



中国产业发展促进会生物质能产业分会  
Biomass Energy Industry Promotion Association



# 生物质能清洁利用推动减污降碳的战略定位和 应用场景研究

Strategic Positioning and Application Scenarios for  
Promoting Pollution Reduction and Carbon Emission  
Reduction through Clean Utilization of Biomass Energy

中国产业发展促进会生物质能产业分会

2023.11.25

Biomass Energy Industry Promotion Association

November 25, 2023

## **关于作者**

---

张大勇 中国产业发展促进会副秘书长兼生物质能产业分会秘书长 dy\_zhang@263.net

刘洪荣 生物质能产业分会 常务副秘书长 liuhrong0534@163.com

王乐乐 生物质能产业分会产业研究部 主任 BEIPA\_wanglele@163.com

张 峰 生物质能产业分会产业研究部 研究员 BEIPA\_zhangfeng@163.com

付春阳 生物质能产业分会产业研究部 研究员 BEIPA\_fuchunyang@163.com

高建勇 生物质能产业分会产业研究部 研究员 BEIPA\_gaojianyong@163.com

## **ABOUT THE AUTHORS**

---

Zhang Dayong, China Association for the Promotion of Industrial Development, Deputy Secretary-General; Biomass Energy Industry Promotion Association, Secretary-General, dy\_zhang@263.net

Liu Hongrong, Biomass Energy Industry Promotion Association, Executive Deputy Secretary-General, liuhrong0534@163.com

Wang Lele, Department of Industrial Research of Biomass Energy Industry Promotion Association, Director, BEIPA\_wanglele@163.com

Zhang Feng, Department of Industrial Research of Biomass Energy Industry Promotion Association, Researcher, BEIPA\_zhangfeng@163.com

Fu Chunyang, Department of Industrial Research of Biomass Energy Industry Promotion Association, Researcher, BEIPA\_fuchunyang@163.com

Gao Jianyong, Department of Industrial Research of Biomass Energy Industry Promotion Association, Researcher, BEIPA\_gaojianyong@163.com

## **致谢**

---

本研究由【中国产业发展促进会生物质能产业分会】统筹撰写，由能源基金会提供资金支持。

本研究是【能源基金会环境管理组下的课题，重点研究生物质能清洁利用推动减污降碳的战略定位和应用场景】。

在本项目研究过程中，研究团队得到了【国家发改委能源研究所（可再生能源发展中心）、农业农村部农业生态与资源保护总站、清华大学、中国农业大学、中节能咨询有限公司、中国能源研究会分布式能源专业委员会、世界银行】的大力支持，在此向他们表示诚挚感谢。

研究团队同时感谢以下专家在项目研究过程中作出的贡献：

【周大地 国家发改委能源研究所】

【任东明 国家发改委能源研究所可再生能源发展中心】

【李惠斌 农业农村部农业生态与资源保护总站】

【杨旭东 清华大学】

【程 序 中国农业大学】

【袁宝荣 中节能咨询有限公司】

【段洁仪 中国能源研究会分布式能源专业委员会】

【李 洁 世界银行】

## **ACKNOWLEDGEMENT**

---

This report is a product of [Biomass Energy Industry Promotion Association] and is funded by Energy Foundation China.

This report is [part of the research project under Energy Foundation China' s Environmental Management Group, which is Strategic Positioning and Application Scenarios for Promoting Pollution Reduction and Carbon Emission Reduction through Clean Utilization of Biomass Energy]

The team is grateful for the generous support it received throughout this research from [Energy Research Institute, National Development and Reform Commission; Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Tsinghua University; China Agricultural University; CECEP Consulting Co., Ltd.; Distributed Energy Professional Committee of China Energy Research Society; World Bank].

The team would like to thank the following experts for their contribution to this research:

[Zhou Dadi, Energy Research Institute, National Development and Reform Commission]

[Ren Dongming, Centre for Renewable Energy Development, Energy Research Institute, National Development and Reform Commission]

[Li Huibin, Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs]

[Yang Xudong, Tsinghua University]

[Cheng Xu, China Agricultural University]

[Yuan Baorong, CECEP Consulting Co., Ltd.]

[Duan Jieyi, Distributed Energy Professional Committee of China Energy Research Society]

[Li Jie, World Bank]

## **免责声明**

---

- 若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。

- 凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

## **Disclaimer**

---

-Unless otherwise specified, the views expressed in this report are those of the authors and do not necessarily represent the views of Energy Foundation China. Energy Foundation China does not guarantee the accuracy of the information and data included in this report and will not be responsible for any liabilities resulting from or related to using this report by any third party.

-The mention of specific companies, products and services does not imply that they are endorsed or recommended by Energy Foundation China in preference to others of a similar nature that are not mentioned.

# 目 录 CONTENTS

前 言	1
<b>第一章 生物质能清洁利用的重要意义</b>	<b>2</b>
(一) 是生态文明建设的重要内容	2
(二) 是实现“双碳”目标的有效途径	2
(三) 是推动能源革命的发力点	3
(四) 是实现乡村振兴战略的重要抓手	3
(五) 是北方地区清洁取暖的有效手段	3
<b>第二章 生物质能产业发展历程</b>	<b>4</b>
(一) 起步阶段	4
(二) 初步发展阶段	4
(三) 快速发展阶段	5
(四) 多元化发展阶段	5
<b>第三章 生物质能产业发展现状</b>	<b>7</b>
(一) 生物质资源	7
(二) 行业发展	15
(三) 存在问题	21
<b>第四章 生物质能战略定位分析</b>	<b>24</b>
(一) 双碳目标下生物质资源发展水平	24
(二) 生物质能源化利用潜力分析	28
(三) 实现路径分析	33
<b>第五章 生物质能清洁利用项目评价指标体系</b>	<b>41</b>
(一) 行业相关评价指标体系概述	41
(二) 评价指标体系构建原则	44



(三) 项目关键影响因素-----	45
(四) 评价指标体系建立-----	47
(五) 案例评价及总结-----	56
<b>第六章 相关建议</b> -----	62
(一) 宏观政策建议-----	62
(二) 农村地区生物质能清洁利用建议-----	63
<b>参考文献</b> -----	66
<b>附件</b> -----	67

# 前 言

2020年9月22日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话，提出了“双碳”目标，为实现这一目标，政府部门及相关研究机构公布了实现碳中和的路径。其中，可再生能源是实现“双碳”目标的重要途径，生物质能作为可再生能源的重要组成部分，相比风电、光伏等低碳能源具有独特的作用。一是生物质能是唯一的零碳可再生能源，能够低成本储存参与调峰；二是生物质能具有原料广泛、获取简单的特点，适合作为分布式能源推广应用；三是生物质能产业链较长，具有较强的“带动性”，可以拓展农业生产领域，带动农村经济发展；四是生物质能具备多元化利用的特点，可转化为固体、液体和气体燃料，用于发电、供热（冷）、交通燃料和工业原料等。基于此，发展生物质能在促进生态文明建设、实现“双碳”目标、助力乡村振兴、推动能源转型等方面有着不可替代的作用。

我国生物质能产业起源于20世纪70年代，经过几十年的发展，在生物质能清洁利用方面取得了诸多成就，生物质能产业规模不断扩大，支持政策不断完善。但是，在商业模式、体制机制、管理制度等方面还存在亟需解决的问题。

为推动生物质能在清洁利用领域的发展，分析生物质能在减污降碳方向的潜力以及应用场景，受能源基金会委托，中国产业发展促进会生物质能产业分会承接《生物质能清洁利用推动减污降碳的战略定位和应用场景研究》课题。

为高质量完成课题研究任务，课题组做了大量工作。一是依托协会对行业的了解，通过专家走访、案例征集、现场调研等形式，筛选整理出20多个各类生物质能清洁利用的典型案例；二是通过查阅文献、资料，梳理出我国生物质能产业发展历程；三是对当前我国生物质资源及利用情况、生物质能产业发展现状及存在问题进行深刻分析；四是在分析我国重要发展战略的基础上，给出了生物质能发展的战略定位及实现路径；五是基于对各类生物质能项目的特点，总结出一般性评价指标，建立了生物质能清洁利用项目评价指标体系；六是在上述分析的基础上，给出了宏观层面和在农村地区发展生物质能的建议。

# 第一章 生物质能清洁利用的重要意义

作为公认的零碳可再生能源，生物质能在促进生态文明建设、实现“双碳”目标、助力乡村振兴、推动能源转型等方面发挥着重要作用。发展生物质能不仅能够解决农村用能问题，还可以对城乡各类有机废弃物进行无害化、减量化处理，改善城乡居住环境。生物质能产业将农业、工业、服务业等领域有机的结合在一起，走出一条“农业 - 环境 - 能源 - 农业”绿色低碳、自然循环、可持续发展之路，发展生物质能产业具有重要意义。

## （一）是生态文明建设的重要内容

党的十八大以来，生态文明建设上升到“五位一体”高度，推进经济社会发展绿色转型越来越受到重视。党的二十大报告进一步提出：推进美丽中国建设，统筹产业结构调整、污染治理、生态保护、应对气候变化，协同推进降碳、减污、扩绿、增长，推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。这意味着在今后的生态环境保护工作中既要持续推进产业结构调整，优化产业布局，大力发展绿色生态产品，推进基础设施绿色低碳升级，提供绿色低碳服务，又要开展城乡环境整治，推进城乡清洁工程。我国发展生物质能产业主要是对农作物秸秆、生活垃圾、畜禽粪污等废弃物进行无害化处理和资源化利用，从源头避免废弃物乱堆、乱扔、乱排、乱烧、乱埋，改善城乡人居环境的同时，所产生能源具有绿色、清洁、低碳等特点，可有效助力我国能源转型及能源结构调整。发展生物质能产业将为生态文明建设注入新的发展动力。

## （二）是实现“双碳”目标的有效途径

实现碳达峰、碳中和（“双碳”目标），是以习近平同志为核心的党中央统筹国内、国际两个大局做出的重大战略决策，是着力解决资源环境约束突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择，是构建人类命运共同体的庄严承诺。二十大报告提出：立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动，深入推进能源革命，加快规划建设新型能源体系。开发和应用可再生能源是实现“双碳”目标的关键。而在可再生能源中，相比风、光、电等低碳能源，生物质能具有独特的作用——生物质能是唯一的零碳能源，能够低成本储存参与调峰；生物质能具备多元化利用的特点，可转化为固体、液体和气体燃料，用于发电、供热（冷）、交通燃料和工业原料等。基于此，在替代化石能源和化肥使用，降低二氧化碳排放方面有重要作用，同时林业生物质（如森林）具有较强的碳汇能力，根据国家林业和草原局的统计，森林每增加1立方米蓄积量，可吸收1.83吨二氧化碳，释放出1.62吨氧气；用1立方米木材替代等量的混凝土，可减少0.8吨二氧化碳排放。综上所述，生物质能产业将是实现“双碳”目标的有效途径。

## （三）是推动能源革命的发力点

第三次能源革命的核心是大力推动可再生能源的发展，提高可再生能源在一次能源中的比重，

实现化石能源向绿色、可持续的可再生能源转变。2021年国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》指出，要调整优化能源结构，大力发展新能源，建立清洁低碳安全高效的能源体系，以实现到2030年非化石能源消费比重达到25%左右的目标。当前我国能源结构依然以化石能源为主，煤炭、石油、天然气消费占比超过80%。生物质能具有低碳环保、稳定可靠、循环再生、品类丰富的特点，具备在油、电、气、热等化石能源领域无死角替代的独特优势，既能够在难以实现电气化的领域实现清洁能源替代，又能够在新型能源体系中发挥独特优势。主要表现在：工业生产中的高温处理工艺能够使用生物天然气等绿色燃料替代化石燃料；航海、航空等领域能够使用生物航煤等液体燃料替代航空煤油；同时，在新型能源体系中生物质能作为光伏、风电等能源的补充，在分布式能源利用方面有着不可替代的作用。因此，生物质能在推动我国能源结构转型方面将发挥重要作用，是推动能源革命的发力点。

#### **（四）是实现乡村振兴战略的重要抓手**

习近平总书记在党的二十大报告中提出“全面推进乡村振兴”，强调“建设宜居宜业和美乡村”。重要任务之一是构建现代乡村产业体系，促进产业振兴。要求要依托农业农村资源，发展乡村二三产业，延长产业链、提升价值链，推动乡村产业发展向深度和广度进军，提高质量效益和市场竞争能力，树立带动农民就业、促进农民增收的发展导向，立足整个县域统筹规划产业发展，带动农民增收致富。我国生物质资源主要分布于农村地区，对于生物质能利用（如农林生物质发电、沼气工程等）的产业链来说，从上游的原料收集到中游的生产转化再到下游的能源生产应用，各个环节都与当地农民的生产生活紧密相关，都需要当地农民的积极参与，能够显著增加农民就业和收入。同时，生物质能产业涉及农业种植、加工、装备制造、交通运输、电力服务、农村能源革命、清洁能源供给等多个行业和领域，是实现乡村振兴发展战略的重要抓手。

#### **（五）是北方地区清洁取暖的有效手段**

近年来，我国北方地区雾霾天气频发，京津冀地区尤为严重。受经济成本、取暖模式等诸多因素影响，短期内燃烧化石能源仍为北方农村地区冬季取暖的主要形式。推进我国北方地区冬季清洁取暖工作是中央提出的一项重要战略部署，这也为生物质能清洁供暖提供了发展机遇。生物质能在清洁供暖改造中有其独特的优势。一是成本较低，生物质成型燃料的燃烧性能与中质煤差不多，价格在800-1200元/吨，如果用于替代燃煤，燃料成本会略有增加，但远远小于“煤改气”“煤改电”的成本。二是生物质能有多种利用方式来满足清洁供热需求。如通过生物质热电联产、生物质锅炉、生物质热解气化，可以为县城地区集中供热；通过沼气工程，可以供气入户，也可以通过沼气热电联产或者沼气锅炉为区域集中供热；通过生物质户用炉具，可以为农村散户供暖，替代传统燃煤炉具。合理开发利用生物质能供暖，将是北方地区清洁供暖的重要组成部分。

## 第二章 生物质能产业发展历程

我国生物质能产业发展起源于 20 世纪 70 年代，经过近半个世纪的发展，从最初的为解决农村用能问题重点关注的户用沼气发展为目前热、电、气、油等产品综合利用的新格局。在此过程中，我国生物质能清洁利用技术不断突破，能源利用形式更加多元化，同时国家和地方层面也出台了诸多促进生物质能产业发展的政策法规。下面从我国生物质能利用形式、技术应用情况、政策法规等方面作简单梳理。

### （一）起步阶段（20 世纪 70 年代初到 80 年代末）

我国生物质能产业起源于 20 世纪 70 年代，为解决当时农村和边远地区能源需求和环境突出问题，农村能源的开发利用急需政府立法和出台相关的政策加以扶持。为此，国务院和有关部委颁布了促进生物质能发展的政策性文件，例如《关于当前农村建设中几个问题的报告》（1979 年）、《关于进一步发展沼气的报告》（1984 年）、《关于加强农村能源建设的意见》（1986 年）等，明确提出“发展沼气是解决农村能源，充分利用农业资源，减轻环境污染的一项重要措施”[1]。此时沼气工程主要以小型、分散的农村沼气池系统为主。

这一阶段相关政策的出台促进了农村生物质能的快速发展，提高了农村地区能源供应可靠性，但同时也存在政策支持力度不够，缺乏持续性的资金和技术支持，造成一些项目难以实施和可持续发展。

### （二）初步发展阶段（20 世纪 90 年代初到 21 世纪初期）

由于生物质能产业的发展未取得较大进展，扶持生物质能产业发展的法律法规文件较少，仅在《新能源和可再生能源发展纲要》（1995 年）提出了“九五”至 2010 年新能源和可再生能源的发展目标、任务；《中华人民共和国节约能源法》（1997 年）中仅提到了生物质能源可作为能源的一种，《中华人民共和国森林法》（1998 年）中提到了森林资源可作为生物质资源的一种，《关于进一步支持可再生能源发展有关问题的通知》（1999 年）对可再生能源（包括生物质能）发电项目财政优惠进行了明确规定，鼓励企业和地方政府投资建设生物质发电项目，农林生物质发电从试点运行进入大规模建设阶段，《中华人民共和国农业法》（2002 年）中指出农业可以为生物质能源产业的发展提供支持。2001 年颁布了可供使用乙醇汽油的国家标准，次年在哈尔滨等城市实现乙醇汽油的试点使用。

此时生物质能更多的是一种理念性的能源，缺乏实际生产及发展此种能源的意识，生物质能源产业发展处于投入阶段。在此阶段竞争者较少，进入壁垒很低，可供利用的生物质资源及技术手段较少，设备不够先进、自动化程度不高，专业人员供需不平衡，生产及研发成本高，投入阶段需要

大量固定资产投资，经营杠杆较高，经营风险较大。因此，外界消极看待其盈利模式，商业银行不愿提供贷款，企业融资较少不利于产业发展，难以实现生物质能源产业化及商业化发展，发展主要依靠政府扶持。

### **（三）快速发展阶段（“十五”末期到“十二五”期间）**

“十五”后期，我国开始加强能源立法，特别是《中华人民共和国可再生能源法》（2005年）的颁布为生物质能的开发利用提供了法律框架，标志着我国生物质能的发展进入了一个新的发展阶段 [2]。发改委颁布的《可再生能源产业发展指导目录》（2005年）中生物质能领域包含了13项开发利用和设备制造项目。2005年全国首个生物质发电示范项目正式在江苏运营，同年3月生物柴油生产技术取得较大突破，生物柴油生产逐步变多，9月关于农林生物质工程的国家专项设立，规划了未来生物质能源发展期望。2006年《可再生能源发电相关管理规定》和《可再生能源发电价格和分摊管理试行办法》颁布，指出了多种生物质发电的形式。同年1月黑龙江、湖北、江苏等地实现了生物质乙醇汽油的实际应用，河北和山东两地的生物质发电项目也顺利通过国家发改委审批。“十一五”规划指出，将建设沼气工程两万余个，并且新增秸秆沼气工程。此后逐步出现迪森股份、长青集团等从事生物质能源产业的上市公司，但其总量较少、市场份额不出众。2008年国家及地方发改委核准了39个生物质发电项目，相关投资约100亿元。据《中国私募股权投资基金年报》显示，2010年起私募股权投资基金越来越青睐对生物质能源产业的投资。

这一阶段我国生物质能产业投资规模逐渐扩大，生物质发电、生物液体燃料等领域得到迅猛发展，形成较为完整的产业体系，生物质成型燃料、生物天然气等发展已起步，呈现良好势头；政策支持力度，如鼓励政策、补贴政策、税收优惠政策等进一步加大；国际合作与交流进一步加强，借鉴国外先进的技术与经验，为生物质能产业健康发展奠定了基础。

### **（四）多元化发展阶段（“十三五”初期到现在）**

“十三五”是实现能源转型升级的重要时期，是新型城镇化建设、生态文明建设、全面建成小康社会的关键时期，生物质能面临产业化发展的重要机遇。《可再生能源发展“十三五”规划》（2016年）提出加快生物质能发展，按照因地制宜、统筹兼顾、综合利用、提高效率的思路，建立健全资源收集、加工转化、就近利用的分布式生产消费体系，提高生物质能利用效率和效益。在此基础上编制的《生物质能发展“十三五”规划》（2016年）阐述了“十三五”时期我国生物质能产业发展的基本原则、发展目标、发展布局和建设重点，提出了保障措施，为我国生物质能产业优化发展奠定了基础。《“十四五”可再生能源发展规划》（2022年）提出推进生物质能多元化开发利用，稳步发展生物质发电，积极发展生物质能清洁供暖，加快发展生物天然气，积极开展生物天然气示范县建设，大力发展非粮生物质液体燃料，支持生物柴油、生物航空煤油等领域先进技术装备研发



和推广使用，初步形成生物质电、热、气及液体燃料多元化利用格局。

在生物质发电方面，一是开发规模不断扩大，2022 年底，垃圾焚烧发电装机容量较 2016 年增长 330%；二是指导政策进一步完善，《国家发改委、国家能源局关于促进生物质能供热发展指导意见的通知》（2017 年）指出要大力发展农林生物质热电联产，形成一批以农林生物质热电联产为特色的县域。

在生物质清洁供热方面，《关于印发北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）的通知》（2017 年）明确了生物质清洁供暖利用的发展方向；《关于印发〈2020 年农业农村科教环能工作要点〉的通知》（2020 年）提出要因地制宜的发展生物质清洁供热技术，为生物质清洁供热的发展提供了新的发展思路。

在生物天然气方面，《2015 年农村沼气工程转型升级工作方案》和《全国农村沼气发展“十三五”规划》的出台，促使规模化、产业化的沼气工程的发展进入了快车道。2015-2017 年，国家连续三年以投资补贴方式支持规模化生物天然气工程建设，相关支持工程数量累计达到 64 个。《关于促进生物天然气产业化发展的指导意见》（2019 年）制定了未来 10 年生物天然气的发展目标，极大的鼓励了生物天然气产业的发展。

在生物液体燃料方面，《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》（2017 年），要求到 2020 年全国范围将推广使用车用乙醇汽油。《2021 年能源工作指导意见》明确指出了发展纤维素燃料乙醇将是生物燃料乙醇的重点方向。《“十四五”生物经济发展规划》（2022 年）提出推动生物燃料与生物化工融合发展，加快纤维素乙醇、藻类生物燃料等关键技术的研发，为生物质重点发展方向指明了道路。

这一阶段的特点是生物质能开发利用呈现多元化趋势，生物质能以发电利用为主，非电利用为辅。随着国家可再生能源发展基金缺口不断扩大，电价补贴拖欠已经相当严重，加上财政补贴退坡政策的影响，生物质发电行业发展形势并不乐观；同时，国家也出台了一系列政策鼓励生物质能产业高附加值发展，生物质能非电利用规模不断扩大。但是也存在分布式商业化开发利用经验不足，专业化市场化程度较低，技术水平需要提高等问题。

## 第三章 生物质能产业发展现状

我国有丰富的生物质资源，截止到 2022 年底，全国主要生物质资源量超过 34 亿吨，有大规模发展生物质能产业的基础；能源化利用水平相对较低，能源化利用率仅 12%，但是发展潜力巨大。十八大以来，我国生物质能产业取得了一定的成绩：生物质发电装机容量连续四年稳居世界第一，生物天然气年产量约 3 亿立方米，生物质清洁供暖面积超过 3 亿平方米，生物质成型燃料年利用量约 2000 万吨，生物乙醇、生物柴油等液体燃料年产量超过 500 万吨。但是，在支持政策、商业模式、体制机制、技术装备等方面还存在诸多亟需解决的问题。

### （一）生物质资源

我国是人口和农业大国，各类生物质资源丰富。目前我国主要生物质资源年产生量约为 34.28 亿吨。其中，以秸秆、林业剩余物、畜禽粪污、生活垃圾资源量最为丰富。

#### 1、秸秆

秸秆是作物收割后剩余的茎秆部分，种类上以水稻、小麦、玉米、大豆秸秆为主，谷子、油料作物、经济作物等其它作物秸秆为辅。根据农业农村部数据统计，2022 年全国（不含港澳台）秸秆资源量约为 8.65 亿吨，可收集量约为 7.34 亿吨，秸秆的产生和利用情况与区域地形地貌、自然资源条件、农业活动、经济特点有密切关系，因而具有广泛的区域差异性，据全国主要农区秸秆资源台账统计结果显示，秸秆产生量由大到小依次为长江中下游区、华北区、东北区、西北区、西南区、华南区，分别占全国秸秆总量的 32.41%、23.82%、20.66%、10.23%、8.44%、4.44%。

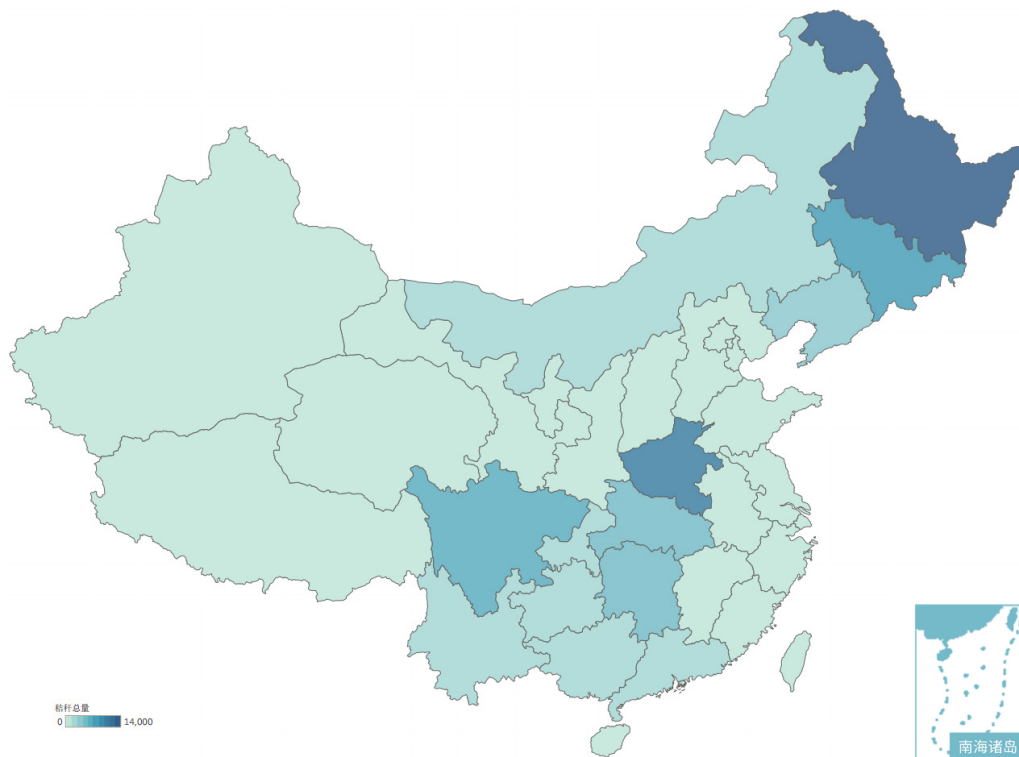


图 3-1 秸秆资源量分布（万吨）



我国农作物秸秆利用的主要途径包括肥料化利用、饲料化利用、能源化利用、原料化利用、基料化利用五种。肥料化利用主要以秸秆直接还田为主，包括机械化直接还田、覆盖还田等；饲料化利用方式包括秸秆青贮、氨化、微贮、膨化饲料及生产单细胞蛋白等，主要将农作物秸秆中的纤维素、半纤维素、木质素等转化为含有丰富菌体蛋白、微生物等成分的生物蛋白质饲料；能源化利用方式包括秸秆压块、秸秆直燃发电、秸秆打捆直燃供热、厌氧条件下秸秆与畜禽粪污等有机物混合发酵生产沼气等；原料化利用的方式包括秸秆造纸、秸秆生产板材、制作工艺和生木糖醇等，基料化利用主要是秸秆生产食用菌。

根据农业农村部数据，目前我国秸秆综合利用率达到了 88.1%，其中，肥料化利用率 60%，利用量约 4.4 亿吨；饲料化利用率 18%，利用量约 1.32 亿吨；能源化利用率 8.5%，利用量约 0.6 亿吨；原料化利用率 0.9%，利用量约 660 万吨；基料化利用率 0.7%，利用量约 500 万吨。

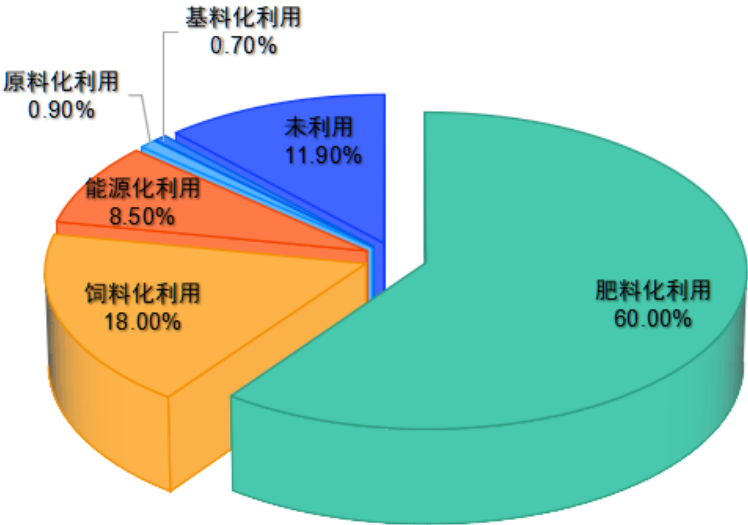


图 3-2 农作物秸秆利用形式及利用量

**2、林业剩余物**

林业剩余物是指林业生产和加工过程中产生的剩余物，主要包括林木采伐和造材剩余物、木材加工剩余物、竹材采伐和加工剩余物、森林抚育与间伐剩余物、城市园林绿化废弃物、经济林修剪废弃物、废弃木质材料共七大类。根据统计，目前我国林业面积约为 17989 万公顷<sup>1</sup>，按相关计算，截至 2022 年，我国林业剩余物资源量约为 3.5 亿吨，林业剩余物资源量以广西、云南、福建、广东、湖南最为丰富，占总量的 40%。

我国林业剩余物的利用途径主要为原料化利用、能源化利用、肥料化利用、饲料化利用等 [3]。原料化利用是指以林业剩余物为原料采用机械加工和化学加工利用等方式生产人造板、活性炭等；

1. 数据来源 《林业和草原统计年鉴》

能源化利用是指通过燃烧、热解气化、机械加工等方式生产固体成型燃料、生物柴油、生物质燃气、发电供热等；肥料化利用是将林业剩余物通过堆肥技术生产有机肥，用作园林环保植物的肥料；饲料化利用是利用林业剩余物生产各种饲料产品。

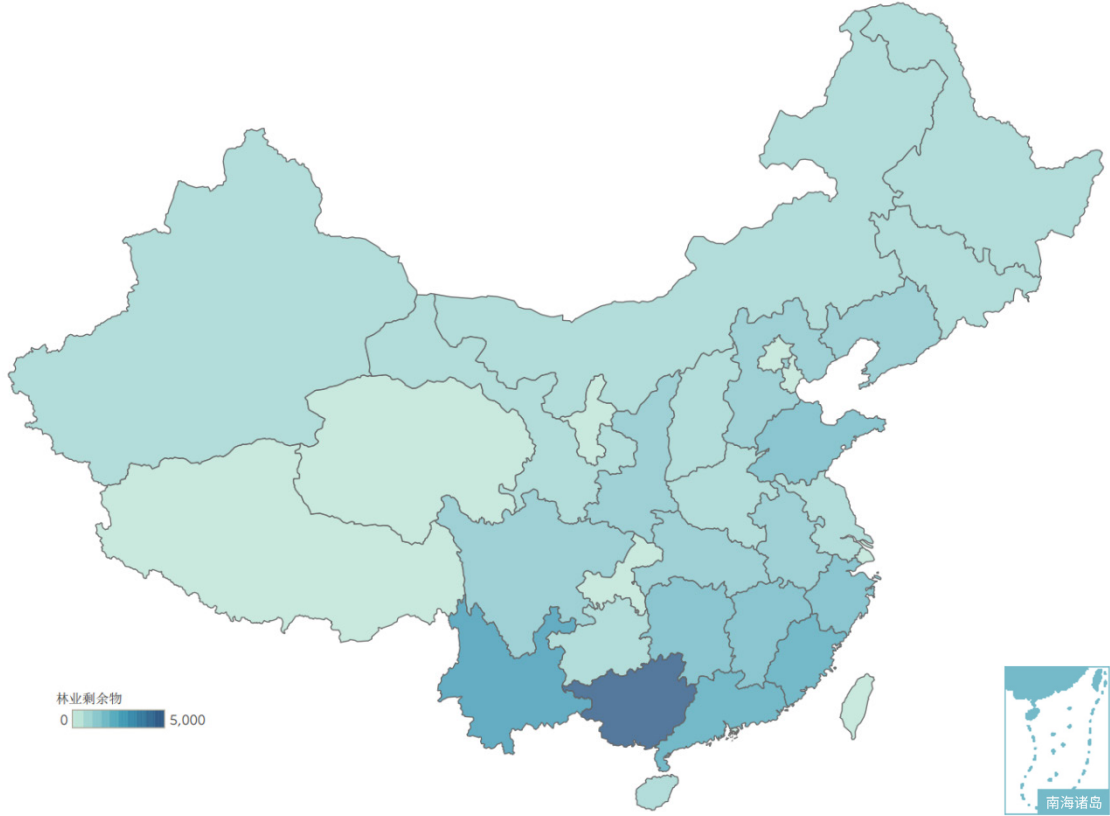


图 3-3 林业剩余物资源量分布（万吨）

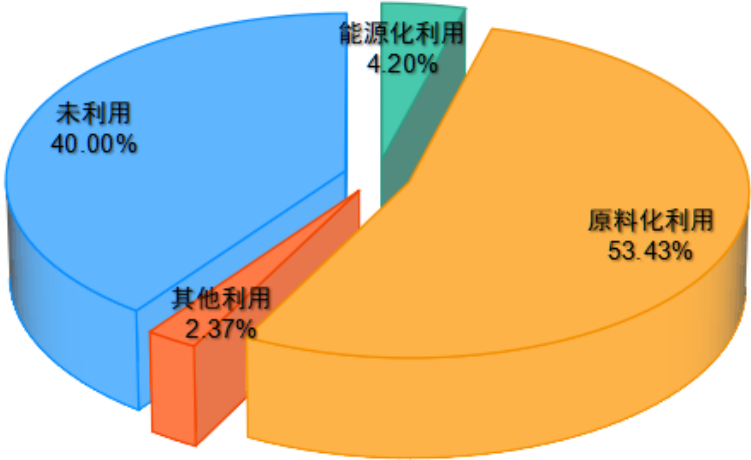


图 3-4 林业剩余物利用形式及利用量

当前我国林业剩余物综合利用率约 60%，原料化利用是最主要的方式，利用率超过 50%；能源化利用所占比例较小，仅为 4.2%，利用量在 1500 万吨左右；饲料化利用技术发展缓慢，特别是利用纤维素、木质素生产饲料技术由于成本较高难以产业化；肥料化应用由于原料种类的不确定性导致生产的有机肥降解速度和稳定性存在差异影响作物的生长，进而规模较小。

### 3、畜禽粪污

畜禽粪污是畜禽养殖过程中，畜禽产生的粪便、尿液等排泄物，主要包括生猪、牛、家禽等畜禽的粪便。截止到 2022 年，全国猪、牛、家禽三大类畜禽存栏量约分别为 44922 万、9817 万、67.8 亿，我国畜禽粪污（不包含冲洗废水）的资源量共计 18.68 亿吨<sup>2</sup>，其中，山东、河南、四川、河北、江苏五省畜禽粪污资源量位居全国前列，占总量的 38%。

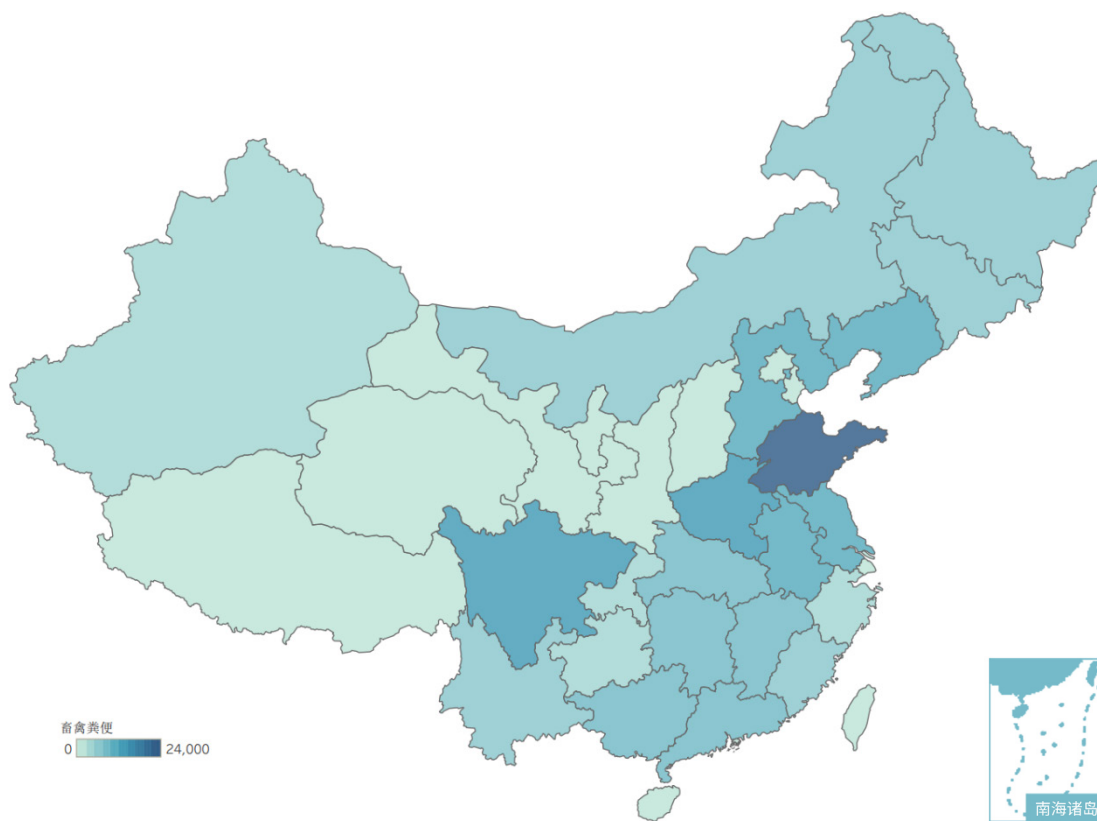


图 3-5 畜禽粪污资源量分布（万吨）

根据养殖规模的不同畜禽粪污的处理方式也有所不同。传统农户小规模养殖的畜禽固体粪污大多以农家肥的形式直接还田，部分用于厌氧发酵生产沼气；规模化养殖场主要集中在人口密集的大城市近郊，使得养殖业与种植业分离，从事养殖的企业没有配套的耕地，使得畜禽粪污很难直接返

<sup>2</sup> 数据来源 《中国农业年鉴》 《中国农村统计年鉴》 《中国畜牧兽医年鉴》

回到耕地，这部分畜禽粪污主要通过规模化的沼气工程生产沼气进行发电或者出售给第三方生产有机肥。当前我国畜禽粪污的处理方式主要有肥料化利用、饲料化利用和能源化利用等。肥料化利用主要是直接还田和生产有机肥，饲料化利用是将高温、灭菌处理的粪便用作动物饲料或饲料添加剂，肥料化利用则主要通过厌氧发酵技术生产沼气或生物天然气。

根据农业农村部数据及协会统计的规模化沼气（生物天然气）项目计算，目前我国畜禽粪污综合利用率约 78%，肥料化利用率超过 60%，利用量约 12.14 亿吨；能源化利用率为 11.29%，利用量约 2.11 亿吨。

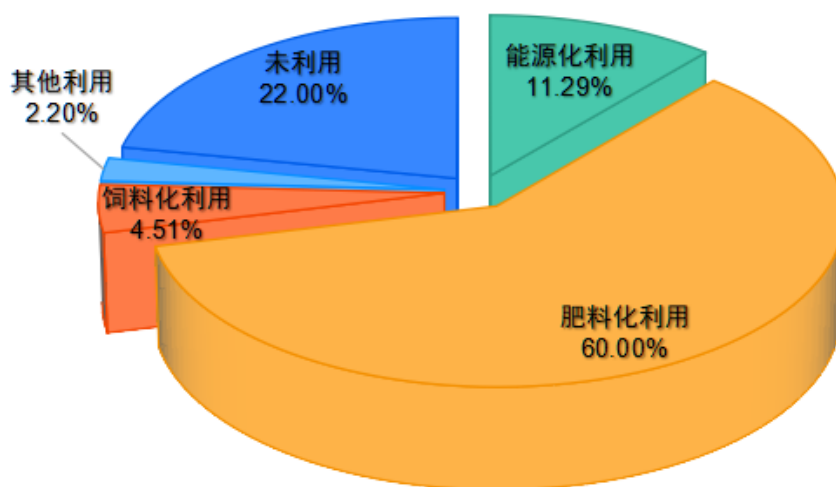


图 3-6 畜禽粪污利用形式及利用量

#### 4、生活垃圾

生活垃圾是指在日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的固体废物，一般分为四类：可回收垃圾、厨余垃圾、有害垃圾和其它垃圾，其中厨余垃圾占比超过二分之一，主要包括丢弃不用的菜叶、剩菜、剩饭、果皮、蛋壳、茶渣、骨头等，其主要来源为家庭厨房、餐厅、饭店、食堂、市场及其他与食品加工有关的行业。随着我国社会经济的快速发展、城市化进程的加快以及人民生活水平的迅速提高，生活垃圾产生量也随之迅速增加，污染环境的状况以及对人们健康的影响也越加明显。

根据住建部发布的《城乡建设统计年鉴》数据，2022 年国内生活垃圾清运量约为 3.16 亿吨，生活垃圾的清运量与经济发展水平密切相关，我国大、中城市中，北京城市生活垃圾清运量约为 800 万吨，占全国生活垃圾总清运量的 2.50%，上海城市生活垃圾清运量约为 960 万吨，占全国生活垃圾总清运量的 3.04%，分省份来看，广东、山东、江苏、浙江、四川五省的生活垃圾清运量占到总清运量的 35%。

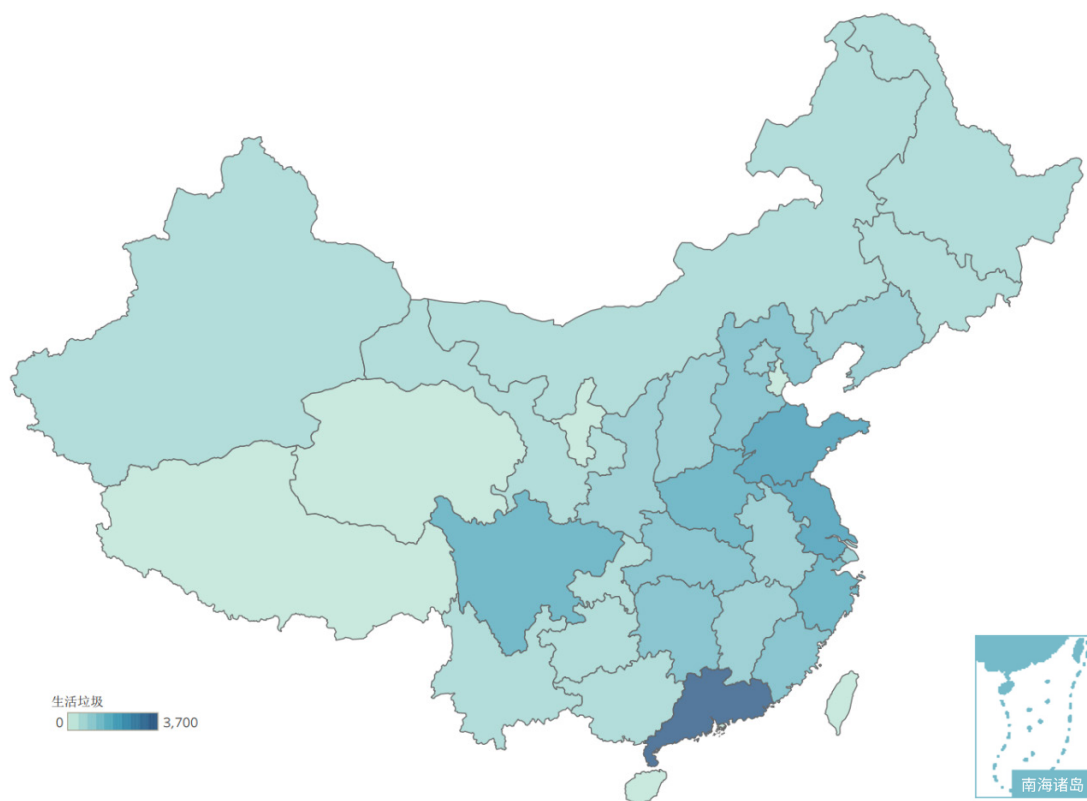


图 3-7 生活垃圾资源量分布（万吨）

当前我国生活垃圾基本上已实现无害化处理，处理方式包括卫生填埋、焚烧和堆肥。2022 年国内生活垃圾无害化处理量达到 3.15 亿吨，无害化利用率约 99.6%。其中，资源化利用率约 74%，利用量约 2.35 亿吨；资源化利用的主要方式是垃圾焚烧发电和厌氧发酵生产沼气（生物天然气）。

另外，随着我国垃圾分类工作的持续推进，厨余垃圾在生活垃圾的占比呈现下降趋势，当前我国厨余垃圾清运量约 1.12 亿吨，处理方式以卫生填埋为主。

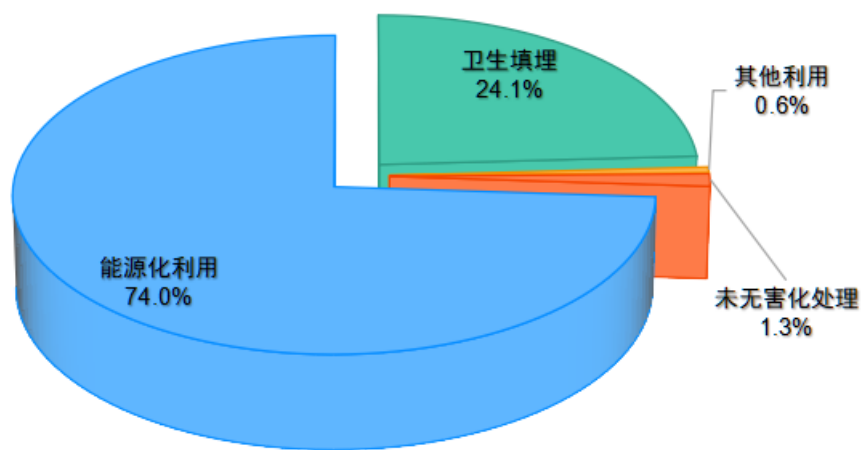


图 3-8 生活垃圾利用形式及利用量

## 5、其他有机废弃物

其他有机废弃物包括废弃油脂、污水污泥等。废弃油脂是指不可再食用的动植物油脂和各类油水混合物。根据国家统计局数据及《中国农业展望报告》统计数据显示，2022年我国动、植物油消费总量大约是4000万吨，在未统计畜禽处理产生的废弃油脂情况下，废弃油脂产量约为动植物油消费总量的30%，当前废弃油脂产量在1200万吨左右。如果这些废油不能正当处理不仅污染环境，还会被不法商贩进行简单的加工后重新流入餐桌，直接威胁到人们的食品安全。

