

能源基金会研究课题

中国生物质能技术 路线图研究

(能源基金会资助研究项目)

国家发展和改革委员会能源研究所

2010 年 2 月

项目资助方： 中国可持续能源项目

项目承担单位： 国家发展和改革委员会能源研究所
可再生能源中心

项目负责人： 胡润青

项目组成员： 胡润青 秦世平 樊京春 张庆分
赵勇强 张正敏

目录

1.	前言	1
1.1	制定生物质发展路线图的迫切性	1
1.2	研究内容	3
1.3	研究创新点	4
1.3.1	方法学创新	4
1.3.2	评价指标的量化	5
1.3.3	评估体系的应用	6
2.	中国生物质能社会发展需求分析	8
2.1	发展可再生能源的必要性	8
2.1.1	调整能源结构的需要	8
2.1.2	环境保护和减排温室气体的需要	9
2.2	发展生物质能的重要性	10
2.2.1	生物质能在可再生能源中占有重要地位	10
2.2.2	废弃物处理的刚性需求	12
2.2.3	替代液体燃料的需求	12
2.2.4	电力调峰的需求	12
2.2.5	使农民直接受益	12
2.2.6	新农村建设的需要	13
2.3	生物质能发展目标设定	15
2.3.1	农林剩余物利用目标	16
2.3.2	畜禽粪便能源化利用目标	18
2.3.3	生活垃圾利用目标	19
2.3.4	液体燃料目标	20
3.	综合评价方法论	22
3.1	方法概述	22
3.1.1	方法特点	22
3.1.2	研究范围	24
3.2	综合评价指标体系	25
3.3	技术趋势评价	27
3.3.1	评价步骤	27
3.3.2	指标量化方法	28
3.3.3	指标分值	29
3.4	效益评价	30
3.4.1	评价步骤	30

3.4.2 投资成本分析.....	31
3.4.3 外部效益评价.....	33
3.4.4 效益综合评价.....	34
4. 生物质能资源潜力分析	36
4.1 资源现状.....	36
4.1.1 农业剩余物.....	37
4.1.2 林业剩余物.....	38
4.1.3 畜禽粪便.....	39
4.1.4 生活垃圾.....	39
4.1.5 液体燃料原料.....	41
4.1.6 边际土地资源.....	42
4.2 资源发展趋势	43
4.2.1 农林剩余物.....	43
4.2.2 畜禽粪便	44
4.2.3 生活垃圾	44
4.2.4 液体燃料	45
4.3 优先领域选择	47
4.4 小结	49
5. 技术发展趋势评价	51
5.1 农林剩余物能源化利用	51
5.1.1 直燃发电	51
5.1.2 混燃发电	56
5.1.3 气化发电	59
5.1.4 成型燃料	64
5.1.5 干馏（炭化）	68
5.1.6 技术发展趋势评价	70
5.2 畜禽粪便能源化利用	72
5.2.1 工艺路线	72
5.2.2 产业规模	72
5.2.3 技术障碍	73
5.2.4 技术发展趋势评价	74
5.3 城市生活垃圾处理	75
5.3.1 垃圾焚烧发电	75
5.3.2 垃圾填埋气发电	78
5.3.3 技术发展趋势评价	80
5.4 液体燃料技术	82
5.4.1 燃料乙醇	83
5.4.2 生物柴油	92

5.4.3 技术发展趋势评价	99
6. 技术路线效益评价	102
6.1 农林剩余物能源化利用技术效益评价	102
6.1.1 投资及成本分析	102
6.1.2 外部效益分析	104
6.1.3 效益综合评价	105
6.2 畜禽粪便能源化利用技术效益评价	108
6.2.1 投资及成本分析	108
6.2.2 外部效益分析	108
6.2.3 效益综合评价	109
6.3 生活垃圾利用技术效益评价	112
6.3.1 投资及成本分析	112
6.3.2 外部效益分析	113
6.3.3 效益综合评价	113
6.4 液体燃料利用技术效益评价	116
6.4.1 投资及成本分析	116
6.4.2 外部效益分析	117
6.4.3 效益综合评价	118
7. 技术路线图	121
7.1 资源保障	121
7.2 技术路径	122
7.3 效益评估	126
8. 保障措施	129
8.1 资源调查和规划	129
8.2 技术研发体系	129
8.3 试点示范	130
8.4 价格政策	130
8.5 财税激励政策	131
8.6 标准、检测和认证体系	132
8.7 市场培育	132

图片目录

图 3-1 生物质能利用技术种类.....	23
图 3-2 生物质能综合评价指标体系框架.....	26
图 4-1 农业剩余物用途分布.....	38
图 4-2 我国历年粮棉油产量变化趋势.....	43
图 5-1 桅秆直燃发电工艺流程示意图.....	52
图 5-2 桅秆混燃发电厂.....	57
图 5-4 循环流化床工艺路线示意图.....	59
图 5-5 固定床气化发电工艺流程示意图.....	60
图 5-6 生物质循环流化床工艺路线图.....	61
图 5-7 江苏兴化生物质循环流化床气化发电厂.....	62
图 5-8 生物质固定床气化发电工艺路线图.....	62
图 5-9 江苏高邮生物质固定床气化发电厂.....	63
图 5-10 生物质成型燃料.....	65
图 5-11 生物质成型燃料压缩机.....	67
图 5-12 生物质内热式干馏工艺示意图.....	68
图 5-13 农林剩余物能源化利用技术现状及发展趋势评分结果	71
图 5-14 沼气生产工艺示意图.....	72
图 5-15 畜禽粪便能源化利用技术现状及发展趋势评分结果	75
图 5-16 垃圾焚烧发电工艺流程图.....	76
图 5-17 垃圾填埋场.....	79
图 5-18 垃圾发电技术现状及发展趋势评分结果	81
图 5-19 利用生物质资源生产液体燃料的技术路线	82
图 5-20 玉米、小麦质原料生产乙醇工艺流程	84

图 5-21 甜高粱秆生产乙醇工艺流程图	85
图 5-22 纤维素原料燃料乙醇生产的一般工艺流程	86
图 5-23 化学法生产生物柴油生产的一般工艺流程图	93
图 5-24 小桐籽生物柴油一体化生产流程框图	94
图 5-25 液体燃料技术现状及发展趋势评分结果	100
图 6-1 农林剩余物能源化利用技术成本变化趋势分析	104
图 6-2 农林剩余物能源化利用技术的综合效益评价比较	106
图 6-3 畜禽养殖场沼气发电技术效益评价比较	110
图 6-4 垃圾发电技术评价结果比较	114
图 6-5 液体燃料技术评价结果比较	119
图 7-1 生物质资源需求与资源可获得总量的比例	122
图 7-2 技术发展趋势评分汇总	123
图 7-3 生物质能源化利用技术综合效益变化趋势	126

表格目录

表 2-1 2009 年可再生能源开发利用量	11
表 2-2 生物质能利用的能源产品总量发展目标	15
表 2-3 生物质能资源利用的发展目标	16
表 2-4 2008 年农林剩余物利用现状	17
表 2-5 各类秸秆能源化利用技术的发展目标及资源需求	18
表 2-6 各类畜禽粪便利用技术的发展目标及资源需求	19
表 2-7 生活垃圾处理的发展目标及资源需求	20
表 2-8 2008 年生物液体燃料发展现状	20
表 2-9 生物液体燃料的发展目标及资源需求	21
表 3-1 生物质能利用技术种类	25
表 3-2 技术发展趋势评价分值标准	30
表 3-3 技术投资成本分析的基础数据需求	32
表 4-1 2008 年生物质能资源量和可获得量	37
表 4-2 2008 年农业剩余物资源总量及用途	37
表 4-3 2008 年林业剩余物资源量和可获得量	38
表 4-4 2008 年畜禽粪便资源量和可获得量	39
表 4-5 2008 年全国城市生活垃圾清运量与无害化处理量	40
表 4-6 2008 年生物质液体燃料资源量和可获得量	41
表 4-7 可利用边际土地资源	42
表 4-8 畜禽粪便资源可获得量	44
表 4-9 垃圾可获得量	45
表 4-10 液体燃料原料资源可获得量	47
表 4-11 2015 年和 2020 年我国生物质能资源总量和可获得量	49

表 5-1 2008 年生物质直燃发电已投产项目分布	54
表 5-2 农林剩余物能源化利用技术现状及发展趋势评分结果	70
表 5-3 养殖场沼气发电技术现状及发展趋势评价结果	74
表 5-4 2008 年生活垃圾焚烧发电厂现状	77
表 5-5 垃圾发电技术现状及发展趋势评价结果	81
表 5-6 不同原料燃料乙醇生产工艺技术特性对比	86
表 5-7 我国陈化粮乙醇生产企业概况	87
表 5-8 2007 年底已建成投产的主要生物柴油生产企业	96
表 5-9 生物液体燃料技术现状及发展趋势评价结果	99
表 6-1 生物质直燃发电投资及成本变化趋势	102
表 6-2 农林剩余物能源化利用技术投资和成本变化趋势	103
表 6-3 农林剩余物能源化利用技术综合效益	105
表 6-4 农林剩余物能源化利用综合效益评分结果	105
表 6-5 畜禽养殖场沼气发电技术投资及成本变化趋势	108
表 6-6 畜禽养殖场沼气发电技术综合效益	109
表 6-7 畜禽养殖场沼气发电技术综合效益评分结果	109
表 6-8 生活垃圾发电技术投资及成本变化趋势	112
表 6-9 生活垃圾发电技术外部效益分析	113
表 6-10 垃圾发电技术综合效益评分结果	114
表 6-11 液体燃料技术投资及成本变化趋势	117
表 6-12 液体燃料技术外部效益分析	118
表 6-13 液体燃料技术效益综合分析	118
表 7-1 生物质能利用的资源保障情况	121
表 7-2 生物质能源化利用产业现存技术发展时间表	125
表 7-3 生物质能源化利用技术综合效益评价	128

1. 前言

1.1 制定生物质发展路线图的迫切性

生物质能资源种类多、应用技术种类多，各种技术的发展非常不均衡。

目前，少数生物质能利用技术已经比较成熟，具有一定的经济竞争力，初步实现了商业化、规模化应用，如沼气技术；一批生物质能利用技术已进入商业化早期发展阶段，目前需要通过补贴等经济激励政策促进商业化发展，如生物质发电、生物质固体成型燃料、以非粮作物为原料的生物液体燃料等；还有许多新兴生物质能利用技术正处于研发示范阶段，可望在未来二十年内逐步实现工业化、商业化应用，主要是以纤维素为原料的生物燃料乙醇，以油料植物为原料的生物柴油等。

各类生物质能利用技术的成熟度和所处的发展阶段不同，市场竞争力和发展前景不同，存在的问题和需要的激励措施也有很大的差异。研究设计生物质能发展路线图，以确保国家生物质发展目标的实现是各国政府可再生能源领域的工作重点之一。

生物质发展路线图包括全面评估各种生物质能技术的发展现状和前景，研究设计生物质能技术的研发、试点示范、推广应用的路径，并提出相应的技术支持和政策保障。

很多国家都研究制定了生物质发展路线图以保证其发展目标的实现。2002 年 12 月，为保证美国生物质能和生物质产品远景发展目标的实现，美国生物质能研究和发展技术顾问委员会提出了《美国生物质能技术发展路线图》。通过美国生物质能技术发展路线图，委员会向能源部、农业部、内政部、环保署、国家科学基金和科技政策办公室提出了未来生物质技术的发展方面。

欧盟 2003 年《生物燃料促进法则》，提出了 2020 年的生物液体燃料的发展目标；2005 年公布了《生物质行动计划》，其中涵盖生物质能发电、生物质能热利用和生物交通燃料全部生物质能的开发利用计划；2006 年又公布了《欧盟生物燃料发展战略》。这些文件对促进欧盟生物质能的发展起到了非常重要的作用。

我国 2007 年公布了可再生能源中长期发展规划，设定了 2020 年风能、太阳能、生物质能发展目标。规划中设定了生物质发电、生物质能热利用和生物液体燃料的分项发展目标。但各方面对能否实现设定的发展目标、如何实现发展目标都有不少的讨论和争议，同时由于生物质资源种类多、技术种类多，各种技术的发展阶段各有不同，技术成熟度和存在的问题各有不同，生物质能技术路线图研究的欠缺使国家对技术研发的安排、产业发展的规划缺乏依据，无法集中各方力量实现重点突破。

1.2 研究内容

本项目研究的主要内容是,研究设计符合生物质利用技术特点的综合评价指标体系,采用量化分析的方法,对各种生物质能应用技术进行横向(各种应用技术之间)和纵向(现在和未来之间)的比较和分析,提出各种生物质资源(农林剩余物、禽畜粪便、生活垃圾和液体燃料等)的优先发展技术、技术发展路径和效益分析,综合研究分析后提出2015年和2020年的生物质技术发展路线图。

本项目的研究重点是如何通过科学的、定量的方法,完成生物质发展路线图的研究和设计。项目组通过生物质能利用技术综合评价指标体系的设计和应用,完成了各种生物质能应用技术的系统的、量化的分析和评估,在定量分析的基础上,提出生物质发展路线图的建议。

在本研究中,国家生物质能发展目标是研究的基本条件,是设定的,不做更多的研究和情景分析。本项目要回答的问题是:“国家生物质发展目标已经确定,怎么样做才能保证发展目标的实现?相应的生物质技术发展路线图是什么?”

1.3 研究创新点

1.3.1 方法学创新

项目组研究创新了生物质能技术发展路线图的研究方法。

我国生物质能利用产业的发展还处于初级阶段，生物质能利用技术的评价还主要停留在单一种类的技术经济评价层面，缺乏对多技术种类的系统比较分析；同时，生物质能技术种类多，技术成熟度不同，应用条件差异大，各种应用技术的横向比较也较为困难，生物质能利用技术所产生的资源、社会和环境方面的综合效益评价多以定性分析为主，缺乏定量化的评价体系。目前，生物质能技术发展路线图的研究也多停留在定性研究阶段。

本研究创新采用的研究方法包括三个重要的环节：1) 生物质能技术综合评价指标体系的设计，2) 评价指标的量化，3) 评估体系的应用。本研究设计了生物质能技术综合评价指标体系，并通过评价指标的量化和评估体系的应用，实现了技术发展路线图研究设计的系统化和量化。

本研究设计的生物质能综合评价指标体系是一个在多因素分析基础上的系统评分体系。体系指标涵盖了技术、经济、资源、环境和社会等多类影响因素，共涉及九大项分类指标。这一量化工作不仅仅对经济和外部效益进行了量化计算，而且对技术发展趋势也进行了定量的评分，使同种

资源种类的不同应用技术能够进行系统的比较分析。

1.3.2 评价指标的量化

本研究中，评价指标的量化是以大量基础数据作为理论支撑的。评价指标的量化是本研究的难点和亮点。

评价指标的量化包括两个方面：

一是量化指标体系的设计。生物质能综合评价指标体系包括技术趋势评价和综合效益评价两大类指标。综合效益指标，包括投资成本分析和外部效益评价（能源效益、环境效益和社会效益），均采用数值计算评分。技术趋势评价涉及技术成熟度、技术障碍影响度和自主知识拥有性三个分项指标，指标的评价是以分级量化评分的方法对未来生物能利用技术的发展趋势进行描述，给出分阶段的生物质能利用技术排序。

二是各指标的权重、分值和量化标准的量化，使各指标的分值设置能充分反映其对技术发展趋势的影响力。

三是各种技术的量化评分，包括现状、2015年和2020年三个时间点的量化评分。两个方面的量化都需要大量的基础数据支撑。

大量生物质能典型案例的基础数据、对目前和未来生物质利用技术发展趋势的认识和把握，是综合评价指标体系的设计和指标量化的基础。

本研究中，共对14种生物质能技术进行了系统的研究和量化的分析，

包括五种等五种农林剩余物能源化利用技术（直燃发电、混燃发电、气化发电、成型燃料、成型炭化），两种畜禽粪便能源化利用技术（并网沼气发电、离网沼气发电），两种垃圾能源化利用技术（垃圾焚烧发电、垃圾填埋气发电），以及五种生物质液体燃料技术（非粮乙醇、糖类乙醇、纤维素乙醇、废油生物柴油、油料植物柴油）。本研究对 14 种生物质能技术的现状、以及 2015 年和 2020 年的发展走势进行了数值量化分析，量化分析的内容包括投资、成本、能源效益、社会效益和环境效益等。同时，对各种生物质能技术的发展趋势也进行了定级量化评分，使结果可以在分资源种类的前提下进行系统的比较。

1.3.3 评估体系的应用

要完成发展路线图的量化研究和设计，评价体系的应用是关键。也就是说，本研究对在利用综合评价指标体系下，对 14 种生物质能技术进行了系统、量化的评价，如何利用这些评价结果是生物质能发展路线图量化研究设计的关键。

首先，要考虑资源优先性原则。对于不同资源种类的生物质能利用技术而言，在未来发展中并不存在相互竞争的关系，因此对生物质能利用技术的综合评价是以分资源比较的方式进行的，对同一资源种类的生物质能利用技术的未来发展进行比较排序，以期得出更符合实际需求的比较结果。

本研究中，生物质资源分为四大类：农林剩余物、禽畜粪便、生活垃圾和液体燃料。

同一资源种类的生物质能利用技术，都对技术发展趋势和综合效益分别进行评价和比较。根据技术发展趋势指标，可确定各种生物质能技术存在的问题，以及在不同时期所采取的措施。研究结果表明，在适当的措施下，到 2020 年各类生物质能源化利用技术可基本成熟，能够满足我国生物质能源化利用的总体目标的需要。要确定各类技术的使用规模和优先性，不仅取决于技术的成熟情况，还需要考虑技术使用所得的经济效益、能源效益、社会效益和环境效益等多方面的因素，综合效益评价则可给出明确的量化结论和建议。

2. 中国生物质能社会发展需求分析

2.1 发展可再生能源的必要性

2.1.1 调整能源结构的需要

近年来，我国经济持续快速发展，能源需求持续加速增加。2008 年，全国一次能源消费量已达到 28.5 亿吨标准煤。预计 2010 年能源消费量将达到 30 亿吨标煤，也就是说第三个增长 10 亿吨标准煤的时间只有了 6 年。2020 年前要实现国内生产总值比 2000 年翻两番的目标，我国还将持续面临着重化工业新一轮增长、国际制造业转移以及城市化进程加速的新情况，经济发展对能源的依赖度将不断增大，能源问题已经成为制约经济社会发展、人民生活水平提高的“瓶颈”所在。据初步预测，到 2020 年，全国能源消费总量将达到 40-48 亿吨标煤。

能源需求的快速增长使我国的能源供应压力加大，确保能源的稳定、经济、清洁、安全供应是我国经济社会持续快速健康发展的重要任务。我国常规能源资源短缺，尤其是石油、天然气资源严重不足，已成为影响经济社会发展的重要因素。我国自 1993 年成为石油净进口国，2008 年石油的对外依存度已超过 50%。在加强常规能源开发和大力推动节能的同时，改变目前的能源消费结构，向能源多元化和清洁能源过渡，已是迫在眉睫。

2.1.2 环境保护和减排温室气体的需要

我国能源消费结构以煤为主，是世界第一大煤炭生产和消费国。这意味着在污染控制和温室气体排放方面比其他国家面临更大挑战。据统计，全国二氧化硫排放总量的 90%是由燃煤造成的，二氧化硫污染已成为主要的大气污染源，有三分之一的国土面积受到酸雨污染，生态环境、大气质量问题突出，已严重影响我国经济社会发展和人民生命健康。调整能源结构，减少污染排放，是实现社会可持续发展的必然要求。

全球气候变化已成为人类共同面对的威胁，采取措施减少温室气体排放、应对气候变化和减缓气候变化的影响已成为国际共识。许多国家都制定了不同形式的温室气体减排承诺方案。

作为一个快速发展的发展中大国，中国是仅次于美国的世界第二大二氧化碳排放国，而且增速居全球第一。虽然我国近期并不承担温室气体减排的义务，但是作为一个对负责任的大国，有责任和义务采取必要的措施，尽量减少二氧化碳的排放。而且，从世界政治经济发展的大趋势来看，我国未来必将承担与自身国际地位相适应的责任和义务，在全球气候变化问题上，将面临越来越大的国际压力。同时，压力还来自于我们自身，来自于减少污染、保护环境、可持续发展的自身要求。如果不积极应对，气候变化问题甚至可能成为影响我国未来经济发展的一个很大的不确定性因

素。

我国政府高度重视应对全球气候变化工作，2007年颁布了《中国应对气候变化国家方案》。到2009年上半年，中国单位GDP能耗已经比2005年降低了13%。经过努力，有希望实现单位GDP能耗2010年比2005年降低20%左右的目标。2009年11月26日，中国政府又公布了控制温室气体排放的行动目标，决定到2020年全国单位国内生产总值温室气体排放比2005年下降40%-45%。表示了我国积极应对气候变化，为减缓全球气候变化做出贡献的决心和行动，为我国在温室气体减排方面树立了良好的国际形象。

从国际温室气体减排的经验来看，提高能源效率和发展可再生能源是两大主要措施。我国已经将发展可再生能源作为应对气候变化、减少温室气体排放的重要手段。根据可再生能源中长期发展规划的要求，预计2020年可再生能源可使温室气体排放强度降低15-20%。

2.2 发展生物质能的重要性

2.2.1 生物质能在可再生能源中占有重要地位

我国生物质能资源丰富，生物质能应用方式多种多样，可用作发电、供气、液体燃料、固体燃料等等。

2009年，我国可再生能源利用总量为2.59亿吨标准煤，除水电外，

其它可再生能源利用总量为 4808 万吨标准煤，其中生物质能源利用总量为 1847 万吨标准煤，占非水可再生能源的 38.4%，生物质能利用总量仅次太阳能热利用，远高于风电（929 万吨标准煤），生物质能已成为可再生能源利用的重要组成部分。

表 2-1 2009 年可再生能源开发利用量

技术	利用规模	年产能量	折标煤量 (万 tce)
一、发电			
水电	22718 万千瓦	6616.74 亿千瓦时	
并网风力发电	19679 万千瓦	6156.4 亿千瓦时	21054.8
小型离网风力发电	2580 万千瓦 (25 万台)	269 亿千瓦时	919.9
光伏发电	15 万千瓦 (30 万台)	2.74 亿千瓦时	9.4
生物质发电	30 万千瓦	3.6 亿千瓦时	12.3
地热发电	412 万千瓦	184 亿千瓦时	588.8
二、供气(沼气)		130 亿立方米	928.2
三、供热			
太阳能热水器	1.45 亿平方米		1740
太阳灶	330 万台		75.9
地热热利用	4000 万平方米	8000 万吉焦	200
四、燃料			
生物质固体成型燃料	175 万吨		82.5
车用酒精	172 万吨		176.3
生物油	50 万吨		71.5
总计			25862.8
可再生能源占一次能源消费的比例			8.34%
生物质能占非水可再生能源的比例			38.40%

从长远看，生物质能源受制于资源的约束，产业规模将远小于风电和太阳能利用。但是，由于生物质资源的独特性，使生物质能的地位显得十分独特和重要，世界各国都对生物质能的发展给予了高度的重视。

2.2.2 废弃物处理的刚性需求

垃圾和沼气的处理和应用在提供能源的同时，能有效减少甲烷的排放，而甲烷对温室效应的影响是二氧化碳的 10 倍；
能源作物的种植在提供能源供应的同时，能有效增加碳汇。

2.2.3 替代液体燃料的需求

在众多可再生能源和新能源中，生物质能源是目前唯一能替代石油液体燃料的能源品种；

2.2.4 电力调峰的需求

生物质是可再生能源中唯一的能在收、储、运、能源转换等各个环节都能进行人工干预的资源种类，生物质发电厂能够提供调峰能力，而风电和太阳能光伏发电则需要配套调峰机组；

2.2.5 使农民直接受益

首先，生物质能的应用能直接增加农民的就业机会，增加农民收入。

生物质能的开发利用可有效延长农业产业链，为农村开拓新的产业，增加农民收入，实现工业反哺农业。据测算，一台 2.5 万千瓦生物质直燃发电机组，按年利用 6000 小时计算，年发电量可达 1.3 亿千瓦时，新增产值近亿元，秸秆的收集、运输、加工等环节为当地农民增加就业岗位 1000 余个。这对于解决农村富裕劳动力就业，提高地方财政收入，带动地方相关产业和第三产业的发展，繁荣农村经济，提升我国农业竞争力，都具有非常重要的作用。

其次，生物质能的应用能避免农作物秸秆的露天焚烧、禽畜粪便排放、农林加工业的耗氧性废气废水排放对大气、土壤、水体造成的生态和环境伤害，在实现生物质资源无害化和资源化的同时，能有效改善农村的居住环境，提高农民的生活质量水平。

第三，呼吸道疾病是农村妇女常患的一种疾病，这与农村常年使用污染严重的秸秆炊事有密切的关系。生物质能的应用能为农民提高清洁的能源，大幅度降低农民使用秸秆的时间，清洁室内环境，减少发病几率。

2.2.6 新农村建设的需要

目前，农村是我国经济和社会发展最薄弱的地区，一些地方基础设施建设落后，农民收入增长缓慢。生物质能资源主要来源于农业和林业，开发利用生物质能资源与农业、农村发展密切相关。

从能源供应方面看，农村基础设施落后，全国还有约 700 万人没有电力供应，远离现代文明，而且全国农村居民生活能源中约 70%仍然采用秸秆、薪柴等传统利用方式，能源利用效率低下。同时，我国农村地区生物质资源非常丰富，生物质能的开发利用能因地制宜解决农村地区生活用能和偏远地区电力供应问题，充分地利用当地资源为居民提供清洁的能源，提高农民生活质量。

从生态效益上看，生物质能的开发利用有利于改善农村生产生活环境，促进资源节约型、环境友好型社会建设。将废弃的农林剩余物收集、加工整理，形成商品，使之无害化和资源化，能有效解决农村秸秆和禽畜粪便的污染，能显著改善农村环境状况。同时，生物质能的应用将生产大量的有机肥料，有机肥料的增加能够有效增加土壤的有机质，减少化肥农药的使用。

从社会效益上看，生物质能的开发利用可以推进农村工业化和中小城镇建设，缩小工农和城乡差别。

总之，开发利用生物质能将增加农民的就业机会和收入、改善环境、减少疾病，提高农民的生活水平，同时能大大改善农村的能源供应现状，生态效益和社会效益显著，是推进现代农业和社会主义新农村建设，实现“工业反哺农业”、“以工促农、以城带乡”的一条有效和可操作的途径。

2.3 生物质能发展目标设定

据能源研究所已有的研究成果，设定了生物质能源化利用的 2015 和 2020 年发展目标。2015 年，生物质能源化利用的能源生产总量将达到 5179 万吨，至 2020 年为 1.19 亿吨；其中生物质发电的装机总量在 2020 年将达到 3450 万 kW，生物质供气为 1127 亿立方米，生物质成型燃料 3000 万吨，生物液化燃料的总量为 1200 万吨，2015 和 2020 年各类技术的详细目标见表 1-3。

表 2-2 生物质能利用的能源产品总量发展目标

技术种类	2015		2020	
	规模	能源量(万 tce)	规模	能源量(万 tce)
生物质发电（万千瓦）	1449	3192	3450	7494
秸秆发电	675	1445	1618	3405
沼气发电	407	882	1025	2193
垃圾发电	367	865	807	1896
生物质供气（亿立方米）	163	1127	288	1635
秸秆气化	37	137	150	549
沼气供气	126	990	138	1087
生物质成型燃料（万吨）	600	300	3000	1500
生物质液体燃料（万吨）	500	560	1200	1304
燃料乙醇	350	365	1000	1043
生物柴油	150	195	200	261
合计		5179		11933

为满足上述目标的实现，到 2015 年需要消耗 7836 万吨标准煤的生物质资源，2020 年需要消耗 17901 万吨标准煤资源，其中农林剩余物资仍占主要地位，占总资源量的 50%以上，其它资源中畜禽粪便和垃圾利用的比例也较大，分别占到 20%及 18%。具体数据见表 1-4.

