开发利用应考虑阶段性，本节利用层次分析法，分析不同阶段应以何种生物质能发展为重点。

7.1 层次分析法的基本过程

层次分析法 (AHP, The Analytic Hierarchy Progress) 是 20 世纪 70 年代由美国运筹学家，匹兹堡大学教授萨迪(T.L.Saaty)创立。它将复杂的问题分解成各个组成因素，再将这些因素按支配关系分组组成递阶层次结构，通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性，然后综合决策者的判断，确定决策方案相对重要性的总排序，最后得到各因素相对于决策目标的优选序列。AHP 将人的主观判断用数量形式进行表达和处理，是一种定性与定量相结合的方法，大大提高了决策的有效性、可靠性和可行性。

7.1.1 指标体系构建与选取

本文主要从可行性、宏观环境、效益三个大方面考虑黑龙江省的生物质能发展。其中可行性因素中包括资源禀赋、社会需求、技术水平、经营管理四个子因素；宏观环境因素中包括配套服务体系、财税支持、法规政策支持三个子因素；效益因素则由经济效益、社会效益、生态效益三个子因素组成。这十个因素最终反映了黑龙江省生物质能开发项目这个目标。本文中主要选择了农村沼气、生物柴油、燃料乙醇、秸秆固化气化发电四个项目进行了分析。选择这四项作为本文的主要分析对象，其主要原因是目前我国对生物质能的利用也主要集中在沼气利用、生物质燃料利用、秸秆利用、生物质气化、生物质发电、生物质固化成型这几个方面。指标体系如图 7-1 所示。

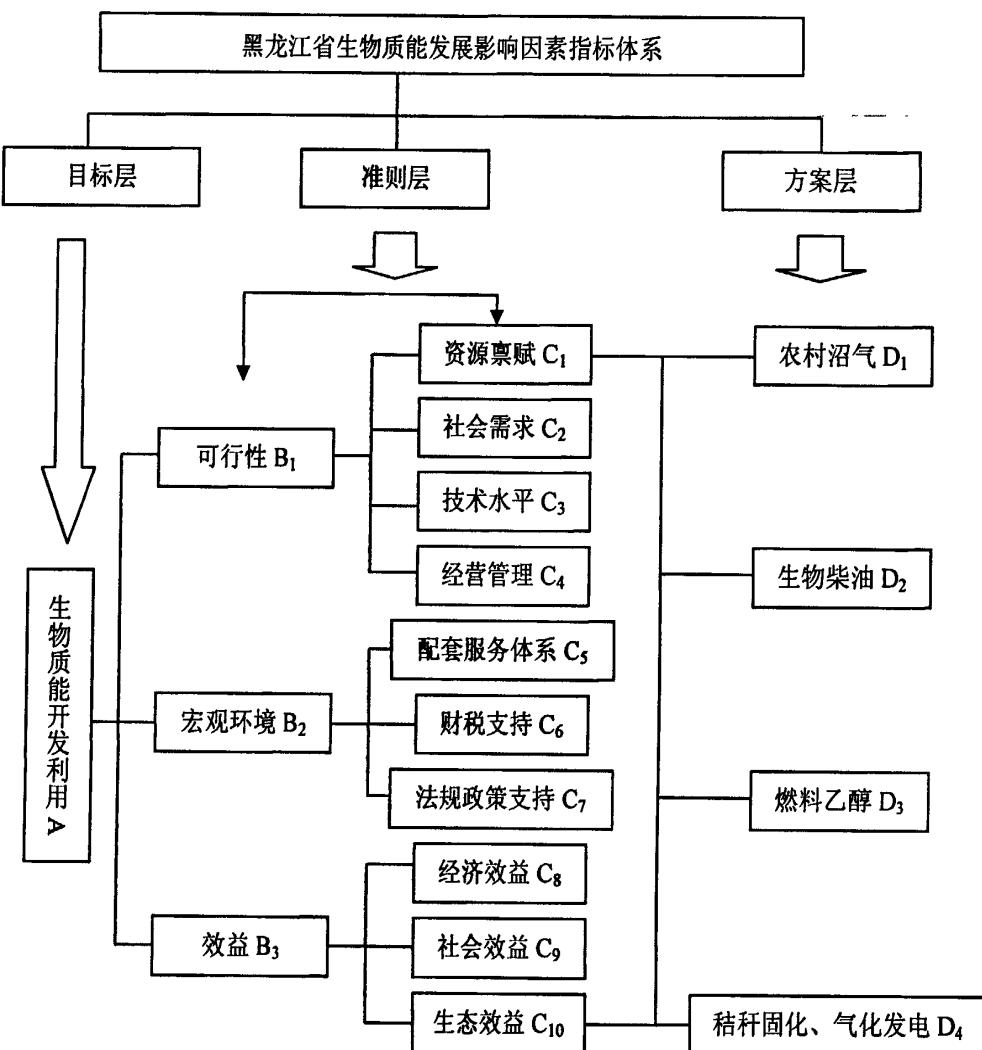


图 7-1 生物质能开发利用指标体系构架图

Fig.7-1 Indes System Diagram of Biomass Energy Development and Utilization

7.1.2 构造判断矩阵

建立层次结构模型后，上下层次间元素的隶属关系就被确定了。针对上一层准则对下一次元素进行重要性比较，具体给定标度参照表 7-1：

表 7-1 数字 (1~9) 标度的含义

Tab.7-1 The Meaning of Number(1~9)

重要性标度	含义
1	表示两个元素相比，具有同等重要性
3	表示两个元素相比，前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述判断的中间值
倒数	若元素 i 与元素 j 的重要性之比为 a_{ij} ，则元素 j 与元素 i 的重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