废弃油脂的产量与人口数量、饮食习惯等因素相关，我国废弃油脂资源分布主要集中在广东、四川、河南、江苏、湖南等人口大省，占到废弃油脂总产量的35%左右。

当前我国废弃油脂利用途径主要有三种，一是对地沟油等废弃油脂进行简单加工提纯，直接作为低档的工业油酸、硬脂酸和工业油脂等；二是利用地沟油制备无磷洗衣粉；三是将废弃油脂醇解制取生物柴油。

根据全国生物柴油生产规模推算，当前我国废弃油脂综合利用率超过24%，其中18%用于生产生物柴油或生物航煤，少部分用于生产油酸等化工原料。

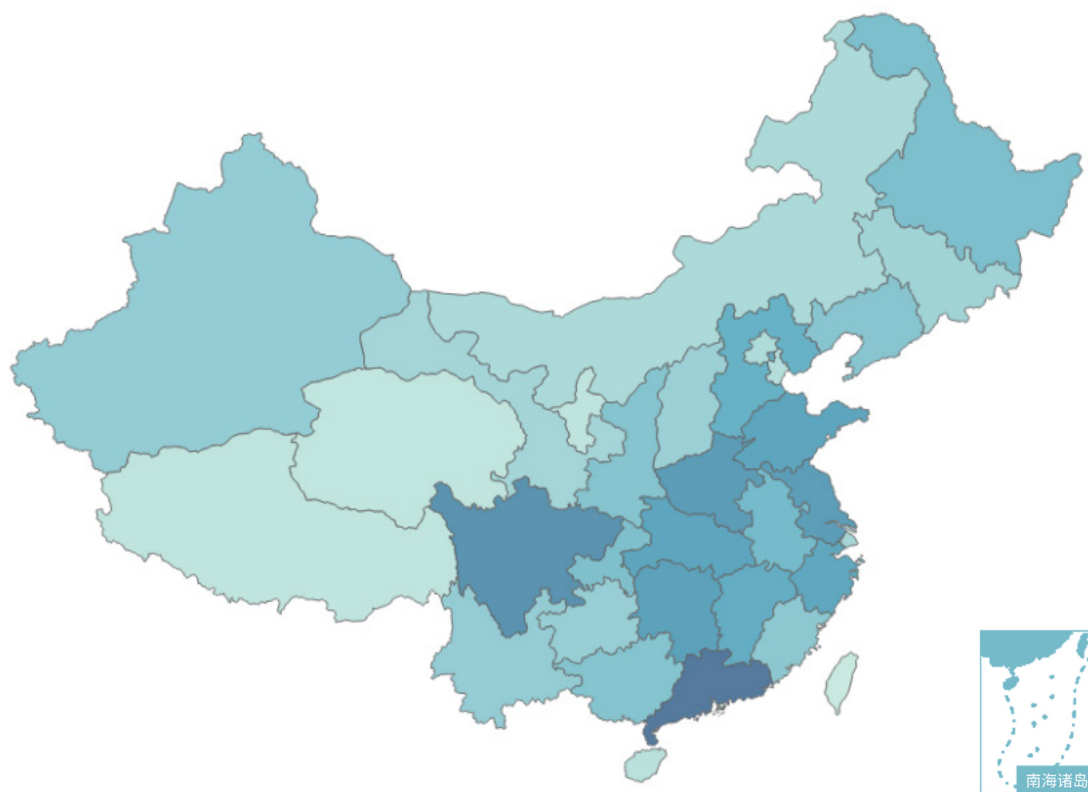


图 3-9 食用油消费量分布（万吨）

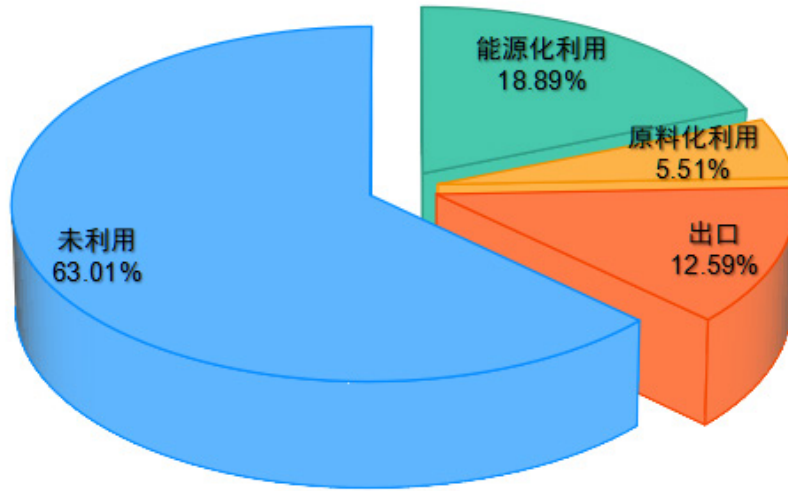


图 3-10 废弃油脂利用形式及利用量

根据住房和城乡建设部数据，2022 年我国生活污水污泥产生量干重为 1622 万吨，污水污泥资源集中在城市化程度较高区域，资源总量前五分别是北京、广东、浙江、江苏、山东，占全国总量的 44.3%。

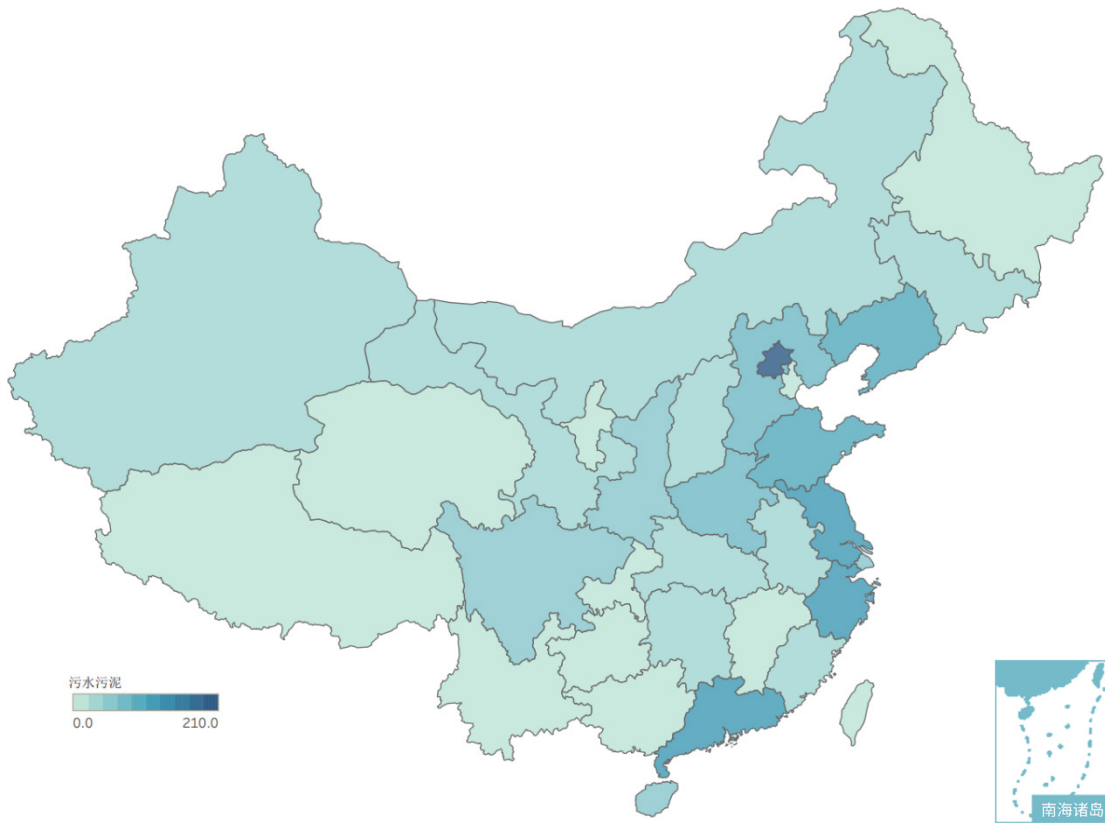


图 3-11 污水污泥资源量分布 (万吨)



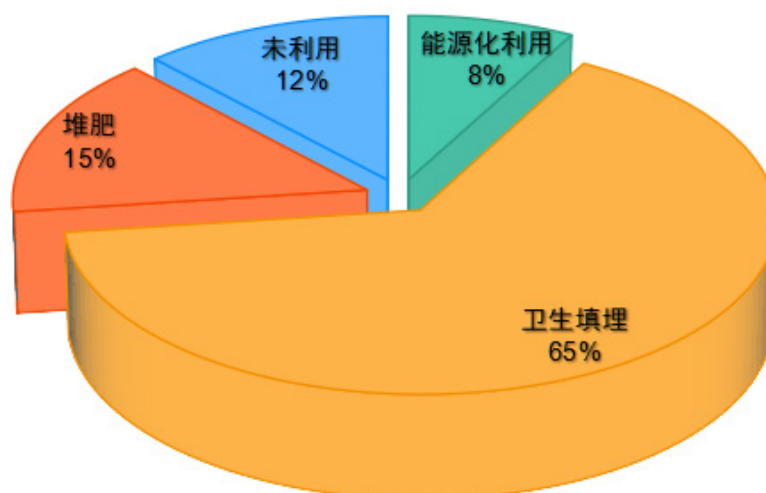


图 3-12 污泥利用形式及利用量

目前我国常用的污泥处理技术主要包括污泥浓缩技术、污泥脱水技术、污泥厌氧消化技术、高温好氧发酵技术、污泥热干化技术等。经过处理的污泥需要进行安全处置，目前通常采用的处置方法有农用（堆肥）、焚烧、卫生填埋。但这些处置方式现在都遇到了不同程度的阻碍：农用对污泥泥质要求较高，污泥中重金属和其他有毒有害物质往往超标；焚烧存在能耗高、投资运营要求高、臭气及尾气处理不达标等问题；卫生填埋通常遇到无地可埋的尴尬处境。

当前，我国污水污泥无害化处理率超过 80%，其中大部分用于卫生填埋，少量用于焚烧发电及堆肥处理。

## （二）行业发展

目前我国生物质能产业涉及生物质发电、生物天然气、生物质清洁供热、生物液体燃料等领域。其中，生物质发电装机容量连续四年稳居世界第一，生物天然气、生物质清洁供热、生物液体燃料规模不断扩大。

### 1、生物质发电

生物质发电是可再生能源发电的重要组成部分，包括农林生物质发电、垃圾焚烧发电、沼气发电。截止到 2022 年，我国可再生能源总发电装机容量达到 12.13 亿千瓦，发电量达 2.7 万亿千瓦时。其中，生物质发电全国并网装机 4132 万千瓦，年发电量 1824 亿千瓦时，年上网电量 1531 亿千瓦时<sup>3</sup>。

<sup>3</sup> 数据来源国家能源局、《2023 中国生物质能产业发展年鉴》、《中国可再生能源发展报告 2022》



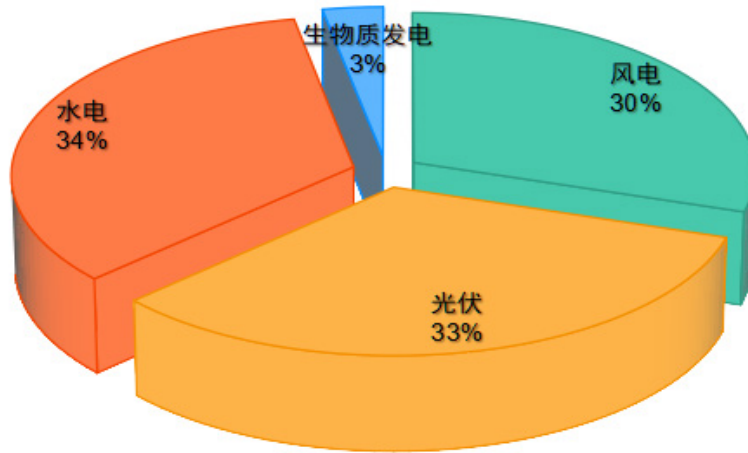


图 3-13 2022 年全国各类可再生能源发电装机比例

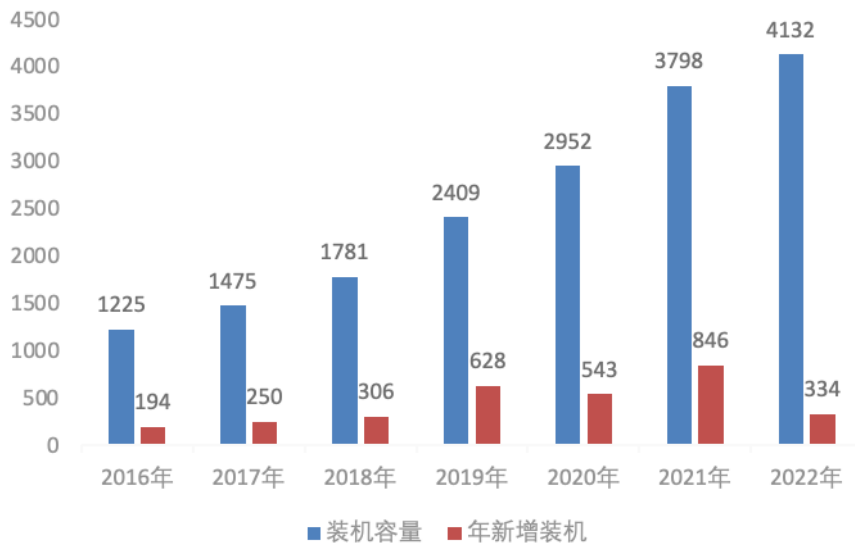


图 3-14 2016-2022 年全国生物质发电装机容量和新增容量（万千瓦）

### (1) 农林生物质发电

截止到 2022 年底，全国农林生物质发电累计装机容量 1623 万千瓦，新增装机 65 万千瓦，较 2021 年增长 3.7%。装机容量排名前 5 的省份分别是：黑龙江省（14.29%）、山东省（11.91%）、广西省（11.67%）、安徽省（8.78%）、河南省（7.71%）。

全国农林生物质发电行业年发电量为 517 亿千瓦时，较 2021 年增长 0.2%。从地区发展来看，发电量排名前 5 位的省份是黑龙江省、山东省、安徽省、河南省、广西壮族自治区，分别为 74.8 亿千瓦时、72.7 亿千瓦时、68.7 亿千瓦时、52.6 亿千瓦时和 40.4 亿千瓦时。

全国农林生物质发电行业年总上网电量为 442 亿千瓦时，较 2021 年降低 0.8%。从地区发展

来看，上网电量排名前 5 位的省份是黑龙江省、安徽省、山东省、河南省和江苏省，分别为 65.2 亿千瓦时、63.5 亿千瓦时、63.3 亿千瓦时、47.6 亿千瓦时和 22.7 亿千瓦时。

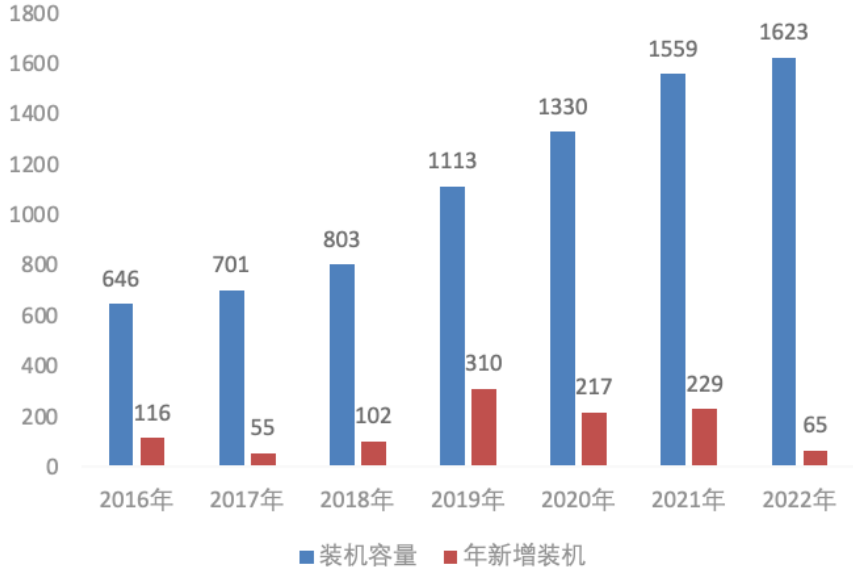


图 3-15 2016-2022 年农林生物质发电装机容量和新增装机容量 (万千瓦)

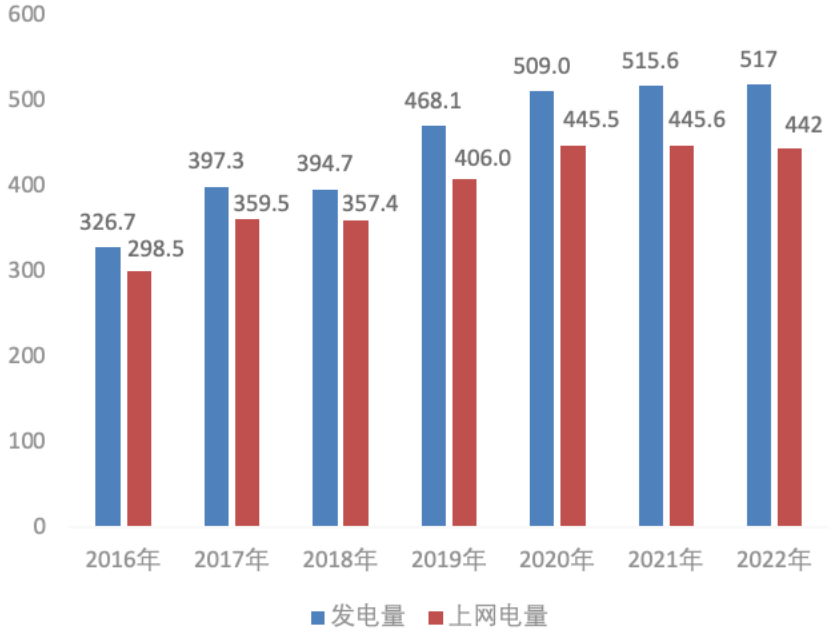


图 3-16 2016-2022 年农林生物质发电发电量和上网电量 (亿千瓦时)

农林生物质发电行业主要企业有：国能生物质发电集团有限公司、中国光大绿色环保有限公司、理昂生态能源股份有限公司等。

## (2) 生活垃圾焚烧发电

截止到 2022 年底，全国垃圾焚烧发电装机容量 2386 万千瓦，新增装机 257 万千瓦，较 2021 年增长 11.4%。装机容量排名前 5 的省份分别是：广东省（14.24%）、浙江省（10.38%）、山东省（8.50%）、江苏省（8.35%）、河北省（6.11%）。

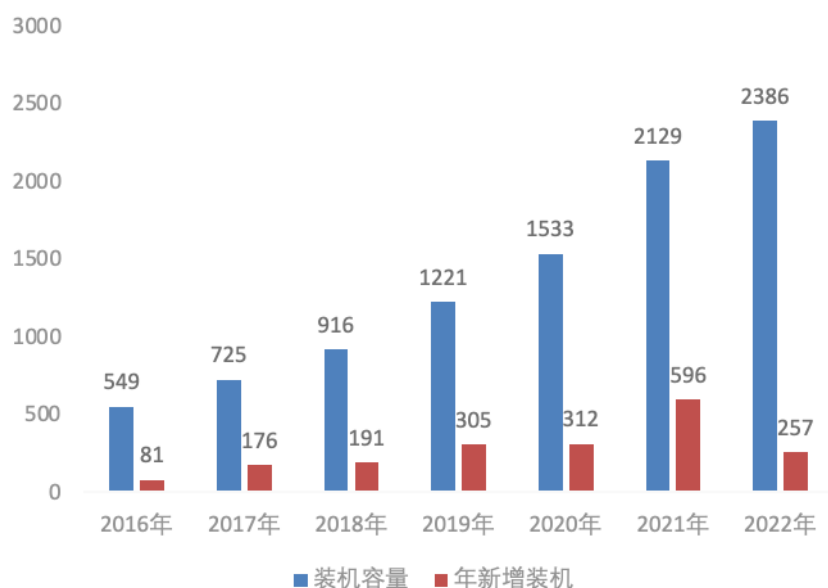


图 3-17 2016-2022 年垃圾焚烧发电装机容量和新增容量（万千瓦）

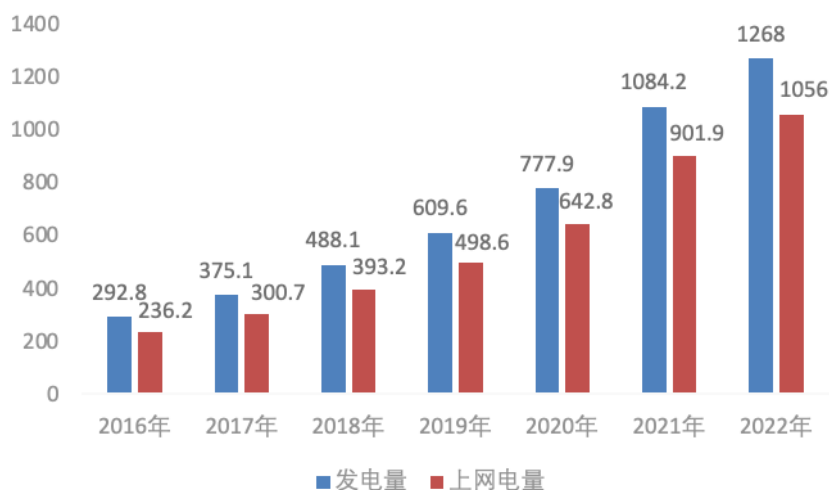


图 3-18 2016-2022 年垃圾焚烧发电发电量和上网电量（亿千瓦时）

全国垃圾焚烧发电行业年发电量为 1268 亿千瓦时，较 2021 年增长 16.9%。从地区发展来看，发电量排名前 5 位的省份是广东省、浙江省、山东省、江苏省和河北省，分别为 184.0 亿千瓦时、130.5 亿千瓦时、108.3 亿千瓦时、107.5 亿千瓦时和 65.2 亿千瓦时。

全国垃圾焚烧发电行业年上网电量为 1056 亿千瓦时，较 2021 年增长 17.0%。从地区发展来看，上网电量排名前 5 位的省份是广东省、浙江省、山东省、江苏省和四川省，分别为 158.2 亿千瓦时、102.5 亿千瓦时、88.9 亿千瓦时、88.7 亿千瓦时和 55.4 亿千瓦时。

生活垃圾焚烧发电行业主要企业有：中国光大国际有限公司、深圳市能源环保有限公司、重庆三峰环境股份有限公司、中国环保集团有限公司等、瀚蓝环境股份有限公司等。

### (3) 沼气发电

截止到 2022 年底，全国沼气发电装机容量 122 万千瓦，新增装机 12 万千瓦，较 2021 年增长 10.5%。装机容量排名前 5 的省份分别是：广东省（26.18%）、山东省（12.18%）、江苏省（7.57%）、湖南省（6.7%）、浙江省（6.14%）。

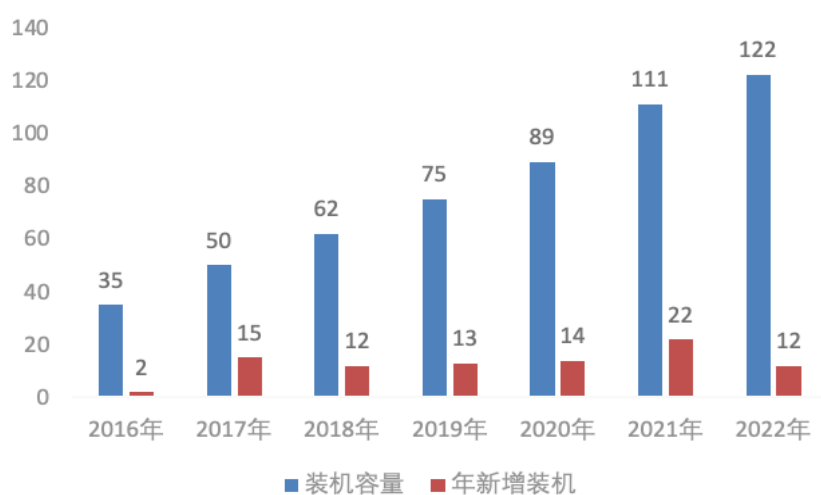


图 3-19 2016-2022 年沼气发电装机容量和新增容量（万千瓦）

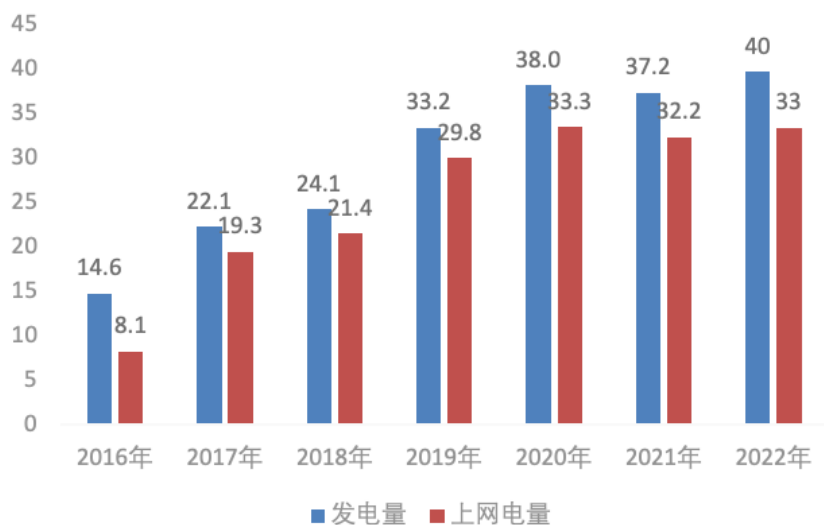


图 3-20 2016-2022 年沼气发电发电量和上网电量（亿千瓦时）

全国沼气发电行业年发电量为 40 亿千瓦时，较 2021 年增加 5.4%。从地区发展来看，年发电量排名前 5 位的省份是广东省、山东省、湖南省、四川省、浙江省，分别为 11.7 亿千瓦时、4.0 亿千瓦时、2.6 亿千瓦时、2.5 亿千瓦时和 2.3 亿千瓦时。

全国沼气发电行业年上网电量为 33 亿千瓦时，较 2021 年增长 2.5%。从地区发展来看，上网电量排名前 5 位的省份是广东省、湖南省、四川省、浙江省和河南省，分别为 10.9 亿千瓦时、2.5 亿千瓦时、2.4 亿千瓦时、1.91 亿千瓦时和 1.90 亿千瓦时。

## 2、沼气及生物天然气

根据协会数据统计，目前我国已经建成及正在建设的沼气工程及规模化生物天然气项目超过 200 个，生物天然气设计年产量约 14 亿立方米。在这些项目中，正常运行的项目约 127 个，占项目总数的 61%，设计产气规模约 7.9 亿立方米；半运行状态的项目约 17 个，占项目总数的 8.17%，设计产气规模约 1.68 亿立方米；处于停滞状态的项目约 30 个，占项目总数的 14.42%，设计产气规模约 2.52 亿立方米；在建项目 17 个，占项目总数的 8.17%，设计产能 0.63 亿立方米；其他项目没有掌握运行情况，项目数量在 17 个左右，占项目总数的 8.17%，设计产气规模约 1.27 亿立方米。

分地区看，华东地区生物天然气项目设计规模约 4.34 亿立方米，占总设计规模的 31%，居全国首位；其次是华北地区、东北地区、华中地区、西南地区、西北地区、华南地区，分别占全国总产气规模的 25%、13%、12.5%、9.7%、7.4% 和 2%。

## 3、生物质清洁供热

目前，生物质已实现通过多种利用方式来满足清洁供热需求，如通过生物质热电联产、生物质锅炉、生物质热解气化，为县城地区集中供热；通过沼气热电联产或者沼气锅炉为区域集中供热；通过生物质户用炉具为农村散户供暖。截止到 2022 年，我国生物质清洁供热量已超过 3 亿吉焦，其中生物质清洁供暖面积约 3 亿平方米；生物质成型燃料年利用量达到 2000 万吨。

### (1) 生物质成型燃料 + 生物质锅炉集中供热

生物质成型燃料锅炉集中供热是指把作物秸秆、林业废弃物等生物质材料压缩成块状、棒状、颗粒状等成型燃料，并将其与专用锅炉相结合，利用生物质成型燃料在锅炉中的高温裂解气化反应，产生可燃性气体，然后通过管道输送至需要供暖的场所，实现对建筑物的供暖。

当前我国生物质成型燃料 + 生物质锅炉集中供热模式主要对乡镇政府、医院、学校、养老院等村镇公共设施供暖。

### (2) 生物质成型燃料 + 生物质户用炉具分散式供热

生物质户用炉具一般利用生物质燃料的半气化燃烧原理，把焦油、生物质炭渣等完全燃烧殆尽，

明显地降低颗粒物和一氧化碳等污染物的排放。

当前我国生物质成型燃料 + 生物质户用炉具已实现为散村的农户及管网新建成本较高、财政补贴困难的地区进行分散式供暖。

### (3) 秸秆打捆直燃集中供暖

秸秆打捆直燃集中供暖技术是一种将打成捆的秸秆，在新型专用锅炉内直接燃烧，替代燃煤，为社区、乡镇政府、学校、医院、敬老院等提供集中供暖，为工农业生产提供集中供热的清洁能源技术。目前该技术在我国东北地区应用较为广泛。

## 4、生物液体燃料

生物液体燃料包括生物燃料乙醇、生物柴油、生物甲醇、生物航煤等。截止到 2022 年，我国生物液体燃料年产量约 550 万吨，具体来看，生物燃料乙醇以一代粮食乙醇为主，二代纤维素乙醇由于关键技术还未突破仍处于试验阶段，目前燃料乙醇的年产量约 350 万吨；生物柴油主要以废弃油脂为原料通过油脂与甲醇酯交换生产的第一代生物柴油为主，年产量约 200 万吨。生物航煤及生物甲醇目前还处于试验阶段，并未实现大规模生产。

## (三) 存在问题

近年来，虽然我国生物质能产业发展取得了积极成效，但与我国丰富的生物质资源和广阔的市场前景相比，仍存在诸多亟需解决的问题，距离生物质资源的高效利用还有较大差距，造成这些差距的主要原因如下：

### 1、对生物质能认识有待提高

当前，我国生物质能主要以农林废弃物、城镇生活垃圾、厨余垃圾、畜禽粪污、工业有机废弃物等为原料，生物质能是在解决环保问题的基础上，对生物质资源进行能源化、资源化利用，具有显著的绿色清洁、低碳环保的属性和优势。但因生物质能源化利用技术路径多，利用规模相对较小，多年来一直没有得到足够重视，对生物质能兼具的环保和清洁能源双重属性定位不清，对生物质能开发利用产生的环保、民生、扶贫和公共服务等多重社会属性和综合效益认识不足，部分地方甚至出台相关限制性政策措施，如深圳、唐山等市，在生态环境部 2017 年 4 月发布《高污染燃料目录》后又相继制定出台了“把生物质成型燃料等同于高污染燃料”的限制性政策文件，对我国生物质能健康可持续发展造成较大的阻碍。

### 2、顶层设计亟需加强

生物质能开发利用涉及发改、能源、农业、环境、住建、林草等多个部门，多年来一直面临“多头”管理的局面，各部门职责界定不清。如农林废弃物资源的收储运，从国家层面没有一个专职部

门进行管理，不少地方仅从环保角度出台禁烧政策，对如何解决这一问题没有配套措施，资源收集几乎都是企业行为。多头管理的另一弊端就是政出多门，部门间协调难度大，政策难以形成合力，执行效率低下，甚至时有发生部门间相互掣肘的现象。典型问题之一，发改和能源部门从清洁的可再生能源角度出发，积极推动生物质能清洁供热产业发展，大力发展生物质成型燃料，但生态环保部门却将生物质成型燃料视为高污染燃料，禁止推广应用，导致企业无所适从，极大影响了生物质能在清洁供热领域的发展。

### 3、支持政策需要进一步完善

与风能、太阳能等可再生能源相比，我国对生物质能发展的支持力度明显不足，有些对生物质能产业发展起着关键作用的政策至今仍未出台。以生物质直燃锅炉的大气污染物专用排放标准缺失最为典型，由此导致部分地方政府要求生物质发电项目执行燃煤超低排放标准。有的方面虽然出台了相关政策，但政策支持力度不足。如2019年12月十部委联合发布了《关于促进生物天然气产业化发展的指导意见》，明确提出了生物天然气近期和远期发展目标，但两年多时间过去了，至今没有出台相关的配套政策措施。此外，生物质能作为具有典型环保属性的可再生能源，目前国家仍未出台能实现其生态环境价值的相关政策，也未建立“谁排污、谁付费”的废弃物有偿处理机制，这是导致生物质能非电利用没有形成规模、发展速度严重滞后的一个重要因素。

### 4、体系机制需要健全

到目前为止，我国从未开展过全面系统的生物质资源调查工作，生物质资源量数出多门，没有形成标准协调的统计口径，也未建立国家生物质原料收集、储运保障体系和开发利用管理体系。多年来，没有在国家层面建立专门的生物质能研究机构，也未建立生物质能技术研发及推广应用机制，并缺乏相应的人才培养机制。投资生物质能领域的企业大多以民营企业为主，企业规模普遍偏小，项目盈利能力弱，技术更新迭代缓慢，技术创新能力严重不足，产业体系和核心装备制造体系还需完善，如粉碎机、干式厌氧发酵、搅拌器、提纯等关键技术和核心装备还需依赖进口，这严重制约了我国生物质能产业的高质量发展。

### 5、商业模式需要创新

生物质能是唯一可转化成多种能源产品的可再生能源。发电、供热、气化制气、生产液体燃料等任何一种能源化利用方式产业链都相对较长，目前尚未建立形成相对成熟的商业模式。在原料收集保障方面，农业秸秆、畜禽粪污、厨余垃圾等废弃物资源尚未建立“谁排污、谁付费”的由第三方专业化有偿处理机制，原料收储运成本占比过高，能源化利用项目经济性相对较差。在产品市场方面，生物质发电补贴拖欠严重，目前又面临补贴退坡影响，企业运营步履维艰；热力、生物天然气、燃料乙醇、生物柴油等各种能源产品，普遍存在市场壁垒，需要营造良好的市场环境，打破市场壁

垒，建立多元化的消费体系，增强盈利水平；生物天然气有机肥产品相关政策、标准尚未建立健全，市场也有待进一步培育。

## 6、技术装备需要创新

相比欧美发达国家，我国生物质能利用技术还处于起步阶段，核心装备还需要进口。在农林生物质发电技术方面，原料预处理及高效转化与成套装备研制等核心技术仍存在瓶颈，锅炉系统、配套辅助设备工艺等方面相对落后，燃烧装置沉积结渣和防腐技术需要突破。在沼气/生物天然气方面，现阶段我国投产运行的规模化、商业化项目不多，能适应不同原料、不同气候条件的先进发酵酶工艺以及发酵、提纯技术设备仍需从国外进口；生物天然气核心装备生产技术与国外同类产品相比仍有一定差距，还存在制造水平低、品种单一或缺档、产品配套性差等问题。此外，在生物制清洁供热方面，仍缺乏高效、大型低排放生物质锅炉等现代化的专用设备，生物质成型燃料工程化水平还有待提高；纤维素制备燃料乙醇的核心技术仍未取得突破，许多关键技术和核心设备都依赖进口；生物柴油酶转化技术仍未进入商业化大规模应用。



## 第四章 生物质能战略定位分析

生物质能发展要服务于实现国家重要发展战略，生物质能发展目标应成为国家战略目标的重要组成部分。

具体来说，生物质能应服务于“双碳目标”战略。一是服务于构建清洁低碳安全高效的能源体系，加快化石能源替代，降低二氧化碳排放，推进生物质发电、生物天然气、生物液体燃料等多元化发展；二是服务于农村建设和用能低碳转型，加快生物质能等可再生能源在农业生产和农村生活中的应用。

生物质能应服务于乡村振兴战略。一是服务于乡村产业振兴，以生物质能产业为纽带，促进乡村一二三产业融合发展；二是服务于北方地区大气污染治理行动，拓展生物质清洁供暖市场，特别是在农村地区发展现代生物质供热、供气；三是服务于美丽乡村建设，因地制宜处理各类有机废弃物，拓展生物质能的应用；三是结合零碳乡村建设，提升生物质能产业的发展质量和效益。

服务于推动全社会高质量发展战略目标。一是服务于创新驱动发展战略，加大技术研发投入，突破生物质能行业关键核心技术装备；二是服务于推进区域协调发展，促进全体人民共同富裕的目标，拓展生物质能生产-加工-利用产业链，缩小城乡居民收入差距；三是服务于推进高水平对外开放，积极引入国外资金及先进技术，同时推动生物质能产业参与“一带一路”建设。

在国家重大战略目标指导下，生物质资源能源化利用量呈现快速增长的趋势，生物质发电、生物天然气、生物甲醇等生物质能源在电气化背景下将发挥其独特的作用，能够实现我国 2030 年碳达峰，2060 年碳中和做出巨大减排贡献。

本部分基于过去五到十年生物质资源的发展趋势，对秸秆、生活垃圾等废弃物资源量及能源化利用量进行预测，结合各类生物质能产品的优势，在电气化背景下，预测 2030 年 -2060 年我国生物质发电、生物天然气等生物质能利用的潜力及二氧化碳减排量。

### （一）双碳目标下生物质资源发展水平

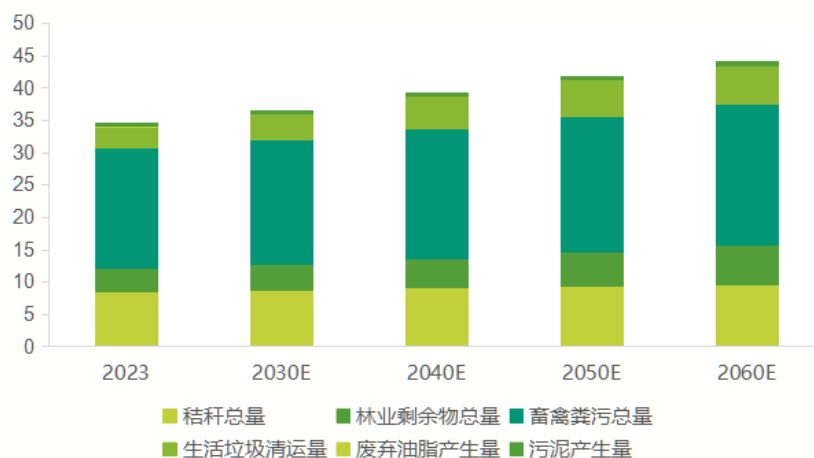


图 4-1 我国生物质资源总量增长预测（亿吨）

随着经济的发展和消费水平不断提升，我国生物质资源产生量呈不断上升趋势，总资源量年增长率预计维持在 0.8% 以上。预计 2030 年我国生物质总资源量达到 36.34 亿吨，到 2060 年我国生物质总资源量将达到 44.06 亿吨。

## 1、秸秆

目前，根据农业农村部统计数据，并依照第二次全国污染源普查公报草谷比参数，我国秸秆产生量约为 8.65 亿吨，可收集资源量约为 7.34 亿吨。根据国家统计局发布的关于我国粮食产量统计数据，近年来我国粮食产量总体保持 1% 的平稳上涨趋势，随着人口增长率的降低，预计未来秸秆资源总量也将保持 0.3% 的低速增长，2030 年秸秆产生量约为 8.86 亿吨，秸秆可收集资源量约为 7.52 亿吨；2060 年秸秆产生量约为 9.69 亿吨，秸秆可收集资源量约为 8.22 亿吨。

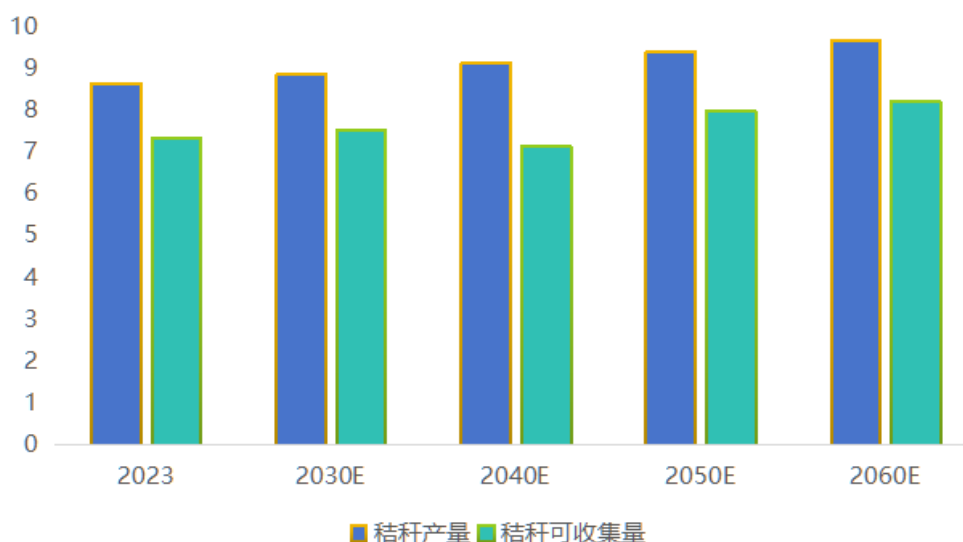


图 4-2 我国秸秆总量增长预测（亿吨）

## 2、林业剩余物

根据国家林草局发布的《中国林业和草原统计年鉴》统计，目前我国林业面积约为 17988.85 万公顷，森林覆盖率达到 22.96%，年采伐木材 10045.85 万立方米，由此计算出林业废弃物资源量约为 3.5 亿吨。林业碳汇做为重要的固碳手段，预计未来我国林业面积也会保持稳定增长。根据近 20 年年鉴数据分析，林业采伐总资源量保持 1.5% 的增长，预计未来林业剩余物资源量也随之持续增加。预计 2030 年林业剩余物总量将达到 3.94 亿吨，到 2060 年，林业剩余物总量将达到 6.16 亿吨。

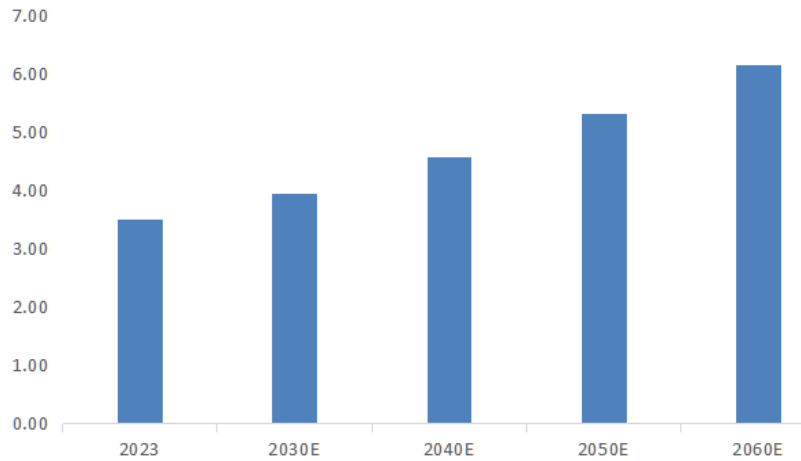


图 4-3 我国林业剩余物资源总量增长预测（亿吨）

### 3、畜禽粪污

根据中国农业年鉴及国家统计局统计数据，近年来我国主要畜禽类存栏量呈现小幅震荡，虽然在 2019 年到低点后因扩大猪肉供给大幅反弹，总体上还是受短期市场因素影响。预计未来肉蛋奶消费市场将趋于饱和，畜禽粪污资源量保持在固定区间内，畜禽粪污资源量将保持 0.4% 的较低增长趋势。预计 2030 年畜禽粪污资源总量约为 19.29 亿吨；2060 年畜禽粪污资源总量约为 21.74 亿吨。

