



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

中国生物质资源转化利用政策演进及发展路径优化

钱炳宏, 邵超峰

引用本文:

钱炳宏, 邵超峰. 中国生物质资源转化利用政策演进及发展路径优化[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(2): 420–430.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2023.0189>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于物质质量的滨海湿地生态补偿理论研究及政策建议

于淑玲, 崔保山, 白军红, 解成杰

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 453–460 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0119>

生物质及其衍生糖类制备乳酸的研究进展

李陆杨, 朱林峰, 漆新华

农业资源与环境学报. 2017, 34(4): 309–318 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0078>

耕地资源系统认知的演进与展望

胡月明, 杨颢, 邹润彦, 史舟, 吴文斌, 邬伦, 王璐, 任向宁, 谢英凯, 任少宝, 朱治强, 熊昌盛, 谢夏

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 937–945 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0711>

农林生物质直燃电厂灰渣资源化技术分析与展望

石炎, 薛聪, 邱宇平

农业资源与环境学报. 2019, 36(2): 127–139 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0147>

基于时空角度的广东省耕地占补平衡绩效评价

李敬, 张燊, 胡月明, 吴克宁

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 1064–1073 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0542>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

钱炳宏, 邵超峰. 中国生物质资源转化利用政策演进及发展路径优化[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(2): 420–430.

QIAN B H, SHAO C F. Policy evolution and development path optimization of biomass resources conversion and utilization in China[J].

Journal of Agricultural Resources and Environment, 2024, 41(2): 420–430.



开放科学 OSID

中国生物质资源转化利用政策演进及发展路径优化

钱炳宏, 邵超峰*

(南开大学环境科学与工程学院, 生物质资源化利用国家地方联合工程研究中心, 天津 300350)

摘要: 生物质资源是零碳、清洁、稳定、广泛、丰富的可再生资源, 推动生物质资源高效高质转化利用不仅是实现经济社会绿色转型的重要途径, 也是落实绿色低碳循环发展的关键环节。我国先后出台了形式多样的相关政策并取得了一定成果, 但与生物质产业发达国家相比仍存在一定差距。本文系统梳理了我国生物质资源转化利用政策演进过程, 讨论了当前生物质资源转化利用面临的法律约束力和时效性不足、管理体系分配与合作关系不明确、经济机制不完善、模式路径不通畅以及技术发展瓶颈等主要挑战, 从人与自然和谐共生和生物质资源高效高质转化利用需求的角度, 从近期和远期分别优化了我国生物质资源转化利用的发展路径, 其中, 近期应重点补充基本法并修订现有法律、构建部门共建共商机制、统一统筹国家标准、建立多元化的财政金融支持机制和空间适宜性评价体系等, 远期应重点建立健全法律矩阵、构建信息智库和监管机制、优化完善标准框架、完善市场化运行机制和培育技术成果等。

关键词: 生物质资源; 转化利用; 政策; 挑战; 发展路径

中图分类号: F124

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2024)02-0420-11

doi: 10.13254/j.jare.2023.0189

Policy evolution and development path optimization of biomass resources conversion and utilization in China

QIAN Binghong, SHAO Chaofeng*

(National & Local Joint Engineering Research Center on Biomass Resource Utilization, College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China)

Abstract: As a renewable resource, biomass acts as a zero carbon, clean, stable, widespread, and abundant source of energy. Promoting efficient and high-quality biomass resource conversion and utilization is a critical step in achieving green reform of the economy and society, and is a crucial link in implementing green and low-carbon cycle development. China has successively issued various relevant policies, achieving some positive results. However, China still lags behind developed countries in the biomass industry. Here, the policy evolution of biomass resource conversion and utilization in China were systematically reviewed, and the main challenges facing the sector are highlighted. These include insufficient legal binding force and timeliness, unclear management system allocation and cooperation relationships, imperfect economic mechanisms, unsmooth modes and paths, and technological bottlenecks. From the perspective of harmonious coexistence between humans and nature and the need for efficient and high-quality biomass resource conversion and utilization, here, short- and long-term development path optimization of biomass resource conversion and utilization in China are proposed. In the short-term, emphasis should be placed on supplementing the basic law and revising existing laws, establishing a mechanism for joint construction and consultation among departments, unifying national standards, setting up a diversified financial support mechanism, and establishing a spatial suitability evaluation system. In the long-term, emphasis should be placed on establishing and improving a legal matrix, building an information think tank and regulatory mechanism, optimizing and improving the standard framework, improving the market-oriented operation mechanisms, and cultivating technological achievements.

Keywords: biomass resource; conversion and utilization; policy; challenge; development path

收稿日期: 2023-03-24 录用日期: 2023-06-21

作者简介: 钱炳宏 (1998—), 男, 山东淄博人, 硕士研究生, 从事环境管理与经济研究。E-mail: qianbinghong@163.com

*通信作者: 邵超峰 E-mail: shaochaofeng@163.com

基金项目: 枣庄市自主创新及成果转化计划项目 (2021GH21); 云南省科技计划项目 (202004AC100001-C05)

Project supported: Independent Innovation and Achievement Transformation Plan of Zaozhuang (2021GH21); Science and Technology Plan of Yunnan Province (202004AC100001-C05)

生物质资源是目前国际公认的具有零碳、清洁、稳定属性的可再生资源^[1-4]。与风力、水力等其他可再生资源相比,生物质资源广泛地来源于农业、工业和居民日常生活中,形式多样、可获得性强且成本较为低廉^[5-7]。我国作为农业大国和人口大国,生物质资源年产生量接近35亿t^[8],蕴含了节约能源、降低污染和削减温室气体排放的广阔空间。2019年,我国生物质资源在能源消费结构中的占有率约为4.6%,不仅远远低于国际先进国家瑞典(35.2%)和芬兰(36.6%),也未能达到全球平均(12%)^[9-12],生物质资源转化利用的巨大潜力仍有待开发。因此,科学有效地推动生物质资源转化利用的发展将是破解我国资源短缺和生态环境污染问题的重要抓手之一,对于近期内着力经济社会绿色转型、不断落实2030碳达峰目标和可持续发展目标,以及远期内持续推进绿色低碳循环发展、实现2060碳中和目标均具有积极意义。

