



生活垃圾处理行业温室气体排放现状及 低碳发展转型建议



China Integrated
Waste Management
NAMA

版本说明

发行方:

德国国际合作机构 (GIZ)

注册地:

波恩和埃施波恩, 德国

驻华代表处地址

朝阳区麦子店街37号盛福大厦1100, 中国北京, 邮编:

100125

电话: +86 10 8527 5180

传真: +86 10 8527 5185

邮箱: giz-china@giz.de

网址: www.giz.de/china

报告作者:

北京中创碳投科技有限公司

图片来源:

封面: <https://699pic.com/>

网站链接:

本出版物中链接的外部网站内容由网站责任方为网站发行主体, 德国国际合作机构不对其负责。

项目:

中国城市生活垃圾处理领域国家适当减缓行动项目
(IWMNAMA)

项目委托方:

NAMA 基金会 (NAMA Facility)

该项目在NAMA基金会委托和提供资金支持下开展。NAMA基金会由德国联邦环境、自然保护和核安全部 (BMU), 英国商业、能源和工业战略部 (BEIS)、丹麦能源、公用事业和气候部 (EFKM) 和欧盟委员会 (EU) 共同出资成立。

北京, 2022

策划和编辑:

刘晓

中华人民共和国住房和城乡建设部
Ministry of Housing and Urban-Rural
Development (MoHURD)

Implemented by

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

NAMA Facility

On behalf of



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety



Department for
Business, Energy
& Industrial Strategy



Danish Ministry
of Energy, Utilities
and Climate



中国城市环境卫生协会
China Association of Urban Environmental Sanitation

摘要

气候变化问题是人类将要面临的一个重大和长期挑战，需要全世界范围的、长期的共同行动才能应对，也是国际社会肩负的共同责任。长期以来，中国本着负责任大国的态度积极应对全球气候变化，主动采取多种形式的减排举措，将低碳理念融入到社会经济建设的各个方面和全过程，积极探索符合国情的低碳发展道路。2020年9月22日，2030年前碳达峰值，2060年前碳中和战略的提出，充分体现了中国坚定不移走低碳发展道路的决心。2021年10月26日，国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》。

生活垃圾处理行业技术变革对于中国低碳转型已经做出了积极贡献，尤其在避免混合垃圾填埋产生的甲烷排放方面。在传统范畴的生活垃圾处理行业（含垃圾清运及处理，不含回收环节），垃圾处理处置环节碳排放作为最大的排放源，其大小基本可以代表生活垃圾处理行业整体的碳排放趋势。在过去的三十年中，中国不断完善生活垃圾处理处置体系，从规范卫生填埋场建设，到大力推进垃圾焚烧处理，对于避免混合垃圾甲烷排放做出了有效贡献。

生活垃圾处理行业垃圾处理 / 处置环节碳排放出现下降趋势，与相关政策推进和技术进步相关性较大。基于 IWM NAMA 项目执行基础，通过设定基准情景、低碳情景和强化低碳情景对生活垃圾处理行业碳排放进行了预测。生活垃圾处理处置碳排放量主要影响因素为垃圾清运处理量，垃圾组分以及垃圾处理处置技术结构的优化，三者互相关联。目前中国城镇生活垃圾已基本实现全量处理，垃圾清运量增速放缓，后续城乡一体化可能是影响行业碳排放总量的主要因素；另外从排放强度上分析，一方面为处理技术结构的优化，与相关政策如垃圾分类、垃圾焚烧、再生资源回收等政策的推行相辅相成，还与各项垃圾处理 / 处置技术进步（减少吨垃圾处理碳排放强度）密切相关。另一方面，需要关注生活方式及经济水平对生活垃圾组分带来的变化，塑料等化石碳组分的增加会对不同处理技术的碳排放强度产生直接影响，尤其对于焚烧设施其碳排放强度会相应增加。

生活垃圾处理行业作为城市基础设施领域的重要组成部分，首要承担垃圾无害化的职责，同时可采取更多措施进一步引导推动整个社会体系向更可持续更低碳转型升级。生活垃圾行业与人民生活息息相关，作为城市兜底保障功能中的重要一环，碳排放并不是唯一指标，需要无害化 / 减量化 / 资源化的综合优选；随着人口增加、经济增长、垃圾管理服务范围的进一步扩大，垃圾处理仍是一个不断发展的行业。

目前中国生活垃圾管理正迈入全新阶段，进入以垃圾分类为基础的高质量发展时期，对各项垃圾处理 / 处置技术的资源利用及能源利用水平提出了更高的要求，减少吨垃圾处理碳排放强度将成为新阶段的努力方向，如垃圾填埋气有效利用，垃圾焚烧能效提升，清洁焚烧厂建设，以及厌氧消化和堆肥资源化产品利用将成为下一个阶段处理处置环节的发展重点。

随着垃圾分类工作的开展，尤其需要关注回收环节的减排潜力，将回收环节纳入垃圾管理碳排放边界能够更全面体现出生活垃圾处理行业对全社会带来的排放影响。加强推动资源回收环节，实现可回收物在源头的有效分流及利用，将是未来垃圾管理行业减排的贡献。更进一步推动垃圾管理行业碳中和，则需要推动源头减量、循环经济及可持续生产消费，进而引导整个社会体系向更可持续更低碳转型升级。

推广生活垃圾处理行业碳排放监测及管理是推进行业绿色低碳转型的基础。准确核算生活垃圾处理行业温室气体排放前提是明确核算边界、正确识别排放源；其次是获取科学可靠的活动水平数据和排放因子数据；最终运用规范标准的核算方法开展碳排放测算。只有对行业温室气体排放量及排放特点心中有数，才能在此基础上更好的规划行业发展路径，推进行业绿色低碳转型。

目 录

1. 应对气候变化政策解读及对生活垃圾处理行业产生的影响	1
1.1 国际低碳发展及碳中和目标	1
1.2 欧盟应对气候变化相关政策解读及对生活垃圾处理行业产生的影响	2
1.3 中国应对气候变化相关政策解读及对生活垃圾处理行业产生的影响	6
1.4 小结	8
2. 生活垃圾处理行业温室气体排放与减排趋势研究	10
2.1 生活垃圾处理行业温室气体排放核算	10
2.2 生活垃圾处理行业的减排潜力及趋势分析	19
2.3 小结	20
3. 生活垃圾处理行业低碳发展目标预测	22
3.1 碳排放测算模型	22
3.2 碳排放关键参数分析	23
3.3 碳排放预测情景设置	24
3.4 碳排放关键参数设置	25
3.5 碳排放预测结果分析	29
3.6 小结	30
4. 生活垃圾处理行业低碳发展建议	31
4.1 政策管理建议	31
4.2 行业发展建议	33
4.3 绿色融资建议	34
4.4 小结	35
附件一 典型国家碳中和目标	36
附件二 术语和定义	38

1. 应对气候变化政策解读及对生活垃圾处理行业产生的影响

1.1 国际低碳发展及碳中和目标

1990 年，联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）发布了第一份评估报告。经过数百名顶尖科学家和专家的评议确定了气候变化的科学依据，也促使联合国大会作出制定《联合国气候变化框架公约》（The United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC，以下简称“公约”）的决定。《公约》的谈判由 1990 年 12 月开始，1992 年联合国签署了《联合国气候变化框架公约》，并于 1994 年 3 月 21 日正式生效。《公约》设立了最终目标、规定了基本原则、缔约方义务、技术转让和能力建设等内容，为应对未来数十年的气候变化设定了减排进程。同时，建立了一个长效机制，使政府间报告各自的温室气体排放和气候变化情况。

1992 年通过的《联合国气候变化框架公约》奠定了全球合作应对气候变化的法律基础，但未对各国具体行动提出可操作性的要求和指导，因此《公约》具体落实和实施仍有赖于后续谈判和立法。1995 年，《公约》第一次缔约方大会在德国柏林召开，并定于 1997 年《公约》第三次缔约方大会上提交一项法律文件，就发达国家的行动作出进一步的规定。从 1995 年 8 月至 1997 年 12 月，各国经过艰苦谈判，终于在日本京都通过了《京都议定书》。《京都议定书》为发达国家规定了有法律约束力的量化减排和限排指标，而没有为发展中国家规定减排或限排义务。