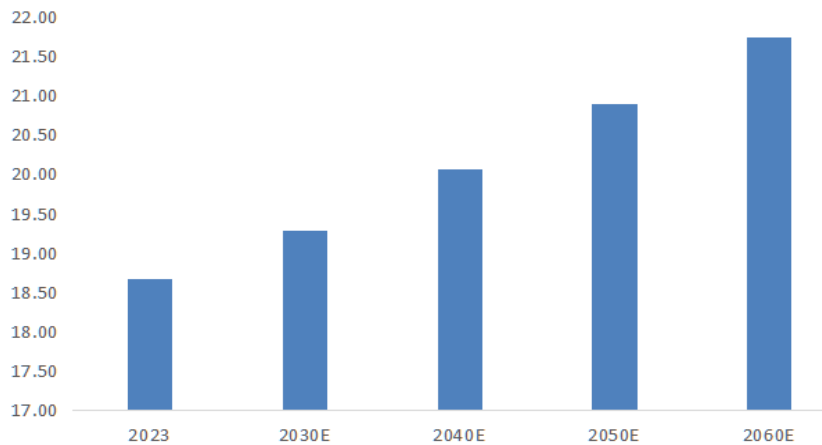


图 4-4 我国畜禽粪污资源总量增长预测（亿吨）

### 4、生活垃圾

根据住建部发布的城乡建设统计年鉴数据，当前生活垃圾清运量约为 3.16 亿吨，人均垃圾产生量约 650 千克/日，其中厨余垃圾占到 40%-60%，各地实行垃圾分类后，厨余垃圾清运量约 1.12 亿吨。随着我国城市化进程的不断推进，人民生活水平的不断提高，预计人均垃圾产生量也会逐年提升，保持 3% 的稳步增长，并达到发达国家人均垃圾产生量水平。世界银行报告显示，人均垃圾产生量与人均 GDP 有较好相关性，有专家学者预测我国预计到 2045 年进入发达国家行列，人均垃

垃圾产生量约为 1.28 千克 / 日，结合联合国预测我国人口走势，预计到 2030 年我国生活垃圾清运量达到 3.91 亿吨，2060 年达到 5.81 亿吨。随着垃圾分类工作的持续推进，厨余垃圾在生活垃圾中的比重将逐渐降低，到 2030 年预计将有 40% 的厨余垃圾从生活垃圾中分离出来，厨余垃圾清运量将达到 1.64 亿吨，2060 年将有 53% 的厨余垃圾分离出来，厨余垃圾清运量达到 2.91 亿吨。

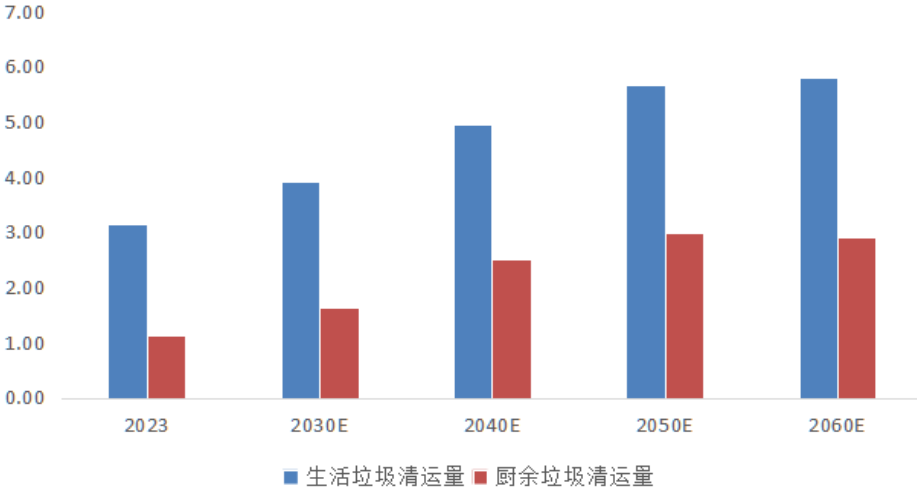


图 4-5 我国厨余垃圾资源总量增长预测（亿吨）

### 5、废弃油脂

废弃油脂的产量与人口数量、经济发展水平、饮食习惯等相关，根据国家统计局数据计算，我国人均食用油消费量约 30 千克 / 年，根据行业数据，在未统计畜禽处理产生的废弃油脂情况下，废弃油脂产生量约为食用油消费量的 30%，考虑到未来人口增速放缓及负增长的情况，假定人均食用油消费量基本不变，预计 2030 年废弃油脂产生量约为 1296 万吨，2060 年废弃油脂产生量约为 1192 万吨。

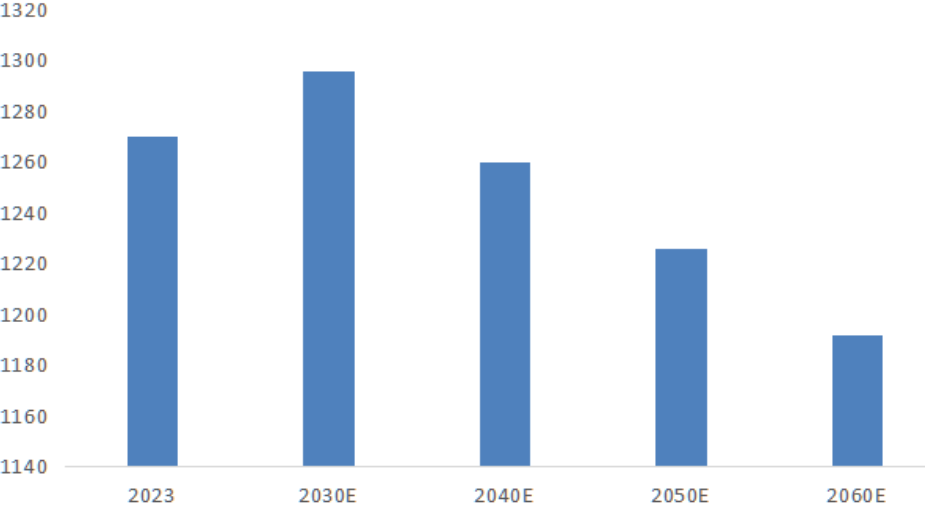


图 4-6 我国废弃油脂资源总量增长预测（万吨）

## 6、污水污泥

由于社会发展，居民生活水平逐步提高，生活用水需求加大，同时生活污水处理率提高，推动生活污水污泥产生量增加。根据住房和城乡建设部城乡建设统计年鉴数据分析，当前我国生活污水污泥产生量为 1433.57 万吨，生活污水污泥产生量增长率约为 3-8%。预计 2030 年污水污泥产生干重约为 2087 万吨，2060 年污水污泥产生干重约为 5369 亿吨。

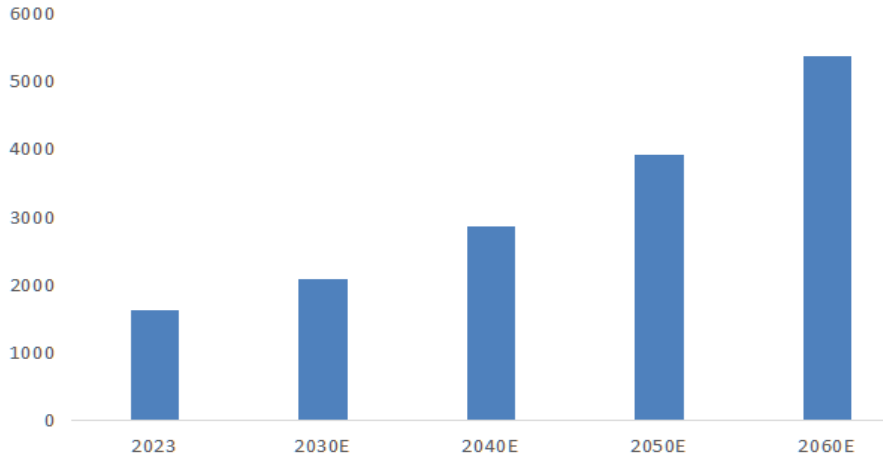


图 4-7 我国污水污泥资源总量增长预测（亿吨）

### （二）生物质资源化利用潜力分析

生物质资源化利用潜力包括焚烧、发电、供热、生产沼气（生物天然气）、生物燃料的生物质资源量。本部分基于秸秆、林业剩余物、畜禽粪污、生活垃圾等生物质资源利用现状及过去十年资源化利用的发展趋势，结合各类生物质资源多元化、高附加值利用的原则，预测 2030 年、2060 年生物质资源资源化利用规模及二氧化碳减排量。查阅相关资料 [4]，二氧化碳减排量有三种计算方法，本部分选取基于原料（消耗废弃物量）和基于标煤（废弃物折合标煤量）两种方法分别计算二氧化碳减排量。

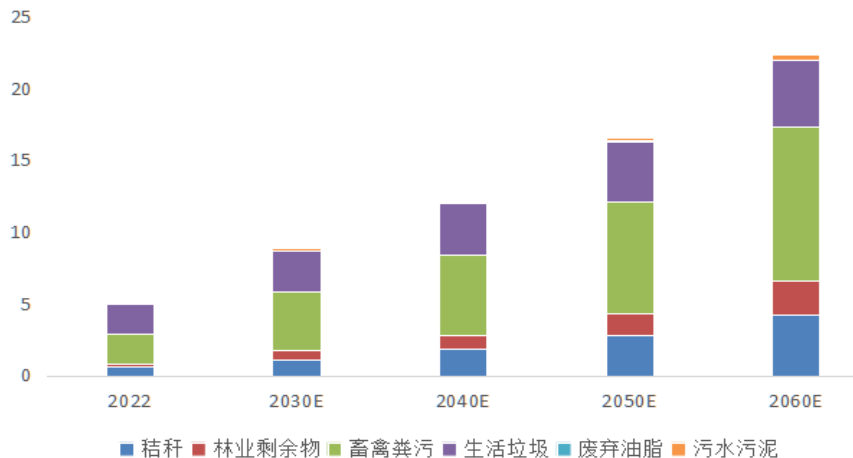


图 4-8 我国生物质资源资源化利用量增长预测（亿吨）

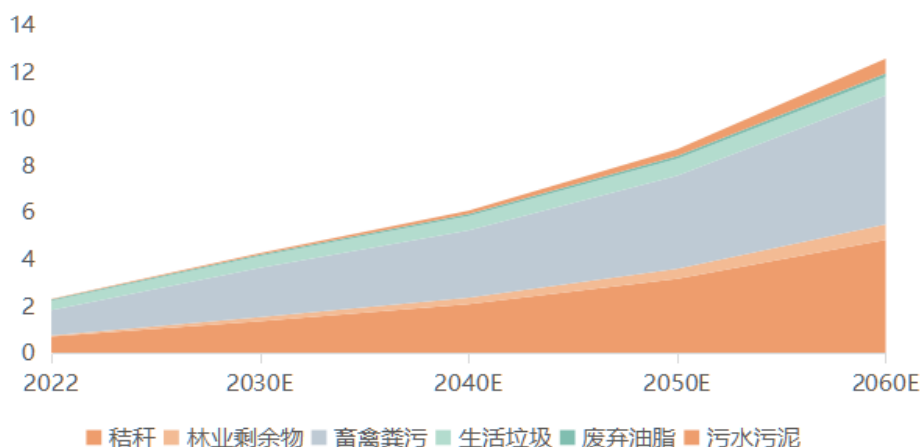


图 4-9 基于原料各项生物质资源能源化利用减排量预测 (亿吨)

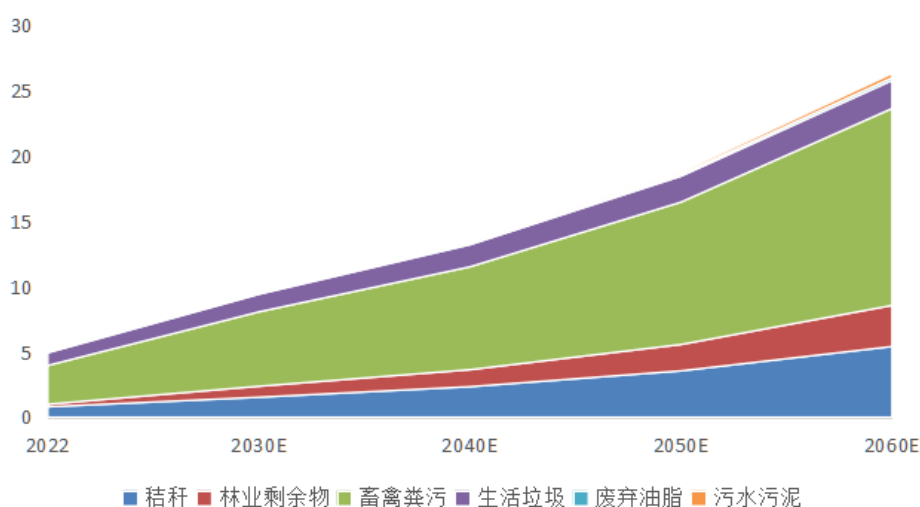


图 4-10 基于标准煤的各项生物质资源能源化利用减排量预测 (亿吨)

随着我国双碳目标、能源转型及乡村振兴战略的推进，我国生物质能源化利用水平不断提升，预计 2030 年我国生物质能源化利用量达到 8.74 亿吨，折合标煤量 3.66 亿吨，二氧化碳减排量在 4.3~9.5 亿吨，到 2060 年我国生物质能源化利用量达到 22.34 亿吨，折合标煤量 10.11 亿吨，二氧化碳减排量在 12.56~26 亿吨。2022 年全国能源消费总量约 54 亿吨标准煤，假定能源消费总量不变，到 2030 年生物质能占全国能源消费的贡献度约 6.8%，到 2060 年生物质能占全国能源消费的贡献度可达到 18.7%。

### 1、秸秆

当前，我国秸秆超过 70% 用于肥料化和饲料化利用，能源化利用仅为 8.5%。根据研究发现，秸秆还田利用比例在 20% 左右既能够保持土壤肥力又有较好的经济性。同时随着双碳工作的推进，秸秆的能源化利用将是未来重要的发展方向，预计到 2030 年秸秆能源化利用量约为 1.19 亿吨，能源化

利用率达到 16%，折合标煤量 0.59 亿吨，二氧化碳减排量 1.37~1.52 亿吨；2060 年能源化利用量约为 4.23 亿吨，能源化利用率达到 51%，折合标煤量 2.10 亿吨，二氧化碳减排量 4.83~5.40 亿吨。

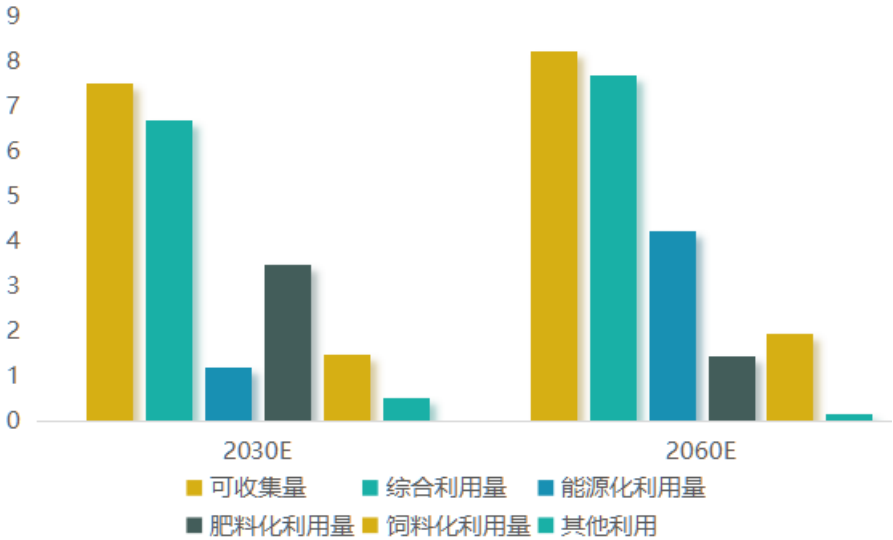


图 4-11 2030、2060 年秸秆利用量预测 (亿吨)

## 2、林业剩余物

我国林业剩余物主要用于原料化利用，超过 50% 的林业剩余物用于生产人造板、纸制品、活性炭等。根据《中国人造板产业报告 2022》显示，随着我国城镇化水平的提高，家具制造、建筑装饰及地板行业对人造板的需求缓慢增加，人造板产量会保持小幅增长，但是其所占比重会有所降低。林业剩余物作为生产固体颗粒的主要原料，与秸秆颗粒燃料相比具有热值高、容易储存等优点，将是未来重要的利用方式。预计 2030 年林业剩余物能源化利用量约为 6321 万吨，能源化利用率达到 16%，折合标煤量 0.32 亿吨，二氧化碳减排量 0.177 ~ 0.84 亿吨；2060 年能源化利用量约为 2.36 亿吨，能源化利用率达到 38%，折合标煤量 1.21 亿吨，二氧化碳减排量 0.66~3.14 亿吨。

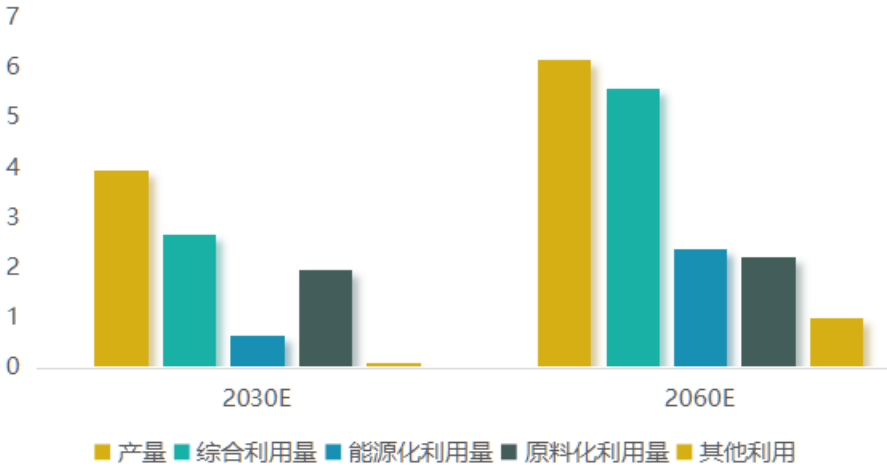


图 4-12 2030、2060 年林业剩余物利用量预测 (亿吨)

### 3、畜禽粪污

当前我国畜禽粪污大约 60% 用于肥料化（堆肥、还田），能源化利用仅为 11.29%。2019 年十部委出台的《关于促进生物天然气产业化发展的指导意见》，制定了到 2030 年生物天然气年产量超过 200 亿立方米的发展目标。畜禽粪污作为厌氧发酵的主要原料，生产沼气（生物天然气）将是未来主要的发展方向。预计 2030 年畜禽粪污能源化利用量约为 4.05 亿吨，能源化利用率达到 21%，折合标煤量 2.18 亿吨，二氧化碳减排量 2.10~5.68 亿吨；2060 年能源化利用量约为 10.72 亿吨，能源化利用率达到 49%，折合标煤量 5.78 亿吨，二氧化碳减排量 5.50~15 亿吨。

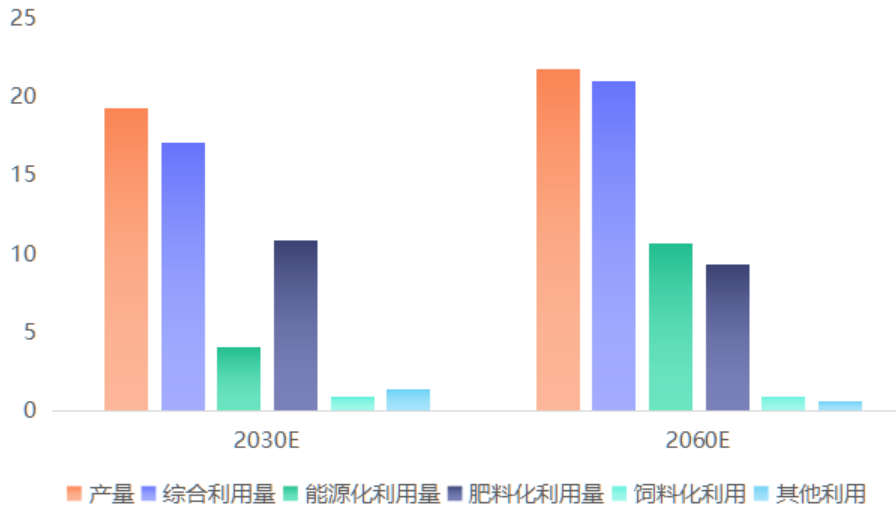


图 4-13 2030、2060 年畜禽粪污各类利用量预测（亿吨）

### 4、生活垃圾

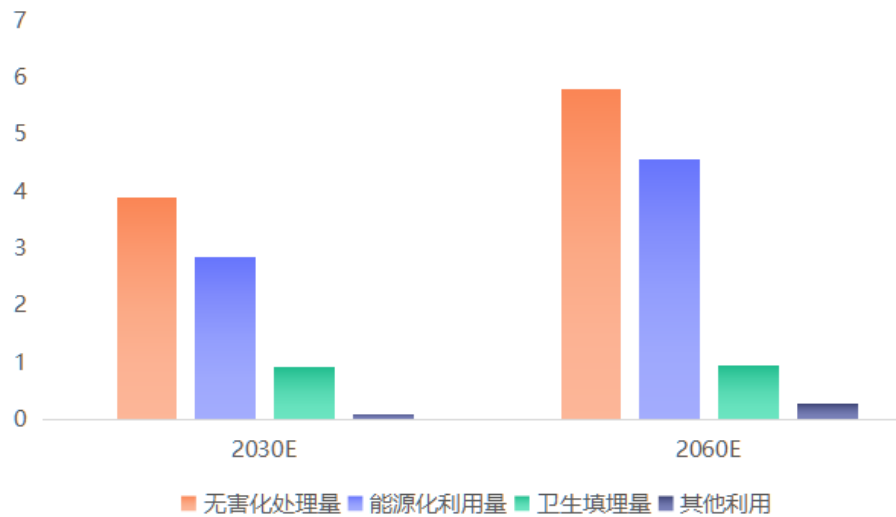


图 4-14 2030、2060 年生活垃圾利用量预测（亿吨）



目前我国生活垃圾基本上全部实现无害化处理，超过 70% 的生活垃圾用于焚烧发电，20% 用于卫生填埋。生活垃圾中分离出来的厨余垃圾大部分通过卫生填埋处理，少部分用于厌氧发酵生产沼气。考虑到垃圾填埋存在占用土地、污染地下水等风险，未来垃圾焚烧处理比例将会进一步提高。预计 2030 年生活垃圾能源化利用量约为 2.87 亿吨，能源化利用率达到 78%，折合标煤量 0.52 亿吨，二氧化碳减排量 0.5~1.35 亿吨；2060 年能源化利用量约为 4.58 亿吨，能源化利用率达到 83%，折合标煤量 0.82 亿吨，二氧化碳减排量 0.78~2.14 亿吨。

## 5、废弃油脂

我国废弃油脂利用途径主要有两类，一是作为原料出口欧盟，二是用于国内生产。当前我国废弃油脂综合利用率大约 20%，其中大部分用于生产生物柴油。随着欧盟启动亚洲生物柴油反倾销调查，废弃油脂的出口量大幅减少。同时，随着国内在生物柴油生产应用政策的日益完善，废弃油脂能源化利用量将进一步提高。预计 2030 年能源化利用量约为 304 万吨，能源化利用率达到 23%，折合标煤量 0.033 亿吨，二氧化碳减排量 0.07~0.09 亿吨；2060 年能源化利用量约为 696 万吨，能源化利用率达到 58%，折合标煤量 0.077 亿吨，二氧化碳减排量 0.16~0.20 亿吨。

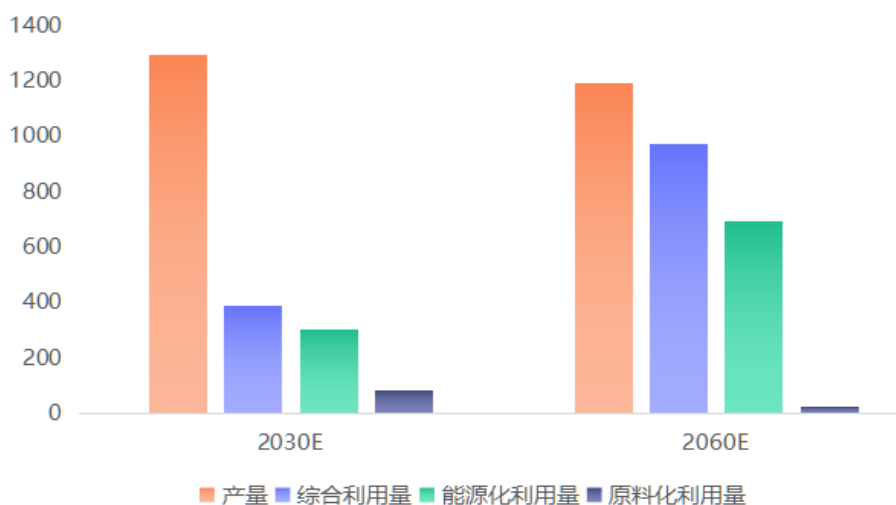


图 4-15 2030、2060 年废弃油脂利用量预测（万吨）

## 6、污水污泥

当前我国污泥的无害化处理率超过 85%，主要处理方式是卫生填埋，占比大约 65%，少部分用于能源化利用，占比大约 8%。现在及今后的较长一段时间，污泥与餐厨垃圾、生活垃圾协同处理将是主要处理技术。预计 2030 年能源化利用量约为 357 万吨，能源化利用率达到 17%，折合标煤量 0.013 亿吨，二氧化碳减排量 0.033~0.036 亿吨；2060 年能源化利用量约为 3596 万吨，能源化利用率达到 68%，折合标煤量 0.13 亿吨，二氧化碳减排量 0.33~0.36 亿吨。

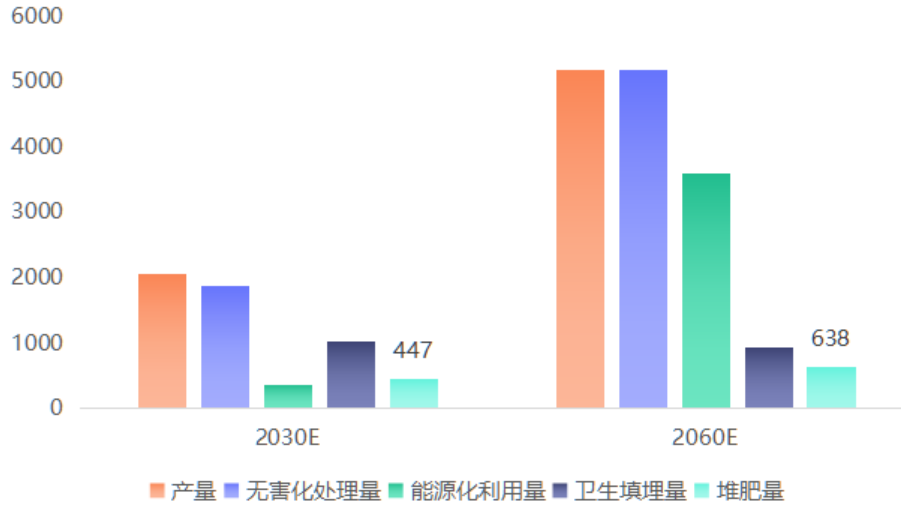


图 4-16 2030、2060 年污水污泥利用量预测（万吨）

### （三）实现路径分析

在 2030 碳达峰背景下，生物质能利用主要在供电、供热等领域实现对化石能源的替代。2023 年~2030 年，生物质清洁供热和生物天然气能在县域有效替代燃煤使用，在县域及村镇构建分布式能源站，彻底改变农村用能结构。生物质清洁供热和生物天然气的应用在处理各类废弃物的同时，产生清洁能源，为居民供暖供气，助力实现全面乡村振兴。预计到 2030 年，生物质发电、生物质清洁供热、生物天然气等生物质能利用方式可消纳废弃物约 9 亿吨，二氧化碳减排量在 4~9 亿吨。

2030 年~2060 年，电气化将占用能主导地位。生物质能利用主要集中在难以用电气替代的领域，如航空、生物基材料等，BECCS 将会得到大力发展。预计到 2030 年，各生物质能利用方式可消纳废弃物约 22 亿吨，二氧化碳减排量在 13~27 亿吨。

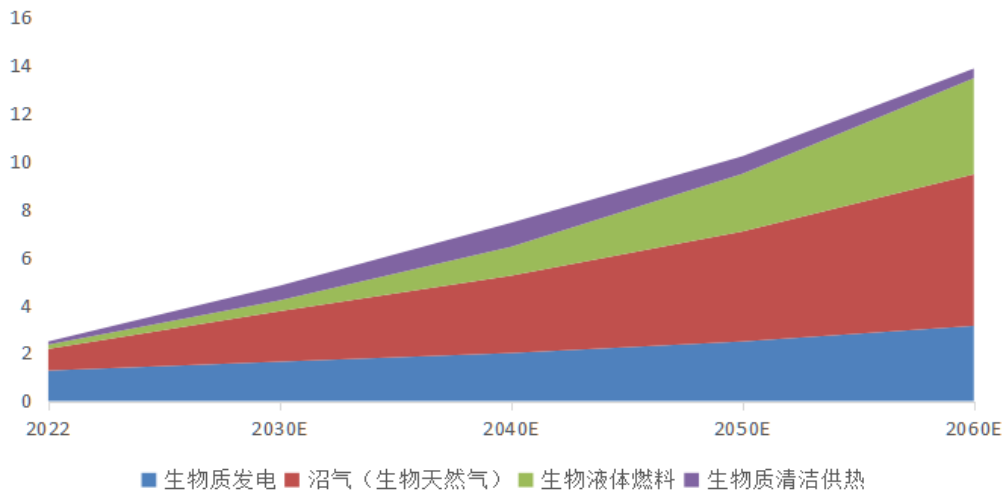


图 4-17 基于原料的生物质能利用方式碳减排潜力（亿吨）预测

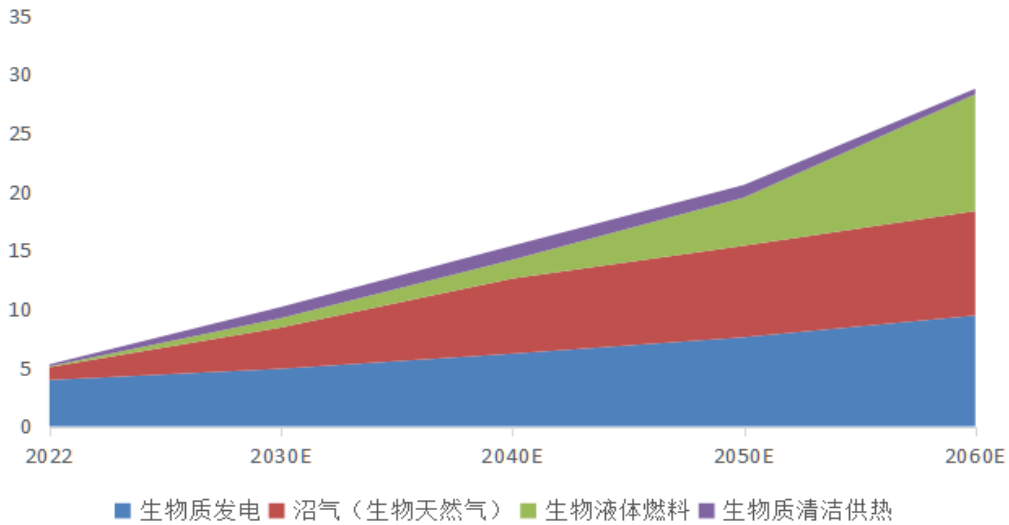


图 4-18 基于标煤的生物质能利用方式碳减排潜力（亿吨）预测

### 1、生物质发电

截止 2022 年底，我国已投产生物质发电并网装机容量 4132 万千瓦，年提供的清洁电力超过 1531 亿千瓦时。生物质发电项目数量约 1300 个，带动就业人数约 60 万，促进农民年增收约 480 亿元。根据现有温室气体减排方法学进行测算，已有项目自愿减排量超过 1.2 亿吨。

根据国际可再生能源署 IRENA 的研究，大多数新建风电、光伏等可再生能源的发电成本，已经比最便宜的化石燃料发电成本要低。越来越低的发电成本，使得可再生能源大规模代替煤炭发电成为可能。近 10 年生物质发电的设备降本空间不大，影响发电成本的主要因素是其原料的价格。受制于原料的收集成本、运输半径的限制，预计未来发电成本保持平稳。

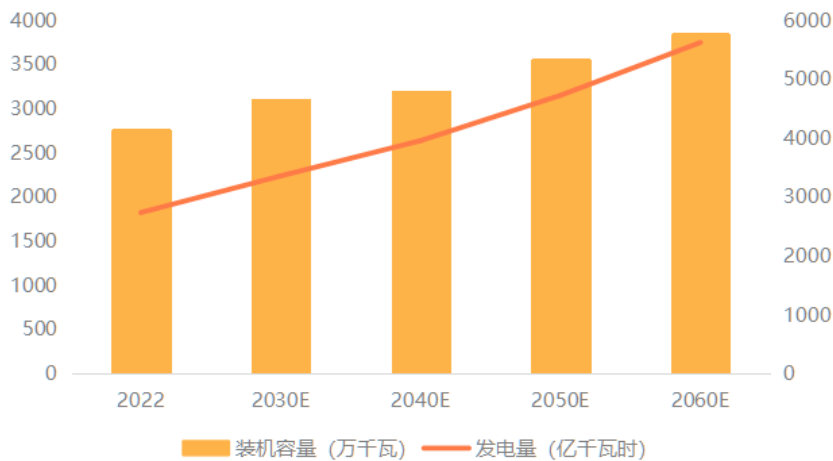


图 4-19 2030-2060 年生物质发电规模预测

尽管生物质发电成本远高于风电、光伏等其他可再生能源发电成本，但是生物质发电输出稳定，能够参与电力调峰，如果与储热结合，更能参与电力市场的深度调峰，未来在电力交易市场获取辅

助服务、备用容量等受益的同时，能够灵活参与热力市场，提供清洁热力。

根据预测，到 2030 年，生物质发电装机容量约 4654 万千瓦，年发电量约 2239 亿千瓦时，废弃物利用量约 4.2 亿吨，二氧化碳减排量约 1.64~4.3 亿吨；到 2060 年，生物质发电装机容量约 5758 万千瓦，年发电量约 3751 亿千瓦时，废弃物利用量约 8 亿吨，二氧化碳减排量约 3.13~9.5 亿吨。

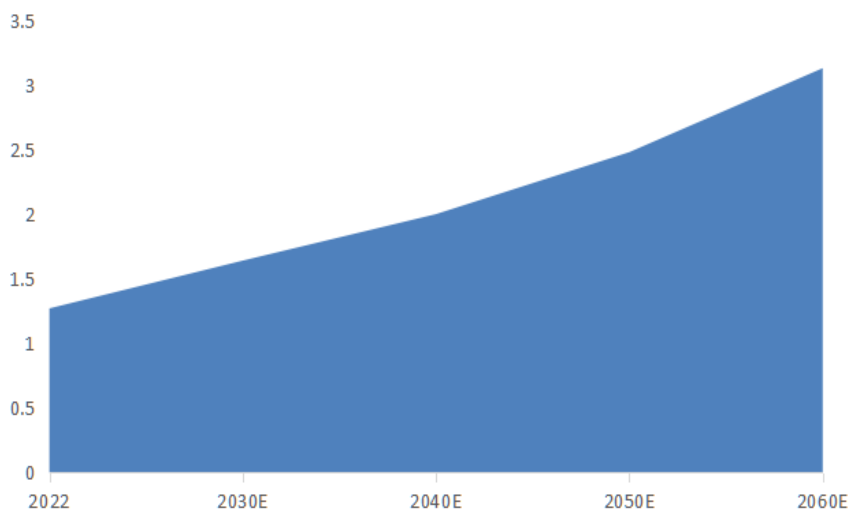


图 4-20 基于原料的生物质发电行业减排潜力（亿吨）分析

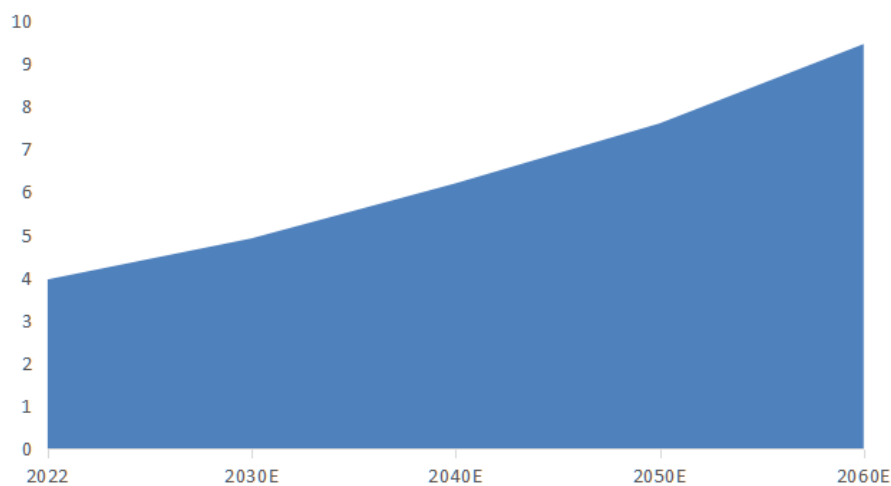


图 4-21（基于标煤）生物质发电行业减排潜力（亿吨）分析

## 2、沼气（生物天然气）

根据统计，目前全国沼气产量约 90 亿立方米，其中包括规模化沼气（生物天然气）工程产沼气量 25 亿立方米及农村户用沼气工程产沼气量 65 亿立方米。目前建成大型沼气、生物天然气工程 7700 余处，规模化生物天然气项目数量超过 130 个，产能 10 亿立方米，年产气量 3 亿立方米。根据测算，目前生物天然气的使用相等于替代标煤量超过 160 万吨，二氧化碳减排量超过 800 万吨。

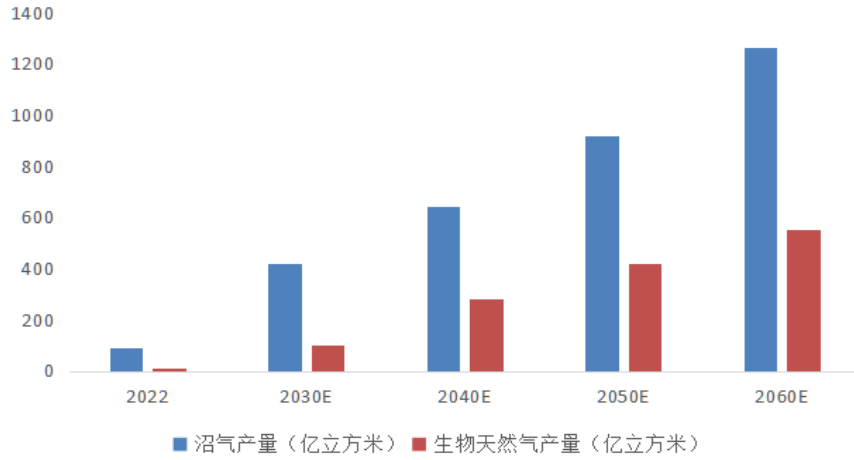


图 4-22 2030-2060 年沼氣（生物天然氣）產量預測

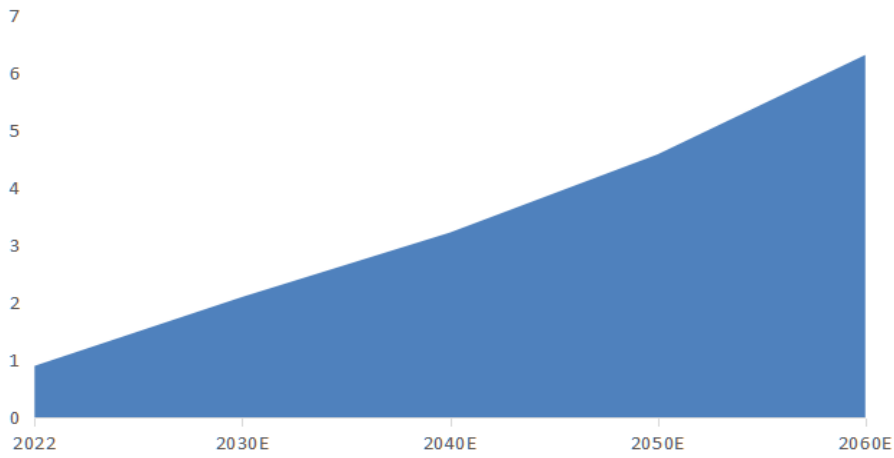


图 4-23 基于原料的沼氣（生物天然氣）行業減排潛力（億噸）分析

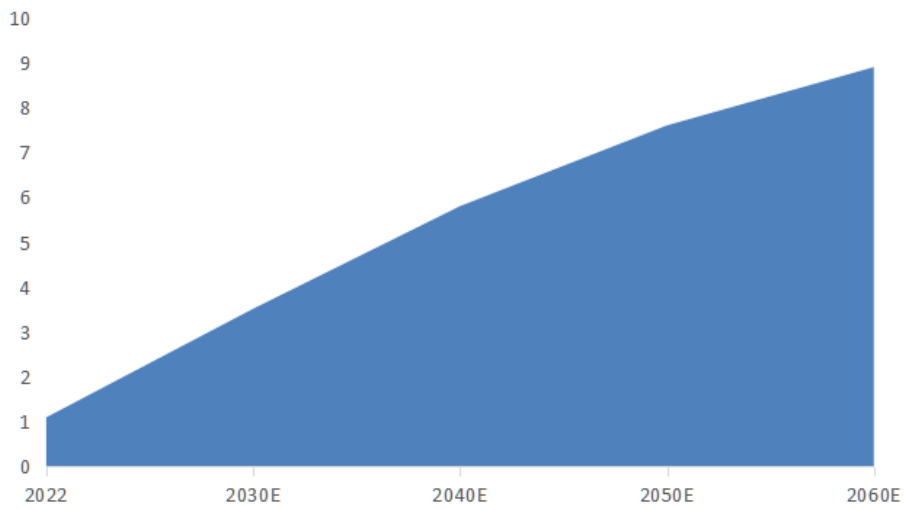


图 4-24 基于标煤的沼氣（生物天然氣）行業減排潛力（億噸）分析

根据实地调研，目前大多数的中小型沼气项目因为原料收集麻烦、维护工作量大等原因，多数已经废弃。预计未来将会是以工业化、规模化生物天然气项目（日产生物天然气超过 1 万立方米）发展为主。

根据预测，到 2030 年，沼气产量约 420 亿立方米，其中提纯为生物天然气约 100 亿立方米，废弃物利用量约 3.86 亿吨，二氧化碳减排量约 2.1~3.5 亿吨；到 2060 年，沼气产量约 1260 亿立方米，其中提纯为生物天然气约 500 亿立方米，废弃物利用量约 9.78 亿吨，二氧化碳减排量 6~8 亿吨。

### 3、生物质清洁供热

从目前县域环境发展来看，生物质热电、供热、生物天然气可以在消费侧直接替代散煤等传统化石能源，因地制宜地利用生物质资源，对推动乡村生产生活用能方式具有革命性影响，为农村居民提供稳定价廉的清洁可再生能源，享受与城市居民无差别的用能服务。从经济性方面进行测算，生物质清洁供热同电供热、天然气供热相比，也是目前成本最接近燃煤，居民可承受的供热方式。随着可再生能源发电成本逐步走低，全面电气化将是未来发展趋势。在此到来之前，在未来 10 年间，应大力发展生物质清洁供热，在县域替代燃煤小锅炉，发挥生物质零碳属性，在供热供暖领域做出减排贡献。

根据统计，目前我国生物质清洁供暖面积超过 3 亿  $m^2$ ，主要是以农林生物质为原料的热电联产及生物质锅炉供热项目为热源。根据秸秆及林业剩余物资源量的增长以及清洁取暖工作的持续推进，用作清洁取暖的农林废弃物以 7% 的速度增长，预计到 2030 年生物质清洁供暖面积 17 亿立方米，废弃物利用量接近 0.9 亿吨，二氧化碳减排量约 0.61~0.8 亿吨，到 2040 年全面进入电气化时代，居民供暖用能以绿色电力为主，生物质供热逐步被淘汰，到 2060 年生物质清洁供暖面积 12 亿立方米，废弃物利用量接近 0.4 亿吨，二氧化碳减排量约 0.4~0.52 亿吨。