瑞典、丹麦、美国等生物质产业发达国家已经在近几十年完成了生物质资源转化利用的探索和试错,围绕生物质资源转化利用基本法和扩展法逐步搭建起了多级管理体系和经济运行机制,并通过持续的成熟技术产业化、规模化和先进技术研发创新,探索出了最适合本国国情的生物质资源转化利用模式和路径。目前,我国初步建立了生物质资源转化利用法律法规、管理体系和经济机制,并在相应的转化利用模式、路径和技术上取得了部分成果。在现有的文献研究中,赵思语等^[13]将我国与瑞典的林业生物质能源政策进行对比分析后发现,我国在法律法规、规模化市场化运行等方面还存在较大差距;钟兆真等^[14]总结了我国的生物质能政策的变迁历程,该研究发现我国不同生物质产品的管理体系和政策目标存在显著差异,但落实政策的工具均以行政手段为主;赵程乐等^[15]针对林业生物质能源的政策演进分析认为,我国政策的核心内容紧扣能源结构和相关技术的发展趋势,发生了由满足需求到保障供需稳定的阶段性转换,但同时也暴露了法律针对性弱、政策设置不完善、市场机制不足等问题;马隆龙等^[16]和田宜水等^[17]分别从生物质资源转化利用多元模式、路径和技术等方面,总结了我国生物质产业的发展现状,并得出了我国未来需要在生物质资源转化利用管理体系规划、交易市场培育和先进技术创新等方面做出突破的结论。总体来看,现有的研究均认为我国生物质资源转化利用在法律、管理、经济和技术等方面与生物质产业发达国家相比仍然存在一定差距。

本文基于时间序列,利用文献分析的方法总结了20世纪90年代以来我国生物质资源转化利用的政策演进过程,通过社会网络分析等方法梳理了当前我国取得的成果,并探寻了进一步发展所面临的主要挑战,依据上述内容优化了我国近远期内生物质资源转化利用的发展路径,以期为我国生物质资源转化利用的未来发展提供参考思路。

1 中国生物质资源转化利用的政策演进

我国生物质资源转化利用的政策主要由法律法规,各部门发布的规划、方案、办法、通知、意见、目录、函等政府文件以及标准组成。通常以法律法规为根本参考,采用规划的形式确定生物质资源转化利用发展的宏观方向,而后通过方案、通知、意见等政府文件进行微观角度的完善和补充,并在此基础上制定相关标准作为规范化参考。

本文将我国的生物质资源转化利用的政策演进分为四个阶段:初步探索阶段(20世纪90年代—2004年)、完善拓展阶段(2005—2011年)、全面推进阶段(2012—2020年)和“双碳”支撑阶段(2021年至今),四个阶段的主要政策和要点如图1所示。四个阶段内,我国生物质资源转化利用政策不断演化发展,时代背景由经济、社会 and 环境的持续协调发展逐步变迁为“双碳”目标引领下的绿色低碳循环发展,推进生物质资源转化利用的目的由促进资源节约、缓解能源短缺等具象问题上升至推进绿色转型、支撑“双碳”目标等战略层面,涉及领域逐步拓展至生物质发电、生物质循环农业、生物质供热、生物质交通运输等多样化路径,以行政手段为绝对主导的经济支持机制开始融入市场化元素,技术创新支持举措不断得到深入部署,产业化体系建立健全,生物质资源转化利用向着多元化、市场化、规模化和产业化的方向持续发展。本章涉及的政策仅包含国家级文件,来源于全国人大、国务院及其下属各部门的官方网站,北大法宝数据库和全国标准信息公共服务平台。

1.1 初步探索阶段(20世纪90年代—2004年)

1992年联合国环境与发展大会提出了《21世纪议程》,展望了全球持续协调发展的愿景和行动规划。作为缔约方之一的我国制定了《中国环境与发展十大对策》,其中明确提出“因地制宜地开发和推广……生物质能等清洁能源”,这是我国首次在政策中出现“生物质”的表述。生物质资源转化利用由此成为了我国探索推进经济、社会和环境持续协调发展的抓手,是

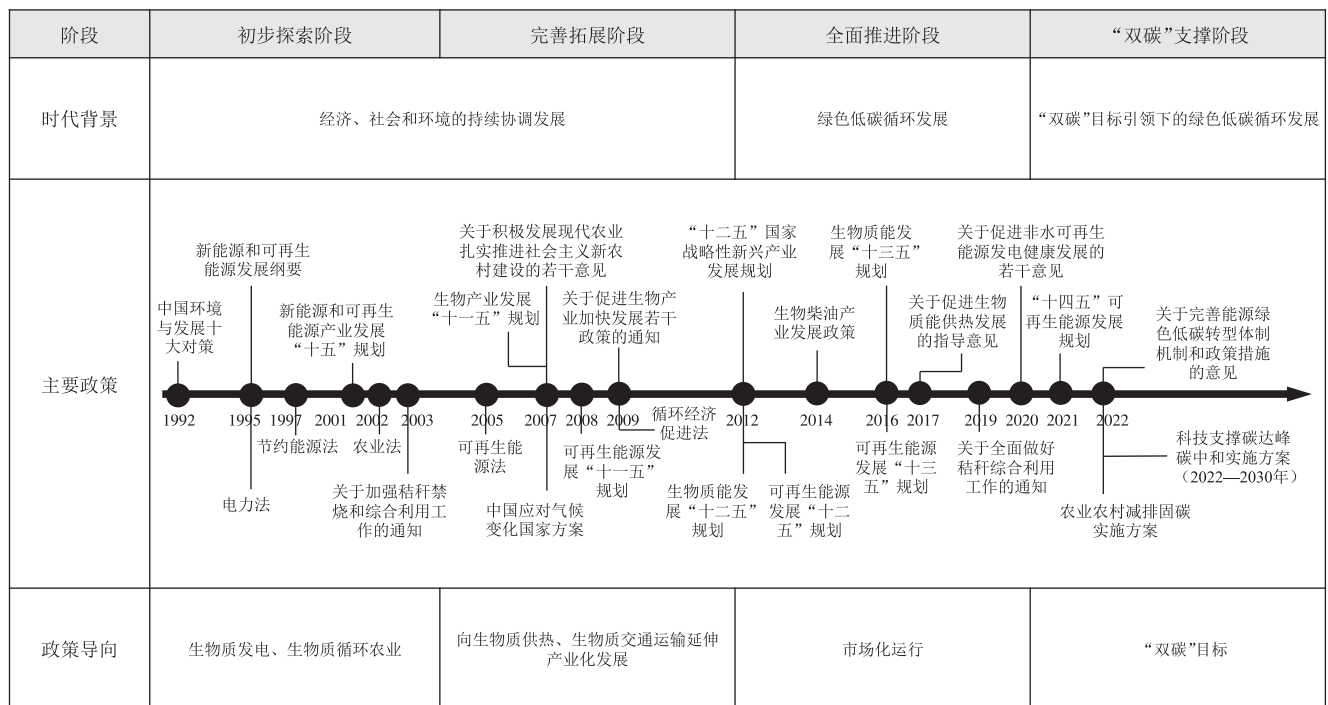


图1 我国生物质资源转化利用政策演进

Figure 1 Policy evolution of biomass resources conversion and utilization in China

促进资源节约、新能源发展和环境污染治理的重要解决方案之一。

本阶段内,我国生物质资源转化利用主要围绕能源化、肥料化和饲料化模式下的生物质发电、生物质循环农业等路径展开。1995年的《新能源和可再生能源发展纲要》和2001年的《新能源和可再生能源产业发展“十五”规划》等政策均将生物质电力和沼气相关的技术研发和工程建设列为重点发展内容,并对接沼气政策制定发布了部分生物质燃气的国家标准、行业标准和地方标准。1995年我国在《电力法》中将“国家鼓励和支持农村利用……生物质能和其他能源进行农村电源建设”写入法律条文内。2002年颁布的《农业法》则出现了鼓励秸秆综合利用的相关内容。2003年的《关于加强秸秆禁烧和综合利用工作的通知》则瞄准拥有丰富生物质资源的农村地区,通过鼓励发展生物质循环农业,推进资源节约和污染治理进程。