平均随即一致性指标 RI 的值如表 7-2：

表 7-2 平均随机一致性指标 RI

Tab.7-2 Average Random Consistency Index RI

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

7.1.3 生物质能领域专家打分

专家打分是层次分析法的最核心环节，层次分析的结论来源于专家的打分。本文构造判断矩阵的原始依据是黑龙江省生物质能领域专家的打分。总共有 18 位生物质能领域的专家进行了打分，本文对专家打分进行了数据整理，得出最后的判断矩阵。经过整理的专家打分表见附录 1。

7.1.4 判断结果

利用判断矩阵的判断结果见表 7-3 和表 7-4：

表 7-3 生物质能开发利用体系指标权重
Tab.7-3 Wights of Bioenergy Development and Utilization Index System

目标层	A-B	准则层	B-C	A-C	秩	CI=0. 0536 RI=1. 49 CR=0. 0360
B1	0. 2654	C1	0. 1465	0. 0389	7	
		C2	0. 0655	0. 0174	8	
		C3	0. 2884	0. 0765	4	
		C4	0. 4995	0. 1326	3	
B2	0. 6716	C5	0. 2872	0. 1929	2	
		C6	0. 0780	0. 0524	5	
		C7	0. 6348	0. 4263	1	
B3	0. 0629	C8	0. 1047	0. 0066	10	
		C9	0. 6370	0. 0401	6	
		C10	0. 2583	0. 0162	9	

表 7-4 生物质能开发利用排序结果
Tab.7-4 The Sort Result of Hierarchy

准则层	A-C	C-D1	C-D2	C-D3	C-D4	CI=0. 0152 RI=0. 90 CR=0. 0169
C1	0. 0389	0. 0704	0. 3684	0. 3684	0. 1928	
C2	0. 0174	0. 0720	0. 3767	0. 3168	0. 2345	
C3	0. 0765	0. 5723	0. 1094	0. 1094	0. 2090	
C4	0. 1326	0. 5839	0. 1327	0. 1327	0. 1508	
C5	0. 1929	0. 4831	0. 2119	0. 2119	0. 0930	
C6	0. 0524	0. 5579	0. 0963	0. 0963	0. 2495	
C7	0. 4263	0. 5657	0. 1081	0. 0977	0. 2286	
C8	0. 0066	0. 5579	0. 0963	0. 0963	0. 2495	
C9	0. 0401	0. 5579	0. 0963	0. 0963	0. 2495	
C10	0. 0162	0. 0675	0. 3908	0. 3908	0. 1509	
权重		0. 5159	0. 1497	0. 1442	0. 1901	
秩		1	3	4	2	

7.2 主要结论

7.2.1 黑龙江省生物质能发展时间序列

根据以上多层次指标构建、判断及权重分析，黑龙江省生物质能发展的时间序列为：农村沼气、秸秆固化气化发电、生物柴油、燃料乙醇。也就是说根据多位专家的打分，得出黑

龙江省发展生物质能的一个时间上的先后顺序，或者说得出了一个轻重缓急的发展方案。相对来说，农村沼气是最重要的，应该优先发展的。目前农村沼气类生物质能在龙江省的开发与利用范围要远远大于其他几类生物质能。从龙江省生物质能发展现实情况看，沼气在龙江省发展历史最长，技术已经成熟，管理、资金、政策等各方面配套措施发展都较成体系，且目前我国积极建设社会主义新农村，沼气作为重要的农村能源，解决了大部分农村用能需求，其环境友好的特征也使村容村貌发生了很大的变化，沼气正是当前龙江省农村发展迫切需要的。因此，从分析结果看，沼气开发利用项目排在首位符合现实发展需要。

作为粮食生产大省，龙江省的秸秆储量十分丰富，这就为秸秆固化气化发电提供了大量原材料基础。其目前存在的主要问题在于秸秆资源比较分散，大量收集成本比较高。

燃料乙醇发展在黑龙江较为缓慢，主要原因在于原料短缺，为保证国家粮食安全，所以发展燃料乙醇只能考虑以非粮食作物作为原料。目前国外生产燃料乙醇的原料以玉米、高粱、小麦等粮食作物为主，这对于土地资源短缺的中国来说不现实。因此，面临选择合理的原料以及燃料乙醇技术进一步提高等问题，将燃料乙醇发展列于龙江省生物质能发展中长期计划较为合理。

7.2.2 影响龙江省生物质能发展各因素排序

通过层次分析法得到的不同影响因素的权重可以看出政策法规支持、配套服务体系、经营管理是影响区域生物质能开发利用的主要因素，它们的权重都占到 0.1 以上。技术水平、财税支持、社会效益、资源禀赋等因素影响程度次之。社会需求、生态效益、经济效益影响相对较弱。

以上的排序是省内多位生物质能领域专家从龙江省实际情况出发，对目前龙江省发展生物质能的影响因素的相对重要性做出的全面的评价与判断。本文利用了层次分析法的模型，将各位专家的意见通过打分表的形式汇总、整理，通过数学模型运算，使得专家主的主观判断与数量运算相结合，达到了定性与定量相结合的判断效果。使得判断的结果更具有科学性和更高的参考价值。

7.3 小结

本章首先叙述了层次分析法的基本过程，包括指标体系的构建与选取、构造判断矩阵及最重要的专家打分。专家打分是本章的核心，本章利用数学方法，把专家的主观判断整理分析，得出了判断的结论。根据多层次指标构建、判断及权重分析，龙江省生物质能发展的时间序列为：农村沼气、秸秆固化气化发电、生物柴油、燃料乙醇。通过层次分析法得到的不同影响因素的权重可以看出政策法规支持、配套服务体系、经营管理是影响区域生物质能开发利用的主要因素，它们的权重都占到 0.1 以上。技术水平、财税支持、社会效益、资源禀赋等因素影响程度次之。社会需求、生态效益、经济效益影响相对较弱。