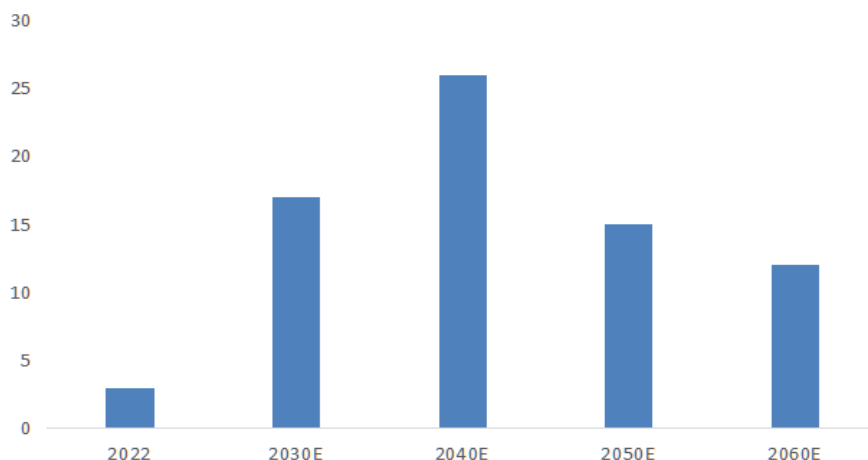


图 4-25 2030-2060 年生物质清洁供暖面积预测（亿立方米）

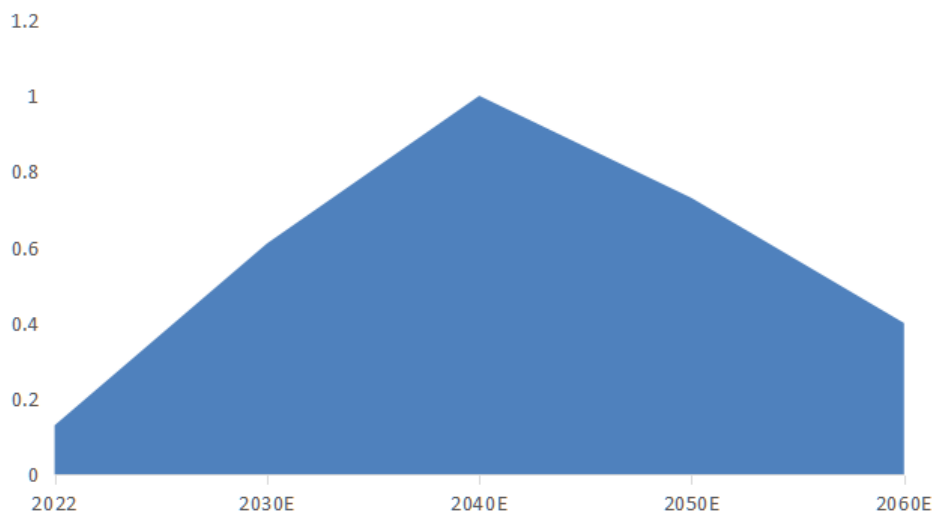


图 4-26 基于原料的生物质清洁供暖碳减排预测（亿吨）

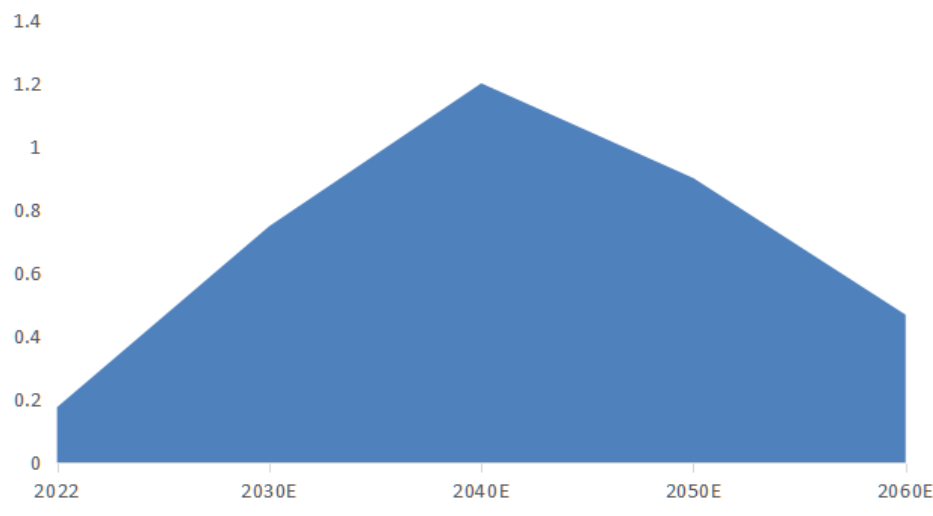


图 4-27 基于标煤的生物质清洁供暖碳减排预测（亿吨）

#### 4、生物液体燃料

在交通领域应用方面，生物质液体燃料具有巨大的发展潜力。燃料乙醇有效替代化石汽油，生物柴油可以替代化石柴油，生物航空煤油同样已经在航空领域得到应用验证 [5]。通过生物质液体燃料替代化石石油，为交通领域碳减排拓宽新的途径。

根据统计，2022 年全国生物液体燃料年产量约 550 万吨。其中，生物燃料乙醇的年产量约 350 万吨，生物柴油产量约 200 万吨。以此进行测算，目前生物液体燃料二氧化碳减排量约为 1000 万吨。

目前生物液体燃料的生产成本仍然较高，是制约发展的重要原因。根据调研和测算，目前燃料



乙醇和生物柴油的成本在 6000 元左右，在市场上还不具备竞争力，但是其成本仍低于氢能成本。如果未来以秸秆为原料的二代燃料乙醇能够实现技术突破，预计成本将会降低 40% 左右，将会有大的发展空间。

另外，从国外发展趋势来看，生物燃料是未来降低航空排放水平、实现化石能源替代最直接、最有效的手段 [6]。利用电能和氢能替代航空燃油的难度较大，我国是航空运输大国和化石能源进口大国，生物燃料的研究和推广应用需求比国外更为迫切。

根据预测，到 2030 年，生物柴油产量约 390 万吨，生物乙醇产量约 500 万吨，生物航煤的关键技术实现突破，产量将达到 150 万吨，生物甲醇产量约 210 万吨，废弃物利用量约 0.3 亿吨，二氧化碳减排量约 0.45~0.8 亿吨；到 2060 年，生物航煤、生物甲醇将在液体燃料领域占据主要地位，产量将突破 3000 万吨，废弃物利用量超过 3 亿吨，二氧化碳减排量超过 4~9 亿吨。

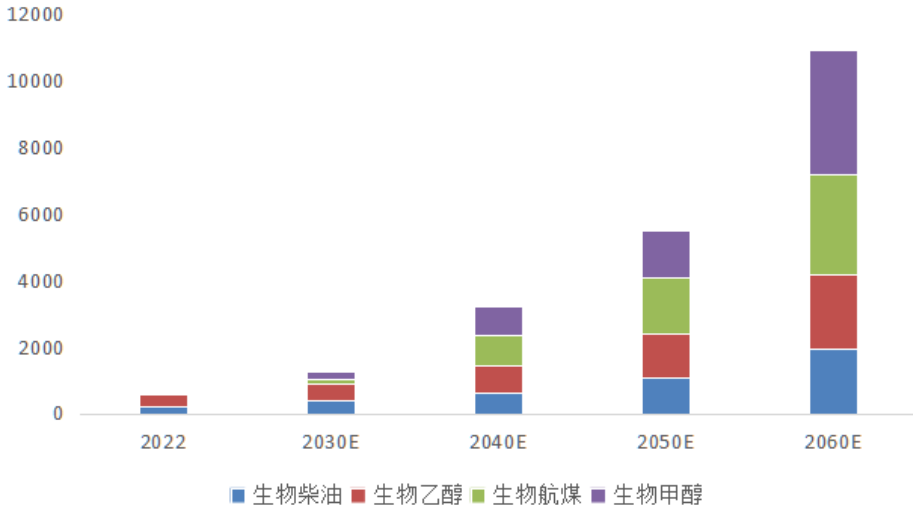


图 4-28 2030-2060 年生物液体燃料产量预测 (亿吨)

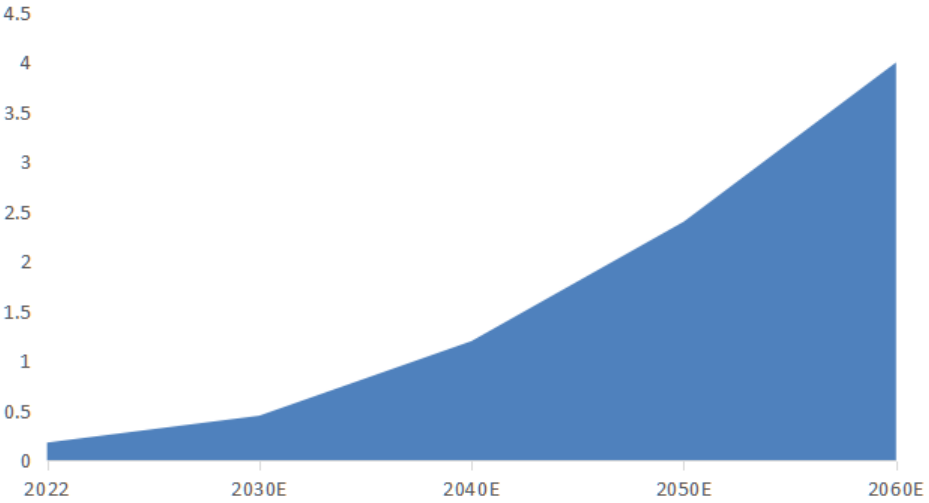


图 4-29 基于原料的生物液体燃料减排量预测 (亿吨)

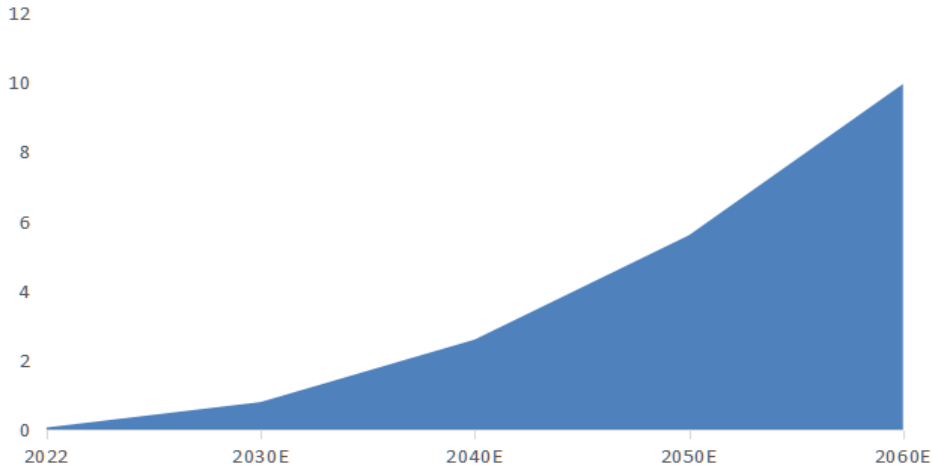


图 4-30 基于标煤的生物液体燃料减排量预测（亿吨）

## 5、化肥替代

生物天然气项目在厌氧发酵过程中产生大量的沼渣、沼液，其中富含有机质、腐殖质、微量营养元素、多种氨基酸、酶类和有益微生物。经过腐熟剂腐熟生产成肥料后，可以替代或部分替代化肥施用，能够增加土壤有机碳的存储量、改善土壤环境、提升农产品品质、抑制病虫害等。作为优质的有机肥资源，对发展绿色有机农业提供支撑，为农业领域减排做出贡献。

根据对生物天然气产业的预测分析，到 2030 年，我国有机肥的产量约 5000 万吨，替代有机肥减少二氧化碳排放约 600 万吨；到 2060 年有机肥产量约 1.5 亿吨，二氧化碳减排量约 2.4 亿吨。

## 6、BECCS 技术

我国目前已在 CCS 项目积累了一定的经验，开展了数十个示范项目，在利用和封存方面取得了一定的突破，为 BECCS 技术的研发奠定了前期基础。目前其碳捕集成本仍然较高，根据生物质能产业分会产业查阅资料显示，目前 CCUS 的成本约在 500—1000 元 / 吨。根据生态环境部环境规划院最新发布的《中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2021)—中国 CCUS 路径研究》，其中对 CCUS 的成本进行预测，预计到 2030 年，我国全流程 CCUS（按 250 公里运输计）技术成本为 310-770 元 / 吨二氧化碳，到 2060 年，将逐步降至 140-410 元 / 吨二氧化碳。如果未来碳捕集成本能够低于碳价，将能够获得正收益。另外报告中对 BECCS 碳减排潜力需求进行了分析，预计到 2030 年 0.01 亿吨，2060 年 3-6 亿吨。

## 第五章 生物质能清洁利用项目评价指标体系

当前我国生物质能利用形式较多，包括生物质发电（热电联产）、生物质清洁供热、生物天然气、生物质热解气化、生物液体燃料等。各种生物质能利用形式的不同项目的工艺流程、技术路径、经济性、关键设备性能等差别较大，不同类型生物质能利用项目评价的侧重点不同，选取的评价指标不同，没有一个适合评价不同生物质能利用形式的项目指标体系。本报告通过案例征集、现场调研等形式，整理出 20 多个不同生物质能利用形式的典型案例，为筛选出优秀案例，需要建立适合各类生物质能利用的项目评价指标体系。为此，课题组在分析不同生物质能利用形式评价指标体系的基础上，归纳总结出适合评价不同生物质能利用项目的关键指标，建立生物质能清洁利用评价体系。当前该评价指标体系也存在一些不足之处，在选择评价指标时，考虑到评价指标需要适用所有生物质能利用项目，对某一类型的生物质能利用项目（如生物质发电）可能适用性较低，后续还需要进一步完善。

### （一）行业相关评价指标体系概述

通过查阅文献、专家咨询等方法，对行业相关评价指标体系 [7-12]：固体废物资源化技术多维绩效评价指标体系，农林生物质直燃发电项目评价指标体系，生活垃圾焚烧发电项目评价指标体系进行对比分析，为建立生物质能清洁利用项目评价指标体系提供参考。

#### 1、固体废物资源化技术多维绩效评价指标体系

固体废物资源化技术多维绩效评价指标体系评价方法是先根据指标的正向和负向属性，对指标计算结果进行无量纲化处理；确定各指标权重并计算综合评价结果，并对评价结果进行解释。具体评价指标见表 5-1。

表 5-1 固体废物资源化技术多维绩效评价指标体系评价

维度	分类层	指标层	正向 / 负向	定性 / 定量	得分
资源效率	资源消耗	处理单位固体废物的原辅料消耗量	负向	定量	
		处理单位固体废物的综合能耗	负向	定量	
		处理单位固体废物的新鲜水消耗量	负向	定量	
		处理单位固体废物的土地占用	负向	定量	
	综合利用	固体废物资源化率	正向	定量	
		战略资源回收的稀缺性贡献	正向	定量	
		水循环利用率	正向	定量	
		余热利用率	正向	定量	

环境影响	全生命周期环境影响	气候变化	负向	定量	
		酸化	负向	定量	
		富营养化	负向	定量	
		光化学污染	负向	定量	
		生态毒性	负向	定量	
		人体毒性	负向	定量	
经济可行	经济可持续性	处理单位固体废物的投资建设费用	负向	定量	
		处理单位固体废物的运行成本	负向	定量	
		销售净利润率	正向	定量	
		静态投资回收期	正向	定量	
	技术价值	技术价值水平	正向	定量	
		专利价值	正向	定量	
社会效应	当地社区与社会影响	单位投资提供的就业岗位	正向	定量	
		循环经济示范性	正向	定性	
		公众对技术实施的态度	正向	定性	
	职工安全与福利	职业暴露风险	正向	定性	
		职工平均工资与当地平均工资比例	负向	定量	

## 2、农林生物质直燃发电项目评价指标体系

农林生物质发电项目评价指标体系以统计指标体系为基础，并根据各一级指标权重对二级指标进行打分，实现对单一项目的评价，具体监测和评价指标内容详见表 5-2。

表 5-2 农林生物质发电项目评价指标

一级指标	二级指标	内容说明	备注	总分	分值
原料	年原料消耗量	电厂每年各类秸秆消耗的总量 (t) 及占比	定量	24	1-8
	原料价格	折算到低位发热量为 2500kcal/kg 时的原料价格	定量		1-8
	原料特性	原料热值、含水率、含硫量等基本属性	定量		1-8

技术	项目装机规模	锅炉容量和发电机组发电功率。	定量	21	1-7
	机组工艺路线	主要燃烧设备形式和发电机组形式	定性		1-7
	机组关键参数	主蒸汽参数	定量		1-7
经济	年发电量	发电机组年发电量，包含上网电量和厂用电两部分	定量	20	1-10
	厂用电率	电厂内部年消耗电能占发电量的百分比	定量		1-10
环境影响	年粉尘排放量	经净化处理后，随烟气排放到大气中的粉尘质量，单位为 t/a	定量	20	1-5
	年二氧化硫排放量	经净化处理后，随烟气排放到大气中的二氧化硫质量，单位为 t/a	定量		1-5
	年氮氧化物排放量	经净化处理后，随烟气排放到大气中的氮氧化物质量，单位为 t/a	定量		1-5
	碳减排量	每年减少二氧化碳的排放量	定量		1-5
社会影响	劳动就业	项目建设可直接和间接带动的劳动就业人数	定量	15	1-5
	公众接受度	公众对技术实施产生影响的接受程度	定性		1-10

农林生物质发电项目评价指标在统计指标基础上删减掉部分经济指标，并根据一级指标权重设置二级指标分值，二级指标得分取值可采用基准法或历史法（新建项目可采用可研测算值作为历史数据）。五项一级评价指标满分合计 100 分，评价得分在 85 分 -100 分为优秀，得分在 70 分 -84 分为良好，得分在 60 分 -69 分为合格，得分在 60 以下为不合格。

### 3、生活垃圾焚烧发电项目评价指标体系

生活垃圾焚烧发电项目评价指标体系以统计指标体系为基础，并根据各一级指标权重对二级指标进行打分，实现对单一项目的评价，具体评价指标内容详见表 5-3。

表 5-3 生活垃圾焚烧发电项目评价指标

一级指标	二级指标	内容说明	备注	总分	分值
技术	项目装机规模	锅炉容量和发电机组发电功率	定量	27	1-9
	机组工艺路线	主要燃烧设备形式和发电机组形式	定性		1-9
	机组关键参数	主蒸汽参数	定量		1-9

经济	吨垃圾收益	吨垃圾处置收益与发电收益的总和	定量	28	1-10
	年发电量	发电机组年发电量, 包含上网电量和厂用电两部分	定量		1-9
	厂用电率	电厂内部年消耗电能占发电量的百分比	定量		1-9
环境影响	年粉尘排放量	经净化处理后, 随烟气排放到大气中的粉尘质量, 单位为 t/a	定量	30	1-6
	年二氧化硫排放量	经净化处理后, 随烟气排放到大气中的二氧化硫质量, 单位为 t/a	定量		1-6
	年氮氧化物排放量	经净化处理后, 随烟气排放到大气中的氮氧化物质量, 单位为 t/a	定量		1-6
	二噁英检测值	如果一年内进行多次检查, 取平均值	定量		1-6
	碳减排量	每年减少二氧化碳的排放量	定量		1-6
社会影响	劳动就业	项目建设可直接和间接带动的劳动就业人数	定量	15	1-5
	公众接受度	公众对技术实施产生影响的接受程度	定性		1-10

生活垃圾焚烧发电项目评价指标在统计指标基础上删减掉部分经济指标, 并根据一级指标权重设置二级指标分值, 二级指标得分取值可采用基准法或历史法 (新建项目可采用可研测算值作为历史数据)。五项一级评价指标满分合计 100 分, 评价得分在 85 分 -100 分为优秀, 得分在 70 分 -84 分为良好, 得分在 60 分 -69 分为合格, 得分在 60 以下为不合格。

## (二) 评价指标体系构建原则

从以上分析可以看出, 对于生物质供热 / 发电项目, 工程建设、经济可行、原料性质、污染物排放、项目运行管理、社会效益等属于较重要的评价指标。

在生物质能开发利用方面, 生物质资源情况非常重要, 因为生物质原料的可获得性及原料的价格等会直接影响生物质能开发利用的可持续性; 同时, 在经济因素之外, 生物质能利用的社会和环境效益尤为重要。因此, 在生物质能清洁利用项目评价指标体系建立时, 既要遵循统计理论与统计指标建立的通用基本原则, 也要充分考虑生物质能行业的特点。在此分析基础上分析确立了生物质能清洁利用项目评价指标体系的原则, 原则如下:

### 1、科学性和实用性

科学性是指指标的设计既要符合生物质能利用的专业理论和数学统计原理, 又要能真实反映生物质能行业开发利用的实际情况。而实用性方面则应该考虑生物质能利用统计评价系统指标设置及操作便捷性, 尽可能选择有代表性和便于统计的综合指标。

## 2、稳定性与动态性

生物质能清洁利用项目评价指标系统参数不仅应该具有一定的稳定性，必须保证该指标在一定时期内波动或变化不大。同时也必须兼顾指标的动态性，以表示统计评价指标具有灵活的统计评价功能，使其在不同边界条件下均可以对生物质能利用进行有效的评价。

## 3、可测性和可比性

生物质能清洁利用项目评价指标应该是具有可量化的特性，能够直观的进行比较，并且是具有可参数化、对比化的指标，以便于统计对比。

## 4、完备性和代表性

生物质能清洁利用项目评价指标体系的完备性是指，作为一个整体，该统计监测评价指标体系应系统反映其主要影响因素和特征。同时，在指标体系比较完备的情况下，指标的选取也应该具有代表性和典型性，能够极大的反映其对社会和环境的影响。

## 5、特殊性和一般性

生物质能清洁利用项目评价指标体系的特殊性是指选取的评价指标既能够反映不同生物质能利用形式（如生物质发电、生物天然气、生物质清洁供热等）的特点，又能够全面、客观的反映生物质能行业的发展状况。

### （三）项目关键影响因素

课题组经过开展文案研究、专家访谈和项目调研等研究活动，对生物质发电（含热电联产）、生物质清洁供热、生物质热解气化、生物天然气等生物质能清洁利用项目的各种影响因素进行了梳理与分析 [13-17]，并从中总结出对项目评价相对重要的共性指标，包括经济性、技术先进性和创新性、原料保障、环境效益、运行管理等方面。

#### 1、经济性

对于任何一种生物质能清洁利用形式，经济性都是较为重要的因素，它包括项目建设投资、生产运营成本及收益情况。其中，建设投资包括建筑工程费、设备及器具购置费、安装工程费、预备费、铺底流动资金等。生产运营成本包括外购原料费、外购燃料动力费、员工工资福利支出、折旧摊销费等。项目收益包括发电上网、供热、供气、出售副产品（有机肥、生物炭等）收益及参与碳市场、收取处理费等环境收益。这些因素对评价生物质能项目能否持续、稳定运行具有重要意义。

#### 2、技术先进性和创新性

技术的先进性和适用性对于生物质能清洁利用项目的可持续发展至关重要，通常先进的技术通



常能够实现更高的能源转化效率和生产效率，从而降低生产成本。适用性强的技术能够更好地适应项目的规模和需求，实现更高的经济效益。从技术层面评价项目的优劣一般从技术的领先水平、是否获得技术创新奖，项目是否引入或突破新的关键技术以解决生物质能转化过程中的难点，以及项目采用的技术是否具备持续改进或创新的能力能够满足不同规模、地域的应用条件等方面考虑。

### 3、原料供应

保障原料供应的稳定性、可持续性及其原料质量是维持生物质能项目正常运行最基本的条件。根据协会掌握的数据，国内规模化生物天然气（沼气）项目因原料问题导致停产占总停产项目的比例超过 25%，农林生物质发电项目中原料收储成本占到运营总成本的 60% 左右。为确保项目所需原料的安全性、稳定性及供应的可持续性，选择了多个评价指标，包括建立原料收储运体系、原料来源多样化、原料供应充足及原料质量监控等。

### 4、环境效益

生物质能清洁利用项目主要功能之一是处理各类有机废弃物。在降低生活垃圾、畜禽粪污等有机废弃物污染、减少二氧化碳等温室气体排放、推动绿色循环经济发展等方面发挥重要作用。但是，在此过程中也会产生污水、噪声、及颗粒物等大气污染物。由于各类生物质能清洁利用项目产生的废弃物类型不同，如生物质发电项目大多考虑烟尘排放、飞灰处理等，生物天然气（沼气）项目主要考虑沼渣沼液处理等，在分析各类项目污染物排放的基础上，综合其在减污降碳等方面的作用，选取废弃物处理、二氧化碳减排、大气污染物排放等多个指标进行项目评价。这些指标直接关系到项目的环保性，且易获得。

### 5、运行管理

科学的运行管理能够为生物质能项目带来更高的生产效率，更好地保护环境，能够提高资源利用效率，确保项目安全、稳定运行。项目建设的技术档案资料如建设批文、验收报告、工程建设图纸等应保存完好。项目运行管理文件及资料如项目全年废弃物处理量、全年辅助燃料消耗量、政府部门对项目排放物的监测资料、年运行记录、各种仪表校准及校验记录资料等应专人管理，方便查阅及事故排查、检修等工作。故课题组选择安全操作规程是否齐全、技术档案是否齐全、管理制度、培训制度和应急处预案是否完善、工作记录是否完整等指标进行考核，以此来评价项目的运行管理。

### 6、能效管理

生物质能清洁利用项目的能源利用效率直接反应了项目的技术水平，它是指在能源利用中，发挥作用的与实际消耗的能源量之比，是评价项目能源利用水平的重要指标。

## （四）评价指标体系建立

根据上述评价指标体系构建的原则及关键影响因素分析，参照农林生物质直燃发电项目和生活垃圾焚烧发电项目评价指标体系，确定了生物质能清洁利用项目的评价指标体系框架思路，主要包括经济性、技术水平、原料保障、环境效益、能效管理、运行管理、社会效益等 7 项一级指标，以及单位废弃物处理成本、技术先进性、原料供应保障、二氧化碳减排量、能源利用效率、运行稳定、员工福利等 25 项二级指标，各二级指标下又细分为 39 项三级指标，具体分析过程如下：

### 1、研究范围及边界

本课题的研究范围包括新建、改建和扩建的生物质发电（含热电联产）、生物质清洁供热、生物质热解气化、生物天然气等生物质清洁利用项目。

### 2、经济性评价指标及评价方法

#### （1）经济性评价指标

生物质能清洁利用项目的经济性评价指标包括单位废弃物处理成本、项目收入、财务评估等 3 个关键指标。根据对生物天然气、生物质发电、生物质热解气化等 30 多个项目建设投资成本、生产运营成本、吨废弃物处理收益等重要经济指标的计算，在处理单位废弃物建设投资成本不高于 50 万元 / 吨，处理单位废弃物生产运营成本不高于 500 元 / 吨，吨废弃物处理收益不低于 200 元 / 吨，项目收入来源途径大于 4 种，主营业务利润率不低于 20% 下，生物质能清洁利用项目盈利能力、抗风险能力较强。

#### （2）经济性评价方法

依据经济性指标在生物质能清洁利用项目实施中的权重，“单位废弃物处理成本”指标共计 2 项，如果处理单位废弃物建设投资成本  $\leq 50$  万元 / 吨得 3 分，50-60 万元 / 吨（含 60 万元）得 2 分，60 万元 / 吨以上得 1 分；处理单位废弃物生产运营总成本  $\leq 500$  元 / 吨得 3 分，500-600 元 / 吨（含 600 元）得 2 分，600 元 / 吨以上得 1 分。“项目收入”指标共计 2 项，吨废弃物处理收益  $\geq 200$  元 / 吨得 3 分，100-200 元 / 吨（含 100 元）得 2 分，100 元以下得 1 分；收入来源途径（如发电上网、收取处理费、售卖有机肥等） $\geq 4$  种得 1 分，2-4 种（不含 4 种）得 1 分，不足 2 种得 0 分。“财务评估”指标共计 2 项，主营业务收入超过同年度目标 90% 得 2 分，80%-90%（含 90%）得 1 分，不足 80% 得 0 分。“经济性”指标满分合计 15 分，评价方法见表 5-4。

表 5-4 生物质能清洁利用项目经济性评价方法

序号	评价指标	评价方法及评分
一	单位废弃物处理成本	总建设投资成本 $\leq$ 50 万元 / 吨, 3 分; 50-60 万元 / 吨 (含 60 万元), 2 分; 60 万元 / 吨以上 1 分。
		总生产运营总成本 $\leq$ 500 元 / 吨, 3 分; 500-600 元 / 吨 (含 600 元), 2 分; 600 元 / 吨以上 1 分。
二	项目收入	吨废弃物处理收益 $\geq$ 200 元 / 吨, 3 分; 100-200 元 / 吨 (含 100 元), 2 分; 100 元以下 1 分。
		收入来源途径 $\geq$ 4 种, 2 分; 2-4 种 (不含 4 种), 1 分, 不足 2 种 0 分。
三	财务评估	主营业务收入超过同年度目标 90%, 2 分; 80%-90% (含 90%), 1 分; $\leq$ 80%, 0 分。
		主营业务利润率 $\geq$ 20%, 2 分; 10%-20%, 1 分; $<$ 10%, 0 分。
四	经济性总分	15 分

### 3、技术水平评价指标及评价方法

#### (1) 技术水平评价指标

生物质能清洁利用项目的技术水平评价指标包括 2 个关键指标。考虑生物质能清洁利用技术的发展, 项目所采用的技术在国际或国内宜处于领先地位或水平, 项目宜引入或突破新的关键技术以解决生物质能转化过程中的难点, 技术获得国家级、省级或市级技术创新奖; 后端能源产品利用方式 (发电上网、供热、并入市政管网、车用燃料等) 宜不少于 2 种, 技术宜具备持续改进或创新的能力, 应用该技术的同类项目数量不低于 30 个。

#### (2) 技术水平评价方法

依据技术水平指标在生物质能清洁利用项目实施中的权重, 技术先进性评价指标共计 3 项, 如果项目所采用的技术在国际或国内处于领先地位或水平得 2 分, 处于一般地位或水平得 1 分; 项目引入新的关键技术以突破生物质能转化过程中的瓶颈得 2 分, 没有则得 0 分; 技术获得国家级、省级或市级技术创新奖之一得 2 分, 没有则 0 分。技术适应性评价指标 3 项, 如果后端能源产品利用方式不少于 2 种得 2 分, 1 种方式得 1 分; 技术具备持续改进或创新的能力能够满足不同规模、地域的应用条件得 3 分, 不具备持续改进或创新的能力得 0 分; 应用该技术的同类项目数量不低于 30 个得 3 分, 15-30 个 (含 15 个) 得 2 分, 少于 15 个得 1 分。“技术水平”指标满分合计 14 分, 评价方法见表 5-5。

表 5-5 生物质能清洁利用项目技术水平评价方法

序号	评价指标	评价方法及评分
一	先进性	技术在国际或国内处于领先地位或水平，2 分；一般地位或水平，得 1 分。
		项目引入或突破新的关键技术以解决生物质能转化过程中的难点，得 2 分；没有，得 0 分。
		获得国家级、省级、市县级技术创新奖之一，得 2 分；没有，得 0 分。
二	适用性	后端能源产品利用方式 $\geq 2$ 种，2 分；1 种，1 分。
		技术具备持续改进或创新的能力，得 3 分；不具备，得 0 分。
		应用该技术的同类项目数量 $\geq 30$ 个，得 3 分；15-30 个（含 15 个），得 2 分； $< 15$ 个，得 1 分。
三	技术水平总分	11 分

#### 4、原料保障评价指标及评价方法

##### (1) 原料保障评价指标

生物质能清洁利用项目原料保障包括 2 个关键指标。对于任何一个生物质能清洁利用项目都应保障原料供应，建立有效的原料收储运体系，使原料种类多元化；同时也应保障原料的质量，制定完善的原料质量控制管理制度，并配备原料检测设施或实验室，或有相关的检测资源，同时应对每批次原料进行检测，并做好相关记录。

##### (2) 原料保障评价方法

依据原料保障评价指标在生物质能清洁利用项目实施中的权重，原料供应保障指标共计 3 项，如果项目建有完善的原料收储运体系得 4 分，每发现一处问题扣 0.5 分，扣完为止；供应原料种类  $\geq 2$  种得 3 分，1 种得 1 分；日原料供应量超过设计（额定）值的 90% 得 3 分，80%-90%（含 90%）得 2 分，60%-80% 得 1 分（含 80%）， $\leq 60\%$  得 0 分。原料质量监控指标共计 3 项，有完善的原料质量控制管理制度，得 2 分，否则不得分；如果配有原料检测设施，得 2 分，否则不得分；如果原料检测施批次检，得 3 分，不定期检得 2 分，不进行检测则不得分。“原料保障”指标满分合计 17 分，评价方法见表 5-6。

表 5-6 生物质能清洁利用项目原料保障评价方法

序号	评价指标	评价方法及评分
一	原料供应保障	建立有效的收储运体系，4 分；每发现一处问题扣 0.5 分，扣完为止。
		供应原料种类 $\geq 2$ 种，3 分；1 种，1 分。
		日原料供应量超过设计（额定）值的 90%，3 分；80%-90%（含 90%），2 分；60%-80%，1 分（含 80%）； $\leq 60\%$ ，0 分。
二	原料质量监控	完善的原料质量控制管理制度，2 分；不完善，0 分。
		配有原料检测设施 2 分，没有 0 分。
		原料检测：批次检 3 分，不定期检 2 分，不检 0 分。
三	原料保障总分	17 分

## 5、环境效益评价指标及评价方法

### (1) 环境效益评价指标

生物质能清洁利用项目环境效益主要从项目处理废弃物理量、二氧化碳减排量及项目在生产过程中产生的大气污染物、污水及固废的处理等方面考虑。评价内容选取了废弃物处理量、二氧化碳减排量、碳足迹可追溯性、大气污染物排放、污水处理、固废处理等主要指标。其中，废弃物处理量应达到设计（额定）处理量 80%-110%，二氧化碳排放量应达到设计（额定）减排量 80% 以上，大气污染物排放应满足国家标准，污水、固废应得到合理处置以满足环评要求，生产过程的碳足迹应具有可追溯性。

### (2) 环境效益评价方法

依据环境效益评价指标在生物质能清洁利用项目实施中的权重，废弃物处理量达到设计（额定）处理量 80%-110% 得 3 分，60%-80%（含 80%）得 2 分， $\leq 60\%$  或  $\geq 110\%$  得 1 分；大气污染物排放达到当地环保排放标准得 3 分；达到国家标准得 2 分；污水、固废得到合理处置，满足环评要求各得 2 分，不满足 0 分；二氧化碳减排量达到设计（额定）处理量 80% 及以上得 3 分，60%-80%（含 60%）得 2 分，低于 60% 得 1 分；碳足迹可追溯，台账清晰、监测表计齐全得 2 分，发现一处问题扣 0.5 分，扣完为止。“环境效益”指标满分合计 15 分，评价方法见表 5-7。

表 5-7 生物质能清洁利用项目环境效益评价方法

序号	评价指标	评价方法及评分
一	废弃物处理量	达到设计（额定）处理量 80%-110%，3 分；60%-80%（含 80%），2 分； $\leq 60\%$ 或 $\geq 110\%$ ，1 分。

二	大气污染物排放	达到当地环保排放标准，3分；达到国家标准，2分。
三	污水处理	污水得到合理处置，满足环评要求2分，不满足0分。
四	固废处理	固废得到合理处置，满足环评要求2分，不满足0分
五	二氧化碳减排量	达到设计（额定）处理量80%及以上，3分；60%-80%（含60%），2分；<60%，1分。
六	碳足迹可追溯性	台账清晰、监测表计齐全2分，发现一处问题扣0.5分，扣完为止。
七	环境效益总分	15分

## 6、能效管理评价指标及评分方法

### (1) 能效管理评价指标

生物质能清洁利用项目能效管理主要包括能效管理制度、能源利用效率、能源消耗等3个关键指标。项目应制定完善的能效管理、节能机会、技术改造、能效评估管理制度；能源利用效率宜在40%以上，生产过程电力消耗宜达到设计（额定）值80-110%；生产过程水消耗宜达到设计（额定）值80-110%。

### (2) 能效管理评价方法

如果能效管理制度完善得3分，待完善得1分，无管理制度不得分；能源利用效率满分为4分，如果能源利用效率达到设计（额定）值的80%及以上得4分，60%-80%（含60%）得2分，≤60%得1分；生产过程电力消耗达到设计（额定）值80-110%（含80%）得3分，60%-80%（含60%）得2分，≤60%或≥110%得1分；生产过程水消耗达到设计（额定）值80-110%得3分，60%-80%（含60%）得2分，≤60%或≥110%得1分。“能效管理”指标满分合计13分，评价方法见表5-8。

表5-8 生物质能清洁利用项目能效管理评价方法

序号	评价指标	评价方法及评分
一	能效管理制度	制度完善，3分；待完善，1分；无0分。
二	能源利用效率	能源利用效率达到设计（额定）值的80%及以上，4分；60%-80%（含60%），2分；<60%，1分。
三	能源消耗	生产过程电力消耗达到设计（额定）值80-110%（含80%），3分；60%-80%（含60%），2分；<60%或≥110%，1分。 生产过程水消耗达到设计（额定）值80-110%，3分；60%-80%（含60%），2分；<60%或≥110%，1分。
四	能效管理总分	16分

## 7、运行管理评价指标及评分方法

### (1) 运行管理评价指标

生物质能清洁利用项目运行管理主要包括管理制度、稳定运行、运行记录、自动化管理、应急预案、现场管理等6个关键指标。首先，应有完善的安全运行管理制度和事故应急预案。项目应稳定运行，尽可能减少发生影响生产的故障次数。项目运营过程中，应具有完善的运行记录，对运行过程中的问题作出说明、分析原因、提出解决方案，并做全员宣导；应对设备进行定期维护保养和校准，做好维护保养校准记录。项目宜配有远程监控与操作系统、数据采集分析系统，以实现自动化控制。项目应建立应急预案，并定期进行消防和安全演练，做好记录。在项目现场，应尽可能做到人员检修通道通畅、巡检路线标线清晰、设备标牌悬挂位置明显、安全通道指示清楚、地面干净整洁、工具摆放整齐，设备应无积灰，卸料间、原料储存区和灰储存区应无扬尘。

### (2) 运行管理评价方法

依据运行管理评价指标在生物质能清洁利用项目实施中的权重，管理制度完善得2分，否则不得分；“稳定运行”指标满分为3分，其中年运行故障次数1次及以下得3分，2-3次得2分，4-5次得1分，大于5次不得分；运行记录完善得2分，否则不得分；“自动化管理”指标满分为3分，如果配有远程监控与操作系统得1.5分，配有数据采集分析系统1.5分，否则不得分；项目建有应急预案，且定期演练并记录，得2分，否则不得分；“现场管理”指标满分为2分，其中安全标识清晰得1分，做到清洁生产得1分，否则不得分。“运行管理”指标满分合计14分，评价方法见表5-9。

表 5-9 生物质能清洁利用项目运行管理评价方法

序号	评价指标	评价方法及评分
一	管理制度	管理制度完善，2分；不完善0分。
二	稳定运行	年故障次数1次及以下，3分；2-3次，2分；4-5次，1分；大于5次，0分
三	运行记录	运行记录完善，2分；不完善0分。
四	自动化管理	配有远程监控与操作系统1.5分，配有数据采集分析系统1.5分。
五	应急预案	定期演练并记录2分，无0分。
六	现场管理	安全标识清晰1分，清洁生产1分，不满足0分。
七	运行管理总分	14分



## 8、社会效益评价指标及评分方法

### (1) 评价指标及评分方法

生物质能清洁利用项目社会效益主要通过当地社会影响、职工福利、农民增收三个方面来体现。生物质能清洁利用项目应直接或间接地提供适合的就业岗位，优先雇佣当地劳动力，并鼓励为弱势群体提供就业机会；项目应为当地经济发展做出一定的贡献，同时应积极参与公益事业；项目运行应直接或间接地带动周边地区农民增收。在职工福利方面，项目应为员工提供合理的技能培训和技能提升机会以及有竞争力的薪资。

### (2) 评价指标及评分方法

依据社会效益评价指标在生物质能清洁利用项目实施中的权重，“当地社会影响”下分3个关键指标。提供就业岗位数达到设计岗位数量的100%及以上得2分，80%-100%得1分，不足80%得0分；当地经济贡献度满分2分，需要根据项目缴纳税收情况评估对本县（市）的经济贡献；近1年内参与公益事业次数 $\geq 2$ 次得2分，1次得1分；没有得0分。“职工福利”下分2个关键指标，为职工提供合理的培训和技能提升机会得2分，否则0分；职工平均工资达到当地平均水平得2分，否则0分。“农民增收”指标满分为2分，需要根据项目运行直接或间接为农民带来的增收节支整体情况进行综合评价，相关情况包括但不限于：原料收购、雇佣当地农民工作为临时工等。“社会效益”指标满分合计12分，评价方法见表5-10。

表5-10 生物质能清洁利用项目运行社会效益评价方法

序号	评价指标	评价方法及评分
一	当地社会影响	提供就业岗位数达到设计岗位数量的100%及以上，2分；80%-100%，1分；不足80%，0分。
		当地经济贡献度：根据项目缴纳税收情况评估对本县（市）的经济贡献，满分2分。
		近1年内参与公益事业次数 $\geq 2$ 次，2分；1次，1分；没有，0分。
二	职工福利	提供合理的培训和技能提升机会，2分；否则0分。
		职工平均工资达到当地平均水平，2分；否则0分。
三	农民增收	根据项目运行直接或间接为农民带来的增收节支整体情况进行综合评价，相关情况包括但不限于：原料收购、雇佣当地农民工作为临时工等。满分为2分。
四	社会效益总分	12分

## 9、生物质能清洁利用项目综合评价

### (1) 项目综合评价指标及计分

生物质能清洁利用项目根据 7 项一级指标、25 项二级指标、39 项三级指标进行系统评价，评价指标总得分计 100 分。项目综合评价计分汇总表详见表 5-11。

表 5-11 生物质能清洁利用项目综合评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	备注	满分
经济性 (15 分)	单位废弃物处理成本	总建设投资成本 ≤ 50 万元 / 吨	定量	3
		总生产运营总成本 ≤ 500 元 / 吨	定量	3
	项目收入	吨废弃物处理收益 ≥ 200 元 / 吨	定量	3
		收入来源途径 ≥ 4 种	定量	2
	财务评估	主营业务收入超过同年度目标 90%	定量	2
		主营业务利润率 ≥ 20%	定量	2
技术水平 (14 分)	先进性	技术在国际或国内处于领先地位或水平	定性	2
		引入或突破新的关键技术，以解决生物质能转化过程中的难点。	定性	2
		获得国家级、省级、市县级技术创新奖之一	定性	2
	适用性	后端能源产品利用方式 ≥ 2 种	定量	2
		技术具备持续改进或创新的能力	定性	3
		应用该技术的同类项目数量 ≥ 30 个	定量	3
原料保障 (17 分)	原料供应保障	建立有效的收储运体系	定性	4
		供应原料种类 ≥ 2 种	定量	3
		日原料供应量超过设计 (额定) 值的 90%	定量	3
	原料质量监控	原料质量控制管理制度完善	定性	2
		配有原料检测设施	定性	2
		批次检、不定期检	定性	3

环境效益 (15分)	废弃物处理量	达到设计(额定)处理量80%-110%	定量	3
	大气污染物排放	达到当地环保排放标准	定性	3
	污水处理	污水得到合理处置,满足环评要求。	定性	2
	固废处理	固废得到合理处置,满足环评要求。	定性	2
	二氧化碳减排量	达到设计(额定)减排量80%	定量	3
	碳足迹可追溯性	台账清晰、监测表计齐全	定性	2
能效管理 (13分)	能效管理制度	制度完善	定性	3
	能源利用效率	能源利用效率达到设计(额定)值的80%	定量	4
	能源消耗	生产过程电力消耗达到设计(额定)值80-110%	定量	3
		生产过程水消耗达到设计(额定)值80-110%	定量	3
运行管理 (14分)	管理制度	管理制度完善	定性	2
	稳定运行	年故障次数 $\leq 1$ 次	定量	3
	运行记录	运行记录完善	定性	2
	自动化管理	配有远程监控与操作系统、数据采集分析系统	定性	3
	应急预案	定期演练并记录	定性	2
	现场管理	安全标识清晰、清洁生产	定性	2
社会效益 (12分)	当地社会影响	提供就业岗位达数达到设计岗位数量的100%及以上	定量	2
		当地经济贡献度:根据项目缴纳税收情况评估对本县(市)的经济贡献,满分2分。	定性	2
		近1年内参与公益事业次数 $\geq 2$ 次	定量	2
	职工福利	提供合理的培训和技能提升机会	定性	2
		职工平均工资达到当地平均水平	定量	2
	农民增收	根据项目运行直接或间接为农民带来的增收节支整体情况进行综合评价,相关情况包括但不限于:原料收购、雇佣当地农民工作为临时工等。满分为2分。	定性	2

## (2) 项目综合评价

生物质能清洁利用项目根据下表进行综合评价，评价指标总得分合计 100 分，按照 A、B、C、D 四个等进行综合评定，综合评价分级见表 5-12。

表 5-12 生物质能清洁利用项目综合评价分级表

项目评价总分	项目级别
90 分 ≤ 分数	A 级
80 分 ≤ 分数 < 90 分	B 级
70 分 ≤ 分数 < 80 分	C 级
分数 < 70 分	D 级

## (五) 案例评价及总结

基于协会长期以来对生物质能清洁利用模式的跟踪，通过现场走访、调研、案例征集等方式，整理出 20 多个各类生物质能清洁利用案例。基于对行业的了解，从中选择出运行较好的项目进行实地考察。从 2022 年 11 月到 2023 年 8 月，先后组织专家对中广核阳信生物天然气项目、三河市盈盛生物能源科技股份有限公司规模化生物天然气项目、中电建生态环境集团有限公司河南兰考仪封生物天然气项目、宁波明州农林生物质热电联产项目等多个项目进行实地调研，并依据《生物质能清洁利用项目综合评价指标体系》对其打分，同时以评价结果为依据，总结出优秀典型项目的运营管理经验，以便生物质能清洁利用项目的推广，结果如下：

### 1、案例评价

#### (1) 三河市盈盛生物能源科技股份有限公司规模化生物天然气项目

该项目位于河北省三河市国家农业科技园区内，总投资 2 亿多元，占地 109 亩，以农作物秸秆、畜禽粪污等农业固废为原料，采用国际先进设备和国际领先的厌氧发酵、纤维素预水解技术，通过厌氧发酵生产生物天然气和生物有机肥，生产全过程无废气、废水、废液排放，真正实现了有机废弃物的资源化利用。

项目建设投资 1.13 亿元，年生成运营成本 2700 万元，年销售收入近 4000 万元。项目正常运营期间年消纳各类有机废弃物 19 万吨，年减排二氧化碳 10 万余吨，日产生物天然气 1.8 万立方米（年产 657 万立方米）、有机沼肥 5 万吨。生产生物天然气主要用于厂矿企业生产性清洁用能、单位清洁取暖和出租车辆使用。生产的优质有机固体和液体沼肥，为区域内农业生产的化肥减量替代、改良土壤和发展优质高效绿色农业提供了支撑。

