



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



3060 零碳生物质能 发展潜力蓝皮书

(2021年9月)

© 编制

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 (GIZ)

生态环境部环境工程评估中心

北京松杉低碳技术研究院

编委会

顾 问 石元春 陈小平 郑朝晖

专 家 组 王卫权 田丹宇 任东明 李玉娥 李惠斌

(按姓名笔画排列)

杨旭东 胡小峰 袁宝荣 程 序

主 编 张大勇

副 主 编 刘洪荣 王 元 朱万斌 陈爱忠 尹玉霞

编 撰 王乐乐 吴雨浓 刘国强 杨东月 齐 硕

Frank Scholwin Angela Clinkscales Friedrich Brandes

封面设计 张佳琪

目录 CONTENTS

研究摘要	1
第一部分 零碳生物质能	3
一、生物质能零碳属性	1
二、生物质能具有战略地位	2
三、生物质能助力我国碳减排	5
第二部分 发展生物质能助力实现双碳目标	7
四、生物质资源量分析	8
(一) 生物质资源量现状	8
(二) 生物质资源量发展预测	12
五、碳减排路径及潜力分析	17
(一) 生物质发电	18
(二) 生物质清洁供热	19
(三) 生物天然气	22
(四) 生物质液体燃料	23
(五) 化肥替代	25
(六) BECCS 技术	26
第三部分 产业发展建议	27
六、双碳目标下生物质能行业面临的挑战	28
七、相关建议	29
(一) 政策层面	29
(二) 技术层面	30
(三) 市场层面	31

摘要

习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上指出，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。这是中国应对全球气候问题作出的庄严承诺。中国作为负责任大国，其承诺意义重大，必将深刻改变中国、深刻影响世界。

根据预测，我国 2030 年碳排放峰值约在 110 亿吨左右。我国承诺在 30 年时间内从碳达峰过渡到碳中和，面临的困难比发达国家大得多。这意味着我们不仅面临相关产业投资扩大、相关产业技术革新等机遇，而且迎来了传统化石能源体系受到冲击、资源型地区产业结构调整困难加剧等一系列挑战。

生物质能作为重要的可再生能源，同样是国际公认的零碳可再生能源，具有绿色、低碳、清洁等特点。生物质资源来源广泛，包括农业废弃物、木材和森林废弃物、城市有机垃圾、藻类生物质以及能源作物等。生物质能通过发电、供热、供气等方式，广泛应用于工业、农业、交通、生活等多个领域，是其他可再生能源无法替代的。若结合 BECCS（生物能源与碳捕获和储存）技术，生物质能将创造负碳排放。在未来，生物质能将在各个领域为我国 2030 年碳达峰、2060 年碳中和做出巨大减排贡献。

本报告第一部分以生物质能零碳属性为核心，详细介绍了生物质能作为零碳能源的理论基础，并以此介绍了生物质能在全中国范围内的发展及碳减排作用，以及我国利用生物质能实现碳减排的必然性。

本报告第二部分从生物质能各个角度分析测算减排量。一是全面详细的对我国主要生物质资源进行梳理，并对未来 40 年资源量情况进行了预测，得出目前我国生物质资源量能源化利用量约 4.61 亿吨，实现减排量约为 2.18 亿吨。二是生物质能各类途径的减排情况进行分析。对提供清洁电力，提供清洁热力，提供清洁燃气，替代化石燃油，替代化肥，BECCS 技术等多减排途径的发展进行详细介绍，并对产业发展空间预测分析。预计若结合 BECCS，到 2030 年各类生物质能利用将为全社会减碳超过 9 亿吨，到 2060 年将实现减碳超过 20 亿吨。

报告第三部分主要分析了生物质能产业当前面临的挑战，并从政策、技术、市场三个层面提出相关建议，供社会各界人士参考。

本报告由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（GIZ）、生态环境部环境工程评估中心、北京松杉低碳技术研究院联合编写。为表示方便，报告中对部分我国地图做简化处理，不代表中华人民共和国地图全貌。报告内容尚有不完善之处，恳请社会各界指正、批评并提出建议。

第一部分

零碳生物质能



一、生物质能零碳属性

碳中性燃料 (Carbon-neutral fuel) 是指不会产生净温室气体排放或碳足迹的燃料。这通常是指以 CO_2 为原料生产的燃料。碳中性燃料大致可分为合成燃料和生物燃料,前者是通过对 CO_2 进行化学氢化生产的,如:氢、氨、甲烷、合成甲醇等;后者是通过光合作用等贮存 CO_2 的方式,在自然过程中生产的,如:各类生物质。

生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体,包括所有的动植物和微生物。人类历史上最早使用的能源是生物质能。而所谓生物质能,就是太阳能通过光合作用贮存 CO_2 , 转化为生物质中的化学能,即以生物质为载体的能量。它直接或间接地来源于绿色植物的光合作用,可转化为常规的固态、液态和气态燃料,取之不尽、用之不竭,是一种可再生能源,同时也是唯一一种可再生的碳源。据计算,生物质储存的能量比目前世界能源消费总量大 2 倍。

化石燃料通过燃烧或降解把原为地下的固定碳释放出来,并以 CO_2 的形式累积于大气环境从而造成温室效应。而在自然界以绿色植物为纽带的碳循环,自然界的碳经过光合作用进入到生物界,生物界的碳通过三个主要途径即燃烧、降解和呼吸又回到自然界,从而构成碳元素循环链,所以国际上称生物质能为零碳能源,也是可再生能源当中唯一的零碳燃料。

碳元素在这个循环链中是否能够保持总量平衡,是增加还是减少,根本还是取决于人类自身的活动。若人类毫无节制地毁林开荒或毫无节制地使用化石燃料,自然界中的碳只会越来越增加,温室效应导致的全球性环境灾难的出现将不可避免。反之,如果人类大力利用各类有机废弃物或边际土地(荒山、荒地、盐碱地和滩涂)来种植速生高效的绿色植物,用更多的生物能源来替代或完全取代化石燃料的使用,则大气中的 CO_2 不仅不会继续增加,反而还会减少,因为有越来越多的固定碳可以储存在绿色植物之中。

根据 IPCC 表述,当前大部分生物质能源系统(包括生物质液体燃料)可减少温室气体的排放,而且利用新工艺生产的生物燃料(高级生物燃料或下一代生物燃料)可带来更大的温室气体减排量。生物质能源化同时可避免生物质废弃物填埋处置和共生产品中残留物和废弃物的温室气体排放。

在生物质能作为零碳能源的利用过程中,如果增加碳收集和储存过程,收集产生的 CO_2 ,

能够创造负碳排放，可以成为环境修复的方式之一。碳负排放被广泛认为是限制全球变暖，达到碳中和不可或缺的组成部分。生物质能不仅具有零碳能源属性，还将作为负碳能源积极发挥作用。



二、生物质能具有战略地位

生物质能作为新型能源利用方式，在 20 世纪 70 年代爆发全球性的石油危机后，以生物质能源为代表的清洁能源在全球范围内受到重视。尤其在发达国家，生物质能被赋予重要能源战略定位。与风能、太阳能等其他可再生能源相比，生物质能通过发电、供热、供气等方式，在工业、农业、交通、生活等多个领域发挥着重要作用。全球各国通过制定相应政策法规推动生物质能综合发展，美国、巴西、德国等国家发展进程较快。

美国是农业生产和农产品供应大国。在生物质资源研究方面，美国的主要发展驱动力为：第一，减少对石油进口的依赖，保障国家能源安全；第二，促进环境可持续发展和经济发展；第三，为农业经济创造新的就业机会；第四，开发新产业和新技术，形成多样化的能源和产品供给。美国政府通过以美国农业法案（United States farm bill）为主的一系列立法、规划和政策制订等举措，通过联邦资金投入建立起生物质能技术开发体系，并对生物质能相关研究和生物燃料进行资金支持，持续推动生物质资源的研究、开发和利用。由此可知，在生物质资源研发方面，美国尤其重视发展生物液体燃料，在生物质能其他领域也走在世界前列。

截至 2020 年，美国生物质发电装机约为 1600 万千瓦，总发电量为 640 亿千瓦时，近年装机增长基本停滞，发电量略有下降，主要原因是缺乏强有力的积极政策驱动，难以在市场电价中竞争，因为其他可再生能源和低成本天然气更有竞争力。在液体燃料方面，美国是世界上较早发展燃料乙醇的国家，且已经成为世界上主要的燃料乙醇生产国和消费国。2019 年，其燃料乙醇产量约占全球产量的 50%，作为原料的玉米种植规模化程度高、技术先进，因此美国燃料乙醇的主要原材料 40% 来自于玉米。2019 年美国使用 4560 万吨玉米燃料乙醇，目前有部分纤维素乙醇项目投入运行。与乙醇产业相比，美国生物柴油的发展较晚，始于上世纪 90 年代，主要原料为美国的另一大农作物——大豆。2019 年，美国生物柴油量占全球的 14%，位列第二。

根据 REN21 发布的《Renewables 2019 Global Status Report》数据，2018 年巴西的生物质发电装机容量约为 1470 万千瓦，发电量达到 540 亿千瓦时。巴西是燃料乙醇的生产大国，燃料乙醇主要的生产原料为甘蔗，甘蔗的种植和燃料乙醇的生产产生了大量的甘蔗渣，利用甘蔗渣发电是巴西生物质发电的主要利用形式，据统计，蔗糖行业提供的发电量超过 200 亿千瓦时。

在可再生能源相关法令推动下，欧盟的生物质发电继续保持增长态势。2020 年，欧洲的生物质发电装机容量约为 4200 万千瓦（其中欧盟装机容量 3400 万千瓦）。生物质发电项目以热电联产为主，通过该方式生物质能利用效率大大提高，满足了当地电力供暖需求，同时减少温室气体排放，最大限度地发挥生物质能的优势。

德国的《可再生能源法》（EEG）于 20 年前启动，通过确立可再生能源的电网优先权并提供上网电价补贴，推动了陆上风电、太阳能光伏和生物质发电的快速增长。这使得德国在欧洲生物质发电装机容量上处于领先地位，2020 年德国生物质发电装机容量约为 1040 万千瓦，发电量约为 510 亿千瓦时，占德国总发电量的 9.2%。德国注重沼气资源的开发，2020 年沼气发电装机容量约为 750 万千瓦，发电量约为 330 亿千瓦时。在德国，几乎每一个电力消费者都通过支付可再生能源附加费来资助可再生能源。2020 年附加费达到 6.76 欧分/度，约为普通家庭每千瓦时电价的 20%。EEG2021 中政府还将使用 110 亿欧元资助电力附加费，来降低电价。