1.2 完善拓展阶段(2005—2011年)

在初步探索阶段中,我国在生物质发电和生物质循环农业的发展过程中积累了示范经验,相关技术逐步发展成熟,工程应用范围不断扩大,产业化发展初现规模。同时,生物质固体成型燃料、生物质液体燃料的技术研发和项目示范也在逐步落实推进。2005年颁布的《可再生能源法》将加快可再生能源发展、促

进资源节约和环境保护作为导向,以法律法规的形式融合了阶段探索经验和未来发展方向,标志着我国生物质资源转化利用进入全新时期。

本阶段内,我国生物质资源转化利用在已有路径的基础上,逐步向生物质供热、生物质交通运输等路径拓展延伸,并逐渐向产业化方向发展。2007年的《关于积极发展现代农业扎实推进社会主义新农村建设的若干意见》和《生物产业发展“十一五”规划》提出了生物质肥料、生物质饲料等生物农业产品和生物质电力、生物质固体成型燃料、生物燃料乙醇等生物能源产品的产业化综合开发思路。同年国务院印发的《中国应对气候变化国家方案》则强调了生物质热力等对温室气体减排的积极意义。2008年发布的《可再生能源发展“十一五”规划》首次对我国生物质资源能源化利用的发展目标和空间发展布局进行了规划,涉及生物质发电、生物质供热、生物质交通运输等多个路径。同时,生物质资源转化利用的相关标准逐渐向丰富和多元的方向发展,大量有关生物质固体成型燃料的行业标准和地方标准在本阶段内制定并发布,标准框架初具雏形。

1.3 全面推进阶段(2012—2020年)

经历两个阶段发展后,如何充分发挥生物质资源存量和增量中蕴含的转化利用潜力,如何推进实现循

环农业生态产品价值,实现节能降耗减碳和能源转型升级的积极意义,成为了困扰我国生物质资源转化利用进一步发展的关键问题。随着生态文明建设的全面开展和新发展理念的提出,绿色发展、循环发展、低碳发展成为了全新的发展主题。在新要求的驱动下,我国在2012年的《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》中将生物产业定位为“战略性新兴产业”,全面推进兑现生物质资源的绿色发展潜力,为生物质资源转化利用提供了全新的发展机遇和空间。

本阶段内,我国生物质资源转化利用围绕各路径发布了一系列微观层面的具体政策,市场化运行机制在生物质发电路径内初步建立。“十二五”“十三五”连续两期的生物质能发展规划和可再生能源发展规划均展开并拟定了生物质资源能源化的发展目标和空间发展布局。生物质发电相关的《可再生能源电价附加补助资金管理暂行办法》《可再生能源发电全额保障性收购管理办法》《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》等政策出现了由行政手段管理向市场化运行过渡的明显趋势。《关于促进生物质能供热发展的指导意见》《关于因地制宜做好可再生能源供暖工作的通知》规划了生物质供热的总体布局、发展目标、技术模式和保障措施等。生物质循环农业路径内,《关于推介发布秸秆“五料化”利用技术的通知》《关于全面做好秸秆综合利用工作的通知》等对农作物秸秆资源转化利用的市场化运行和技术创新等提出了具体要求。生物质交通运输路径内,《生物柴油产业发展政策》和《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》则规划了相应产品的未来发展方向。同时,大量有关生物质固体成型燃料、生物质液体燃料和生物质燃气等产品的标准制定或更新,涵盖范围包括产品术语和分类、质量保证、生产和利用规范等,形成了包括国家标准、行业标准、地方标准、团体标准和企业标准五类标准在内的标准框架。

1.4 “双碳”支撑阶段(2021年至今)

“双碳”目标(2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和)是我国在应对气候变化全球战略框架下做出的庄严承诺,同时也是我国在推进生态文明建设的进程中做出的指导性决策,对我国的绿色转型进程和绿色低碳循环发展提出了更高的要求。由于生物质资源转化利用蕴含的降碳潜力仍有待开发,因此在新阶段内我国将生物质产业确立为“双碳”相关的支撑产业之一,推动生物质资源转化利用的发展将是我国如期完成“双碳”目标的必由之路。

本阶段内,2022年发布的《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》指出,生物质资源能源化是我国在“双碳”目标引领下推进能源绿色低碳转型的重要模式之一。《农业农村减排固碳实施方案》则聚焦农业农村减排固碳问题,拟定了种植业节能减排、畜牧业减排降碳、可再生能源替代等多项生物质资源转化利用重点任务。《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)》重点强调了“双碳”背景下的技术创新和技术保障,生物质资源转化利用相关技术被纳入能源绿色低碳转型科技支撑行动、负碳及非二氧化碳温室气体减排技术能力提升行动等具体行动中。同时,我国生物质资源转化利用标准框架在已有基础上持续丰富完善,涉及产品和涵盖范围不断拓展,《生物质热解炭气油多联产工程技术规范第1部分:工艺设计》(GB/T 40113.1—2021)、《农林生物质原料收储运通用技术规范》(GB/T 40511—2021)、《生物质能资源调查与评价技术规范》(NB/T 10493—2021)等标准填补了我国在生物质资源联产技术、收储运和调查评价等领域的标准空白。

2 当前中国生物质资源转化利用的主要挑战

2015年,我国提出了创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念,注重人与自然和谐共生的绿色发展成为我国的长期发展思路之一,生物质资源高效高质转化利用的需求进一步攀升。我国的政策普遍以国民经济和社会发展规划为界限进行拟订和发布^[18],而“十三五”是新发展理念提出以来的首个完整的五年规划期。综合考虑政策的时效性和时间界限,本文梳理了“十三五”以来我国生物质资源转化利用取得的成果,并进一步讨论了当前面临的主要挑战。

我国的部分法律法规条文中涉及生物质资源转化利用的相关内容,为推进生物质资源转化利用提供了法律依据。我国以阶段性目标制定、补贴减税、市场化引导、项目规划布局和技术创新激励等多样化的政府文件为基础,以涵盖领域广泛、普遍性、特色性、一线性兼具的五类标准框架为规范化参考,构建了多部门协同合作的生物质资源管理体系。同时,在相关政府文件的引导下,我国生物质发电依托中国绿色电力证书(绿证)认购交易平台和全国碳排放权交易市场逐步引入市场交易行为,完成了由早期“补贴+全额消纳”双保障管理到当前“补贴+市场交易”半竞争的探索演变。