8 推进黑龙江省生物质能发展的对策

8.1 制定生物质能发展规划

凡事预则立，不预则废。发展生物质能同样需要制定详细、周密、可行的发展规划。生物质能的技术正在逐渐成熟，国家也在逐渐的出台一些相关的鼓励与支持政策。生物质能发展的环境逐步完善，但是由于缺少市场规范，目前生物质能市场存在一些重复投资，盲目上项目等混乱现象。这就需要正确引导，加以规划，否则不仅浪费投资，而且会造成产业重叠、盈利降低，甚至危及整个行业的发展。因此，为了让生物质能产业健康稳步的向前发展，更加合理的开发生物质能，我们制定生物质能发展的规划和生物质能发展的纲要和具体的实施方案。制定更加完备的财税支持政策，引导民间资本进行产业化投资。各级地市政府应根据自身的资源特点、市场需要因地制宜，研究制定适合本区域的生物质能发展规划。总之通过详细的规划，把社会各方面有效资源合理的调配，达到发展生物质能的最优效果。

8.2 制定生物质能发展政策

根据各典型国家发展生物质能的经验来看，由于生物质能发展初期成本高、技术投入大等因素影响，生物质能的发展初期都是由政府来主导的，这就离不开政府的政策支持。

首先是法律法规等强制性政策以立法的形式确立发展生物质能的重要地位。如生物质能发有成本过高、不能保证连续供电等问题导致生物质发电在市场上不具备竞争力，所以，就要制定并网和收购其发电量的相关法规。生物质能发展比较好的国家都制定了强制性法律法规去推进生物质能发展。例如日本于 2002 年实施的《新能源电力促进法》，明确规定了各电力公司每年应购进的可再生能源电力数量，德国实施的《可再生能源法》调整了各种可再生能源发电的补偿标准，英国于 2002 年实施的《可再生能源义务法》，建立了完善的可再生能源电力配额制度。

在生物质能发展的早期，不但需要法律和行政手段做为强力支撑，而且需要经济政策对于早期的生物质能产业发展进行推动。国外生物质能和可再生能源产业之所以能取得较快的发展，很重要的原因在于这些国家都采取了各种直接和间接经济政策。黑龙江省在发展生物质能产业的过程中可以根据黑龙江省的实际情况参考和借鉴国外的成功经验。经济激励政策主要包括补贴政策、税收政策、价格政策和低息或贴息贷款政策等。

（1）补贴政策

补贴政策可分为投资补贴、产出补贴、设备补贴等补贴方式。

投资补贴是指技术研发和商业化前期技术的示范项目补贴。例如英国政府对发展可再生能源的企业和研发机构开发新产品或从事技术创新的开发与研究，提供其费用总额的 70% 进行资助。

产出补贴是指根据可再生能源设备生产的可再生能源产品进行补贴。美国的补贴政策侧

重于产出补贴，1992 年美国实施的《能源政策法》规定：通过国会年度拨款为免税公共事业单位、地方政府和农村经营的发电企业生产的可再生能源电能进行补助，每千瓦时补助 1.5 美分。

设备补贴是指向生物质能技术和设备的购买者、生物质能电能的用户、推广应用新型节能设备的企业或家庭用户给予一定的财政补贴。例如瑞典政府对生物质能生产企业给予一定的资金补贴，对使用木材颗粒燃料的居民，政府一次性补贴购买燃烧设备费用的 30%。印度政府为了降低可再生能源企业的运行成本，为其提供 10%-15% 的设备投资补贴。

（2）税收政策

税收政策是国外应用较多的经济政策，如减税政策、所得税抵免政策、加速折旧政策等，这些政策旨在降低生物质能企业的建设成本、运营成本，激发企业投资和生产积极性。美国的税收政策主要采取直接减税和企业所得税抵免两种方式（包括技术开发抵税和生产抵税）。企业建立头十年，每生产 1kwh 的电能可享受从当年的个人或企业所得税中免交 1.8 美分的待遇。美国政府 2005 年 8 月通过的新《国家能源政策法》明确规定，将在未来 10 年内，向全美生物质能企业提供 146 亿美元的减税额度。

征收生态税是指通过征收生态税，使化石燃料对气候和环境所造成污染的治理成本内部化，即将治理费用纳入消费者购买化石燃料产品的价格中。有些国家将大部分生态税收人用于补充职工养老金，使企业养老金费率降低，从而起到降低企业雇工成本、促进就业的目的。例如德国在税收政策中采取附加“燃油税”的方式，向汽油、柴油、天然气等收取“生态税”。针对不同用途、不同品种采用不同的税率，平均税额占油价的 12%-15%。黑龙江省也可参考征收生态税，征收所得收入可以用于支持生物能源的发展，从而将发展生物能源的高成本分摊到所有化石能源消费者身上，另一方面对燃料乙醇和生物柴油免征生态税以鼓励更多的消费者使用可再生的生物质能燃料。

（3）价格政策

在可再生能源发展较好的国家，对可再生能源进行价格补偿是比较普遍的。因为可再生能源产品成本一般会高于常规能源产品，所以政府会对可再生能源实行优惠的价格政策或采取价格补偿。例如德国对不同种类的可再生能源发电项目制定了不同的补偿标准。安装在建筑物上或者建筑物旁 30kw 以下安装功率的光伏发电装置将可以获得 59 欧分 /kwh 的补偿，海上风力发电补偿标准为 8.9 欧分 /kwh。