表 2-3 生物质能资源利用的发展目标

资源种类	2015 年		2020 年	
	实物量 (万吨)	折标煤量 (万 tce)	实物量 (万吨)	折标煤量 (万 tce)
农林剩余物	7299	3337	21313	9743
畜禽粪便	63000	1980	115200	3621
生活垃圾	13760	1966	22816	3259
生物乙醇原料		355		1012
陈化粮	525	156	525	156
木薯	770	115	980	146
甜高粱	1280	83	10880	709
生物柴油原料		198		266
废弃油脂	180	154	225	193
木本油料果实	120	44	200	73
合计		7836		17901

2.3.1 农林剩余物利用目标

2008 年，农林剩余物的发电装机总量为 70 万 kW，总供气量为主 2 亿立方米，固体成型燃料总产量 120 万吨，共替代化石能源 208 万吨标准煤，消耗农林剩余物资源 935 万吨。

表 2-4 2008 年农林剩余物利用现状

技术种类	规模	能源量（万吨标准煤）	资源消耗量（万吨）
发电小计（万 kW）	70	148	593
混燃	3	6	20
直燃	62	130	519
气化	5	11	46
干馏	1	1	9
供气小计（亿立方米）	12	0.4	203
气化	6	0.1	35
干馏	6	0.3	169
固体成型燃料（万吨）	120	60	138
合计	202	208	935

预计到 2015 年，农林剩余物能源化利用将消耗秸秆 7244 万吨/年，到 2020 年达到 2.09 亿吨/年。

农林剩余物利用所涉及的技术，主要包括发电技术、气化供气技术及成型燃料技术，其中发电技术在 2015 和 2020 年仍是农林剩余物利用的主流技术，利用总量分别为 1455 万吨标准煤和 3405 万吨标准煤，占农林剩余物发展总量的 76.77% 和 62.44%.

表 2-5 各类秸秆能源化利用技术的发展目标及资源需求

技术种类	2015 年			2020 年		
	规模	能源量 (万 tce)	资源 消耗量 (万吨)	规模	能源量 (万 tce)	资源 消耗量 (万吨)
秸秆发电小计 (万 kW)	675	1445	5674	1618	3405	13995
秸秆混燃	250	525	1800	667	1360	4800
秸秆直燃	250	525	2100	250	510	2100
秸秆气化	154	350	1400	615	1360	5600
秸秆干馏	21	45	374	86	175	1495
秸秆供气小计(亿立方米)	37	137	861	150	549	3443
秸秆气化	9	16	51	37	63	203
秸秆干馏	28	122	810	113	486	3240
秸秆成型 (万吨)	600	300	690	3000	1500	3450
合计		1882	7224		5454	20888

2.3.2 畜禽粪便能源化利用目标

2008 年底，包括户用沼气在内的沼气供气总量为 120 亿立方米，折标煤量为 865 万吨标准煤；畜禽养殖场的沼气发电装机为 3.1 万 kW，能源产量为 7 万吨标准煤。

至 2015 年，畜禽粪便的利用总量为 6.3 亿吨/年，2020 年为 11.52 亿吨/年。

从技术种类来看，畜禽粪便的利用主要有发电和供气两种形式，主要技术类型可分为并网沼气和离网沼气。2015 年，沼气供气的产量略高于沼气发电；2020 年沼气发电的比例将达到 66.85%，成为畜禽粪便利用的

主流技术。

表 2-6 各类畜禽粪便利用技术的发展目标及资源需求

技术种类	2015 年			2020 年		
	规模	能源量 (万 tce)	资源消耗量 (万吨)	规模	能源量 (万 tce)	资源消耗量 (万吨)
沼气发电(万 kW)	252	882	31500	645	2193	80625
并网沼气	101	353	12600	387	1316	48375
离网沼气	151	529	18900	258	877	32250
沼气供气(亿立方米)	126	990	31500	138	1087	34575
并网沼气	50	396	12600	83	652	20745
离网沼气	76	594	18900	55	435	13830
合计		1872	63000		3280	115200

2.3.3 生活垃圾利用目标

2008 年垃圾发电的总装机容量为 109 万 kW，其中垃圾焚烧发电 106 万 kW，填埋气发电 3 万 kW，年替代化石燃料 263 万吨标准煤。

预计 2015 年生活垃圾的处理量将达到 1.38 亿吨，至 2020 年将达到 2.28 亿吨。

生活垃圾利用的主要技术为垃圾焚烧发电和垃圾填埋气发电，垃圾焚烧发电将成为未来垃圾发电的主流技术，2015 年，其占垃圾发电装机总量的比例达到 97.17%，2020 年达到 98.92%，年能源产量为 1896 万吨标准煤。

表 2-7 生活垃圾处理的发展目标及资源需求

技术种类	2015 年			2020 年		
	规模 (万 kW)	能源量 (万 tce)	资源消耗量 (万吨)	规模 (万 kW)	能源量 (万 tce)	资源消耗量 (万吨)
填埋气发电	7	25	5760	6	19	4416
垃圾焚烧发电	240	840	8000	552	1877	18400
合计	247	865	13760	558	1896	22816

2.3.4 液体燃料目标

2008 年，生物燃料乙醇的总产量为 171 万吨，生物柴油总产量 40 万吨，可替代化石能源 230 万吨标准煤。

表 2-8 2008 年生物液体燃料发展现状

技术种类	规模 (万吨)	能源量 (万 tce)	资源消耗量 (万吨)
燃料乙醇	171	178	/
陈化粮	150	156	525
木薯	20	21	140
甜高粱	1	1	16
纤维素乙醇	0	0	0
生物柴油	40	51	/
废油	40	51	60
油料植物	0	0	0
合计	/	230	/

预计 2015 年，生物液体燃料的年产量将达到 500 万吨，2020 年将达到 1200 万吨，其中燃料乙醇的生产占到总量的 80%以上。

燃料乙醇所用的原料主要为陈化粮、木薯、甜高粱和少量的秸秆，至 2020 年，甜高粱将成为燃料乙醇的主要原料，其资源消耗量将达到 10880 万吨。生物柴油的原料主要来自废弃油脂及油料植物，至 2020 年废弃油脂仍是生物柴油生产的主要原料，资源消耗量为 225 万吨。

表 2-9 生物液体燃料的发展目标及资源需求

技术种类	2015 年			2020 年		
	规模 (万吨)	能源量 (万 tce)	资源消耗量 (万吨)	规模 (万吨)	能源量 (万 tce)	资源消耗量 (万吨)
燃料乙醇	350	365	2650	1000	1043	12610
陈化粮	150	156	525	150	156	525
木薯	110	115	770	140	146	980
甜高粱	80	83	1280	680	709	10880
纤维素乙醇	10	10	75	30	31	225
生物柴油	150	195	300	200	261	425
废油	120	154	180	150	193	225
油料植物	30	41	120	50	68	200
合计	500	560		1200	1304	

3. 综合评价方法论

目前我国生物质能利用产业的发展还处于初级阶段，生物质能利用技术的评价还主要停留在单一种类的技术经济评价层面，缺乏对多技术种类的系统比较分析；同时，生物质能利用技术所产生的资源、社会和环境方面的综合效益评价多以定性分析为主，缺乏定量化的评价体系。对生物质发展路线图的研究而言，如只停留在定性的目标分析层面，很难给出明确的生物质发展方向。因此，生物质路线图的研究，需要在大量基础数据的支撑下，设计合理的综合评价体系，对生物质能技术的整体发展进行系统评价，才可能获得科学合理的生物质技术发展路线图。

3.1 方法概述

本研究将从生物质能资源潜力、技术发展趋势以及综合效益三方面入手，在对现有生物质能领域的大量基础数据进行理论分析的基础上，设计符合生物质利用技术特点的综合评价体系，对生物质能发展的未来趋势及所产生的综合效益进行系统的量化分析。

3.1.1 方法特点

生物质能未来发展路线图的研究是以统一的综合评价指标体系为基础的，评价方法的特点如下：

(1) 资源优先性

从图 3-1 的生物质利用技术种类可以看出, 生物质能利用技术的种类复杂, 资源多样, 且产生的终端能源产品不一, 如果将所有生物质能利用技术在同一基准下进行比较, 显然很难体现出生物质能利用技术多样性的特点, 而且对于不同资源种类的生物质能利用技术而言, 在未来发展中并不存在相互竞争的关系, 因此对生物质能利用技术的综合评价是以分资源比较的方式进行的, 对同一资源种类的生物质能利用技术的未来发展进行比较排序, 以期得出更符合实际需求的比较结果。对于不同生物质能资源利用技术, 将根据其资源利用潜力确定未来发展总量。

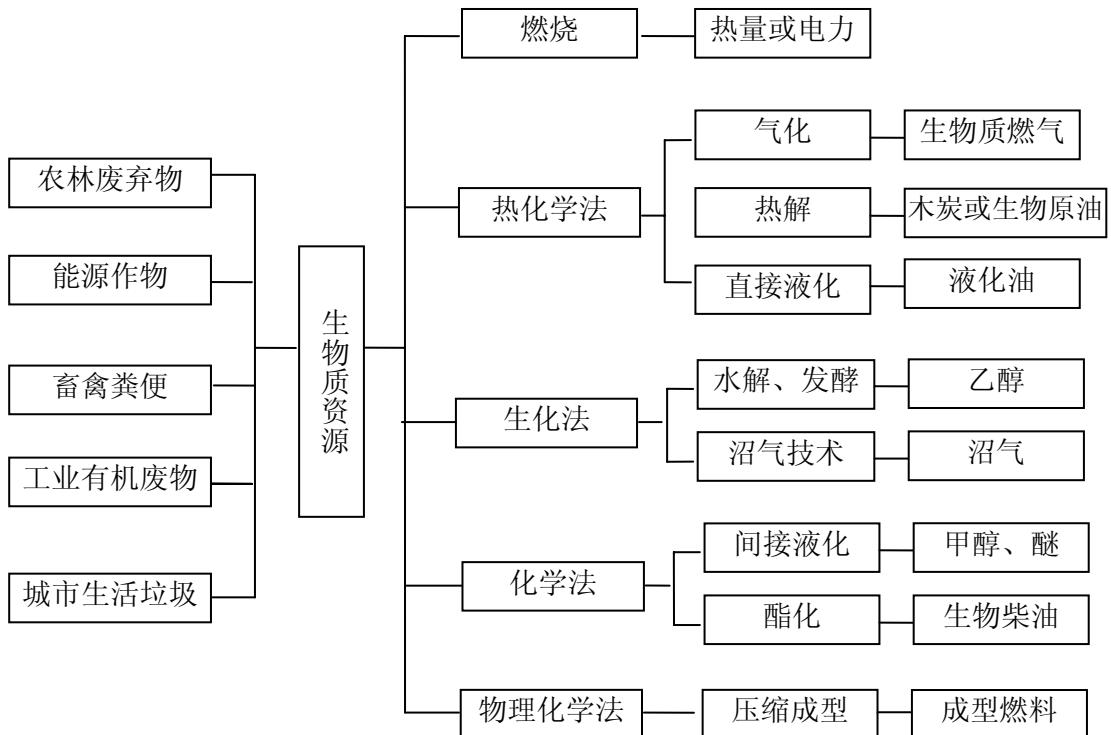


图 3-1 生物质能利用技术种类

(2) 多因素量化评价

生物质能综合评价指标体系是一个多因素分析基础上的系统评分体系。体系指标涵盖了技术、经济、资源、环境和社会等多类影响因素，共涉及九大项分类指标。评价指标的量化是以大量基础数据作为理论支撑的。这一量化工作不仅仅停留在对经济和外部效益的量化计算上，而且对于技术发展趋势也进行了定量的评分，使结果可以在分资源种类的前提下进行系统的比较。因而，通过体系评价得出的技术分值可以系统量化的反应生物质能利用技术未来发展趋势。

3.1.2 研究范围

现有生物质能利用技术众多，根据我国未来生物质能利用发展的主体需求，本研究选取了具有代表性生物质能利用技术作为评价主体，对各技术按资源种类进行分类评价，主要评价的生物质能技术种类包括农林废弃物能源化利用技术、畜禽粪便能源化利用技术、垃圾能源化利用技术和生物质液体燃料技术¹四大类，详细技术研究范围见表 2-1。

¹ 液体燃料技术未按资源分类

表 3-1 生物质能利用技术种类

资源种类	农林废弃物能源化利用技术	畜禽粪便能源化利用技术	垃圾能源化利用技术	生物质液体燃料技术
技术种类	生物质直燃发电 生物质气化发电 生物质混燃发电 生物质成型燃料 生物质成型炭化	并网沼气发电 离网沼气发电	垃圾焚烧发电 垃圾填埋气发电	非粮乙醇 糖类乙醇 纤维素乙醇 废油生物柴油 油料植物柴油

3.2 综合评价指标体系

生物质能综合评价指标体系包括技术趋势评价和综合效益评价两大类指标，在每一类指标下有具体分项指标，两类指标具有相对独立的评分标准和评分方法，每类指标的总计分值均为 100 分。通过对两类指标的评分计算，最终得出基于技术评价和效益评价的定量分值，用以描述未来生物能利用技术和效益的发展趋势，给出技术层面的量化排序。技术评价的时间点选取为 2008, 2015 和 2020 年。

综合评价指标体系的设计步骤如下：

- 设计分类指标
- 确定分类指标在总评价体系中的评价权重
- 设计分项评价指标
- 确定每一分项评价指标的量化标准
- 确定分项指标的具体分值

按以上步骤进行逐级定义和量化，可形成用于评价所有生物质能利用

技术的综合评价指标体系，具体指标体系框架见图 2-2。

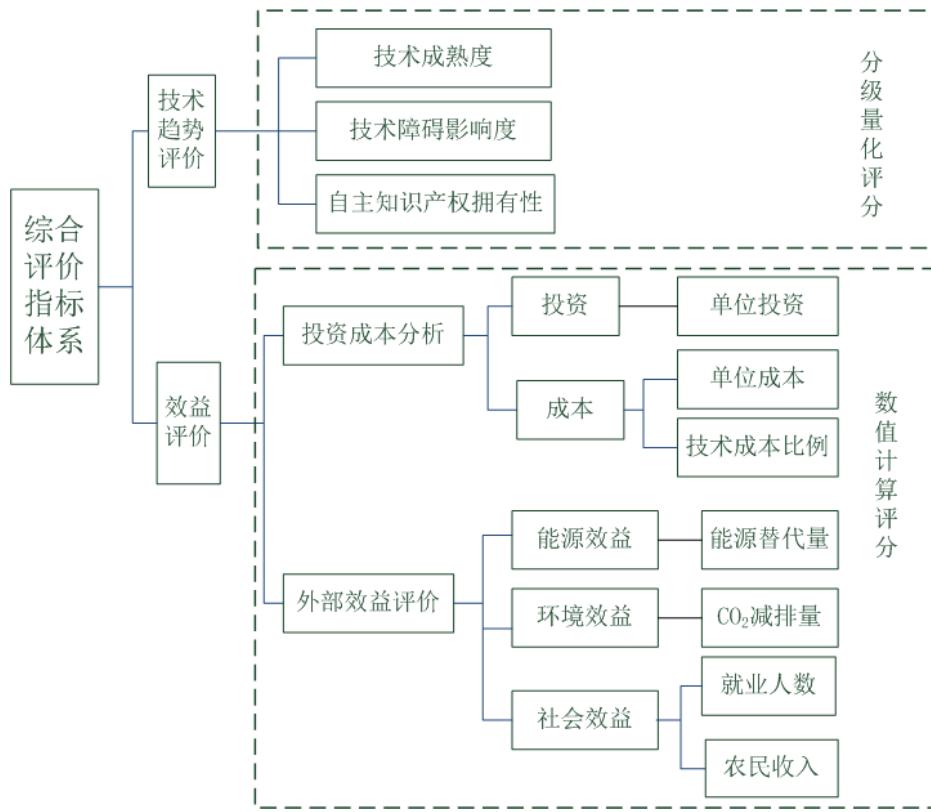


图 3-2 生物质能综合评价指标体系框架

综合评价指标体系是以大量生物质能典型案例的基础数据分析为前提，结合了解目前和未来生物质利用技术发展趋势的基础上进行设计的。其中：

- 技术趋势评价涉及技术成熟度、技术障碍影响度和自主知识拥有性三个分项指标，指标的评价是以分级量化评分的方法对未来生物质利用技术的发展趋势进行描述，给出分阶段的生物质利用技术排序。

- 效益评价将包括投资成本分析和外部效益评价，分别通过对生物质能利用技术典型案例的基础数据计算，得出未来生物质能利用技术的经济成本和外部效益的变化趋势，进一步论证未来生物质能利用技术发展的可行性和优先发展领域。

两类指标的具体确定和量化评价方法将在后两节中进行详细介绍。

3.3 技术趋势评价

3.3.1 评价步骤

技术趋势评价包括对技术成熟度、技术障碍影响度和自主知识产权拥有度三类分项指标的量化评分主要步骤如下：

步骤1：分项指标设计

技术趋势评价指标的设计主要是从技术层面对未来生物质能利用技术的发展趋势进行描述，各分项指标均是未来影响生物质能技术发展的关键因素。

步骤2：确定分项指标在各类指标中的评价权重

作为未来生物质能技术发展的影响因素，各项评价指标的影响效果并不是均一的，根据专家评价和实际研究，确定了分项指标在技术趋势评价指标中的评价权重系数，并将此权重作为本指标分级量化的最高分值，以此反映不同指标对生物质技术发展的影响效果。

步骤3：确定分项指标的分级评分标准

技术趋势评价类指标的分级，是以定性的文字描述将每类分项指标进一步划分为不同等级，每一等级给予不同分值，最高级别分值为本指标的权重，最低级别分值为零分。

步骤4：具体技术评分

对于每一种生物质能利用技术的未来发展趋势，均将根据各项指标的分级标准进行评分，三类指标的分值汇总后可反映该技术在不同评价时间点上的技术发展趋势，同时汇总分值也将成为同资源种类技术比较时的排序依据，反映在某一评价时间点时生物质能的优先利用领域。

3.3.2 指标量化方法

技术趋势评价的三类指标将采用定性与定量相结合的方法进行评分，即利用定性描述进行指标分析，用定量评分方式对每一级别赋予分值，各指标的分级情况如下：

1. 技术成熟度

技术成熟度指标主要反映生物质能利用技术的产业化进程，根据技术发展的不同阶段进行级别定义，下图为生物质能利用技术在产业化进程中所经历的六个发展阶段，技术成熟度评价将以这些阶段作为各级别的分级标准，每级别给予相应的分值。



2. 技术障碍影响度

技术障碍影响度指标主要是针对未来生物质能利用技术中存在的主要技术障碍对技术应用的影响，分为无敏感性、影响系统效率及成本、影响系统集成及影响应用四个级别，每个级别给予不同分值。

3. 自主知识产权拥有度

技术的自主知识产权拥有度主要是反映国内企业对核心技术的掌握情况，分为三级，一是完全拥有自主知识产权，二是核心技术引进或有部分产权，三是完全引进或无知识产权。

3.3.3 指标分值

表 2.2 显示了技术趋势评价指标的量化评分标准，每一分项指标的级别最高分为该指标的权重分值，技术趋势评价的标准总分为 100 分，其中技术成熟度占 40%，技术障碍影响度占 40%，自主知识产权拥有度占 20%。

表 3-2 技术发展趋势评价分值标准

主要指标	分级标准	具体分值
技术成熟度	技术成熟发展	40
	技术体系形成	32
	市场化推广	24
	示范工程	16
	技术研发	8
	基础理论研究	0
技术障碍影响度	无敏感性技术障碍	40
	技术障碍影响系统效率及成本	25
	技术障碍影响系统集成	15
	技术障碍影响应用	0
自主知识产权	完全拥有	20
	核心技术引进(或无完整产权)	10
	完全引进	0
总分合计		100

3.4 效益评价

3.4.1 评价步骤

生物质能利用技术效益评价分为投资成本分析和外部效益评价两大类，以定量计算为评价基础，数据主要来源于对大量生物质能典型案例的分析结果，具体评价步骤如下：

步骤1：分项指标设计

效益评价类指标的设计主要参考目前技术经济评价的常规指标，以及可再生能源技术外部性效益分析常用指标，指标设定的主要依据是可量化计算，有基础数据来源。

步骤2：分项指标的定量计算

对于投资成本分析，主要以目前传统经济评价方法为基础，对典型项目的单位投资和单位成本进行计算。技术外部效益的计算将通过典型项目中可量化的数据，如就业人数、环境减排量、能源替代量等，计算单位规模的技术外部效益。

步骤3：确定分项指标在各类指标中的评价权重

效益评价中涉及了技术经济、社会、环境和能源等多类效益，每一类效益对技术发展的影响并不是均衡的，根据专家评价和实际研究，确定了分项指标在各类指标中的评价权重系数，以此反映不同指标对生物质技术发展的影响效果。

步骤4：分项指标的量化评分

在分项指标计算数值的基础上，对技术综合效益将进行定量评分。这一评分是建立在同资源的技术比较基础上的，对各指标的数值进行比较后计算出相应分值，各指标的分值汇总后可反应技术的综合效益。

3.4.2 投资成本分析

1. 基础数据

生物质能利用技术的投资成本分析是以国家规定的财务评价方法来进行的，基础数据均来源于国内现有生物质能利用技术的典型案例，主要

的数据需求见表 2.3。

表 3-3 技术投资成本分析的基础数据需求

参数类别	主要参数	单位	备注
投资	项目规模		发电技术为装机容量, 其他为年生产量
	固定资产	万元	主要为各类技术的典型项目
	其中: 设备比例	%	
	贷款比例	%	
	流动资金	万元/年	
	利率	%	
成本	生物质原料: 原料到厂价格	元/吨	
	原料热值	kcal/kg	
	原料销售价格	元/吨	
	原料进厂前就业人数	人	
	其他原料: 水价	元/立方米	
	耗水量	万立方米/年	
	电价	元/kWh	
	耗电量	万 kWh/年	
	其他能源价格	元/吨	
	其他能源耗量	万吨/年	
	人工成本: 人数	人	
	平均工资	万元/年	
	福利系数	%	
	其他成本	万元/年	
	维修费率	%	
	其他成本	万元	
	折旧成本: 折旧年限	年	
	残值率	%	

在投资成本分析中，将着重强调未来时间点生物质能利用技术的投资成本的变化，涉及的主要参数包括：

- 生产效率变化
- 固定投资变化
- 人员工资变化

2. 指标计算方法

技术投资成本分析的量化指标主要有三类，分别为单位投资、单位成本和与常规能源成本比较的技术成本比例。三类指标的计算方法分别为：

$$\text{单位投资} = \frac{\text{固定资产} + \text{建设期利息}}{\text{项目规模}}$$

$$\text{单位成本} = \frac{\text{燃料成本} + \text{财务成本} + \text{人工成本} + \text{维修成本} + \text{折旧成本} + \text{其他}}{\text{项目年生产量}}$$

$$\text{技术成本比例} = \frac{\text{生物质能技术单位成本} - \text{常规能源单位成本}}{\text{生物质能利用技术单位成本}}$$

3.4.3 外部效益评价

外部效益评价主要包括对社会效益、环境效益和能源效益的量化评价，具体的计算参数均来源于技术投资成本分析中的基础数据，主要指标共四类，分别为能源替代量、二氧化碳减排量、就业人数和农民收入，计算方法如下：

$$\text{能源替代量} = \frac{\text{项目能源总生产量} * \text{单位能源替代量}}{\text{项目原料总消耗量}}$$

$$\text{二氧化碳减排量} = \frac{\text{项目能源总生产量} * \text{单位二氧化碳减排量}}{\text{项目原料总消耗量}}$$

$$\text{就业人数} = \frac{\text{原料进厂前就业人数} + \text{厂内就业人数}}{\text{项目原料总消耗量}}$$

$$\text{农民收入} = \frac{\text{项目原料总消耗量} * \text{原料销售价格}}{\text{原料进厂前就业人数}}$$

3.4.4 效益综合评价

生物质能利用技术的效益综合评价是在对各项指标定量计算的基础上通过评分方式将各指标的分数进行加权汇总，得出反映综合效益的具体分值。指标的评分是以同资源种类的技术比较为基准的，具体评分方法如下：