在欧洲其他国家，尤其是北欧国家，生物质供热已经成为地区供热的主要方式。北欧的林业资源丰富，生物质能供热主要是以热电联产的形式开展。瑞典生物质能消费占其全国一次能源消费量的 36%，排名世界第一位。在瑞典，全国有超过 10 万个大中小型生物质供热站，绝大多数采用热电联产的模式，热效率通常在 80% 以上，全国生物质供热量占其全部供热市场的 70% 以上。

生物质能是丹麦最重要也是应用规模最大的可再生能源，丹麦自 1979 年实施供热法案以来，持续推动生物质供热实施，减少对化石能源依赖。2018 年丹麦全部热力消费中的 32% 由生物质能提供，生物质发电在可再生能源发电中占比达到 55%。到 2030 年，丹麦生物质供热将占到全部热力供应的一半以上。

在芬兰，生物质能在总能源中占比达到 30%，各种可再生能源利用中，生物能源所占比例最大，占比约为 82%。目前，芬兰几乎所有的城镇和人口稠密地区均已实行集中供热。

为了控制全球平均温度上升幅度不超过工业化前水平 2℃ 以内，《巴黎协定》缔约国努力实现碳减排目标，许多国家提出自身碳减排要求，生物质能在其中发挥着巨大作用。以德国为例，由于德国近 20 年来各方面鼓励使用可再生能源，其成效极为显著，让德国提前实现减碳目标（京都议定书要求要减碳相对于 1990 年低于 8%，而德国早于 2007 即达减少 18.4%）。



表 1 G20 主要国家碳减排目标

成员国	减排目标
中国	在 2060 年前实现碳中和
英国	法律上规定 2050 年净零温室气体排放
美国	到 2050 年要实现净零排放
欧盟	到 2050 年实现净零温室气体排放
日本	到 2050 年实现净零温室气体排放
法国	法律上规定 2050 年净零温室气体排放
加拿大	到 2030 年将温室气体排放量降至 2005 年水平的 40%至 45%
墨西哥	致力于到 2050 年实现净零排放
南非	到 2050 年实现零碳净排放
韩国	到 2050 年实现碳中和
阿根廷	致力于到 2050 年实现净零排放

三、生物质能助力我国碳减排

2020 年 9 月，习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话中提出，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”。碳达峰、碳中和是中国对全球应对气候变化的庄严承诺，是中国基于推动构建人类命运共同体的责任担当和实现可持续发展的内在要求作出的重大战略决策，也是中国推动经济转型升级的内在需要。

IPCC 指出，历史上经济发展与能源利用、温室气体排放的增加密切相关。可再生能源有助于摆脱这种相关性，从而为可持续发展做出贡献。如果资源得到可持续开发，并采用高效率的技术，那么生物能源具有减少温室气体排放的显著潜力。某些现有系统和未来的重要选择，包括多年农作物、林产品、生物质剩余物和废弃物以及先进的转换技术，能够发挥显著的温室气体减排作用，即与化石能源基准值相比，可减少 80%—90%的排放。

推动发展生物质能源化利用和资源循环利用是低碳经济与可持续发展的必然选择。化石燃料的使用导致大量二氧化碳的排放，二氧化碳是温室气体的主要来源，是加快全球变暖的重要因素。生物质资源是唯一能够大规模取代化石燃料的可再生资源，在可持续发展中具有不可替代的战略地位。研究、开发和利用生物质资源，生产生物质能源和生物基产品，用以替代矿物能源和石油化工产品势在必行，逐步成为我国以及欧美国家的重大科技需求和战略性新兴产业。

发展生物质能同时可以解决我国城乡各类有机废弃物无害化、减量化处理问题，如果生物质废弃物没有得到有效利用，在自然分解的情况下，将释放出甲烷等温室效应更强的气体。因此生物质能的环境、民生、零碳等社会价值需要获得足够的关注。在全面推进乡村振兴战略的大背景下，未来生物质能发展将需走一条“农业-环境-能源-农业”绿色低碳闭合循环发展之路，在发电利用和非电利用上，生物质能都扮演着重要角色，促进乡镇能源结构整体提升。

对农林剩余物、畜禽粪污、有机生活垃圾进行无害化、减量化和资源化利用，不仅使废物变废为宝，同时散煤替代和沼渣、沼液等副产品循环利用，极大地解决了农村环境、清洁用能、土地保护和农民收入问题，促进我国尽早实现碳达峰，而且可改变农村居民生产生活方式，形成新时代农村绿色低碳循环可持续发展模式，促进社会主义新农村和新型城镇化建设，为实现我国农业现代化不断注入绿色动能，实现农业现代化高值化发展。



第二部分

发展生物质能助力

实现双碳目标



四、生物质资源量分析

（一）生物质资源量现状

生物质能是人类能源消费中的重要组成部分，是地球上唯一可再生碳源，其开发利用前景广阔。我国生物质资源受到耕地短缺的制约，主要以各类剩余物和废弃物为主（被动型生物质资源），主要包括农业废弃物、林业废弃物、生活垃圾、污水污泥等。

目前我国主要生物质资源年产生量约为 34.94 亿吨，生物质资源作为能源利用的开发潜力为 4.6 亿吨标准煤。截至 2020 年，我国秸秆理论资源量约为 8.29 亿吨，可收集资源量约为 6.94 亿吨，其中，秸秆燃料化利用量 8821.5 万吨；我国畜禽粪便总量达到 18.68 亿吨（不含清洗废水），沼气利用粪便总量达到 2.11 亿吨；我国可利用的林业剩余物总量 3.5 亿吨，能源化利用量为 960.4 万吨；我国生活垃圾清运量为 3.1 亿吨，其中垃圾焚烧量为 1.43 亿吨；废弃油脂年产生量约为 1055.1 万吨，能源化利用量约 52.76 万吨；污水污泥年产生量干重 1447 万吨，能源化利用量约 114.69 万吨。

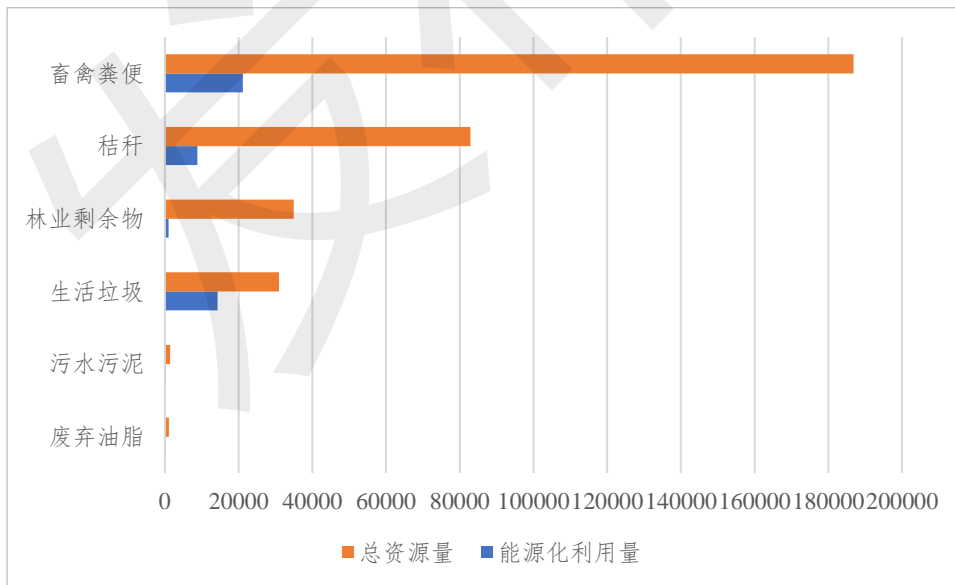
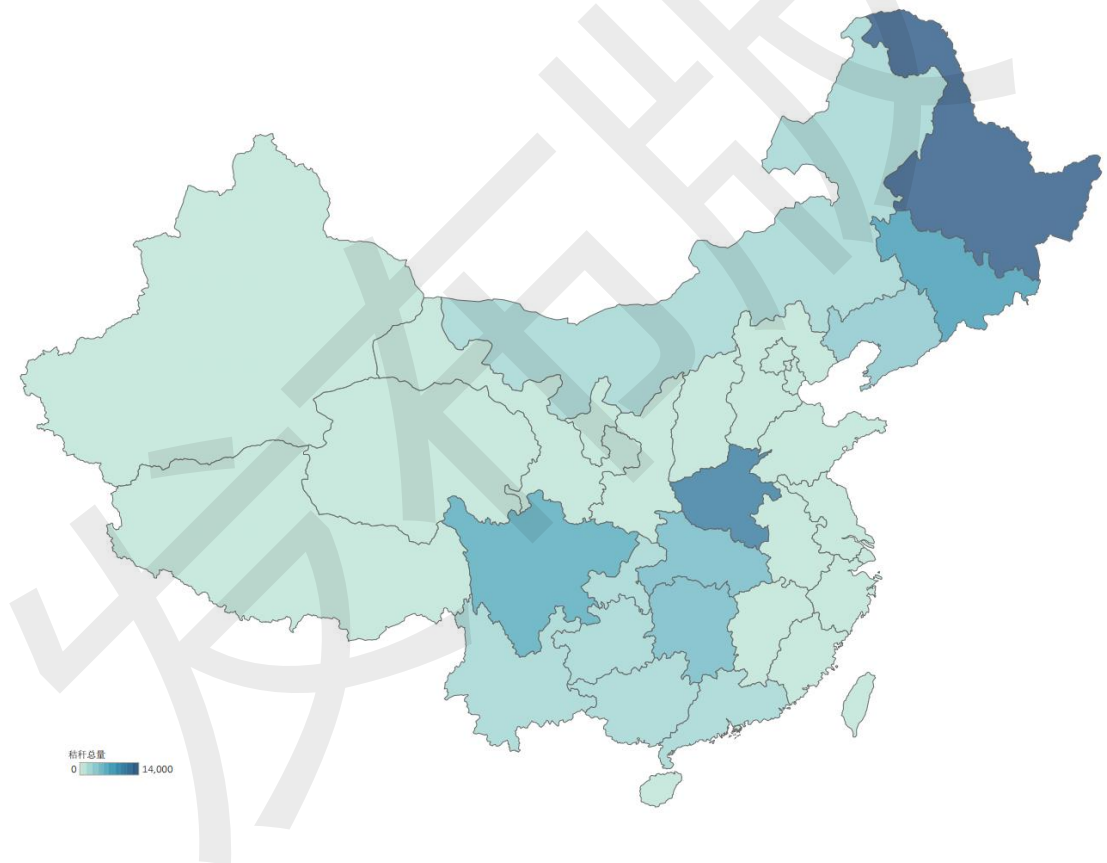