（4）低息或贴息贷款政策

此类政策主要包括低息贷款政策和延长还贷期限，主要起到降低发展生物质能企业的融资成本的作用，从金融领域促进生物质能产业的发展。例如印度由非常规能源部和可再生能源开发署共同提供财政支持，通过建立可再生能源投资公司提供低息贷款。该公司专门为可再生能源技术的开发提供低息贷款，以及帮助可再生能源项目进行融资。德国对风力发电项目和光伏发电项目正在实施低利率贷款，利率从 2.5%-5.1% 不等，明显低于我国的贷款利率。

（5）政府采购政策

政府市场是一个庞大的市场，政府采购作为重要的财政政策工具，通过对市场的调节达到支持和保护中小生物质能企业的目的。生物质能作为新兴产业，迫切需要资金支持和开拓市场，政府通过采购政策的倾斜，可以大大提升生物质能企业的积极性。政府采购将引

导资本向生物质能产业集中，形成规模效应。如美国“硅谷”今日的成功就得益于在其发展初期由美国军方购买了“硅谷”生产的全部集成电路，从而刺激了高新技术产业的迅速发展。

8.3 建立生物质能开发利用的技术保障体系

目前，生物质能技术仍是制约生物质能产业发展的主要因素，我国生物质能发展起步较晚，在很多方面都较落后，因此，发展生物质能必须加大科研投入，鼓励生物质能开发、转化、利用技术的创新。第一，要重视生物质能发面的人才引进及培养，建立生物质能相关人才的培养和使用机制，依托高校和科研院所形成科研团队。以企业为核心，以社会需求为导向，对生物质能的核心技术进行项目攻关。第二，鼓励产学研的结合，推进产业化的示范项目建设，针对黑龙江发展生物质能的具体情况制定与之相应的推广与示范计划。当前黑龙江省应积极推广、完善沼气工程建设，对燃料乙醇、生物质发电以及生物柴油组织示范。第三，要设立可再生能源高新技术产业区，利用现有的科技、人才及产业化优势，采取积极的鼓励与扶持政策，大力支持现有企业，努力吸引外来企业，促进生物质能高新技术产业链的形成。

8.4 注重生物质多元化利用

黑龙江省在发展生物质能的过程中，应注重生物质的多元化利用。生物质的多元化利用包含两重含义：一是生物质原材料的多元化。由于生物质资源丰富、成分复杂、种类繁多，原材料供应受相关产业生产和季节等因素影响明显，所以对于任何一种生物质能利用技术来说，如果该技术所依赖的原料市场单一，则该技术适应性和规模化发展必将受到原料因素限制，导致生产成本较高，市场竞争乏力。目前利用粮食制造燃料乙醇遭遇的原料危机使人们清醒地意识到，发展生物质能必须以保证粮食安全为前提。采用原材料广泛并且成本低廉的各类农业纤维废弃物替代粮食制造燃料乙醇才是该技术未来的产业化发展道路。二是生物质能产品多元化。生物质能相当重要的作用是对传统化石能源替代，因此各种现代社会工业发展所需要的化石类能源产品都是生物质能产品的发展方向及目标市场。这些传统的与化石能源相关的产品一般包括电力、液体燃料、气体燃料、固体燃料等。所以只有注重对生物质的多元化利用，才有可能在未来发展的道路上发挥其不可替代的作用。

8.5 加强多学科交叉研究

黑龙江省在未来对生物质能的科研过程中应注重并加强多学科交叉研究。生物质能研究针对不同的技术路线和工艺过程，明显的体现出多学科交叉。生物质能涉及的学科包括植物学、微生物学、化学、热学与经济分析等等，研究基础包括基因工程学、微生物学、生化工程、化学工程、环境工程、能源工程和经济管理等。而另一方面，生物质能产业目前是一个新兴产业，任重道远，各种技术在应用和发展中将会面对层出不穷的新情况、新问题，各种技术不断地被更新、完善，甚至被淘汰。因此，不断地加强各科学交叉研究与分析是生物质能得以健康、持续、长足发展的重要保障。目前国内外对发展生物质能提出了很多质疑，尤

其是生物质能对生态环境的影响，生物质能对粮食安全的影响，生物质能的投入产出等，所以黑龙江省在未来对生物质能的探索研究中亟需加强对生物质能结合具体情况进行深入研究、试验和示范并提出合理的发展方向。

8.6 加大对生物质能的宣传力度

目前广大民众对生物质能的概念、优势等还停留在一无所知的状态，每当听到生物质能这个概念时还会一脸迷茫。我觉得我们应该加强对生物质能的宣传力度，同时加强对生物质能清洁的特性、可再生性等优点的宣传力度。政府各职能部门、企事业单位应用宣讲、广告等多种形式为生物质能产品的开发与利用营造声势，注重广告策略的引导、告知、说服、提醒等作用，通过文字、声音、色彩、动作的艺术化运用，将生物质能的相关知识形象的传递给公众，提高公众对生物质能作为绿色能源的认识。生物质能是农村使用的主要能源，应特别加强农村群众对现代化生物质能的认识。使农村广大居民提高对生物质能的认识和利用，使生物质能在农村得到普遍的推广与使用。

8.7 小结

本章根据前文对黑龙江省的实际情况，生物质能发展的现状及存在的问题以及对黑龙江省未来能源供求的预测，还有通过层次分析法得出的结论这三项的综合分析，提出了发展生物质能的六项政策建议，分别是制定生物质能发展规划、制定生物质能发展政策、建立生物质能开发利用的技术保障体系、注重生物质多元化利用、加强多学科交叉研究、加大对生物质能的宣传力度。