- (1) 确定各项指标对生物质发展的主要影响，各指标对项目影响的正负相关性已体现在表 3-4 中，指标的正相关性表示指标数值越高则越利于技术发展，负相关性则表示该项指标将会对技术应用产生不利影响。
- (2) 对同资源种类的指标进行比较，按数值大小及正负相关性打分，数值最高为 100 分，最低为 0 分，其余以差值计分。
- (3) 将分数加权汇总，得到各技术的效益综合评价总分。

指标的分值计算方法如下：

(1) 正相关指标：

$$\text{指标分值} = \frac{\max_{\text{同资源}} \text{指标} - \text{技术指标}}{\max_{\text{同资源}} \text{指标} - \min_{\text{同资源}} \text{指标}} \times 100$$

(2) 负相关指标：

$$\text{指标分值} = (1 - \frac{\max_{\text{同资源}} \text{指标} - \text{技术指标}}{\max_{\text{同资源}} \text{指标} - \min_{\text{同资源}} \text{指标}}) \times 100$$

根据上述评分方法，对每一技术的各项指标进行分值计算，除投资成本分析和外部效益评价指标外，效益综合评价中还设计了资源收集难易程度指标，反应各技术在资源利用方面的情况。各项分值权重和分值相关性见表 2.4。

表 3-4 效益综合评价指标

分项指标	指标量化	分值相关性	分值权重
资源收集难易程度	规模（万吨原料/项目）	负相关	10%
经济性	生产成本比例	负相关	35%
社会效益	就业人数（人/万吨原料）	正相关	15%
	农民收入（元/人）	正相关	20%
环境效益	环境效益（吨 CO ₂ /吨原料）	正相关	15%
能源效益	能源效益（tce/t 原料）	正相关	5%

4. 生物质能资源潜力分析

4.1 资源现状

生物质能资源来源十分广泛、开发利用途径多样。依据生成方式和来源，生物质能资源主要包括两大类，一是工农业和生活中产生的各类废弃生物质，包括农业废弃物、林业废弃物、生活废弃物和工业有机废弃物；二是潜在的人工培育生物质资源，包括各类能源农作物、能源林木以及用于生产生物燃料的藻类微生物等。考虑到工业有机废水为环境保护必须处理的废弃物，废水的处理不以能源利用为目的，而且处理过程中不一定产生能源；藻类微生物等资源和开发利用技术尚处于实验室研究阶段，目前还不具备可开发利用价值，是一种潜在的资源等原因，本报告会所涉及的生物质能资源种类主要包括农作物秸秆、畜禽粪便、林木生物质、城市生活垃圾和能源作物，不包括工业有机废弃物和藻类微生物等。

综合考虑各类资源生成情况、可收集性、用途和能源化利用可获得性等，2008年我国生物质能资源总量和能源化利用可获得量如下表所示：

表 4-1 2008 年生物质能资源量和可获得量

类别	资源总实物量 (亿吨)	可获得量 (亿吨)	可获得量 (亿吨标煤)
农林剩余物	11.86	5.00	2.47
畜禽粪便	17.78	10.67	0.38
城市生活垃圾	1.54	1.54	0.22
生物液体燃料	/	/	0.03
总计			3.09

4.1.1 农业剩余物

农林剩余物主要包括农作物秸秆以及由农产品加工所产生的稻壳、玉米芯、甘蔗渣等加工剩余物等。根据当前我国主要农作物的生产情况、农作物秸秆用途和农产品加工及加工剩余物的利用情况，2008 年我国农业剩余物的资源总量为 8.16 亿吨，其中可以作为能源利用的共 3.39 亿吨，包括两部分，一是已经作为农村生活燃料的，计 1.33 亿吨；二是目前废弃的部分，计 2.1 亿吨。农业剩余物总量及用途如下表（图 4-1）所示。

表 4-2 2008 年农业剩余物资源总量及用途

农业剩余物用途	资源量 (亿吨)	利用比例 (%)
留茬	1.33	16.3
肥料	1.02	12.5
饲料	2.11	25.9
燃料	1.29	15.8
工业用	0.16	2.0
其他	0.15	1.8
废弃	2.1	25.7
合计	8.16	100.0

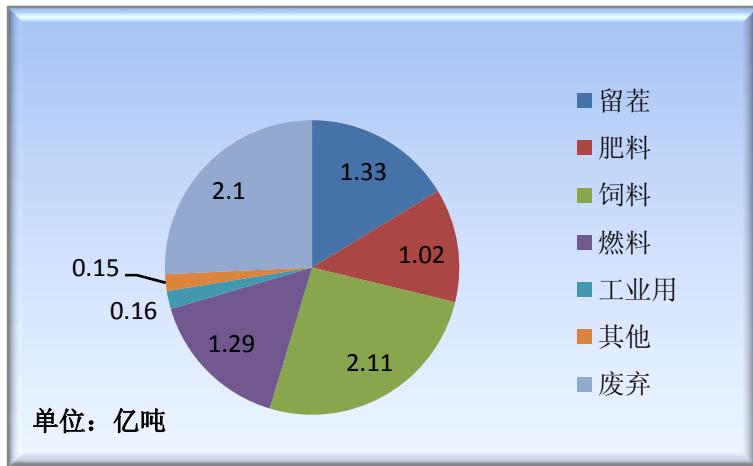


图 4-1 农业剩余物用途分布

4.1.2 林业剩余物

林业剩余物主要包括采伐、造材剩余物和加工剩余物，林木抚育间伐和修枝产生的枝条和小径木，灌木林平茬复壮剩余物，经济林、竹林修剪枝丫量以及林下灌丛、苗圃去干、城市绿化修剪等。根据中国林木生物质能资源研究专题组的报告，综合考虑林业发展和林业剩余物资源收集条件和已开发利用情况，目前我国林业剩余物的资源总量和能源化利用可获得量见表 4-4 所示：

表 4-3 2008 年林业剩余物资源量和可获得量

来源	资源量 (万吨)	可获得量 (万吨)
可采伐剩余物	13100	2600
加工剩余物	2900	2900
灌木林平茬	4200	2500
其它	10000	1500
合计	36800	16100

4.1.3 畜禽粪便

畜禽粪便是畜禽排泄物的总称，它是其他形态生物质（主要是粮食、农作物秸秆和牧草等）的转化形式，包括畜禽排出的粪便、尿及其与垫草的混合物。通常根据不同畜禽的存栏数、品种、体重、粪便排泄量等因素，可以估算出畜禽粪便资源的实物量。根据 2008 年我国猪、牛、马、驴、骡、骆驼、羊和家禽等畜禽的养殖量，综合考虑畜禽粪便的用途和性质、收集条件以及生态环境保护对畜禽粪便处理的需求，2008 年我国畜禽粪便的资源量约为 17.78 亿吨，能源化利用可获得的资源主要为规模化养殖场产生的粪便，约占养殖总量的 70% 约为 10.67 亿吨。

表 4-4 2008 年畜禽粪便资源量和可获得量

类别	存栏数(万头/万只)	粪便总量(亿吨)
猪	46291	4.22
牛	10576	9.65
马	682	0.5
驴	673	0.37
骡	296	0.22
骆驼	24	0.02
羊	28085	1.54
家禽	1085470	1.27
总计		17.78

4.1.4 生活垃圾

近二十年来，中国的经济高速发展，城市规模不断扩大，城市数量和

人口迅速增长，城市生活垃圾量也在快速增长，但垃圾无害化处理远远不足。根据国家统计局统计（中国统计年鉴 2009），2008 年全国城市生活垃圾清运量为 15438 万吨，垃圾无害化处理量仅为 10307 万吨，无害化处理率为 66.8%。处理方法主要是卫生填埋、堆肥和焚烧发电三种方式，最能体现国家环保总局关于垃圾处理“减量化、无害化、资源化”要求的垃圾焚烧处理法，全国仅有 74 处，年处理量仅为 1570 万吨，占垃圾无害化处理量的 15.2%，处理量仅占垃圾清运量的 9% 左右。同时还有约一半的垃圾进行卫生填埋，另有超过三分之一的垃圾没有进行无害化处理，处理城市生活垃圾，实现无害化、减量化和再资源化，消除城市生活垃圾的污染已成为我国必须解决的重大问题。因此，我国城市生活垃圾的生成量即为可以进行能源化利用的资源量，清运量即为能源化利用的可获得量。

表 4-5 2008 年全国城市生活垃圾清运量与无害化处理量

处理方式	处理单元数	能力(万吨/天)	处理量(万吨/年)	占总量比例%
清运总量	15438			
无害化处理	509	31.5	10307	66.8
其中： 卫生填埋	407	5.3	8424	81.7
堆肥	14	0.5	174	1.7
焚烧	74	5.2	1570	15.2

数据来源：国家统计局《中国统计年鉴 2009》

4.1.5 液体燃料原料

生物液体燃料资源主要包括农林产品、农林剩余物、城市生活废弃油脂、能源植物和微生物（工程微藻、油藻）等。按照我国生物液体燃料的非粮化发展要求，可用于发展生物液体燃料的资源主要包括废弃糖类和动植物油脂，木薯、甜高粱、麻疯树等能源植物和农作物秸秆资源等。本节所指液体燃料原料不包括纤维素和微生物，主要有木薯、甜高粱、废弃油脂、油料植物籽实等。

近年来，我国木薯种植面积约 60 万公顷，年产量约 1100 万吨，主要用作淀粉加工以及工业原料开发等。仅有少量食用木薯作为资料加工原料。全国每年可利用废弃油脂资源量约 200 万吨。木本油料树种总面积 804.2 万公顷，每年油料树种的果实时产量约 220 万吨，大多数资源处于荒废状态。

表 4-6 2008 年生物质液体燃料资源量和可获得量

类别	资源量 (万吨)	可获得量 (万吨)	可获得量 (万吨标煤)
木薯	1100	140	21
甜高粱	250	250	16
废弃油脂	200	200	171
木本油料果实	220	170	62
合计			271

4.1.6 边际土地资源

鉴于我国人口众多，耕地短缺的国情，发展生物质能源必须坚持“不与民争粮、不与粮争地”的基本原则。

由于我国尚未深入系统地开展面向生物质能开发利用的可用边际土地调查评价工作，国内不同部门、研究机构之间对各类边际性土地的界定、分类、可用性和资源潜力的评价也存在明显差异。目前，国内相关研究主要是根据国土资源部对土地资源的类型划分（主要是 2002 年颁布施行的《全国土地分类（试行）》）、全国土地利用现状调查和变更调查数据、林业部门关于宜林地、农业部门关于农业用地的相关数据，初步评价可用于发展能源农作物和能源林木的边际土地资源潜力。考虑不同数据及测算方式，初步估计我国现有约 3200~7500 万公顷边际性土地，包括 734~937 万公顷后备耕地（可用于发展能源农作物）、866 万公顷冬闲田（可用于种植油菜）、1600~5704 万公顷后备林地（可用于发展各类能源林），另有 343 万公顷现存低产油料林可经改造用于发展生物柴油。

表 4-7 可利用边际土地资源

土地类别	面积（万公顷）	可种植的能源作物/林木
宜农后备地	734	能源农作物（甜高粱、木薯、甘薯等）
冬季农闲田	866	冬季油菜
后备林地	1600~5704	木质和油料能源林
现存低产油料林	343	改造后发展生物柴油
合计	3543~7647	/

4.2 资源发展趋势

4.2.1 农林剩余物

我国近 10 年来，粮棉油产量变化如图 4-2 所示（图中棉花数据为实际数据的 100 倍，油料数据为实际数据的 20 倍），可以看出历年来粮食占粮棉油总产量的 93-95%，而近十年来，粮食产量始终保持在 4.5-5.0 亿吨之间，预计这种趋势将在很长时期内不会有大的变化，因此，2015 年和 2020 年的农业剩余物可利用总量均采用 2008 年的数据。

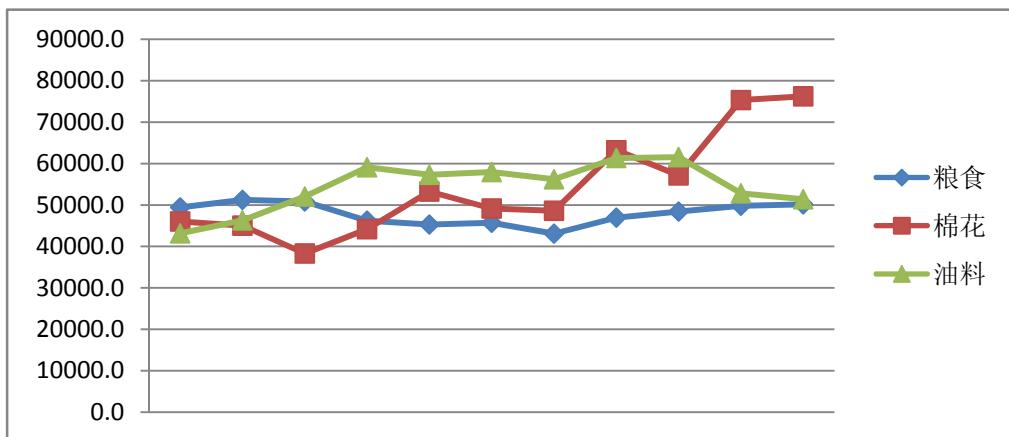


图 4-2 我国历年粮棉油产量变化趋势

虽然未来我国森林面积会不断增加，但考虑到林业剩余物的采伐制约因素多，现有林业剩余物尚缺乏工业化收集和利用基础，而且受生态保护制约和工业原料需求的竞争，预计 2015 年和 2020 年林业剩余物资源与目前不会有太大的变化，因此沿用 2008 年数据。

4.2.2 畜禽粪便

随着养殖成本、管理技术以及农产品出口要求的提高，中国以散养为主养殖方式将逐步向规模化养殖转变；随着中国居民食物结构的变化和生活水平的提高，口粮消费呈缓慢下降趋势，畜产品消费持续上升，畜牧养殖业将持续稳定发展；同时，随着人们环境意识的增强和国家治理环境污染力度的增加，规模化养殖场建设沼气工程的需求也将进一步增大。到2015年，预计全国畜禽粪便总量可达22.4亿吨，其中规模化养殖场产生粪占总量达到70.3%，为15.8亿吨。到2020年，预计全国畜禽粪便总量可达25.4亿吨，其中规模化养殖场产生粪占总量达到75.7%，为19.2亿吨。

表 4-8 畜禽粪便资源可获得量

年份	资源实物总量 (亿吨)	可获得量 (亿吨)	可获得量 (亿吨标煤)
2008	17.78	10.67	0.38
2015	22.25	15.48	0.55
2020	24.56	18.59	0.66

4.2.3 生活垃圾

2008年，全国生活垃圾清运量已经达到1.54亿吨，实际垃圾生成量将大于1.5亿吨，虽然今后资源综合利用和剩余物重复利用的理念和措施会不断加强，生活垃圾生成量增长速度将有所下降，但预测到2015年垃

圾生成量也将达到 2 亿吨/年，2020 年将达到 2.3 亿吨，由于所有生活垃圾均需无害化处理，因此垃圾生成量即为可获得量。

表 4-9 垃圾可获得量

年份	资源实物总量 (亿吨)	可获得量 (亿吨)	可获得量 (亿吨标煤)
2008	1.54	1.54	0.22
2015	1.93	1.93	0.28
2020	2.32	2.32	0.33

4.2.4 液体燃料

由于能源植物资源培育存在周期长、成本高、受自然环境条件影响大等特点，能源植物从新品种培育、配套技术研发推广到形成实际产量也需要十几年时间，因此，按照我国生物液体燃料的非粮化发展要求，考虑到现有的非粮生物液体燃料资源的生产、边际土地的开发、能源植物的培育和生物液体燃料转化技术的进步与发展，各类液体燃料原料的可获得量发展趋势分析如下：

对陈化粮制取燃料乙醇，国家已有明文规定不再扩大规模，因此到 2020 年陈化粮的可获得量仍为 152 万吨。

目前废弃油脂的资源量为 200 万吨，随着人口的增长和生活水平的提高，废弃油脂总量将有所增加，但是随着资源节约、低碳经济、反对浪费等观念的深入人心，废弃油脂的总量将有所减少，预计到 2020 年，废

弃油脂总量不会发生较大变化，仍为 200 万吨左右。

木薯为液体燃料最主要的淀粉类原料，目前我国木薯产量为 1100 万吨，主要产地为广西，约占全国产量的 70%。用于生产燃料乙醇的有中粮集团的 20 万吨木薯燃料乙醇项目，年消耗木薯 140 万吨。木薯可获得量的来源主要有两部分，其一为在边际土地上扩大种植面积，约可提供 500 万吨，其二为提高木薯单产，目前我国大部分木薯单产仅为 2 吨/亩左右，改良的木薯品种单产可达 4-4.5 吨，按 50% 的品种得到改良，可增加木薯总产量 500-600 万吨。因此我们预计，到 2020 年木薯增量可达 1100 万吨以上。

甜高粱的种植土地主要集中在江苏、山东、辽宁等地的沿海，这些地区的盐碱地无法种植粮棉油作物，而甜高粱是耐盐碱植物，可以在盐分较高的土地生长，沿海地区的盐碱地水资源较为丰富，甜高粱可以过得较高的产量。预计到 2020 年甜高粱的总产量可以达到 1.1 亿吨（包括茎秆）。

目前我国可以作为生物柴油原料的油料作物品种达 100 多种，但是大部分品种需要进行改良，提高油含量和单产。比较有前途的主要有小桐子、乌桕、油桐等，其中西南地区小桐子种植、华中地区乌桕种植都是很有前途的品种。可以种植油料植物的边际土地分布较广，总面积达 3000 万公顷左右。预计到 2020 年油料籽实的可获得量约为 700 万吨。

表 4-10 液体燃料原料资源可获得量

年份	2008		2015		2020	
类别	可获得量 (万吨)	可获得量 (万吨标煤)	可获得量 (万吨)	可获得量 (万吨标煤)	可获得量 (万吨)	可获得量 (万吨标煤)
陈化粮	525	156	525	156	525	156
木薯	140	21	800	119	1100	164
甜高粱	250	16	2700	176	11000	717
废弃油脂	200	171	200	171	200	171
油料籽实	170	62	300	110	700	257
合计		427		733		1466

4.3 优先领域选择

畜禽养殖场粪便能源化利用的基本思路是：“加大畜禽养殖场污染物排放执法力度，从源头遏制养殖场粪便污水随意排放；提供农村生活用燃料和优质有机肥料，促进农田保护性耕作；畜禽粪便处理实现专业化，沼气项目实现商业化。”畜禽养殖提供肉、蛋、奶制品的基地，是生活必须品的提供者，因此，畜禽粪便的产生是不可避免的。目前，养殖场畜禽粪便处理问题不容乐观，有些养殖场已经对周边环境造成严重的污染，能否妥善、有效的处理畜禽粪便已经上升为能否使肉蛋奶类制品的正常供应的问题。因此，畜禽粪便的能源化利用处理必须优先发展。

据国家环境保护部的调查，我国已有半数以上的城市将被垃圾包围，垃圾处理，特别是垃圾填埋处理场的选址越来越难。据我们调查，1998年开始，北京市拟在周边区县建设一个垃圾填埋场，历经十年努力，最终

未能确定。城市生活垃圾已经成为新的污染源，而垃圾的能源化处理是目前最为有效的方式，所以垃圾处理同样是生物质能源化利用最为优先领域之一，处理量的确定取决于资源量，不应按效益分析结果确定与其他种类的生物质资源利用的比例。

农林剩余物除了作为还田、饲料外，还是重要的能源化利用原料。但目前在农村地区，除了还田、饲料以及农村炊事消耗外，农作物秸秆的就地焚烧和丢弃现象还十分严重，不仅造成了严重的环境污染，还造成巨大的资源浪费。将农作物秸秆作为能源资源加以利用，不仅可以提高农民收入，改善农村环境，还可以变废为宝、增加能源供应、改善能源结构，同时也促进循环经济发展，因此，农作物秸秆是农林剩余物中需要优先进行能源化利用的资源种类。相比之下，由于受生态保护制约和工业原料需求的竞争，以及收集过程存在成本高、受自然环境条件影响大等多种因素制约，林业剩余物还缺乏大规模能源化利用和开发的基础，因此本研究认为在 2010 年前可以不将其作为优先领域加以考虑。

按照我国生物液体燃料的非粮化发展要求，近中期可用于发展生物液体燃料的资源主要包括废弃糖类和动植物油脂，木薯、甜高粱、小桐子等能源植物和农林剩余物等纤维素类资源。近期可以利用的资源主要为废弃糖类和动植物油脂以及已经大规模种植的部分非食用的糖类和淀粉类农作物（如木薯等），而甜高粱、小桐子等能源植物的规模化开发利用需要

边际土地的开发,农林剩余物等纤维素类资源的开发还有待转化技术进一步完善和优化。

4.4 小结

根据农林剩余物、畜禽粪便、城市生活垃圾以及生物液体燃料资源未来发展趋势,2015年和2020年我国生物质能资源总量和能源化可利用量如表4-11所示,与生物质能发展国家目标相比,我国的生物质能资源可以满足未来发展需求。

表 4-11 2015 年和 2020 年我国生物质能资源总量和可获得量

资源种类	2008年		2015年		2020年	
	可获得量 (万吨)	可获得量 (万吨标煤)	可获得量 (万吨)	可获得量 (万吨标煤)	可获得量 (万吨)	可获得量 (万吨标煤)
农林剩余物	50000	24700	50000	24700	50000	24700
畜禽粪便	106700	3800	154800	5513	185919	6621
城市生活垃圾	15400	2200	19300	2757	23200	3314
生物乙醇原料		194		452		1037
陈化粮	525	156	525	156	525	156
木薯	140	21	800	119	1100	164
甜高粱	250	16	2700	176	11000	717
生物柴油原料		234		282		429
废弃油脂	200	171	200	171	200	171
木本油料果实	170	62	300	110	700	257
合计		31127		33703		36101

综合考虑根据各类资源的特性和经济社会发展对各类资源能源化利用的需求，2020年前，畜禽粪便和城市垃圾资源的产业化利用需要得到优先，农林剩余物次之；在此期间，能源作物由于转化技术不成熟利用尚不能进入商业化应用，重点在优异作物种质资源资源筛选和高产专用新品种培育以及原料基地建设。

5. 技术发展趋势评价

5.1 农林剩余物能源化利用

农林剩余物能源化利用技术的主要种类有直燃发电、混燃发电、气化发电、成型燃料以及生物质干馏技术等。

5.1.1 直燃发电

5.1.1.1 工艺路线

直燃发电是指全部采用生物质原料，在专用生物质蒸汽锅炉中燃烧，产生蒸汽，驱动蒸汽轮机，带动发电机发电。秸秆直接燃烧发电与常规化石燃料发电的不同点主要在于原料预处理和秸秆锅炉，原料的预处理和专门的生物质燃烧锅炉，是保证锅炉的换热效率、寿命和稳定运行的技术关键。

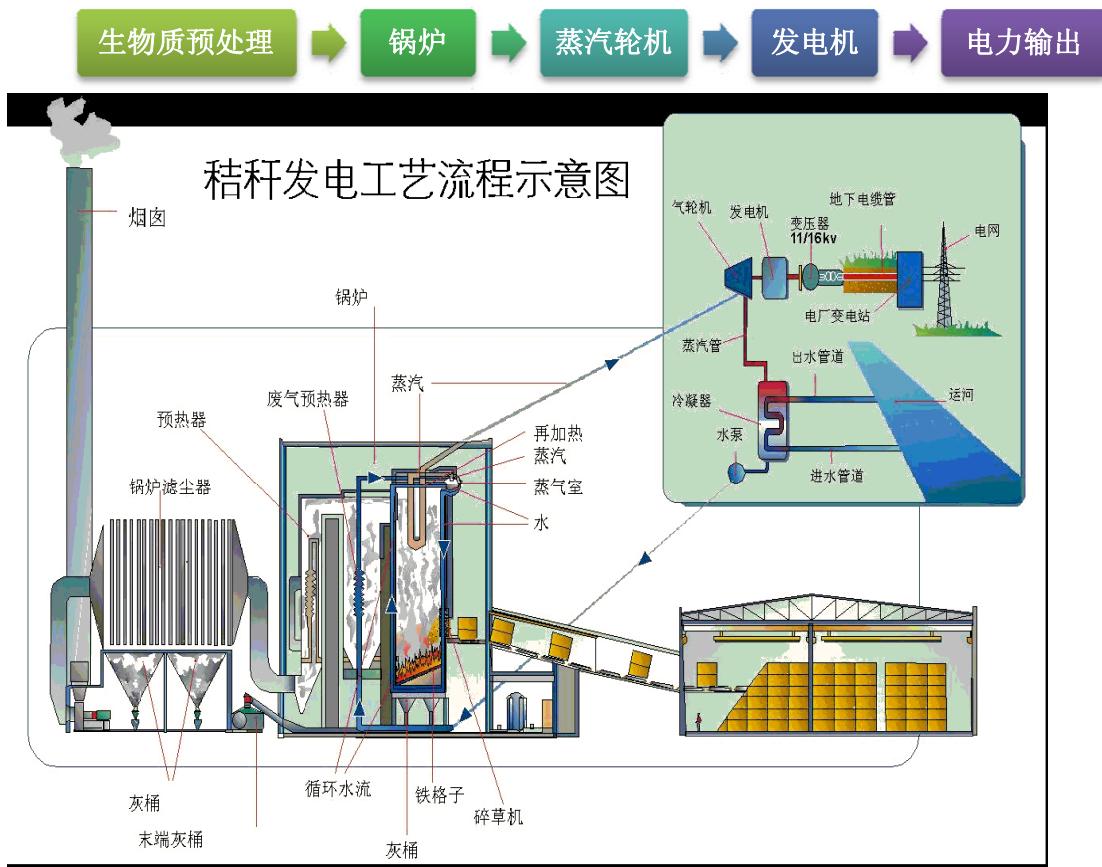


图 5-1 节秆直燃发电工艺流程示意图

5.1.1.2 产业规模

我国生物质直燃发电刚刚起步，2006年12月，国能单县生物发电厂正式投产，这是我国第一个生物质直燃发电项目，采用丹麦BWE公司的技术，国内生产，总投资3.37亿元，总装机容量2.5万千瓦。到2007年底，全国投产的生物质直燃发电项目共16个，总装机容量为36.7万千瓦，其中国能生物发电有限公司投产项目10个，总装机容