图 1 我国生物质资源量和能源化利用量现状（万吨）

我国秸秆资源主要分布在东北、河南、四川等产粮大省，资源总量前五分别是黑龙江、河南、吉林、四川、湖南，占全国总量的 59.9%。畜禽粪便资源集中在重点养殖区域，资源总量前五分别是山东、河南、四川、河北、江苏，占全国总量的 37.7%。林业剩余物资源集中在我国南方山区，资源总量前五分别是广西、云南、福建、广东、湖南，占全国总量的 39.9%。生活垃圾资源集中在东部人口稠密地区，资源总量前五分别是广东、山东、江苏、浙江、河南，占全国总量的 36.5%。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%。



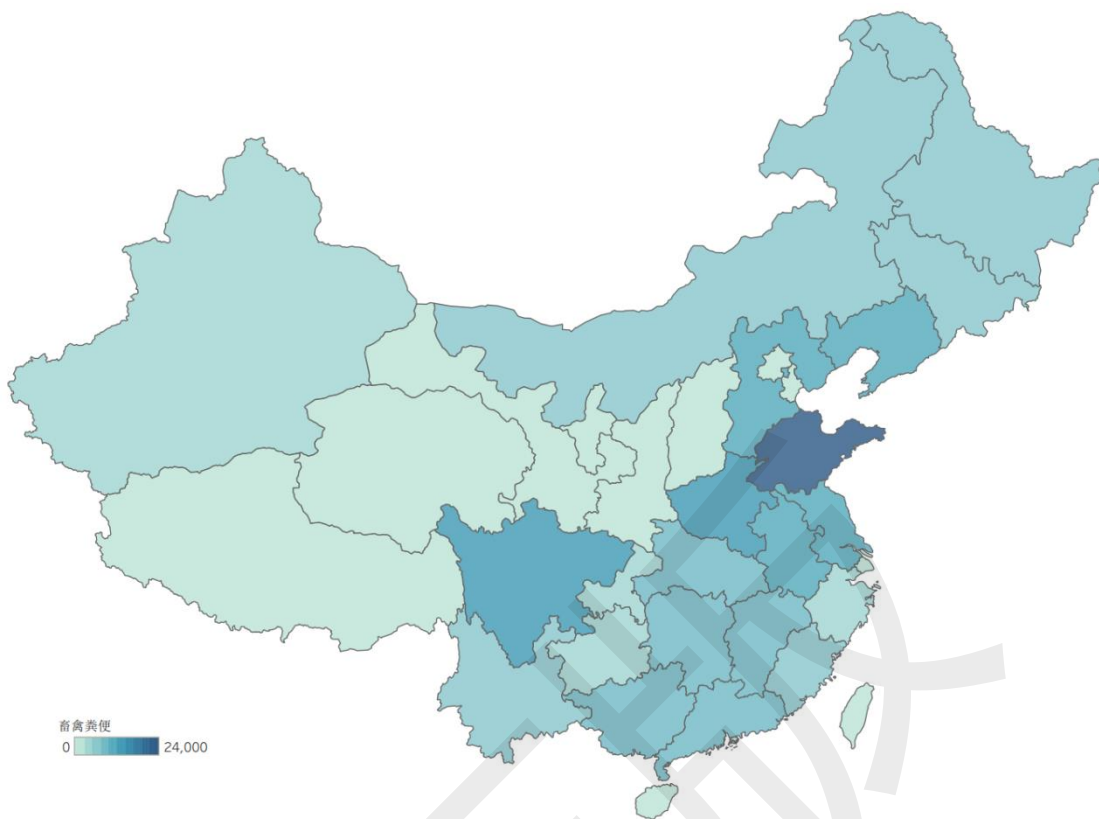


图3 畜禽粪便资源量分布 (万吨)

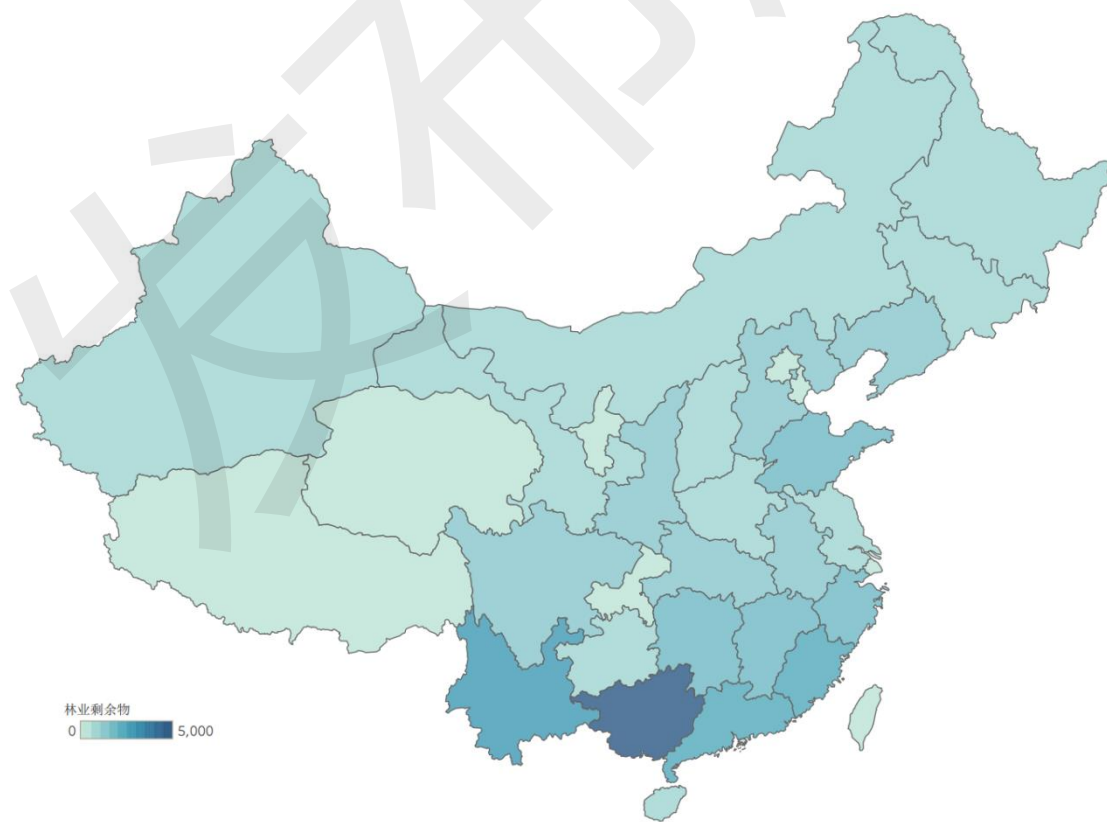


图4 林业剩余物资源量分布 (万吨)

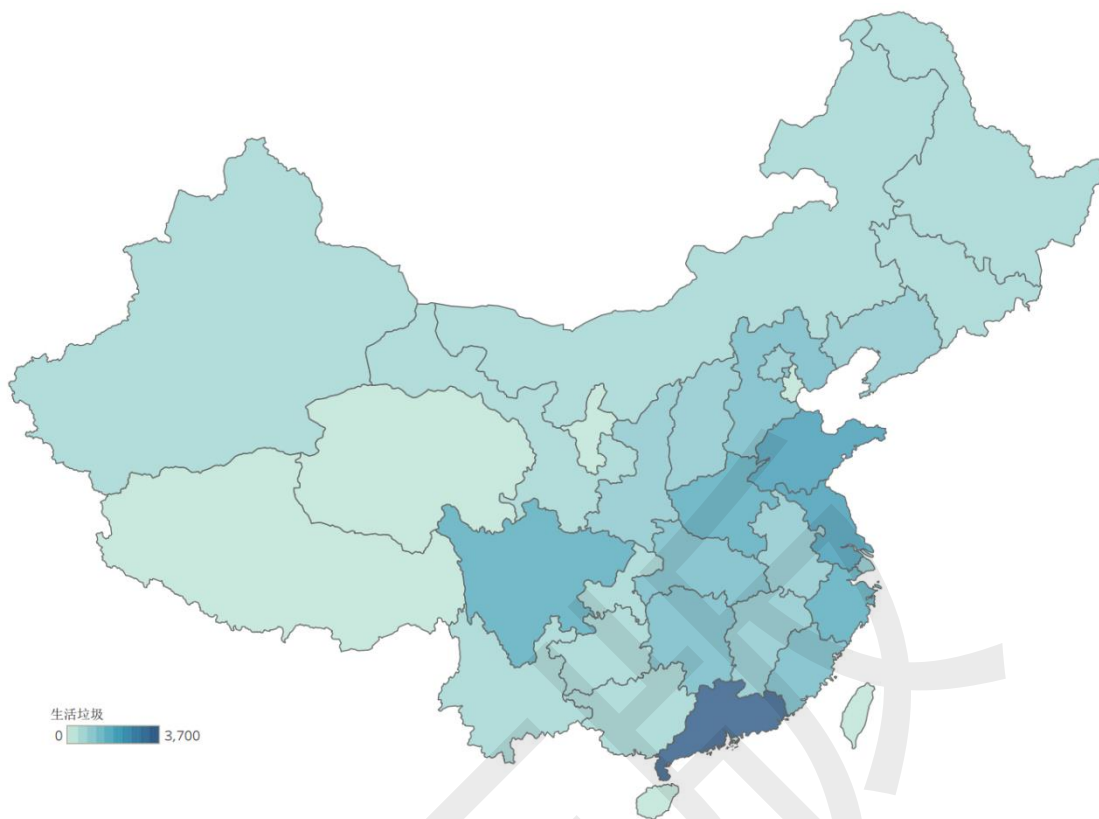


图 5 生活垃圾资源量分布 (万吨)