经现场查勘，该项目现场环境干净整洁，文件资料齐全，工作人员上岗严格规范，运营管理有序。  
依据《生物质能清洁利用项目综合评价指标体系》，对该项目进行打分评价，总分 95 分，为 A 级。

表 5-13 三河市盈盛规模化生物天然气项目综合评价表

序号	一级指标	总分	得分	存在问题
1	经济性	15	14	项目收入来源只有三种（秸秆收储享有政府补贴、出售有机肥及售卖 CNG）
2	技术水平	14	12	运营过程中未引入或突破新的关键技术以解决生物质能转化过程中的难点
3	原料保障	17	17	
4	环境效益	15	15	
5	能效管理	13	13	
6	运行管理	14	14	
7	社会效益	12	10	近 1 年内未参与过公益事业
8	合计	100	95	

(2) 中电建生态环境集团有限公司河南兰考仪封生物天然气项目

该项目位于河南省兰考县仪封镇，建设规模为日产沼气 5 万 Nm<sup>3</sup>，日生产物天然气 2.5 万 Nm<sup>3</sup>。项目投产后，年产生物天然气 912.5 万 Nm<sup>3</sup>、沼气 1825 万 Nm<sup>3</sup>，年产固体有机肥 3.2 万吨、液体有机肥 5 万吨、沼液肥 20 万吨。

项目建设投资 2.9 亿元，正常运行期间，年生产运行成本 6000 万元，年销售金额 6900 万元。目前，项目由于原料竞争问题，处于半运行状态，年产生物天然气约 300 万 Nm<sup>3</sup>，年消纳秸秆、畜禽粪污共 11 万吨，年减排二氧化碳量约 3 万吨。生产的生物天然气进入市政管网，生产的固体有机肥用作农田基肥，液态肥用作农田追肥。

经现场查勘，该项目现场环境干净整洁，文件资料齐全，工作人员上岗严格规范，运营管理有序。

依据《生物质能清洁利用项目综合评价指标体系》，对该项目进行打分评价，总分 73 分，为 C 级。

表 5-14 中电建河南兰考规模化生物天然气项目综合评价表

序号	一级指标	总分	得分	存在问题
1	经济性	15	11	项目单位建设投资成本 86 万元 / 吨，项目收入只通过售卖有机肥和生物天然气并入市政管网而畜禽粪污及农作物秸秆需要付费购买，主营业务利润率在 17% 左右。

2	技术水平	14	9	项目未引入或突破新的关键技术以解决生物质能转化过程中的难点，未获得技术创新奖，后端能源产品利用仅生物天然气并入当地燃气管网一种方式。
3	原料保障	17	12	厌氧发酵原料以鸡粪为主，由于当地存在原料竞争，项目需要付费购买；当前原料日供应量约为设计供应量的55%。
4	环境效益	15	11	当前二氧化碳减排量约为设计减排量的52%
5	能效管理	13	7	能源利用效率达到设计值的63%左右，生产过程中电力消耗和水资源消耗各占到设计能力的70%左右。
6	运行管理	14	14	
7	社会效益	12	9	当前提供的就业岗位数占到设计值的80%，近1年内未参与公益事业，该项目在对当地贡献程度上未达到期望值。
8	合计	100	73	

### (3) 齐齐哈尔九洲环境能源有限公司梅里斯区2×40MW农林生物质热电联产项目

项目位于齐齐哈尔市绿色食品特色产业园区内，项目规划总投资61,394.62万元，建设总规模为80MW，建设内容为2台150吨/小时高温超高压再热式循环流化床锅炉，2台40MW抽凝式汽轮发电机组。梅里斯生物质热电联产项目全容量投产运营后，每年可提供绿色电力约5.6亿千瓦时，并能满足梅里斯整个城区107万平方米冬季居民供热和产业园区内50吨/小时工业蒸汽的需求，年秸秆消耗量为64.26万吨。

该项目具有很好的环保和社会效益，运营期间可解决约200人长期就业，秸秆收储运输环节将间接增加约500人就业机会，项目收购秸秆预计可为当地农民增加约1.2亿元经济收入，项目用工，预计可为当地剩余劳动力增加2400万元的劳务收入。

依据《生物质能清洁利用项目综合评价指标体系》，对该项目进行打分评价，总分92分，为A级。

表 5-15 齐齐哈尔梅里斯农林生物质热电项目综合评价表

序号	一级指标	总分	得分	存在问题
1	经济性	15	14	该项目收入主要通过发电上网和为居民供热及为工业园区供汽。
2	技术水平	14	10	项目未引入或突破新的关键技术以解决生物质能转化过程中的难点问题。
3	原料保障	17	15	项目原料仅农作物秸秆一种
4	环境效益	15	14	大气污染物排放仅达到国家相关标准

5	能效管理	13	13	
6	运行管理	14	14	
7	社会效益	12	12	
8	合计	100	92	

#### (4) 中节能（烟台）生物质热电有限公司栖霞热电联产项目

中节能（烟台）生物质热电有限公司由中国环境保护集团有限公司投资建设，是烟台市首家、栖霞市城区唯一一家生物质能源集中供热、热电联产企业。公司位于栖霞市城区西北，占地面积156亩。项目总投资2.7亿元，建设规模为3×75t/h次高温次高压生物质直燃锅炉，配2×15MW抽凝式汽轮发电机组，配套建设城区供热管网和换热站。设计年发电量1.8亿千瓦时，供热面积240万m<sup>2</sup>。项目全部利用农林废弃物直燃发电，年可利用栖霞及周边地区果木枝条、农作物秸秆、木材加工剩余料等生物质燃料25万余吨。

依据《生物质能清洁利用项目综合评价指标体系》，对该项目进行打分评价，总分89分，为B级。

表 5-16 中节能烟台农林生物质热电项目综合评价表

序号	一级指标	总分	得分	存在问题
1	经济性	15	13	该项目收入主要通过发电上网和为居民供热，发电及供热收益达到同年目标的86%
2	技术水平	14	10	项目未引入或突破新的关键技术以解决生物质能转化过程中的难点问题
3	原料保障	17	15	项目以秸秆、果树枝条等为原料，原料质量不佳，原料收集存在竞争，半径有限
4	环境效益	15	14	该项目碳足迹追溯性存在漏洞，检测仪表不全。
5	能效管理	13	13	
6	运行管理	14	14	
7	社会效益	12	10	项目近一年内未参与公益事业投资
8	合计	100	89	

#### (5) 安徽昌信生物质能源有限公司天享生物质热解气化供热项目

项目地址位于安徽省滁州市南谯区乌衣镇工业园内，目前已建成四套生物质热解气化成套设备，年处理生物质3.2万吨（每年按320天计算）、产出蒸汽6.4万吨、产出炭基肥3.84万吨、产出植物营养调节剂1600吨。可实现减排CO<sub>2</sub>约6万吨、土壤长期改良30万亩以上。项目建设总投



资为 1 亿元，运营期 20 年，运营期间年均运营成本 2100 万元，年均销售收入约 3800 万元。

该项目全套为安徽昌信生物质能源有限公司自有技术、本技术主要采用“下吸式气化炉控氧热裂解气化”为核心的工艺技术，以生物质（秸秆）为原料，原料经过预处理去除杂质，控制水分达到 20% 以下，经过成型化加工后（有的生物质本身即为成型颗粒，不需要再进行二次加工，如谷壳、花生壳等），进入热裂解气化炉控氧炭化，产出的可燃气体再经过净化后送到用能点（本项目主要是用于燃气锅炉、肥料烘干窑），产出的生物质炭经过粉碎再添加适量的木醋液后，根据当地土壤检测情况，选择添加氮磷钾比例，均质搅拌造粒，产出炭基肥；另一个路径是：将生物质炭按一定比例与家禽粪便均匀搅拌后堆放一段时间后，做为炭基有基肥使用。

依据《生物质能清洁利用项目综合评价指标体系》，对该项目进行打分评价，总分 86 分，为 B 级。

表 5-17 安徽昌信生物质热解气化项目综合评价表

序号	一级指标	总分	得分	存在问题
1	经济性	15	10	项目单位建设投资成本 101 万元 / 吨，生产运营成本 650 万元 / 吨，收入来源主要为工业园区供蒸汽，售卖炭基肥和营养液。
2	技术水平	14	14	
3	原料保障	17	15	项目仅以秸秆为原料
4	环境效益	15	13	项目碳足迹可追溯性不强，原料运输能耗台账不清晰
5	能效管理	13	11	原料运输环节能耗不清晰，能效管理制度不完善
6	运行管理	14	14	
7	社会效益	12	9	近 1 年未参加公益事业投资，带动农民增收效果未达预期
8	合计	100	86	

基于上述不同生物质能清洁利用项目的打分评价，课题成果《生物质能清洁利用项目综合评价指标体系》现实可行。

## 2、案例经验总结

基于以上评分，对 B 级及以上项目的运营经验进行分析，总结出成功的运营经验。

### (1) 建立了有效的原料保障体系

在项目原料保障方面，要建立城乡废弃物统一管理的机制。有的项目通过“农保姆”、“产品置换”等方式收取秸秆，虽然在秸秆打包机械上增加了投入，但是能够通过享受补贴等渠道进一步降低秸

秆成本价；大多数农林生物质热电联产均在项目周边建立收料的经纪人网络，保证原料供应。未来，在推广过程中，可建设企业主导、政府推动、农户参与的生物质原料收储运网络体系。积极扶持有条件的企业和社会组织组建专业化秸秆收储运机构，培养专业队伍，建立规范的交易平台和服务体系，提高机械化打捆收集效率，加强运输中转、储存场所设施建设，逐步形成商品化秸秆收储和供应能力，实现秸秆收储运系统的专业化和市场化。同时，鼓励农户通过土地入股或加入秸秆收储运合作社等方式，提高秸秆收集率的同时获得稳定收入。

### （2）有合理的废弃物处理收费机制

生物质能项目能够对城乡有机废弃物进行高值化利用，在创造社会效益的同时，还有很高的环保价值，废弃物处理成本应当逐步由产生者承担，形成“谁排污、谁付费”、“谁处理、谁受益”的有偿处理机制。目前成熟的运行模式如三河盈盛项目、博能林甸均实现了向养殖户收取费用方式处理养殖畜禽粪污，解决了项目原料成本问题。海南神州项目通过享受城乡垃圾处理费的方式，并且组织协同处理多种来源的有机废弃物，形成联动网络，在保障原料的同时降低原料成本。而中电建河南兰考项目由于畜禽粪污利用存在竞争，项目需要从养殖户购买牛粪、鸡粪等原料，导致项目处于半运行状态。

### （3）项目收入来源多样

目前能够盈利的项目大多数其收入来源较为广泛。部分生物天然气项目前端收取处理费，后端生物天然气作为城市交通燃料或者工业用气，部分沼渣沼液作为绿色有机肥反哺生态农业。部分热解气化项目除了供热外，还从副产品碳中获取受益。下一步，需要深入挖掘生物质能利用的绿色环境价值，比如进行绿色能源认证，开发减排量通过碳市场等手段进行体现。

## 第六章 相关建议

### （一）宏观政策建议

党的二十大报告中指出，在生态文明建设上，要推进美丽中国建设，加快发展方式绿色转型，深入推进污染防治，提升生态系统多样性、稳定性、持续性，积极稳妥推进碳达峰碳中和，促进人与自然和谐共生。我国是农业和人口大国，每年产生大量的有机废弃物，妥善处理和资源化利用这些废弃物，不仅能够解决环境污染问题，还能够提供清洁能源，为能源安全提供支撑。未来可从以下几个方面推进生物质能产业高质量发展。

**1、将发展生物质能产业提升为国家战略。**十几年前，我国以可再生能源促进法为依据，推动可再生能源产业的迭代进步，现已收到显著成效，风电、光伏均可平价上网。生物质能相较于其他可再生能源内生动力强，综合效益显著，特别是对推动农业农村绿色低碳和可持续发展意义重大。在新时代、新发展理念背景下，发展生物质能要提高自身站位，将其与生态文明建设、“双碳目标”、乡村振兴战略、推动能源转型、提高国家能源安全等国家重要战略有机结合。需要社会各界强化对生物质能的新认识，将发展生物质能作为未来可再生能源发展的重中之重，并将其提升为国家战略。

**2、建立统一、协调、有效的管理化体系。**生物质能分布广泛，产业链长，涉及多部门多专业，需要建立自上而下的“国家统筹、省负总责、县为主体”的管理体制。在国家层面，应建立生物质能产业发展跨部门协调机制，明确各地区各部门权责，制定生物质能产业发展指导意见、行业发展规划和配套支持政策，加强对技术研发和工程示范的支持力度，督导各省落实本地区规划发展目标。省级政府在制定本省生物质能发展规划、实施方案和支持政策的同时，建立对县级政府贯彻落实生物质能发展目标的监督管理机制。县级政府作为县域发展生物质能的责任主体，要成立专门工作机构，落实相关配套政策，引进社会资本和专业化力量，建立生物质资源的收储运体系和机制，采取积极有效措施，不断扩大大地区生物质能利用规模。

**3、完善生物质能开发利用商业模式。**农林生物质和城镇有机废弃物分布分散，其收集、运输和处理技术复杂，管理要求高，需要培育规模化的专业化公司，建立职责清晰、要求明确、管理规范化的制度体系，才能保障生物质能产业持续健康发展。与风能和太阳能技术不同，生物质能开发利用具有明显的社会治理属性，离不开地方政府的强有力支持，需要制定清晰的各类生物质资源收储管理制度。为了推动生物质能产业的持续健康发展，可参考城镇基础环境设施（如生活垃圾处理厂）建设运营模式，通过特许经营权方式，以县域为单位，公开选择有实力的大型专业化公司，负责县域内所有生物质资源的开发利用工作，统筹建立各类生物质资源的收集、储存、运输、处理体系，不断提高生物质开发利用水平。

4、**构建良好的市场环境。**考虑到处理有机废弃物投入大、成本高、产出低等行业特点，为吸引社会资本，需健全“污染者付费、产生者付费、处理者受益”环境治理体系。生物质能发展兼具解决环保问题和能源问题的双重目标，目前的政策仅考虑生物质的能源价值，未考虑其生态环境治理价值。未来必须统筹好生物质开发利用的生态环境价值和能源价值，加快构建有机废弃物有效和有偿处理的政策体系，明确有机废弃物处理的技术路径和管理要求，制定有机废弃物产生者向处理者支付合理处置费用的政策措施；积极推进生物质能参与碳市场，完善生物质能企业进入碳市场交易的规则及相关法律法规；构建公开公平公正的生物质能开发利用市场环境。

5、**加强国际合作，共商共建共治，实现互利共赢。**立足我国生物质能产业发展尚处于初期阶段的实际，要继续坚持“引进来”“走出去”相结合，学习借鉴欧洲、美国等各国的成功经验和先进技术，加强专业人才培养和实验室建设，缩短关键技术研发周期，加快生物质能产业化进程。与欧盟及相关机构对接，积极应对 CBAM 对我国经济的影响，完善碳定价机制和碳排放核算体系，加快重点产品碳足迹核算标准研究，完善和更新各类碳排放因子，建设国家碳排放数据库，推动中欧建立外贸产品碳足迹互认机制。积极参与全球生物质能治理机制建设，发挥二十国集团（G20）、金砖国家、亚太经合组织（APEC）等全球和区域性合作机制作用，推动世行、亚行、亚投行等多双边国际合作，吸引撬动国际优惠资金，促进创新要素合理流动，实现生物质能经济效益互利共赢。

## **（二）农村地区生物质能清洁利用建议**

我国农村地区有丰富的生物质资源，具备发展生物质能的资源条件。农村人口占全国人口的 36%，农村能源消耗占全国总耗能的 38%，主要包括炊事、取暖、照明等生活用能，以及农林牧渔业等生产用能。

在“双碳”目标与乡村振兴战略的双重历史责任下，农村能源转型迫在眉睫。发展生物质能既能有效补充农村的用能需求，又能改善广大北方地区“煤改气”和“煤改电”所遇到的难题。对农村地区能源绿色转型发展，实现碳达峰、碳中和目标和农业农村现代化具有重要意义，建议从以下方面推进农村地区生物质能清洁利用。

1、**因地制宜选择生物质供暖技术。**适合北方农村地区的生物质供暖方式有分布式集中供暖和分散式户用炉具供暖。集中供暖具有能源利用效率高、运行成本低、除尘设备完善等特点，可为长寒冷期全空间连续供热。分散式户用炉具供暖具有运行、管理灵活等特点，但是存在热源效率低、污染物控制难度大等缺点，适合集中供暖难以覆盖、环境承受能力较强的地区供暖。

农村地区应根据当地的资源量、供暖方式特点及环境承受能力，选择合适的供暖方式。根据供暖期及生物质资源量的不同，将北方地区划分为四个地区，依据各区的供暖特点、人口密集度及资源量选择供暖方式。

东北+内蒙古部分地区：本地区具有秸秆等农林生物质资源丰富，冬季供暖期长（供暖期接近半年）等特点。在人口（村落）较为集中的区域，优先选择秸秆打捆直燃集中供暖、生物质成型燃料+专用锅炉集中供暖及沼气热电联产等集中供暖形式；在人口（村落）较为分散的地区，则可以使用生物质成型燃料+专用户用炉具供暖。

西北部分地区+华北部分地区：本地区具有秸秆、生活垃圾、畜禽粪污等资源丰富，冬季供暖期较长（供暖期大约四个月）等特点。在人口（村落）较为集中的区域，优先选择生物质成型燃料+专用锅炉集中供暖、沼气热电联产等集中供暖形式；在人口（村落）较为分散的地区，则可以使用生物质成型燃料+专用户用炉具供暖。

“2+26”城市地区：本地区属于京津冀大气污染传输通道城市，执行更为严格的大气污染物排放标准，农村地区可优先选择配有除尘设备的生物质集中供暖模式供暖。在生物质成型燃料质量及户用炉具燃烧效率较高的条件下，可选择生物质成型燃料+专用户用炉具取暖。根据调研，阳信县生物质户用专用炉具排放的颗粒物浓度在20-45毫克/立方米之间，氮氧化物浓度在169-200毫克/立方米左右，林格曼黑度小一级，SO<sub>2</sub>检测不出。

青藏+内蒙古部分地区：本地区拥有丰富的太阳能、风电等能源，农村地区农牧民居住较为分散，优先考虑户用太阳能供暖及电采暖；同时本地区农牧业较为发达，畜禽粪污相比秸秆、林业三剩物等资源丰富，可考虑生物质成型燃料+专用户用炉具取暖作为农村取暖的补充。



图 6-1 农村地区生物质清洁供暖图



**2、支持技术创新。**一是建立生物质能产业技术创新目录。每年根据技术的先进性、安全性、实用性、经济性等指标对行业先进技术进行评选，对于入选目录的技术给予一定的资金支持，并进行宣传推广。二是加大对县域，尤其是农村地区房屋保温措施的研究，提升房屋节能效率，降低房屋保温材料成本。三是完善技术创新成果转化机制，推动产学研用深度融合，支持首台（套）重大技术装备示范应用，强化重点技术与装备创新转化和应用示范，着力提高县域生物质能利用产业技术与装备水平。四是加大生物质户用炉具的技术研发，当前农村地区生物质户用炉具应用存在部分污染物排放超标问题，原因之一是炉具结构存在问题，导致燃料燃烧不充分。五是加强研发和推广应用集成技术，以实现农村地区生物质能与风电、光伏等其他新能源融合发展。

**3、发展农村绿色循环经济。**一是通过“互联网+三级网络”加速生物质能产业的发展，即通过构建生物质能产业互联网平台，实现农业废弃物收储运、资源化生产、产品销售利用产业链全生命周期跟踪管控，做到环境效益与经济效益、社会效益共赢。二是生物质能发展促进农业产业升级，即以生物质能产业发展带动区域养殖、种植、肥料、燃气等行业的优化与升级，最终构建以“农业废弃物收储运-资源化处理-产品销售与利用”三级网络为核心的良性产业生态圈。三是推进以生物燃气为纽带的生态循环农业建设，坚持农牧结合、种养循环、就近消纳、综合利用的原则，创建一批以生物燃气为纽带的种养结合和农工商结合示范样板，在规模化养殖大县，建设沼气、生物天然气集中处理工程，配套沼肥利用设施，发展全县域的以生物天然气为纽带的生态循环农业。建设一批规模养殖场沼肥还田工程，在沼气工程周边，配套沼肥利用设施，提升沼肥就近就地施用能力和水平，形成长期施用的市场化种养结合运营机制。

## 参考文献

- [1] 王康,吕华侨,等.我国生物质能产业政策的演进与发展分析[J].科学情报开发与经济,2014(24):141-149.
- [2] 李红强,沈镭.美国风电产业政策演进:历程、特征与影响因素[J].世界地理研究,2012,21(1):100—110.
- [3] 段新芳,周泽峰,徐金梅,等.我国林业剩余物资源[J].中国人造板,2017,24(11):1-5.
- [4] 谢光辉,王晓玉,包维卿,等.中国废弃生物质资源化利用碳减排潜力与管理政策[M].北京:中国农业大学出版社,2020.
- [5] 丁奕如,杨雷,郑平,等.中国可持续航空燃料发展研究报告[R].北京:北京大学能源研究院,2022.
- [6] 王圣,杨鹤,闫瑞,伏朝林,等.生物航煤生产技术的发展现状[J].生物工程学报,2022,38(7):2477-2488.
- [7] 杨光,史波芬,周传斌.我国厨余垃圾资源化技术的多维绩效评价[J].环境科学,2022060325.
- [8] 张翔,周礼.热电联产项目的绩效评价体系构建与应用研究[D].杭州:浙江工业大学,2020.
- [9] 胡芳.大型工程项目绩效评价研究[D].长沙:湖南大学,2012.
- [10] 李振宇.基于全生命周期的热电联产项目后评价研究[D].北京:华北电力大学,2015.
- [11] GB/T 24044 环境管理生命周期评价要求与指南[S].
- [12] GB/T 34345-2017 循环经济绩效评价技术导则[S].
- [13] 丁亿极.生物质气化/直燃供热系统的经济性及环境效益评价[D].天津:河北工业大学,2020.
- [14] 姜文腾,于磊.农业类生物天然气项目建设中发酵原料的确定[J].农业工程技术,2022,42(26).
- [15] 童韩杨,沙小斌,等.生物天然气生产技术与商业化模式可行性探讨[J].能源与节能,2021(10).
- [16] 魏珣,马中,贾敬敦,等.林木生物质热电联产与燃煤热电项目的全成本经济评价比较分析[J].中国农业科技导报,2012,14(01).
- [17] 金安,李建华,高明,等.生物质发电技术研究与应用进展[J].能源研究与利用,2022(05).

附件

## 生物质能清洁利用推动减污降碳典型案例库

中国产业发展促进会生物质能产业分会

2023年11月



# 目 录 CONTENTS

前 言	1
<b>第一章 生物质能清洁利用整县推进案例</b>	<b>2</b>
案例 1 山东省阳信县生物质能清洁利用	2
<b>第二章 热电联产典型案例</b>	<b>8</b>
<b>（一）农林生物质热电联产典型案例</b>	<b>8</b>
案例 2 天壕新能源股份有限公司封丘热电联产项目	8
案例 3 光大生物热电（六安）有限公司叶集热电联产项目	10
案例 4 中节能（烟台）生物质热电有限公司栖霞热电联产项目	12
案例 5 大城琦泉生物质发电有限公司热电联产项目	14
案例 6 国能吴桥生物质发电有限公司热电联产项目	18
<b>（二）垃圾焚烧热电联产典型案例</b>	<b>20</b>
案例 7 绿色动力环保热电有限公司常州垃圾焚烧热电联产项目	20
<b>第三章 生物质成型燃料 + 生物质锅炉供暖典型案例</b>	<b>23</b>
案例 8 黑龙江省哈尔滨市双城区生物质锅炉供暖项目	23
案例 9 武汉光谷蓝焰新能源股份有限公司工业园区生物质锅炉供热项目	25
<b>第四章 生物质成型燃料 + 户用锅炉分散式供暖典型案例</b>	<b>29</b>
案例 10 山西省大同市生物质户用炉具清洁取暖项目	29
案例 11 山东省高青县生物质炊事采暖炉取暖项目	30
<b>第五章 秸秆打捆直燃锅炉集中供暖典型案例</b>	<b>33</b>
案例 12 黑龙江省海伦市海北村（镇）秸秆直燃集中供热项目	33
<b>第六章 生物质热解气化供热典型案例</b>	<b>36</b>
案例 13 安徽昌信生物质能源有限公司天享生物质热解气化供热项目	36

案例 14 北京乡电有限公司阳城秸秆气化发电余热供暖项目 .....	41
案例 15 浙江丽水生物质气化替代天然气（煤）供热项目 .....	45
案例 16 吉林榆树生物质气化替代天然气（煤）供热项目 .....	48
案例 17 云南西双版纳生物质气化替代天然气（煤）供热项目 .....	51
<b>第七章 生物天然气典型案例 .....</b>	<b>54</b>
案例 18 广西神州环保产业控股集团有限公司海南（澄迈）生物天然气项目 .....	54
案例 19 中电建生态环境集团有限公司河南兰考仪封生物天然气项目 .....	61
案例 20 三河市盈盛生物能源科技股份有限公司规模化生物天然气项目 .....	65
案例 21 乳山国润中恒能环境治理有限公司生物天然气项目 .....	68
案例 22 山西华新生物质能源开发有限公司生物天然气项目 .....	70
案例 23 黑龙江博能生态环保股份有限公司林甸县生物天然气项目 .....	71

## 前 言

我国是人口和农业大国，各类生物质资源丰富，每年产生的有机废弃物超过 35 亿吨，这为我国生物质能清洁利用奠定了良好的基础。经过十余年发展，生物质能产业形成了各类利用模式。在发电领域，生物质发电装机容量已连续四年位列世界第一；生物质非电利用行业朝着多元化方向发展，生物质清洁供热、生物天然气、生物液体燃料也取得重大成就。其中，在生物质清洁供热方面已形成生物质热电联产、生物质锅炉集中供热、生物质户用炉具等互补的供热模式；在生物天然气方面，规模化生物天然气工程正常运行项目 30 余个，生物天然气年产量已达到 3 亿立方米。在生物液体燃料方面，我国生物液体燃料年产量约 550 万吨。

本案例汇编基于中国产业发展促进会生物质能产业分会长期以来对于生物质能清洁利用模式的长期跟踪，重点通过现场走访、调研等方式，开展分地区分技术分环节的实地调研，从技术路径、企业运营、地方政府支持政策、资金支持机制等角度，总结分析了当前面临的技术和政策难题，以及相关成功经验。按照行业代表性进行划分，汇总出可推广的优秀示范案例。国家主管部门可参照项目案例及总结的经验进行因地制宜的推广。各地政府可结合各地资源禀赋，选择合适的发展模式，优先就地、就近消纳，减少能源输送距离和转化环节，提高农村能源资源综合利用效率，推动农村能源转型。

本报告成果对于农村地区能源绿色转型发展，构建现代能源体系具有重要作用，对巩固拓展脱贫攻坚成果、促进乡村振兴，实现碳达峰、碳中和目标和农业农村现代化具有重要意义。

# 第一章 生物质能清洁利用整县推进案例

生物质能清洁利用现已形成以县域为单位、产业推进、辐射农村的新格局。一些地方的市县（区）政府积极探索，勇于实践，充分结合本地资源禀赋、气候特点、发展水平、居民用能习惯及房屋保温状况等，将生物质能清洁利用与发展地方经济、改善农村人居环境、解决劳动就业等相结合，综合考量，科学规划，探索建成了一些符合县域实际情况的试点示范，形成具有示范推广效应的技术应用模式与案例。现选取山东省阳信县生物质能清洁利用项目进行详细介绍。

## 案例 1 山东省阳信县生物质能清洁利用

### 一、项目概况

阳信县位于山东省北部，县域面积 793 平方公里，辖 2 个街道办事处、7 个镇、1 个乡、854 个行政村，居民达 11 多万户。

阳信县是闻名的中国鸭梨之乡、全国畜牧百强县、全国农业（肉牛）标准化示范县、中国古典家具文化产业基地。梨树枝条、农作物秸秆、畜禽粪便等生物质原料比较丰富，具备发展生物质清洁利用的资源条件。2017 年冬季以来，阳信县立足自身优势，积极探索实施生物质清洁取暖改造试点，探索出适合农村地区清洁取暖的三种模式。同时，中广核生物天然气和光大垃圾焚烧发电等一批生态循环项目相继落地，阳信县初步成为北方地区清洁取暖、畜禽粪污资源化利用的先行者和示范者。

### 二、资源背景

目前全县农作物秸秆产生量约 64.94 万吨，可收集量约 54.73 万吨，秸秆资源化利用率达 95.60%（约 52.32 万吨）。果木、锯末、树根等林业剩余物资源量约 25.50 万吨，畜禽粪污产生量为 52.13 万吨，全县垃圾清运量 9.67 万吨。综上所述，农林废弃物、畜禽粪污、生活垃圾等生物质资源量约 142.03 万吨。

### 三、技术路径

#### （一）生物质清洁供暖

##### 1、生物质热电联产区域集中供暖

生物质热电联产集中供暖模式主要依托山东阳信县金缘生态科技集团有限公司热电联产清洁供热项目。金缘集团主要以玉米芯等农作物秸秆为原料，通过提取农作物秸秆中的半纤维素生产糠醛、木糖，把生产后的废渣作为锅炉燃料生产高压蒸汽发电，同时利用余热为周边农村供暖，实现生物质资源的综合利用。

该项目现有规模为一炉一机（75t/h 次高压锅炉 +12MW 抽凝机），现年发电量 7200 万 kwh，对外供热蒸汽 227500 吨，供暖面积 51200 平方米；秸秆生物质能热电联产项目年产糠醛 15000 吨，每年产出的废渣可以为山东阳信县金缘生物热电有限公司提供生物质燃料 20 万吨。同时，禾怡园现代农业项目通过金缘集团集中清洁供热实现蔬菜大棚冬季生产。

## 2、生物质锅炉区域集中供暖

对于中小学校、卫生所等公共建筑和村庄规划较规范、经济条件较好、村班子及群众基础好的村庄，积极推广生物质成型燃料锅炉供暖。2019 年，阳信县从奥地利引进国际先进的 KWB 生物质锅炉供暖系统，该生物质锅炉供暖系统主要由锅炉、进料系统、远程控制系统、缓冲罐、烟囱、泵、管道和阀门等组成。根据当地冬季取暖热指标  $60\text{W}/\text{m}^2$  计算，选用 3 台 120KW 的生物质全自动热水锅炉并联运行作为学校供暖。

该项目可年用农林业废弃物 95 吨，相当于节约标煤 55 吨 / 年。与燃煤锅炉相比，锅炉热效率高达 94%，烟气中颗粒物排放明显低于《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）规定的新建燃煤炉排放限制。



奥地利 KWB 生物质供热锅炉

## 3、生物质户专用炉具供暖

在人口居住分散、不宜铺设燃气管网的农村地区，探索推广“生物质成型燃料 + 户用专用炉具”模式。2017 年，阳信县投资 700 万元建成利民生物质能技术有限公司，承担颗粒燃料生产供应、专用炉具引进等前期工作。截止到 2022 年底，已推广安装户用生物质成型燃料专用炉具 10.34 万户。

CWSN-S8-100 生物质水暖炉采用锥形炉膛保温气化燃烧原理设计，使生物质颗粒在炉膛内，通过炉膛底部设置的小型鼓风机的一次配风在半缺氧状态下，气化产生大量的 CO 可燃气体与预



热（二次配风从炉膛底部沿着炉膛外壁预热后进入配风器，更有利于气化燃烧）后的空气充分混合后燃烧，使燃烧更充分和彻底，以达到环保和节能的效果。采用高位绞龙落料方式，以防止回火。同时，从炉口上部落料，还可使落料更精准，更有利于燃烧。

为增加水暖炉的有效换热面积，提高水暖炉的热效率，除炉体、炉口、炉盘通体是换热水套外，特在炉口上部燃烧室高温部位，增加了环形换热水套，以减少炉火的热量的流逝和浪费，显著提高热效。

生物质颗粒采用炉膛旋转配风高温气化，再与配风器热配风混合进一步气化燃烧后，可以达到良好的节能和环保效果。大气污染物排放均优于或达到国家能源局颁布的最新行业标准。

### 3、生物质户专用炉具供暖

在人口居住分散、不宜铺设燃气管网的农村地区，探索推广“生物质成型燃料+户用专用炉具”模式。2017年，阳信县投资700万元建成利民生物质能技术有限公司，承担颗粒燃料生产供应、专用炉具引进等前期工作。截止到2022年底，已推广安装户用生物质成型燃料专用炉具10.34万户。

CWSN-S8-100 生物质水暖炉采用锥形炉膛保温气化燃烧原理设计，使生物质颗粒在炉膛内，通过炉膛底部设置的小型鼓风机的一次配风在半缺氧状态下，气化产生大量的CO可燃气体系与预热（二次配风从炉膛底部沿着炉膛外壁预热后进入配风器，更有利于气化燃烧）后的空气充分混合后燃烧，使燃烧更充分和彻底，以达到环保和节能的效果。采用高位绞龙落料方式，以防止回火。同时，从炉口上部落料，还可使落料更精准，更有利于燃烧。

为增加水暖炉的有效换热面积，提高水暖炉的热效率，除炉体、炉口、炉盘通体是换热水套外，特在炉口上部燃烧室高温部位，增加了环形换热水套，以减少炉火的热量的流逝和浪费，显著提高热效。

生物质颗粒采用炉膛旋转配风高温气化，再与配风器热配风混合进一步气化燃烧后，可以达到良好的节能和环保效果。大气污染物排放均优于或达到国家能源局颁布的最新行业标准。



应用场景

目前，1 台供暖面积 100m<sup>2</sup> 的生物质颗粒水暖炉，一个采暖季约需 1.8 吨左右的生物质颗粒，按市场价 700 元 / 吨计算，购买生物质颗粒费用约 1260 元。采用生物质水暖炉取暖，相较于煤改气、煤改电一次投资成本较低，可以减轻政府补贴压力和农民投资负担；运行费用比煤改气节省约 52%，比煤改电节省约 51%，且炉具兼具炊事功能符合老百姓生火做饭的生活习惯。

## （二）生物天然气

中广核生物天然气项目属于中广核阳信生物能源科技有限公司，位于山东省滨州市阳信县流坡坞镇西部循环经济产业园。公司占地 80 亩，建设有预处理工房、厌氧发酵罐 3 座、双膜储气柜 1 座、脱硫净化系统 1 套、沼气提纯系统 1 套及年产 4.95 万吨生物有机肥的生产线及相关配套设施。

该项目以牛粪和秸秆为原料，采用成熟的“预处理 + CSTR 高浓度厌氧处理 + 沼气提纯制生物天然气 + 沼渣深加工制有机肥”为核心的处理工艺模式，生产生物有机肥和天然气，实现资源的综合利用。每年提供优质有机肥 4.95 万吨、优质沼液肥 20 万吨，为当地天然气管网每年输入 300 万立方米生物天然气。其中，有机肥和沼液肥可直接还田用于周边生态农业特色农产品种植，形成绿色循环的生态产业链。



中广核生物天然气项目

## （三）垃圾焚烧发电

阳信县生活垃圾焚烧发电项目是山东省新旧动能转换优选项目、阳信县重点民生市政基础设施。该项目建设规模为日处理生活垃圾 500 吨，配置一套 10MW 汽轮组 + 一套 12MW 发电机组。由中国光大环境（集团）有限公司的全资子公司—阳信光大环保能源有限公司负责项目的投资、建设、经营。

项目采用 BOT 特许经营模式，特许经营权 30 年，占地约 79 亩，总投资 3.57 亿元，其中外资 1.19 亿元。年处理生活垃圾 18.25 万吨，年发电 6473 万度。项目烟气排放执行欧盟 2010 标准。

飞灰经稳定化处理送至填埋场安全填埋。炉渣经综合处理制成混凝土砖块，用于道路修建。全厂生产废水进行处理后全部回用，实现污水的“零排放”。



阳信光大环保垃圾焚烧发电项目

#### 四、商业运营模式

以乡镇为单位，建设区域性生物质原料收集加工中心，配备成型燃料加工设备，增强燃料供给保障能力，构建燃料物流体系。

#### 五、效益分析

##### 1、经济效益

就用户而言，按当前补贴政策，生物质清洁取暖较煤改气、煤改电，改造成本分别低 38%、3.2%，分别节省 5140 元、280 元，使用成本分别低 52%、51%，分别节省 2140 元、2080 元。就企业而言，按阳信现有每年产生的秸秆、牛粪、树枝、锯末测算，年可生产颗粒燃料 100 万吨，按每吨均价 1200 元测算，仅颗粒生产产值就可达 12 亿元。目前，不管取暖季还是非取暖季，生物质燃料市场均供不应求。

##### 2、环境效益

经专业机构检测，阳信生产的木质颗粒燃料燃烧后，颗粒物浓度在 20-45 毫克 / 立方米之间，氮氧化物浓度在 169-200 毫克 / 立方米左右，林格曼黑度小一级，SO<sub>2</sub> 检测不出。生态环境部门提供的数据显示，阳信县 2017-2022 年连续四年空气质量实现大幅改善。2022 年，PM2.5 均值由 2017 年的 70 微克 / 立方米，下降到 38 微克 / 立方米。

##### 3、社会效益

四年以来，参加试点的农户普遍反映，改用生物质清洁取暖符合农村传统生活习惯，不仅可以像以前一样烧水做饭，室内平均温度也能保持在 20 摄氏度左右，而且操作简便，比用气、用电安



全系数更高。

## 六、可推广的经验

一是构建体系、变废为宝。通过组建区域农林废弃物回收利用服务中心，配备专业打包、破碎、运输设备，提升收集效率，合理规划和布局燃料生产线，让农民在田间地头就能实现生物质燃料加工。同时，合理配置颗粒燃料生产中心，提升集中制粒能力，确保燃料充足供应。

二是补贴引导、产业带动。对于分散式取暖模式，每户炉具最多补贴2000元。对于集中供暖方式，村内锅炉购置和锅炉房及供暖管网建设每户一次性补贴5000元，暖气片每组最多补贴1000元。燃料每吨补贴600元，每户每年最多补贴1200元。对困难群众，在此基础上再增加每吨300元的运行补贴，每户每年最多补贴600元。建成国有企业利民生物质能技术有限公司，承担颗粒燃料的生产供应、炉具引进等前期工作。2019年，引进央企中广核建设农村可再生资源综合开发利用项目。积极与国内顶尖生物质炉具、锅炉等企业合作，在本地制造炉具和锅炉，降低运输和使用成本。

## 七、存在的问题

一是排放标准不规范。目前对于生物质燃料、炉具和锅炉，国家尚未制定统一规范的排放标准。建议加强对生物质能供暖排放的技术指导，尽快研究出台明确的排放标准，为生物质能取暖大范围推广提供依据。

二是政策支持不完善。生物质能开发利用涉及原料收集、加工转化、能源产品消费、伴生品处理等诸多环节，政策分散，难以形成合力。尚未建立生物质能产品优先利用机制，缺乏对生物质成型燃料的终端补贴政策支持。

三是农宅保温效果差。农村居民住宅墙体基本没有保温措施，且门窗密封性差，导致取暖过程中热量损耗较大，不利于节约能源和降低供暖成本。

## 第二章 热电联产典型案例

生物质能清洁利用可以通过多种模式满足不同情景下的用能需求。热电联产是指发电厂生产电能的同时，又利用汽轮机做过功的蒸汽对用户供热的生产方式，即同时生产电、热能的工艺过程。由于生物质热电联产发电量和供热量较高，可为当地工业园区直接供电、供热或者发电上网，可为县城大规模居住区集中供暖，同时还可以通过移动储热运输车进行远距离供热。

### （一）农林生物质热电联产典型案例

#### 案例 2 天壕新能源股份有限公司封丘热电联产项目

##### 一、项目概况

天壕新能源封丘项目位于河南省新乡市封丘县产业集聚区，项目于 2019 年建成投运，自入住园区以来，天壕新能源封丘项目累计供应清洁电力 6.3 亿千瓦时，处理各类农林废弃物超过 100 万吨，为当地工业园区提供热力约 50 万蒸吨，累计替代燃料小锅炉 14 台。随着天壕新能源的入驻，稳定高效的优质热力供应为当地招商引资提供了坚实的基础设施保障。封丘项目投运三年多来，项目累计实现二氧化碳减排超过 30 万吨。



厂区一角

##### 二、技术路径

该项目以秸秆、树皮等农林废弃物为原料，经过预处理和输送系统，送入循环流化床锅炉进行燃烧。锅炉产生的高温高压蒸汽驱动汽轮机发电，并通过凝汽器回收水循环利用。发电后的低压蒸汽通过换热器向周边用户提供供暖或供热服务。锅炉排放的废气经过除尘、脱硫、脱硝等环保设施处理后达标排放。目前建有 1×30MW 抽凝式汽轮发电机组+2×130t/h 高温高压循环流化床锅炉，锅炉排放的废气经过除尘、脱硫、脱硝等环保设施处理后达标排放。

在烟尘控制上，采用双旋风除尘+脉冲袋式除尘，70%的粗颗粒灰尘通过双旋风除尘搜集后输

送至专用储灰库，烟气中剩余 30% 的细颗粒灰尘通过袋式除尘器再次过滤后排入大气，袋式除尘器在设计上加大过滤面积，降低过滤风速，净过滤风速不超过 0.70m/s，同时配备低阻力高性能除尘滤袋，除尘效率可达 90% 以上，使烟尘排放指标始终控制在 2mg/Nm<sup>3</sup> 以下。

脱硫上采用最为常见的炉内喷钙法，成功把 SO<sub>2</sub> 控制在 30mg/Nm<sup>3</sup> 以内。石灰石粉进入炉膛受热分解成氧化钙和二氧化碳， $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ，氧化钙和二氧化硫反应生成硫酸钙， $\text{CaO} + \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$ ，脱硫渣为中性固态物，无二次污染。

脱硝设备采用 SNCR+SCR 联合脱硝技术，此方式根源于燃煤锅炉脱硝，反应剂仅使用氨水，基本原理用氨 (NH<sub>3</sub>) 与氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 产生氧化还原反应，生成洁净气体氮气 (N<sub>2</sub>) 和水 (H<sub>2</sub>O)；并能降低反应的活化能，降低反应温度，提高反应效率，使用化学反应中常用的催化剂作为反应载体，使反应温度降低到了 280-420℃，同时将反应效率提升到了 80% 以上，使 NO<sub>x</sub> 排放始终低于 50 mg/Nm<sup>3</sup>。

### 三、经济性描述

该项目前期投入包括除尘系统 1440 万、脱硫系统 120 万、脱销系统 1300 万，运行费用 56 万 / 年，后期设备维护费用 110 万 / 年。

### 四、商业运营模式

以农林废弃物为原料，建设生物质热电联产项目，实现清洁发电、供热、供暖；与当地政府签订长期的热源合同，保障供热收入；享受国家和地方的可再生能源补贴政策，提高发电收益；利用自有物流网络，降低原料运输成本。

### 五、效益分析

项目年发电量约为 2.1 亿千瓦时，享受国家和地方的可再生能源补贴政策，与当地政府签订长期的热源合同，每年可为当地居民提供清洁供暖。每年燃用农林废弃物约 30 万吨，可为当地农民带来直接收益 9000 多万元 / 年，带动我县从业人员 200 人，每年可节约标准煤 10 万吨，减少二氧化碳排放 24.93 万吨。

### 六、可借鉴的经验

要基于项目当地燃料品类，根据具体燃烧工况选择合适的设备和催化剂，针对烟道结构，要对喷氨系统、混合装置、SCR 催化剂用量和布置形式进行了优化，同时尽量保持入炉燃料均衡。

## 案例 3 光大生物热电（六安）有限公司叶集热电联产项目

### 一、项目概况

光大生物热电（六安）有限公司“叶集 30MW 生物质热电”项目是中国光大国际有限公司在安徽省投资建设的首批生物质热电联产项目，隶属中国光大绿色环保统筹管理。主要利用农作物秸秆、林业废弃物和板材加工废弃物等生物质发电、供热，目前已实现向叶集工业园区正常供热。

项目厂址位于安徽省六安市叶集经济开发区红枫路与映山红路交叉口，占地面积 200 亩。一期项目总投资 3.517 亿元人民币，年处理生物质能力 30 万吨，年可向电网提供绿色能源约 2.2 亿度，年可向当地提供供热量约  $115.7 \times 10^4$  吉焦。

基于一期项目正常运营且成效显著，当地政府邀请上马二期热电联产项目，并已签署投资协议，二期项目总投资 1.86 亿元，目前各项工作稳步推进。



项目整体鸟瞰图

### 二、资源背景

叶集试验区内有 3 个乡镇，农作物播种面积 32.36 万亩。其中水稻种植面积 14.60 万亩，秸秆资源产生量约 2.19 万吨 / 年，稻壳产生量约 1.17 万吨 / 年；油菜种植面积 3.83 万亩，秸秆资源产生量约 0.50 万吨 / 年；小麦种植面积 2.05 万亩，秸秆资源产生量约 0.25 万吨 / 年；叶集项目试验区主要秸秆资源总量约为 4.10 万吨 / 年。