量 25 万千瓦(装机容量为 2.5 万千瓦的项目 8 个, 1.2 万千瓦的项目 2 个);中国节能投资公司宿迁生物质发电厂, 装机容量 2.4 万千瓦, 河北建设投资公司晋州生物质发电厂, 装机容量 2.4 万千瓦; 江苏国有资产信托投资公司淮安生物质发电厂, 装机容量 2.4 万千瓦; 协鑫集团公司宝应生物质发电厂 (1.5 万千瓦) 和连云港生物质发电厂 (1.2 万千瓦), 总装机容量 2.4 万千瓦, 河南长葛热电厂, 装机容量 1.5 万千瓦。

2008 年全国生物质直燃发电项目投产累计为 29 个, 总装机容量达到 61.8 万千瓦。项目主要分布在山东、江苏、河南、河北等四省, 东北、新疆、安徽、湖北等地区也有少量项目投产。

生物质直燃发电项目建设的单位中, 国能生物发电有限公司是目前的骨干企业, 2007 年投产的生物质直燃发电总装机容量, 该公司占了全国 68% 的份额, 但到 2008 年底, 这个局面已经有所改变。到 2008 年, 该公司新增投产项目 6 个, 装机容量均为 1.2 万千瓦, 总装机容量为 7.2 万千瓦, 累计装机容量为 32.2 万千瓦。到 2008 年底, 全国生物质直燃发电总装机容量已经达到 61.8 万千瓦, 国能生物发电有限公司的装机容量份额下降为 54%, 虽然仍然占主导地位, 但说明其他企业也已经开始进入该产业。

表 5-1 2008 年生物质直燃发电已投产项目分布

序号	省份	项目名称	投产时间	装机容量(MW)
国能生物发电有限公司项目				
1	山东	国能单县生物发电有限公司	2006	30
2	山东	国能高唐生物发电有限公司	2007	30
3	山东	国能垦利生物发电有限公司	2007	30
4	山东	国能巨野生物发电有限公司	2008	12
5	河南	国能浚县生物发电有限公司	2007	30
6	河南	国能鹿邑生物发电有限公司	2007	30
7	河南	国能扶沟生物发电有限公司	2008	12
8	河北	国能威县生物发电有限公司	2007	30
9	河北	国能成安生物发电有限公司	2007	30
10	新疆	国能阿瓦提生物发电有限公司	2008	12
11	新疆	国能巴楚生物发电有限公司	2008	12
12	江苏	国能射阳生物发电有限公司	2007	30
13	吉林	国能辽源生物发电有限公司	2007	30
14	黑龙江	国能望奎生物发电有限公司	2007	30
15	辽宁	国能黑山生物发电有限公司	2008	12
16	内蒙古	国能通辽生物发电有限公司	2008	12
采用无锡华光锅炉技术的项目				
17	河北	河北晋州秸秆热电厂	2007	24
18	江苏	江苏淮安发电有限公司	2008	24
19	安徽	华电/宿州生物质能发电公司	2008	24
20	安徽	大唐安庆生物质能发电公司	2008	24
21	湖北	湖北神州新能源发电股份有限公司	2008	12
22	上海	上海协鑫集团公司/连云港协鑫	2007	15
23	上海	上海协鑫集团公司/宝应协鑫	2007	15
24	山东	无锡国联集团公司/山东博兴中电	2008	12
25	江苏	江苏国信如东生物质能发电公司	2008	12
其他项目				
26	江苏	中节能宿迁生物质发电厂	2007	24
27	河南	河南长葛热电厂	2007	12
28	黑龙江	国电汤原生物质发电厂	2008	24
29	山东	国电无棣生物质发电厂	2008	24
合 计				618

5.1.1.3 技术障碍分析

农作物秸秆品种、形态、成分各异。成分分析显示，生物质原料与煤相比，通常含水量高，挥发分高、灰分低，热值也比较低，生物质的燃烧特性与煤有所不同。特别是农作物秸秆碱金属含量比煤高，导致灰熔点低，在燃烧过程中锅炉容易积灰和结渣；飞灰中的碱金属和烟气中的氯，还会腐蚀受热面。碱金属和氯的含量与农林生物质的品种、土壤、肥料和耕种习惯等因素有关，各地并不尽相同。其中，稻秆、麦秆、玉米秆等黄色秸秆和稻壳中碱金属的含量比较高，燃烧结渣和腐蚀的风险比较大；棉秆、树枝木片的碱金属的含量通常比黄色秸秆的含量要小的多，结渣和腐蚀的风险比较小。

目前，我国专门燃烧秸秆锅炉的设计制造已经起步。其中，无锡华光锅炉股份公司已经研制了拥有完全自主知识产权的秸秆锅炉，生产的 75 吨/时中温中压锅炉已经在国内安装了 20 台套以上，工作基本正常。并在如东秸秆发电厂安装了一台次高温次高压的 110 吨/时秸秆发电锅炉，现已正常运行。济南锅炉厂引进了丹麦 BWE 公司的秸秆发电锅炉制造技术，生产的 130 吨/时高温高压秸秆发电锅炉，已经在国能生物的十多个生产厂使用，但核心组件仍需整机引进。

生物质直燃发电技术，目前存在的主要技术障碍为直燃发电锅炉设计制造技术，国际先进的直燃锅炉一般采用高温高压参数，而国内基本都采

用中温中压，中温中压锅炉与高温高压锅炉相比，热效率相差 2-3 个百分点，导致系统发电效率相差 10% 以上。目前国内一些大学、研究所和设备生产企业也在积极研发秸秆直燃锅炉和秸秆前处理设备，并开展小规模试验和示范，特别是无锡华光锅炉有限公司开始研发次高温次高压直燃发电锅炉，已经处于试点示范阶段。预计生物质直燃锅炉的设计制造技术，在 2010 年可完成次高温次高压锅炉的产业化；到 2012 年完成高温高压锅炉的试点示范，2015 年实现高温高压锅炉的产业化。

生物质原料收、储、运技术是所有生物质规模化利用均需面对的问题，目前该领域的机械化程度很低，即使有一些机械，处于比较原始的状态，已经在一定程度上制约了生物质规模化利用产业的发展。生物质收储运装备的种类较多，需要因地制宜地研发适用于当地的品种，全国形成收储运装备系列。预计在 2012 年可基本完成适用于主要生物质原料品种的收储运装备研发，到 2015 年，全面形成系列，并实现产业化。

5.1.2 混燃发电

5.1.2.1 工艺路线

煤生物质混燃通常是在燃煤发电锅炉中进行，首先将生物质原料粉碎，通过输送装置送到炉前，由另外设置的专用燃烧器将生物质燃料加到锅炉内，与煤混合燃烧，根据国外的试验，当生物质原料的重量比不超过 20%

时，高氯、高碱的生物质原料不会产生腐蚀和积灰等对锅炉不利的影响。



图 5-2 稼秆混燃发电厂



上图：秸秆料仓。
右上：秸秆原料输送。
右下：秸秆原料入锅炉（三根加料管中，中间的为秸秆，上下均为燃煤）。

图 5-3 稼秆混燃发电厂主要设备

5.1.2.2 产业规模

由于我国目前尚未对生物质混燃发电有明确的政策优惠，所以混燃技术的使用仅属试点示范阶段。山东枣庄的十里泉电厂在该厂 5 号锅炉上进行了混燃试验，5 号炉为 400 吨蒸汽锅炉，配套 140MW 发电机组。掺混量为 20%，年掺混生物质燃料能力为 25 万吨，2006 年全年实际掺混生物质燃料 5.5 万吨。

香港协鑫集团公司在江苏、山东、安徽等省共有小型热电厂 21 座，其中有 7 座掺混生物质原料，原料包括秸秆、稻壳、树皮、芦苇、城市污水处理厂污泥等。

5.1.2.3 技术障碍分析

生物质—煤混燃发电技术发展的主要技术障碍是生物质原料混入量的监控，由于缺乏监控手段，所以无法实施对生物质混燃发电的补贴，从根本上遏制了该技术的发展。生物质—煤混燃技术在发达国家属于生物质发电的主流技术，但我国由于尚未建立企业诚信监管体系，同时缺少有效的生物质混入量的计量监督技术，电价或其他优惠政策无法落实。

目前有关单位已经开始研制生物质混入量的计量监督装置，预期在 2010 年可完成装置的实用性样机，预计样机技术的鉴定、认证，并在计量监管基础上出台相关经济激励政策，约需要 2 年时间，因此，2013 年以后生物质—煤混燃技术才会得到较快的发展。

5.1.3 气化发电

5.1.3.1 工艺路线

气化发电是指生物质原料气化后生成可燃气体，净化后燃烧，驱动内燃机或燃气轮机，带动发电机发电。生物质气化是以生物质为原料，以空气、水蒸气等为气化介质，在高温条件下通过热化学反应将生物质转化为可燃气体，主要可燃成分是 CO、H₂ 等，称为生物质燃气。气化发电的技术关键是低成本燃气净化技术和配套发电设备。从气化炉出来的生物质燃气含有一定杂质，主要是焦油、灰以及微量碱金属等，其中焦油是影响下游设备正常运行的主要影响因素。

生物质气化的方式主要有循环流化床气化和固定床气化两种，工艺路线分别如图 4-4 和图 4-5。

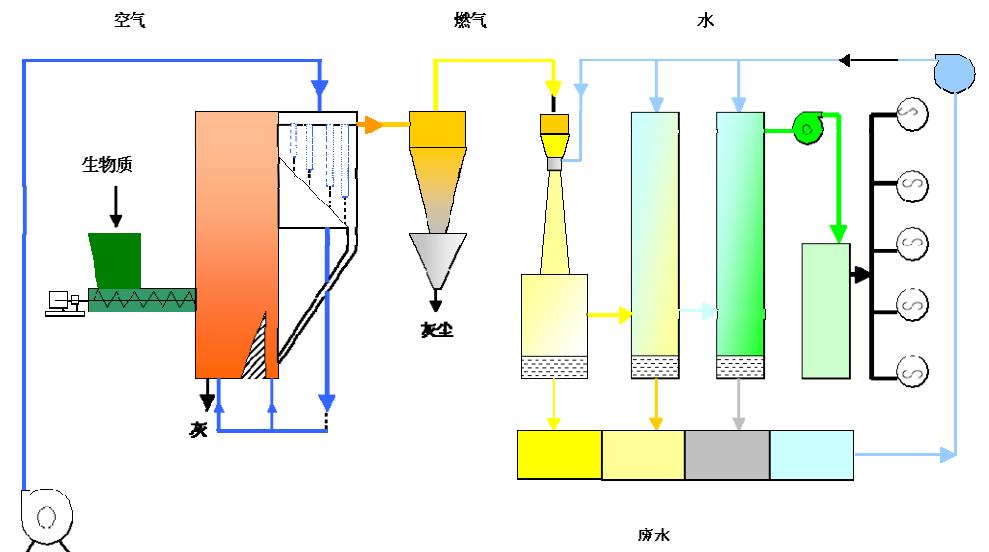


图 5-4 循环流化床工艺路线示意图

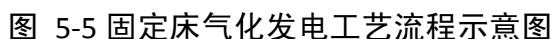


图 5-5 固定床气化发电工艺流程示意图

5.1.3.2 产业规模

目前我国应用到工程中的气化发电技术主要是由中科院广州能源所研发的生物质循环流化床气化技术，生物质经过气化后，通过水洗净化燃气，净化后的燃气用于发电。燃气净化采用水喷淋方法，去除燃气中的焦油和灰尘，但是尚未完全解决焦油的二次污染问题。污水采用细菌处理将焦油裂解为污泥，喷淋水循环利用，目前该技术正处于工程检验和进一步完善阶段，同时也在研究利用高温催化裂解方法脱除焦油的技术。

继“九五”期间分别在福建莆田建成了国内首个 1 兆瓦生物质谷壳气化发电系统、在海南三亚木材厂建成了以国内首个生物至木屑气化发电厂、在河北邯郸建成了以秸秆为燃烧的气化发电厂示范工程后，最近又在黑龙江农垦总局建设 20 套农业固体废弃物谷壳、稻草的生物质气化发电系统，

总投资为 4000 多万元，年总发电量为 7500 万千瓦。

江苏兴化建设的 4MW 的稻壳发电厂。科技部“863”示范项目。安装 1 台循环流化床气化炉，装有 $1 \times 400\text{KW}$ 和 $1 \times 600\text{KW}$ 内燃机，配有余热锅炉和蒸汽轮机发电。该项目已于 2005 年 10 月投产，目前已累计运行 1500 小时，最长连续运行 1 个月时间。主要燃料是稻壳和棉杆，稻壳的灰渣由于硅含量比较高，综合利用价值比较高。该电厂采用水洗燃气脱除焦油，污水采用生化处理后循环利用的方式。该电厂每年可以利用生物质 3.2 万吨（干），年发电量 2800 万 kWh。

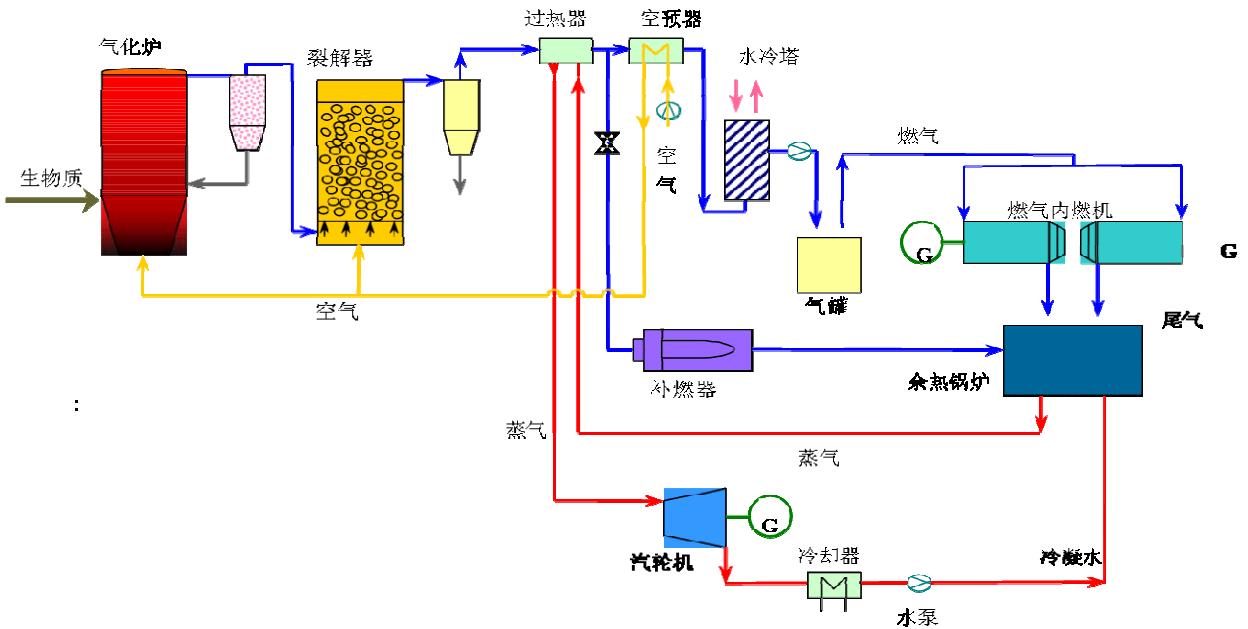


图 5-6 生物质循环流化床工艺路线图

图 5-7 江苏兴化生物质循环流化床气化发电厂

目前江苏另一个生物质固定床气化发电厂正在建设之中,第一条工业规模的气化炉——净化系统——发电系统生产线已经通过连续 60 小时以上的运行试验,效果良好,预计在 2009 年 3 月可以正式并网发电。

图 5-8 生物质固定床气化发电工艺路线图



图 5-9 江苏高邮生物质固定床气化发电厂

5.1.3.3 技术障碍分析

生物质循环流化床气化的主要技术障碍是燃气中焦油的脱除技术，由于在循环流化床气化的燃气中氧含量较高，无法使用电捕焦油器脱除焦油，所以燃气中焦油含量较高，容易在内燃发电机的缸套中形成结焦，从而影响发电机的正常运行。从目前的研发进度看，到 2011 年可完成生物质循环流化床气化的燃气净化问题，到 2013 年将得到全面的推广应用。

生物质固定床气化的主要技术障碍在于尚未建成完整的示范工程，没有采用该技术的产业化规模的装置的长期运行数据，整套系统设备的问题尚未完全暴露。从目前江苏的生物质固定床气化发电示范项目的进展看，

到 2010 年可完成示范工程建设，到 2013，生物质气化、燃气发电、燃气供应等均可实现产业化。

两种生物质气化技术均需采用内燃发电机发电，但是，低热值的燃气内燃发电机组制造技术目前还存在一定的技术障碍，首先是单机容量太小，目前最大的低热值燃气内燃发电机组的单机容量仅为 500kW，其次是发电机组效率太低，仅为 32-34%，比国外同类产品低 2-3 个百分点，根据国内内燃发电机企业的研发进度判断，预期在 2011 年现有 500kW 机组发电效率可达到国际先进水平；2012 年可研发单机规模为 1MW 及以上的低热值燃气内燃发电机组，到 2014 年实现产业化。

5.1.4 成型燃料

5.1.4.1 工艺路线

生物质成型燃料技术是利用机械力对生物质原料（主要是农林剩余物，如农作物秸秆、木屑等）进行压缩，使原料的容重大大增加，并可使不同种类原料获得较为统一的燃烧特性。生物质成型燃料技术可以使松散的生物质原料变得更加易于运输和储存，还可以提高生物质原料的燃烧效率。



图 5-10 生物质成型燃料

5.1.4.2 产业规模

生物质成型燃料压缩成型设备的研发和应用近三年来得到了较快的发展。2008 年全国生物质成型燃料的总产量为 120 万吨，产品销售对象有三类：

- 由政府补贴的惠农项目产生的需求。一些政府在本地区农村推广使用生物质成型燃料（如北京市），由每个农户购买燃用生物质成型燃料的炉具，并对购买炉具给予补贴，甚至免费提供，然后由

农民自行购买燃料。此类需求每年约 5 万吨。

- 为小型生物质锅炉提供燃料。一些企业在生产生物质成型燃料设备的基础上，自行研发了生物质锅炉，主要是 4 吨/时以下的蒸汽锅炉和热水锅炉，主要作为宾馆、饭店、洗浴中心等场所的自备锅炉。由于一些城市对环境的要求越来越严格，燃煤的自备锅炉受到极大的限制和禁止，改用燃油则大大增加了成本，改用燃气则往往受到供气管网的限制而无法实现。而生物质锅炉由于排放低，且符合国家发展可再生能源的政策，所以生物质成型燃料锅炉成为低成本的解决方案。这部分需求有 20-25 万吨，占生物质成型燃料销售总量的 25% 左右。
- 生产生物质机制炭的原料。机制炭由生物质成型燃料经干馏而得，约 3 吨成型燃料可生产 1 吨机制炭。随着人民生活水平的提高，餐饮业用于烧烤和涮锅的生物质机制炭消耗大量增加，同时日本、韩国也有此类产品的需求，每年出口的机制炭超过 10 万吨，。这部分需求有 60-70 万吨，占生物质成型燃料销售总量的 70% 左右。

5.1.4.3 技术障碍分析

生物质压缩成型技术已经不存在不可逾越的技术障碍，但是在项目建设

设的规范化方面尚需要认真对待，目前生物质压缩成型燃料生产企业很多，

但缺乏具有示范意义的工程。

预期在 2010—2011 年，在不同地区，使用比较典型的原料品种，建成数个国家级的示范工程，为生物质成型燃料生产提供样板，规范产业发展。



图 5-11 生物质成型燃料压缩机

5.1.5 干馏（炭化）

5.1.5.1 工艺路线

生物质干馏技术是将生物质原料在隔绝空气的环境中加热，使原料中富含的挥发份析出，成为生物质碳粉、木焦油、木醋液和燃气。干馏分为内热式和外热式两种，外热式是原料置于炭化室中加热，炭化室中没有氧化剂（空气）通入，挥发份热分解的热量完全来自原料之外。内热式则是将氧化剂（空气）通入炭化室，将生物质原料燃烧一部分，燃烧产生的热量供给挥发份分解。两种方式同样可以得到以上四种产品，但是内热式干馏的燃气热值将会下降。下图为内热式干馏的工艺流程示意图。

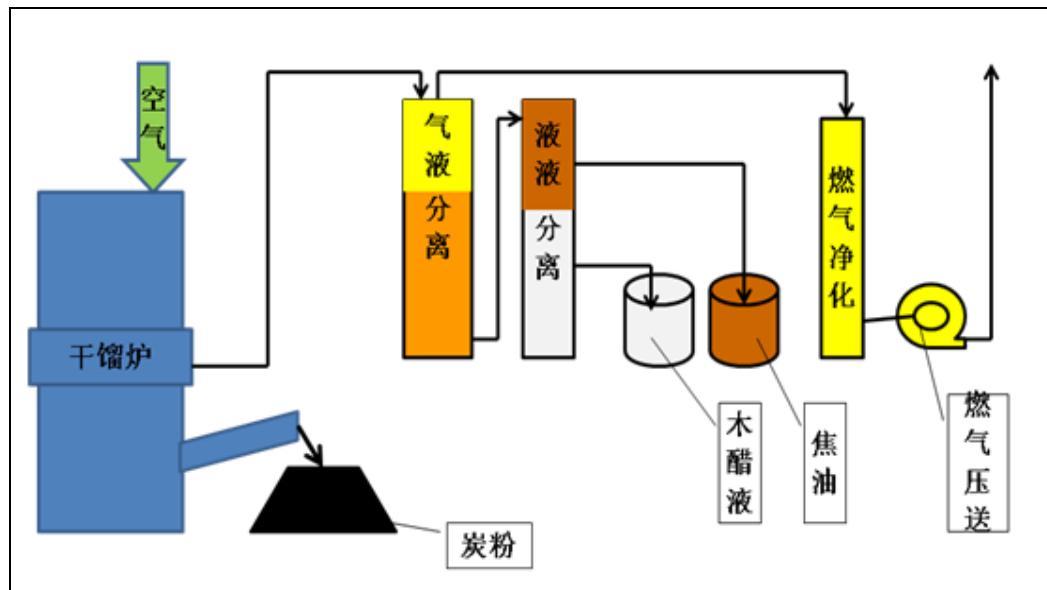


图 5-12 生物质内热式干馏工艺示意图

5.1.5.2 产业规模

生物质干馏技术的产业化应用目前刚刚起步,辽宁能源研究所研制的外热式干馏炉单炉规模很小,只能用于小规模的生产。河南三利公司研发的生物质连续式干馏技术,单炉处理量达到 14 吨/日的规模,已经具备产业化的能力。目前生物质干馏的生产已经建成 7 个生产点,其中 4 个配套了生物质燃气发电系统。

生物质干馏技术可以将生物质原料分解为燃气、焦油、木醋液和碳粉,其中燃气可以经过净化后直接用于燃烧或配置内燃发电机发电。碳粉、木醋液和焦油可以作为化工原料使用,而不是仅仅作为能源,这样可以大大提高物质原料利用价值,提高生物质干馏企业的经济效益。

5.1.5.3 技术障碍分析

生物质干馏技术目前需要解决的技术问题是符合产业化规模和技术标准的连续式干馏炉的研发,现有的连续式干馏炉在生产效率、转换效率、外观设计等方面都存在较大的问题,具有较大的提升空间。其次,生物质干馏产物有燃气、木焦油、木醋酸和生物质炭,产物的综合利用应属于干馏技术的范畴。木焦油、木醋酸和生物质炭均可作为化工原料,合理利用可以极大地提高生物质干馏项目的经济效益和社会效益,所以利用工艺和装备应该得到同样的重视。

预期到 2012 年可完成连续式生物质干馏炉和副产物综合利用工艺设备的研发，到 2014 年完成商业化示范工程，到 2014 年实现产业化推广。

5.1.6 技术发展趋势评价

按本报告前述的评价方法，在对上述各类农林剩余物能源化利用技术的现状和发展趋势进行具体分析的基础上，分别评分，得到各类技术在 2008 年、2015 年和 2020 年的得分。

表 5-2 农林剩余物能源化利用技术现状及发展趋势评分结果

年份	技术种类	直燃发电	气化发电	混燃发电	成型燃料	成型炭化
2008	技术成熟度	24	16	0	24	16
	技术障碍影响度	25	15	0	15	15
	自主知识产权	10	20	10	20	20
	合计	59	51	10	59	51
2015	技术成熟度	32	32	32	32	32
	技术障碍影响度	40	25	40	25	25
	自主知识产权	20	20	20	20	20
	合计	92	77	92	77	77
2020	技术成熟度	40	40	40	40	40
	技术障碍影响度	40	40	40	40	40
	自主知识产权	20	20	20	20	20
	合计	100	100	100	100	100