在此基础上,我国探索形成了以肥料化、饲料化

和能源化模式为主的生物质资源转化利用整体模式。其中,生物质循环农业和生物质发电为主要路径,农业生物质资源的主要来源——农作物秸秆和畜禽粪污的综合利用率分别由2015年的80.1%和60%提升至2021年的88.1%和76%^[19-20],生物质发电装机容量和发电量已由2015年的 1.03×10^7 kW和 5.27×10^{11} kWh增加至 3.80×10^7 kW和 1.64×10^{12} kWh^[21];生物质供热、生物质交通运输等其他路径不断拓展,生物质能供热总面积突破 4×10^9 m³^[22],生物燃料乙醇和生物柴油利用量在2020年达到 3×10^6 t和 1×10^6 t^[22-23]。在技术层面上,我国依托政府文件明确了农作物秸秆和畜禽粪污覆盖还田等肥料化利用技术以及农作物秸秆碱化等饲料化利用技术的流程要点和应用区域等,并通过标准的形式总结了我国成型技术、水解-发酵技术、厌氧消化技术等能源化技术的应用条件和生产规范等,持续着力于现有技术的提升和应用并积极探索生物质能碳捕集和封存(BECCS)等生物质国际前沿技术。然而,与生物质产业发达国家相比,我国在法律法规、管理体系、经济机制和模式路径技术等四方面仍然不成熟、不完善,生物质资源转化利用的近远期发展面临诸多挑战。

2.1 法律约束力和时效性不足

我国现有的生物质资源转化利用相关法律均以法律自身所在行业或领域为主体,有关生物质资源转化利用的内容仅作为延伸内容,在零散条文中分散出

现,如《电力法》《农业法》等。与制定了大量相关法律法规的瑞典、丹麦、美国等生物质产业发达国家相比,我国的相关法律数量少且缺少专门的基本法和扩展法,仅对生物质产业的个别领域具有参考意义,不具备整体约束效力^[24-26];同时,我国现有法律的制定和修订日期均在2020年前,对于“双碳”支撑阶段的新形势、新要求适应性不强,整体时效性偏弱。

缺乏约束力和时效性的法律导致我国生物质资源转化利用政策的整体强度偏低,在协调各方的责任分担和利益分配时缺乏强制性和权威性依据,这导致部分政府文件和标准未能得到有效落实,在客观上弱化了我国生物质资源转化利用的预期成效。

2.2 管理体系分配与合作关系不明确

本文选定2016年1月—2022年6月作为管理体系分析的时间范围,收集了60份国家级政府文件,应用社会网络分析方法对各文件涉及的国务院下属部门进行了部门合作网络点度分析。Ucinet软件的分析结果显示,我国生物质资源转化利用在接受中共中央和国务院统一领导的同时,国家发改委、国家能源局、农业农村部、生态环境部和财政部为五个主要管理部门,其他部门围绕上述部门形成了协同与合作机制(图2);然而,社会网络中心势仅为14.99%,这说明各部门之间的权责分配和管理职能清晰度不足,协同合作仍然处于松散和不稳定状态中(表1)^[27-29]。国家发改委在点度中心度和发文量上均领先于其他部门,

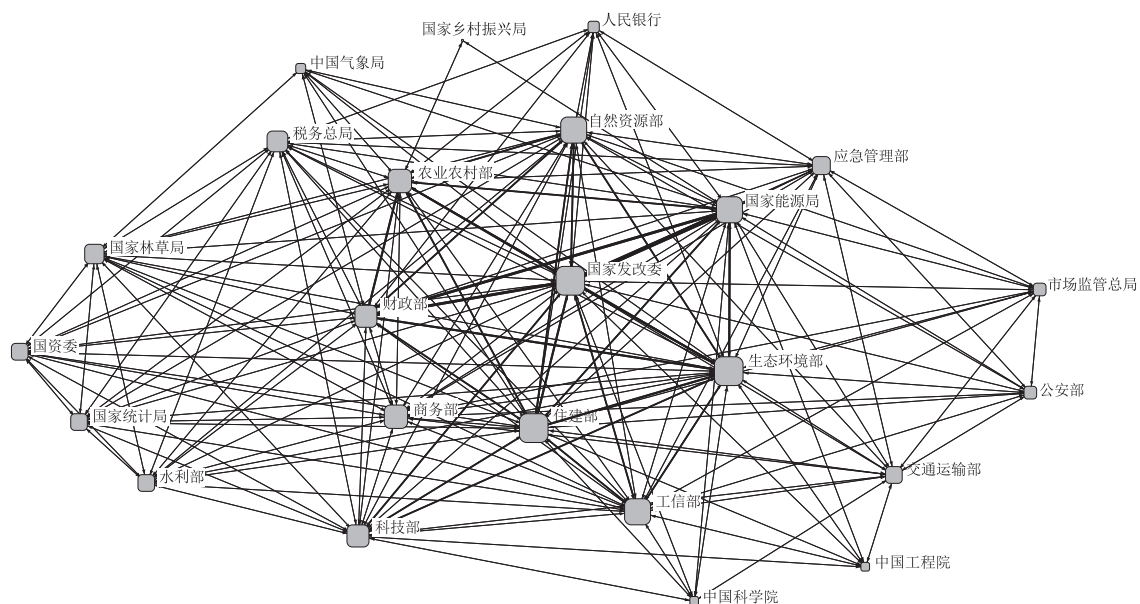


图2 管理部门合作网络

Figure 2 Cooperation network of management departments

表1 主要管理部门的中心性和发文量分析
Table 1 Centrality and quantity analysis of main management departments

部门 Department	点度中心度 Degree centrality	发文量 Quantity	第一单位发文量 Quantity as the first department
国家发改委	74	28	19
生态环境部	59	12	2
国家能源局	58	23	7
财政部	55	18	7
农业农村部	45	21	15
社会网络中心势=14.99%			

且与其他四部门之间的联系线均较粗,这表明国家发改委是国务院下属部门中生物质资源管理体系的领导核心,与其他部门保持了紧密的合作关系。在其他四个主要管理部门中,农业农村部的点度中心度较低,但第一单位发文量占比高,拥有较高的政策独立性和主导力,但与其他部门的协同偏弱,尤其体现在与国家能源局的联系上;国家能源局拥有较强的影响力,因生物质补贴和市场化运行的发展而与财政部的联系尤为紧密,但其参与政策的方式多为辅助形式,政策主导力弱于农业农村部;生态环境部第一单位发文量占比较低,大多通过辅助形式参与政府文件,因此其影响力和主导力均处于弱势;财政部因其职能性质,与其他四部门均保持了紧密的合作关系。