由于《京都议定书》只规定了发达国家在 2008 年至 2012 年减少温室气体排放的量化指标，2012 年后发达国家减排多少，发展中国家减不减、如何减成为各方后续谈判争论的焦点。直到 2015 年 12 月 12 日在巴黎气候变化大会上通过气候变化协定——《巴黎协定》，并于 2016 年 4 月 22 日在纽约签署。该协定为 2020 年后全球应对气候变化行动做出安排。《巴黎协定》是全球气候治理继《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》之后的又一个里程碑，提出了 2℃ 和 1.5℃ 温升控制目标，并提出了净零排放要求，传递了全球向绿色低碳转型的积极信号，为 2020 年后全球合作应对气候变化指明了方向和目标，同时也表明绿色低碳发展已成为世界经济的新趋势。

如今，《巴黎协定》已经进入实施阶段，但部分实施细则仍然悬而未决，尤其是《协定》第 6 条。2021 年 11 月 1 日-12 日，第二十六届格拉斯哥气候大会（COP26）终于落下帷幕，大会形成了《格拉斯哥气候协议（Glasgow Climate Pact）》，就减缓、适应、资金提出了新的目标或举措，并在《协定》进入实施期第一年之际，终于完成所有条款实施细则的谈判，为各国落实《协定》提供了规则、模式和程序上的指引。

根据各国向《联合国气候变化框架公约》秘书处提交的长期温室气体低排放发展战略等相关资料，截至 2021 年 6 月，已有 137 个国家提及碳中和目标（不丹、苏里南已实现碳中和），其中，非欧盟国家 110 个，欧盟国家 27 个。近九成规划了长期发展战略和阶段政策措施，制定了一揽子行动计划，废弃物领域减排也成为了各国主要考虑因素，例如：乌拉圭提出减少牛肉养殖、废弃物和能源排放的政策，预计到 2030 年成为净碳汇国；葡萄牙于 2018 年制定了包含能源、运输、废物、农业和林业等部门在内的碳中和路线图。详见附件一。

1.2 欧盟应对气候变化相关政策解读及对生活垃圾处理行业产生的影响

1.2.1 欧盟应对气候变化相关政策解读

在 20 世纪 90 年代欧盟成立之前，部分欧洲国家在民间力量的推动下，出台了各自的气候变化政策。欧盟成立之后，政策重点落在从欧盟层面协调各国政策。《联合国气候变化框架公约》与《京都议定书》签署和生效的过程中，欧盟一体化也得到一定发展，作为一个独立施政主体，欧盟的气候变化行动也越来越主动。从 20 世纪末开始，围绕国际气候制度谈判的不同发展阶段，欧盟气候政策逐步推进，在欧盟与全球两个层面同时展开。

20 世纪 90 年代初期至末期。1997 年《京都议定书》通过后，为兑现 8% 的减排承诺，欧盟成员国之间达成了“减排分担协议”，第一次有了明确的气候治理目标。这一时期，欧盟内部统一气候政策还没有形成，政策重点是成员国能源政策的协调，后期又加入了交通政策的协调和税收政策的配合。因缺乏足够的内部动力支持与外部氛围，欧盟出台的一系列促进节能减排、发展可再生能源的法律与政策，并没有真正得以实施，却成为之后更全面系统的政策框架的基础。在国际上，在欧盟与美国的合力推动下，国际社会达成《联合国气候变化框架公约》与《京都议定书》，并促成了《公约》的生效。

20 世纪 90 年代初期至末期。1997 年《京都议定书》通过后，欧盟为兑现 8% 的减排承诺，欧盟成员国之间达成了“减排分担协议”，欧盟第一次有了明确的气候治理目标。这一时期，欧盟内部统一气候政策还没有形成，政策重点是成员国能源政策的协调，后期又加入了交通政策的协调和税收政策的配合。因缺乏足够的内部动力支持与外部氛围，欧盟出台的一系列促进节能减排、发展可再生能源的法律与政策，并没有真正得以实施，却成为之后更全面系统的政策框架的基础。在国际上，在欧盟与美国的合力推动下，国际社会达成《联合国气候变化框架公约》与《京都议定书》，并促成了《公约》的生效。

20 世纪 90 年代末期至《京都议定书》生效前。在内部，为了“发现和发展一切必要的、有利于贯彻议定书的欧盟政策和措施”。欧盟于 2000 年启动了第一个气候治理行动综合计划—欧盟气候变化计划（ECCP I, European Climate Change Programme），这是欧盟统一气候治理行动正式启动的标志。在这个框架之下，欧盟制定了促进节能减排的具体举措，包括建立欧盟碳交易机制（EU-ETS）。2002 年，欧盟通过第六个《环境行动框架计划》，应对气候变化被列为欧盟可持续发展战略四项行动的首位，“减排”被纳入几乎所有的经济部门。在国际上，在美国退出《京都议定书》的情况下，欧盟主动承担起了继续推动国际气候制度谈判的重任，通过外交政策的调整，争取到了俄罗斯与发展中国家的支持，终于在 2005 年促成了《京都议定书》的生效。在参与气候谈判的过程中，气候政策逐渐成为欧盟一个新的、独立的政策领域。

《京都议定书》生效至 2007 年底。这一阶段欧盟在国内外积极推动《京都议定书》的落实。在内部，欧盟启动了 ECCP II，制定了一些新的减排措施，决定正式启动 EU-ETS，并开始酝酿将航空业纳入 EU-ETS 之中，提出了新车强制减排标准，制定了碳捕获与封存（CCS, Carbon Capture and Storage）技术开发、应用的立法框架。在国际上，欧盟敦促发达国家制定更积极的气候政策，并加强了与发展中国家的气候合作。

2008 年 -2012 年底（后京都阶段）。这一阶段欧盟开始为《京都议定书》第一承诺期到期后的国际气候合作做准备。在内部，欧盟在 2008 年底正式出台“气候变化与能源一揽子计划”，其核心内容是“20/20/20 计划”¹，一揽子计划还修正了 EU-ETS。2009 年欧盟又提出适应气候变化总框架—《适应气候变化白皮书》。这一时期欧盟提出了更为激进的减排政策，加大了内部政策的整合力度，不仅进一步扩展了 EU-ETS，还提出了非 EU-ETS 部门的减排目标，大力发展可再生能源被置于欧盟低碳经济发展战略的中心，“适应”政策的地位也得以提升。2012 年末，欧盟出台第七个《环境行动框架计划》，提出了要将节能减排进一步纳入欧盟所有主流政策领域。在国际上，以《迈向哥本哈根—全面的气候变化协议》、《后哥本哈根国际气候政策：重振全球气候变化行动刻不容缓》两份文件，以及欧盟在哥本哈根气候大会上的表述为标志，欧

¹ 2020 年欧盟温室气体排放量在 1990 年的基础上至少减少 20%；2020 年将欧盟可再生清洁能源占总能耗的比例提高 20%；2020 年欧盟化石能源的消费量在 1990 年的基础上减少 20%。

盟后哥本哈根时期的气候外交立场和总策略正式形成，这一时期欧盟对发达国家提出了更为严格的减排要求，对发展中国家的立场也逐步偏离共同但有区别的责任原则，目的是将所有排放责任国纳入强行减排机制，实现全球减排的中长期目标。

2015 年的《巴黎协定》为 2020 年后全球应对气候变化行动作出了安排，确立了应对气候变化国际合作的制度框架。欧盟在《巴黎协定》中承诺到 2030 年将其温室气体排放量较 1990 年减少 40%，将可再生能源在能源总量中的占比提升到 32%，同时将能效提高 32.5%。