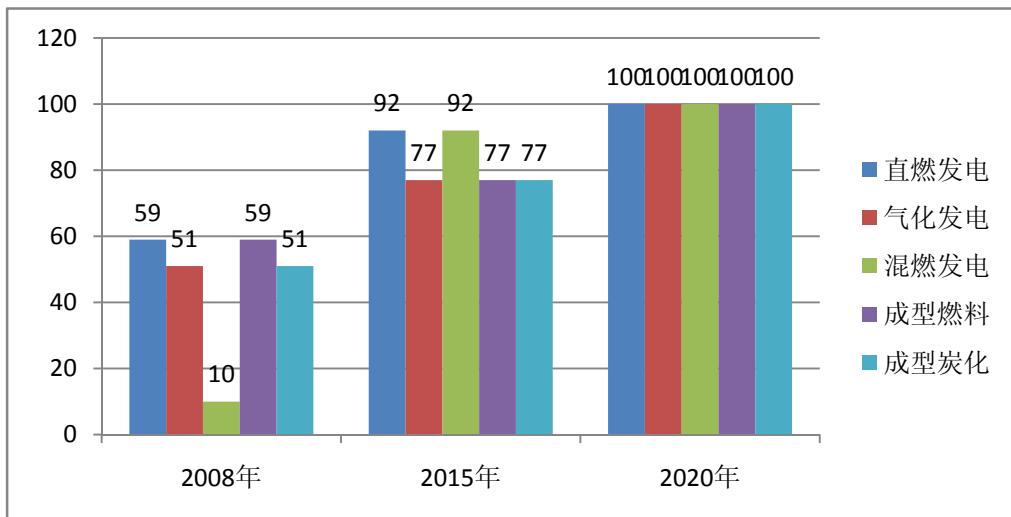


图 5-13 农林剩余物能源化利用技术现状及发展趋势评分结果

由图可见，2008 年，生物质混燃发电技术障碍对产业发展的影响最大。直燃发电和成型燃料两种技术则影响最低，这与目前产业发展的实际情况相符。到 2008 年底，生物质直燃发电总装机容量已经达到 60 万千瓦，生物质成型燃料总产量已近 100 万吨。而混燃发电不仅没有发展，甚至有所减少，存在的技术障碍主要是计量装置尚未研发成功，因此无法制定对混燃发电的电价补贴政策，使该技术无法得到推广使用。江苏两个热电厂原来使用了混燃发电技术，但是由于没有得到相应的电价补贴，掺混生物质燃料后增加的成本无法消化，目前已经停止掺混，并将原有的生物质混燃发电锅炉改为直燃发电。

从图中可以看出到 2015 年所有技术趋于成熟，对产业发展造成重大障碍的技术问题已经基本解决，重点是提高效率和降低成本。到 2020 年，

各类技术均可形成完整的技术体系，并得到广泛的使用。

5.2 畜禽粪便能源化利用

5.2.1 工艺路线

大中型沼气工程指沼气池单体容积在 $50m^3$ 以上，或总体沼气池容积在 $100m^3$ 以上，日产沼气在 $50m^3$ 以上，具有原料预处理、沼气、沼渣、沼液综合利用配套系统的系统工程。

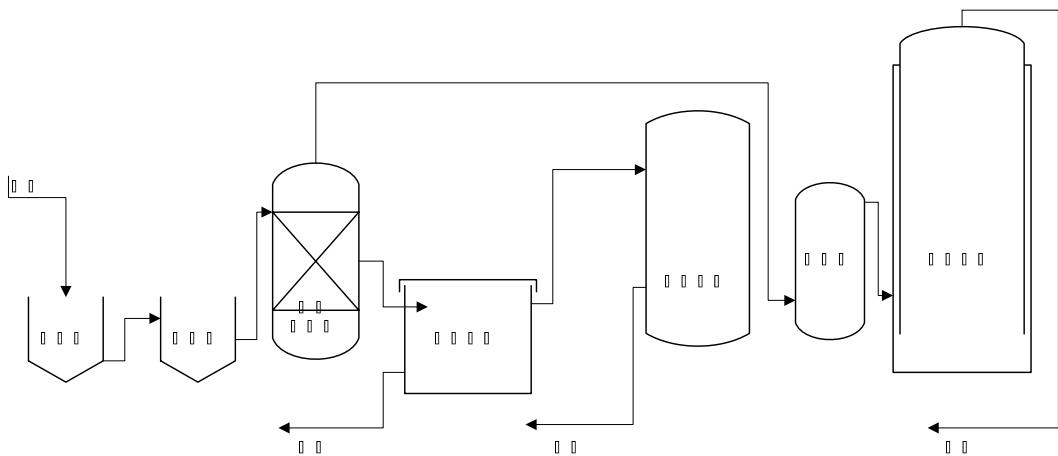


图 5-14 沼气生产工艺示意图

大中型沼气工程工艺通常可分为能源生态型和能源环保型两种类型。

5.2.2 产业规模

生物质制取沼气并发电，从 2005 年开始得到较快的发展，到 2008

年底，全国沼气发电总装机容量达 17.3 万千瓦，其中轻工行业（酒精及
酿酒业、淀粉、柠檬酸、造纸业等）装机容量为 7.9 万千瓦，占 45.5%；
市政（垃圾填埋气、污水处理沼气）装机容量为 4.5 万千瓦，占 25.3%；
养殖场沼气装机容量为 3.1 万千瓦，占 17.8%。

目前全国养殖场沼气发电的并网项目仅三处，分别为蒙牛集团，装机
容量 1MW；北京德清源，装机容量 2MW；山东民和集团，装机容量 3MW。
生物质制取沼气发电工程存在最大的问题，首先是项目装机容量太小，上
网困难；其次为没有得到政策性补贴。

5.2.3 技术障碍

沼气发电工艺路线主要技术障碍有两大类，一是沼气制取技术，二是
高效、大功率内燃发电机组。我国沼气制取技术中的制气工艺、菌种、自
动控制系统、发电机组等技术环节均落后于发达国家，导致沼气产率、单
位池容产气量、发电效率等指标均存在较大的差距。从国内现有研究成果
看，到 2012 年沼气制气环节的菌种、技术装备、装备制造等方面能实现
重大突破，到 2015 全面实现产业化。

目前我国能够稳定生产的沼气发电机组，最大单机容量为 500kW，
而且发电效率低于发达国家同类产品 10-15%。预期在 2011 年现有 500kW
机组发电效率可达到国际先进水平；2012 年可研发单机规模为 1MW 及

以上的沼气发电机组，到 2015 实现产业化。

5.2.4 技术发展趋势评价

按本报告前述的评价方法，在对养殖场沼气并网发电和沼气离网发电技术的现状和发展趋势进行具体分析的基础上，分别评分，得到各类技术在 2008 年、2015 年和 2020 年的得分。

表 5-3 养殖场沼气发电技术现状及发展趋势评价结果

年份	技术种类	沼气并网发电	沼气离网发电
2008	技术成熟度	16	16
	技术障碍影响度	25	25
	自主知识产权	10	20
	合计	51	60
2015	技术成熟度	32	32
	技术障碍影响度	40	25
	自主知识产权	20	20
	合计	92	77
2020	技术成熟度	40	40
	技术障碍影响度	40	40
	自主知识产权	20	20
	合计	100	100

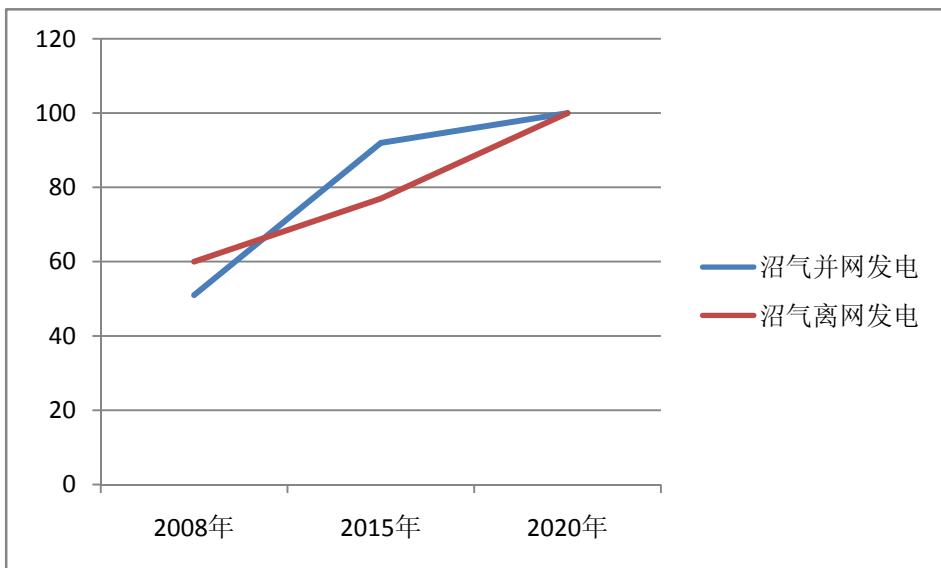


图 5-15 畜禽粪便能源化利用技术现状及发展趋势评分结果

由图表可见，2008 年沼气并网发电的技术综合评价得分低于沼气离网发电，与目前全国仅三处养殖场沼气并网发电的事实相符，得分较低的原因除了与离网发电相同的设备问题外，最大的原因是缺乏适用于小规模沼气发电系统并网的专用设备和技术标准。到 2015 年，沼气并网发电技术障碍基本消除，由于离网发电需要对系统进行（电量或沼气）调峰，系统较为复杂，需要解决的技术问题较沼气并网发电多，所以其得分将低于沼气并网发电，到 2020 年，两者的技术综合评分将趋于一致，即均已达到技术成熟的阶段。

5.3 城市生活垃圾处理

5.3.1 垃圾焚烧发电

5.3.1.1 工艺路线

生活垃圾焚烧发电是一种对城市垃圾进行高温热化学处理的技术。将垃圾作为固体燃料送入炉膛内燃烧，在 $800\sim1000^{\circ}\text{C}$ 的高温条件下，垃圾中的可燃组分与空气中的氧进行剧烈的化学反应，释放出热量转化为高温的燃烧气和少量性质稳定的固定残渣。当垃圾有足够的热值时，垃圾能靠自身的能量维持自燃，而不用提供辅助燃料。垃圾燃烧产生的高温燃烧气通过垃圾锅炉内设置的热交换器产生高温高压蒸汽，蒸汽推动汽轮机，并带动发电机发电。垃圾焚烧锅炉中产生的性质稳定的残渣可直接填埋处置。经过焚烧处理，垃圾中的细菌、病毒能被彻底消灭，各种恶臭气体得到高温分解，烟气中的有害气体经处理达标后排放。因此，可以说焚烧处理是实现垃圾无害化、减量化和资源化的最有效的手段之一。

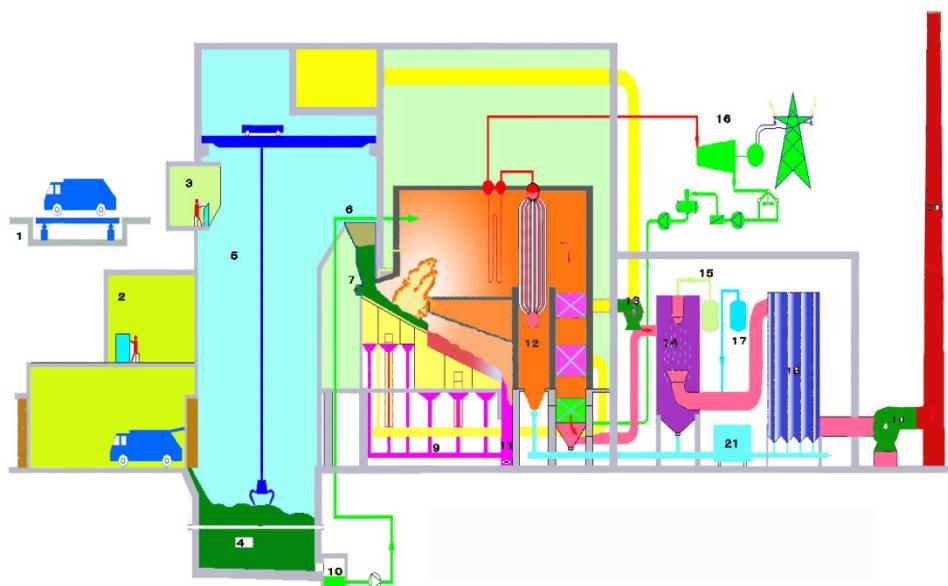


图 5-16 垃圾焚烧发电工艺流程图

5.3.1.2 产业规模

据 2009 年中国城市建设统计年鉴，截至 2008 年底，全国 655 座设市城市生活垃圾清运量 1.54 亿吨，集中处理量约 1 亿吨，集中处理率为 66.8%；有各类生活垃圾场超过 500 座，其中城市生活垃圾填埋场 407 座；城市生活垃圾堆肥厂 14 座；城市生活阿吉焚烧厂 78 座；其他为一些综合处理厂。

表 5-4 2008 年生活垃圾焚烧发电厂现状

技术类型	数量	总装机容量 (MW)
炉排炉	36	490
流化床	37	530
其他	5	39
小计	78	1059

5.3.1.3 技术障碍

国际上垃圾发电一般采用炉排式焚烧炉，为了提高炉膛温度，以有效分解剧毒物质二噁英，需要在操作时喷入一定数量的燃油或燃气。我国约有一半垃圾焚烧炉采用此技术。在建成的垃圾焚烧发电厂中，约有 37 家采用循环流化床垃圾焚烧炉，这种炉型由于炉内温度均匀，炉膛出口温度高，可以有效地分解剧毒物质二噁英类物质，而且投资炉排式垃圾焚烧炉

低 20-30%。该技术主要由浙江大学和清华大学研发，是一种适合我国国情的技术，在国际垃圾焚烧处理领域内也已经得到肯定，但是，由于该技术需要在垃圾处理过程中加入一定比例的煤炭，因此与生物质混燃技术同样，存在缺乏有效的计量和监督的问题，所以目前采用该技术的垃圾焚烧发电厂没有得到可再生能源电价补贴。

不能对所有技术一视同仁地给予补贴，并不是技术问题，而是存在政策障碍，目前有关部门已经开始对此问题进行研究，并提出解决方案，预计在 2010 年可以出台相关政策，消除垃圾处理技术多元化发展的障碍。

5.3.2 垃圾填埋气发电

5.3.2.1 工艺路线

垃圾填埋气发电系统一般由气体收集系统、净化加压系统、燃气机发电及电气并网系统组成。填埋气被收集后经过气液分离器初步过滤，除去大液滴和细粒，然后经涡轮增压器增压，冷却器冷却后送入凝聚过滤器进一步过滤，除去较小的液滴和细粒，再进入燃气机，通过火花塞高压点火，燃烧膨胀推动活塞做功，通过连杆曲轴装置，带动使发电机转动发出电能。燃气机产生的废气经排气管、换热装置、消音器、烟囱排到室外。

要高效地收集填埋气，必须改善其收集方式，变被动排放系统为主动收集系统。根据填埋场气体勘探情况，在垃圾堆体上合理布局，垂直钻孔

打井或铺设水平收集管网，通过管网抽气输送到处理和应用设备，进行相应的利用。同时，为了最大限度地达到气体收集，填埋场还应采取防渗、覆盖（或封场）、排水等措施，因此也可以对填埋场的规范管理起到一定的促进作用。



图 5-17 垃圾填埋场

5.3.2.2 产业规模

近年来，国内垃圾填埋场逐渐重视垃圾填埋气体的收集和管理，有些垃圾场采用主动式填埋气体集中回收燃烧系统；有些将填埋气体作为清洁的可替代能源进行回收综合利用而建设了填埋气体发电厂等项目；如杭州市天子岭、无锡市桃花山、南京市水阁、广州市大田山等垃圾填埋场利用垃圾填埋气体发电上网销售；鞍山市羊耳峪垃圾填埋场垃圾填埋气体净

化后用于汽车燃料。

5.3.2.3 技术障碍

垃圾填埋气发电技术的主要障碍有二，一为缺少高效、大功率沼气发电机组，此问题与畜禽粪便沼气发电技术障碍相同，不再赘述。

垃圾填埋气技术的另一大技术障碍是垃圾渗沥液的处理，垃圾填埋后将有部分液体物渗出，称为渗沥液，这些渗沥液含有大量有机物以及有害物质，对环境危害极大。采取常规的污水处理工艺无法有效地处理渗沥液，现有的方法是将渗沥液稀释后并入城市污水处理系统，这种工艺成本很高，同时大大加重了城市污水处理系统的负担。目前上海江桥垃圾发电厂，石家庄垃圾发电厂等单位正在研发不同的渗沥液无害化处理工艺，并以取得一定的成果。预计到 2011 年，渗沥液无害化处理技术将实现突破，2014 年可以得到产业化推广。

5.3.3 技术发展趋势评价

按本报告前述的评价方法，在对垃圾焚烧发电和垃圾填埋气发电技术的现状和发展趋势进行具体分析的基础上，分别评分，得到各类技术在 2008 年、2015 年和 2020 年的得分。

表 5-5 垃圾发电技术现状及发展趋势评价结果

年份	技术种类	垃圾焚烧发电	垃圾填埋气发电
2008	技术成熟度	32	24
	技术障碍影响度	25	15
	自主知识产权	10	10
	合计	67	49
2015	技术成熟度	32	32
	技术障碍影响度	25	40
	自主知识产权	20	20
	合计	77	92
2020	技术成熟度	40	40
	技术障碍影响度	40	40
	自主知识产权	20	20
	合计	100	100

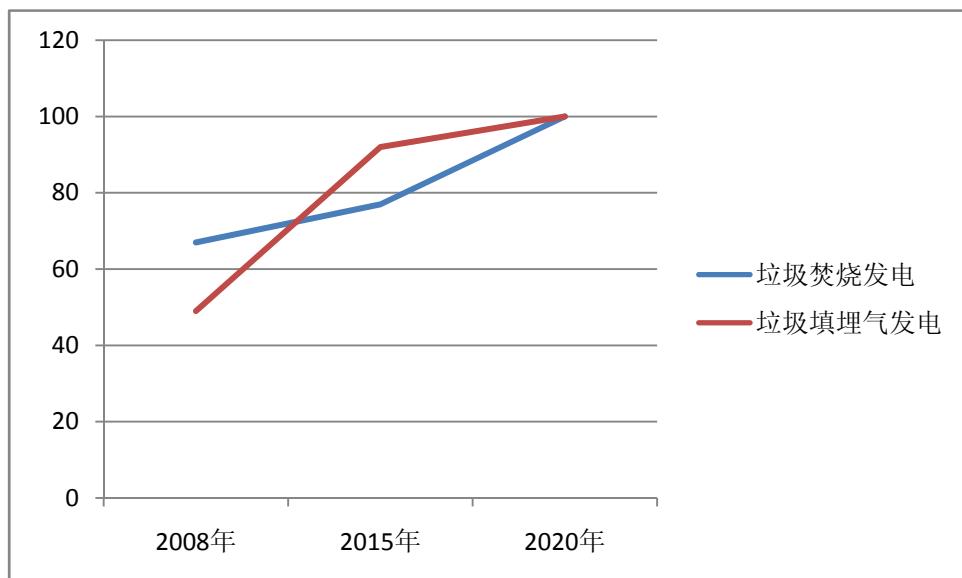


图 5-18 垃圾发电技术现状及发展趋势评分结果

由图表可见，2008 年垃圾填埋气并网发电的技术综合评价得分低于垃圾焚烧发电技术，主要原因是目前尚缺乏适用于小规模沼气发电装

置并网的专用设备和标准，到 2015 年，并网问题得到解决后其技术成熟度将高于垃圾焚烧发电，到 2020 年，两者的技术综合评分将趋于一致，即均已达到技术成熟的阶段。

5.4 液体燃料技术

生物液体燃料具有非常多样的原料资源、生产技术路线和产品。根据生物液体燃料的生产技术，生物质资源可分为木质纤维素、淀粉和糖、动植物及微生物油脂等。在可预见期内，主要的生物燃料产品主要是燃料乙醇、生物柴油（脂肪酸烷基酯）、生物油（生物质热解油）、催化加氢生物柴油（碳氢燃料）、费托生物柴油、生物甲烷、生物甲醇、生物二甲醚、生物氢等（见下图）。

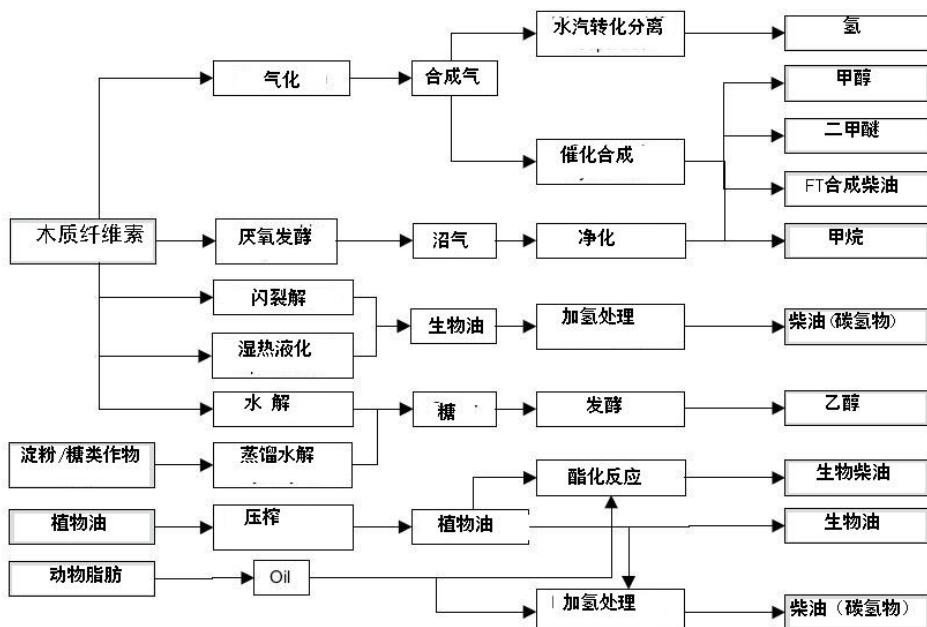


图 5-19 利用生物质资源生产液体燃料的技术路线

（资料来源：IPCC 第三工作组，2007）

目前，以粮糖油生物质为原料的燃料乙醇和生物柴油已总体上具备一定的经济竞争力，进入商业化阶段；其它种类生物液体燃料的生产技术还不成熟、生产成本还显著高于汽油柴油等石油燃料，预计在中远期才能具备经济竞争力；其中，纤维素乙醇是国内外普遍重视、商业化前景最好的下一代生物液体燃料技术。

5.4.1 燃料乙醇

5.4.1.1 工艺路线

目前，国内外普遍利用玉米、甘蔗等可食用粮食（淀粉）和糖类原料生产燃料乙醇，近年来国内外日益重视利用木薯、（富含糖分的）甜高粱茎秆、农作物秸秆等非粮原料生产燃料乙醇。目前，燃料乙醇的生产技术工艺基本上都是发酵法，合成法技术工艺尚未在燃料乙醇工业得到应用。

淀粉类燃料乙醇是目前的主要燃料乙醇产品，其生产过程大体上可分为三个阶段：大分子物质（包括粉淀）水解为葡萄糖、木糖等单糖分子；单糖分子经糖解形成 2 分子丙酮酸；丙酮酸在无氧条件下还原为 2 分子乙醇，并释放 CO₂。典型的玉米、小麦等淀粉质原料生产乙醇工艺流程如图 5-20 所示。以甘蔗为原料的燃料乙醇生产工艺无需淀粉原料的蒸煮、糖化等过程。

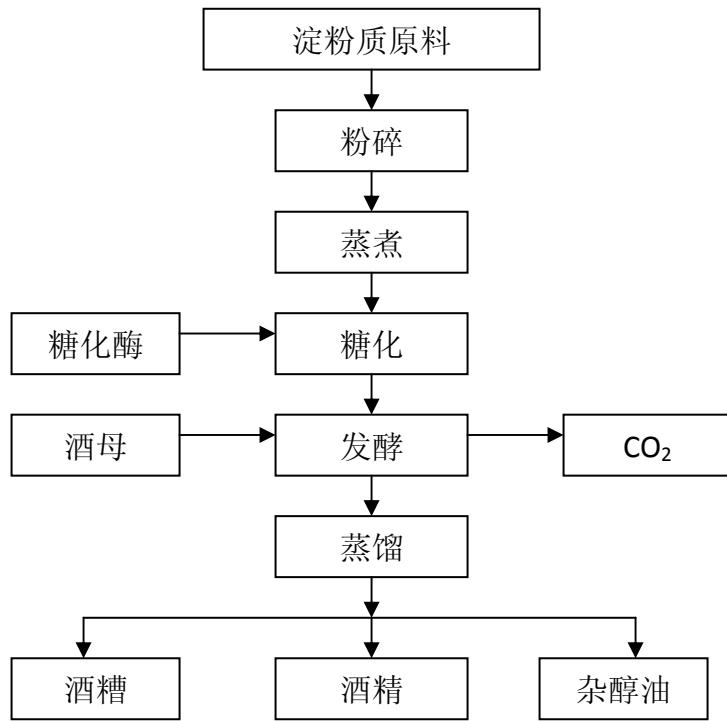


图 5-20 玉米、小麦质原料生产乙醇工艺流程

甜高粱制乙醇主要是利用富含糖分的茎汁制取乙醇。甜高粱茎汁制乙醇是将茎秆糖汁榨出，利用其所含的蔗糖、葡萄糖和果糖直接进行液态发酵生产乙醇，其原理简单，操作简便。用甜高粱茎秆制取的乙醇工艺流程工序，如图 5-21 所示。