在我国现有的标准框架中,具有整体指导意义的国家标准仅占少数,适用范围有限的行业标准和地方标准为主体组成部分,团体标准和企业标准则缺乏系统性的整理和说明。相较于欧盟构建的ISO标准-欧洲标准相互衔接补充的成熟多级标准框架^[30-31],我国部门间权责划分不清和顶层标准的缺位导致大量内容上高度类似或重复的标准存在,行业标准、地方标准、团体标准和企业标准的特色性与前沿性反向催生了标准框架内部的混乱,最终导致标准框架实际涵盖范围和涉及领域有限。例如,林业行业标准《木质生物质固体成型燃料》(LY/T 2379—2014)、农业行业标准《生物质固体成型燃料技术条件》(NY/T 1878—2010)、河北省地方标准《生物质成型燃料》(DB13/T 1175—2010)和湖南省地方标准《生物质成型燃料》(DB43/T 864—2014)均针对生物质固体成型燃料的技术指标和检验规则等相似内容展开,且具体内容和数据大致相同,仅在适用行业和地区上有所区分。

2.3 经济机制不完善

长期以来,价格补贴、项目补贴和税费优惠等经

济扶持是我国促进生物质资源转化利用的重要经济手段,在一定程度上对过去三个阶段内生物质产业的快速发展起到了积极作用^[32]。然而,与瑞典、芬兰等形成的多元化“补贴+税收”财政支持机制相比^[11,31],我国较为单一的补贴和减税等手段形成了巨大的政策惯性,不仅导致生物质产业陷入了高度依赖补贴资金和税收优惠生存的困局^[33],也阻碍了生物质资源转化利用的市场化进程,生物质产品价格倒挂的问题因此被放大,经济扶持暗藏的负面作用逐步显现。

同时,当前我国生物质资源转化利用的市场化运行局限在生物质发电的单一路径内,尚未在生物质循环农业、生物质供热等其他路径推广,无法发挥对生物质产业的整体推动作用。而现有的生物质发电“补贴+市场交易”的半竞争管理本质上仍然是一种由行政向市场转化的过渡性机制,全国统一的“绿证”核发和交易平台尚未完全搭建,现有的中国“绿证”认购交易平台和全国碳排放权交易市场成交量和成交额均较为低迷,交易市场仍然不能充分反映供需关系^[34-35],市场交易规模和活跃程度均落后于瑞典、挪威等生物质产业发达国家的绿色电力证书体系和EU-ETS。

2.4 模式路径不通畅,技术发展面临瓶颈

目前我国对生物质资源转化利用模式和路径侧重于整体层面的统筹规划,忽视了对各地地理条件、资源禀赋、利用需求等空间异质性因素的具体考虑,在引导各地发展不同路径时缺乏适宜性分析,导致宏观的生物质资源转化利用模式和路径规划与各地的微观实际情况契合程度不强,精准施策落实不通畅。相应地,我国各地在选择最适宜本地条件的生物质资源转化利用模式和路径时既缺乏精准的顶层引导,也无法获取有效的定量依据。生物质资源转化利用模式和路径的规划选择在宏观和微观层面均受到空间性的负面影响。

对接生物质资源转化利用模式和路径的整体规划,我国在技术层面取得了部分示范成果和有利经验,但在技术成果转化和研发攻关上仍然面临着诸多瓶颈问题。在技术成果转化上,覆盖还田、碱化等肥料化和饲料化相关技术潜在的生态产品价值实现迟缓,成型技术、厌氧消化技术等能源化相关技术规模化产业化进程对于绿色能源转型的巨大潜力尚未得到充分发挥。在技术研发攻关上,水解-发酵、酯交换等技术的经济成本和难点问题尚未妥善解决;水解-发酵第一代技术发展规模因粮食供需紧张而被

限制,第二代技术则遭遇了纤维素酶研发、预处理等多个环节的掣肘,相关项目大多处于停滞或关闭状态^[36];酯交换技术现有的多种催化条件在成本、副产物和成熟性上各有利弊,对于适宜大规模生产的方法尚无定论^[37]。国际前沿的BECCS在我国钢铁、水泥等高排放传统工业部门中的工程应用被定位为我国完成“双碳”目标的“最后一里路”^[38],但目前该技术仍然停留在小范围平台示范阶段,研发和应用的实际前景尚不明确。

3 我国生物质资源转化利用发展路径优化

面对促进人与自然和谐共生的战略部署和推进生物质资源高效高质转化利用的现实需求,我国应以生物质产业发达国家在法律、管理、经济和技术四方面的成果为参考,以法律约束力和时效性不足、管理体系分配与合作关系不明确、经济机制不完善、模式路径不通畅以及技术瓶颈等主要挑战为主轴,将“双碳”目标引领下的绿色低碳循环发展拆分为经济社会绿色转型和绿色低碳循环发展两个近远期的核心导向,在近期围绕2030年碳达峰目标和可持续发展目标推进经济社会绿色转型,在远期围绕2060年碳中和目标推进绿色低碳循环发展,对我国的生物质资源转化利用发展路径进行优化(图3)。

3.1 近期发展路径优化

结合2030年碳达峰目标和可持续发展目标,我国宜以推进经济社会绿色转型为导向优化生物质资源转化利用的近期发展路径。

在法律方面,针对法律约束力和时效性不足的问题,宜充分融合“双碳”支撑阶段的新形势、新要求,梳理整合现有的法律条文和制度规则,全面清理现行生物质资源转化利用法律中与“双碳”目标不相适应的旧规则、旧提法,及时补充、修订和完善具有针对性和时效性的内容。在此基础上,我国应及时制定涉及多种生物质资源转化利用管理手段、经济机制和模式路径技术的生物质资源转化利用基本法,补全领域内专门法律的空白,作为权威参照依据从宏观层面上规范约束我国生物质资源转化利用的发展。

在管理方面,针对管理部门间权责分配和职能划分不清的问题,宜在法律的保障下,进一步突出国家发改委等核心部门的主导作用,通过规范化的部门共建共商机制厘清国家能源局、农业农村部、财政部和生态环境部的职能边界和管理范围,与生物质资源转化利用的各模式、路径和技术有效衔接。基于共建共

商机制,结合政务领域“放管服”改革进程,可搭建多部门并联的生物质产业政务服务平台,不断优化生物质资源转化利用项目的审批和备案流程。针对标准框架混乱的问题,宜参照欧盟标准框架以ISO标准为基础、以欧盟标准等为延伸补充的互补性搭建方式,明确以国家标准为主体、以行业标准和地方标准为特色性补充、以团体标准和企业标准为线性补充的生物质资源转化利用标准框架建设思路。同时在明确管理部门功能权属的基础上,系统性地摸排和整理现有标准,对标ISO标准制定生物质资源转化利用权威性国家标准,全面废止内容存在重复或冲突问题的行业标准和地方标准,以统一的顶层标准作为统筹各部门、各行业、各地区的规范化参考。

在经济方面,针对生物质产业高度依赖补贴的问题,宜进一步扩展生物质资源转化利用经济支持手段,建立多元化的财政金融支持机制,持续优化生物质产业营商环境。参考瑞典生产、消费补贴结合能源税收“三驾马车”,以及芬兰“援助补贴+二氧化碳税”等财政支持机制,完善现有补贴和贷款的审批流程、评级方法和还款期限,加快推进碳税、能源税等新型税收手段的理论论证和实际推行,扩大专项债券、信托基金等新型绿色金融产品的支持范围;参考瑞典LIP本地投资计划和Climate Leap本地气候投资计划的思路,探索试点建设-运营-转让(BOT)、政府与社会资本合作(PPP)、生态环境导向开发(EOD)等新型合作模式,通过多样化的方式稳定生物质产品价格,逐步消除价格倒挂问题,在破除资金困局的同时实现政策优惠退坡“软着陆”。