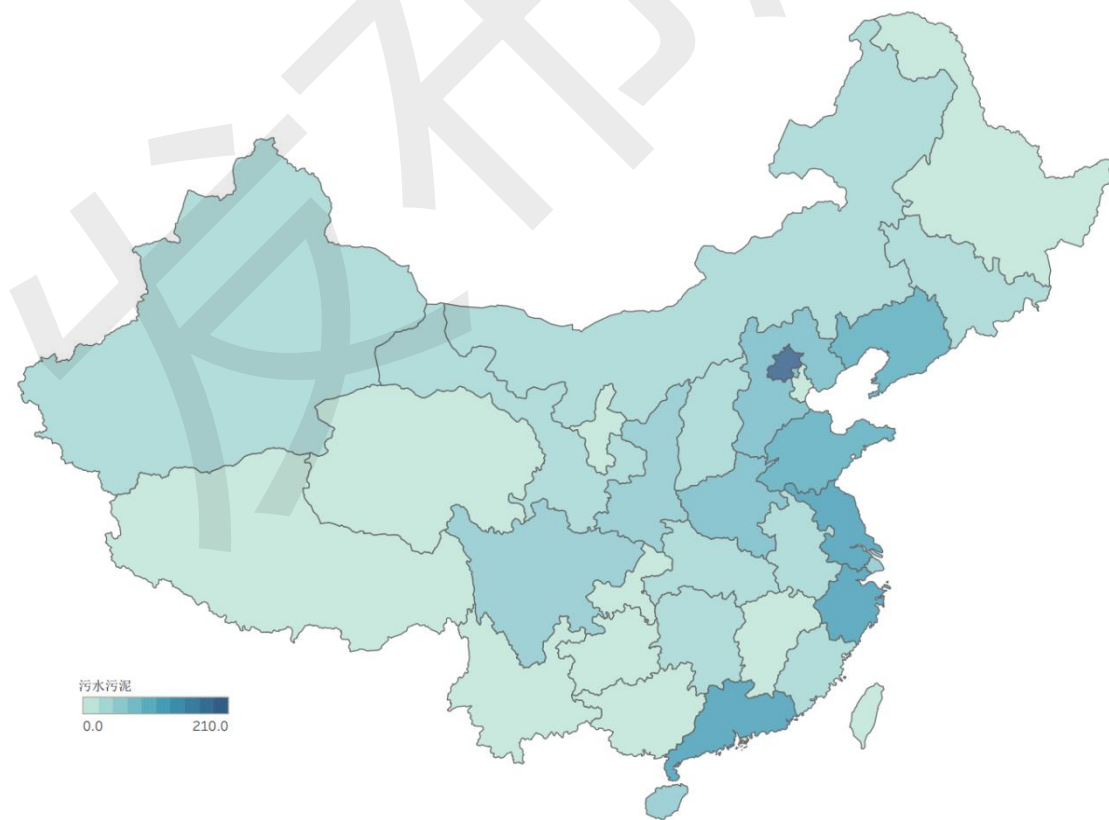


图 6 污水污泥资源量分布 (万吨)

（二）生物质资源量发展预测

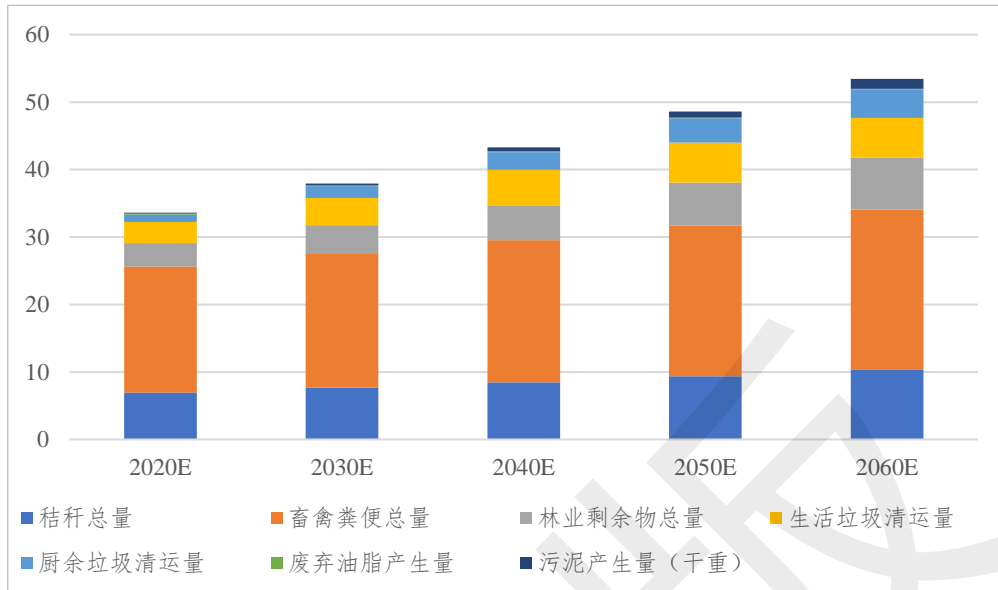


图 7 我国生物质资源总量增长预测（亿吨）

随着我国经济的发展和消费水平不断提升，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 1.1% 以上。预计 2030 年我国生物质总资源量将达到 37.95 亿吨，到 2060 年我国生物质总资源量将达到 53.46 亿吨。

（1）秸秆

目前，根据农业农村部相关统计数据，同时参考第二次全国污染源普查公报草谷比参数，可估算我国秸秆产生量约为 8.29 亿吨，可收集资源量约为 6.94 亿吨。根据国家统计局发布的我国关于粮食产量统计数据，近年来我国粮食产量总体保持 1% 的平稳上涨趋势，预计未来秸秆资源总量也将保持平稳上升，2030 年秸秆产生量约为 9.16 亿吨，秸秆可收集资源量约为 7.67 亿吨；2060 年秸秆产生量约为 12.34 亿吨，秸秆可收集资源量约为 10 亿吨。



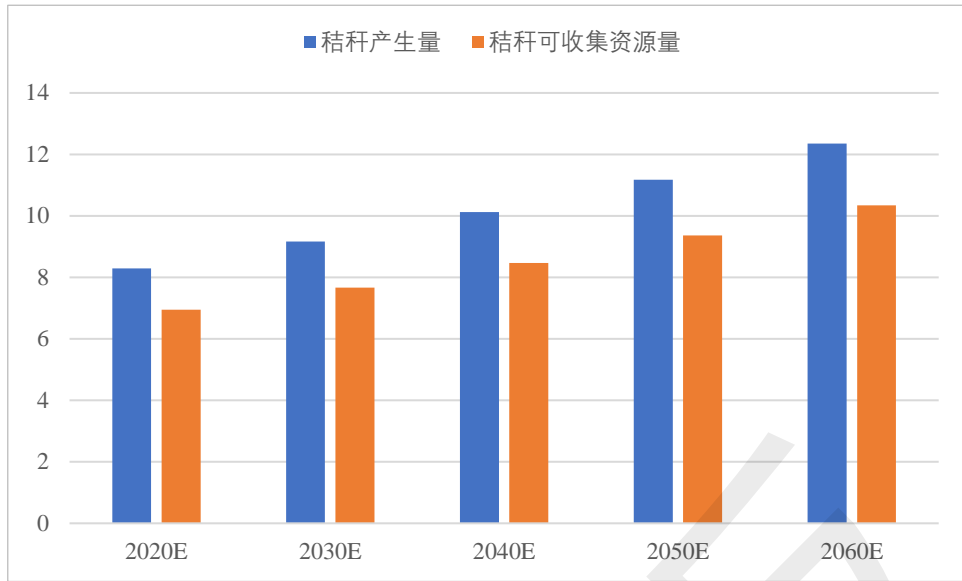


图 8 我国秸秆总量增长预测 (亿吨)

(2) 畜禽粪便

广义上畜禽粪便为畜禽排出的粪尿为主。目前，根据《中国农业年鉴》、《中国农村统计年鉴》、《中国畜牧兽医年鉴》以及国家统计局最新畜禽存栏数据测算，我国畜禽粪便资源量共计 18.68 亿吨（不包含冲洗废水）。根据年鉴统计数据，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，畜禽粪便资源量保持在固定区间内，畜禽粪便资源量将保持 0.6% 的较低增长趋势。预计 2030 年畜禽粪便资源总量约为 19.83 亿吨；2060 年畜禽粪便资源总量约为 23.73 亿吨。



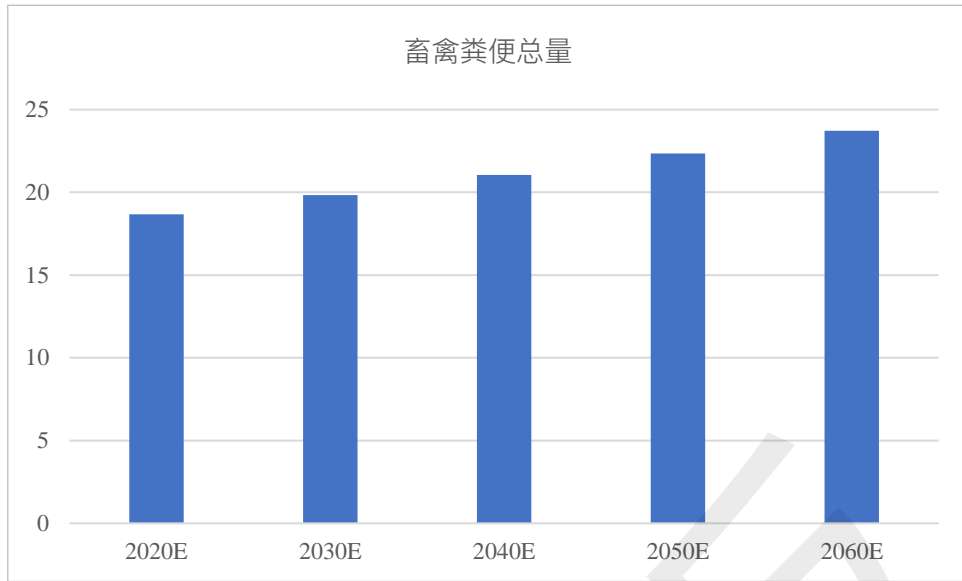


图 9 我国畜禽粪便资源总量增长预测 (亿吨)

(3) 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》数据，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，由此测算出林业废弃物资源量约为 3.5 亿吨。林业碳汇是最为重要的固碳手段，预计未来我国林业面积将会保持稳定增长。根据近 20 年《中国林业和草原统计年鉴》数据分析，林业采伐总资源量保持 2% 的增长，预计未来林业剩余物资源量也将随之持续增加。预计 2030 年林业剩余物总量将达到 4.27 亿吨，到 2060 年，林业剩余物总量将达到 7.73 亿吨。