叶集区林地面积 7.92 万亩，可采伐量 4.5 万立方米，年采伐量 0.9 万立方米，每年可产生枝桠材等约 0.2 万吨。

叶集区为中国板材加工基地之一，树皮产量约为 26.56 万吨 / 年，杂杉木边角料年产量约为 15.21 万吨 / 年，木渣头年产量约为 13.68 万吨 / 年，锯末年产量约为 5.51 万吨 / 年，模板边角料年产量约为 5.8 万吨 / 年，4cm 以下的枝丫柴产量约为 10 万吨 / 年（估计数量，有一定误差）；叶集区主要林业废弃物资源产量约为 75 万吨 / 年。



本项目收集范围内生物质资源量特别丰富，具有年产约 80 万吨生物质资源，在资源上显示出得天独厚的优势。

### 三、技术路径

生物质燃料进入地磅称重后进入料场，根据燃料品种、水份、热值对燃料进行分流，一是进入干料棚直接进行掺配使用，二是进入料场进行堆垛存储。燃料掺配工作全部在干料棚内进行，掺配好的燃料通过铲车上入料口，燃料进入料口通过棍式给料机旋转将燃料落入运输皮带上，运输皮带再将生物质燃料送入料仓，生物质燃料落入料仓后再通过给料系统将生物质燃料送入炉膛内燃烧。

燃烧产生的高温烟气通过锅炉水冷壁、过热器、省煤器等热量交换装置将水转化为高温高压蒸汽，蒸汽推动汽轮机连续运转，将热能转换成机械能，汽轮机同步带动发电机将机械能转化为电能，完成能量转换的过程，绿色电能输送至国家电网；产生的热蒸汽经过调温调压后，通过 10 多公里长的保温管道被输送到叶集区绿色板材工业园，服务于热用户企业。本项目一期的供热（汽）服务已经取代了板材园 35 台燃煤小锅炉及排放不达标的生物质小锅炉，为当地环境保护起到至关重要的作用。



生产工艺流程图

### 四、商业运营模式

光大生物热电（六安）有限公司叶集 30MW 生物质热电联产项目以 BOO（建设 - 运营 - 拥有）模式投资建设，项目经营期为 30 年。叶集项目二期建成后，将与目前建成投运的叶集项目一期共享部分公用设施，形成协同作用，为更好地服务当地重点产业提供了强有力的支撑。

### 五、经济性分析

光大生物热电（六安）有限公司一期项目投资 3.517 亿人民币，二期项目投资 1.86 亿人民币，

经过机械工业第一设计研究院可行性研究分析，财务内部收益率、投资利润率、投资回收期、借款偿还期等指标在同行业中均属较好范围，具有一定的经济效益。

## 六、可借鉴的经验

引导热用户“错峰用汽”，利用价格杠杆鼓励夜间用汽，降低管损。二期项目在机组选型上做文章，采用背压机组，以热定电。

## 七、项目适用推广范围

开发民用供热市场，向小区用热（地暖供热、蒸汽能冷热联供）方向发展，扩大推广使用范围。

## 案例 4 中节能（烟台）生物质热电有限公司栖霞热电联产项目

### 一、项目概况

中节能（烟台）生物质热电有限公司由中国环境保护集团有限公司投资建设，是烟台市首家、栖霞市城区唯一一家生物质能源集中供热、热电联产企业。公司位于栖霞市城区西北，占地面积 156 亩。建设规模为 3×75t/h 次高温次高压生物质直燃锅炉，配 2×15MW 抽凝式汽轮发电机组，配套建设城区供热管网和换热站。设计年发电量 1.8 亿千瓦时，供热面积 240 万 m<sup>2</sup>。项目全部利用农林废弃物直燃发电，年可利用栖霞及周边地区果木枝条、农作物秸秆、木材加工剩余料等生物质燃料 25 万余吨。

### 二、资源背景

本项目所在地栖霞市隶属于山东省烟台市，位于胶东半岛腹地，平均海拔高度 178 米，素有“胶东屋脊”之称，是烟台市及周边县市重要的水源地，源于栖霞市的水量占烟台市区全部用水量的 80% 以上。独特的地理位置决定了栖霞只能走绿色生态发展之路。

栖霞市距烟台市 50 公里，距青岛市 150 公里，这个范围内是胶东半岛传统的农业区，农村普遍种植苹果、樱桃、梨、花生等经济作物和玉米、小麦等农作物。栖霞市素有“苹果之都”之称，当地种植果园约 60 万亩，加上周边县市共有苹果、樱桃、梨等果园 100 余万亩，每年修剪的果木枝条可利用资源量超过 10 万吨。栖霞周边区域有大量的花生壳、玉米秸秆、小麦秸秆和木材加工剩余料可以作为生物质资源利用，基本可以满足本项目的生物质燃料使用。

### 三、技术路径

项目主要设备为 3×75t/h 次高温次高压循环流化床生物质直燃锅炉，配 2×15MW 抽凝式汽轮发电机组，配套城区供热管网和换热站。供暖采用低真空供热技术，在供热工况下，将汽轮机发电后的排汽余热作为居民采暖热源。低真空供热系统中，根据机组参数及外部供热面积等数据配置

密闭式热网循环系统代替汽轮机冷水塔开式循环系统(两系统可以互相切换),汽轮机凝汽器即为汽-水换热器,将汽轮机排汽热量传递与供热循环水送至热用户,达到供热目的。同时,可以完全避免凝汽式汽轮机排汽冷源损失,使热量得到充分利用,达到节约能源的目的。



中节能(烟台)生物质热电项目



中节能(烟台)生物质热电项目厂区一隅

#### 四、商业运营模式

本项目无工业蒸汽热负荷用户及蒸汽采暖用户,冬季供暖采用汽机低真空运行方式,利用机组排汽余热作为热源将供暖循环水加热后直接送至千家万户。供热不设中间转供环节(企业),栖霞公司内部设置供热部,代表公司开展对外供热服务业务。

#### 五、经济性分析

该项目单位投资 917 万元 /MW, 固定成本 314 元 /MW/ 年, 变动成本 767 元 /MW/ 年, 燃料价格 332 元 /吨, 建成后年销售收入 1.69 亿(其中电收入 0.99 亿, 热收入 0.52 亿, 配套费收入 0.18

亿)，资本利润率 6.2%。（注：以上均为 2018 年数据）

## 六、存在的问题

1、燃料来源保障问题：充足的燃料供应是生物质热电联产项目存在前提，农业生产以农户为主，户均占有耕地面积小，生物质资源分散且季节性强，目前收集主要靠人工和小型机械，收储运效率低，生物质燃料的收储只能就地取材，燃料收储半径有限，燃料来源无法稳定保障。

2、燃料价格问题：一方面生物质发电项目的立项较多，在有限地域范围内存在多家相同项目，而燃料资源量基本稳定，相邻的同行业之间燃料收储易形成恶性竞争，抬高收购价格；另一方面农民为了获利，囤积惜售、抬高价格、甚至掺水掺土增加重量，导致燃料收集困难、质量不佳，运营成本急剧上升。

3、电价补贴滞后问题：虽然国家对于生物质发电出台了相关支持政策，但政策兑现滞后，国家财政补贴结算时间和金额都存在很大的不确定性，企业无法在当期实现资金回流，而收购燃料需要支付现金，导致企业资金链紧张，财务费用居高不下。

## 七、可借鉴的经验

1、本项目在采暖期采用汽轮机低真空运行方式，利用汽轮机乏汽热量实现对城区居民的集中供热，最大限度的提高了能源利用效率。供暖季全厂热效率可达到 80%。

2、本项目供热采取直供到户方式，与热用户之间无其他中间环节，管理方便，技术参数可控，提高了经济效益。

## 案例 5 大城琦泉生物质发电有限公司热电联产项目

### 一、项目概况

大城琦泉生物质发电有限公司是山东琦泉集团下属的第五个生物质热电联产项目，位于河北省廊坊市大城县，装机容量 2×30MW，以秸秆等农林废弃物为原料，提供绿色电力，余热清洁供暖，园区供汽，剩余底渣制作污水净化砖，灰做土壤改良剂，坚持负责任的消费和生产，构建吃干榨净、零排放的生物质能循环产业链，年消耗农林废弃物 56 万吨，替代标煤 18 万吨，减少秸秆无序焚烧、减少二氧化碳排放 34.8 万吨，积极响应气候行动，构筑可持续城市和社区；为大城县提供廉价和清洁能源：绿色电力 4 亿千瓦时，清洁供热 50 万吉焦，供热面积可达 322 万 m<sup>2</sup>，结束了大城立县无集中供暖的历史。

### 二、资源背景

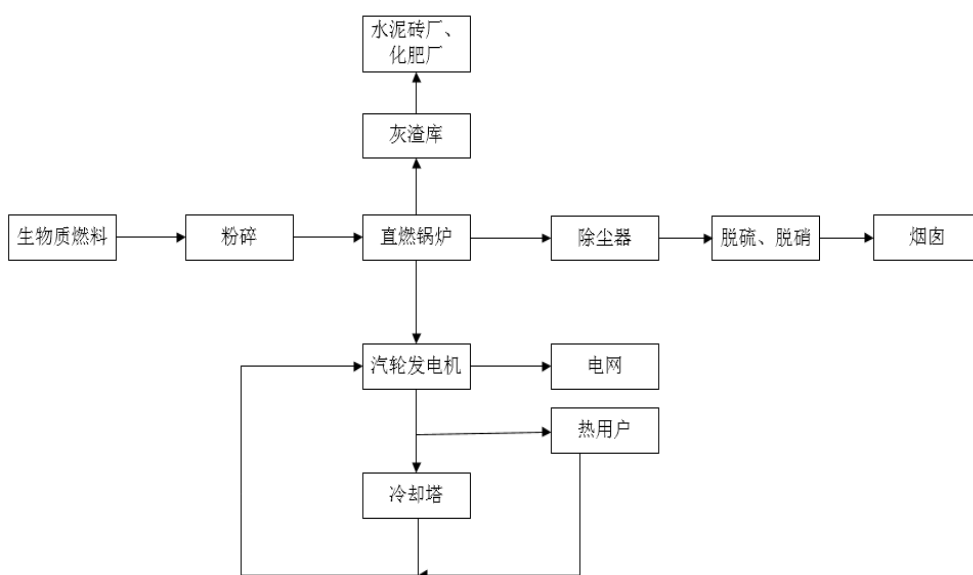
大城县全县耕地面积为 81 万亩，人口大约 46.2 万人。棉花种植面积 4.57 万亩，秸秆总产为 1.83



万吨。小麦种植面积 6.33 万亩，总产 0.63 万吨，玉米种植面积 67 万亩，总产 30.15 万吨。大豆 1.5 万亩，秸秆总量 0.27 万吨。其全县总秸秆量 32.88 万吨。根据资料，能用于发电的夏季农作物秸秆为小麦秸秆等，能用于发电的秋季农作物秸秆为玉米秸秆、大豆类秸秆，能用于发电的林木生物质主要是树枝修剪的树皮枝桠及林木废弃物。

### 三、技术路径

1、技术方案：将生物质燃料烘干粉碎后，按精准掺烧配比送入锅炉直燃发电，采用循环水余热供暖，将汽轮机排汽余热充分利用，效率可达 90%。供暖水泵采用变频技术，根据供水压力、流量及时调整。供回水温度 53/43（℃）、流量 3000（m<sup>3</sup>/h），最大流量 7000（m<sup>3</sup>/h）。采用热力网技术，选用水为供热介质。由汽轮机做功后蒸汽，进入换热站，为供暖水提供热量，经一次管网将热量送至县城，经二次管网进入用户。实现发电后蒸汽的余热供暖。



技术路线图

2、管网走向：一次水管网从发电厂出线后，沿深圳大街向东，到安庆屯干渠后，沿干渠西侧向南敷设，一直敷设至和平街和正大街之间。一次水管径  $\Phi 1020 \times 12$ ，主要以直埋敷设为主，过河采用架空方式过河，穿越主要干道采用直埋方式。管网开挖距离 10279 米。二次水管网沿安庆屯干渠西侧向南敷设，穿廊泊路后，沿安庆屯干渠西侧继续向南，到南环路，再沿南环路向西，一直敷设到育才路。主管网  $\Phi 1020 \times 12$ ，并根据负荷变化，依次缩小管径。分支管网主要布置在永定大街、滨河路、新华东路、南环路。二级管网的主干线，管网开挖总距离为 27577 米。

3、管网敷设方式：以节约投资为原则，考虑技术上的可行性，主要采用直埋敷设。过河采用架空方式，穿越城市主要道路采用顶管方式。在不影响市容市貌的情况下，部分也可采用低架空敷

设方式。管道设计使预制保温管道及管件满足强度验算和稳定性验算条件。井室类型: 井室有截断井、支线井、放风井和泄水井。

4、管道防腐: 采用聚氨酯预制直埋保温管, 保温材料为聚氨酯泡沫塑料, 外护层用高密度聚乙烯套管。热力站内的架空热水管道的防腐为外涂防锈漆, 玻璃棉管壳保温, 外保护层为 0.5 毫米热镀锌彩涂卷。

#### 四、经济性分析

该工程项目总投资为 17698 万元, 单位供热面积建设费用 89.34 元 /m<sup>2</sup>, 单位供热面积运行费用 21 元 / 吉焦 (热计量), 单位取暖费成本 20.35 元 /m<sup>2</sup> 使用面积。目前项目每年供热持续约 120 天, 平均室温达到 21-23℃, 供热规模为 177 万平米, 其中居住供热面积为 124 万平米, 收费价格为 19.5 元 / 平米; 商业供热面积为 53 万平米, 收费价格为 32 元 / 平米。由于该项目为 PPP 投资项目, 因此目前项目保持微利营运。

#### 五、商业运营模式

1、项目采用 PPP 模式建设热水管网及换热站。

2、利用秸秆等农林废弃物进行燃用产生绿色电力, 所产生的电力除满足企业自身消耗外, 通过电网线路供给冀北电网, 获得电费收入。

3、利用工业循环水余热实施清洁集中供暖, 通过优惠的供暖价格, 每年供暖季收取热用户相应取暖费。

4、生物质原料燃烧后的底渣, 用于制作污水净化砖, 灰用于制作土壤改良剂。

5、为园区周边企业供暖、提供蒸汽, 获得相应收入。

#### 六、效益分析

经济效益: 年提供绿色电力近 4 亿千瓦时, 供热量 50 万吉焦, 年实现销售收入 3 亿元, 年纳税 2000 万元, 提高了大城县 GDP。

社会效益: 创造就业岗位 200 余个; 每年支付给农民的燃料收购款约 1.2 亿元, 帮助 1 万户农民家庭脱贫致富; 清洁集中供暖有效解决了大城县“气荒”的紧张局面, 使居民享受到优质的公共资源和服务, 完善民生保障体系。

环境效益: 年燃用秸秆 56 万吨, 清洁供热 110 万平方米, 取代小锅炉房 17 座, 替代标煤 24 万吨, 减少二氧化硫 1340 吨, 减少二氧化碳 34.8 万吨, 大大减少了农业秸秆的就地焚烧现象, 也是资源综合利用、雾霾防治的必要手段。

## 七、适用范围

适用于中国北方地区生物质资源较为丰富的地区，人口集中居住，无集中供暖或以燃气供暖但用气紧张的地区。

## 八、可借鉴的经验

1、精准扶贫模式，在秸秆等农林废弃物资源丰富的地区，通过对资源的有效利用，和政企联合产业扶贫模式，合理化的市场运作，有效使农民增收，带动贫困户走上一条可持续发展的脱贫致富之路。

2、在生物质资源较为丰富、经济相对落后的地区建设生物质热电联产项目，不仅有效带动了当地经济的发展，增加了农民收入，对加快社会主义新农村建设，推动建设资源节约型、环境友好型社会做出了巨大贡献。

3、生物质行业超超低排放技术，烟气实现脱白，对于所有锅炉烟气治理具有示范性。

4、“互联网+”智能燃料收储运体系，打通燃料收储关，有效增加贫困农民就业，降低物流成本，实现双赢。



“互联网+”智能燃料收储运体系

## 案例 6 国能吴桥生物质发电有限公司热电联产项目

### 一、项目概况

国能吴桥生物发电有限公司是国家电网节能服务有限公司旗下的国能生物发电集团公司的子公司。位于河北省沧州市吴桥县经济技术开发区曹洼乡北侧，占地 247 亩。国能吴桥生物发电工程于 2009 年 2 月由河北省发改委核准，2009 年 10 月正式开工建设，2011 年 3 月 1 日正式投产运营。装有一台 130t/h 高温高压生物质锅炉和一台 30MW 纯凝汽轮发电机组，年发电量 2 亿千瓦时。目前该项目年供热量为 65 万吉焦，年消耗林业废弃物和农作物秸秆 30 万。

### 二、资源背景

吴桥地处冀鲁交界交通咽喉，东邻山东宁津县，西接河北衡水景县，南至德州市界 14 公里，北至河北东光县界 12 公里。吴桥县农业基础较好，是全国棉花百强县、国家商品粮基地县。吴桥县及周边县市农林废弃物丰富，在政府和电厂的宣传和帮助下，农民收贮燃料意识较强，燃料经纪人收储系统完善，完全能够满足电厂燃料需求。特别是沧州市政府提出保卫蓝天，治理大气污染计划，拿出重点资金扶持鼓励农业秸秆回收后送往生物质电厂。目前吴桥电厂燃料充足，质量较好。

### 三、技术路径

国能吴桥生物发电公司热电联产项目采用低真空循环水供热方式。在原凝汽器的出口处和入口处接入供热系统的供水管和回水管，循环水经凝汽器加热后，被热网循环水泵升压后注入供水管网。经过热用户放热后回来的冷却水再重新进入凝汽器加热。低真空供热改造后，热用户实际上就成为发电厂的“冷却塔”，利用热网循环水泵替代原循环水泵。同时在热网回凝汽器入口前安装补水泵，根据管网失水情况、回水压力情况及时调整补水。



国能吴桥生物质发电有限公司热电联产项目



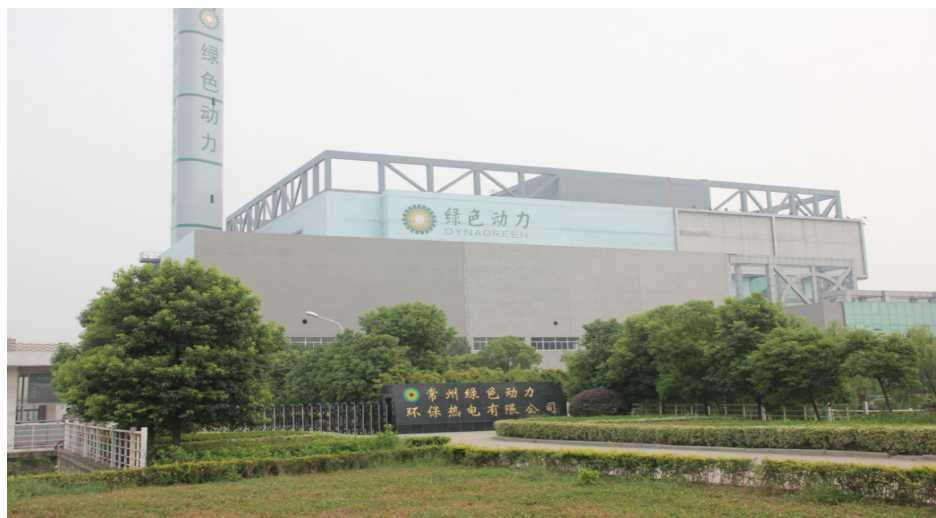


## (二) 垃圾焚烧热电联产典型案例

### 案例 7 绿色动力环保热电有限公司常州垃圾焚烧热电联产项目

#### 一、项目概况

常州绿色动力环保热电有限公司是由绿色动力环保集团股份有限公司以 BOT 模式与常州市武进区政府合作投资兴建的“生活垃圾焚烧发电项目”即“城镇生活垃圾焚烧热电联产项目”。在绿色动力集团公司与常州市武进区政府授权的武进区城市管理局就武进生活垃圾焚烧项目签署的《常州市武进区城市生活垃圾处理特许经营协议》（BOT 协议）中，明确要求项目应具备供热能力。项目地处常州市武进区牛塘镇青云村，一期规模为  $2 \times 350\text{T/D}$  垃圾焚烧炉 +  $1 \times \text{C6(N10)MW}$  抽凝机 +  $1 \times 12\text{MW}$  发电机，二期规模为  $1 \times 350\text{T/D}$  垃圾焚烧炉 +  $1 \times \text{N6MW}$  纯凝机 +  $1 \times 6\text{MW}$  发电机，年发电量约 1 亿千瓦时，年供热量约 9 万吨。



绿色动力常州垃圾焚烧热电联产项目



厂区供热管道



#1 机组抽气出口管道

## 二、技术路径

常州绿色动力环保热电有限公司三台锅炉产生的蒸汽进入 #1 汽轮机做功发电，从 #1 汽轮机一级抽汽口抽出的做了部分功的蒸汽通过供热管道送至常州市牛塘化工厂有限公司。供热管道主管线从常州公司 #1 汽轮机一级抽汽口至常州市牛塘化工厂有限公司厂区，供热管线全长 1900 余米，其中设计地埋管 130 米用于穿过龙江路高架，供热干线管道  $\Phi 325 \times 8$ 。为提高供热的可靠性，在系统上设计有一套减温减压器，用于汽轮机故障或检修时锅炉产生的蒸汽可通过减温减压器送入热网管道。

## 三、主要设备

常州绿色动力环保热电有限公司 #1 汽轮机机组型号为 C6/N10-3.8/0.981，主蒸汽压力 3.8 MPa，主蒸汽温度 395℃，额定进汽量 63 t/h，抽汽压力 0.981MPa，额定抽汽温度 275℃，额定抽汽量 25 t/h。



减温减压器



#1 汽轮机

## 四、经济性分析

常州绿色动力环保热电有限公司 #1 发电机组单位抽汽量换算发电量为 123.36Kwh，电价： $123.36 \times 0.65 = 80.18$  元，供汽成本约 100 元 / 吨。目前单位供热价格在市物价局的指导价格下，综合考虑管道投资成本、管理成本及维护成本因素，并根据各用汽单位用量大小、用汽方式（连续性）进行确定。其中，常州公司最大热用户牛塘化工有限公司在 5-10 月份为 160 元 / 吨，11-4 月份为 165 元 / 吨。其他用户由于用汽量较少，考虑到供热管损增加的情况，供热定价相对较高，约在 200 元 / 吨左右，项目供热收益要高于发电收益。

## 五、商业运营模式

本项目主要是帮助当地政府焚烧处理生活垃圾，收取垃圾处理费，垃圾焚烧产生的蒸汽用于发电上网后收取电费，对外供热收取蒸汽费用。

## 六、效果分析

本项目为热电联产集中供热项目，依托常州绿色动力环保热电有限公司热力技术优势，无动迁工作量，具备了工期短、见效快的特点。项目建成后满足了当地多家工业企业的需要，替代原有的多台小工业锅炉，为企业降低了成本，提高了市场竞争力。同时常州绿色动力环保热电有限公司也从中取得了一定经济效益，实现了企业与热用户共赢。

节能减排效果显著，该项目以城市生活垃圾作为能源，节省了可观的不可再生的宝贵化石能源，每年节约了动力煤 2 万吨左右，天然气约 180 万立方。每年减排二氧化硫约 203 吨，烟尘约 63 吨。

## 七、可借鉴的经验

生物质能清洁供热项目借助电厂的技术优势，运行方式灵活，可根据用户需要调整供热参数，环保控制也优于燃煤电厂，供热由电厂统一管理，不需另外成立管理部门，节约了人力成本。

## 八、项目适用推广范围

生物质能供热绿色低碳、经济环保，是重要的清洁供热方式，为中小型企业提供工业蒸汽，直接在用户侧替代化石能源。绿色低碳是生物质能供热与煤炭、天然气等化石能源的核心区别，生物质能供热主要用于工业企业、中小型工业园区，项目布局灵活，适用范围广。在工业企业、中小型工业园区附近都可建立项目。

## 九、存在的问题

项目热网设计为 24 小时连续供汽，但除常州市牛塘化工厂有限公司以外，其余热用户由于其生产特性无法达到全天 24 小时用汽的要求。目前，热网全天供汽约 200 吨，由于各用户生产情况不同，导致小时供汽量不稳定，每小时最大供汽量 28 吨，最小量接近 0 吨。热用户用汽的不连续性或停止用汽时，供热管网管损将增加。项目原设计只有一段地埋管用于穿过高架道路，但在项目实施时由于管道穿过村庄，个别村民不同意在家门口设置架空管道，只能将部分管道放在地沟作为地埋管，地埋管周围容易积水，导致管网管损增加。另外，常州市牛塘化工厂有限公司近年来由于环保原因，经常减产或停产，导致供热量下降，增加了管网管损，减少了项目收入。



## 第三章 生物质成型燃料 + 生物质锅炉供暖典型案例

生物质成型燃料锅炉集中供热是指把生物质资源（秸秆等）压缩成块状、棒状、颗粒状等成型燃料，并将其与专用锅炉相结合，利用生物质成型燃料在锅炉中的高温裂解气化反应，产生可燃性气体，然后通过管道输送至需要供暖的场所，实现对建筑物的供暖。生物质锅炉集中供热模式主要适用于区域集中供暖，几千平米、几万平米到数十万平米均可，乡镇政府、医院、学校、养老院等村镇公共设施供暖也可使用，另外对于小型工业园区、单个使用工业用热的企业也可使用。

### 案例 8 黑龙江省哈尔滨市双城区生物质锅炉供暖项目

#### 一、项目概况

哈尔滨市双城区位于黑龙江省哈尔滨市西南部，地处松嫩平原腹部，地势呈东高西低，属于中温带大陆性季风气候，冬季严寒少雪。1 月份为最冷月，平均气温 -20℃ 左右。最低气温一般在 -30℃ 以下，最低极端气温出现 -39℃ 严寒。因气候寒冷，供暖期长达 180 天左右。

哈尔滨市双城区是全国产粮大县，耕地面积超过 350 万亩，其中旱田面积超过 300 万亩，主要种植玉米及大豆农作物。生物质颗粒原料资源丰富，供应充足。

2018 年，响应黑龙江省“蓝天保卫战”的环保指令，对全区公共事业单位的 88 台燃煤锅炉进行清洁能源供热的改造。双城区政府通过招标的方式确定由盈春能源公司通过合同能源管理的模式进行供热托管服务：重点工作是将原有 88 台燃煤锅炉设备更换为 88 台生物质颗粒直燃锅炉，并为学校用户 44 个、乡镇政府 14 个、卫生院 14 个、派出所 12 个、其他事业单位 4 个等 88 个事业单位共 19.5 万平方米提供供暖运行服务。

#### 二、技术路径

根据哈尔滨市双城区政府事业单位现设备配置情况，燃煤锅炉改造方案为：更换 88 台生物质颗粒直燃锅炉，以平均 1t/ 台为参考。生物质锅炉直燃技术特点：

1、主燃烧配风：烟气再循环强化解耦气化风机、燃烧和炉床温度控制风机。

2、环保配风：烟气再循环和控制氧含量，配风在气化解耦和靠渣阶段。

3、采用分段分仓配风技术，使风量调节更加精准，在不同的燃烧区段满足风量需求，保证燃料高效稳定燃烧，避免结焦和挂渣；同时在后拱前部设置二次和三次燃尽配风，既能满足快速挥发的挥发份快速燃烧又能使烟气在炉膛内停留时间加长，降低烟气中可燃物含量，提高燃烧效率，消减锅炉一次排放效果。

4、针对颗粒物采用干式陶瓷多管旋风除尘器 + 布袋除尘器组合方式，干式陶瓷多管除尘器首

先除掉烟气中较大灰尘颗粒和火星，然后由布袋除尘器除掉烟气中细小颗粒，使颗粒物排放指标达到环保要求。

5、控制系统：风机、高速减速机、自动控料器、给水泵采用 3 变频控制，使炉膛燃料和风量风压能精确调节，使锅炉工作在最佳工况，并保证输热量与燃烧工况建立可控的自动平衡。

### 三、商业运营模式

采用合同能源管理模式，由双城区政府委托盈春能源公司对项目进行投资、设计、施工、运营、服务，在合同能源管理期限 15 年内，由盈春能源公司派出专业技术团队对其投资的能源系统进行日常运营维护及管理，合同能源管理服务按建筑面积进行计算收费。

为保证燃料的稳定和低成本供应，建设单位成立燃料生产企业，在保证燃料成本和品质的基础上，积极推行农村产业扶贫政策，把原料的存储管理、燃料的晾晒脱水工作、燃料的成型加工等工序，分别承包给农村贫困户以增加其收入。另外，考虑到用能单元单体面积分散而且相对较小，主要为人力成本较高。建设单位开发了互联网远程平台运行技术，极大的提升了安全和运行效率，降低人力成本 70%。

### 四、效益分析

#### 1、经济效益

该项目总投资 3000 万元，建设投资 2500 万元，运营流动资金 500 万元，投资回收期 5.9 年。

#### 2、社会效益

从 2018 年 10 月启动至今运行良好，在运行成本变化不大的条件下，有效地解决了双城区政府事业单位清洁能源供暖的资金问题，并达到了环保要求，为各个事业单位解决了供热管理和服务保障，农村剩余劳动力及城镇下岗职工再就业，为地方财政上缴利税并增加了地方财政收入，双城亦成为哈尔滨地区燃煤改造和蓝天保卫战的示范区。

### 五、可借鉴的经验

哈尔滨哈东新春锅炉有限公司通过合同能源管理加互联网的平台运行管理的方法，颠覆传统供热方式，为生物质能源供热行业确立了新的发展方向。探索出适合北方区域特点的“政府补得起、用户用得起、运营方改得起、投资有收益、系统可维护、模式可推广”的生物质能源供热方案及运营路径，为北方区域转变供热方式提供一条经济可行、可复制、可持续、可推广的发展路径。

该项目以县级政府为主体，结合当地有比较优势的农业剩余物的治理政策，有针对性利用特定生物质能源，组织产业链，形成能源化的产业出口。另外，为降低运营成本，对财政供给单位的建

筑设施进行了必要节能保温的改造，降低建筑物的能耗。同时，政府主体在选择合同能源管理的供应商要有系统管理能力和产业链建设能力。

## 案例 9 武汉光谷蓝焰新能源股份有限公司工业园区生物质锅炉供热项目

### 一、项目概况

武汉康师傅食品工业园生物质清洁供热项目位于武汉市经济技术开发区车城南路 50 号，2018 年一期 2×25t 规模的生物质供热系统投产运行，截止目前已稳定运行 4 年多，项目每年可处理农林废弃物约 10 万吨，年综合利用生物质灰渣约 1 万吨，每年可为客户提供约 40 万吨的清洁蒸汽。锅炉烟气排放满足最新湖北省地方标准《生物质锅炉大气污染物排放标准》，与燃煤锅炉相比，每年可减排 CO<sub>2</sub> 约 13.6 万吨。

### 二、资源背景

项目主要原料：农作物秸秆（稻秆、谷壳、棉秆、麦秆、芦苇秆、板栗壳，各类秸秆成型燃料等）；林业废弃物（全省松树线虫病疫木、树枝、竹类、木屑等）；农林加工剩余物（木材边角料、采伐剩余物、农产品加工剩余物等）。公司主要在湖北省内自建和合作建设有原料收 - 储 - 运体系基地，原料供应有保障。每年可供给 10 万吨左右的生物质燃料。

### 三、技术路径

技术主要原理为利用生物质燃烧释放的热能，将水加热到一定温度和压力的水蒸气，供用能单位使用。



武汉光谷蓝焰新能源股份公司总部

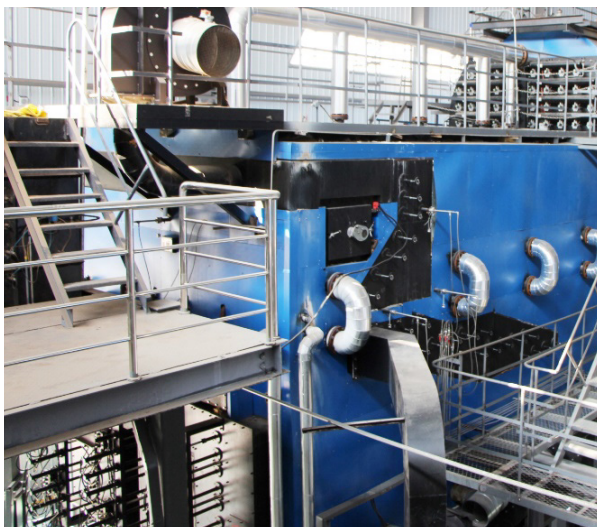




项目锅炉厂房

项目以农林废弃物稻壳、花生壳、树枝、疫木、木片等为燃料，利用国际领先的清洁燃烧技术和装备系统以及资源循环利用技术，原料经预处理后（成型燃料）通过输送系统进入生物质专用锅炉内清洁高效燃烧，释放的热能被水吸收后变成高温饱和蒸汽，通过管网将清洁蒸汽输送至用能客户，从而实现生物质能高效利用转换，同时燃料燃烧后剩余的灰渣经进一步加工处理，可制成绿植养护基质或有机肥料，最终实现农林废弃物的绿色循环利用。

1、多源燃料协同处理高效燃烧技术：本系统采用液压推手进料适应多源燃料，布置超大燃烧室，保证燃料挥发分充分燃烧，使用往复阶梯炉排，各段独立风室，炉排运动与炉内燃烧场高度协同，并辅以二次风，保证燃料高效燃烧，另外锅炉整体采用多级受热面形式，实现能量梯级利用。实现多源燃料协同处理高效燃烧技术。



炉膛



锅筒

2、高效燃烧协同多级耦合净化技术实现清洁排放技术：采用高效燃烧技术从源头上减少污染物生成；此外通过 SNCR（选择性非催化还原法）喷淋脱硝系统，进一步降低氮氧化物浓度。烟尘采用多级高效除尘组合形式，保障烟气排放清洁环保。实现高效燃烧协同多级耦合净化技术实现清洁排放技术。

3、供热系统全智能化控制系统：优化集成清洁供热和循环利用系统控制技术，将实现整个供热锅炉设备、辅机及管网的智能化联供，使系统整体达到最佳高效、节能、环保运行效果。系统供热运行进行集中控制，达到按需供热、满负荷高效优化运行。燃烧系统可根据负荷变化及燃料状态自动调节，实现按需、定量供热；通过计算机、APP 等实现系统启停、温度控制、负荷调节、故障预警、数据监测、统计分析等，智能化程度高。

#### 四、经济性分析

不同规模的生物质供热项目一次性投入费用不等，公司采用分布式能源供应站投资建设，点对点不征地情况下，主要为能源站设备系统投资，如 1x25t/h 生物质供热项目固定资产投资约 2000 万元，投资回收为 3-5 年。年供热能力约 40 万吨，收入 1 亿元以上，对比天然气锅炉，可为用能客户节约 30% 左右的成本，为园区用户节约用能成本近 2000 万元。

#### 五、商业运行模式

通过合同能源管理 BOO 模式建设运营，公司负责“建设 - 拥有 - 运营”，园区用能单位和客户零投资、零责任、零风险、零管理，可为用能企业客户或园区提供一站式综合服务，省心、省钱、省力。

#### 六、效益分析

##### 1、经济效益

通过处理农林废弃物为用能客户供热，每年可获得收入 1 亿元以上。通过使用零碳燃料生物质，与传统燃煤锅炉相比，可减排二氧化碳 13.6 万吨，可获得碳减排收益 750 万元左右。燃料经过燃烧后产生的生物质灰渣经过进一步加工处理，可制成绿植养护基质等，最终实现农林废弃物的绿色循环利用。每年额外增加经济收益约 50 万元。

##### 2、环保效益

项目每年处理农林废弃物约 10 万吨，有效解决农林废弃物露天焚烧污染环境等环保问题。年综合利用生物质灰渣约 1 万吨，变废为宝，物尽其用。锅炉烟气排放满足最新湖北省地方标准《生物质锅炉大气污染物排放标准》，与燃煤锅炉相比，每年可减排 CO<sub>2</sub> 约 13.6 万吨。

##### 3、社会效益

公司通过区域农林废弃物等生物质集散收储运体系、定点加工基地、循环利用，对农林固废吃

干榨净，变废为宝，促循环经济可持续发展；农林废弃物等生物质全产业链综合利用，将生物质能源部分替代煤等常规能源，可缓解目前传统能源供应紧张；带动就业精准扶贫，使农民能在家门口就业，为和谐社会，为新农村经济发展和建设提供了有效途径。

## 七、项目应用场景

该项目适用以生物质固体为燃料，以水为介质的低压饱和蒸汽锅炉，暂不适用于生物质发电和热电联产项目。该系统工艺适用多种加工形式和多源种类的生物质燃料，燃料适应广，可协同处理，与上游匹配度较高，该工艺技术产生的清洁蒸汽，可根据用能需求在一定范围内快速动态调节，保障蒸汽品质，与下游匹配良好。

## 八、当地支持政策

1、政策、资金支持：将生物质清洁供热项目列入政府重点招商引资项目、优先将生物质供热列入政府或园区能源供应规划、用地审批倾斜、税收减免、中央和地方减污降碳专项资金支持。

2、金融支持：优先支持生物质清洁供热项目获得银行绿色信贷。

3、人才支持：高层次人才的引进和支持、科研院所专家企业服务、专业技术人员培训等支持政策。

4、其他支持：农林废弃物加工处理单位可优先作为松树线虫病疫木定点加工企业。

## 九、存在的问题

湖北省内及周边区域农林废弃物原料种类多、分布广、不集中、较分散，从而收集成本较高；因此，需要进一步建立农林固废收储运体系，形成政府引导 + 农户（合作社）合作 + 集散地收购 + 上下游企业联动，多渠道、多级联动收储运机制解决。



## 第四章 生物质成型燃料 + 户用锅炉分散式供暖典型案例

生物质户用炉具一般利用生物质燃料的半气化燃烧原理，把焦油、生物质炭渣等完全燃烧殆尽，明显地降低颗粒物和一氧化碳等污染物的排放。现有的户用生物质成型燃料供热炉热效率较高，能达到 80% 以上，具有较好的节能潜力。生物质户用炉具，主要适用于难以满足集中供暖的自然村、散村的农户取暖，以及管网新建成本较高，财政补贴困难的地区，进行分散式供暖。

### 案例 10 山西省大同市生物质户用炉具清洁取暖项目

#### 一、项目概况

大同市地处黄土高原东部边缘和太行山脉交接地带，地貌类型复杂多样，山地、丘陵、盆地、平川兼备。全市农用地 76.71 万公顷，占总面积 54.57%。全市耕地面积 37.52 万公顷，划定基本农田面积 31.02 万公顷。有丰富的农林生物质资源。

大同市围绕“生物质能引领农村能源革命”的主线，按照“企业为主、政府推动、因地制宜、居民可承受”的原则，积极推进农村地区生物质燃料清洁取暖改造，构建绿色、节约、高效、协调的农村清洁供暖体系，减少大气污染。

大同启迪未来能源集团有限公司是启迪控股与大同市的合作企业，响应政府号召，财力物力往一线投，人力精力往线压，以生物质清洁取暖改造工作为切入点，开创性的提出了“分散式燃料加工 + 分布式采暖”模式。

2019 年，“分散式燃料加工 + 分布式采暖”模式在大同市广灵县涧西村进行试点，成功后于 2020 年大规模推广开来，完成了从 1 村到 7 县区，从 100 户到 30000 户的成功复制，利用科技模式创新实现能源精准扶贫，在大同市农村人居环境整治暨美丽乡村建设“三大行动”中得到了大同市领导、各局、各区县的一致认同和高度赞扬。

#### 二、技术路径

大同启迪未来能源科技集团有限公司在大同地区提供具有专利技术的生物质采暖炉和相应的燃料，根据大同市农村地区村民的生活习惯以及生物质资源的分布情况，为大同市提供生物质清洁采暖改造方案：“分散式燃料加工 + 分布式采暖”模式。即原料就地收集，就近加工，在村落聚集地建设生物质压块燃料生产点，收集周边的秸秆原料加工后出售给周边农户，满足周边清洁采暖需求。

#### 三、商业运营模式

“分散式燃料加工 + 分布式采暖”模式的核心是在村落聚集地建设生物质压块燃料生产点，收集周边的秸秆原料加工后以低于散煤的价格出售给周边农户，满足周边清洁采暖需求。通过降低人

工成本、原料收储运成本等，使生物质燃料成本低于散煤，加工点可实现盈利，从而促进加工点的自主商业化运营。

针对不同农村人群，压块燃料加工点的压块燃料供给模式采用三种：一是农户自行收集田间玉米秸秆运至“分散式压块加工点”进行加工，支付加工费用；二是农户委托“分散式压块加工点”收集玉米秸秆并进行加工，支付收运及加工费用；三是农户直接向“分散式压块加工点”购买生物质燃料，支付燃料费用。



应用场景

#### 四、效益分析

2019年，“分散式燃料加工+分布式采暖”模式在大同广灵县涧西村试点成功后，2020年在大同市的平城区、云冈区、开发区；天镇县、阳高县、浑源县、广灵县等区域推广30000户，投资建设了多个燃料加工厂，累计提供扶贫岗位近50个，解决了20万亩土地秸秆离田问题，减少了20%的农林废弃物污染，对打赢大同精准脱贫、污染防治的攻坚战，改善人居环境、振兴美丽乡村，优化调整能源结构有着重大的革命性意义。

#### 五、推广建议

分散式燃料加工点是项目大规模推广后，能够脱离政府补贴自行运营的关键点，因此燃料加工点的运营模式至关重要。分布式燃料生产点在建设期需要各方紧密配合，尤其是政府相关政策的支持，根据各地区生物质资源分布情况以及各地经济发展水平的不同，需制定因地制宜的选址方案以及建设标准，适当控制加工点规模的大小，满足当地实际需求。燃料生产点选址需满足两个原则：

1、优先利用原则。优先利用闲置的工厂、学校、推旧复垦空闲地等场所。能够配套提供稳定的三相电力供应，有自来水管道路。地面较为平整，可以建设围挡顶棚，或利用原有设施，有一定的仓储空间。

2、就近原则。每个燃料生产点距离周边生物质原材料产区以及生物质清洁采暖改造用户聚集区距离不超过 5 公里，同时通往生物质原材料产区以及周边农户村落的交通便利。满足上述条件后即可入驻生产设备，根据实际情况选配配套设备即可投产。

由于大部分农村生物质原材料隶属于农户自身，因此需要乡镇政府配合宣传，鼓励农户用自家的生物质原材料来购买置换生物质燃料。燃料加工点配备的秸秆打捆机可以协助缺少劳动力的农户收集自家秸秆资源运送到燃料加工点加工，收取收集运输加工费用。燃料生产点还可利用农产品企业的生产废弃物、园林绿化修剪的树枝杂草等作为原材料，实现环境保护与废物利用。

## 案例 11 山东省高青县生物质炊事采暖炉取暖项目

### 一、项目概况

山东省高青县属北温带大陆性季风型气候区，四季分明，历年平均气温 13.2℃。当地农牧资源丰富，耕地面积为 52249.89 公顷，林地面积为 4025.39 公顷。

2020 年，高青县生物质清洁取暖实施改造用户 600 户，户均取暖面积 80m<sup>2</sup>，总体采暖面积约 48000m<sup>2</sup>，单户供暖设备配置为 1 台 11kW 生物质炊事采暖炉。

### 二、技术路径

项目以玉米秸秆、花生壳、木屑、棉花秆、树皮、菌包、竹屑、稻壳等材质的生物质颗粒为燃料，采用的老万生物质炊事采暖炉是一种适合生物质颗粒燃料的家用采暖炊事锅炉。其设计原理是根据生物质颗粒燃料的燃烧特性而确立产品的燃烧结构，采用多回程火焰扰动技术，通过切换板控制炊事口、烟道装置中烟道与炉膛之间通道的封闭和开启，扩展了适用范围，并采用水套辐射换热和多层水管对流换热技术，提高了热量转化率，减少了热量损失，增强了采暖性能。同时，为配合以上结构特点，使燃料燃烧更为充分，提高能量转化率，本产品炉体中设有双二次风通道，并根据不同的燃烧方式形成一二次风转换功能，解决了燃料在燃烧过程中因缺氧而使燃烧不充分的问题。

### 三、商业运营模式

高青县生物质清洁取暖改造项目为整乡推进项目，由政府公开招标进行统一采购，并对炉具给予 85% 的设备补贴。运营主体为分散用户，日常由用户自行管理。

老万公司在项目推广地区配有专业售后人员，具备本地化服务能力，在接到服务电话后，会通知服务人员上门服务。如公司服务人员不能及时赶到，将根据用户住址，送派最近的服务站的服务人员上门服务，通过调配确保 2 小时内服务人员能够到达服务场，缩短服务响应时间，及时、高效解决用户问题，确保用户正常取暖。



应用场景

#### 四、效益分析

##### 1、经济效益

该项目由政府公开招标进行统一采购，并对炉具给予 85% 的设备补贴，燃料补贴 50%。使用老万生物质炊事采暖炉后产品热效率达 78% 以上，室温可达到 18℃ 以上。运行费用与普通燃煤取暖产品运行费相当，经政府补贴后，运行费用在用户可承受范围内，综合成本更低。

在当地政府补贴情况下，单户“取暖设备 + 末端”建设成本约 600 元，年燃料消耗量约 3.5 吨，运行费约 1750 元 / 年，用户基本接受。

在无政府补贴的情况下，单户“取暖设备 + 末端”建设成本约 6500 元，年燃料消耗量约 3.5 吨，运行费约 3500 元 / 年。

##### 2、社会效益

生物质清洁取暖改造项目有利于培育新兴生物质产业，是促进经济增长的新动能，农户负担更轻。以玉米秸秆为例，亩产鲜秸秆 (含水 70%) 1750 千克左右，可转化颗粒 350 千克左右。比如一个三口之家人均耕地 1.5 亩，可转化颗粒 1575 千克，基本能满足自家需求。简单地说，采用“地头加工”或“折量兑换”的方式，农民只需支付一定的加工费，就能实现供暖自给自足。