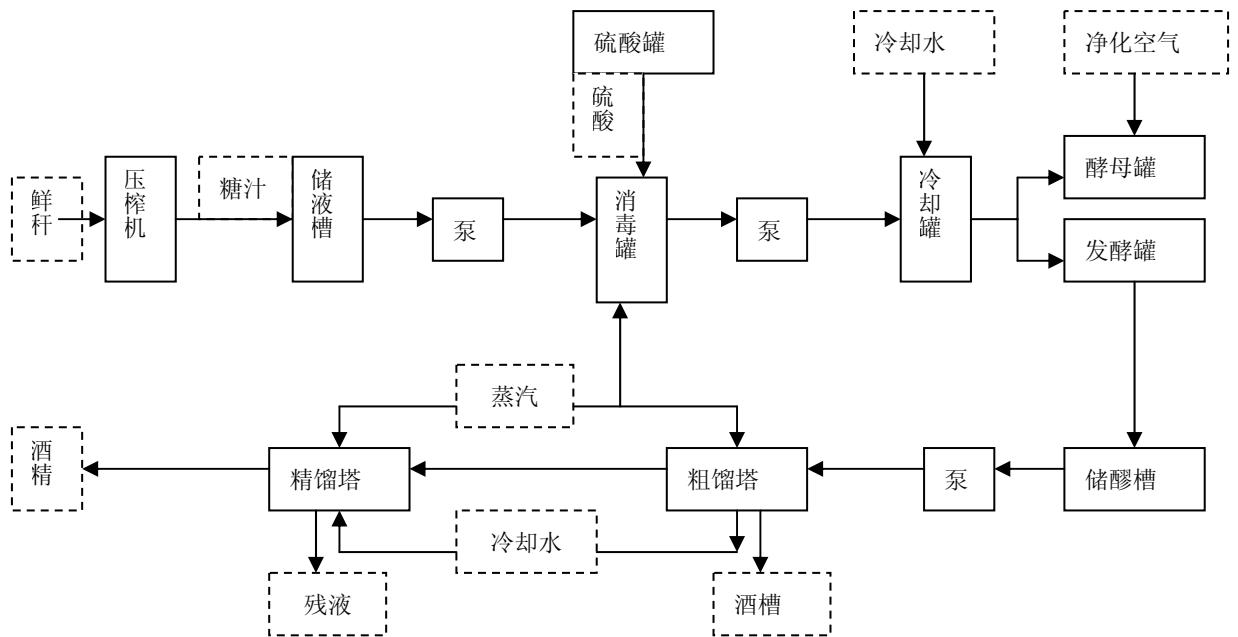


图 5-21 甜高粱茎秆生产乙醇工艺流程图

纤维素乙醇被认为是最具有开发利用前景的技术之一，具有以下突出优点：原料丰富、来源广泛，可利用废弃物，潜力巨大，具有显著的节能减排效益。纤维素生产乙醇的基本技术原理是通过水解将原料中的纤维素转变为单糖，然后再把单糖发酵转化成为乙醇，一般工艺流程如图 5-22 所示。纤维素乙醇生产工艺路线的关键环节是原料预处理、水解糖化、纤维素糖化产物的发酵等。

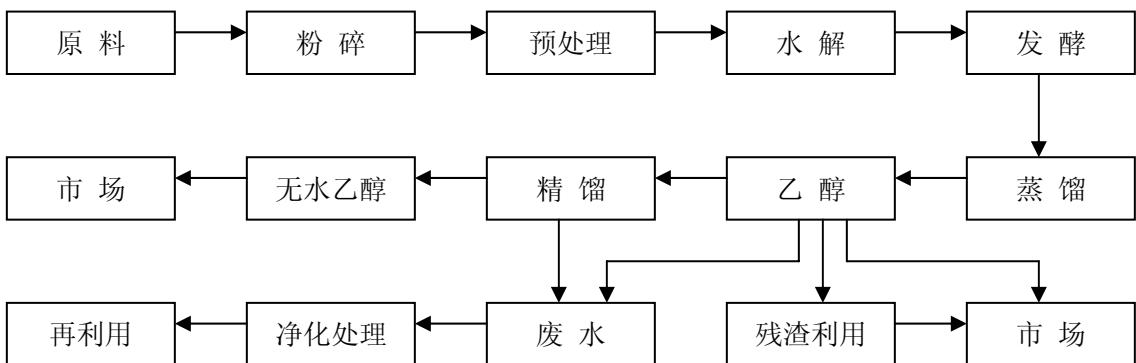


图 5-22 纤维素原料燃料乙醇生产的一般工艺流程

不同原料燃料乙醇生产工艺技术特性对比见下表。

表 5-6 不同原料燃料乙醇生产工艺技术特性对比

步骤\种类	淀粉类	糖类	纤维素类
预处理	粉碎、蒸煮、糊化	压榨、调节	粉碎、物理或化学处理
水解	酸或酶糖化，易水解，产物单一，无发酵抑制物	无水解过程，无发酵抑制物	水解较难，产物复杂，有发酵抑制物
发酵	淀粉酶、酵母发酵六碳糖	耐乙醇酵母发酵六碳糖	专用酵母发酵六碳糖和五碳糖
提取	蒸馏、精馏、纯化	蒸馏、精馏、纯化	蒸馏、精馏、纯化
副产品	饲料、沼气、CO ₂	肥料、沼气、CO ₂	木质素（燃料）CO ₂

5.4.1.2 产业规模

从 2001 年开始，国家投资 50 余亿元，批准全国建立 4 个以消化陈化粮为主要目标的燃料乙醇企业，分别是吉林燃料乙醇有限责任公司、河

南天冠集团、安徽丰原生物化学股份有限公司和黑龙江华润酒精有限公司，除天冠集团以小麦为原料外，其他三家均以玉米为主要生产原料，总产能 102 万吨（详见表 5-7），后扩大生产能力到 132 万吨。2009 年，我国生产销售 172 万吨燃料乙醇，共生产 1720 万吨乙醇汽油，在我国十一个省封闭运行，直接替代车用汽油约 140 万吨，已成为世界上继巴西、美国之后第三大生物燃料乙醇生产使用国。

表 5-7 我国陈化粮乙醇生产企业概况

企业名称	投产年份	生产原料	年产量 (万吨)	销售范围
吉林燃料乙醇有限责任公司	2003	玉米	30	吉林(10 万吨)，辽宁(20 万吨)
河南天冠集团	2001	小麦	30	河南(13 万吨)，其余销往湖北 9 个地市和河北 4 个地市
安徽丰原生物化学股份有限公司	2005	玉米，马铃薯	32	安徽(10 万吨)，其余销往山东省 7 个地市，河北 2 个地市和江苏 1 个地市
黑龙江华润酒精有限公司		玉米	10	黑龙江

木薯乙醇技术最为成熟，已进入示范阶段。木薯种植产业和木薯制取乙醇技术最为成熟，木薯乙醇成为非粮燃料乙醇试点的首先方向。2007 年，中粮生物质能源有限公司在广西建成了年产 20 万吨木薯燃料乙醇项

目。目前，广东、海南等省份也在筹备木薯燃料乙醇项目。我国甘薯种植区域广泛，甘薯乙醇技术基本成熟。2006 年，国家发展改革委组织的重点省份生物燃料乙醇专项规划开展评估结果显示，湖北、河北、江苏、江西、重庆 5 省在甘薯种植方面具有较长的历史、一定规模和边际性土地资源，具备发展甘薯燃料乙醇产业的基础。目前这些省份正开展甘薯燃料乙醇项目前期工作。

甜高粱乙醇处于技术研发和小规模示范阶段。非粮燃料乙醇北京泰天地能源技术开发有限公司和黑龙江桦川四益乙醇有限公司承担了“十五”国家 863 计划“甜高粱秆制取乙醇”示范项目，自 2003 年开始甜高粱种植和小规模乙醇试生产，2005 年生产规模达到年产甜高粱秆乙醇 5000 吨的生产能力和年产 2 万吨制浆造纸的规模。另外，一批中小民营企业近年来积极参与“十五”国家 863 计划“甜高粱秆制取乙醇”推广项目，种植数万亩甜高粱，建设了年产数千吨乙醇的生产装置。中国海洋石油公司、吉林燃料乙醇公司等大中型企业也积极开展甜高粱种植和制取乙醇试验示范项目。BP 和 Shell 等国际石油公司也在我国组织开展甜高粱种植和制取燃料乙醇项目的调研试验工作。

纤维素乙醇目前仍处于技术研发阶段。目前，国内外均致力于纤维素乙醇欧美已经或计划建一批研究示范、准工业化示范和商业化示范生产工厂。加拿大 Iogen 公司 2004 年在渥太华建成了世界首座较大型纤维素试

验生产厂，规模为 3000 吨/年，日处理麦秸 40 吨，每吨麦秸产乙醇 300 升。在美国和加拿大两国政府支持下，logen 公司计划在北美建设一个商业规模的纤维素乙醇生产厂，设计规模为 5000 万加仑/年，以麦秸为原料。华东理工大学承担的国家 863 重点课题“纤维素废弃物制取乙醇技术”，通过生化法和热转化法的有机结合，制取燃料乙醇的试验规模已达到 600 吨/年。河南天冠集团、中国科学院过程所分别在河南、山东建成年产 3000 吨乙醇的示范生产厂，目前正在试验。安徽丰原集团与国内有关大专院校共同研究，在原料预处理、纤维素酶的培育等方面取得初步成果，建成了年产 1000 吨秸秆乙醇的中试装置。2006 年中粮集团与 Novozymes 合作建设的纤维素乙醇示范装置，以玉米秸秆为原料，在原料预处理、纤维素转化以及酶制剂生产成本等方面均取得实质性进展，当年 11 月一次投料试车成功，实现每生产 1 吨乙醇消耗 7 吨玉米秸秆，纤维素酶解转化率达到 92%，成熟醪酒分为 5%，纤维素出酒率为 37.7%，蒸气消耗 7t/t 乙醇，总能耗折标煤 1010kg /t 乙醇，实验结果显示各项技术指标均达到预期的先进水平。除此之外，还有不少的机构和单位(如南京工业大学、清华大学等)目前都在积极地开展这方面研究，也取得一定的结果。但是，从总体来说，该项技术尚不成熟，还有不少关键性的技术问题尚待研究解决。

5.4.1.3 技术障碍

目前淀粉和糖类乙醇的技术工艺已趋成熟，而甜高粱茎秆乙醇和纤维素议程还不成熟，商业化应用还存在技术障碍。

甜高粱茎汁制乙醇的优点是工艺简单，缺点是榨汁需要耗能、残渣中残留糖分(一般为5%~10%)、新鲜茎秆或茎汁的存储问题、废水处理问题等，这些都会增加乙醇的生产成本，且生产容易受到收获季节的影响。甜高粱燃料乙醇生产的最大问题是保持甜高粱糖分的贮存技术。甜高粱茎秆发酵分为固态和液态两种方式。液态发酵能耗高，对环境存在污染，但发酵时间短；固态发酵污水和废物排放少，酒精浓度高，较适合中国北方条件。但目前固态发酵工艺采用传统的“窑式”酿酒工艺，发酵时间长，难以形成规模效益。甜高粱茎秆纤维制乙醇可归属于纤维素乙醇领域，是利用茎秆中的纤维素、半纤维素等碳水化合物水解生成可发酵糖，再经发酵制乙醇；多采用固态发酵工艺，发酵方式有分离糖化发酵、同步糖化发酵、同步糖化共发酵等。目前生产工艺的研究重点是提高纤维素、半纤维素水解产可发酵糖的产率、改进发酵方式和发酵设备(如提高装置机械化、自动化程度等)、提高产物乙醇的转化率、提高经济可行性等方面。

纤维素制取乙醇的困难，在于纤维素与木质素的分离和纤维素转化为糖、乙醇以及低成本纤维素酶的制备等问题。**纤维素生物燃料酒精技术**的今后主要技术挑战和发展方向是：

(1) 预处理综合化。 目前用于纤维素原料预处理的工艺很多，但多数不能彻底分离纤维素以及包裹在纤维素周围的半纤维素和木质素。因此，采用多种方式协同作用来改善处理效果，有效地使纤维素与半纤维素和木质素分离，而又不破坏它们各自的分子结构，从而减少酶抑制物的生成，为后续的酶解发酵工艺创造有利条件，这样，将在一定程度上降低处理成本，提高纤维素乙醇转化的转化效率。

(2) 改进糖化工艺。 纤维素的水解效率和单糖产量，将直接影响发酵过程的酒精产率。酶水解较酸水解有较大的优越性，无疑将成为主要发展方向。但酶水解中需大量使用的纤维素酶仍存在成本高、生产规模小、工艺复杂等问题。固态发酵技术的应用有望改变这种局面，使纤维素酶能够大规模的工业化生产。另外，对纤维素酶进行适当地筛选、混配和改型，将有利于提高纤维素及半纤维素的水解率和利用率。

(3) 发酵菌株筛选。 对菌株进行特别的定向筛选，可以提高发酵生产效率、适应特定原料。例如：筛选出抗高浓度糖的基因突变菌株，将有利于克服纤维素水解过程的抑制效应、提高发酵效率及乙醇产量；筛选培养高效的直接发酵菌株，使之能够适应特殊基质条件、简化生产工艺、降低生产成本；筛选出耐热酵母菌，在 SSF 法中与普通酵母菌混合发酵，以减小最适温度差异对菌株生长和发酵效率的影响。

(4) 改进发酵工艺。 为减轻乙醇对菌株生长及乙醇生成的抑制作用，

可以采用真空、气提、膜分离等技术手段，将发酵过程产生的乙醇不断抽出，使发酵罐中的乙醇浓度 $\leq 10\%$ ，以提高发酵罐的生产能力、节省蒸馏过程中蒸汽的消耗量。此外，采用连续细胞循环工艺，也可以大幅度减少菌种消耗、降低生产成本。

(5) 固态发酵工艺研发。虽然固态发酵过程的水活度低，菌体生长、营养物质传输及代谢物分泌的均匀性较差，发酵参数检测控制、纯种培养和大规模工业化生产的难度较高，但是具有生产工艺简单、生产成本低、能耗低、发酵残渣易于处理等优点，有望大规模工业化应用。此外，固态发酵在纤维素酶生产方面的应用，也已收到了显著降低成本的效果。

(6) 工艺流程优化。如前所述，天然植物的纤维素原料在化学成分、物理性状和生物特性方面存在巨大的差别，因此不可能存在一种或者少数几种通用的利用纤维素原料生产燃料酒精的生产工艺，而必须根据具体的纤维素原料特征，进行针对性的工艺流程设计。

5.4.2 生物柴油

5.4.2.1 工艺路线

一般生物柴油的制备方法包括直接混合法、微乳液法、高温热解法和酯交换法。目前生物柴油一般指利用酯交换法，以动植物油以及废餐饮油为原料和甲醇、乙醇等醇类物质在催化剂作用下进行酯交换反应，生成的

脂肪酸甲(乙)酯，并产生副产品甘油。制造生物柴油的原料多种多样。既可以用各种废弃的动植油，如地沟油、工业废油等，也可以用含油量高的油料植物，如油茶籽、大豆、小桐子树、黄连木等。

目前，国内外生物柴油生产技术主要以化学法为主，即采用植物油（或动物油）与甲醇或乙醇在酸、碱性或生物酶等催化剂作用下进行酯交换反应，生成相应的脂肪酸甲酯或乙酯燃料油。生物柴油生产的一般工艺流程图 5-23 示。利用废油生物柴油，通常需要先清除废油中的杂质。以小桐籽等油料植物为原料生物柴油则需要先去壳榨油，还可以实现资源综合利用，其一体化生产流程见图 5-24。

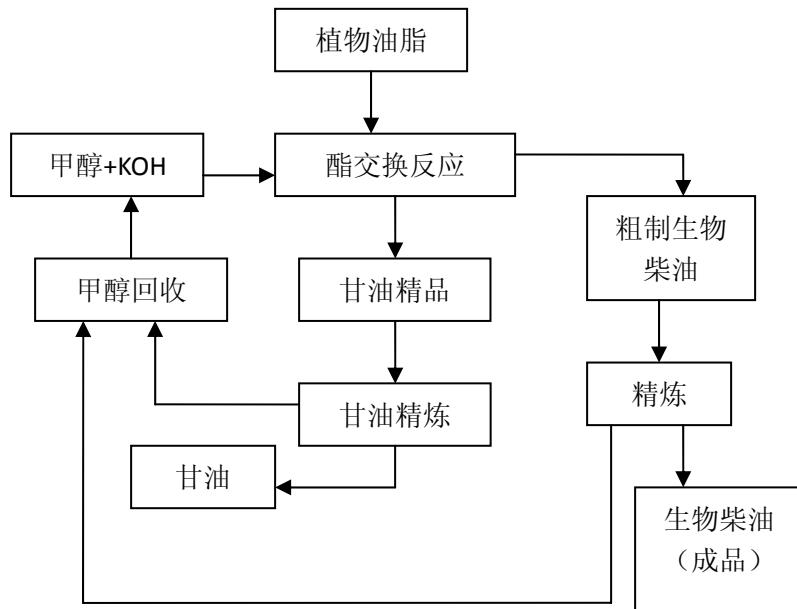


图 5-23 化学法生产生物柴油生产的一般工艺流程图

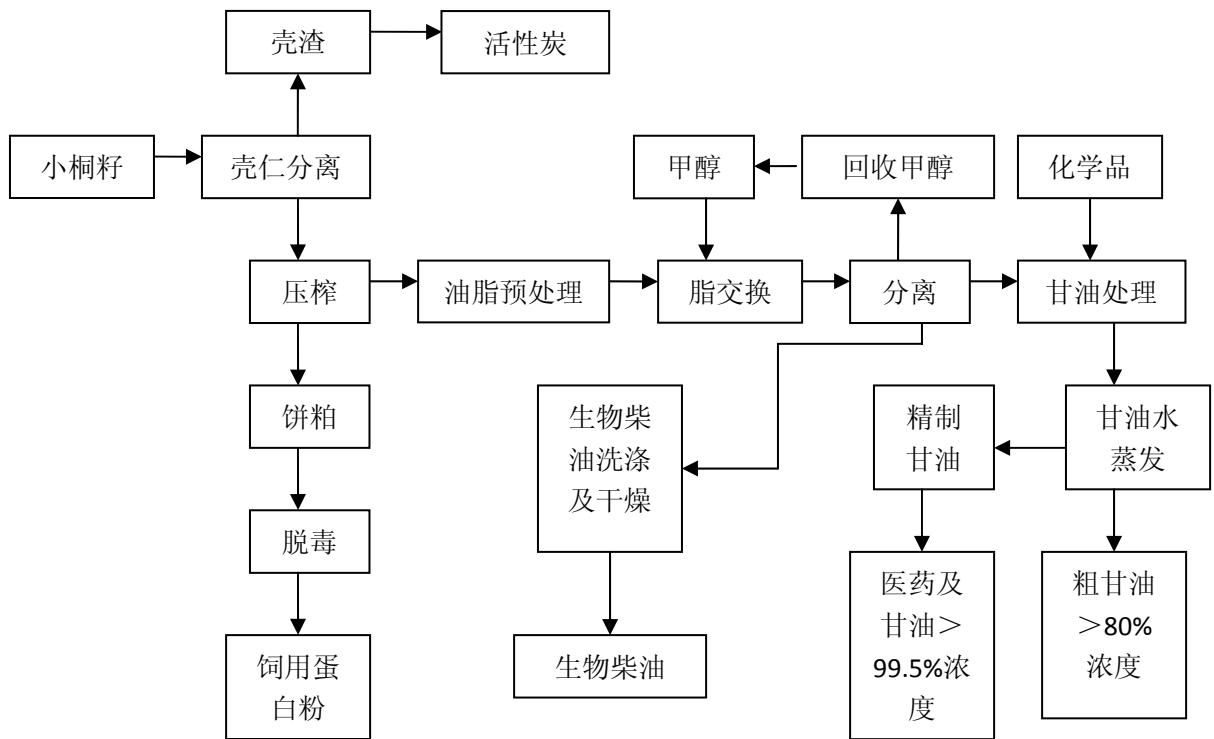


图 5-24 小桐籽生物柴油一体化生产流程框图

5.4.2.2 产业规模

我国生物柴油产业也在“十五”期间起步，主要是一批民营企业通过收集利用餐饮废油、野生油料植物果实等废弃动植物油脂原料生产生物柴油，但没有进入车用成品油的主要流通使用体系，而是分散用作农业和工程机械燃料。例如，2001 年由海南正和生物能源公司投资的我国第一家生物柴油生产工厂在河北武安市正式建成投产。该厂以餐饮废油、油脂精炼后的油脚和皂脚以及黄连木油果为原料，设计年生产生物柴油为 1 万

吨。同年 6 月四川古杉油脂化学公司正式成立，并于当年 11 月在绵阳建成了 1 万吨 / 年的生物柴油生产线。该公司使用植物油精炼下脚料、餐饮废油、泔水油及动物油等生产生物柴油。2001 年 11 月福建卓越能源公司成立，2002 年下半年设计生产能力为 2 万吨/年的生物柴油生产线在龙岩正式建成投产，该厂以餐饮和食品企业的废油以及回收的泔水油和地沟油为原料生产生物柴油。

在非粮生物燃料乙醇取得了阶段性成果的同时，开展生物柴油产业化示范工作的时机也已基本成熟。“十一五”以来，生物柴油产业呈加速发展态势，一大批企业积极建设数万吨级生物柴油项目，除了利用餐饮废油等原料，启动建设小桐子、黄连木等油料植物种植基地。相关统计显示，2007 年底全国已建成并持续生产的万吨级生物柴油生产企业大约只有 20 家左右，基本上全是废油生物柴油生产企业（见表 5-8）。虽然我国已于 2007 年颁布了《柴油机燃料调和用生物柴油（B100）》的推荐标准，但尚未制定普通柴油掺混生物柴油的最终使用标准，也没有正式把生物柴油纳入车用成品油经销体系，因而目前各生产企业通过分散渠道销售给当地厂矿和个别油品销售企业。

表 5-8 2007 年底已建成投产的主要生物柴油生产企业

企业名称	地点	规模 万吨/年	原料	工艺
龙岩卓越新能源有限公司	福建龙岩	5	地沟油、潲水油	化学固体催化剂，连续生产
厦门卓越生物质能源有限公司	福建厦门	5	地沟油、潲水油	化学固体催化剂，连续生产
海纳百川生物工程有限公司	湖南益阳	2	地沟油、潲水油	酶法连续生产
上海年产 1 万吨级酶法生物柴油装置	上海	1	地沟油	酶法连续生产
三水正合精细化工有限公司	广东佛山	2	地沟油	液体酸碱法，批量生产
四川古杉油脂化学有限公司	四川绵阳市三台县	3	地沟油	液体酸碱法，批量生产
无锡华宏生物燃料有限公司	江苏无锡	2	地沟油	不详
浙江东江能源科技有限公司	浙江桐乡	5	地沟油	不详
柳州明惠生物燃料有限公司	广西柳州	2.4	潲水油、植物油渣，棕榈油	不详
河南星火生物能源有限公司	河南商丘市	5	废弃的动植物油脂	不详
北京古杉油脂化学有限公司	北京	5	地沟油	不详
西南航天科技集团生物柴油有限公司	贵阳	2	地沟油	不详
中水生物柴油公司	贵阳	2	地沟油	不详
源华能源科技(福建)有限公司	福州	6	地沟油 小桐油	固体碱催化剂 连续生产
合计	—	47.4	—	—

为提高生物柴油产业发展水平，国家发展改革委 2006 年组织实施的“生物质工程高技术产业化专项”重点支持了一批以木本油料植物及废油脂为原料的生物柴油产业化示范工程项目。2007 年初，中石油和中粮公

司分别与国家林业局就“发展林业生物质能源”签署了合作框架协议，正式启动了生物能源基地林建设，确定了云南、四川、湖南、安徽、河北、陕西五个基地，计划在 15 年内种植 2 亿亩能源林。2007 年，国家发展改革委批准了三大石油公司的 3 个小油桐生物柴油产业化示范项目，包括中石油南充炼油化工总厂年产 6 万吨生物柴油项目年、中石化贵州分公司年产 5 万吨生物柴油项目和中海油海南年产 6 万吨生物柴油项目。

5.4.2.3 技术障碍

生物柴油产业的发展的障碍主要是油脂原料供应不足，缺乏优良的催化剂也影响产业的发展。

据业内粗略估计，2007 年底我国有大小生物柴油生产企业（作坊）数百家，但绝大部分都是主要从事废油生物柴油生产或刚刚成立的中小企业。受生产项目规模、废油资源收集利用量、油料植物种植基地建设进度的限制，目前只有少数生物柴油企业实现规模化持续生产。首先，各类废油的收集渠道尚未普遍建立，废油的收集供应还不稳定、充足。其次，原料植物的选育栽培和规模经营技术有待完善。现有能源植物的原料资源总量有限、产量较低、分布分散、管理粗放，而新型良种能源植物的选育、丰产栽培、收获处理技术仍不完善。例如，目前小桐子的利用研究仍处于野生种收集和利用的初步阶段，主要是展开生物学特性、遗传特征、适应

性、生产性能等研究，产量不稳定。而且，考虑到大多数燃料油原料都源自农业和林业生产，而农林生产到目前为止依然未根本改变“靠天吃饭”的局面，其生产产品的数量和质量在相当大程度上依然取决于天气，抵抗潜在自然灾害的能力不足。第三，原料资源来源多样、品质不一。特别地，目前生物柴油原料包括各类各地废油、各种油料植物等，品质不一，威胁生物柴油品质的稳定性及符合产品标准。即使是小桐子，不同品种的油品质等都参差不齐，其脂肪酸组成、碘值、游离脂肪酸和皂化值等影响柴油成品品质的指标也变化很大。