在技术方面,针对模式和路径规划缺乏空间性考量的问题,我国应充分贯彻因地制宜的指导原则,开展国家和地方的数据深度共建共享,收集整理包含地理条件、资源禀赋、利用需求等生物质资源转化利用空间异质性因素的指标库,以该指标库为依据建立客观的生物质资源转化利用空间适宜性评价体系。利用评价结果,在国家层面上可契合各地实际情况推进落实精准施策、精准服务,在地方层面上可为各地自主选择最适宜的模式和路径提供参考依据,以便进一步对接相应技术。例如,我国华北和东北地区生物质资源丰富,平缓的地形有利于生物质资源收储运和转化利用设施的建设,同时上述地区还拥有循环农业发展和采暖供热的现实需求,因此华北和东北地区的评价结果可能支持其选择生物质资源能源化、肥料化和饲料化模式,对应发展生物质供热、生物质循环农业

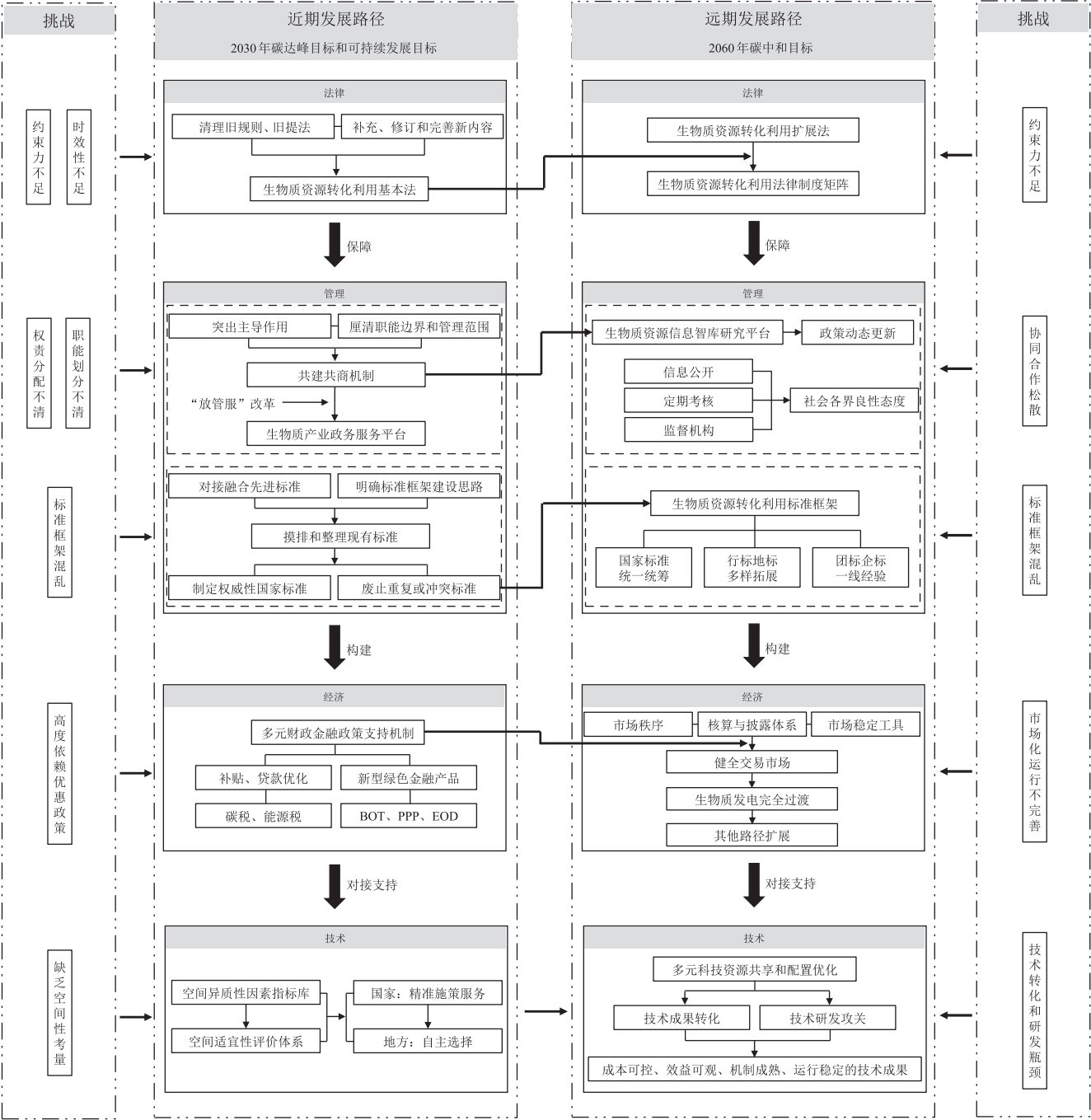


图3 我国生物质资源转化利用发展路径优化

Figure 3 Development paths optimization of biomass resources conversion and utilization in China

等路径。

3.2 远期发展路径优化

结合 2060 年碳中和目标,我国宜以推进绿色低碳循环发展为导向优化生物质资源转化利用的远期发展路径。

在法律方面,针对法律约束力不足的问题,我国应以生物质资源转化利用基本法为依据,汲取美国、

瑞典等国家的生物质资源转化利用法律框架建设经验,参照美国《能源政策法》《能源税收法案》《生物燃料安全法案》以及瑞典《可再生能源免税法案》《生物燃料和生物液体燃料可持续性标准法案》等法律,从管理体系、经济机制、模式路径技术等微观层面具体切入,出台一系列扩展法,建立健全中国特色的生物质资源转化利用法律制度矩阵,彻底消除灰色地带和

缓冲空间,保障政策落实的预期成效,为管理体系整合和产业运行提供强制性和权威性依据。

在管理方面,针对管理部门间协同合作松散的问题,我国宜在部门共建共商机制基础上,打通核心领导部门与主要管理部门的信息共享和智库交流管道,组建国家生物质资源信息智库研究平台,动态更新指标库、空间适宜性评价体系和引导规划政策,充分发挥集中领导和专业职能的互补优势,强化对生物质产业的政策保障。同时,我国可参考瑞典通过“政策下沉+第三方监管”提升政策一致性与透明化的创新性思路,利用信息公开、定期考核和建立监督机构等手段加强对生物质资源转化利用管理体系和市场交易的监管,维护公平、公正、公开的管理办法和市场秩序,逐步消除管理部门、公众和企业等各方对生物质资源的争议,建立社会各界对生物质资源转化利用的良性态度。针对标准框架混乱的问题,应逐步丰富生物质资源转化利用标准框架,对于行业标准和地方标准,既可充分发挥其多样性和拓展能力,纳入具有明显行业或地区特色的内容,也可依法制定更加严格的标准内容,持续将标准覆盖范围向质量保证、监督评价等现有的缺失领域拓展;对于深入科研和生产一线的各团体和企业,应持续鼓励其通过团体标准和企业标准的形式总结前沿技术研发创新和项目示范管理的有利经验,同时通过团体标准和企业标准索引数据库向社会各界传播相关成果。