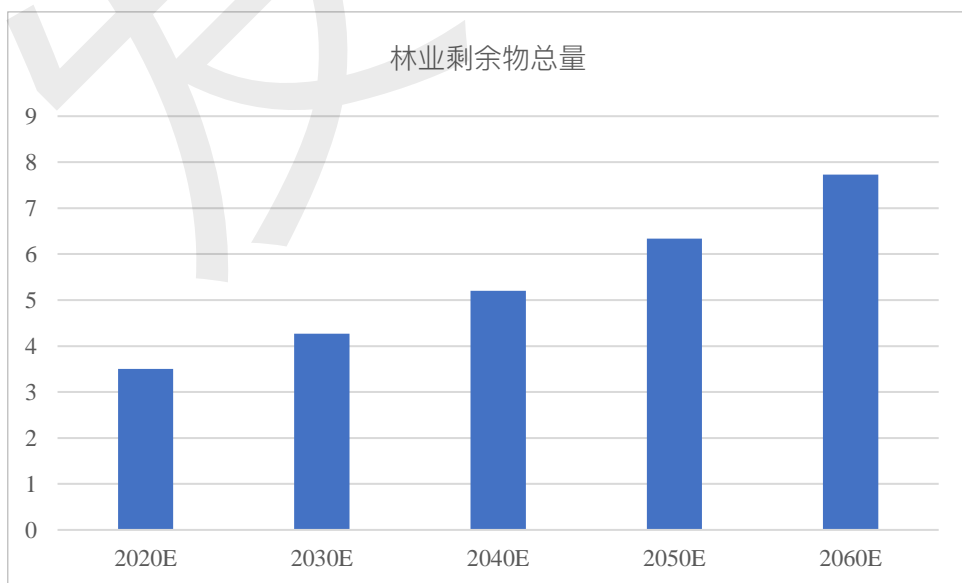


图 10 我国林业剩余物资源总量增长预测 (亿吨)

(4) 生活垃圾

根据住建部发布的《中国城乡建设统计年鉴》数据,当前生活垃圾清运量约为 3.1 亿吨,近年垃圾清运量增长率约为 3%。近年来,我国厨余垃圾清运量持续保持 3.6% 增长。同时由于垃圾分类工作持续推进,湿垃圾从生活垃圾中分离出来,厨余垃圾比重逐步提高。以上海为例,自垃圾分类实施以来,到 2020 年底,湿垃圾占比达到 31% 左右。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,预计垃圾产生量也会逐年提升,保持稳步增长,并达到发达国家人均垃圾产生量水平。根据世界银行相关数据,人均垃圾产生量与人均 GDP 有较高相关性,其中高收入人口人均垃圾产生量为 1.58 千克/日,根据测算,预计到 2045 年我国垃圾清运量将达到饱和,到 2060 年我国生活垃圾产生潜力峰值约为 10.05 亿吨。生活垃圾清运量预计 2030 年将达到 4.04 亿吨,2060 年将达到 5.86 亿吨。假设 2030 年全面垃圾分类实施区域达到 10%,厨余垃圾清运量将达到 1.72 亿吨,到 2060 年全面垃圾分类实施区域达到 50%,厨余垃圾清运量将达到 4.19 亿吨。

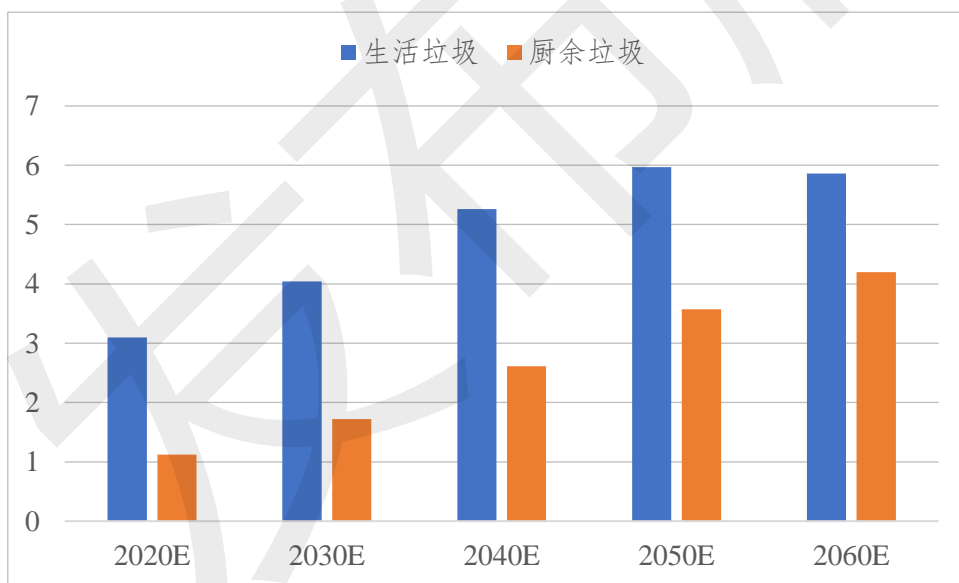


图 11 我国厨余垃圾资源总量增长预测 (亿吨)

(5) 废弃油脂

根据中国农业展望报告统计数据,2020 年我国食用植物油消费量为 3382 万吨。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%,当前废弃油脂量超过 1055.1 万吨。《中国农业展望报告》中预计,未来我国食用植

物油量消费量年均增长率约为 0.7%，预计 2030 年废弃油脂产生量约为 1131.3 万吨，2060 年废弃油脂产生量约为 1394.7 万吨。

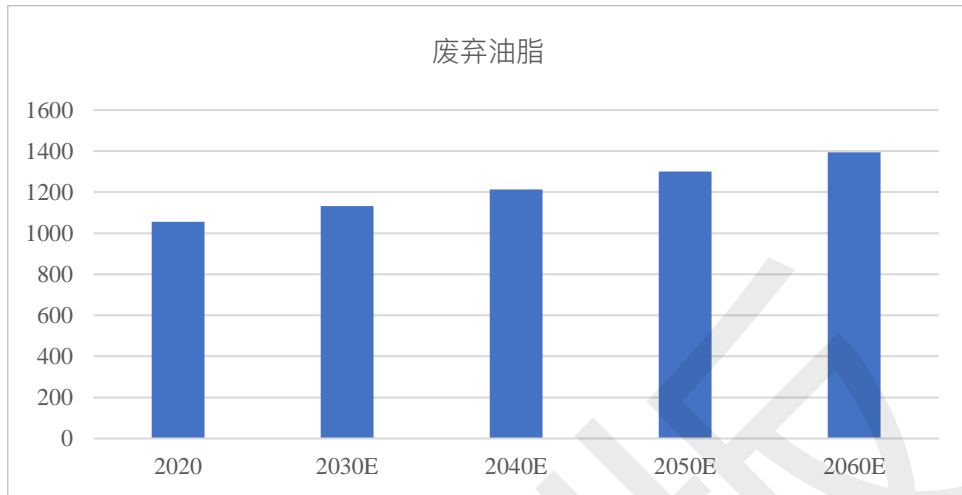


图 12 我国废弃油脂资源总量增长预测 (万吨)

(6) 污水污泥

随着我国社会经济发展，居民生活水平逐步提高，生活用水量需求加大，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 5–8%。预计 2030 年污水污泥产生干重约为 3094.96 万吨，2060 年污水污泥产生干重约为 1.4 亿吨。

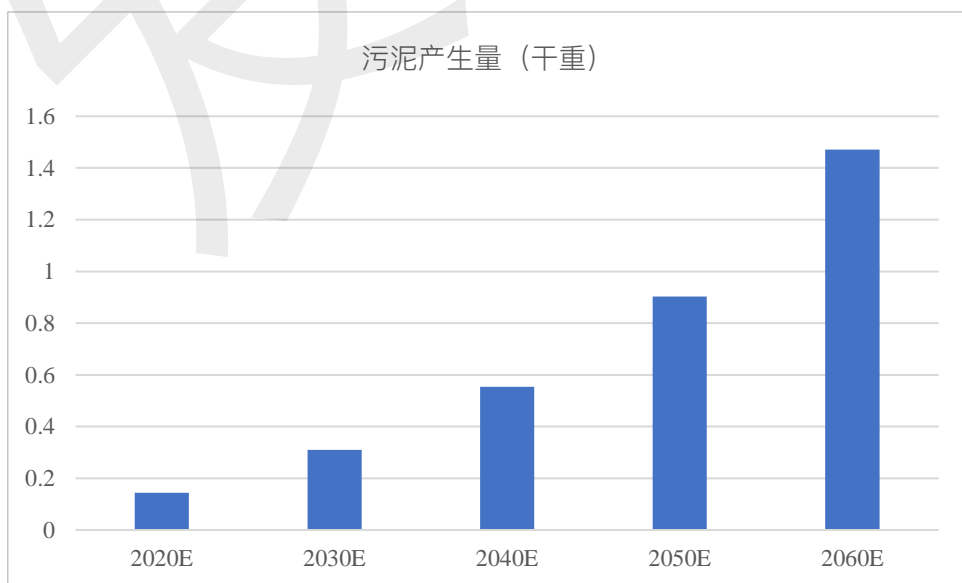


图 13 我国污水污泥资源总量增长预测 (亿吨)

五、碳减排路径及潜力分析

生物质能是国际公认的零碳可再生能源，生物质能通过发电、供热、供气等方式，广泛应用于工业、农业、交通、生活等多个领域，是其他可再生能源无法替代的。若结合 BECCS（生物能源与碳捕获和储存）技术，生物质能将创造负碳排放。未来，生物质能将在各个领域为我国 2030 年碳达峰，2060 年碳中和做出巨大减排贡献。

目前我国生物质资源量能源化利用量约 4.61 亿吨，实现碳减排量约为 2.18 亿吨。

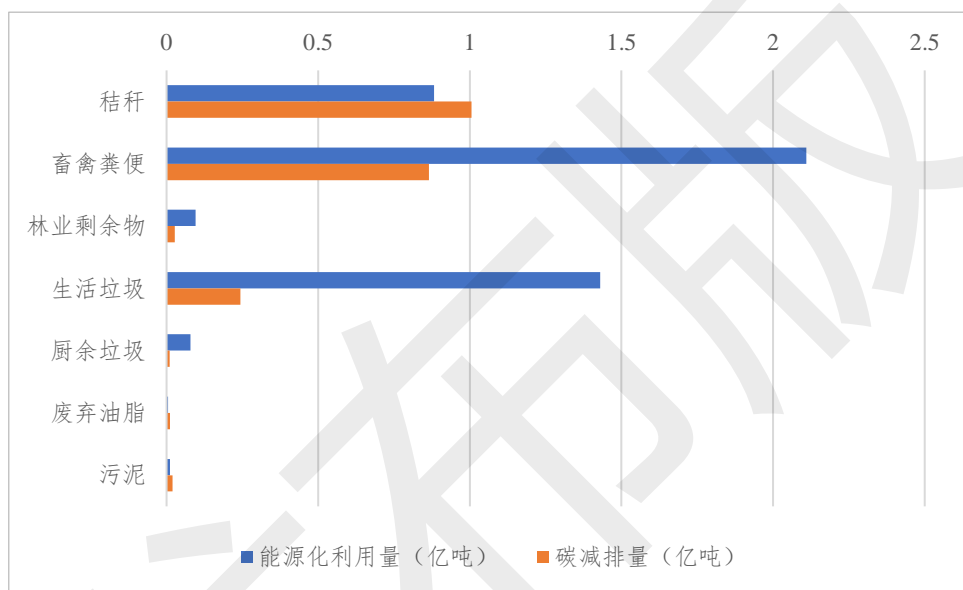


图 14 2020 年生物质能源化利用量（亿吨）和碳减排量（亿吨）

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。2021 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，生物质能各类途径的利用将为全社会碳减排超过 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。负减排技术 BECCS 将会得到大力发展。到 2060 年，将实现碳减排超过 20 亿吨。