#### 五、推广建议

生物质炊事采暖炉配套使用生物质颗粒燃料，是一种使用简单，性能稳定，高效节能，运行费用低的清洁供暖设备，适合各级政府在经济条件较好的农村地区清洁取暖项目中推广使用，并予以相应支持。

## 第五章 秸秆打捆直燃锅炉集中供暖典型案例

生物质打捆直燃锅炉集中供热是将打成捆的秸秆在专用锅炉内直接燃烧替代燃煤进行供热，具有原料适应性强、处理量大，秸秆收获期与采暖期吻合、利用效果好，替代燃煤锅炉经济效益好等优点。同样，生物质打捆直燃锅炉集中供热模式主要适用于区域集中供暖，如为乡镇政府、医院、学校、养老院等村镇公共设施供暖等。

### 案例 12 黑龙江省海伦市海北村（镇）秸秆直燃集中供热项目

#### 一、项目概况

秸秆直燃清洁取暖项目实施地点位于黑龙江省海伦市海北镇海北村。该村共有两个自然屯，17个村民小组，全村 2720 户，总人口 5935 人，土地面积 3 万余亩，主要以玉米、大豆作物种植为主。作为粮食产区，该村面临着秸秆禁烧与秸秆资源化利用的环境压力与政策制约。

海北村经过统一规划拆迁，建设了新的居住小区，小区住宅面积约 15 万平方米，占全村居民住宅面积的 83%，入住居民 1428 户。但多年来，由于沿用老式燃煤锅炉进行集中供暖，每年供热期都造成了区域环境黑烟污染，且电机噪音影响小区生活，年消耗燃煤 8225 吨，燃料费用成本达 530 余万元 / 年，供暖技术模式急需变革。

因此，针对冬季采暖能耗高、污染大、效率低等问题，充分利用区域资源条件与生态优势，采用秸秆打捆直燃技术，对海北村原有落后的集中供暖设备及工艺实施改造，打造了可复制、可推广的北方寒区秸秆打捆直燃清洁取暖技术模式。

海北村通过集中供暖锅炉装备技术改造，新上一台 14MW 秸秆直燃锅炉，替代 10 吨老式燃煤锅炉热源，改造秸秆破包设备，锅炉温控监测，电机、风机、除尘器等配套设施一套。同时，增设秸秆原料收储场地 1 处，厂区总面积扩至 1.26 万平方米，其中厂房面积 2600 平方米，原料储存场地约 8000 平方米。

项目完成后，可为村镇 1428 户居民住宅小区和全镇公共设施进行集中清洁供暖，总供暖面积 23.5 万平方米。

#### 二、技术路径

秸秆直燃供暖技术主要以玉米秸秆为原料，由供暖企业负责全村的秸秆收储工作，秸秆在田间打包成型，可就地存放，由企业分期拉运，集中存放，实现秸秆当季消纳。打捆收集后由自动给料装置输送至秸秆直燃锅炉的炉排内燃烧，通过换热器将二次网循环水加热至 70℃，用于周边农户及公共设施供暖，实现“秸秆收储—自动上料—秸秆整捆破碎—进料燃烧—小区供热—灰渣排出一有机肥制备—生物质灰基肥还田”整套生产工艺流程。此外，供暖企业可协调供热管理运营，农户及相关取暖部门，采用供热服务购买方式，从而保障企业经济效益。





工厂车间全貌



生物质锅炉产品

### 三、商业运营模式

该项目采用政府支持,企业实施并管理,技术单位合作的方式。以海北村原君佳供热企业为主体,依托海伦利民锅炉有限公司与黑龙江省农业科学院农村能源与环保研究所作为技术支持,协调工程技术建设。技术装备升级改造投资总金额 325 万元,其中政府项目资金支持 60 万元。

项目运营管理方面,由供暖企业负责或与合作社合作将秸秆在田间打包成型,运往企业集中存放备用,或可就地存放,分期拉运,实现秸秆的收储并当季消纳。此外,由供热企业来协调管理,对采暖农户,相关设施和单位,采用供热服务购买方式,保障企业经济效益。

### 四、效益分析

#### 1、经济效益

该项目实施后,采暖期农户家庭室内温度保持在 20-25℃,从运行情况看,每年采暖期 6 个月,2019 年秸秆直燃锅炉集中供暖一个采暖季的运行均成本为 340.8 万元,其中秸秆燃料价格为 150 元 / 吨,单位面积燃料消耗为 63 吨,燃料费用为 222.1 万元,每平米供暖成本为 14.5 元 / 平方米。按原有燃煤锅炉运行成本计算,燃料价格为 650 元 / 吨,料费用为 534.6 万元,单位面积供暖成本为 27.8 元 / 平方米,年供热成本达 653.3 万元,相比燃煤锅炉供暖,使用秸秆打捆直燃供暖具有更好的经济性和市场竞争优势,运行成本降低 47.8%,节支金额共 312.5 万元。

项目收入方面,清洁供暖面积增至 23.5 万平方米,其中户用住宅采暖面积约为 16.5 万平米,农户取暖费用由原 36.2 元 / 平米降至 32 元 / 平方米,年热费收入可达 528 万元。商户及其他公共设施采暖面积达近 7 万平米,取暖费用由原 52 元 / 平方米降至 40 元 / 平方米,年热费收入可达 280 万元,企业年收入总计为 808 万元。

#### 2、环保效益

生活环境得到改善。实现清洁供暖替代燃煤,消除了冬季供暖烟气大量排放对区域大气环境的



影响。同时，大量消耗农作物秸秆，一个采暖季可消耗区域秸秆 1.48 万吨，占示范村秸秆总量约 80%，替代约 7500 吨标煤，相当于减排二氧化碳 1.87 万吨，二氧化硫 77.7 吨、氮氧化物 16.8 吨、颗粒物 1134 吨。

促进了农业绿色发展。秸秆直燃供暖产生的灰渣，可作为土壤调理剂或肥料原料还田使用，年产生生物质炭灰 2600 吨，可替代化肥 43 吨，减排二氧化碳约 300 吨，有利于改善土壤环境，提升地力，促进区域绿色循环农业的构建发展。

### 3、社会效益

通过技术示范应用，有效降低了农村采暖能耗成本，促进了区域能源消费结构的优化，实现清洁取暖替代 89%，缓解了区域秸秆禁烧压力，极大地改善了农村人居环境，提升了居民幸福感。

### 五、适用范围

该技术适用于作物秸秆资源丰富、原料易获得、秸秆打包收储较便捷的城市或乡镇大中型锅炉的集中供热，通过技术应用对周边住宅小区、公共服务设施、企事业单位等进行集中供热，将秸秆综合利用与区域环境治理、农民增收、乡村治理“三位一体”统筹管理，实现区域清洁方式采暖替代散煤取暖，切实改善北方农村人居环境质量。

### 六、推广建议

近年来，秸秆打捆直燃作为新技术在我国东北地区逐步进入快速发展阶段。以黑大江河省为例，全省现有秸秆直燃供热项目 40 余处，年设计消耗秸秆能力约 47 万吨，年代燃煤约 24 万吨。利用该技术模式可有效降低农村采暖能耗成本，使区域供热由传统能源消耗转变为可再生资源供热，从而促进区域能源消费结构的优化，补齐农业农村发展短板，根本上解决秸秆露天焚烧导致的环境污染问题，提升了区域秸秆综合利用率改善农村人居环境。

## 第六章 生物质热解气化供热典型案例

生物质热解气化通过热化学反应，将秸秆、果木剪枝和有机垃圾等生物质转换成可燃气，同时生产生物炭、木醋液等产品。净化后热解气有效成分主要为一氧化碳、氢气和甲烷，可用于炊事、供暖、发电或生产甲醇等化工产品，生物炭可以用于加工炭基肥或型炭产品。生物质热解气化模式，不仅可以适用于村镇社区集中供暖，同时还可以满足工业用热，为工业园区提供蒸汽、热水，余热也可以满足小范围供暖需求。

### 案例 13 安徽昌信生物质能源有限公司天享生物质热解气化供热项目

#### 一、项目概况

本案例以安徽昌信生物质能源有限公司已建成并运行 5 年的安徽天享肥业有限公司项目运营点为例。安徽天享肥业有限公司是安徽谷顶集团下属公司，企业以生产复合型肥料为主，原用热能为燃煤锅炉提供的蒸汽能源，随着各地对环境要求的提升，2017 年决定采用安徽昌信生物质能源有限公司生物质气化技术对原有工业锅炉进行改进，实现清洁能源供热。

项目地址位于安徽省滁州市南谯区乌衣镇工业园内，目前已建成四套生物质热解气化成套设备，年处理生物质 3.2 万吨（每年按 320 天计算）、产出蒸汽 6.4 万吨、产出炭基肥 3.84 万吨、产出植物营养调节剂 1600 吨。可实现减排 CO<sub>2</sub> 约 6 万吨、土壤长期改良 30 万亩以上。

#### 二、资源背景

根据《滁州市农业农村局 滁州市发展和改革委员会关于印发滁州市“十四五”农业农村现代化规划的通知》（滁农规〔2022〕40 号）提供的数据，到 2025 年，全市粮食播种面积不低于 1240 万亩，优质专用粮食播种面积占比达到 70%。到 2025 年，实现农村垃圾无害化处理率 95% 以上，农村卫生厕所普及率达 90% 以上，秸秆综合利用率达 95%、畜禽粪污综合利用率达 85% 以上，实现农作物品质提升、化肥农药减量增效、农膜基本全部回收，农产品质量安全。

#### 三、技术路径

该项目全套为安徽昌信生物质能源有限公司自有技术、本技术主要采用“下吸式气化炉控氧热裂解气化”为核心的工艺技术，以生物质（秸秆）为原料，原料经过预处理去除杂质，控制水分达到 20% 以下，经过成型化加工后（有的生物质本身即为成型颗粒，不需要再进行二次加工，如谷壳、花生壳等），进入热裂解气化炉控氧炭化，产出的可燃气体再经过净化后送到用能点（本项目主要是用于燃气锅炉、肥料烘干窑），产出的生物质炭经过粉碎再添加适量的木醋液后，根据当地土壤检测情况，选择添加氮磷钾比例，均质搅拌造粒，产出炭基肥；另一个路径是：将生物质炭按一定比例与家禽粪便均匀搅拌后堆放一段时间后，做为炭基有基肥使用。

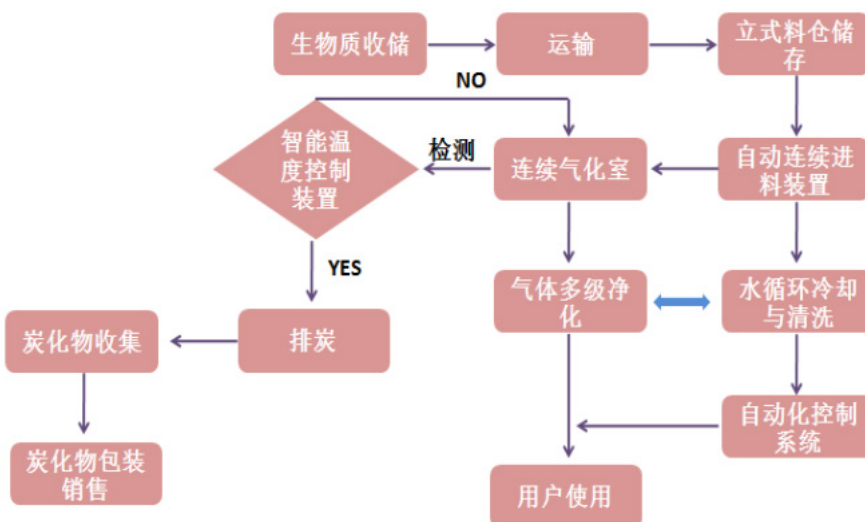


生物质制气成套设备

### 1、生物质制气过程

生物质在制气室内与通入的空气发生氧化反应，产生热量，即： $C+O_2=CO_2+$  热能；生物质在制气室内利用自身氧化反应产生的热量再进行还原反应，即： $C+CO_2=CO-$  热能。生物质的主要成份为  $C_nH_m$  组合物，在裂解过程中除了主要可燃物  $CO$  外，还有  $H_2$  及  $C_nH_m$  等组合气体，另外一部分不可燃气体主要是  $N_2$ 、 $CO_2$  等。

一般情况下，在满足燃气热值及产量稳定情况下，通过智能控制尽量将生物质气化温度控制在较低水平，并调节生物质物料在气化制气室内的空间位置，调节氧化层的合理高度，从而控制生物质在制气室内的停留时间，保证得到最佳的可燃气体的同时得到高品质的碳化产品。



工艺流程图

## 2、项目终端产品及产品的用途

(1) 通过投入昌信公司生物质气化设备制成可燃气体即“生物质气”替代“天然气”为园区提供热能，如隧道窑、熔铝等。

(2) 利用“生物质气”替代“天然气”通过蒸汽发生器（燃气锅炉），将水转化为水蒸汽为园区提供蒸汽，蒸汽温度和蒸汽压力（在锅炉允许范围内）可根据需要随时调节。

(3) 根据园区用能峰谷情况，在用能低谷时间段利用生物质气内燃机组或蒸汽轮机直接发电并网向园区提供电能。

(4) 碳化物的生成及利用：生物质完成气化反应后，易挥发炭部分被完全裂解气化成可燃气体，而不易挥发的炭则被保留下来，以固态形式生成“碳化物”，由排炭装置排出。生物质碳化物用途十分广泛，如秸秆炭可用于生产炭基复合肥；稻壳气化后的稻壳炭可用作钢铁厂的保温覆盖材料，以及制成炭黑等；竹、木屑的炭可用于生产活性炭，市场价格极高。总之，生物质气化生成的副产品生物质碳化物不仅用途广而且经济价值高，市场前景远。

## 四、经济性分析

项目建设总投资为 10000 万元，运营期 20 年，预计产生总成本为 32000 万元，其中固定成本为 15500 万元、可变成本为 16500 万元。以 8% 为基准率，项目全投资财务内部收益率为 12%，投资回收期 8 年；项目资本金财务内部收益率 11%，静态投资回收期为 10 年，动态投资回收期 12 年。根据项目运营情况，项目需逐步提产，达产后方能进入盈利状态并逐年递增。

## 五、商业运营模式

1、以合同能源管理模式进行生物质资源化利用为基础，即采用的方式为：

(1) 采用第三方模式对生物质进行收储管理

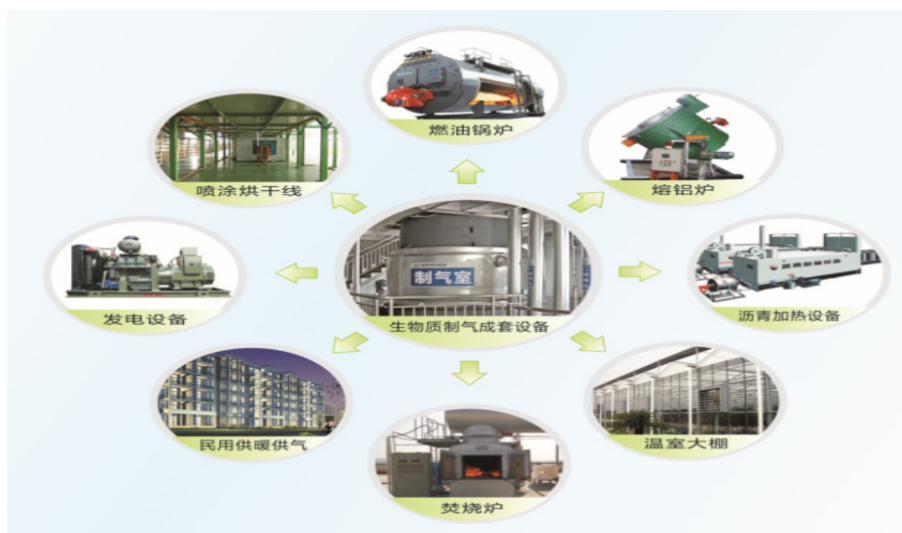
项目原材料实行统一储备、统一调运、定向供应的方式，根据已运营和即将运营点的年用量进行系统规划和备料，对各种生物质资源进行分类收储。项目建成后，如稻壳、规格较小且相对均匀的木屑等散状物料直接调运至现场检验含水率，合格后通过输送设备输送至制气室上方筒式料仓即可；其它较大物料需进行预处理，如农作物秸秆先进行粉碎或压块、烘干等处理后再由输送设备输送至料仓。

(2) 采用多方合作模式进行合同能源管理

产出的能源可以实现点供模式，也可以入城市热为管网。

## 2、采用联营或委托方式进行肥料化生产

配套生物质炭基肥产品，流转相关土地，引进第三方合作种植，不但可以极大地缓解秸秆收储压力，降低秸秆成本，保障秸秆原料安全；同时配套流转土地可实现炭基肥直接推广运用，提升农作物品质，实现土壤持续改良，用于将木醋液作为植物营养调节剂的试验基地，也可用于炭基有机肥的试验和提升，为拓展炭基肥、炭基有机肥销售市场提供真实可靠的实验数据，对建设绿色、循环、低碳的生态农业，加快打造电建肥业优质绿色品牌具有良好的先行示范作用。



生物质制气成套设备应用领域

## 六、效益分析

### 1、经济效益

项目建设总投资为 10000 万元，产品年销售收入为：热能收入 1536 万元 / 年，炭基肥 1459.2 万元 / 年，植物营养调节剂 800 万元 / 年，年营业收入 3795.2 万元，以目前市场状况来计算，总成本费用 1901 万元，税金 228 万元，利润总额 1666 万元，所得税 416 万元，净利润 1250 万元，净态投资回收期在 8 年左右，动态投资回收期在 10 年左右，年资本金净利润率 12.5%，投资利税率 18.90%。

### 2、社会效益

该项目通过秸秆等农林废弃物的回收利用，每年可为农民创收 1440 万元，可安排直接就业人数为 80 人，间接就业人数为 120 人，同时可拉动绿色水稻产业化发展，炭基复合肥的大规模还田，降低化肥使用量，提高大米品质，特别是推广“稻鱼混养”，促进大米、小龙虾、泥鳅等农产品的品牌建设。



### 3、环保效益

年利用生物质约 3.2 万吨：①每年可代替标煤 12800t/a；②减排二氧化硫 108.8t/a；③减排二氧化碳 33280t。通过减排后，南谯可向国家申请补贴碳当量 1.6 万吨，可以为工业招商节约碳指标空间。

### 七、适用场景

该技术适用于各用能企业、园区集中供热。同时与当地第三方公司合作，如与肥料生产企业、养殖企业、农业大户等。实现以农业绿色循环为主导，以生物质能源化为基础的各种场景。

### 八、可借鉴的经验

#### 1、秸秆收购采用“第三方”模式

通过第三方模式收购秸秆，第三方组织低收入群众参与原料收集，让利于民，提高广大群众原料收集的积极性。

#### 2、推进废弃物处理定价机制的完善

积极引导政府完善废弃物处理定价机制，将生物气化项目纳入政府环保补贴、大气治理及生态补偿目录，加大对相关企业废弃物处理的环保补贴力度，减少企业原料采购与处理成本。对超过一定规模的生物质项目原料收储给予补贴，并根据市场、地域、原料类型实行政府定价收购制度。

#### 3、推动制定农业废弃物处理标准

积极引导当地环保部门制定农业废弃物处理标准，将农业废弃物资源化处理纳入新农村建设规范。规范畜禽粪污、工业有机污水 / 污泥、农产品加工废弃物及秸秆等农业废弃物的收储与处理技术标准。

4、国内已投产的生物质炭气肥联产项目较少，在国内仍属于新兴业务，项目的生产运行暂无成熟的经验可借鉴，因此在项目运营过程中主要开展原料的准备、人员配置级培训、制度标准体系建设、生产物资准备、产品销售准备等方面筹备，尤其是炭肥及绿色农产品品牌的建立，为后续项目推广奠定坚实的基础。



## 案例 14 北京乡电有限公司阳城秸秆气化发电余热供暖项目

### 一、项目概况

阳城县东冶生物质发电项目是由母公司北京乡电电力有限公司出资注册“阳城县东冶生物质发电有限公司”，并投资建设的生物质热电联产项目。该项目地处山西省阳城县东冶镇东冶村。是山西省立项规划的生物质热电联产项目，已建成生物质发电装机容量 1.5MW，实现余热集中供暖面积约 1.8 万 m<sup>2</sup>，年发电量 1000 万千瓦时，每小时提供余热能约 14.5 吉焦，年供热能 10 万吉焦。

本项目于 2017 年 1 月通过山西省电力建设工程质量监督中心站竣工验收备案，山西省发改委电价核准，并与国网晋城电力公司签订购售电合同后并网发电运行，2017 年 9 月通过晋城市环保局环评验收备案并取得排污许可证。经监测各项排放指标均符合排放标准要求。



北京乡电有限公司阳城生物质热解气化项目

### 二、资源背景

阳城县东冶镇及周边各乡镇，是农作物—玉米、杂粮的主产区，有丰富的秸秆资源。该镇每年都有大量农作物秸秆产生，同时还有林业生物质资源。由于牲畜的减少，农作物秸秆利用率很低，商业开发利用的基本没有（包括林业生物质），一般均在秋收后或来年春天就地焚烧。

其中，农业生物质：农作物秸秆 2.486 万吨，桑果废弃物 0.84 万吨，计 3.323 万吨。林业生物质 1.4874 万吨。畜牧业用秸秆、沼气用秸秆 0.3 万吨。可利用生物质资源 4.5104 万吨。根据以上统计测算本镇范围内生物质资源完全满足本项目的生产原料需求。

### 三、技术路径

本生物质（玉米秸秆）热、电联产项目建设规模为生物质气化发电装机容量 1.5MW。由 1 套

1.5MW 气化系统与 3 台单机发电功率为 500 千瓦的生物质气体发动机组成发电系统，由发动机组尾气余热锅炉（3 台）、发动机组冷却水余热回收设备、生物质气化余热锅炉（1 台）组成的供热系统，生物质气化后的干灰加工设备生产的生物质炭等组合成为热、电、炭联产项目。

本项目的燃气发生系统由北京乡电电力有限公司自主研发的拥有完全知识产权的流化床生物质气化系统组成，系统最大产气量为 4800N.m<sup>3</sup>/h。



原料处理

东冶镇农作物秸秆资源

	小麦	玉米	谷子	豆类	棉花	油料	合计	桑果
播种面积 (万亩)	2.60	1.99	0.59	0.56	0.01	0.29	6.04	0.70
粮食产量 (万吨)	0.51	0.48	0.07	0.06	0.001	0.02	1.681	
草谷比	1:1	2:1	1:1	15:1	3:1	2:1		
秸秆量 (万吨)	0.51	0.96	0.07	0.90	0.003	0.04	2.483	0.84

东冶镇林业生物质资源

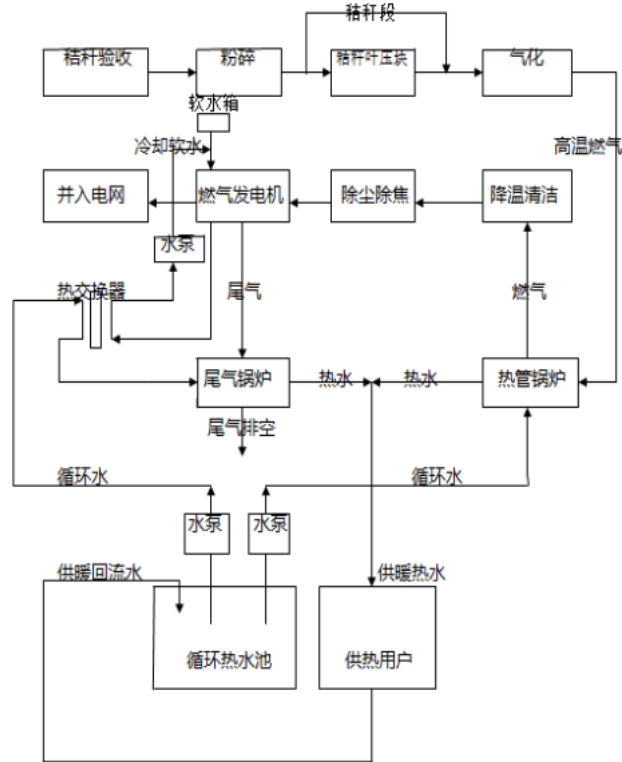
林区面积 (万亩)	修枝 \ 剪枝量 (万吨 / 年)	其它林业废弃物 (万吨 / 年)
21.05	0.30	1.56
自用烧柴 (5%/6%)	0.015	0.0936
出售 (10%/15%)	0.03	0.234
其它 (85%/79%)	0.255	1.2324

## 四、工艺流程

该工艺流程由燃气发生系统、清洁降温系统、发电系统、余热回收供暖系统等组成。

### 1、燃气发生装置

燃气发生装置由进料进风系统、流化床燃气发生炉、出灰系统等部分组成。生物质原料经必要的加工后由进料设备进入气化炉中，通过进风设备控制进风量，以空气为助燃剂进行不完全燃烧。炉内的化学过程主要包括燃烧反应、热分解反应和还原反应。部分原料与氧气燃烧，提供热分解所需的热量，大部分生物质在缺氧条件下发生热分解反应，析出挥发份和炭，挥发份在高温反应区内停留发生二次反应，生成以 CO、H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 为有效成分的生物质燃气。燃烧产生的灰和气化过程中析出的炭约占原料的 12% 左右，经过出灰系统送入灰仓集中打包处理。干灰的主要用途有加工成生物质型碳、做炭基肥原料、做熏香类产品的燃烧基料等。



技术路径图

### 2、燃气清洁处理装置

从流化床气化炉出来的燃气温度约 650 度，并含有气态焦油和较多的灰尘，需要降温、清洁后才能用于发电。本技术工艺采取 2 级旋风除尘器分离燃气中的颗粒状粉尘，经余热热水锅炉回收余热能后，再经过喷淋水洗清洁箱、喷淋水洗冷却箱、直流高压静电除焦后，燃气的温度为低于 55 度、粉尘和焦油含量低于 15mg/N.m<sup>3</sup>，经罗茨风机加压至 3KPa 左右、缓冲罐分离冷凝水后送入燃气

发电机组用于发电生产。

### 3、燃气发电系统

采用生物质燃气发电机组发电。由3台单机功率500kw的燃气发电机组组成1.5MW发电系统，经升压设备升压至10kv后并入国家电网公司供电网。发电机组的冷却水出水温度约75℃，尾气排放温度约520℃。约75℃左右的发电机组冷却水和供暖余热锅炉的循环水进行热交换降温后循环使用，经发电机组冷却水热交换升温后的供暖循环水经发电机组尾气余热锅炉再次升温后进入供暖循环水系统用于余热供暖。

### 4、余热回收供暖系统

气化余热回收采用1台热容量50万kcal水循环量20m<sup>3</sup>/h余热锅炉1台，3台热容量100万kcal水循环量40m<sup>3</sup>/h发电机组尾气余热锅炉组成的余热供暖系统。

余热锅炉设计出水温度95℃、回水温度65℃，供暖系统总水循环流量140m<sup>3</sup>/h，满足1.8万平方米供暖面积的热能。

### 5、发动机尾气脱销处理

发动机尾气经脱销设备脱销处理后再排放。采用尾气余热回收+SCR脱销处理一体化技术设备实现余热回收脱销处理。



汽化炉控制系统

## 五、经济性分析

该项目总投资(除土建部分)约1500万元，发电装机容量1.5MW，单位时间发电量1500kwh/h，年消耗秸秆原料1.8万吨，余热可供热能350万大卡/小时，可供热面积2万m<sup>2</sup>，年增加农民收入(秸秆按100元/吨)180万元。



## 六、商业运营模式

本项目将采取充分利用玉米秸秆为原料的热电联产模式，电能并入国家电网获得销售收入，热能可以销售给当地的供暖公司，也可以项目方自建供暖管网直接供给供暖用户获得供暖收入。

发电上网电量享受国家生物质发电电价优惠政策，秸秆收储加工农机具享受国家相应的政策性补贴，地方政府给与秸秆清洁环保化再利用一定的财政补贴，及其他税费优惠政策。

## 七、效益分析

本项目年发电量 1000 万 kwh，替代标煤约 2950 吨，减排二氧化碳约 7800 吨、二氧化硫 2.5 吨、氮氧化物 2.2 吨。同时提供了约 1.8 万平方米的集中供暖热能，解决了村镇集中供暖难题。年消耗秸秆约 1.8 万吨，能清洁转化种植面积约 5.5 万亩玉米秸秆，避免了秸秆野外焚烧造成的环境污染，同时能为当地村民增加收入近 200 万元。建设投产提供直接就业岗位 32 个，新增税收近百万元。

## 八、项目优缺点

秸秆气化发电热电联产技术路线的特点是项目规模可根据项目所在地的秸秆原料供应量和需供暖面积灵活决定。可以是发电装机容量 1.5MW-10MW、供暖面积 2-10 万平方米之间灵活选择。

考虑到供暖的季节性，为充分利用资源，获取更大的投资收入，项目采用热电联产技术路线，在非供暖季可以通过秸秆气化发电来充分利用当地的秸秆资源。为此项目将要申报获批发电上网接入等手续，会增加项目前期申报时间和费用，同时也会增加项目投资及项目建设周期。

## 九、项目适用推广范围

本项目的建设只需满足秸秆原料的供应和相对应的供暖面积即可快速复制建设。项目的建设运营因回收秸秆可以增加当地农民收入，并提供就业岗位。

## 案例 15 浙江丽水生物质气化替代天然气（煤）供热项目

### 一、项目概况

浙江丽水生物质气化替代天然气（煤）供热项目位于浙江省丽水市龙泉市八都镇平山岭工业区浙江千束家居用品有限公司厂区内。本项目于 2017 年 9 月开始建设，于 2018 年 3 月投入运行，产生的蒸汽用于工业区使用。项目以企业竹木加工过程中产生的下脚料及周边竹木加工企业产生的竹屑为原料，竹屑气化后产生的燃气替代天然气（煤）供 8t 锅炉使用，蒸汽规格为 1.6MPa 饱和蒸汽，年消耗竹屑 2.1 万吨，年供蒸汽 4.8 万吨，每年为用户节约成本 850 多万元。

### 二、资源背景

本项目位于浙江丽水市龙泉市，龙泉丰富的竹木资源为龙泉竹木产业的发展提供了充足的条件，

竹木加工产业是龙泉市“十三五”百亿培育产业，具有较长的发展历史，产业链覆盖了原材料供应、研发设计、定牌加工、销售等环节。据不完全统计，目前工商登记在册的全市从事竹木生产、加工、销售的企业有1680多家，其中竹产业651家，木产业824家，竹木兼营210家，规模以上企业31家，其中亿元企业3家。2017年，全龙泉市竹木加工产业规上企业产值30.8亿元，同比增长8.6%。不难看出，龙泉拥有的竹木类生物质资源量充裕。



浙江丽水生物质气化替代天然气（煤）供热项目

### 三、技术路径

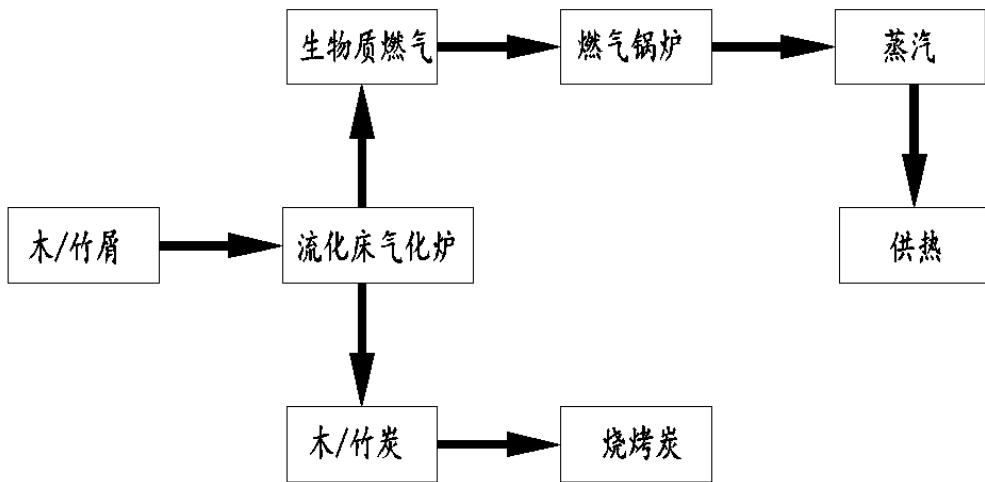
**原料收储及运输：**自产原料竹 / 木屑从竹木加工车间运输至原料仓库，外购竹 / 木屑通过汽车运输至原料仓库。原料通过输送皮带输送至气化炉炉前料仓。原料输送至气化炉炉前料仓前需对原料进行筛分、除铁等工序，筛分是为了除去大块原料及其他杂物，防止气化炉给料系统卡料。

**气化：**本项目选用气化炉为鼓泡式流化床气化炉。加入气化炉炉前料仓的原料经给料系统给入流化床气化炉，与炉底通入的空气发生热解气化反应，生成生物质燃气和竹 / 木炭，竹 / 木炭被燃气携带出气化炉，经一级和二级旋风分离器分离后由炭收集系统冷却后排出收集。气化炉出口燃气温度约 500-600℃。

**燃气燃烧及供热：**气化炉生成的燃气直接以高温状态就近送往锅炉燃烧，锅炉内设绝热燃烧室，燃烧稳定。燃烧产生的热量用于生产蒸汽（1.6MPa 饱和蒸汽），蒸汽送往竹木加工生产线利用。

**竹 / 木炭的收集及利用：**气化炉产生的竹 / 木炭含碳量约 75-80%，经炭冷却螺旋输送机冷却后通过炭输送系统输送至炭仓库，然后经成型、烘烤等工序加工成烧烤炭。





工艺技术路线图

#### 四、主要设备

本项目主要设备有：生物质流化床气化炉、生物质燃气锅炉。

辅助系统设备有：旋风分离器、生物质炭冷却螺旋输送机、炭收集系统设备、给料及上料系统设备、循环冷却水系统设备、锅炉给水系统设备、蒸汽管网、生物质炭加工设备等。

主要建筑有：原料厂房、炭收集及加工厂房、控制室，气化炉与锅炉布置在室外。



厂区一角

#### 五、经济性分析

按锅炉额定蒸发量为 8t/h 计，该项目年原料消耗费用 740 万元，

年设备维修费用 11 万元，年人工费 54 万元，年运行水、电及其他费用 125 万元，合计年运

行费用 930 万元。年竹 / 木炭销售收入 630 万元，若采用天然气供热，则年运行费用 1150 万元，采用生物质燃气替代天然气（煤）供热可每年为企业节省约 850 万元成本。

## 六、商业运营模式

本项目由浙江千束家居用品有限公司投资与运营，采用合肥德博生物能源科技有限公司的生物质气化设备，并由合肥德博生物能源科技有限公司负责设备的安装与调试。蒸汽产品供浙江千束家居用品有限公司内竹木加工生产线使用，生物质炭加工制备成烧烤炭出售。

## 七、市场前景

2013 年 9 月，国务院发布《大气污染防治行动计划》，计划中指出在供热供气管网不能覆盖的地区，10t/h 及以下锅炉改用电、新能源或洁净煤，推广应用高效节能环保型锅炉。10t/h 及以下锅炉只能采用燃气、生物质成型颗粒燃料或电等清洁能源。目前天然气价格 3-4 元 /m<sup>3</sup>，每吨蒸汽仅燃料成本就需要 240-320 元 /t；而生物质颗粒燃料市场价格 900-1000 元 /t，每吨蒸汽仅燃料成本就需要 200-220 元 /t，高昂的蒸汽成本对于热用户而言是难以承受的。生物质气化综合利用项目，利用生物质供热的同时联产生物质炭，每吨蒸汽成本约 63 元，每年为用户节约成本约 850 万元，不仅经济效益好，同时环保达到国家要求，符合绿色，持续，高效的环保发展理念，市场前景广阔。

## 八、存在的问题

当前，本项目产生的竹木炭全部用于生产烧烤炭，炭产品的附加值较低。竹木炭是良好的活性炭制备原料，近年来，随着环保意识的加强，全球对活性炭的需求持续增长。2018 年中国活性炭产量预计约 67.0 万吨，其中煤质活性炭产量约 43.0 万吨，木质活性炭产量在 20.0 万吨以上。中国经济尚处于快速发展阶段，活性炭在工业、食品饮料、污水处理等领域的应用将继续增长。建议和相关科研团队合作，开发出适合本项目竹木炭的活性炭制备技术，拓宽本项目竹木炭的利用途径，为推广本项目技术模式夯实基础。

## 案例 16 吉林榆树生物质气化替代天然气（煤）供热项目

### 一、项目概况

吉林榆树生物质气化替代天然气（煤）供热项目位于吉林省长春市榆树市吉林凯禹废弃资源开发利用有限公司厂内，项目公司是长春凯禹集团独资创建的合资公司，公司所属的生产基地建在长春市榆树市，占地面积 10 万平方米，经营业务主要是生产生物质油、纳米二氧化硅、活性炭等产品原料。本项目于 2013 年 3 月开始建设，于 2013 年 10 月投入运行，以稻壳为原料，年蒸汽产量 3.0 万吨，年消耗稻壳 1.32 万吨，年产稻壳炭 0.396 万吨。

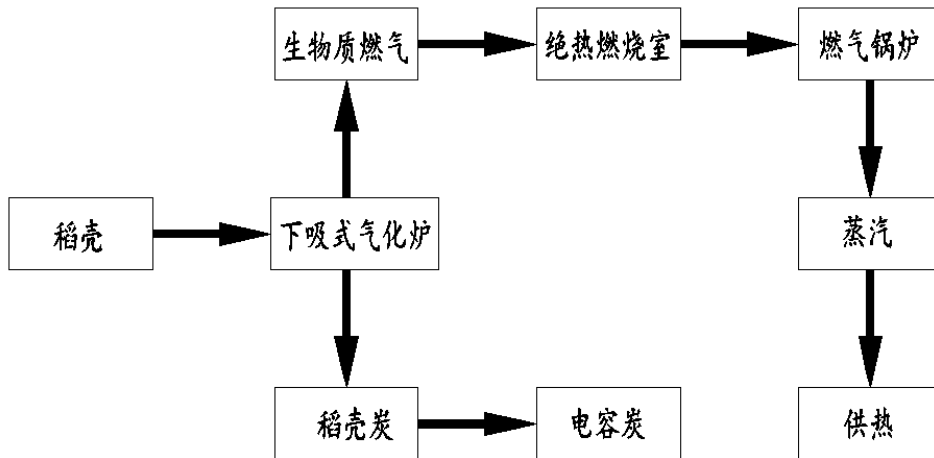


吉林榆树生物质气化替代天然气（煤）供热项目

## 二、资源背景

本项目位于吉林省榆树市，以项目公司附近京粮集团及稻谷加工厂日常稻谷加工生产过程中产生的稻壳为原料。榆树市是吉林省下辖县级市，由长春市代管，地处松辽平原腹地，在长春、吉林、哈尔滨三市构成的三角区中心。2016年，榆树市水稻播种面积70859公顷，水稻产量562252吨，年产生稻壳约11.2万吨。项目企业周边是东北地区著名的商品粮生产基地，项目企业周边有大量的粮食加工厂，每年产生的稻壳远远满足本项目原料供应。

## 三、技术路径



工艺流程图

原料收储及运输：外购原料稻壳经公路输送至原料仓库，然后经输送系统输送至气化炉炉前料仓。原料输送至气化炉炉前料仓前需对原料进行筛分、除铁等工序，除去稻壳中的大块杂质及其他杂物。

气化：本项目气化炉炉型为下吸式固定床气化炉。加入气化炉炉前料仓的原料与空气并流进入下吸式气化炉，在炉内发生热解气化反应，生成生物质燃气和稻壳炭。气化炉出口燃气温度的约330-350℃。

燃气燃烧及供热：气化炉生成的生物质燃气经燃气增压风机加压后通过燃气燃烧器送入绝热燃烧室进行燃烧，保持燃气的稳定、低氮燃烧，燃烧温度控制在1100℃，绝热燃烧室后部接生物质燃气锅炉，再经分级配风实现生物质燃气的燃尽。燃烧产生的热量用于生产蒸汽(1.2MPa饱和蒸汽)，蒸汽送往项目公司电容炭生产线利用。

稻壳炭的收集及利用：气化炉产生的稻壳炭含碳量约45-50%，经炭冷却螺旋输送机冷却后通过炭输送系统输送至炭仓，然后输送至电容炭生产车间。

#### 四、主要设备

本项目主要设备有：生物质下吸式固定床气化炉、生物质燃气锅炉。

辅助系统设备有：旋风分离器、生物炭冷却输送机、炭收集系统设备、给料系统设备、循环冷却水系统设备、锅炉给水系统设备、蒸汽管网等。

主要的建筑有：气化炉与锅炉厂房、原料厂房、生物炭仓库、控制室。



主要设备

#### 五、经济性分析

按锅炉额定蒸发量为6t/h计，该项目年原料消耗费用530万元，年设备维修费用12万元，年人工费54万元，年运行水、电及其他费用69万元，合计年运行费用665万元。若稻壳炭外购，则需费用470万元，若采用天然气供热，则年运行费用720万元，则采用生物质燃气替代天然气(煤)供热可每年为企业节省525万元。



## 六、商业运营模式

本项目由吉林凯禹废弃资源开发利用有限公司投资与运营，由合肥德博生物能源科技有限公司提供项目主要设备并负责设备安装。生产的蒸汽供吉林凯禹废弃资源开发利用有限公司厂区自用，本项目稻壳气化后产生的稻壳炭全部用于制备电容炭，每吨电容炭售价约 20000 元。

## 七、市场前景

国务院发布《大气污染防治行动计划》，计划中指出在供热供气管网不能覆盖的地区，10t/h 及以下锅炉改用电、新能源或洁净煤，推广应用高效节能环保型锅炉。10t/h 及以下锅炉只能采用燃气、生物质成型颗粒燃料或电等清洁能源。目前天然气价格 3-4 元 /m<sup>3</sup>，每吨蒸汽仅燃料成本就需要 240-320 元 /t；而生物质颗粒燃料市场价格 900-1000 元 /t，每吨蒸汽仅燃料成本就需要 200-220 元 /t，高昂的蒸汽成本对于热用户而言是难以承受的。生物质气化综合利用项目，利用生物质供热的同时联产生物质炭，每吨蒸汽成本约 85 元，不仅经济效益好，同时环保达到国家要求，符合绿色，持续，高效的环保发展理念，市场前景广阔。

## 八、存在的问题

本项目生产的稻壳炭全部用于制备电容炭，当前，电容炭制备技术还未完全成熟，同时对稻壳炭的要求苛刻，推广应用较为困难。建议开发稻壳炭的利用新技术，增强本项目的可推广性。

## 案例 17 云南西双版纳生物质气化替代天然气（煤）供热项目

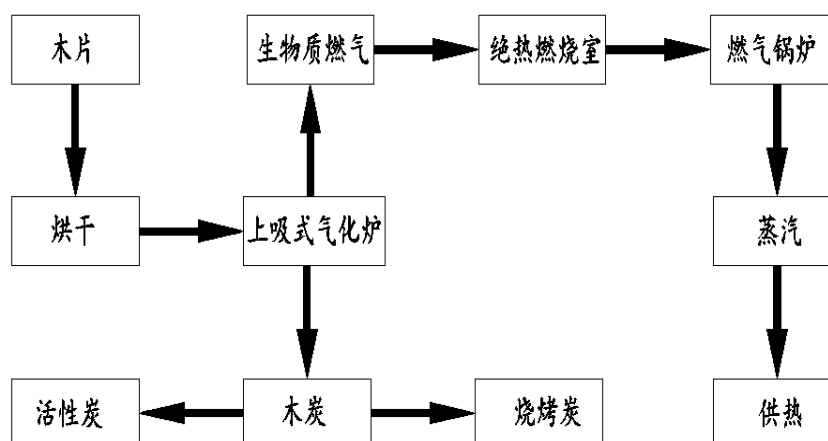
### 一、项目概况

云南西双版纳生物质气化替代天然气（煤）供热项目位于云南省西双版纳州景洪市勐养镇西双版纳宏兴木制品有限责任公司厂区内。西双版纳宏兴木制品有限责任公司主要从事橡胶木收购、木材加工、木、竹、藤、棕、草制品加工及制造。本项目于 2016 年 5 月开始建设，与 2016 年 12 月投入运行，产生的蒸汽用于企业厂区木材加工生产线使用。木片气化后产生的燃气替代天然气（煤）供 4t 锅炉使用，蒸汽规格为 1.2MPa 饱和蒸汽，年消耗木片 0.853 万吨，年供蒸汽 2.2 万吨，年产木炭 0.153 万吨，每年为用户节约成本 450 多万元。

### 二、资源背景

本项目位于云南省西双版纳州景洪市，以木片为原料，木片来源于项目企业木材加工过程中自产。景洪市是云南省西双版纳傣族自治州的首府，位于云南省南端，西双版纳傣族自治州中部，景洪市北接普洱市，东北接普洱市江城，东接西双版纳傣族自治州勐腊县，西接西双版纳傣族自治州勐海县，景洪市属亚热带季风气候，境内森林覆盖率为 84.46%，城市绿地覆盖率为 46.65%。该企业年木材加工剩余物繁多，木片资源量充裕。