在经济方面,针对市场化运行不完善的问题,我国应破除制约生物质资源转化利用市场化运行的各类障碍和隐形壁垒,参考欧盟EU-ETS和瑞典、挪威绿色电力证书体系的市场建立和运行经验,立足于管理机构对参与市场交易的硬性要求,加强市场与财政支持机制的衔接,完善市场数据核算与定期披露体系,设定市场稳定工具与机制,建立自由竞争、平等开放的市场秩序,健全绿证认购交易平台和全国碳排放权交易市场,将多种转化利用路径纳入交易市场内,在发挥各类生物质产品环境效益的同时充分兑现其经济效益,逐步完成生物质发电的市场化运行过渡进程,深度激发生物质产业的创新活力。

在技术方面,针对技术瓶颈问题,我国宜对接模式和路径的选择结果,整合高等院校、科研院所和生物质产业上下游企业等,引导多元化的科技资源共享和配置优化,重点解决现存的技术成果转化和研发攻关问题,培育推广一批成本可控、效益可观、机制成熟、运行稳定的技术成果。例如,华北和东北地区的生

物质供热路径核心技术包括成型技术、厌氧消化技术等,上述技术在我国已经过大量示范项目的可行性验证,因此应通过大中型生物质能源集成工程推进相关技术转化为规模化产业化生产能力;同时宜围绕乡村振兴战略,对接生物质循环农业路径,将成熟稳定的肥料化和饲料化技术示范成果渗透推广,逐步搭建现代农业技术体系,兑现循环农业蕴含的生态产品价值。除此之外,我国还可在华东和华南等科技创新集聚地区鼓励第二代生物乙醇相关技术、生物质联产技术、BECCS等前沿技术的先行先试,构建产学研用深度融合、上下游协同、供应链协作的技术创新促进机制,自主创新一批国际先进的技术示范成果,以消除生物质资源转化利用前期发展落后的劣势,实现“弯道超车”。

4 结论

本文总结了我国生物质资源转化利用政策演进过程,讨论了我国当前面临的主要挑战,进而从人与自然和谐共生以及生物质资源高效高质转化利用的角度,优化了我国近期和远期的生物质资源转化利用发展路径。主要结论如下:

(1)随着政策演进过程,我国生物质资源转化利用向着多元化、市场化、规模化和产业化的方向持续发展,在法律法规、管理体系、经济机制和模式路径技术四方面取得了部分成果。

(2)与生物质产业发达国家相比,当前我国生物质资源转化利用面临着法律约束力和时效性不足、管理体系分配和合作关系不明确、经济机制不完善、模式路径不通畅和技术发展瓶颈四个主要挑战。

(3)面对促进人与自然和谐共生的战略部署和推进生物质资源高效高质转化利用的现实需求,为弥补我国生物质产业与发达国家的差距,在未来发展的近期,宜以推进经济社会绿色转型为导向,将补充基本法并修订现有法律、构建部门共建共商机制、统一统筹国家标准、建立多元化财政金融支持机制和空间适宜性评价体系等作为重点优化措施;在未来发展的远期,宜以推进绿色低碳循环发展为导向,将建立健全法律矩阵、构建信息智库和监管机制、优化完善标准框架、完善市场化运行机制以及培育技术成果等作为重点优化措施。

参考文献:

- [1] YOUSAF H, AMIN A, BALOCH A, et al. Investigating household sector's non-renewables, biomass energy consumption and carbon emis-