2019 年 12 月，新一届欧盟委员会发布《欧洲绿色协议》（亦称为“绿色新政”）是欧盟为了实现既定目标而采取的战略政策措施之一。“绿色新政”提高了欧盟 2030 年和 2050 年的减排雄心，基于原有的 2020 年、2030 年控排目标进展迟滞的评估结果，欧盟委员会计划于 2020 年夏提出一项影响评估计划，将 2030 年欧盟减排目标从原有的在 1990 年水平上至少减排 40%，提高到 50%，并努力提高到 55%，到 2050 年实现气候中和。为了到 2050 年成为全球首个净零排放的洲，《欧洲绿色新政》从能源、工业、建筑、交通、粮食、生态和环境 7 个方面规划了行动路线图，并呼吁各国与之携手努力。其中，关于废弃物领域，提到“通过增加可持续材料在纺织品上的应用、提高纺织品回收比例、维修延长电子产品寿命，减少一次性塑料在商品包装上的使用，在 2030 年将废弃物减少至目前的一半”。

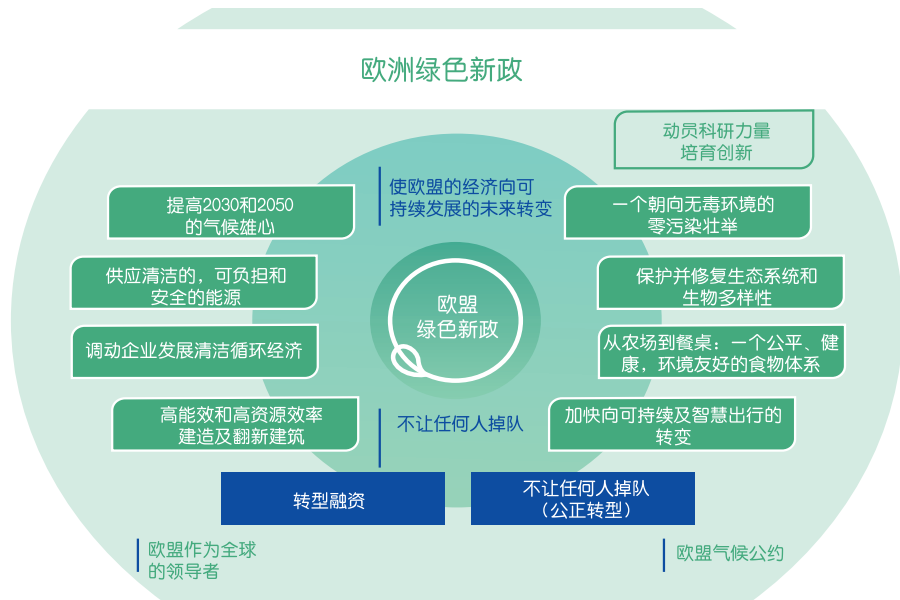


图 1-1 欧洲“绿色新政”

2020 年 3 月 4 日，欧盟委员会向欧洲议会及理事会提交《欧洲气候法》提案，《欧洲气候法》虽直接脱胎于“绿色新政”，但结合其出台的宏观背景，同时联系欧盟内部架构与外交战略，可知该法并不仅仅是可有可无的法律宣示。相反，《欧洲气候法》对内是欧盟层面统一气候行动必不可少的法律杠杆，对外既展示了欧盟实现气候中和目标的全球模范领导力，也预示着其将在外交和经济层面采取更强硬措施。

2021 年 7 月 14 日，欧委会发布《适应：在通往气候中和道路上实现欧盟 2030 年气候目标》一揽子方案，旨在实现到 2030 年欧盟温室气体净排放量与 1990 年的水平相比至少减少 55%，进而到 2050 年实现碳中和的目标。其中，特别提到“完善《努力共担条例》，设定具有约束力的成员国减排目标，涵盖欧盟现有排放交易体系外的建筑、交通、废弃物和小型工业领域”。在这些领域，欧盟 2030 年排放量将较 2005 年降低 40%。

1.2.2 应对气候变化政策对生活垃圾处理行业产生的影响

为了实现温室气体减排目标，欧盟早在 1997 年颁布的“三部门法”中就提到废物领域的减排：“在原有的国内轻工业部门、能源密集的出口导向型部门以及电力部门等三个部门减排的基础上又增加了化石燃料制造业（煤矿开采、石油及天然开采）、农业、废物和土地利用变化及林业”，并针对每一个部门都制定了各自的减排标准。依据“三部门法”，1998 年 6 月，欧盟 15 国达成并签署了《负担分担协议》，确定了各成员国承担的具体减排目标。2002 年 4 月，欧盟环境部长理事会正式通过了《负担分担决议》（Council Decision 2002/358/EC），这就标志着欧盟《负担分担协议》正式成为欧盟的法律。

自从欧盟《负担分担协议》在 1998 年正式签署之后，为实现欧盟的节能减排发挥了重要的作用。在欧盟内部及国际形势发生的巨大变化之下，2009 年 6 月欧盟颁布的温室气体《减排分担决议》（Effort Sharing Decision）正式生效，取代了《负担分担协议》。该协议是为了实现对 EU-ETS 监管范围外剩余 60% 的温室气体排放的监管，以保证实现欧盟所设定的到 2020 年温室气体减排 20% 的目标，监管范围包括除属于 EU-ETS 监管范围之外的所有温室气体排放，具体包括：能源领域（燃料燃烧、来自燃料的逃逸性排放）、工业加工、可溶性产品和其他产品的使用、农业、废弃物。欧盟原有的《负担分担协议》中，减排目标实现的关键在于那些重大工业企业和二氧化碳的减排，而《减排分担决议》则是鼓励所有行业采取减排措施。欧盟各成员国可根据分配的减排目标针对不同的行业制定自身的减排策略。

虽然废弃物领域的垃圾填埋、焚烧、厌氧消化以及堆肥处理不属于 EU-ETS 控排范围，但是在 EU-ETS 允许使用《京都议定书》创建的清洁发展机制（CDM）和联合履约机制（JI）下产生的减排量 CERs 和 ERUs 进行碳排放的抵消。垃圾填埋、焚烧、厌氧消化以及堆肥均在 CDM 和 JI 项目设计类别里²。那么这些政策形势一定程度上促进了垃圾焚烧产业的发展，再加上欧盟在 2001 年颁布的《促进可再生能源电力生产指导政策》中提到“将垃圾中的生物质（可生物降解部分）产生的能源（电、热）纳入可再生能源范畴，给予垃圾焚烧碳税优惠等政策”，从此被认为低碳、经济、能源可再生的垃圾焚烧产业也得到了快速发展。但是，随着人们生活方式的变化，生活垃圾中塑料的含量逐年增加，相关研究表明，在欧洲部分国家由于塑料组分的提高导致垃圾焚烧发电的碳排放强度已经高于燃煤发电³。因此，欧盟更新版 2021 年正式生效的《可再生能源指令》（2021-2030）明确要求“欧盟成员国确保其国家的可再生能源政策（包括补贴计划）充分遵循垃圾处理优先次序原则，如果成员国没有完成《废弃物框架指令》中规定的垃圾分类收集义务，则应取消对垃圾焚烧的可再生能源补贴”。值得提出的是，欧盟“禁塑令”2021 年正式施行，一次性塑料制品的使用包括可生物降解的一次性塑料均被禁止，有益于垃圾焚烧设施的碳排放降低，也可以帮助其发电作为可再生能源促进欧盟减排目标的实现。

废弃物领域甲烷排放问题正日益引起各国关注，欧盟在甲烷减排方面积累了丰富的经验。欧盟甲烷排放约占全球的 5%，其人为甲烷排放的 98% 来源于农业（53%）、废弃物处理（26%）和能源（19%）三大部门。欧盟的第一份甲烷减排战略颁布于 1996 年，经过多年的发展，甲烷减排政策和环境已经非常完善，与 1990 年相比，现在废弃物处理领域的甲烷排放已经减少了三分之一。2020 年 10 月出台了《欧盟甲烷减排战略》，以支撑其中长期温室气体减排目标。其中，在废弃物部门提出①加强监管，向成员国和各区域提供技术援助；② 2024 年审核修订《垃圾填埋气指令》，改善垃圾填埋气的管理；③在 2021-2024 年“欧洲地平线”计划中，设立项目研究垃圾生产生物甲烷技术等行动。