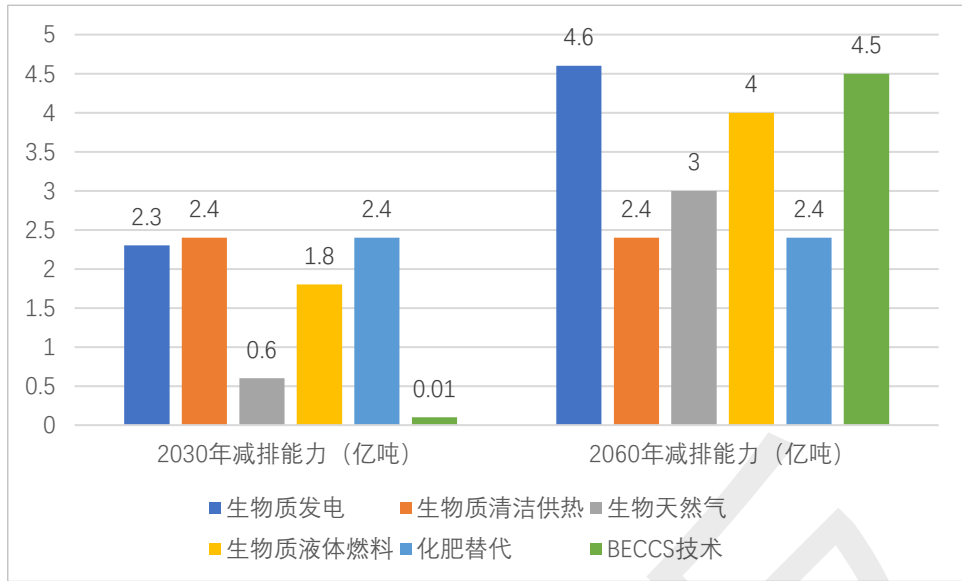


图 15 2030 年生物质各碳减排路径下碳减排量 (亿吨)

(一) 生物质发电

截止 2020 年底，我国已投产生物质发电并网装机容量 2952 万千瓦，年提供的清洁电力超过 1100 亿千瓦时。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 8600 万吨。

根据国际可再生能源署 IRENA 最新发布的《2020 年可再生能源发电成本》报告显示，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，使得从现在开始用可再生能源大规模代替煤炭发电成为可能。根据 IRENA 的研究，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。

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。

根据统计分析，预测到 2030 年我国生物质发电总装机容量达到 5200 万千瓦，提供的清洁电力超过 3300 亿千瓦时，碳减排量超过 2.3 亿吨。到 2060 年，我国生物质发电总装机容量达到 10000 万千瓦，提供的清洁电力超过 6600 亿千瓦时，碳减排量超过 4.6 亿吨。

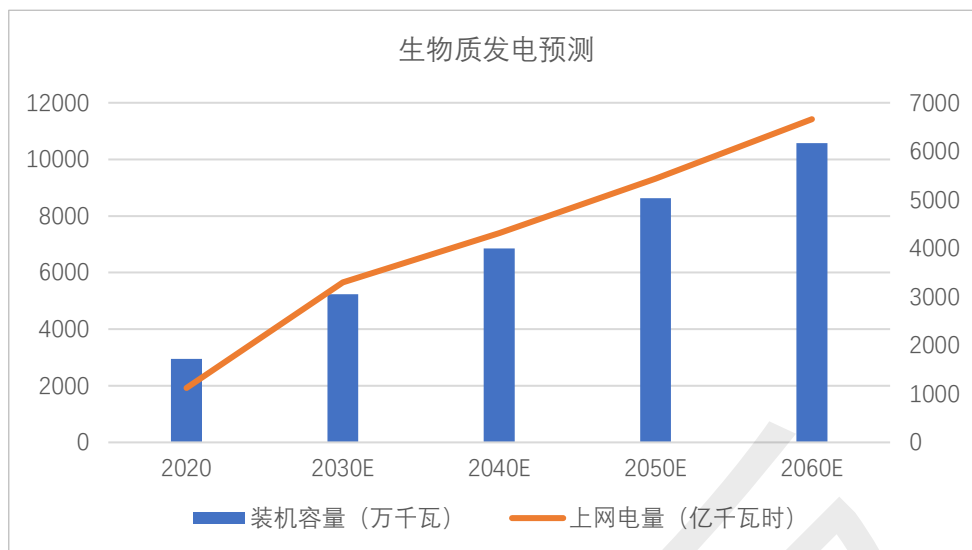


图 17 生物质发电装机 (万千瓦) 及上网电量 (亿千瓦时) 预测

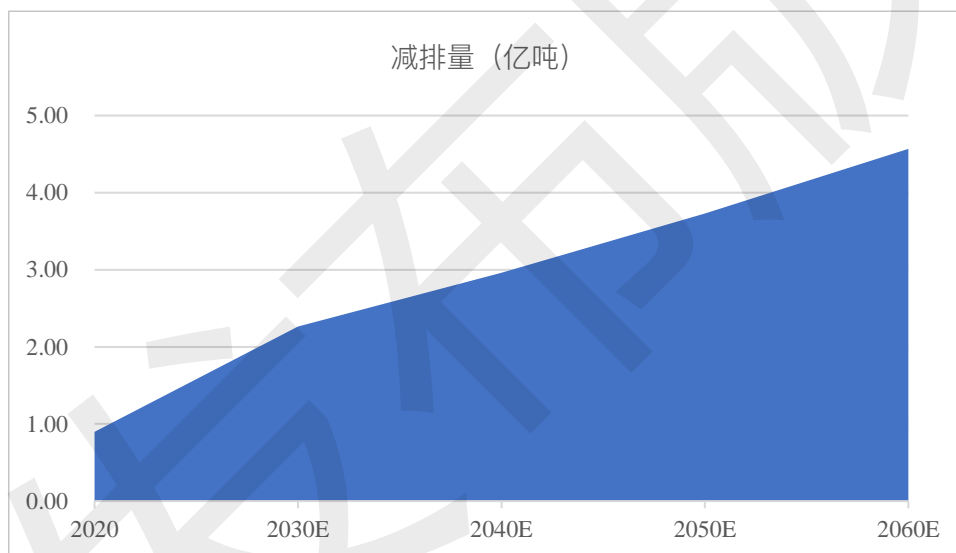


图 18 生物质发电行业减排潜力 (亿吨) 分析

(二) 生物质清洁供热

生物质清洁供热主要用于工业园区、工业企业、商业设施、公共服务设施、农村居民采暖等供热领域，主要供热方式有生物质热电联产、生物质锅炉集中供热、户用锅炉炉具等。

根据统计，目前我国生物质清洁供暖面积超过 3 亿 m^2 。从生物质成型燃料统计口径看，其每年产量超过 1100 万吨。从现有以燃用各类生物质锅炉，额定蒸发量小于 65t/h 口径统

计，锅炉数量超过 1.6 万台，总额定蒸发量达到 8.3 万吨。综合各类数据，预计目前全国生物质供热量超过 3 亿 GJ，自愿减排量超过 3000 万吨。

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。

根据目前清洁供暖工作的持续推进，预计未来生物质清洁取暖面积将超过 10 亿 m^2 。在工业生产领域，根据对全国燃煤锅炉的统计，目前额定蒸发量 $\leq 130t/h$ 的燃煤锅炉数量超过 1.7 万台，总额定蒸发量达到 52 万 t/h，假设到 2030 年生物质清洁供热能够替代燃煤锅炉的 50%，生物质锅炉总蒸发量将超过 34 万吨。综合各类数据进行推算，预计 2030 年生物质年供热量将超过 24 亿吉焦，碳减排量超过 2.4 亿吨。

专栏 1 各省 $\leq 130t/h$ 的燃煤锅炉统计分析

根据对全国各省、市、自治区的燃煤锅炉进行统计分析，目前额定蒸发量小于等于 130t/h 的燃煤锅炉超过 1.7 万台，总额定蒸发量约 52 万吨/小时。主要分布在东北以及中西部地区，东北及内蒙四省燃煤锅炉出力合计占全国的 49%，同时东北及内蒙也是生物质资源较为丰富的地区，生物质替代燃煤锅炉供热潜力较大。

表 2 各省 $\leq 130t/h$ 的燃煤锅炉台数及总蒸发量

省份	台数 (台)	锅炉总额定出力 (t/h)
辽宁省	2,244	88,495
黑龙江省	2,217	58,726
内蒙古自治区	2,336	54,846
吉林省	1,396	51,920

山东省	782	42,695
新疆维吾尔自治区	1,069	38,338
河北省	511	32,690
甘肃省	1,054	26,238
山西省	756	25,018
陕西省	742	15,472
江苏省	244	11,025
广东省	419	9,293
宁夏回族自治区	231	8,032
福建省	583	7,741
浙江省	271	7,260
天津市	89	6,220
河南省	80	4,747
青海省	304	4,337
湖北省	128	4,067
云南省	621	3,985
四川省	383	3,857
广西壮族自治区	230	3,850
安徽省	98	2,886
江西省	126	2,207
湖南省	182	1,994
贵州省	213	1,427
重庆市	95	1,383
西藏自治区	21	597
北京市	5	457
上海市	2	130

（三）生物天然气

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。

根据统计，目前建成大型沼气、生物天然气工程 7700 余处，年产气量 13.7 亿立方米，供气 47.8 余万户。其中，规模化生物天然气项目数量超过 20 个，年产气量超过 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，减排量超过 400 万吨。

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。一方面可在乡村、县域构建分布式供气体系，处理农村有机废弃物的同时为县域供气。二是保证国家能源安全，可有效缓解我国天然气进口压力，优化天然气供给结构。

根据 2019 年 12 月十部委出台的《关于促进生物天然气产业化发展的指导意见》，提出到 2030 年，生物天然气年产量超过 200 亿立方米的发展目标。届时将在天然气消费量中占比达到 5% 左右，预计碳减排量将超过 6000 万吨。如果到 2060 年生物天然气产量能达到 1000 亿立方，将极大的缓解我国天然气的紧张局面，贡献的碳减排量将超过 3 亿吨。