结论

本文研究主要结论为：

(1) 黑龙江省生物质能开发利用具有一定基础,但现今发展具有一定问题。黑龙江省生物质能转化技术总体较为成熟,沼气开发、生物质发电等实践都取得一定成效,走在全国的前列。但黑龙江省在生物质能方面的潜力还没有充分发挥出来,如燃料乙醇,林木生物质燃料等项目都没有充分开发。原因在于目前没有找到合适的原料、政策环境还不够完善、生物质能利用工程规模小、新技术开发力度不够、生物质能成本高导致缺乏竞争力等等。

(2) 本文根据国内已有的方法,对黑龙江省主要类别的生物质能进行了储量估算。通过对农业剩余物类生物质能,林业剩余物类生物质能和畜禽粪便类生物质能储量的分别估算,得出了黑龙江省生物质能的储量约为1852.9万吨标准煤。其占黑龙江省2007年一次能源消费量的比重为23.3%,由此可见黑龙江省的生物质能可开发潜力是十分巨大的。

(3) 通过灰色理论预测了黑龙江省一次能源在未来的发展中的供需数量。发现黑龙江省在未来发展过程中一次能源的供应量基本保持一个稳定的状态,从数量上来说,不但没有增加,反而有略微的下降趋势;而黑龙江省的能源消费量却是稳步上升的。也就是说随着黑龙江省省会经济的不断发展,能源消耗的不断提高,黑龙江省的能源供需矛盾会逐渐显现。这使得黑龙江省发展生物质能变得刻不容缓。

(4) 经过生物质能领域专家打分。本文利用层次分析法分析了黑龙江省各类生物质能的发展先后顺序。得出的结论是农村沼气→秸秆固化气化发电→生物柴油→燃料乙醇。同时也对黑龙江省生物质能开发利用时序的影响因素的影响权重进行了排序,其结果是政策法规支持→配套服务体系→经营管理→技术水平→财税支持→社会效益→资源禀赋→社会需求→生态效益→经济效益。

致 谢

本论文是在我的导师李翠霞教授辛勤指导和大力帮助下完成的。从论文的选题、构思、撰写直至成文都凝结着李老师的心血和汗水。李老师诲人不倦的师德、深湛的学术造诣、严谨的治学态度、一丝不苟的工作作风都深深地感染着我，为我今后学习和工作树立了楷模。李老师对学生产严格要求，并尽心竭力为学生创造学习条件，时时刻刻鼓励学生追求上进，在生活上更是给予我们无微不至的关怀，令学生终身难忘。在论文即将完成之际，谨向培养和帮助我多年的李老师表示最诚挚、最崇高的感谢和敬意！

我要感谢我的父母，是父母多年来对我的鼓励与支持才使我有信心、有条件去心无旁骛的考研究生，去攻读硕士学位！

同时，我还要感谢经济管理学院的各位老师。在我三年的学习生活中，各位老师给予了我太多的关心与爱护，正是有了你们的关心与爱护，我才能在这里体会到了家的温暖；正是有了你们的鼓励和肯定，我才能充满自信，积极进取；正是有了你们的悉心指导和教诲，我才能不断的认识自我、修正自我、完善自我。再一次向各位老师致以深深的谢意！

最后，我要感谢我的同学和师门的兄弟姐妹们，感谢你们三年来对我的关心、帮助与支持，更感谢你们给予我的最真诚的友谊。认识你们是我的荣幸，你们的友谊是我这三年获得的最可宝贵的财富！

感谢所有关心、支持、帮助我的亲人和朋友！

参考文献

- 程备久, 卢向阳, 蒋立科等. 2008. 生物质能学. 化学工业出版社, 12-16
- 姚向君, 王革华, 田宜水. 2006. 国外生物质能的政策与实践. 化学工业出版社, 46-54
- 美国国家可再生能源实验室. 2009. 现代生物质能技术——美国国家可再生能源实验室生物质能技术报告. 鲍杰. 科学出版社, 6-16
- 刘荣厚. 2009. 生物质能工程. 化学工业出版社, 13-14
- 肖波, 周英彪, 李建芬. 2006. 生物质能循环经济技术. 化学工业出版社, 11-32
- 吴创之, 马隆龙. 2003. 生物质能现代化利用技术. 化学工业出版社, 11-15
- 姚向君, 田宜水. 2005. 生物质能资源清洁转化利用技术. 化学工业出版社, 15-30
- 袁振宏, 吴创之, 马隆龙. 2005. 生物质能利用原理与技术. 化学工业出版社, 4-8
- 日本能源学会. 2007. 生物质和生物质能手册. 史仲平, 华兆哲. 化学工业出版社, 7-11
- 王海东, 李翠霞. 2009. 黑龙江省秸秆类生物质能储量测度. 生态经济. (11):128-130
- 张小冲, 张学军. 2006. 循环经济发展之路. 人民出版社, 33-86
- 吴季松. 2006. 循环经济综论. 新华出版社, 30-40
- 彼得 P•罗杰斯, 卡济 F•贾拉勒, 约翰 A•博伊德. 2008. 可持续发展导论. 郝吉明, 邢佳, 陈莹. 化学工业出版社, 2-40
- 李文华. 2003. 生态农业: 中国可持续农业的理论与实践. 化学工业出版社; 环境科学与工程出版中心. 59-89
- 吴创之, 周肇秋, 阴秀丽等. 2009. 我国生物质能发展现状与思考. 40(1):92-98
- 徐长勇, 尚杰. 2009. 黑龙江省农村能源利用及生物质能发展实证研究. 林业经济. (5): 58-60
- 孙爱兵. 2007. 黑龙江省生物质能开发利用现状分析与对策研究. 科技咨询导报. (24): 245-247
- 张正敏, 李京京, 李俊峰. 1999. 美国可再生能源政策. 中国能源. (6):6-7
- 曾麟, 王革华. 2005. 世界主要发展生物质能国家的目的与举措. 可再生能源. (2):8-9
- 陈徐梅, 马晓微, 范英. 2009. 世界主要国家生物质能战略及对我国的启示. 中国能源. 31(4):37-39
- 刘刚, 沈镭. 2007. 中国生物质能的定量评价及其地理分布. 自然资源学报. 22(1):9-16
- 张晓浩, 黎夏, 施迅等. 2007. 广东省水稻生物质能的估算. 遥感应用. (1):26-29
- 蔡树文. 2007. 生物质发电效益评估及对策研究. 经济纵横. (1):23-25
- 丁文斌, 王雅鹏, 徐勇. 2007. 生物质能材料——主要农作物秸秆产量潜力分析. 中国人口. 17(1): 84-88
- 胡其颖. 2004. 德国可再生能源发电的补偿标准. 太阳能. (5):49-50
- 詹华, 姚士洪. 2003. 对我国能源现状及未来发展的几点思考. 能源工程. (5):1-4
- 戴向荣, 蒋立科, 罗曼. 2006. 发展农村生物质能的设想与建议. 世界农业. (7):52-55