在生产工艺上，缺乏优良的催化剂对生物柴油的质量、产率、原料适用性、和环境影响有很大的影响。首先，均相催化酯交换反应是目前应用最广泛的生物柴油制备方法，通常采用的碱性或酸性催化剂。目前欧美各国生物柴油工业化生产工艺主要是均相的酸、碱催化酯交换反应，其工艺已趋于成熟。但均相催化酯交换反应仍有一些显著缺点，如工艺复杂、成本能耗高、废催化剂难以与产物分离，在处理废催化剂的过程中会造成环境污染等。其次，非均相催化剂可以较好地解决催化剂与产物分离的问题，并且可以减少废催化剂对环境的污染，是较好的一个发展方向，但到目前为止还没有特别好的工业用非均相催化剂，因此其工业化应用还有待进一步的研究。第三，酶法对油脂的选择性小，既可以处理普通的植物油脂，还可以直接处理废弃油脂如地沟油、泔水油等。而且，酶法合成生物柴油

技术具有反应条件温和、醇用量小、产物易分离、可以回收甘油、无污染物排放等优点，对生物柴油加工过程的资源综合利用和降低成本有重要作用，是生物柴油研究领域的热点之一。目前酶法合成生物柴油虽然可以达到较高的产率，但它们的成本过高，难以进行大量的工业化应用，很多技术还尚未成熟，需要进一步研究。第四，超临界法生物柴油生产技术使原料甲醇在超临界温度条件下与动植物油脂进行反应，反应速度大幅度提高，不使用催化剂就能以高效率合成脂肪酸甲酯，具有时间短、对原料要求较低、提纯过程简单、脂肪酸甲酯产率高、后处理过程简单、对环境友好无污染等特点，有较大的发展潜力。

5.4.3 技术发展趋势评价

按本报告前述的评价方法，在对木薯乙醇、甜高粱（茎秆）乙醇、纤维素乙醇、废油生物柴油和麻疯树（小桐子）生物柴油技术的现状和发展趋势进行具体分析的基础上，分别评分，得到各类技术在 2008 年、2015 年和 2020 年的得分。

表 5-9 生物液体燃料技术现状及发展趋势评价结果

年份	技术种类	木薯乙醇	甜高粱乙醇	纤维素乙醇	废油生物柴油	麻疯树生物柴油
2008	技术成熟度	16	8	8	24	8
	技术障碍影响度	25	25	0	40	25
	自主知识产权	20	20	0	20	10
	合计	61	53	8	84	43

2015	技术成熟度	32	24	16	32	16
	技术障碍影响度	40	40	15	40	25
	自主知识产权	20	20	10	20	10
	合计	92	84	41	92	51
2020	技术成熟度	40	32	16	40	32
	技术障碍影响度	40	40	25	40	25
	自主知识产权	20	20	20	20	20
	合计	100	92	61	100	77

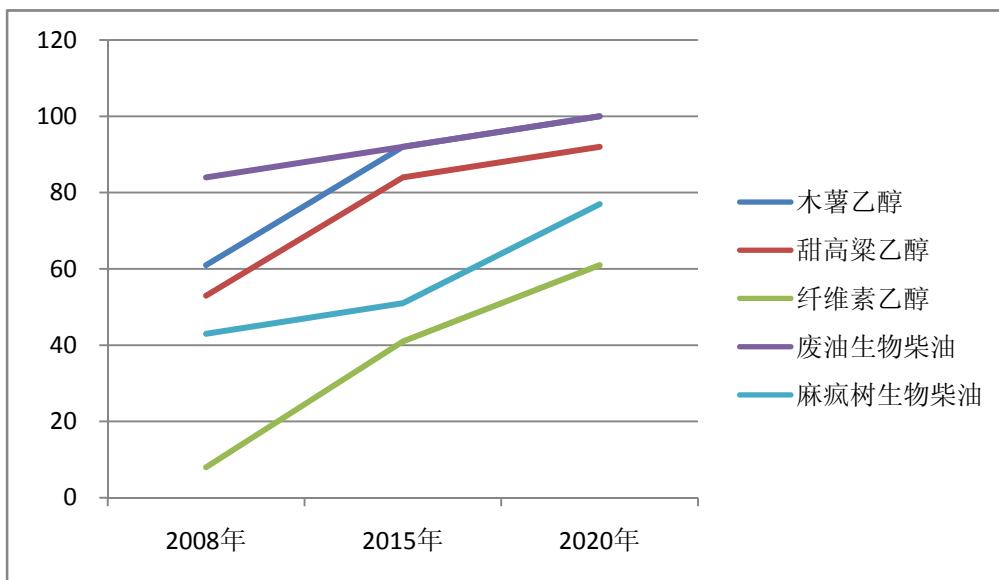


图 5-25 液体燃料技术现状及发展趋势评分结果

由图表可见，2008 年废油生物柴油的技术综合评价得分最高，木薯乙醇和甜高粱乙醇的技术综合评价得分次之，而纤维素乙醇和麻疯树生物柴油的技术综合评分最低，主要是缺乏低成本高效的纤维素原料预处理、水解和发酵技术，以及优良的麻疯树品种和种植技术。预计到 2015 年，废油生物柴油和木薯乙醇技术更加成熟，并居于领先的推广应用阶段，其

它各类技术也取得明显进步，但技术综合评分顺序不变。到 2020 年，除纤维素乙醇技术刚进入商业化示范阶段，其它均处于推广应用和商业化应用阶段，即均已达到技术成熟的阶段。

6. 技术路线效益评价

效益评价的内容包括成本分析、环境效益和社会效益的现状和发展预期。

6.1 农林剩余物能源化利用技术效益评价

6.1.1 投资及成本分析

生物质能源化利用技术的经济性是能否得到推广应用的关键，本文对主要的生物质能源化技术进行了详细的投资和成本分析。以生物质直燃发电为例，该技术的单位投资将从 2008 年平均 9500 元/kW 下降到 2020 年的 8075 元/kW，该技术的成本将从 2008 年的 0.639 元/kWh 下降为 2020 年的 0.563/kWh。

表 6-1 生物质直燃发电投资及成本变化趋势

参数	2008 年	2015 年	2020 年
投资（元/kW）	9500	8550	8075
成本（元/kWh）			
人工成本	0.049	0.056	0.064
燃料成本	0.443	0.391	0.486
其中：原料成本	0.434	0.382	0.478
财务成本	0.022	0.020	0.019
折旧成本	0.111	0.100	0.095
维修成本	0.003	0.003	0.002
其他成本	0.011	0.011	0.011
经营成本	0.506	0.460	0.563
总成本	0.639	0.580	0.676

通过对各类农林剩余物能源化利用技术的投资和成本在 2008 年基础上的趋势分析，可以得出表 6-2 数据，同时给出了各类农林剩余物发电成本与煤电成本的比较。图 6-1 显示各类农林剩余物能源化利用技术的成本变化。

表 6-2 农林剩余物能源化利用技术投资和成本变化趋势

技术种类	单位	2008 年	2015 年	2020 年
投 资				
生物质直燃发电	元/kW	9500	8550	8075
生物质气化发电	元/kW	8500	7650	6800
生物质混燃发电	元/kW	600	540	540
生物质成型	元/吨	621	497	435
生物质炭化	元/吨	843	674	590
成 本				
生物质直燃发电	元/MWh	639	522	609
生物质气化发电	元/MWh	624	495	446
生物质混燃发电	元/MWh	357	319	321
生物质成型	元/吨	482.1	465.8	456.0
生物质炭化	元/吨原料	646	615	587
与煤电成本比较				
生物质直燃发电	%	128.2	69.6	81.1
生物质气化发电	%	122.9	60.6	32.8
生物质混燃发电	%	27.3	3.5	-4.6

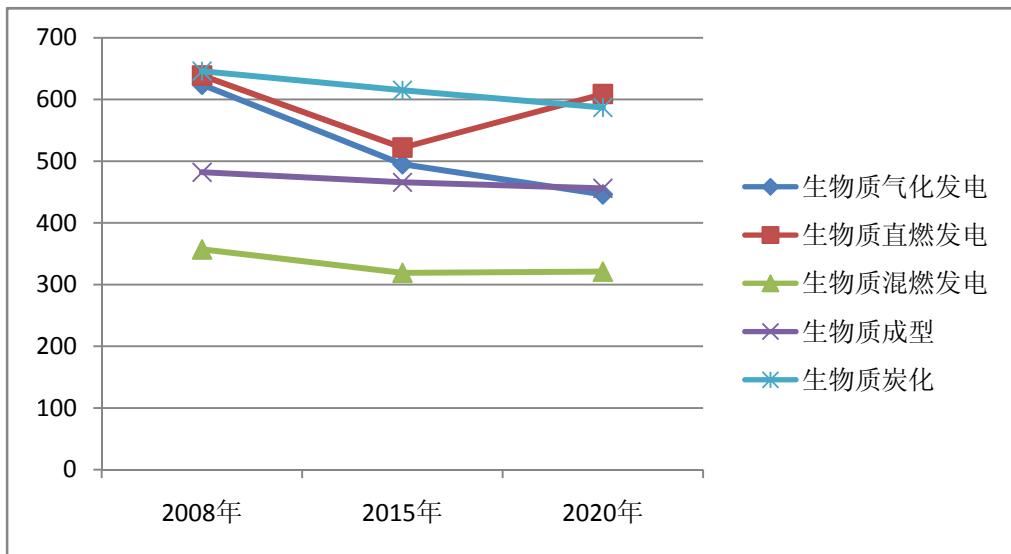


图 6-1 农林剩余物能源化利用技术成本变化趋势分析

直燃发电成本上升的原因主要是工人工资上涨幅度较大，此外，原料成本也略有上升，但由于投资总额下降而减少了财务成本以及效率的提高，抵消了成本上升的因素后，总成本仍低于 2008 年的水平。

6.1.2 外部效益分析

考察一种技术的优劣，除了对其经济性（成本）进行分析外，还需对技术使用时产生的社会效益和环境效益等进行分析。本研究涉及的生物质能利用技术的使用中无不涉及农村和农民，因此，对项目实施后获得的社会效益需要着重考虑。本报告对各项技术相关的环境效益和社会效益进行了定量的分析，得到了反映各类农林剩余物能源化利用项目经济性、环境效益、社会效益等指标的现状和发展趋势的数据。

表 6-3 农林剩余物能源化利用技术综合效益

指标	年份	直燃发电	气化发电	混燃发电	成型燃料	成型炭化
单项目规模 (万吨原料/ 项目)	2008 年	19.5	3.4	14.6	1.2	3.0
	2015 年	17.2	2.9	14.6	1.2	2.9
	2020 年	14.3	2.5	14.6	1.2	2.7
就业人数 (人/万吨原 料)	2008 年	105.6	106.7	102.3	182.6	120.0
	2015 年	81.4	83.0	77.3	156.5	126.3
	2020 年	67.7	69.4	62.3	182.6	133.3
农民收入 (元/人.年)	2008 年	24000.0	21600.0	21600.0	21160.0	18400.0
	2015 年	24000.0	21600.0	21600.0	21160.0	17480.0
	2020 年	24000.0	21600.0	21600.0	21160.0	16560.0
环境效益 (吨 CO ₂ /吨 原料)	2008 年	0.77	0.70	1.15	0.29	0.19
	2015 年	0.87	0.84	1.15	0.29	0.19
	2020 年	1.05	0.98	1.15	0.29	0.21
能源效益 (tce/t 原料)	2008 年	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3
	2015 年	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3
	2020 年	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3

6.1.3 效益综合评价

采用本报告第二章的方法对各类技术的经济效益、环境和社会效益进行综合评分，得到下表结果。

表 6-4 农林剩余物能源化利用综合效益评分结果

技术名称	直燃 发电	气化 发电	混燃 发电	成型 燃料	成型 炭化
2008 年合计	30	31	68	73	37
资源收集难度	0	88	27	100	90
经济性	0	5	100	90	66
就业人数	4	5	0	100	22
农民收入	100	57	57	49	0
环境效益	60	53	100	10	0
能源效益	12	0	78	100	25

2015 年合计	22	32	74	64	20
资源收集难度	0	89	16	100	89
经济性	0	14	100	55	12
就业人数	5	7	0	100	62
农民收入	100	63	63	56	0
环境效益	71	67	100	10	0
能源效益	8	0	71	100	1
2020 年合计	29	50	66	63	55
资源收集难度	2	90	0	100	89
经济性	0	49	87	52	100
就业人数	4	6	0	100	59
农民收入	100	68	68	62	0
环境效益	89	81	100	8	0
能源效益	33	13	63	100	0

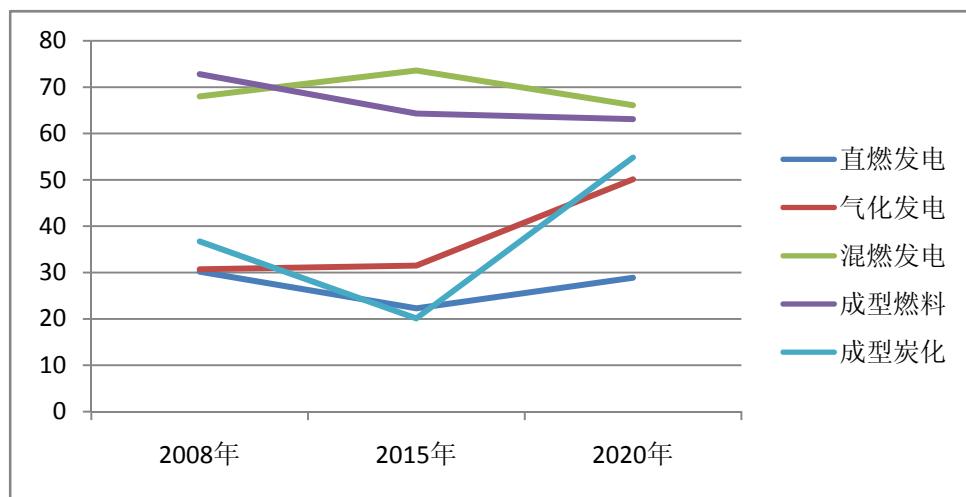


图 6-2 农林剩余物能源化利用技术的综合效益评价比较

图表显示,目前消耗农林剩余物最多,使用最为广泛的直燃发电技术,综合效益评价结果是比较差的,而目前很难推广的混燃发电技术则综合效益评价结果反而名列第二,并远远超过第三名。造成此结果最重要的原因是技术成熟度,混燃发电的计量装置是决定政策性补偿的关键设备,但目

前尚未研发成功，直接影响了技术的推广使用，而直燃发电技术则相对较为成熟，所以虽然其综合效益低于混燃发电，但发展速度和规模远高于混燃发电。

此外，随着技术的不断成熟，气化发电和干馏技术的综合效益将不断提高，特别是干馏技术，到 2015 年后干馏产物的综合利用技术将成熟，届时干馏技术的综合效益提升速度加快，最终将超过气化技术。

通过投资、成本以及外部效益分析，可以得出以下结论：

1. 农林剩余物能源化利用技术的投资均呈下降趋势。
2. 农林剩余物能源化利用技术的生产成本呈下降趋势。
3. 到 2015 年三类发电技术的发电成本均已低于煤电成本，说明广泛使用这些技术在经济上是可行的。
4. 农林剩余物能源化利用的各项技术除了可以提供能源产品外，均具有良好的环境效益和社会效益。
5. 农林剩余物能源化利用的各项技术的环境效益，将随着时间的延续而有所增强。
6. 随着原料收集系统的机械化程度提高，今后农林剩余物能源化利用项目的社会效益，将随着时间的延续而有所减弱，但每个项目仍将为农村提供大量的就业机会，对促进农村经济、增加农民收入起到重要的作用。

6.2 畜禽粪便能源化利用技术效益评价

6.2.1 投资及成本分析

通过对沼气并网发电和沼气离网发电两种技术的分析,得到各年份的投资及发电成本如下表。两种技术的投资及发电成本均持续下降,其中沼气并网发电的成本将下降约 18%, 离网发电的成本则仅下降约 8%。

成本下降的主要原因是沼气并网发电总装容量较大,所采用的燃气发电机组单机容量远远大于离网发电,随着技术水平的提高,大型机组效率的提升幅度要大于小型机组,所以并网发电技术的系统效率将得到比离网发电更多的提升,其成本下降的幅度也将大于离网发电技术。

表 6-5 畜禽养殖场沼气发电技术投资及成本变化趋势

技术种类	单位	2008 年	2015 年	2020 年
投 资				
沼气并网发电	元/kW	31100	24900	20200
沼气离网发电	元/kW	25900	22100	18200
成 本				
沼气并网发电	元/MWh	1.101	0.906	0.830
沼气离网发电	元/MWh	1.328	1.275	1.223
与煤电成本比较				
沼气并网发电	%	293.33	194.18	147.11
沼气离网发电	%	374.23	314.12	264.02

6.2.2 外部效益分析

畜禽养殖场沼气发电项目除了可以获得一定的经济效益外,还可获得

很好的环境效益和社会效益,尤其是可以扩大农民的就业范围和提供更多
的就业机会。两种沼气发电技术的综合效益评价见下表。

表 6-6 畜禽养殖场沼气发电技术综合效益

指 标	年份	沼气并网发电	沼气离网发电
单项目规模 (万吨原料/项目)	2008 年	9.77	0.38
	2015 年	8.94	0.38
	2020 年	8.69	0.38
就业人数 (人/万吨原料)	2008 年	1.53	13.32
	2015 年	1.68	13.32
	2020 年	1.73	13.32
环境效益 (吨 CO ₂ /吨原料)	2008 年	0.10	0.10
	2015 年	0.11	0.10
	2020 年	0.12	0.10
能源效益 (tce/t 原料)	2008 年	0.03	0.03
	2015 年	0.04	0.03
	2020 年	0.04	0.03

6.2.3 效益综合评价

采用本报告第二章的方法对各类技术的经济效益、环境和社会效益进
行综合评分, 得到下表结果。

表 6-7 畜禽养殖场沼气发电技术综合效益评分结果

技术名称	沼气并网发电	沼气离网发电
2008 年合计	65.0	15.0
资源收集难度	100.0	0.0
经济性	100.0	0.0
就业人数	0.0	100.0
农民收入	0.0	0.0
环境效益	100.0	0.0
能源效益	100.0	0.0
2015 年合计	80.0	20.0

资源收集难度	100.0	0.0
经济性	100.0	0.0
就业人数	0.0	100.0
农民收入	0.0	100.0
环境效益	100.0	0.0
能源效益	100.0	0.0
2020 年合计	80.0	20.0
资源收集难度	100.0	0.0
经济性	100.0	0.0
就业人数	0.0	100.0
农民收入	0.0	100.0
环境效益	100.0	0.0
能源效益	100.0	0.0

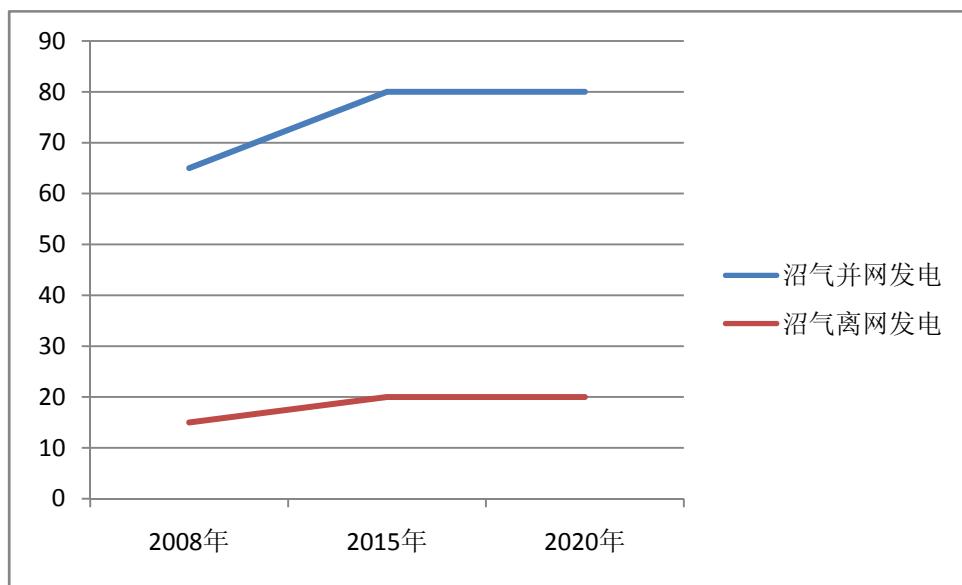


图 6-3 畜禽养殖场沼气发电技术效益评价比较

由图表数据可见，即使在 2008 年沼气并网发电的综合效益也优于沼气离网发电，但是，目前沼气并网发电的应用远远落后于离网发电，主要的原因是沼气并网的相关技术和标准尚未成熟，阻碍了沼气并网技术的发

展。随着沼气并网的相关技术和政策障碍的消除，其发展速度和规模必将超过沼气离网发电技术。

通过综合效益分析，可以得出以下结论：

1. 两种养殖场沼气发电技术的投资在本报告分析的时段内，均将下降，下降幅度分别高达 35% 和 30%。但是，到 2020 年，两种养殖场沼气发电技术的投资仍高于传统能源的发电。
2. 两种养殖场沼气发电技术在到 2020 年的时期内，发电成本均有所下降，但小于单位投资的下降幅度。但是到 2020 年，两种养殖场沼气发电技术的发电成本仍将远高于煤电成本，分别为煤电成本的 141% 和 264%。
3. 单纯从经济的角度分析，两种养殖场沼气发电技术，到 2020 年仍然缺乏市场竞争力。
4. 两种养殖场沼气发电技术的推广使用，在减少温室气体排放和减少酸雨 (SO_2) 形成有着重要的意义。
5. 两种养殖场沼气发电技术的推广使用，可以为农村居民提供高效、清洁的生活燃料有利于改善农村居住和小区环境，促进社会主义新农村建设。
6. 由于养殖场沼气并网发电技术的综合效益高于离网发电技术，因此，在有条件的地区，应该优先发展并网发电技术。

7. 无论采用何种养殖场沼气发电技术，应该优先考虑就近为农村供应燃气，不仅可以促进当地农民改善生活用能质量，也有利于提高项目的经济效益。

6.3 生活垃圾利用技术效益评价

6.3.1 投资及成本分析

由表 6-8 可见，垃圾焚烧发电的成本将持续下降，而垃圾填埋气发电的成本将持续上升。

垃圾焚烧发电的成本下降受益于技术和装备水平的提高，使垃圾焚烧发电系统的效率得到提高，同时随着产业规模的扩大，装备制造的成本下降也将有益于成本的下降。

我国土地资源，特别是城市周边的土地资源均属稀缺资源，垃圾填埋场建设所需要的大面积土地将越来越昂贵，其次，垃圾填埋场对地下水和当地土壤的污染将得到越来越多的关注，建设垃圾填埋场的技术要求越来越高。以上因素将导致垃圾填埋场成本急剧上升。

表 6-8 生生活垃圾发电技术投资及成本变化趋势

技术种类	单位	2008 年	2015 年	2020 年
投 资				
垃圾焚烧发电	元/kW	2.49	2.12	1.87
垃圾填埋气发电	元/kW	1.04	2.08	3.11
成 本				

垃圾焚烧发电	元/MWh	0.404	0.297	0.232
垃圾填埋气发电	元/MWh	0.270	0.475	0.680
与煤电成本比较				
垃圾焚烧发电	%	44.33	-3.55	-30.89
垃圾填埋气发电	%	-3.68	54.23	102.50

6.3.2 外部效益分析

生活垃圾发电技术项目首要的目的不是为了获得能源,而是需要处理对环境有害的垃圾,因此,分析其环境效益和社会效益尤其重要,表 6-9 为两种垃圾发电技术的综合效益的现状和发展趋势分析结果

表 6-9 生活垃圾发电技术外部效益分析

指标	年份	垃圾焚烧发电	垃圾填埋气发电
单项目规模 (万吨原料/项目)	2008 年	37.27	45.87
	2015 年	33.88	41.70
	2020 年	33.88	41.70
就业人数 (人/万吨原料)	2008 年	2.15	21.80
	2015 年	2.36	23.98
	2020 年	2.36	23.98
环境效益 (吨 CO ₂ /吨原料)	2008 年	0.35	0.03
	2015 年	0.38	0.02
	2020 年	0.38	0.02
能源效益 (tce/t 原料)	2008 年	0.12	0.01
	2015 年	0.13	0.01
	2020 年	0.13	0.01

6.3.3 效益综合评价

采用本报告第二章的方法对各类技术的经济效益、环境和社会效益进行综合评分,得到下表结果。

表 6-10 垃圾发电技术综合效益评分结果



图 6-4 垃圾发电技术评价结果比较

我国到 2009 年底，全国共建成垃圾焚烧发电厂 78 座，年处理垃圾约 1000 万吨，仅占我国城市生活垃圾生成量的 7% 左右，目前垃圾焚烧发电的综合效益，特别是经济性远低于垃圾填埋气发电，但随着垃圾焚烧发电技术和装备制造业的成熟；垃圾填埋场土地费用的增加；更加严格的环保要求的落实等因素，垃圾焚烧发电的综合效益将远大于垃圾填埋气发电，预计到 2015 年垃圾焚烧技术的应用规模将超过垃圾填埋气发电技术的使用。

通过分析可以得出以下结论：

1. 两种生活垃圾发电技术在今后的时期内，投资和成本的变化是完全相反的。
2. 到 2020 年，垃圾焚烧发电的投资将比 2008 年下降 25%；发电成本将下降 43%。到 2015 年与煤电成本比较，垃圾焚烧发电的成本将与煤电基本持平，到 2020 年则低于煤电约 30%。
3. 到 2020 年，垃圾填埋气发电的投资将上升为 2008 年的三倍，主要原因是土地成本的上涨。垃圾填埋气发电的成本将上升 2.5 倍，由 2008 年与煤电基本持平的水平上升到比煤电高一倍的水平。

6.4 液体燃料利用技术效益评价

6.4.1 投资及成本分析

由表 6-11 可见，各种液体燃料技术的投资均呈下降趋势。其中纤维素制乙醇技术的下降幅度最大，木薯乙醇和废油制取生物柴油技术投资下降幅度较小。值得关注的是，到 2020 年纤维素制乙醇和麻风树籽实制生物柴油技术的投资，在各类生物质液体燃料技术中已经具有很强的竞争力。