欧盟不仅对废弃物领域出台减排政策，还采取了多种强制性措施以达到温室气体减排的目的。这些措施主要包括垃圾填埋指令、垃圾焚烧指令、车辆报废指令、废弃物成分指令、冶金工业废弃物管理指令、废弃物包装改进指令、电子电器废弃物指令、生物废弃物绿皮书、电池指令等多项法规政策。从减排效果看，填埋过程的协同减排效果最好，占废弃物领域减排量的 97.2%，减排率为 45.1%⁴。

2 自从 EU-ETS2005 年正式运行以来，对于 CERs 和 ERUs 抵消使用的限制越来越多。在 EU-ETS 第一阶段（2005-2007 年）允许无限制使用 CERs 和 ERUs 进行履约。第二阶段（2008-2012 年）可履约的 CERs 和 ERUs 的范围被限定在核能、大型水电、以及部分农林相关项目之外。第三阶段（2013-2020 年）规定抵消只能来自最不发达国家（中国已排除在外）。第四阶段（2021-2030 年）已暂停 CERs 和 ERUs 进行履约，欧盟计划出台新的市场机制取代 CDM 和 JI，对 EU ETS 实现补充。

3 来源于中国城市生活垃圾处理领域国家适当减缓行动项目（IWM NAMA）研究结果。

4 数据来源：贺蓉，殷培红，杨宁：废弃物领域协同减排是实现温室气体减排的重要途径 [J]. 中国环境管理, 2011(04):32-36.

欧盟的主要经济体也将废弃物领域作为主要减排领域，如英国，根据 1990~2007 年统计数据，废弃物领域成为英国仅次于能源领域的第二大减排途径。在英国，40% 的甲烷排放来自垃圾填埋场，约占英国温室气体总排放量的 3%。英国的采取的政策主要包括三个方面：减少填埋场甲烷排放，如推广应用甲烷回收系统；源头削减和回收再利用预防废弃物产生；利用废物生产电力等。英格兰废弃物管理战略（WS2007）于 2007 年公布，主要是通过鼓励采用更多的生物降解方式、鼓励回收和提高垃圾能源化利用等方式减少垃圾填埋的甲烷排放。

在欧盟及各成员国颁布的政策和采取的措施下，废弃物领域取得了良好的减排效果，具体总结如下：

（1）据相关研究数据可知（如表 1-1），工业生产和废弃物领域的减排成效在整个减排的排行中排前两名，下降的幅度与 1990 年相比：考虑现有措施 2010 年基线排放，下降比例分别为 9% 和 18%；相对于 2010 年基线排放的成本有效的减排成效分别为 12% 和 13%。

表 1-1 欧盟 2010 年分部门的减排成效⁵

部门	1990 或 1995 年排放 (Mt 二氧化碳当量)	考虑现有措施 2010 年基线排放	相对于 2010 年基线排放的成本有效的减排成效
能源部门	1422	-6%	-13%
工业	757	-9%	-12%
交通	753	31%	-4%
民用	447	0%	-6%
服务业	176	14%	-15%
农业	417	-5%	-4%
废弃物	116	-18%	-13%
合计	4138	1%	-9%

（2）2018 年 7 月 5 日，欧洲环境署（EEA）发布《欧洲 2017 年气候变化减缓政策措施》（National Policies and Measures on Climate Change Mitigation in Europe in 2017）报告中，统计了自 2015 年以来，各成员国新政实施的进展情况，主要排放源的能效提升水平分别达到：能源消耗（34%），运输（23%），废弃物（12%）与土地利用、土地利用变化和林业（LULUCF）（12%）。

综上，从欧盟的减排经验和效果来看，虽然废弃物领域排放占比小，但是具有减排空间大、效果好、手段多样的优点。同时在解决废弃物污染的过程中，促进了其温室气体减排目标的实现，具有典型的减污降碳协同性，目前已经成为欧盟等发达国家完成温室气体减排任务的重要减排策略。但是随着政策形势的不断变化，欧盟废弃物领域减排措施除了垃圾处置中的填埋气回收、垃圾焚烧可再生能源利用之外，废物重复利用、材料回收等资源循环将成为欧洲废弃物领域减排的主要方向。

5 资料来源：Jos Delbeke. Implementing the Kyoto Protocol-Tha EU Plan of Action. European Commission, 2012.

1.3 中国应对气候变化相关政策解读及对生活垃圾处理行业产生的影响

1.3.1 中国应对气候变化相关政策解读

长期以来，中国本着负责任大国的态度积极应对全球气候变化，主动采取多种形式的减排举措，将低碳理念融入到社会经济发展的各个方面和全过程，将应对全球气候变化作为在新常态下实现绿色发展转型的重大机遇和驱动力，积极探索符合国情的低碳发展道路。在国际气候变化应对与治理层面上，中国不仅是最早一批签署《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》的国家，还是最早制定实施应对全球气候变化国家方案的发展中国家。具体政策梳理如下：

表 1-2 中国应对气候变化政策梳理

序号	时间	重要事件	主要内容
1	2007 年 6 月	发布《中国应对气候变化国家方案》	全面阐述了在 2010 年前应对全球气候变化的主要政策举措。它不仅是中国第一个应对全球气候变化的综合性政策文件，也是发展中国家在该领域中的第一个国家方案。
2	2008 年 10 月	发布《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书	全面阐释了中国减缓和适应全球气候变化的主要政策与行动，是中国应对全球气候变化的纲领性文件。
3	2009 年末	中国政府积极参与在哥本哈根举行的联合国气候变化大会，尽力促成了《哥本哈根协定》	承诺，到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%-45%，并将其作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。
4	2012 年 11 月	举行中国共产党第十八次代表大会的工作报告	明确提出中国要“为全球生态安全作出贡献”。此后，中国政府在大力推进国内生态文明建设的同时，更加积极地推动国际气候变化谈判取得进展。
5	2013 年 11 月	发布《国家适应气候变化战略》	中国发布第一部专门针对适应全球气候变化的战略规划。
6	2015 年 12 月	中国政府积极参与巴黎联合国气候变化大会，并与国际社会一起促成了《巴黎协定》	中国所做出的“国家自主贡献目标”包括，到 2030 年达到二氧化碳排放峰值并争取尽早实现，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%-65%，非化石能源比重提升到 20% 左右，森林碳汇达到 45 亿立方米。这不仅是中国作为《公约》缔约方的规定性动作，也充分表明了为实现公约目标所能做出的最大努力。
7	2016 年 11 月	发布《“十三五”控制温室气体排放工作方案》	进一步要求：到 2020 年，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2015 年下降 18%，碳排放总量得到有效控制；支持优化开发区率先达峰，作为力争部分重化工业 2020 年左右实现率先达峰，能源体系、产业体系和消费领域低碳转型取得积极成效。

此外，中国碳市场的建设也是应对气候变化关键环节。从 2011 年 10 月 29 日到 2017 年 12 月 18 日，7 个省市开展碳排放权交易试点工作陆续启动，全国碳市场纳入企业 2013-2015 年第三方核查工作如期完成，发电行业碳交易市场全面开始做了充足的准备工作。但 2017 年年底至 2020 年 9 月前的近三年时间里，除了将重点企业碳排放数据报告、核查工作常态化外，全国碳市场建设的部分工作推进未达预期。2020 年以来，全国碳市场建设呈现了加速态势，9 月至今，相关配额管理、登记结算、核查指南、《管理办法》等多个文件密集出台之后，2021 年 7 月 16 日上午，全国碳排放权交易市场正式启动交易。