- 王学萌, 罗建军. 1986. 灰色系统预测决策建模程序集. 科学普及出版社, 33-61
- 邓聚龙. 2002. 灰理论基础. 华中科技大学出版社, 210-278
- 托马斯 L·萨迪. 1993. 领导者面临挑战与选择——层次分析法在决策中的应用. 张录. 中国经济出版社, 33-104
- 王连芬, 许树柏. 1990. 层次分析法引论. 中国人民大学出版社, 33-95
- 满相忠, 王珊珊. 2007. 国外开发生物质能优惠政策及其经验启示. 地方财政研究. (8): 58-63
- 李霞, 史瑞琼. 2005. 能源经济可持续发展与促进可再生能源发电法律制度研究. 能源与环境. (4): 4-6
- 周鹏飞. 2001. 浅析我国实施可再生能源配额制政策的必要性. 中国农村水利水电. (9): 47-48
- 周中仁, 吴文良. 2005. 生物质能研究现状及展望. 农业工程学报. 21(12): 12-14
- 李柴刚. 2006. 发展秸秆产业促进可持续发展. 生态农业. (3): 43-46
- 翁伯琦, 王义祥, 应朝阳等. 2006. 试论农业生物质能开发利用的发展战略与技术对策. 农业工程学报. 22(增1): 16-18
- 关巧燕. 2008. 福建省非粮生物质能发展战略研究. 福建师范大学硕士学位论文. 35-48
- 覃道敏. 2001. 湖南省可再生能源开发现状及对策. 湖南大学学报. 15(4): 135-138
- 李俊峰, 王仲颖, 梁志鹏等. 2004. 我国未来可再生能源开发利用的战略思考. 中国能源. 26(3): 4-10
- 王海, 卢旭东, 张慧媛. 2006. 国内外生物质的开发与利用. 农业工程学报. 22(增1): 8-11
- 王革华. 1999. 我国生物质能利用技术展望. 农业工程学报. 15(4): 91
- 刘宁, 张忠法. 2009. 国外生物质能产业扶持政策. 世界林业研究. 22(1): 77-80
- 孙振钩. 2004. 中国生物质产业及发展取向. 农业工程学报. 20(5): 1-4
- 辛欣. 2005. 英国可再生能源政策导向及其启示. 国际技术经济研究. 8(3): 13-17
- 乔恒, 戚继忠, 王志新等. 2009. 吉林省林业生物质能建设和开发利用的总体构想. 38(1): 39-41
- 于建光, 樊磊, 常志州. 2009. 江苏省沿海地区农林生物质资源潜力估测. 江苏农业科学. (2): 293-295
- 黄永强. 2009. 山西省农村生物质能发展研究. 山西农业科学. 37(5): 14-16
- 刘奎玉, 江得厚. 2009. 生物质发电当前运行状况分析. 中国电力. 42(3): 67-70
- 程序. 2009. 生物质能与节能减排及低碳经济. 中国生态农业学报. 17(3): 375-378
- 欧训民. 2009. 生物质气化发电技术的现状及发展趋势. 能源技术. 30(2): 84-85
- 黄为一, 杨毅, 于丽芳等. 2009. 投资我国生物质能项目需要关注的几个问题. 理论研讨. (7): 79-81
- 马驰, 夏伊丽. 2009. 浙江农村生物质能开发利用的SWOT分析. 北方经济. (1): 76-77
- 魏泉源, 王凯军, 宋英豪等. 2009. 中国农村生物质集中供气工程建设与管理模式. 农业工程学报. 25(5): 303-306