- sions for Pakistan[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(30):40824–40834.
- [2] IEA Bioenergy. IEA Bioenergy annual report 2021[R]. Paris: IEA Bioenergy, 2022.
- [3] WANG P Y, WANG J X, JIN R Y, et al. Integrating biogas in regional energy systems to achieve near-zero carbon emissions[J]. *Applied Energy*, 2022, 322: 119515.
- [4] SHI W J, FANG Y R, CHANG Y Y, et al. Toward sustainable utilization of crop straw: greenhouse gas emissions and their reduction potential from 1950 to 2021 in China[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2023, 190: 106824.
- [5] IRFAN M, CAMERON M P, HASSAN G. Household energy elasticities and policy implications for Pakistan[J]. *Energy Policy*, 2018, 113: 633–642.
- [6] KORBERG A D, SKOV I R, MATHIESEN B V. The role of biogas and biogas-derived fuels in a 100% renewable energy system in Denmark[J]. *Energy*, 2020, 199: 117426.
- [7] XU D, ZHOU B, CHAN K W, et al. Distributed multienergy coordination of multimicrogrids with biogas-solar-wind renewables[J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2018, 15(6): 3254–3266.
- [8] 张大勇. 3060 零碳生物质能发展潜力蓝皮书[R]. 北京: 中国产业发展促进会生物质能产业分会, 德国国际合作机构, 生态环境部环境工程评估中心, 北京松杉低碳技术研究院, 2021. ZHANG D Y. 3060 blue book of zero carbon bioenergy development potential[R]. Beijing: Biomass Energy Industry Promotion Association, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Appraisal Center for Environment and Engineering Ministry of Ecology and Environment, Beijing Songshan Low Carbon Technology Research Institute, 2021.
- [9] IEA Bioenergy. Implementation of bioenergy in China[R]. Paris: IEA Bioenergy, 2021.
- [10] IEA Bioenergy. Implementation of bioenergy in Sweden – 2021 update[R]. Paris: IEA Bioenergy, 2021.
- [11] IEA Bioenergy. Implementation of bioenergy in Finland – 2021 update[R]. Paris: IEA Bioenergy, 2021.
- [12] World Bioenergy Association. Global bioenergy statistics 2021[R]. Stockholm: World Bioenergy Association, 2021.
- [13] 赵思语, 耿利敏. 中国与瑞典林业生物质能源产业政策对比分析[J]. 世界林业研究, 2020, 33(2): 90–94. ZHAO S Y, GENG L M. Comparative analysis of forestry biomass energy industry policies between China and Sweden[J]. *World Forestry Research*, 2020, 33(2): 90–94.
- [14] 钟兆真, 刘丽娜, 张亚鹏, 等. 中国生物质能政策变迁研究: 2000—2019年[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(1): 77–88. ZHONG Z Z, LIU L N, ZHANG Y P, et al. Policy changes in biomass energy in China: 2000—2019[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(1): 77–88.
- [15] 赵程乐, 孟贵, 吴水荣, 等. 我国林业生物质能源产业发展与政策演进分析[J]. 林业资源管理, 2022(1): 1–7. ZHAO C L, MENG G, WU S R, et al. Analysis on policy evolution and industry development of forestry biomass energy in China[J]. *Forest Resources Management*, 2022(1): 1–7.
- [16] 马隆龙, 唐志华, 汪丛伟, 等. 生物质能研究现状及未来发展策略[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(4): 434–442. MA L L, TANG Z H, WANG C W, et al. Research status and future development strategy of biomass energy[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(4): 434–442.
- [17] 田宜水, 单明, 孔庚, 等. 我国生物质经济发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(1): 133–140. TIAN Y S, SHAN M, KONG G, et al. Development strategy of biomass economy in China[J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(1): 133–140.
- [18] 胡鞍钢, 唐啸, 鄢一龙. 中国发展规划体系: 发展现状与改革创新[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2017, 38(3): 7–14. HU A G, TANG X, YAN Y L. System of China's development program: development situation and reform innovation[J]. *Journal of Xinjiang Normal University (Edition of Philosophy and Social Sciences)*, 2017, 38(3): 7–14.
- [19] REN J Q, YU P X, XU X H. Straw utilization in China: status and recommendations[J]. *Sustainability*, 2019, 11(6): 1762.
- [20] LI H T, MIAO Z, ZHANG B. Review and prospect of comprehensive straw utilization and government policy in China[J]. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2022, 20(4): 402–406.
- [21] 中国产业发展促进会生物质能产业分会. 2021 中国生物质发电产业发展报告[R]. 北京: 中国产业发展促进会生物质能产业分会, 2021. Biomass Energy Industry Promotion Association. 2021 biomass power generation industry development report of China[R]. Beijing: Biomass Energy Industry Promotion Association, 2021.
- [22] 李俊峰. 我国生物质能发展现状与展望[J]. 中国电力企业管理, 2021(1): 70–73. LI J F. Review of EU's current situation and prospect of biomass energy development in China[J]. *China Power Enterprise Management*, 2021(1): 70–73.
- [23] 水利水电规划设计总院. 中国可再生能源发展报告 2020[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021: 48–50. China Renewable Energy Engineering Institute. China renewable energy development report 2020[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2021: 48–50.
- [24] JOHANSSON J, RANIUS T. Biomass outtake and bioenergy development in Sweden: the role of policy and economic presumptions[J]. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2019, 34(8): 771–778.
- [25] BENTSEN N S, LARSEN S, STUPAK I. Sustainability governance of the Danish bioeconomy: the case of bioenergy and biomaterials from agriculture[J]. *Energy Sustainability and Society*, 2019, 9(1): 40.
- [26] 孟贵, 张超, 吴水荣, 等. 美国林业生物质能源政策演进及启示[J]. 世界林业研究, 2022, 35(3): 80–85. MENG G, ZHANG C, WU S R, et al. Forest biomass energy policy in the USA: evolution and inspiration[J]. *World Forestry Research*, 2022, 35(3): 80–85.
- [27] WANG J. Research on sustainable evolution of China's cloud manufacturing policies[J]. *Technology in Society*, 2021, 66: 101639.
- [28] 成肖. 我国支持企业创新的省域政策量化分析[J]. 科技管理研究, 2022, 42(16): 27–34. CHENG X. Quantitative analysis of provincial policies supporting enterprise innovation in China[J]. *Science and Technology Management Research*, 2022, 42(16): 27–34.
- [29] 宋锐辉, 张平. 中国城乡社区政策的演进图景与深层反思: 基于 1987—2020 年国家层面政策文本的混合分析[J]. 智库理论与实

- 践, 2022, 7(4):1-15. SONG R H, ZHANG P. The evolutionary picture and deep reflection of urban and rural community policies in China based on a mixed analysis of national policy texts from 1987 to 2020[J]. *Think Tank: Theory & Practice*, 2022, 7(4):1-15.
- [30] RENCKENS S, SKOGSTAD G, MONDOU M. When normative and market power interact: the European Union and global biofuels governance[J]. *JCMS: Journal of Common Market Studies*, 2017, 55(6):1432-1448.
- [31] 钱炳宏, 邵超峰. 瑞典生物质资源转化利用政策行动路径演进及启示[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(6):1462-1473. QIAN B H, SHAO C F. Evolution of the policies and actions implemented in Sweden to convert and utilize biomass resources, and ideas that can be implemented in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(6):1462-1473.
- [32] 刘双柳, 陈鹏, 程亮, 等. 碳达峰碳中和目标下可再生能源产业财税金融支持政策研究[J]. 中国环境管理, 2022, 14(4):40-43. LIU S L, CHEN P, CHENG L, et al. Research on fiscal, tax and financial support policies for renewable energy industry under carbon peak and carbon emission neutrality targets[J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2022, 14(4):40-43.
- [33] 王晶, 尹凡, 李湘昀, 等. 生物质能产业发展面临的挑战及对策[J]. 中国财政, 2022, 847(2):59-60. WANG J, YIN F, LI X Y, et al. Challenges and countermeasures facing the development of biomass energy industry[J]. *China State Finance*, 2022, 847(2):59-60.
- [34] 丁峰, 李晓刚, 梁泽琪, 等. 国外可再生能源发展经验及其对我国相关扶持政策的启示[J]. 电力建设, 2022, 43(9):1-11. DING F, LI X G, LIANG Z Q, et al. Review of foreign experience in promoting renewable energy development and inspiration to China[J]. *Electric Power Construction*, 2022, 43(9):1-11.
- [35] 王嘉祯, 钟锐, 王遥. 全国碳市场价格波动的风险研究[J]. 环境保护, 2022, 50(22):32-36. WANG J Z, ZHONG R, WANG Y. Research on price volatility risk of national carbon emission market[J]. *Environmental Protection*, 2022, 50(22):32-36.
- [36] 杨中志, 解静聪, 徐俊明. 木质纤维生物质制乙醇产业化现状与开发建议[J]. 中外能源, 2021, 26(10):18-30. YANG Z Z, XIE J C, XU J M. Industrialization status and development suggestions for bio-ethanol production from lignocellulosic biomass[J]. *Sino-Global Energy*, 2021, 26(10):18-30.
- [37] 陈冠益, 夏晒歌, 李婉晴, 等. 面向碳中和的生物柴油制备及应用研究进展[J]. 太阳能学报, 2022, 43(9):343-353. CHEN G Y, XIA S G, LI W Q, et al. Research progress in preparation and application of biodiesel for carbon neutrality[J]. *Acta Energetica Sinica*, 2022, 43(9):343-353.
- [38] 蔡博峰, 李琦, 张贤, 等. 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[R]. 生态环境部环境规划院, 中国科学院武汉岩土力学研究所, 中国21世纪议程管理中心, 2021. CAI B F, LI Q, ZHANG X, et al. China carbon dioxide capture, utilization, and storage (CCUS) annual report (2021): China CCUS path study[R]. Chinese Academy of Environmental Planning, Institute of Rock and Soil Mechanics Chinese Academy of Sciences, The Administrative Center for China's Agenda 21, 2021.