中国在低碳发展之路上仍面临着很多外部压力。一方面，中国二氧化碳排放量已经超过美国和欧盟排放量之和，约占世界总排放量的三分之一，国际社会对中国减排举措十分关注；另一方面，对于已做出“碳中和”目标的国家来说，在“碳中和”氛围下，为满足本国环保团体的要求并保护本国产业，动用贸易武器、严格审查发展中国家的基础设施投资的可能

性增大。例如，2020 年以来，欧盟提出要加速推进“碳边境”计划，向减碳措施疲软的国家的产品征收碳税，以保护“采用更高环保标准”的产品。目前美国民主党内已经有激进声音提出要跟随欧盟推进边境碳税，而美国新上台的拜登政府的政策之一就是“以气候议题为核心”。

与此同时，气候变化也是中国可持续发展的内在需要。习近平总书记多次强调：“应对气候变化不是别人要我们做，而是我们自己要做”。回顾过去，从 2011 年中国将应对气候变化首次写入国家五年发展规划到党的十八大、十九大，中国始终高度重视应对气候变化工作，已将应对气候变化融入国家经济社会发展大局，不断完善应对气候变化的顶层设计和制度规划，并提出中国二氧化碳排放 2030 年左右达到峰值并争取尽早达峰的总体目标。

2020 年 9 月 22 日，习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上郑重宣布，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，二氧化碳排放力争在 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。在此之后，习近平总书记在联合国生物多样性峰会、第三届巴黎和平论坛、金砖国家领导人第十二次会晤、二十国集团领导人利雅得峰会“守护地球”主题边会、气候雄心峰会等国际会议上连续多次强调了新达峰目标与碳中和愿景，充分体现了中国坚定不移走低碳发展道路的决心。新达峰目标与碳中和愿景的相关内容也被写入《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》。2020 年 12 月 16 日至 18 日召开的中央经济工作会议指出，做好碳达峰、碳中和工作是 2021 年八项重点任务之一。

2021 年 10 月 24 日，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，发展目标围绕绿色低碳循环发展和绿色转型两方面，要求到 2025 年，绿色低碳循环发展的经济体系初步形成，重点行业能源利用效率大幅提升，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2020 年下降 18%；非化石能源消费比重达到 20% 左右；到 2030 年，经济社会发展全面绿色转型取得显著成效，重点耗能行业能源利用效率达到国际先进水平，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 65% 以上；非化石能源消费比重达到 25% 左右，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上；到 2060 年，绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳安全高效的能源体系全面建立，能源利用效率达到国际先进水平，非化石能源消费比重达到 80% 以上。

2021 年 10 月 26 日，国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》，《方案》提出，将碳达峰贯穿于经济社会发展全过程和各方面，围绕能源低碳化、能源资源节约、产业结构调整、电气化、循环经济和辅助行动，强调重点实施“碳达峰十大行动”。其中，在循环经济助力降碳行动中，提出推进产业园区循环化发展、加强大宗固废综合利用、健全资源循环利用体系以及大力推进生活垃圾减量化资源化四项重点任务。

实现碳中和是保护生态环境的根本措施。中国新气候目标的提出，对国内疫情后加速低碳转型和长期低碳发展战略的实施，以及推进全球气候治理进程都会产生重要指引作用。虽然中国在化石能源消费过程中采取了很多节能减排和治污的措施，但随着末端治理措施空间越来越小，从根本上减少化石能源消费、物资循环利用才是提升环境质量、保护生态环境的最根本措施。因此，实现碳中和是中国自身现代化建设可持续发展的要求，与在本世纪中叶建成社会主义现代化强国与美丽中国的目标相契合。

1.3.2 应对气候变化政策对生活垃圾处理行业产生的影响

“十一五”以来，中国政府高度关注废弃物领域的温室气体减排，不断完善城市废弃物处理标准和法规制定，推广利用垃圾焚烧技术，出台促进填埋气体回收利用的激励政策等，有效降低了废弃物处理领域的温室气体排放。在发布的《中国应对气候变化的政策与行动》一系列报告中，多次提到控制废弃物处理领域温室气体排放，提出包括开展垃圾分类、优化垃圾处理结构以及提高生活垃圾总处理能力等举措。在 2014 年发布的《国家应对气候变化规划（2014-2020 年）》中特别提到“控制废弃物处理领域排放：加大生活垃圾无害化处理设施建设力度。健全生活垃圾分类、资源化利用、无害化处理相衔接的收转运体系，对生活垃圾进行统一收集和集中处理。推进餐厨垃圾无害化处理和资源化利用，鼓励残渣无害化处理后制作肥料。在具有甲烷收集利用价值的垃圾填埋场开展甲烷收集利用及再处理工作。在具备条件的地区鼓励发展垃圾焚烧发电”。

十二五以来，国务院连续发布《“十二五”控制温室气体排放工作方案》、《“十三五”控制温室气体排放工作方案》，重点强调了“强化废弃物处理领域温室气体排放统计与核算”，并明确“开展垃圾分类，在具备条件的地区鼓励发展垃圾焚烧发电等多种处理利用方式，有效减少全社会的物耗和碳排放。开展垃圾填埋场、污水处理厂甲烷收集利用及与常规污染物协同处理工作”。

随着碳达峰及中和目标的提出，2021年1月11日生态环境部发布的《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》中指出“要推动实现减污降碳协同效应，加大交通、废弃物领域设施管理；协同控制非CO₂气体排放；鼓励各地积极探索协同控制温室气体和污染物排放的创新举措和有效机制”。因此，该指导意见的出台为生活垃圾处理行业研究减污降碳协同机制提供了政策依据。2021年2月22日，国务院发布《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》，确保实现碳达峰、碳中和目标，推动中国绿色发展迈上新台阶。意见强调，要加强再生资源回收利用，推进垃圾分类回收与再生资源回收“两网融合”，加快落实生产者责任延伸制度，完善废旧家电回收处理体系，特别是加快构建废旧物资循环利用体系，加强废纸、废塑料、废旧轮胎、废金属、废玻璃等再生资源回收利用，提升资源产出率和回收利用率等。

2021年10月26日，国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》。方案中明确提出“健全资源循环利用体系”和“大力推进生活垃圾减量化资源化”2项重点任务。同时在健全资源循环利用体系方面，提出到2025年，废钢铁、废铜、废铝、废铅、废锌、废纸、废塑料、废橡胶、废玻璃等9种主要再生资源循环利用量达到4.5亿吨。到2030年达到5.1亿吨。在推进生活垃圾减量化资源化方面，提出到2025年，城市生活垃圾分类体系基本健全，生活垃圾资源化利用比例提升至60%左右。到2030年，城市生活垃圾分类实现全覆盖，生活垃圾资源化利用比例提升至65%。

此外，中国也越来越重视甲烷减排，2021年11月10日，中国和美国在联合国气候变化格拉斯哥大会期间发布《中美关于在21世纪20年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》。《联合宣言》称，两国特别认识到，甲烷排放对于升温的显著影响，认为加大行动控制和减少甲烷排放是21世纪20年代的必要事项，并就甲烷测量、减排具体事宜达成了意向。

根据《中华人民共和国气候变化更新报告》，废弃物领域温室气体排放量从2005年112Mt升高到2014年的195Mt，包括固体废弃物处理产生的排放和废水处理产生排放两部分，其中固体废弃物处理产生的排放占废弃物领域温室气体排放总量的比例从2005年43.7%的提高到2014年的53.2%，占中国温室气体排放总量1.4%左右。由于中国目前废弃物处理能力和处理体系的不断完善，废弃物处理温室气体排放仍处于增长阶段，同时由于其具有典型的减污降碳协同性，是“中央提出的关于温室气体和污染物排放协同减排的最重要领域”。

值得讨论的是，在碳中和背景下，到2060年，能源、工业等其他领域的温室气体排放量势将大幅下降，如果废弃物处置领域不采取有效的减排措施，该行业产生的温室气体排放可能将占全国总排放量的5-10%。因此，废弃物处置领域可以探讨进一步低碳转型的路径及方法，通过采取推行垃圾分类、完善再生资源回收体系建设、推动资源利用效率提升、垃圾处理处置设施能效提升、开展垃圾填埋场甲烷收集利用等措施，进一步减少温室气体排放。