- 孙智谋, 周旭, 刘丽萍. 2009. 粮食危机与生物质能的发展动态. 酿酒科技. (1): 102-104
- 马志强, 谢磊, 朱永跃. 2009. 我国生物质能开发利用现状及对策建议. 生产力研究. (14): 106-107
- 方振华. 2009. 广西发展生物质发电的前景问题与建议. 广西电力. (1): 1-4
- Hall D O. 1997. Biomass energy in industrialized countries-a view of the future. *Forest Ecology and Management*. 17-45
- Abdeen M O. 2005. Biomass energy potential and future prospect in Sudan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 9(1): 1-27
- Cook, Beyea J. 2000. Bioenergy in the United States: progress and possibilities. *Biomass and Bioenergy*. 18(6): 441-455
- Lal R. 2005. World crop residues production and implications of its use as a biofuels. *Environmental International*. 31(4): 575-584
- Geller H, Schaeffer R, Szklo A. 2004. Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. *Energy Policy*. 32(12): 1437-1450
- Borjesson P I. 1996. Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass and Bioenergy*. 11(4): 305-318
- Wahlund B, Yan J Y, Westermark M. 2004. Increasing biomass utilization in energy systems: A comparative study of CO₂ reduction and cost for different bioenergy processing options. *Biomass and Bioenergy*. 26(6): 531-544
- Reddy S, Painuly J P. 2004. Diffusion of renewable energy technologies-barriers and stakeholders perspectives. *Renewable Energy*. 29(9): 1431-1447
- Gross R, Leach M, Bauen A. 2003. Progress in renewable energy. *Environment International*. 29(1): 105-122
- Yokoyama S Y, Ogi T, Nalampoon A. 2000. Biomass energy potential in Thailand. *Biomass and Bioenergy*. 18(5): 405-410
- Steininger K W, Voraberger H. 2003. Exploiting the medium term biomass energy potentials in Australia. *Environmental and Resource-Economics*. 24(4): 359-377
- Demirbas A. 2001. Energy balance, energy sources, energy policy, future developments and energy investments in Turkey. *Energy Conversion and Management*. 42(10): 1239-1258
- Klass D L. 1998. Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals. Academic Press. 55-68
- Hatje W, Ruhl M, Hutt R F. 2000. Use of biomass for power and heat generation: possibilities and limits. *Forests and energy*. 1st Hanover EXPO 2000 World Forest Forum. Selected papers. *Ecological-Engineering*. 16(1): 41-49
- Mandal K G, Saha K P, Ghosh P K. 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*. 23(5): 337-345
- Connell M G R. 2003. Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and the UK. *Biomass and Bioenergy*. 24(2): 97-116

附录 A

1. 层次分析法专家打分表

(1) A-B

A 生物质能开发	B ₁ 可行性	B ₂ 宏观环境	B ₃ 效益
B ₁ 可行性	1	1/3	5
B ₂ 宏观环境		1	9
B ₃ 效益			1

(2) B₁-C

B ₁ 可行性	C ₁ 资源禀赋	C ₂ 社会需求	C ₃ 技术水平	C ₄ 经营管理
C ₁ 资源禀赋	1	3	1/3	1/3
C ₂ 社会需求		1	1/5	1/5
C ₃ 技术水平			1	1/3
C ₄ 经营管理				1

(3) B₂-C

B ₂ 宏观环境	C ₅ 配套服务体系	C ₆ 财税支持	C ₇ 法规政策支持
C ₅ 配套服务体系	1	5	1/3
C ₆ 财税支持		1	1/6

C₇法规政策支持			1
----------------------------	--	--	---

(4) B₃-C

B ₃ 效益	C ₈ 经济效益	C ₉ 社会效益	C ₁₀ 生态效益
C ₈ 经济效益	1	1/5	1/3
C ₉ 社会效益		1	3
C ₁₀ 生态效益			1

(5) C₄-D

C ₁ 资源禀赋	D ₁ 农村沼气	D ₂ 生物柴油	D ₃ 燃料乙醇	D ₄ 秸秆固化气化发电
D ₁ 农村沼气	1	1/5	1/5	1/3
D ₂ 生物柴油		1	1	2
D ₃ 燃料乙醇			1	2
D ₄ 秸秆固化气化发电				1

(6) C₂-D

C ₂ 社会需求	D ₁ 农村沼气	D ₂ 生物柴油	D ₃ 燃料乙醇	D ₄ 秸秆固化气化发电
D ₁ 农村沼气	1	1/5	1/5	1/3
D ₂ 生物柴油		1	1	2

附录

D ₃ 燃料乙醇			1	1
D ₄ 秸秆固化气化发电				1

(7) C₃-D

C ₃ 技术水平	D ₁ 农村沼气	D ₂ 生物柴油	D ₃ 燃料乙醇	D ₄ 秸秆固化气化发电
D ₁ 农村沼气	1	5	5	3
D ₂ 生物柴油		1	1	1/2
D ₃ 燃料乙醇			1	1/2
D ₄ 秸秆固化气化发电				1

(8) C₄-D

C ₄ 经营管理	D ₁ 农村沼气	D ₂ 生物柴油	D ₃ 燃料乙醇	D ₄ 秸秆固化气化发电
D ₁ 农村沼气	1	5	5	3
D ₂ 生物柴油		1	1	1
D ₃ 燃料乙醇			1	1
D ₄ 秸秆固化气化发电				1

(9) C₅-D

C ₅ 配套服务体系	D ₁ 农村沼气	D ₂ 生物柴油	D ₃ 燃料乙醇	D ₄ 秸秆固化气化发电
-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	-------------------------

D_1 农村沼气	1	3	3	3
D_2 生物柴油		1	1	3
D_3 燃料乙醇			1	3
D_4 秸秆固化气化发电				1

(10) C_6 -D

C_6 财税支持	D_1 农村沼气	D_2 生物柴油	D_3 燃料乙醇	D_4 秸秆固化气化发电
D_1 农村沼气	1	5	5	3
D_2 生物柴油		1	1	1/3
D_3 燃料乙醇			1	1/3
D_4 秸秆固化气化发电				1

(11) C_7 -D

C_7 法规政策支持	D_1 农村沼气	D_2 生物柴油	D_3 燃料乙醇	D_4 秸秆固化气化发电
D_1 农村沼气	1	5	5	3
D_2 生物柴油		1	1	1/2
D_3 燃料乙醇			1	1/3
D_4 秸秆固化气化发电				1