各类液体燃料技术的运行成本均呈下降趋势，到 2020 年甜高粱运行成本最低，纤维素制乙醇和麻风树籽实制生物柴油技术虽然投资较低，但运行成本仍然高，因此预期这两种技术到 2020 年尚未完全具备进入商业化运行的条件。

总表中可见，到 2020 年木薯乙醇、甜高粱乙醇和废油制取生物柴油技术的总成本已经低于汽、柴油，而纤维素乙醇和油料植物生物柴油则仍高于化石燃料，说明即使到 2020 年，这两种技术的商业化运行仍然存在一定的经济障碍。从国家战略的高度考虑，发展纤维素制乙醇和油料作物制生物柴油技术，则需要经济政策的支持。

表 6-11 液体燃料技术投资及成本变化趋势

年份	2008	2015	2020
投资 (万元/万吨产品)			
木薯乙醇	3686	3391	3207
甜高粱乙醇	6846	5819	4792
纤维素乙醇	5266	4213	3160
废油生物柴油	3686	3502	3318
麻疯树生物柴油	3686	3502	3318
总成本 (元/吨产品)			
木薯乙醇	5141	5033	4048
甜高粱乙醇	4452	4060	3909
纤维素乙醇	7940	7812	6746
废油生物柴油	5963	5821	5681
麻疯树生物柴油	7081	6901	6723
与汽、柴油比较 (%)			
木薯乙醇	29	1	-33
甜高粱乙醇	11	-19	-35
纤维素乙醇	98	56	12. 4
废油生物柴油	49	16	-5
麻疯树生物柴油	77	38	12. 1

6.4.2 外部效益分析

生物质液体燃料产业的发展，不仅可以提供可再生能源产品，还能在获得经济效益的基础上，获得很好的环境效益和社会效益，尤其是在扩大农民就业范围和提供就业机会方面具有显著的效果。液体燃料生产的综合效益评价见下表。

表 6-12 液体燃料技术外部效益分析

指标	年份	木薯 乙醇	甜高粱 乙醇	纤维素 乙醇	废油 生物柴油	麻疯树 生物柴油
单项目规模 (万吨产品/项目)	2008 年	142.86	10.00	2.14	5.32	6.38
	2015 年	125.00	8.00	1.50	5.26	6.32
	2020 年	117.65	7.14	1.20	5.21	6.25
就业人数 (人/万吨产品)	2008 年	89.61	47.78	143.72	67.51	889.59
	2015 年	102.41	59.72	205.32	68.23	899.06
	2020 年	108.81	66.89	256.65	68.95	908.52
环境效益 (吨 CO ₂ /吨原料)	2008 年	0.23	0.08	0.23	1.56	1.56
	2015 年	0.27	0.10	0.33	1.58	1.58
	2020 年	0.28	0.12	0.42	1.59	1.59
能源效益 (tce/吨原料)	2008 年	0.15	0.05	0.15	2.07	2.07
	2015 年	0.17	0.07	0.21	2.09	2.09
	2020 年	0.18	0.07	0.26	2.11	2.11

6.4.3 效益综合评价

采用本报告第二章的方法对各类生物质液体燃料生产技术的经济效益、环境和社会效益进行综合评分，得到下表结果。

表 6-13 液体燃料技术效益综合分析

技术名称	木薯 乙醇	甜高粱 乙醇	纤维素 乙醇	废油 生物柴油	麻疯树 生物柴油
2008 年合计	59	59	41	62	60
资源收集难度	0	94	100	98	97
经济性	80	100	0	57	25
就业人数	64	100	70	0	99
农民收入	100	0	99	62	34
环境效益	5	0	5	100	100
能源效益	5	0	5	100	100
2015 年合计	47	60	29	70	68
资源收集难度	0	95	100	97	96

经济性	74	100	0	53	24
就业人数	62	100	71	0	96
农民收入	100	0	99	88	87
环境效益	6	0	6	100	100
能源效益	5	0	5	100	100
2020 年合计	49	62	20	64	59
资源收集难度	0	95	100	97	96
经济性	95	100	0	38	1
就业人数	58	100	71	0	90
农民收入	39	21	0	93	100
环境效益	6	0	10	100	100
能源效益	5	0	9	100	100

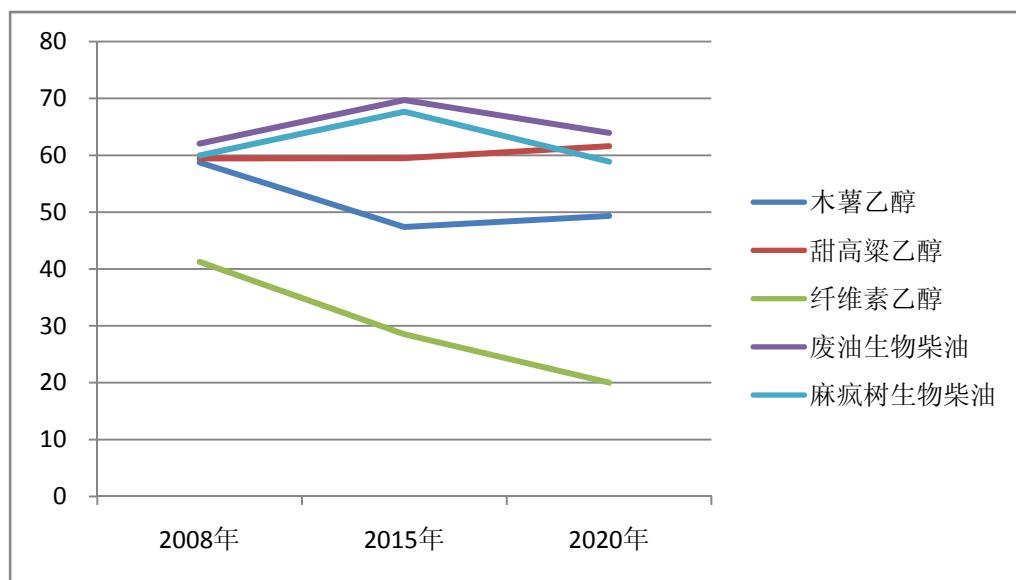


图 6-5 液体燃料技术评价结果比较

通过对表中数据的分析，可以得出以下结论：

1. 2008 年，在所有生物质液体燃料制取技术中，废油制取生物柴油技术的综合效益是最好的，这与目前产业发展实际情况是相符的。废油制取生物柴油在未得到政策支持的情况下，已经有企业自发的建设项目，并

具有一定的规模，其根本原因是项目的综合效益较好。即使到 2020 年，该技术的综合效益仍然最好，因此可以预见，该技术在今后一段时期内将会得到较为快速的发展，虽然废弃油脂的资源量仅为 200 万吨左右，但用于生物柴油制取的比例将会进一步加大。

2. 2008 年，甜高粱制乙醇和木薯制乙醇的综合效益相当，但到 2020 年，甜高粱制乙醇的综合效益将明显好于木薯制乙醇，主要有两方面的原因，一是甜高粱资源潜力较大，相对产业规模较大，可以充分发挥能源产业规模效益；二是甜高粱种植需要的土地多为盐碱地，种植成本较低。因此预计到 2020 年，甜高粱制乙醇的产业规模将大大超过木薯制乙醇。

3. 与 2008 年相比，2020 年麻风树制生物柴油技术的综合效益略有下降，主要原因是人工成本将上升，对项目经济效益产生一定的影响。但总体而言，该技术综合效益在各类生物质液体燃料制取技术中排名靠前，发展空间较大。

7. 技术路线图

7.1 资源保障

至 2020 年，我国生物质能资源的可获得总量为 3.6 亿吨标准煤，为实现生物质能源化利用的发展目标，所需的生物质资源为 1.79 亿吨标准煤，占资源可获得总量的 50%，因此实现 **2020** 年设定的生物质能利用目标具有充分的资源保障。

表 7-1 生物质能利用的资源保障情况

	2015			2020		
	资源可获得总量 (万 tce)	资源需求量 (万 tce)	所占比例	资源可获得总量 (万 tce)	资源需求量 (万 tce)	所占比例
农林剩余物	24700	3337	13.51%	24700	9743	39.44%
畜禽粪便	5513	1980	35.91%	6621	3621	54.68%
城市生活垃圾	2757	1966	71.30%	3314	3259	98.34%
生物乙醇原料	459	355	77.27%	1038	1012	97.45%
生物柴油原料	294	198	67.56%	416	266	64.06%
合计	33723	7836	23.24%	36089	17901	49.60%

从图 6-1 的生物质能资源需求与可获得量的比例可以看出，各类生物质能资源的利用比例差异较大，其中城市生活垃圾和畜禽粪便在 2020 年的利用比例较大，这符合前面所提到的资源优先利用的原则，即对于畜禽粪便和垃圾这类污染物的处理是未来生物质能利用需要优先考虑的资源。

对于液体燃料的资源利用，生物乙醇未来的生产将主要采用非粮作物，因此其所需的原料需要通过专门种植得来，因此利用比例会明显上升。

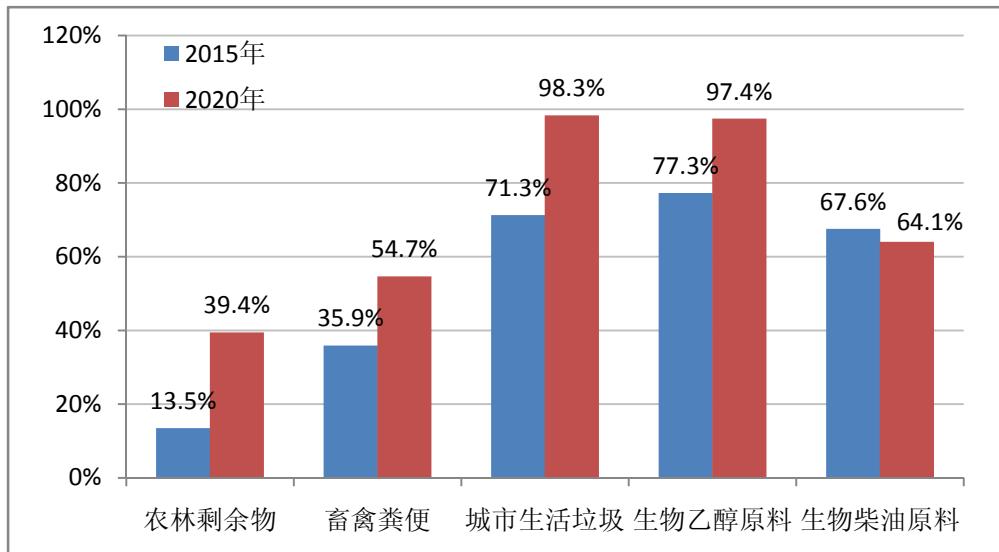


图 7-1 生物质资源需求与资源可获得总量的比例

7.2 技术路径

图 7-2 显示了各类生物质能源化利用技术的技术评价得分，由图可见，到 2020 年，各项技术的得分均趋向于 100，说明到 2020 年，各项技术的技术障碍已经基本消除，并已形成较为完善的技术体系，这些技术已经可以满足生物质能源化利用产业的发展目标的需求。

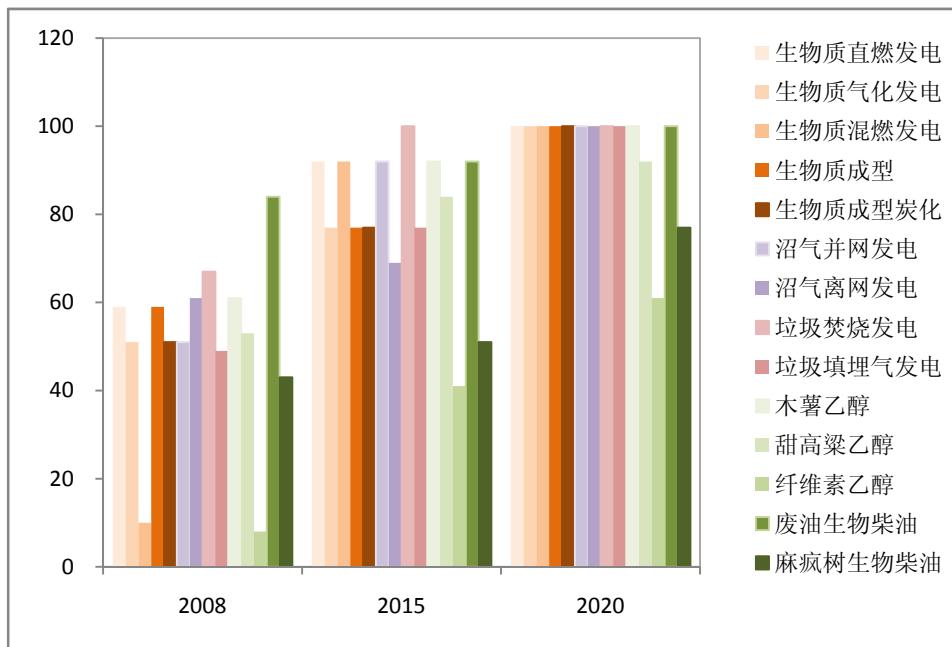


图 7-2 技术发展趋势评分汇总

通过对产业技术的现状和未来发展趋势的分析，可以得到以下结论：

我国生物质能源化利用产业目前还处于发展初期，各类生物质能源化利用领域中均存在技术障碍，这些技术障碍对产业发展造成了不同程度的影响。

1. 2012 年前，主要是以研发对技术发展产生重大阻碍的关键技术，如生物质直燃发电锅炉、煤—生物质混燃发电计量装置、兆瓦级燃气内燃发电机组等。
2. 到 2015 年，除纤维素制乙醇等少数技术外，大部分能源化利用技术已经完成了关键技术研发和工程示范，具备了产业化推广的

技术条件。

3. 2014 到 2015 年，大多数技术进入推广应用的阶段，同时在各项技术的相关标准、成套装备的制造等方面也将取得显著的成果，产业技术体系逐步成型。
4. 2015 年到 2020 年，将是我国生物质能源化利用产业高速发展的时期，各项生物质能源化利用技术均已形成较为完善的技术体系。
5. 液体燃料（纤维素乙醇、生物柴油）

表 7-2 显示了生物质能源化利用产业现存的技术发展时间表。

表 7-2 生物质能源化利用产业现存技术发展时间表

关键技术	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020		
高温高压生物质直燃发电锅炉	研发	试点示范		产业化推广					
生物质-煤混燃计量监督装置	实用性样机研发	示范工程		产业化推广					
沼气制气技术	研发	示范工程		产业化推广					
大型高效沼气发电机组	500KW 机组达到国际先进水平	1MW 机组示范		1MW 机组产业化					
小型发电系统并网技术	小型发电系统并网设备及技术标准制定		示范工程		产业化推广				
生物质气化及燃气净化技术	完成示范工程建设			产业化推广					
连续式生物质干馏装置	研发和示范工程	示范工程		产业化推广					
干馏产物综合利用工艺及设备	研发	示范工程		产业化推广					
生物质成型技术	不同地区建立典型原料的国家级示范工程	产业化推广							
垃圾渗沥液处理技术装备	技术研发	示范工程		产业化推广					
生物质原料收、储、运技术专用机械	适用于主要生物质原料品种的收储运装备研发，并形成系列			产业化推广					
燃料乙醇	薯类和甜高粱燃料乙醇技术商业化示范，纤维素乙醇技术的商业化应用示范			产业化推广					
废弃油脂生产生物柴油	形成各类废弃油脂的全面收集、利用和管理体系。			推广废弃油脂利用					
油料植物生产生物柴油	小桐子油料林基地建设示范，建成小桐子为原料的生物柴油生产厂			产业化推广					
新型燃料	技术研发			工业化示范工程建设		产业化推广			
纤维素乙醇	薯类和甜高粱燃料乙醇技术商业化示范，纤维素乙醇技术的商业化应用示范			产业化推广					

7.3 效益评估

到 2020 年，上述各类生物质能源化利用技术虽然已经基本成熟，可以满足我国生物质能源化利用的总体目标的需要，但是确定最终各类技术的使用规模，不仅取决于技术的成熟情况，还需要考虑技术使用所得的经济效益和外部效益。

按照本报告第二章的方法对各类技术的综合效益评分，得到表 7-3 数据，并以此数据做出综合效益变化趋势图（图 7-3）。

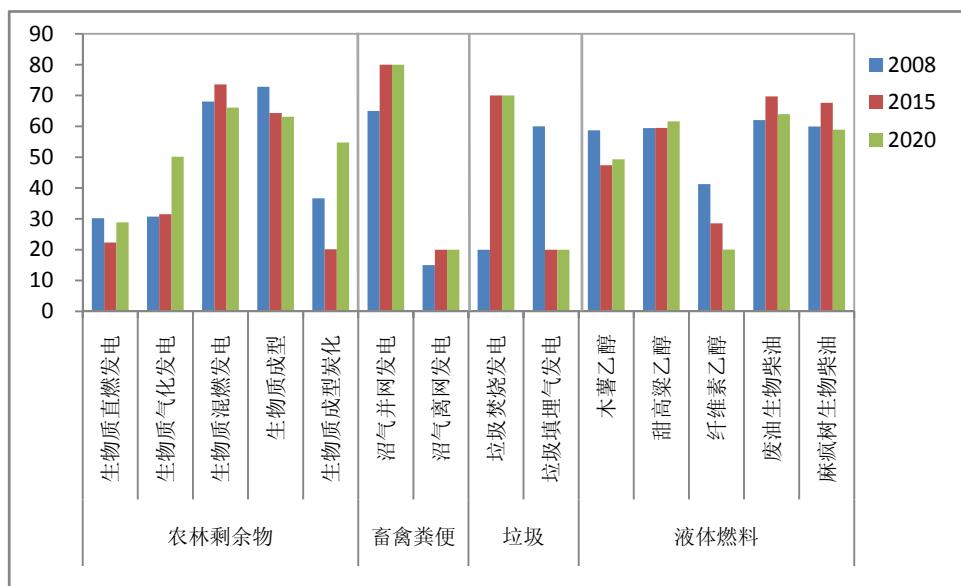


图 7-3 生物质能源化利用技术综合效益变化趋势

通过分析比较，可以得出以下结论：

1. 到 2020 年，大部分生物质能源化利用技术的综合效益呈上升趋势。（多数技术的效益都不错，可市场化推广）

2. 到 2020 年，直燃发电技术的综合效益将与 2008 年基本持平，主要原因是经济性有所下降，而能源效益和环境效益有所上升。
3. 到 2020 年垃圾填埋气发电的综合效益将大幅度下降，主要原因有两方面，首先，土地成本的增加导致项目的经济性下降，其次，更加严格的环保要求也将大大增加项目建设的投资，导致经济效益下降。
4. 垃圾焚烧发电技术的综合效益将得到极大的提升，将成为我国生活垃圾处理的主流技术。
5. 混燃发电的综合效益大大高于直燃发电，一旦解决的计量监督问题，必将成为农林剩余物规模化发电的主流技术。
6. 到 2020 年农林剩余物气化和成型干馏技术的综合效益将进一步显现，会成为我国解决农村能源高效化、清洁化问题的主力。
7. 生物质能源化利用的技术选择必须遵循“因地制宜，资源优先”的原则，在资源确定的前提下，需要结合当地的社会经济发展、农民收入、气候、交通、环境等实际情况而定。
8. 当资源和当地条件可以适用于多种技术时，可以根据技术的综合效益进行选择。对农林剩余物资源的处理，优选顺序为混燃发电、成型燃料、成型干馏、气化发电、直燃发电；对养殖场畜禽粪便资源的处理，则优先选择沼气并网发电技术；对生活垃圾资源的处理，则优先选择垃圾焚烧发电技术。

表 7-3 生物质能源化利用技术综合效益评价

技术名称	直燃发电	气化发电	混燃发电	成型燃料	成型炭化	沼气并网发电	沼气离网发电	垃圾焚烧发电	垃圾填埋气发电
2008 年	30	31	68	73	37	65	15	20	60
资源收集难度	0	88	27	100	90	100	0	0	100
经济性	0	5	100	90	66	100	0	0	100
就业人数	4	5	0	100	22	0	100	0	100
农民收入	100	57	57	49	0	0	0	0	0
环境效益	60	53	100	10	0	100	0	100	0
能源效益	12	0	78	100	25	100	0	100	0
2015 年	22	32	74	64	20	80	20	70	20
资源收集难度	0	89	16	100	89	100	0	0	100
经济性	0	14	100	55	12	100	0	100	0
就业人数	5	7	0	100	62	0	100	0	100
农民收入	100	63	63	56	0	0	100	0	0
环境效益	71	67	100	10	0	100	0	100	0
能源效益	8	0	71	100	1	100	0	100	0
2020 年	29	50	66	63	55	80	20	70	20
资源收集难度	2	90	0	100	89	100	0	0	100
经济性	0	49	87	52	100	100	0	100	0
就业人数	4	6	0	100	59	0	100	0	100
农民收入	100	68	68	62	0	0	100	0	0
环境效益	89	81	100	8	0	100	0	100	0
能源效益	33	13	63	100	0	100	0	100	0

8. 保障措施

8.1 资源调查和规划

开展生物质能资源调查，搞清各种生物质资源总量、用途及其分布，是生物质能开发利用的基础。相关部门要尽快开展科学、系统性的生物质能资源调查和评价工作，以便制定生物质能开发利用的总体规划，明确发展方向和目标，引导生物质资源的合理优化开发利用。

为确保“不占用耕地，不与粮争地，不与民争粮”生物质利用基本原则的落实和实施，各相关部门要相互协调，制定统一明确的能源作物的土地开发利用规划和基本准则，确保不毁坏林地、植被和湿地。

8.2 技术研发体系

生物质能利用是一个新兴产业，许多技术尚处于初期发展阶段，技术研发体系的建立和加强十分重要，这包括两个方面的内容，一是支持生物质能研发体系的建设，二是加强生物质能人才培养体系的建设。

国家应整合现有资源，组建公共技术研发平台，组建以国家可再生能源中心为核心的一系列公共技术研发平台，集中力量对生物质能源技术的基础性研究开展科研攻关。同时加大对生物质能装备体系和规模化生产技术的支持力度，强化国家先期投入的引导作用，推进生物质能利用技术进

步和产业化发展。

加强对生物质能人才培养体系建设的支持力度,将生物质能技术列入各级院校的学科设置和人才培养计划,建立高级生物质能专家、工程技术人员和技术工人队伍等各个梯队的专业技术人才。

8.3 试点示范

为了促进生物质能的产业化发展,国家和各地要根据资源条件、技术优势和能源需求特点,在做好生物质能资源评价和开发利用规划工作的同时,积极开展生物质能开发利用试点和示范工作。试点和示范工作重在实现技术产业化和完善产业服务体系,通过试点示范工作,促进生物质能的技术进步,完善管理体制和技术服务体系,加快推进生物质能产业化进程,推动各种生物质能利用技术形成从原料供应、产品加工、市场开拓和相关服务体系的完整产业链。

8.4 价格政策

2006 年我国开始对生物质发电项目实施固定补贴政策(0.25 元/kWh),后又对生物质直燃发电项目给予了 0.10 元/kWh 的额外补贴,这些政策的实施对促进生物质发电项目的发展起到了积极的促进作用。但由于生物质发电的技术种类多,各种技术的发展水平和发电成本各不相同,两种分类

电价无法满足各类生物质能发电技术的要求。同时，由于各个地区的煤电标杆电价水平差异大，使各地生物质发电项目的实际上网电价差别很大，如何协调和平衡各地的生物质发电上网电价也是价格政策研究的重点之一。国务院价格主管部门根据各类生物质能技术的特点和不同地区的情况，按照有利于生物质能发展和经济合理的原则，研究和完善生物质发电项目的分类价格政策，促进生物质发电项目的进一步发展。

8.5 财税激励政策

目前生物质能开发利用成本较高、市场竞争力较弱，财税激励政策是各国普遍使用的激励政策。

2009 年修订后的《可再生能源法》明确：国家财政设立可再生能源发展基金，资金来源包括国家财政年度安排的专项资金和依法征收的可再生能源电价附加收入等。国务院财税主管部门要根据可再生能源发展和国家财力状况，进一步明确国家专项资金和可再生能源发展基金的额度，细化基金的使用办法，为包括生物质能在内的可再生能源的发展提供资金保障。同时，国务院财税主管部门要制定促进生物质能开发利用的税收激励政策，对生物质能技术研发、设备制造、项目开发企业给与适当的企业所得税和增值税优惠。

8.6 标准、检测和认证体系

标准、检测和认证体系是产品质量的保障体系。随着生物质能技术的发展，在产品研发和试点示范的基础上，研究和制定生物质能产品标准、项目验收标准、并网技术标准等标准体系，为规模化的推广应用奠定基础。

支持建立国家级的生物质能产品检测中心，定期开展广泛的检测活动，监控产品质量，督促企业提高产品质量。

对于初步形成规模化生产的生物质能产品，要在标准和检测的基础上，建立产品认证体系，引导企业生产和市场运作的规范化，从而快速进入大规模的市场应用阶段。

8.7 市场培育

国家电网企业和石油销售企业要按照《可再生能源法》的要求，承担收购可再生能源电力和生物液体燃料的义务。研究和改善电网、燃气和成品油体系的基础设施、市场和体制环境，认真做好相应产品的收购和销售工作，为生物质电力、沼气和生物质液体燃料的大规模使用打好基础。生物质发电项目多为小型项目，目前较难获得并网许可。推动大中型沼气工程、生物质颗粒燃料等清洁燃料产品的商品化利用。应根据生物质能资源分散、区域性强、农民参与广的特点，鼓励扶持发展中小型生物质能项目，

建立生物质资源收集网络，调动企业和地方积极性、有效增加当地农民就业机会和经济收入。