1.4 小结

国际上绿色低碳发展已成为世界经济的新趋势。从1990年IPCC发布的第一份评估报告后，国际上经历了为应对未来数十年的气候变化设定了减排进程的《联合国气候变化框架公约》，再到为发达国家规定了有法律约束力的量化减排和限排指标的《京都议定书》，最终在巴黎气候变化大会上通过气候变化协定—《巴黎协定》，为2020年后全球合作应对气候变化指明了方向和目标，同时也表明绿色低碳发展已成为世界经济的新趋势。截至2021年6月，国际上已有137个国家提及碳中和目标（不丹、苏里南已实现碳中和）。

虽然废弃物领域排放占比小，但是具有减排空间大、效果好、手段多样的优点。同时在解决废弃物污染的过程中，通过协同减排促进了其温室气体减排目标的实现，欧盟废弃物领域减排措施除了垃圾处置中的填埋气回收、垃圾焚烧可再生能源利用之外，废物重复利用、材料回收等资源循环将成为欧洲废弃物领域减排的主要方向。

中国一直以来积极应对气候变化，生活垃圾处理行业技术变革也已经做出了积极的贡献。中国本着负责任大国的态度积极应对全球气候变化，在国际气候变化应对与治理层面上，中国不仅是最早一批签署《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》的国家，还是最早制定实施应对全球气候变化国家方案的发展中国家。在过去的三十年中，中国不断完善生活垃圾处理处置体系，从规范的卫生填埋场建设，到大力推进垃圾焚烧处理，对于避免混合垃圾甲烷排放做出了有效贡献。更进一步，随着中国碳达峰及中和目标的提出，健全资源循环利用体系，大力推进生活垃圾减量化资源化以及无废城市建设将会成为实现双碳目标的重点任务。

2. 生活垃圾处理行业温室气体排放与减排趋势研究

2.1 生活垃圾处理行业温室气体排放核算

2.1.1 温室气体排放边界确定

(1) 地理边界

本报告中讨论的垃圾处理温室气体排放边界的空间范围包括生活垃圾分类投运、收集和运输、处理 / 处置和回收全流程管理覆盖的地理、物理场所。地理边界包括城市、县城等地产生的生活垃圾全流程管理覆盖的地理范围。

(2) 设施边界

生活垃圾管理的设施边界包括收运设施、处理 / 处置设施以及回收设施。生活垃圾管理的设施边界如图 2-1 所示：

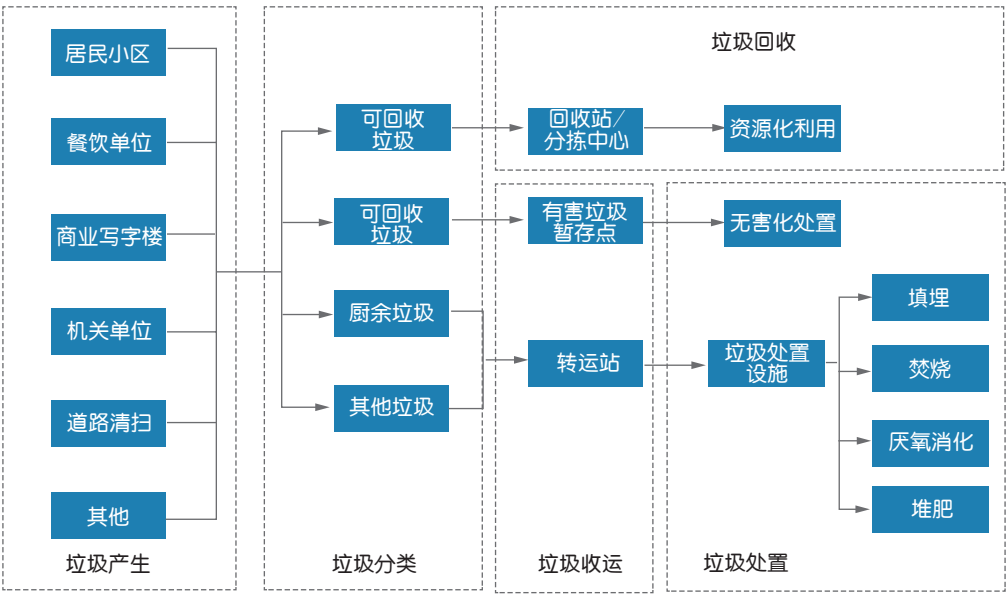


图 2-1 城市生活垃圾管理的设施边界

收运设施：生活垃圾从产生地（如：居民区、商业写字楼、餐馆、超市等）直运或转运至垃圾处置设施的运输车辆、转运站，本报告中的收运设施不包括清扫保洁设施；

处理 / 处置设施：各类垃圾处置设施，包括填埋场、焚烧厂、餐厨垃圾 / 厨余垃圾处理厂和垃圾堆肥处理站等；

回收设施：可回收物的回收站点、分拣中心等。

2.1.2 温室气体排放源识别

生活垃圾的全流程管理包括垃圾分类投放、收运、处理 / 处置和回收四大环节。其中：

垃圾分类投运环节基本为人工，一般不会产生温室气体排放；

垃圾收运环节是通过垃圾收运车辆直接或经过转运站间接运输到各垃圾处理 / 处置站点、回收站点，温室气体排放包括 2 部分：直接排放和间接排放。直接排放是垃圾收运车辆运输过程中消耗汽柴油产生 CO_2 的排放，以及运输车辆使用尿素等尾气净化剂会产生 CO_2 的排放；间接排放是垃圾收运车辆运输过程中消耗电力产生 CO_2 的排放，以及转运站通风系统、照明设施等消耗电力会产生 CO_2 的排放。

垃圾处理 / 处置环节包括垃圾填埋场、焚烧厂、餐厨厂、好氧堆肥处理站以及其他简易方式，温室气体排放包括 2 部分：直接排放和间接排放。直接排放是垃圾填埋场、焚烧厂、餐厨厂以及好氧堆肥处理站等处理 / 处置过程中会产生 CO_2 、 CH_4 以及 N_2O 的排放；间接排放是指垃圾填埋场、焚烧厂、餐厨厂以及好氧堆肥处理站等处理 / 处置过程中消耗电力产生的 CO_2 排放。

垃圾回收环节产生碳排放是各大小分拣中心运营消耗能源如电力等产生的间接排放。

垃圾全流程管理及温室气体排放工艺流程图如下：

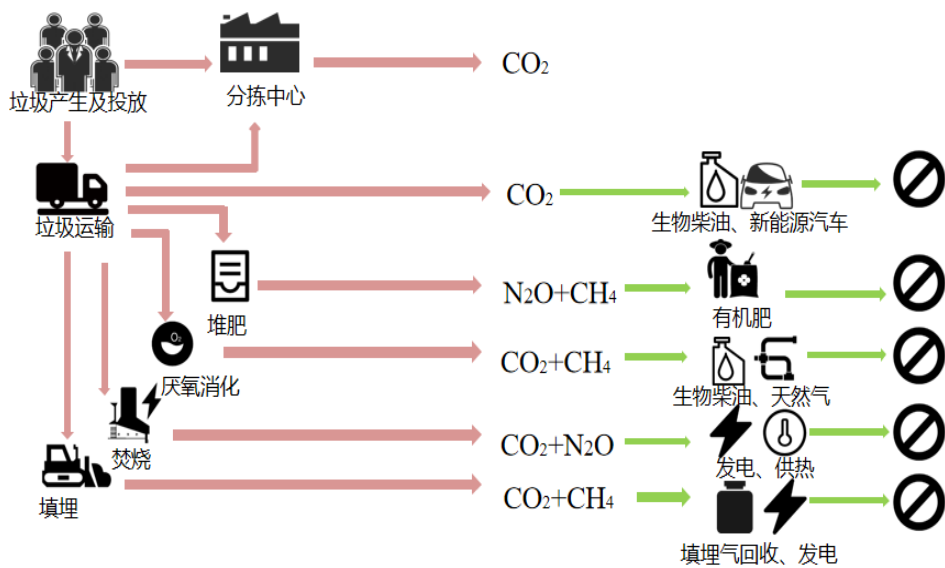


图 2-2 垃圾全流程管理及温室气体排放工艺流程图

在生活垃圾全流程管理过程中，垃圾处理 / 处置涉及的排放源种类最多，情况也比较复杂，下面针对每种垃圾处理 / 处置方式的排放源种类分别进行分析。其中，垃圾填埋涉及排放源有 7 类，垃圾焚烧涉及排放源有 8 类，厌氧消化涉及排放源有 12 类，垃圾堆肥涉及的排放源有 4 类。具体如下：