附录

(12) C_8 -D

C_8 经济效益	D_1 农村沼气	D_2 生物柴油	D_3 燃料乙醇	D_4 秸秆固化气化发电
D_1 农村沼气	1	5	5	3
D_2 生物柴油		1	1	1/3
D_3 燃料乙醇			1	1/3
D_4 秸秆固化气化发电				1

(13) C_9 -D

C_9 社会效益	D_1 农村沼气	D_2 生物柴油	D_3 燃料乙醇	D_4 秸秆固化气化发电
D_1 农村沼气	1	5	5	3
D_2 生物柴油		1	1	1/3
D_3 燃料乙醇			1	1/3
D_4 秸秆固化气化发电				1

(14) C_{10} -D

C_{10} 生态效益	D_1 农村沼气	D_2 生物柴油	D_3 燃料乙醇	D_4 秸秆固化气化发电
D_1 农村沼气	1	1/5	1/5	1/3
D_2 生物柴油		1	1	3
D_3 燃料乙醇			1	3

D ₄ 秸秆固化气化发电				1
-------------------------	--	--	--	---

2. 层次分析法判断矩阵

A-B	B1	B2	B3
B1	1	1/3	5
B2	3	1	9
B3	1/5	1/9	1
单层权重	0.2654	0.6716	0.0629

$\lambda_{\max}=3.0291$; CI=0.0145; RI=0.58; CR=0.0251

B1-C	C1	C2	C3	C4
C1	1	3	1/3	1/3
C2	1/3	1	1/5	1/5
C3	3	5	1	1/3
C4	3	5	3	1
单层权重	0.1465	0.0655	0.2884	0.4995

$\lambda_{\max}=4.1975$; CI=0.0658; RI=0.9; CR=0.0731

B2-C	C5	C6	C7
C5	1	5	1/3
C6	1/5	1	1/6
C7	3	6	1
单层权重	0.2872	0.0780	0.6348

$\lambda_{\max}=3.0940$; CI=0.0470; RI=0.58; CR=0.0810

B3-C	C8	C9	C10
C8	1	1/5	1/3
C9	5	1	3
C10	3	1/3	1
单层权重	0.1047	0.6370	0.2583

$\lambda_{\max}=3.0385$; CI=0.0193; RI=0.58; CR=0.0332

C1-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	1/5	1/5	1/3
D2	5	1	1	2

附 录

D3	5	1	1	2
D4	3	1/2	1/2	1
单层权重	0.0704	0.3684	0.3684	0.1928

$\lambda_{\max}=4.0042$; CI=0.0014; RI=0.9; CR=0.0015

C2-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	1/5	1/5	1/3
D2	5	1	1	2
D3	5	1	1	1
D4	3	1/2	1	1
单层权重	0.0720	0.3767	0.3168	0.2345

$\lambda_{\max}=4.0487$; CI=0.0162; RI=0.9; CR=0.0180

C3-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	5	5	3
D2	1/5	1	1	1/2
D3	1/5	1	1	1/2
D4	1/3	2	2	1
单层权重	0.5723	0.1094	0.1094	0.2090

$\lambda_{\max}=4.0042$; CI=0.0014; RI=0.9; CR=0.0015

C4-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	5	5	3
D2	1/5	1	1	1
D3	1/5	1	1	1
D4	1/3	1	1	1
单层权重	0.5839	0.1327	0.1327	0.1508

$\lambda_{\max}=4.0327$; CI=0.0109; RI=0.9; CR=0.0121

C5-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	3	3	3
D2	1/3	1	1	3
D3	1/3	1	1	3
D4	1/3	1/3	1/3	1
单层权重	0.4831	0.2119	0.2119	0.0930

$\lambda_{\max}=4.1533$; CI=0.0511; RI=0.9; CR=0.0568

C6-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	5	5	3
D2	1/5	1	1	1/3
D3	1/5	1	1	1/3
D4	1/3	3	3	1
单层权重	0.5579	0.0963	0.0963	0.2495

$\lambda_{\max}=4.0434$; CI=0.0145; RI=0.9; CR=0.0161

C7-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	5	5	3
D2	1/5	1	1	1/2
D3	1/5	1	1	1/3
D4	1/3	2	3	1
单层权重	0.5657	0.1081	0.0977	0.2286

$\lambda_{\max}=4.0341$; CI=0.0114; RI=0.9; CR=0.0126

C8-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	5	5	3
D2	1/5	1	1	1/3
D3	1/5	1	1	1/3
D4	1/3	3	3	1
单层权重	0.5579	0.0963	0.0963	0.2495

$\lambda_{\max}=4.0434$; CI=0.0145; RI=0.9; CR=0.0161

C9-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	5	5	3
D2	1/5	1	1	1/3
D3	1/5	1	1	1/3
D4	1/3	3	3	1
单层权重	0.5579	0.0963	0.0963	0.2495

$\lambda_{\max}=4.0434$; CI=0.0145; RI=0.9; CR=0.0161

C10-D	D1	D2	D3	D4
D1	1	1/5	1/5	1/3
D2	5	1	1	3
D3	5	1	1	3

附 录

D4	3	1/3	1/3	1
单层权重	0.0675	0.3908	0.3908	0.1509

$\lambda_{\max}=4.0434$; CI=0.0145; RI=0.9; CR=0.0161

攻读硕士学位期间发表的学术论文

王海东, 李翠霞 2009. 黑龙江省秸秆类生物质能储量测度. 生态经济. (11)

王海东, 李翠霞 2009. Study of Enterprise Development Strategy with Industrial Clusters Based on Circular Economy Theory. Conference Proceedings of 2009 International SME Development Forum