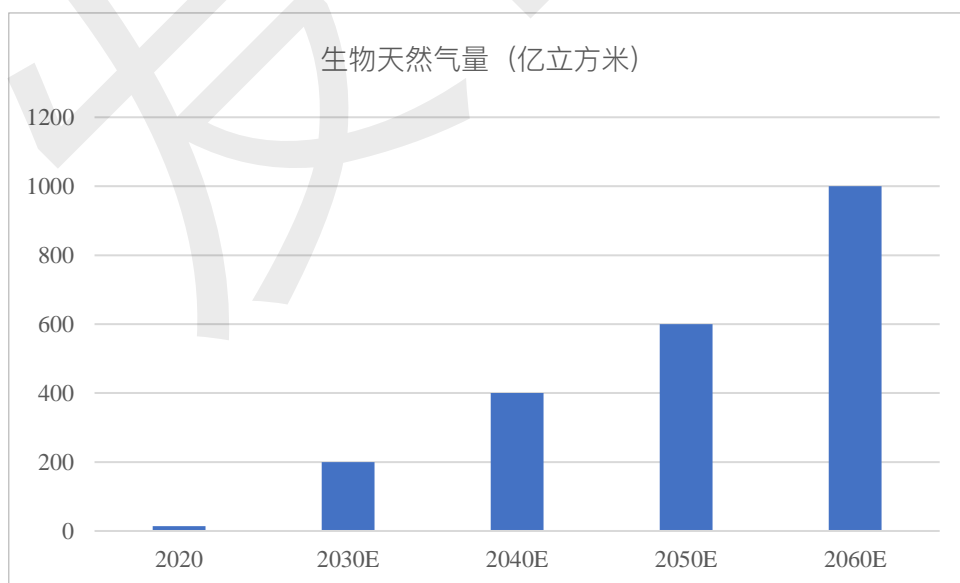


图 19 生物天然气产量 (亿立方米) 预测

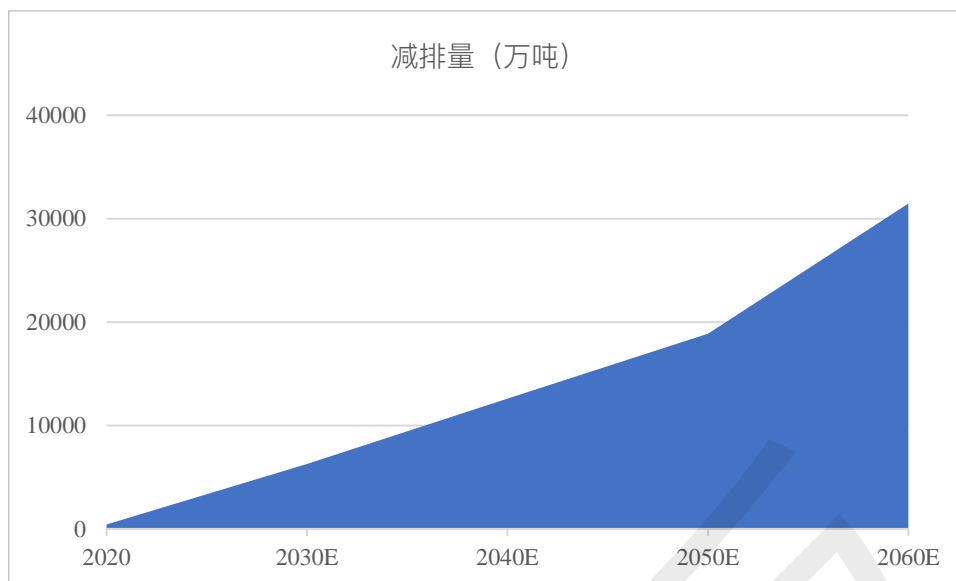


图 20 生物天然气行业减排量 (万吨) 分析

(注：此处计算依据是基于替代燃煤，计算得出减排量。如果是基于甲烷利用，减排量会更大)

(四) 生物质液体燃料

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。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，2019年全国生物液体燃料年产量约404万吨。其中，生物燃料乙醇的年产量约284万吨，生物柴油产量约120万吨。以此进行测算，目前生物液体燃料碳减排量约为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。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。根据中金研究的成果显示，生物质燃油和氢能不能完全替代传统航空燃油，到2060年，在航空领域，生物质供能占比达到30%。

我们预测，从目前到2030年左右，燃料乙醇和生物柴油将是公路运输重要减排方式之一，生物航空燃油也会逐渐在航空领域使用。预计生物液体燃料使用量超过2500万吨，为交通领域减排约1.8亿吨。到2030年后，电动车和氢燃料车将会成为公路运输的主力，而生物航空燃油将会在航空领域的使用占比达到30%，生物液体燃料总使用量达到7000万吨，为交通领域减排约4亿吨。

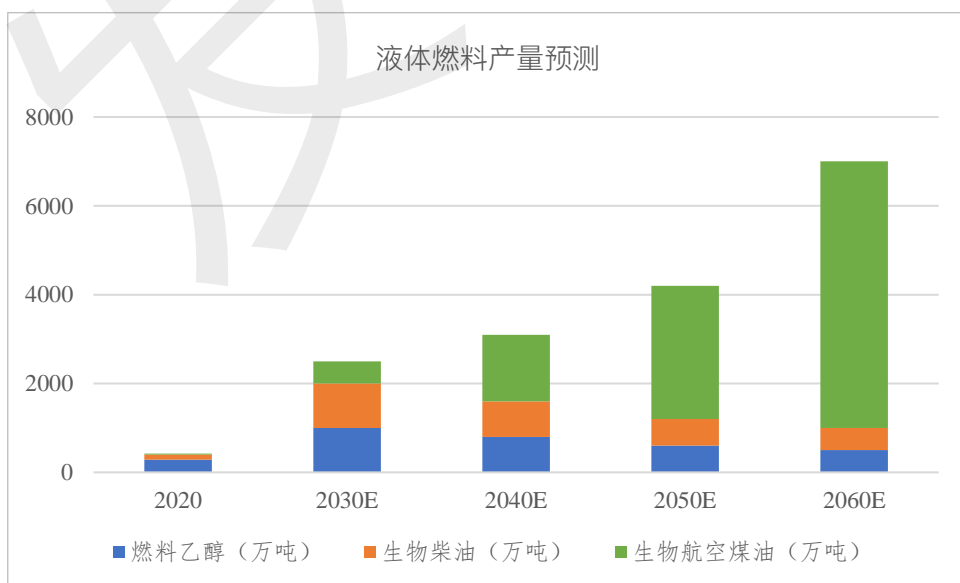


图 21 生物液体燃料产量预测

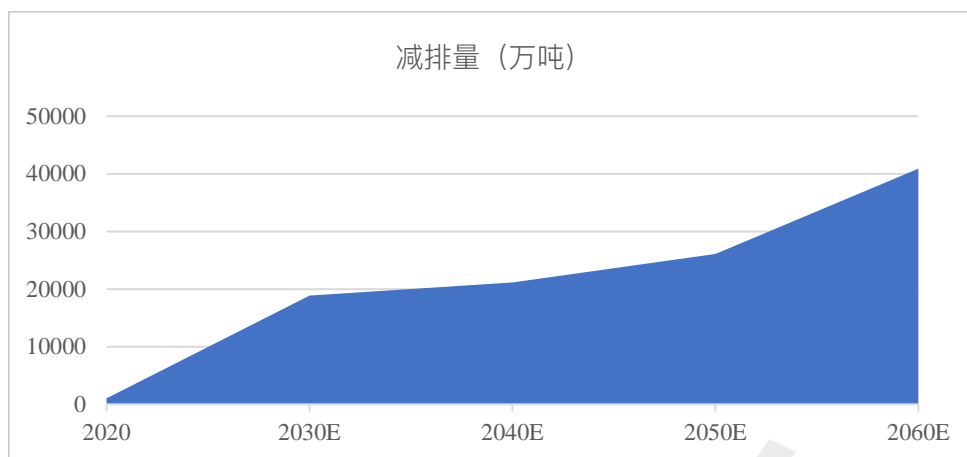


图 22 液体燃料减排量预测

(五) 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，未来我国有机肥的产量将超过 20 亿吨，能够大部分甚至完全替代化肥的使用，减少因使用化肥造成的温室气体排放，同时能够有效的增加土

壤有机质，促进农作物生长过程中的固碳能力。预计未来有机肥的使用，对农业领域的减排贡献将超过 2.4 亿吨。

（六）BECCS 技术

BECCS 是指将生物质燃烧或转化过程中产生的 CO₂ 进行捕集、利用或封存的过程，碳捕集、储存结合生物质能，能够创造负碳排放，是一种温室气体减排技术。研发并提前部署 BECCS 负碳排放技术是保障我国 2030 年实现碳达峰、2060 年实现碳中和的关键性技术。

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，2050 年 2~5 亿吨，2060 年 3~6 亿吨。

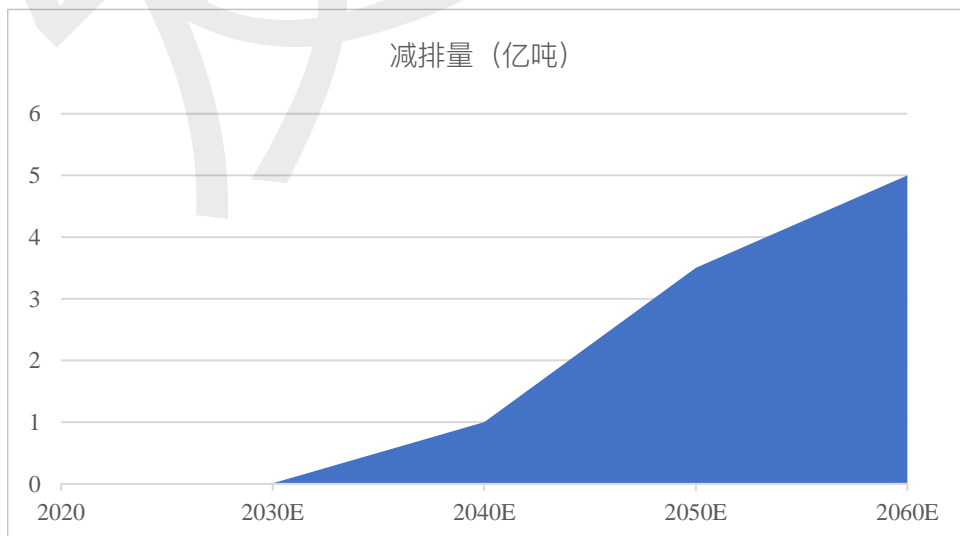


图 23 BECCS 技术减排量预测

第三部分

产业发展建议



六、双碳目标下生物质能行业面临的挑战

对生物质能认识有待提高。受传统生物质能（土灶台燃烧薪柴）“脏乱差”影响，整个社会，特别是各级政府对发展生物质能的重要性认识不足，甚至个别地方把生物质燃料当作仅次于散煤的高污染燃料，采取限制发展政策。