表 2-1 不同垃圾处理 / 处置方式涉及的排放源

序号	排放源	涉及的温室气体	填埋	焚烧	厌氧消化	堆肥
1	填埋场甲烷泄漏排放	CH ₄	√			
2	火炬燃烧产生的甲烷逃逸排放	CH ₄	√	√	√	
3	化石燃料燃烧产生的排放	CO ₂	√	√	√	√
4	外购电力产生的排放	CO ₂	√	√	√	√
5	有机废水处理产生的甲烷排放	CH ₄	√	√	√	
6	发电替代电网供电而避免产生的排放	CO ₂	√	√	√	
7	供热替代热网供热而避免产生的排放	CO ₂	√	√	√	
8	焚烧过程中产生的 CO ₂ 排放	CO ₂		√		
9	焚烧过程中产生的甲烷和氧化亚氮排放	CH ₄ 、N ₂ O		√		
10	厌氧消化过程中产生的甲烷排放	CH ₄			√	
11	沼渣沼液贮存产生的泄漏排放	CH ₄			√	
12	沼气提纯替代天然气管网供气而避免产生的排放	CO ₂			√	
13	生物柴油替代柴油而避免产生的排放	CO ₂			√	
14	堆肥过程中产生的甲烷和氧化亚氮排放	CH ₄ 、N ₂ O			√	√
15	有机肥替代化肥而避免产生的排放	CO ₂			√	√

(1) **垃圾填埋**：整个工艺是垃圾进厂后先进行称重，再到作业区倾倒，最后通过推土机、压实机摊铺、压实、撒药、覆盖、填筑，到最终的覆土整个处理过程。垃圾填埋过程最大的排放源就是填埋气的泄漏，占整个填埋场温室气体排放比例大概达到 80% 以上。推土机、压实机在摊铺、压实过程中消耗化石燃料柴油，那么柴油燃烧过程中会产生 CO₂ 的排放。垃圾在填埋储坑中会产生渗滤液，渗滤液在处理过程中会产生 CH₄ 的排放。另外，填埋场一般会对产生的填埋气进行回收，回收之后的填埋气一部分可能会送入火炬燃烧，那么火炬不完全燃烧中会产生 CH₄ 的逃逸排放；一部分会送入锅炉燃烧产蒸汽，产出的蒸汽一方面直接供热替代热网供热会产生减排，另一方面带动发电机组发电替代电网供电也会产生减排。除此之外，填埋场实际运行过程中从电网购买电力也会产生温室气体排放。具体温室气体排放环节如图 2-3。

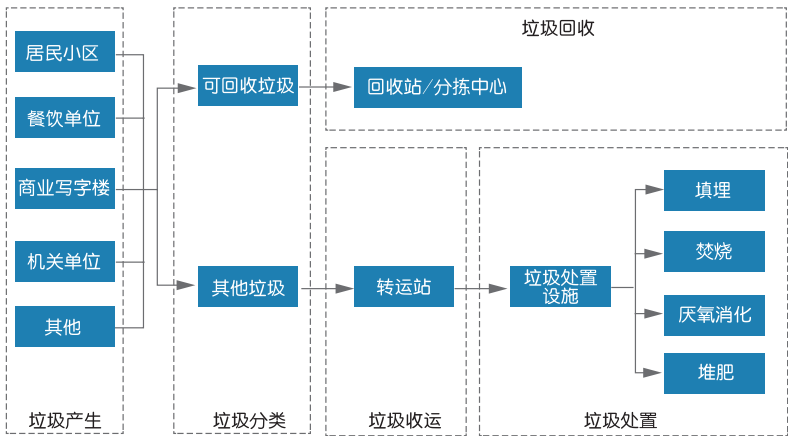


图 2-3 垃圾填埋整体的工艺流程和温室气体排放环节⁶

6 图 2-3- 图 2-5 中数据符号代表的排放源与表 2-1 一一对应。

2.1.3 温室气体排放核算方法

(1) 垃圾收运

垃圾收运环节涉及 3 个排放源，具体的核算方法如下：

表 2-2 垃圾收运环节涉及排放源的核算方法

序号	排放源	核算方法
1	垃圾收运车辆运输过程中消耗汽柴油、电力产生的 CO ₂ 排放	按照垃圾收运车辆汽柴油、电力消耗量乘以碳排放系数计算得到碳排放量。
2	垃圾收运车辆使用尿素等尾气净化剂会产生 CO ₂ 的排放	按照催化转化器使用消耗的尿素添加剂量以及尿素添加剂中 P 的比例计算得到碳排放量。
3	转运站通风系统、照明等设施消耗电力会产生 CO ₂ 的排放	按照转运站通风系统、照明等设施电力消耗量乘以对应的碳排放系数计算得到碳排放量。

计算垃圾收运车辆运输过程中消耗汽柴油、电力会产生 CO₂ 的排放：需要获取垃圾收运车辆运输过程中汽柴油和电力消耗量，目前官方发布的统计文件中并未对这部分能耗单独统计，同时考虑中国垃圾收运车还是以燃油车为主⁷。因此，本报告垃圾收运车辆产生的碳排放全部按照燃油车计算。

计算过程涉及垃圾收运车辆数量、运行公里数、燃油量，以及对应的排放因子。其中，《中国城市建设统计年鉴》中提供了市容环卫专用车辆台数，根据专家访谈和调研，垃圾收运车数量大概占环卫专用车总量的 30%；垃圾收运车辆类型包括自卸式垃圾车、后装压缩式垃圾车以及车厢可卸式垃圾车等，车辆装垃圾的量从百公斤到几吨不等，目前无法获取详实的垃圾收运车辆类型以及对应的运行公里数和燃油量。对此，项目访谈了相关专家，假设以“每天运行 30 公里，百公里油耗 20L/天”进行初步估算。排放因子采用《陆上交通运输企业温室气体排放核算方法与报告指南》中的缺省值。

计算垃圾收运车辆使用尿素等尾气净化剂会产生 CO₂ 的排放：需要获取尿素添加剂消耗量。目前全国数据无法获取，而且不能进行合理的估算。因此，该排放量暂未计算。

计算转运站通风系统、照明等设施消耗电力产生的 CO₂ 排放：需要获取通风系统、照明等设施消耗的电量，中国大大小小的垃圾转运站非常多，《能源统计年鉴》中也未单独统计这部分数据，而且该部分数据没有办法进行合理的估算。因此，该排放量暂未计算。

综上，垃圾收运环节仅能计算垃圾收运车辆运输过程中消耗汽柴油、电力产生的 CO₂ 排放。其他 2 个排放源由于相关数据无法获取，暂时不能计算。经调研，垃圾收运环节车辆运输产生的碳排放为主要排放源，其排放大小基本可以代表垃圾收运体系的整体碳排放趋势。

(2) 垃圾处理 / 处置

垃圾处理 / 处置包括垃圾填埋、焚烧、厌氧消化以及堆肥 4 种方式，通过图 2-3- 图 2-5 进行分析，每种处理 / 处置方式涉及的排放源种类较多，考虑涉及计算排放量的大部分数据是无法直接获取的，因此采用针对每种排放源分别计算的方式计算中国全部垃圾处理 / 处置设施排放量是不可行的，对此本报告计算该部分的排放量采用以下 2 种方式。第一种方法