### 三、技术路径



工艺技术路线图

原料收储及预处理：自产原料竹片从木材加工车间运输至原料仓库后，先需要进行破碎至5cm左右，然后经烘干系统烘干至含水率低于25%，再通过输送皮带输送至气化炉炉前料仓。原料输送至气化炉炉前料仓前需对原料进行筛分、除铁等工序。

气化：本项目气化炉炉型为上吸式固定床气化炉。加入气化炉炉前料仓的原料经密封给料系统加入上吸式气化炉，与炉底通入的空气发生热解气化反应，生成生物质燃气和木炭，木炭由炭收集系统冷却后排出收集。气化炉出口燃气温度约150-200℃。

燃气燃烧及供热：燃气经燃气增压风机加压后就近送往生物质燃气锅炉燃烧供热。生物质锅炉前面设置绝热燃烧室，确保生物质燃气的稳定及低氮燃烧。控制燃烧温度约1100℃，绝热燃烧室出来的未完全燃尽的烟气送入蒸汽锅炉补燃燃尽。上吸式固定床气化炉出口燃气温度较低，燃气中的液态焦油含量较高，故生成的燃气首先经惯性除尘器除去其含有的大量焦油，焦油收集后喷入蒸汽锅炉燃烧。燃烧产生的热量用于生产蒸汽（1.2MPa饱和蒸汽），蒸汽送往木材加工生产线利用。

木炭的收集及利用：气化炉产生的木炭含碳量约75-80%，经炭冷却螺旋输送机冷却后通过炭输送系统输送至炭仓库，然后打包，用于制备活性炭或者烧烤炭。

### 四、主要设备

本项目主要设备有：上吸式固定床气化炉、生物质燃气锅炉。

辅助系统设备有：惯性分离器、生物质炭冷却螺旋输送机、给料系统设备、炭收集系统设备、循环冷却水系统设备、锅炉给水系统设备、蒸汽管网、生物质炭加工设备。

主要的建筑有：气化车间、锅炉房、原料厂房、炭仓库、控制室。





云南西双版纳生物质气化替代天然气（煤）供热项目

## 五、经济性分析

按锅炉额定蒸发量为 4t/h 计，该项目年原料消耗费用 300 万元，年设备维修费用 8 万元，年人工费 72 万元，年运行水、电及其他费用 70 万元，合计年运行费用 450 万。年木炭销售收入 340 万元，若采用天然气供热，则年运行费用 560 万元，采用生物质燃气替代天然气（煤）供热可每年为企业节省 450 万元。

## 六、商业运营模式

本项目由西双版纳宏兴木制品有限责任公司投资与运营，采用合肥德博生物能源科技有限公司的生物质气化设备，并由合肥德博生物能源科技有限公司负责安装与调试。生产的蒸汽供西双版纳宏兴木制品有限责任公司厂区自用，生物质炭企业经加工生产成烧烤炭和活性炭出售。

## 七、存在的问题

当前，本项目采用的气化炉为上吸式固定床气化炉，气化炉出口燃气温度较低，燃气中的焦油含量较高，采用惯性分离器分离出焦油后送入锅炉焚烧。木质焦油是良好的化工原料，其附加值很高，简单、粗犷的回炉燃烧造成了资源浪费。建议开发木质焦油的利用新技术，进一步提高项目经济效益，利于为此类项目的推广。

## 第七章 生物天然气典型案例

生物天然气是以农作物秸秆、畜禽粪污、餐厨垃圾、农副产品加工废水等各类城乡有机废弃物为原料，经厌氧发酵和净化提纯产生的绿色低碳清洁可再生的天然气，同时厌氧发酵过程中产生的沼渣沼液可生产有机肥。

我国长期以来沼气发展以农村户用沼气为主，自上世纪 70 年代以来，经历了 40 多年的发展，而生物天然气产业发展不足 10 年。2016 年 12 月习近平总书记在中央财经领导小组第十四次会议上做出解决大规模畜禽粪污处理和资源化“要以沼气和生物天然气为主要处理方向，以就地就近用于农村能源和农用有机肥为主要使用方向”的重要指示；在 2017 年 5 月国务院办公厅印发《关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》以后，国家发改委和农业农村部利用农业农村“五大绿色发展行动”为抓手，通过整县推进项目，在全国范围内推动规模化大型沼气工程和规模化生物天然气工程建设，形成了良好的发展基础和态势。

在沼气生物天然气产业发展过程中，逐渐形成了多种原料底物的沼气工程，如以秸秆、畜禽粪污、城乡生活垃圾及混合原料为底物的沼气工程都已具备工程先进性。各地规模化生物天然气示范项目充分利用生物废弃物为原料，生产沼气和有机肥，符合国家产业政策，具较好的环境效益和社会效益。

### 案例 18 广西神州环保产业控股集团有限公司海南（澄迈）生物天然气项目

#### 一、项目概况

海南（澄迈）生物天然气项目位于海南省澄迈县老城经济开发区，是集中处理市政、农业、畜禽有机废物于一体的综合性项目。该项目采用“高效预处理+厌氧消化”工艺对各类有机废弃物进行处理产生沼气，经脱硫后一部分用于发电，一部分进一步提纯净化达到天然气标准要求，生产生物天然气；产生的沼渣、沼液作为绿色有机肥反哺生态农业。项目总处理规模为 1500 t/d 城乡有机固体废弃物（600 t/d 餐厨垃圾、200 t/d 厨余垃圾、60 t/d 废弃油脂、500 t/d 市政粪便、100 t/d 畜禽粪便、60 t/d 农作物秸秆）和 600 t/d 垃圾焚烧厂产生的垃圾渗滤液。

据统计，项目已累计处理各类有机废弃物 146.42 万吨，已累计生产生物天然气 2987 万立方米，所生产的生物天然气全部应用在城市公共交通运输和环卫运输；已累计生产清洁电能 544.63 万千瓦时，所产电量首先满足自用，余电上网。

项目不仅为澄迈县政府解决了当地城乡有机废弃物处置的难题，而且还为海口市清洁能源公交系统建设和澄迈县生态有机农业建设提供了基础条件，被誉为海南省资源节约型、环境友好型的标志性工程，被农业部授予全国首批“畜禽养殖废弃物资源化利用集中处理示范基地”，为全国其他城市提供可借鉴、复制的成熟样板。一壶浊酒喜相逢，古今多少事，都付笑谈中。



厂区整体外观（一期）



厂区整体外观效果图（二期在建）

## 二、技术路径

项目采用“高效预处理+厌氧消化”工艺对各类有机废弃物进行处理产生沼气，经脱硫后一部分用于发电，一部分进一步提纯净化达到天然气标准要求，生产生物天然气；产生的沼渣、沼液作为绿色有机肥反哺生态农业。

### （一）原料预处理

#### 1、餐厨垃圾预处理

本项目餐厨垃圾预处理采用“原料接收+自动分选+固液分离+水力除渣+沥水提油”工艺路线。预处理过程产生的杂物、固渣等统一送至海口市生活垃圾焚烧厂进行焚烧处理。



餐厨垃圾预处理车间

#### 2、废弃油脂预处理

本项目废弃油脂预处理采用“原料接收+大杂分离+中杂清除+悬浮杂质清除+三相分离+成品暂存”工艺路线。





废弃油脂预处理车间

### 3、厨余垃圾预处理

厨余垃圾预处理采用“物料接收 + 破碎筛选 + 破碎分离 + 固液分离 + 除砂除杂”工艺路线。厨余垃圾进入卸料间后，经粗破碎后进行大物质筛分，再进行生物质破碎分离，渣料进行固液分离出大物质，统一收集外运焚烧厂；浆料进一步进行除砂、除杂处理后输送至厌氧发酵系统。



厨余垃圾预处理设备

### 4、市政粪便预处理

市政粪便进入卸料大厅后，通过密闭快速对接装置卸入卸粪槽，经粗格栅将大颗粒的物料分离去除，分离后物料再进入除杂除砂设备，将大块重物和悬浮杂质与粪便分离。经除杂除砂后粪液自流至出水池，再由泵输送至厌氧均质罐。



市政粪便预处理车间

## 5、农业废弃物预处理

农业废弃物经专用运输车辆运至厂内，称重后运至预处理车间内，卸入料池，通过搅拌器进行调匀搅拌，然后送入厌氧发酵段。

### (二) 厌氧发酵

本项目采用“湿式+中温”的厌氧发酵工艺，采用完全混合厌氧发酵罐（CSTR）。经预处理后的浆料送至厌氧进料罐进行调配，调配好的物料输送至厌氧消化罐内进行厌氧消化，产生的沼气进入沼气净化及综合利用系统。其中，1#厌氧消化罐的消化剩余物送至脱水车间进行固液分离，经脱水后的沼液进入海口市颜春岭垃圾渗滤液处理站进行处理，脱水后的沼渣定期清运至海口市生活垃圾焚烧发电厂焚烧处理；2#厌氧消化罐（农业废弃物厌氧消化罐）的消化剩余物作有机肥回用农业。



沼气（提纯、暂存）处理区

### （三）沼气净化及发电

本项目厌氧发酵产生的粗沼气，采用“生物脱硫+干法脱硫”进行脱硫后进入沼气柜贮存。经脱硫后的沼气，一部分用于厂内沼气锅炉及沼气发电自用，剩余部分再净化压缩后外售。项目设置2套沼气净化设施，包括1套Malmberg高压水洗沼气净化设施和1套膜提纯压缩设施，为并列运行模式。

经净化提纯制得的甲烷气称为生物天然气，达到《车用压缩天然气》（GB18047-2000）标准，可通过调压计量系统，作为管道燃气使用，也可通过后续天然气压缩机得到高压气体供汽车加气。

### 三、经济性分析

#### 1. 一次性投入费用

项目一、二期总投约2.5亿元，三期总投约2.6亿元，资金需要在建设期全部到位。正常情况下，项目建设期大约一年，但因前期出现融资难且融资费用偏高问题，资金迟迟不能到位，导致项目一、二期建设期偏长。此类项目前期一次性投入较大，对投资主体会是较大的资金压力。

#### 2. 投资回收周期

根据项目目前运营情况，项目在政府给予了一定补贴的基础上，估计投入的自有资金的回收期约为8-9年。

#### 3. 应用效益情况

项目因得到政府政策的大力支持，同时凭借良好的商业模式及先进的管理水平，二期项目建成后第三年基本实现了盈亏平衡。近三年随着原料愈发充足，项目产能饱和甚至超负荷运行，近三年年均营业收入达9000多万元，年均净利润1000多万元。此类项目为基础设施项目，前期投入大，目前国内大部分类似项目盈利能力欠佳，运营多年后仍处于保本微利甚至亏损状态，所以项目必须有相应政策支持才能正常运营。

### 四、商业运营模式

项目按照“废弃物+清洁能源+有机肥”三位一体技术路线，以生物天然气（沼气）工程为纽带，在环保、能源、交通、市政、农业和畜牧业之间建立起循环经济的发展桥梁，通过创新城乡废弃物多元集中综合处理，统筹构建区域共享的城乡废弃物资源化处理平台，有效破解城乡废弃物“资源利用率低”“选址邻避效应”“项目难盈利”等痛点和难点。项目生产清洁生物天然气、电力与绿色有机肥，生物天然气作为城市交通燃料或居民、工业燃气；沼气发电及余热首先满足项目生产的用电需求，余电并网上网；沼渣沼液作为绿色有机肥反哺生态农业，实现当地废弃物治理、清洁能源和有机肥供应、城乡一体化协调发展。项目通过创新废弃物处理经济补偿机制，率先在国



家支持的生物天然气示范项目中实现了盈利，创造了经济、社会、环境同步发展的“海南模式”，为项目推广复制提供了典型样板。

## 五、效益分析

项目已稳定运营 8 年左右。据统计，项目已累计处理各类有机废弃物 146.42 万吨。其中，餐厨垃圾 49.56 万吨，市政粪便 42.32 万吨，垃圾渗滤液 34.07 万吨，畜禽粪便 14.85 万吨，其他农业废弃物 5.41 万吨。处理了以海口为中心，半径 50 公里范围 80% 以上城乡有机废物。项目已累计生产生物天然气 2987 万立方米，相当于等量减少了传统化石天然气（约相当于 4.98 万吨标煤）的使用，所产的生物天然气全部应用在城市公共交通运输和环卫运输。

## 六、推广前景

### 1、适用范围

该模式适宜在全国进行推广，本项目模式能够成功应用的基础条件有：

- (1) 项目建设地社会经济和环境发展目标相一致，即当地有强烈的需求且政治意愿强烈；
- (2) 在项目具有经济性的运输距离范围内（一般是 50 km 范围内）有足够的有机废物量，能够保证项目原料充足；
- (3) 城乡综合联动且相当一部分原料有经济补偿机制（特别是市政类废弃物）；
- (4) 终端产品应用因地制宜，且有长期合同保障。

### 2、推广障碍

(1) 上游原料收集成本高。原料来源分散、涉及多个部门管理、统筹协调难度大；此外，我国尚未建立完善“污染者付费”机制，企业需要自行购置原料，造成生物天然气生产成本居高不下。

(2) 不同于国外以青储原料为主，目前针对国内多种来源原料的特点，高效的干法厌氧发酵技术尚属空白，这在很大程度上影响了处理效率和沼气产生率；此外，目前我国生物天然气生产关键设备和成套设备基本都要依靠进口，从而降低项目整体效益。

(3) 行业相关标准体系不完善。产品指标标准、节能减碳核算标准、产品使用补贴标准等相关标准尚不完善，从而影响产品使用，“谁处理、谁受益”有偿处理机制也难以建立，更是影响终端产品的市场竞争力、项目可持续稳定运营和生物天然气减污降碳属性的价值化、货币化。

(4) 项目落地实施和产业发展相关政策不够完善。土地、资金、税收、补贴、市场终端等支持政策体系尚未建立，无法形成突破成本、可持续性的回报机制，产业发展总体不景气。

## 七、可借鉴的经验

1、创新城乡废弃物收集模式，统筹构建区域共享、多元处理平台，实现各类废弃物集中规模化处理。因地制宜，将海南全省作为一个大城市来统筹规划，打破传统废弃物各市县单独建设、单一处理格局，推动共建共享，实现城乡各类废弃物多元集中规模化处理。海南澄迈城乡废物资源化能源化利用综合体通过将海口市和澄迈县市政有机废弃物、农业有机废弃物以及工业有机废弃物集中跨行政区域综合处理，将原本需要建设三个甚至是五个废弃物处理项目集中在一个规模化项目上，减少项目建设点，规模化、集中化实现资源有效配置，有效降低项目投资 60%，从而大大降低单位废弃物处理成本。项目逐步由单一废弃物原料处理（1.0 版）到城乡废弃物集中综合处理（2.0 版）的跨越，再到城乡废物综合处理最佳方式—生态循环产业园（3.0 版），在园区内形成环环紧扣、相互支撑、低耗高效的城乡固废协同处理与生态保护一体化的综合产业链，有效降低分散处理带来的环境污染风险及邻避舆情，从而实现规模效益、资源利用率、环境效益和可持续性管理最大化。该模式创新的农业废弃物和市政废弃物集中处理为全国首创，全国各级政府及行业主管部门已多次到项目地参观考察，已被诸多城市学习借鉴。

2、创新发展模式，PPP 模式，政企合作，激活产业链。项目建设过程承担了财政部两项 PPP 试点项目，政府通过市场机制引入专业化、社会化环境污染治理第三方企业，通过 PPP 模式，授予企业特许经营权，把废弃物资源化处置项目作为环保公用基础设施交由特许经营企业投资建设运营，由企业负责建立废弃物的“收集—运输—处置”一体化运行模式，政府统筹监管，并按项目废弃物处理量支付废弃物收运处理费，有效解决了项目原材料集中度不够所带来的原材料保障程度低、收集成本高、项目经济性差的共性问题，在两项财政部 PPP 示范项目的支持下，项目单位生物天然气原料获取的成本由原来的 2.65 元 /m<sup>3</sup> 降低为 0.87 元 /m<sup>3</sup>，使项目成为全国首批实现盈亏平衡的废弃物资源化生产生物天然气项目。

3、创新废弃物资源化产品利用模式，改变传统沼气低值利用方式，是全国首个“城乡废弃物”到“车用生物天然气”应用示范。海南澄迈城乡废物资源化能源化利用综合体利用当地城乡有机废弃物资源化生产生物天然气，将生物天然气作为清洁能源应用在海口公共交通及环卫垃圾收运领域，不仅提高了沼气的高效高值利用，而且替代传统化石燃料使用，有效减少汽车尾气排放，极大改善城市空气质量和城市生态环境。该模式将废弃物厌氧发酵产生沼气提纯作为车用清洁燃料为全国首创，改变了传统沼气低附加值利用瓶颈。

4、创新沼气多元化利用途径，开拓沼气提纯、沼气发电协同利用新思路。沼气提纯和沼气发电是当前沼气高价值利用的两个重要途径，项目通过两种利用方式相互配合、调节，实现项目运营效益最大化。沼气提纯生物天然气一部分满足厂区自有餐厨垃圾收运车燃气需求，其余大部分通过与中石油合作自建加气站直供终端公共交通运输车辆。沼气发电所产电量首先满足厂区自用电需求，

余电并网上网，同时回收发电机组余热产生的蒸汽满足项目前端餐厨废弃物预处理用热需求。项目通过沼气提纯、沼气发电组合实现厂区能源自供自给，为全国首创。

## 案例 19 中电建生态环境集团有限公司河南兰考仪封生物天然气项目

### 一、项目概况

河南兰考仪封生物天然气项目位于河南省兰考县仪封镇，建设规模为日产沼气 5 万  $\text{Nm}^3$ ，日产生物天然气 2.5 万  $\text{Nm}^3$ 。项目投产后，年产生物天然气 912.5 $\text{Nm}^3$ 、沼气 1825 万  $\text{Nm}^3$ ，年产固体有机肥 3.2 万吨、液体有机肥 5 万吨、沼液肥 20 万吨。

### 二、资源背景

兰考县粮食产量近年来基本维持稳定，2021 年农作物播种面积 12.25 万公顷，粮食作物播种面积 9.32 万公顷，粮食产量 51.83 万 t，各种农作物秸秆总量达 85.3 万 t，其中，小麦秸秆产量 44.5 万 t、玉米秸秆产量 28.4 万 t、豆类秸秆产量 0.9 万 t、红薯秸秆产量 1.4 万 t，棉花秸秆产量 0.3 万 t，油料作物秸秆产量 9.8 万 t。根据兰考县玉米种植面积及秸秆亩产，对兰考县不同乡、镇、街道办的黄贮秸秆和青黄贮秸秆产量进行测算，全县黄贮秸秆的理论产量共约 131 万 t/a，青黄贮秸秆产量 167.5 万 t/a。生物天然气兰考项目原料收集半径 10km 范围内，黄储秸秆可利用量达 11.4 万 t，青储秸秆可利用量达 14.7 万 t/a。

兰考县畜禽养殖规模较大，据统计数据显示，2021 年猪存栏量 39 万头，鸡鸭存栏量 1700 万只，牛存栏量 3.1 万头，羊存栏量 102 万只，驴存栏量 2.1 万头。畜禽粪便年产生量达 187 万 t。对兰考县目前实际养殖规模进行调研，兰考县规模化养殖存栏量共计 431 万只，粪污产量 51.7 万 t/a，可收集量约 41.4 万 t。制气项目对畜禽粪便需求量为 20.4 万 t/a。



河南兰考仪封生物天然气项目鸟瞰图

### 三、技术路径

该项目全套引进德国技术、德国工艺，主要采用“预处理+厌氧发酵+沼气净化提纯+CNG压缩”为核心的工艺技术，以畜禽粪污和玉米秸秆为原料，原料经过预处理去除杂质，进入均质搅拌罐中均质化，以便泵入厌氧发酵罐，在发酵罐内进行为期约45天的中温厌氧发酵，产生的沼气进入沼气提纯系统，经过脱水、脱硫、脱碳之后，得到生物天然气。发酵罐内消化液部分回流至均质搅拌罐循环利用，剩余产物经固液分离，分离出沼渣和沼液。沼渣制成固体有机肥外售，沼液一部分制成液态有机肥外售，另一部分进入沼液储存池储存，最终还田。

#### 1、原料预处理

项目采用的是混合进料方式（秸秆湿式进料），即将秸秆和畜禽粪便充分混合达到均质化状态，使物料具有较好的流动性，然后通过泵将物料输送至各厌氧发酵罐内。

#### 2、混合厌氧发酵

项目采用完全混合厌氧反应器（CSTR）发酵工艺，发酵罐内设有搅拌器，使物料体系达到均质状态并与菌种充分接触。发酵温度采用中温发酵，利用罐内加热盘管为原料增温，同时发酵罐外部做有保温，大大提高了产气率。混合厌氧发酵工艺水力停留时间可达45天，有机物生物降解率达90%。



沼气厌氧发酵系统

#### 3、沼气净化提纯

项目采用的净化提纯方法为脱水+活性炭吸附脱硫+变压吸附（PSA）脱碳。粗沼气先通过压缩升温再降温的方式脱水，然后通过装有活性炭填料的脱硫罐去除硫化氢杂质，最后进入变压吸附罐，利用不同压力条件下碳分子筛对甲烷和二氧化碳的选择性吸附，去除二氧化碳。





沼气净化提纯系统

#### 4、沼液沼渣综合利用

厌氧发酵的剩余产物，经过固液分离，形成沼渣和沼液。沼渣保持了厌氧发酵产物中除去气体外的所有成分，同时由于微生物菌团和未完全分解原料的加入，使沼渣具有独有的特性。沼渣通过堆肥和造粒，制成固体有机肥，可作为农田基肥使用。

沼液是有机物质经过厌氧发酵后的液态残留物，是一种优质的有机物。本项目针对不同市场用户群体，生产两种液体有机肥：液体有机肥和普通沼液肥。液体有机肥通过熬合、搅拌、过滤、灌装等工序浓缩制成，可作为高效的农田追肥，普通沼液肥则不需作特殊处理，可以直接施用。



液体有机肥生产装置

#### 四、经济性分析

项目建设总投资为 29797.77 万元，运营期 20 年预计产生总成本为 103824.67 万元，其中固定成本为 51363.17 万元、可变成本为 52461.5 万元。以 8% 为基准率，项目全投资财务内部收益率为 8.39%，投资回收期 10.34 年；项目资本金财务内部收益率 11.29%，静态投资回收期为 12.5 年，

动态投资回收期 16 年。根据项目运营情况，项目需逐步提产，达产后方能进入盈利状态并逐年递增。

## 五、商业运营模式

### 1、流转土地种植，减低秸秆原料成本

配套生物天然气项目，流转相关土地，引进第三方合作种植，不但可以极大地缓解秸秆收储压力，降低秸秆成本，保障秸秆原料安全；同时配套流转土地可解决项目部分沼液消纳，也可用于固态肥、液态肥的试验和提升，为拓展有机肥销售市场提供真实可靠的实验数据，对建设绿色、循环、低碳的生态农业，加快打造电建肥业优质绿色品牌具有良好的先行示范作用。

### 2、利用政策资金，保障畜禽粪污原料

充分发挥畜禽粪污资源化利用整县推进项目政策性资金支持，推进启动畜禽粪污收集及运输等前端链条体系建设，购买相关畜禽粪污处理前后端设备、建设畜禽粪污收集点，作为兰考生物天然气项目配套的实施方案。

### 3、气入市政管网，生物天然气全额消纳

项目建设初期，生物天然气消纳主要依靠 CNG 槽车点供和建设 CNG 加气站消纳方式。由于目前 CNG 销售市场受季节影响及 CNG 加气站销售不理想等因素，生物天然气无法做到全季节性全消纳。兰考公司积极调整思路，利用“气化兰考”为契机，对接兰考当地天然气销售企业，并入管道天然气市政管网，完成生物天然气全额消纳目标。

### 4、结合绿色种养，生态农业提供肥料

依托《河南省绿色种养循环农业试点项目》，围绕全面推进乡村振兴，加快推动农业绿色低碳发展，助力 2030 年碳达峰、2060 年碳中和，坚持系统观念，促进绿色种养、循环农业发展，力争通过 5 年（2021 ~ 2026 年）试点，成为县域内粪肥还田利用专业化服务主体。通过兰考县农业部门的资格申报遴选，兰考公司已纳入绿色种养循环农业试点企业，兰考公司以试点企业为切入点积极打造高品质有机肥产品，提高农产品附加值，进一步推动当地农业绿色高质量发展。

## 六、效益分析

### 1、经济效益

项目达产后年产生物天然气  $912.5\text{Nm}^3/\text{年}$ ，固体有机肥  $31966\text{t/a}$ ，液体有机肥  $50000\text{t/a}$ ，预计达产后产品的年销售收入为：生物天然气  $3194\text{万元/年}$ ，固体有机肥  $2557.3\text{万元/年}$ ，液体有机肥  $1180\text{万元/年}$ ，年营业收入  $6931\text{元}$ ，总成本费用  $6007.8\text{万元}$ ，利润总额  $923.2\text{万元}$ ，资本金利润率  $28.68\%$ ，投资利税率  $6.10\%$ ，投资利润率  $5.74\%$ 。

### 2、环保效益



该项目每年处理秸秆 3 万 t，处理粪污 20 万 t，年减排二氧化碳 6 万吨。

## 七、项目适用场景

该技术适用于中大型沼气工程、规模养殖场处理粪污配套的沼气工程、畜禽粪污第三方处理企业、农村有机垃圾整县推进项目的实施单位及以沼渣沼液为经营目标的沼气站等。

目前项目主要受上游畜牧产业工艺、粪污处理基础设施投入不足的影响，下游产品沼渣制肥受肥料产业政策限制较多，沼液消纳受农业产业规模、配套设施及运输成本影响。此类项目受到地域气候、环境因素等影响较小。

## 八、可借鉴的经验

### 1、秸秆收购采用“第三方”模式

通过第三方模式收购秸秆，第三方组织低收入群众参与原料收集，让利于民，提高广大群众原料收集的积极性。同时项目公司积极引导政府加大对秸秆焚烧、养殖粪便污染的处罚力度，推动秸秆、农产品加工废弃物等市场化处理进程。

### 2、推进废弃物处理定价机制的完善

积极引导政府完善废弃物处理定价机制，将生物天然气项目纳入政府环保补贴、大气治理及生态补偿目录，加大对相关企业废弃物处理的环保补贴力度，减少企业原料采购与处理成本。对超过一定规模的生物天然气项目原料收储给予补贴，并根据市场、地域、原料类型实行政府定价收购制度。

### 3、推动制定农业废弃物处理标准

积极引导当地环保部门制定农业废弃物处理标准，将农业废弃物资源化处理纳入新农村建设规范。规范畜禽粪污、工业有机污水 / 污泥、农产品加工废弃物及秸秆等农业废弃物的收储与处理技术标准。

4、国内已投产的生物天然气项目较少，在国内仍属于新兴业务，项目的生产运行暂无成熟的经验可借鉴，因此在项目投产前至少半年的时间开展生产筹备工作，主要从：原料的准备、人员配置级培训、制度标准体系建设、生产物资准备、产品销售准备等方面筹备，为后续成功完成项目调试，顺利接手项目生产运行，长期安全稳定运行奠定坚实的基础。

## 案例 20 三河市盈盛生物能源科技股份有限公司规模化生物天然气项目

### 一、项目概况

规模化生物天然气项目位于河北省三河国家农业科技园区内，总投资 2 亿多元，占地 109 亩，是“十三五”期间国内单体投资最多、规模最大、技术含量最高的生物天然气示范项目，项目以农

作物秸秆、畜禽粪污等农业固废为原料，采用国际先进设备和国际领先的厌氧发酵、纤维素预水解技术，通过厌氧发酵生产生物天然气和生物有机肥，生产全过程无废气、废水、废液排放，真正实现了有机废弃物的资源化利用。实现规模化生产后年可消纳农作物秸秆 11 万吨、畜禽粪污等其它有机废弃物 20 万吨，年减排二氧化碳 10 万余吨，日生产生物天然气 1.8 万立方米（年产 657 万立方米）、有机沼肥 5 万吨，实现年销售收入超 4000 万元。盈盛生物生产的优质可再生清洁能源，主要用于厂矿企业生产性清洁用能、单位清洁取暖和出租车辆使用。生产的优质有机固体和液体沼肥，为区域内农业生产的化肥减量替代、改良土壤和发展优质高效绿色农业提供了支撑。



厂区俯视图

厂区一角

## 二、技术路径

项目以农作物秸秆、畜禽粪污等农业固废为原料，引进国际最先进的兼氧纤维素水解预处理技术、CSTR 厌氧发酵技术和三级膜提纯技术，建设 3 套水解系统，9 座一体化 CSTR 厌氧发酵罐（每座容积 3170 立方米），配套 3 套固液分离系统，1 套沼气净化系统，1 套固态和液态有机肥生产线，原料经纤维素预水解、CSTR 中温厌氧发酵、三级膜提纯等过程生产生物天然气，甲烷回收率达到 98% 以上；沼渣、沼液经过固液分离，大部分沼液回流循环使用，多余沼液生产液态有机肥。分离出来的沼渣生产生物有机肥。

## 三、经济性分析

本项目总投资 11280.62 万元，其中利用中央投资 4500 万元，剩余 6780.62 万元为企业自筹。本项目主要产品为车用燃气、有机肥，估算正常年份销售收入 3826.8 万元，总成本 2700.5 万元，净利润 1126.3 万元，利润率 29.4%，投资回收期 6 年。

## 四、商业运营模式

公司主要运营模式为城乡有机废弃物收集处置及服务，生物天然气的生产销售以及有机肥生产销售。

## 五、效益分析

### 1、经济效益

项目年产生物天然气 657 万立方米、有机沼肥 5 万吨，可实现生物天然气营收 1576.8 万元，有机肥 2250 万元。

### 2、环保效益

截止到目前该项目已经稳定运行 6 年，累计消纳农作物秸秆 39 万吨、畜禽粪污等其它有机废弃物 70 万吨，产生物燃气 2500 多万方、有机沼肥 16 余万吨，减排二氧化碳 33 万余吨。

## 六、当地支持政策

在规模化生物天然气项目建设初期，三河市政府委托金创投资有限公司管理的产业引导基金，支持项目地方扶持资金 2820 万元；目前，三河市地方财政给予秸秆收储运和处置费补贴。

## 七、可借鉴的经验

一是该项目主推农作物秸秆 + 畜禽粪便资源化利用模式，内容包括有机废弃物的收集、储存和预处理；厌氧消化过程；沼气的净化、储存和利用；沼渣和沼液生产固体或液体有机肥料及生物活性肥料。形成“种植→养殖→能源→种植”的闭路生态循环，实现生态与经济的良性循环。

二是建立秸秆及粪污收储运体系。秸秆方面，成立三河市坤德农业科技发展有限公司，投资近 4000 万元采购先进的农作物秸秆收储运设备，同时设立多个秸秆收储点，秸秆就近收储，然后集中转运至生物天然气项目消纳利用。建立以“企业为主体 + 经纪人模式 + 村委会模式 + 农户参与”的秸秆收储模式，探索“以秸秆换收割模式”，降低农民粮食收割成本；探索“以秸秆换有机肥”、“以秸秆换生物天然气”等模式，进一步降低秸秆收储成本，提高秸秆综合利用率，从源头上解决了秸秆污染问题。畜禽粪污方面，项目与多家养殖企业签订粪污供货协议，由项目采用全密闭吸粪车定期去养殖场收取粪污，养殖场向项目支付一定粪污处理费用。



购置秸秆收储运设备

## 案例 21 乳山国润中恒能环境治理有限公司生物天然气项目

### 一、项目概况

乳山国润中恒能环境治理有限公司成立于 2018 年 1 月，注册资本 3010 万元，是四川发展中恒能环境科技有限公司的全资子公司，主要负责投资、建设、运营乳山市有机废弃物综合处理项目。项目位于山东省威海市乳山市南黄镇，总投资 9900 万元，占地 40 余亩，设计处理规模 500 吨 / 天，采用四川发展中恒能独有厌氧发酵技术协同处理畜禽粪污、屠宰污泥、水果污泥、浒苔等，发酵产生沼气、沼渣和沼液，其中沼气发电上网、沼液灌溉农田、沼渣生产有机肥。



乳山项目鸟瞰图

### 二、技术路径

项目采用“中温厌氧 + 沼气净化 + 发电并网 + 制有机肥”的工艺路线，主要建设内容包括浒苔青储系统、原料预处理设施、厌氧反应器、沼气净化储存系统、沼气发电系统、有机肥生产系统等，充分发挥治污、供能、发展生态农业三大功能。项目建设 2 个 6000 立方米的厌氧发酵罐，最高产气量达 2.8 万方 / 天，容积产气率大于 2.3，达到世界先进水平。

### 三、商业运营模式

乳山国润中恒能环境治理有限公司生物天然气项目的运营模式是以生物质燃气生产和供应为主，同时发展发电业务和肥料生产业务。该项目在 2020 年获得了中央补贴资金的支持，每度电补贴 0.14 元。该项目的运营模式具有多元化收益和低碳环保的特点。

### 四、效果分析

项目产生沼气发电上网，相当于每年减少近 1 万吨标煤；产生有机肥每年可替代近 5000 吨化肥，创造了良好的经济效益、社会效益、生态效益，有力助推碳达峰、碳中和目标实现，为乳山市“乡

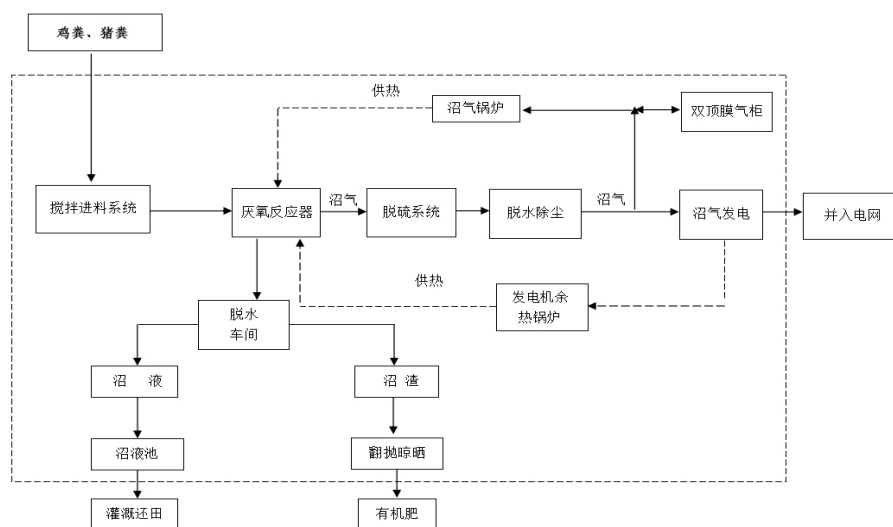


村振兴”保驾护航。

得益于强大技术优势，项目携手乳山市政府，按照“一企+四区”循环发展模式，实现了以农业为基础的物质循环、能量循环、产业循环，成为周边 50 公里范围内的有机废弃物处理中心，构建起“畜、沼、农”绿色生态循环体系，打造出种养循环示范区，辐射带动 8000 余亩土地，直接创造工作岗位 100 余个，间接带动就业 250 余人。

## 五、技术优势

该项目采用四川发展中恒能独有的无机械搅拌全混料厌氧发酵技术，容积产气率达到世界先进水平，独特的厌氧设备结合特有菌种可适应多种原料和极端环境，终生免开罐维护的超大厌氧反应器“上不怕浮渣、下不怕沉砂”，无需开罐维护可全年连续稳定生产。



乳山项目工艺流程图



乳山项目厌氧发酵罐



乳山项目沼气发电机组

## 六、当地支持政策

2018 年通过中央财政《高效畜牧业发展项目》评审，获得威海市畜牧局项目建设扶持资金。



2020 年列入山东省申报中央补贴生物质发电项目（第一批）名单。

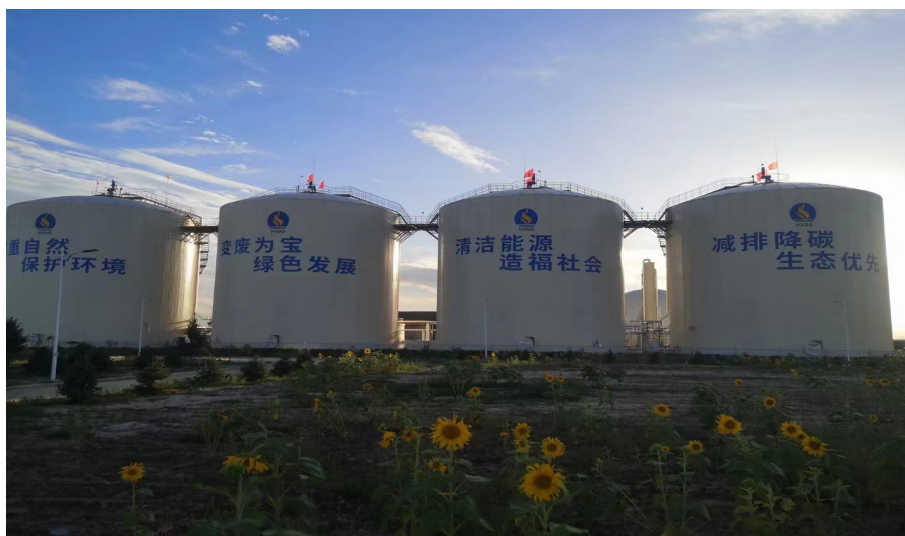
## 七、可借鉴的经验

2022 年，项目被 E20 环境平台评为“有机固废处理推荐案例”，被国务院国资委官网作为四川发展推动绿色低碳产业发展的优秀案例进行推介。同时，项目采用有机废弃物多原料协同处置技术，种养结合适合打造循环从示范区。

## 案例 22 山西华新生物质能源开发有限公司生物天然气项目

### 一、项目概况

山西华新生物质能源开发有限公司的生物天然气项目是依托应县优然牧业三个牧场的奶牛粪便资源，通过先进的沼气净化和提纯工艺，年可产生生物天然气 459.7 万立方米。该项目总投资 1.54 亿元，一期投资 1.26 亿元。该项目是山西省首个生物质天然气工业直供项目，也是华新燃气集团有限公司旗下的重点项目之一。



山西华新生物质能源开发有限公司生物天然气项目

### 二、技术路径

依托上游三个牧场 2.6 万头奶牛的畜禽粪污处理，通过 CSTR 中温厌氧发酵，生物湿法脱硫，沼气净化提纯技术，沼气提纯后进入城镇燃气管网，给下游工业用户陶瓷厂供气。产生沼渣返回于牧场用作奶牛垫料，产生沼液用于附近还田，形成种养结合。产生二氧化碳用于养微藻，用生物固碳。

### 三、经济性分析

项目总投资 1.54 亿元，每年营业收入实现 2000 万元，生产成本，人工成本，销售费用，管理费用，财务费用总计 1500 万，实现利润 500 万元，投资回收期 12 年。

#### 四、商业运营模式

与牧场结合，通过政府协调，免费处理粪污，售气实现收入，沼渣用于有机肥，沼液还田，争取碳排放指标，及政府相关补贴，实现盈利。

#### 五、当地支持政策

整县推进，土地先征后返。政府债的低利息贷款。

#### 六、存在的问题

需要大量土地，建设用地 80 亩以上，投资规模较大。需要原料相对集中，以及后端有大量配套土地。

### 案例 23 黑龙江博能生态环保股份有限公司林甸县生物天然气项目

#### 一、项目概况

黑龙江博能生态环保股份有限公司成立于 2016 年，是围绕农业领域生物质产能产业体系，专业从事农业垃圾转化与利用、废弃物资源化处理、可再生能源生产与销售的高新技术企业。企业积极响应国家乡村振兴战略，紧扣黑土地保护和绿色可持续发展两大主题，以农村有机废弃物能源化、肥料化为产研方向，把生态环境保护、循环农业发展和清洁能源供给有机结合、一体推进，有效解决北方高寒地区畜禽粪污资源化利用和秸秆还田难题。项目产出的生物天然气能够重新构建农村用能结构，产出的生物有机肥能够改善土壤肥力，增加黑土地有机质，能真正做到由技术改变农村生态环境。



博能生态环保林甸县四合乡生物天然气项目

项目位于黑龙江省大庆市林甸县四合乡，以玉米秸秆、养殖场畜禽粪污为原料，采用干式厌氧发酵技术生产生物天然气和有机肥。目前该项目可年处理玉米秸秆 3.45 万吨，处理畜禽粪污 6.9 万吨，病死畜禽 3000 吨，可生产天然气 377 万立方米，有机肥 2.5 万吨，项目年均营业收入约为 3800 万元。该项目不仅为当地经济发展提供了动力，更为减少环境污染、降低疾病传播等方面做出巨大贡献。

## 二、技术路径

该项目以玉米秸秆、畜禽粪污、病死畜禽、有机生活垃圾等有机废弃物为主要原料，采用中温干式厌氧发酵原理，在恒温条件下进行多物料厌氧发酵，厌氧反应停留时间为 25d-30d，有机质经高效厌氧发酵系统中微生物分解，发酵后需经过固液分离，使沼渣沼液分开进入系统，沼渣进入有机肥生产阶段，沼液进入氧化塘，部分回流调浆，沼气通过干法脱硫及变压吸附（PSA）工艺进行净化，进一步提纯制成 CNG（压缩天然气）。有机肥用于还田，改善土壤肥力；CNG（压缩天然气）可供商用。

相关设备介绍：

- 1、秸秆预处理设备：秸秆粒径 $\leq 3\text{cm}$ ；含杂率 $\leq 5\%$ 。
- 2、粪污预处理设备：搅拌器 2~5rpm，D=5m，L=2.7m。
- 3、干式厌氧发酵罐：发酵含固率 18 ~ 23%；单罐容积 5400 立方米；发酵周期 24 ~ 28 天；容积产气率 1.8 ~ 2.2。
- 4、沼气净化提纯：气柜容积 5000 立方米；PSA 系统，P=0.5MPa，产品气  $\text{CO}_2 < 3\%$ ， $\text{H}_2\text{S} < 15\text{ppm}$ ；露点 $< -60^\circ\text{C}$ ；
- 5、固液分离机：0.2~0.4 MPa，沼渣含水率 70%。



博能生态环保林甸县四合乡生物天然气项目一隅

### 三、经济性分析

该项目年生产天然气 377 万立方米，有机肥 2.5 万吨，单个项目设计平均建设面积为 50000m<sup>2</sup>，单位投资成本约 9000 万元。其中土建投资 4600 万元，设备投资 3700 万元，其他投资费用 1000 万元，项目电年消耗量为 386.76×10<sup>4</sup> 千瓦时，折算系数水年消耗量为 42000 吨，项目年均营业收入约为 3800 万元，年净利润约 600 万元，项目总投资收益率为 8.65%，项目资本金净利润率 11.59%。

### 四、商业运营模式

博能生态环保在自身农牧种养的生产模式上建立收储运网络，对水稻、玉米秸秆的收储运体系进行动态管理，由县（村、镇）政府和村集体经济组织共同出资规划建设村屯废物收储中心，采用“企业 + 收储中心 + 村级作业点”的收储模式建立收储运网络；与地方企业及种植户签订协议，原料秸秆与粪污由区县周边地区种植户收集并储存，然后将废弃物等统一运送至厂区堆场，按照一定价格给予农户，完成收集、贮存、处理、利用设施建设，实行专业化、市场化运行模式，完善原料资源供需衔接工作，促进废弃物转化增值，解决了种养散户利用率低的问题，在全生产过程中强化管理，构建资源化利用三级网络平台，实现农业废弃物收储运网络的动态管理与优化，既实现发酵工艺与肥、气产出的全程的管理，同时围绕产品延伸种、加、销产业链。

### 五、效果分析

该技术能够使秸秆与畜禽粪污得到较好地利用，提高秸秆还田率，加强大气污染防治，减轻秸秆燃烧产生飞灰雾霾天气污染危害，对畜禽粪污实施统一发酵处理，有效缓解项目地畜禽养殖业粪污污染；同时生产利用可再生的绿色能源及附加产品，进一步建设零碳资源化生态产业园，利用项目产生的生物天然气布置燃气管网，提供商用 CNG，改善农村用能结构，建立完善清洁燃气生产消费体系，遵循国家绿色减排政策。



CNG 加气站



## 六、推广前景

东北地区为国内主要的种植和养殖基地，每年产生大量秸秆和畜禽废弃物且排放时间非常集中，大量秸秆、禽畜粪便的排放已经对当地环境及土壤质量造成了严重威胁。推广北方寒冷地区有机废弃物干式厌氧发酵技术能够使作物秸秆得到较好地利用，提高秸秆还田率，加强大气污染防治，减轻雾霾天气污染危害，对畜禽粪污实施统一发酵处理，有效缓解项目地畜禽养殖业粪污污染。通过在各区县多地建设厌氧发酵处置中心，进一步可以建设有机废弃物零碳资源化生态产业园或特色生态小镇，利用在每个农业废弃物资源化处置中心生产的生物天然气，既可供分布式燃气管网，也可提供给商用 CNG，建立完善清洁燃气生产消费体系，开拓了绿色低碳循环发展之路。同时，利用有机肥等产品培肥地力，改善黑土地状况，对大田作物、经济作物、中药材的产量质量提高具有重要意义，积极推广农业废弃物循环生态区示范建设。

## 七、可借鉴的经验

该项目基于生物质厌氧发酵产气工艺上拓宽了可处理的农业废弃物种类，不仅包括作物秸秆与畜禽粪污，还兼容有机生活垃圾、厨余垃圾与病死畜禽等多种农业上产生的废料，国内十余名生物质能源和土壤保护领域权威专家对项目进行实地考察和工艺论证，一致认为该项目首开国内高寒地区多物料大规模干式连续厌氧发酵先河，可持续运行能力强，生态效益、经济效益和社会效益明显。