部门协调仍需加强。相比较风电光伏等可再生能源，生物质能管理职能较为分散，发改、财政、能源、环境、农业、住建、林草等均有相关职能，管理职能过于分散，不能形成有效合力，造成政出多门，有限资金不能集中使用，甚至出现部门间政策相互掣肘的现象，在一定程度上影响了产业的发展。

发展责任主体需进一步明确。由于生物质能产业链相对其它可再生能源较长，产业发展遇到的最大问题是责任主体不够明确。在产业发展中，需要充分考虑生物质能利用的环境、民生效益，应按照《关于构建现代环境治理体系的指导意见》要求，明确主要由地方财政承担环境治理支出责任，并按照财力与事权相匹配的原则，在进一步理顺中央与地方收入划分，完善转移支付制度改革中统筹考虑地方环境治理的财政需求，才能促进生物质能产业高质量发展。

支持政策有待创新。目前产业发展单靠可再生能源发展基金进行支持，随着可再生能源发展基金补贴缺口越来越大，资金短缺已严重制约了有机废弃物资源化利用产业的发展。根据统计，到 2020 年底，国家可再生能源发展基金补贴缺口预计将突破 3000 亿元。生物质发电企业，特别是民营发电企业将面临更加严峻的生存压力。同时由于普惠制的废物处理补偿机制尚未构建完全，生物质能非电利用领域发展规模受到资金限制，高成本与低竞争力制约生物质能规模化、产业化发展，造成了生物质能发电利用竞争力不强，发展规模受限，非电利用又没有形成规模的局面。

相关标准体系需进一步完善。如缺乏生物质锅炉专有排放标准，造成各地相关职能部门管理标准不一，项目中存在大量审批难问题，严重制约行业发展；已有的碳减排方法学未能覆盖全部生物质能行业，导致了在 CCER 市场启动后，部分项目的碳减排量不能被认可，无法参与市场交易。

行业统计监测体系仍需健全。我国生物质能统计存在调查面不全、数据质量不高、指标

体系不健全等问题。目前仅在发电利用方面对发电量有较为详细监测统计，对所处理废弃物情况也无统计。其他利用如供热、生物天然气（沼气）等其统计体系尚未开始建设。此外，如果项目缺乏长期有效的排放检测和生产数据跟踪，未来将无法有效支撑温室气体减排核证工作。

生物质能产品市场消纳路径未完全打通。生物质能利用普遍市场化程度较低，后端产业链没有有效打通，如生物质能清洁供热、生物天然气、生物质液体燃料都处于发展初期，没有建立有效的市场机制，后端产业链没有有效打通，面对市场时需要接受与同类型化石燃料产品的竞争局面，市场化发展路径单一致使行业发展缓慢，制约行业可持续发展。

七、相关建议

（一）政策层面

1、提升对生物质能绿色零碳属性的认识。生物质能是重要的可再生能源，具有绿色、低碳等优势，是我国可再生能源体系中的重要组成部分。同时不同于其他国家，我国主要为生物质废弃物的能源化利用，环境效益和零碳效益更为突出。需要加强宣传新技术下生物质能利用成效，破除生物质能利用高污染的误区，普及生物质能作为零碳能源的作用，在更多的场合为生物质能发声，让公众重新认识生物质能。

2、完善生物质能产业发展顶层设计。发展生物质能是一项利在当代、功在千秋的系统工程，加快制定出台“十四五”生物质能发展规划，从国家层面明确生物质能发展在推动乡村振兴、保障国家能源安全中的定位，推动各地进一步提高认识。建立健全有关部门分工负责、协同推进生物质能发展的工作机制，构建政策支持体系，形成工作合力，促进生物质能可持续健康发展。

3、建立有机废弃物有偿处理机制。一是建立普惠制有机废弃物处理收费制度。按照“谁产生谁付费，谁污染谁付费，谁处理谁受益”模式，逐步形成对畜禽粪污、餐厨垃圾、以及其他有机废弃物处理收费的机制，以市场化方式建立安全高效的原料收集体系。二是地方政府设立废弃物处理公共预算资金，对处理农业、林业废弃物，生活垃圾的企业进行适当的补助，落实地方治理环境责任，缓解中央补贴资金压力。

4、**加强生物质替代燃煤锅炉支持力度。**一方面发展生物质清洁供热要形成与煤改气、煤改电同部署、同落实、同检查、同考核。公平对待、一视同仁，享受与煤改气、煤改电同样的支持政策。另一方面各级政府要严控燃煤锅炉项目，实施淘汰 130 蒸吨每小时及以下燃煤锅炉专项行动，鼓励用生物质专用锅炉替代燃煤锅炉。

5、进一步**推广配额制**。总结生物液体燃料在试点配额方面的经验，根据生物天然气产量、生物质清洁供热情况、生物液体燃料量，选择有条件的区域进一步按照一定的比列要求与化石产品进行配额，促进市场化发展。

6、**建立试点碳税征收机制。**逐步研究增加碳税税种，对燃煤和石油下游的汽油、航空燃油、天然气等化石燃料产品，按其碳含量的比例征税，利用碳税支持生物质能产业发展，体现其零碳属性。

（二）技术层面

1、**完善生物质能碳减排方法学。**针对生物质利用不同工艺路线，研究完善方法学。通过理论计算和实践研究，确定建立各类废弃物处理的边界条件和基准线，研究基准排放、泄漏减排量的计算方法，为生物质各行业进入碳交易市场做好基础支撑。

2、**开展生物质清洁供热各项标准建设。**一是组织研究机构、行业协会加快开展生物质清洁供热工业化标准研究，包括燃料标准、锅炉标准、工程建设标准等，从源头规范行业发展。二是尽快出台生物质锅炉污染物排放标准，使行业有法可依，促进行业发展。

3、**建立技术创新目录。**建立生物质能产业技术创新推进目录，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。对于入选的技术进行一定的资金支持，并进行宣传推广。

4、**建立生物质能产业监测体系。**推动生物质资源信息大数据建设，提升生物质资源的数字化、信息化水平，开展全国统一的生物质资源调查行动，分区域、分类别对各类生物质资源进行统计。建立废弃物处理数据库，对各行业废弃物处理情况进行监测、监控，对产生产品进行统计分析。

（三）市场层面

1、**加大绿色金融支持力度。**一方面开发各类产业绿色信贷、绿色基金、绿色债券等，为产业发展提供良好的金融支持基础条件。另一方面通过财税政策激励投资者对生物质能行业的投资，促进产业的发展。

2、**生物质能减排量在碳市场优先交易。**生物质能项目因为成本、投资等因素，其成本一直较高，未来下降空间小。但是其碳减排效益远高于其他可再生能源，优先进入碳市场交易，促进生物质能产业良性发展。

3、**打破生物质能源产品消纳壁垒。**各级政府营造良好的营商环境，消除市场壁垒，保证有机废物资源化利用后的热、电、气、肥、油等商品能够被市场无歧视接受和消纳，促进产业发展，体现生物质减排效益。

参考文献:

- [1] World Meteorological Organization. The State of the Global Climate 2020[M]. 2021
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change. Special Report on Global Warming of 1.5 °C [M]. 2018
- [3] International Renewable Energy Agency, Bioenergy. [EB/OL]. [last retrieved 26.08.21], <https://www.irena.org/bioenergy>.
- [4] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Development of Renewable Energy Sources in Germany in the year 2020 [M]. 2021-02
- [5] 丁攀,叶芳,张轲,黄泽权,张韶祥,季福杰,蒋云仲,刘新萍.我国农业生物质能利用现状及发展前景[J].河南农业,2020(19):22-23.
- [6] 焦耀华.我国生物质能源产业的发展前景探究[J].经济研究导刊,2020(25):44-45.
- [7] 张永生,巢清尘,陈迎,张建宇,王谋,张莹,禹湘.中国碳中和:引领全球气候治理和绿色转型[J].国际经济评论,2021(03):9-26+4.
- [8] 刘兰兰.碳中和背景下我国碳市场影响因素分析[J].能源,2021(06):67-69.
- [9] 黄存瑞.气候变化如何影响人类健康? [J].可持续发展经济导刊,2020(05):26-28.
- [10] 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(01):70-73.
- [11] 周宏春,李长征,周春.碳中和背景下能源发展战略的若干思考[J].中国煤炭,2021,47(05):1-6.
- [12] 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[M], 2021-04.
- [13] International Renewable Energy Agency, Renewable Power Generation Costs in 2020. [EB/OL]. 2021-06, <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>.
- [14] 关于促进生物天然气产业化发展的指导意见 [EB/OL]. 2019-12-04, https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/201912/t20191219_1213770.html.
- [15] 中金研究院. 碳中和经济学[M].2021.
- [16] 生态环境部中国应对气候变化的政策与行动 2020 年度报告[EB/OL]. 2021-07-13, http://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/syqhbh/202107/t20210713_846491.shtml.
- [17] 樊静丽,李佳,晏水平,等.我国生物质能-碳捕集与封存技术应用潜力分析[J].热力发电,2021,50(01):7-17.

- [18]关于发布《第二次全国污染源普查公报》的公告[EB/OL]. 2020-06-10, http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content_5518391.htm.
- [19]中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[M]. 2010-2018.
- [20]国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 2010-2020.
- [21]中国畜牧兽医年鉴编辑委员会. 中国畜牧兽医年鉴[M]. 2010-2018.
- [22]国家林业和草原局. 中国林业和草原统计年鉴[M]. 1998-2019.
- [23]中华人民共和国住房和城乡建设部. 中国城乡建设统计年鉴[M]. 2010-2019.
- [24]农业农村部市场预警专家委员会. 中国农业展望报告(2021-2030)[M].北京 中国农业科学技术出版社, 2021.
- [25]谢光辉,王晓玉,包维卿,杨阳,李蒙,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.
- [26]World Meteorological Organization. The State of the Global Climate 2020[M]. 2021
- [27]Intergovernmental Panel on Climate Change. Special Report on Global Warming of 1.5 °C [M]. 2018
- [28]Carbon-neutral fuel [EB/OL]. 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-neutral_fuel

生物质能

中国产业发展促进会生物质能产业分会

电话：010-58815366

邮箱：swzncch@126.com

地址：北京市海淀区长春桥路11号万柳亿城中心C2座701