⁷ 根据《前瞻产业研究院，天风证券研究所》研究结果，2019 年环卫车销售动力结构中柴油动力车占比为 89.5%。考虑相关数据可获得性以及碳排放量估算保守性原则，本次研究将 2010-2019 年收运体系车辆全部假设为柴油车进行估算。

采用国家温室气体清单编制结果，第二种方法根据中国城市生活垃圾处理领域国家适当减缓行动项目（以下简称“IWM NAMA”）苏州、西安、蚌埠、泰安和兰州5个示范城市的研究成果进行估算，最终得到垃圾处理/处置环节温室气体排放量，具体如下：

第一种方法：中国已分别于2004年、2012年、2017年和2018年提交了《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》《中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报》《中华人民共和国气候变化第一次两年更新报告》《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》，报告了1994年、2005年、2012年以及2014年温室气体排放清单，包括废弃物领域（含垃圾填埋、焚烧以及废水处理）产生的温室气体排放。

但是由于该方法计算填埋和焚烧产生的温室气体排放时，仅核算了填埋泄漏产生的CH₄排放、焚烧过程CO₂、CH₄以及N₂O的排放，并未考虑各垃圾处理/处置设施运营过程中外购电力、化石燃料使用等产生的排放以及发电和供热替代电网供电、热网供热产生的减排。废水处理产生的排放为工业废水和生活污水产生碳排放之和，其排放量大于生活垃圾处理行业废水处理的计算范围。因此，存在一定的局限性。

第二种方法：结合IWM NAMA研究成果中5个示范城市垃圾填埋场、垃圾焚烧厂、餐厨厂以及堆肥处理站的碳排放强度（tCO₂e/t垃圾）计算的平均值，通过《中国城市建设统计年鉴》中垃圾填埋量、垃圾焚烧量等数据，计算垃圾处理/处置环节温室气体排放量。该方法具备一定程度上的普适性。

(3) 垃圾中可再生资源回收

垃圾中可再生资源回收在排放环节主要涉及回收设施的能源利用，包括照明及辅助设施的用电及用能，具体计算方法如下表：

表 2-3 垃圾中可再生资源回收涉及排放源的核算方法

序号	排放源	核算方法
1	各大小分拣中心照明、辅助设施消耗电力产生的 CO ₂ 排放	1) 按照分拣中心照明等设施电力消耗量乘以对应的碳排放系数计算碳排放量。

计算各大小分拣中心照明等设施消耗电力产生的 CO₂ 排放：需要获取照明等设施消耗的电量，中国各分拣中心规模不一、数量大，而且分布较分散，目前没有官方文件统计该部分数据，而且该部分数据无法进行合理的估算。因此，目前该排放源暂时无法进行合理的量化。

2.1.4 温室气体排放趋势⁸

目前垃圾回收环节产生的碳排放暂时无法进行合理的量化，垃圾收运、垃圾处理/处置环节温室气体排放量及趋势分析如下：

(1) 垃圾收运

根据 2.1.2-2.1.3 节核算方法以及数据来源，项目计算的垃圾收运环节（不包括清扫保洁）车辆运输产生的碳排放如下：

⁸ 为了国家温室气体排放清单报告范围保持一致，该节仅计算城市生活垃圾收运、处理/处置产生的温室气体排放。

表 2-4 垃圾收运环节车辆运输产生的碳排放

年份	环卫车辆（万台）	垃圾收运车辆（万吨）	排放量（MtCO ₂ ）
2015	20.9	6.3	0.4
2016	24	7.2	0.4
2017	28.3	8.5	0.5
2018	31.3	9.4	0.6
2019	35.1	10.5	0.6
2020	38.1	11.4	0.7

2015-2020 年环卫车辆数据源于《中国城乡建设统计年鉴》，经专家访谈，初步认为垃圾收运环节车辆约占环卫车辆 30% 左右，运输产生的碳排放逐年增加，年均增速 12.85%，2020 年排放量为 0.7Mt。其中，2015-2017 年增速显著，近 2 年增速放缓。未来随着垃圾清运范围的不断扩展以及清运量的进一步增多，环卫收运车辆会继续增加，但是按照目前国家的政策形势，2021 年起传统燃油环卫车辆将逐步被新能源电动车辆替代，预测未来短期内垃圾收运车辆产生的碳排放会小幅增加，长期来看可能会有所下降。

（2）垃圾处理 / 处置

• 第一种方式：采用国家温室气体清单编制结果

中国废弃物领域 2005 年、2010 年、2012 年以及 2014 年温室气体排放结果中，活动水平数据来源于《中国城市建设统计年鉴》《中国环境统计年鉴》，排放因子数据来源于《IPCC 优良做法指南》《2006 年 IPCC 清单指南》以及本国实测数据等。

中国废弃物领域温室气体排放总量以及各排放源排放量呈逐年增长的趋势。其中，温室气体排放总量从 2005 年 112Mt 升高到 2014 年的 195Mt，2014 年相对于 2005 年提高了 74.17%；废弃物焚烧产生的碳排放量从 2005 年 3Mt 上升到 2014 年 23Mt，2014 年超过 2005 年的 8 倍；废弃物填埋产生的排放量从 2005 年 46Mt 上升到 2014 年 81Mt，2014 年相对于 2005 年的提高了 74.42%；2014 年废弃物焚烧与填埋合计排放量为 104Mt。废物处理行业排放增加的主要原因是中国生活垃圾清运范围不断扩大，生活垃圾管理体系不断完善，垃圾填埋量、焚烧量逐年升高，废水产生量逐年加大，也说明我国废弃物处理基础设施的不断完善。

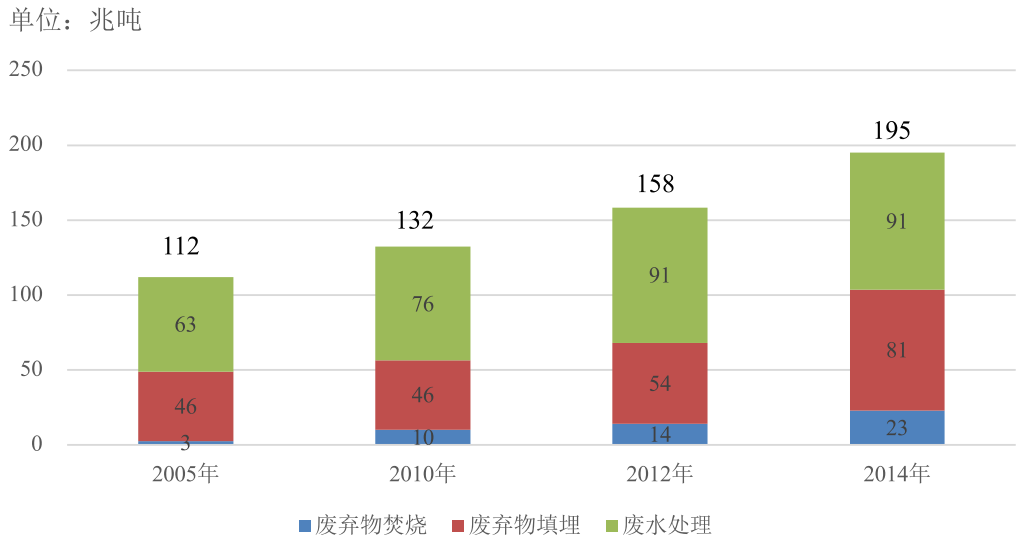


图 2-6 垃圾处理 / 处置环节产生的碳排放 (MtCO_{2e})
备注：在国家温室气体清单中，废弃物领域也包括废水处理

从各排放源占比的角度分析，废弃物填埋产生的排放占比基本保持稳定状态，在 34%-41% 之间；废弃物焚烧产生碳排放的占比整体呈上升的趋势，从 2005 年 2% 升高到 2014 年 12%；废水处理产生的排放稍许下降，从 2005 年 56% 下降到 2014 年 47%。

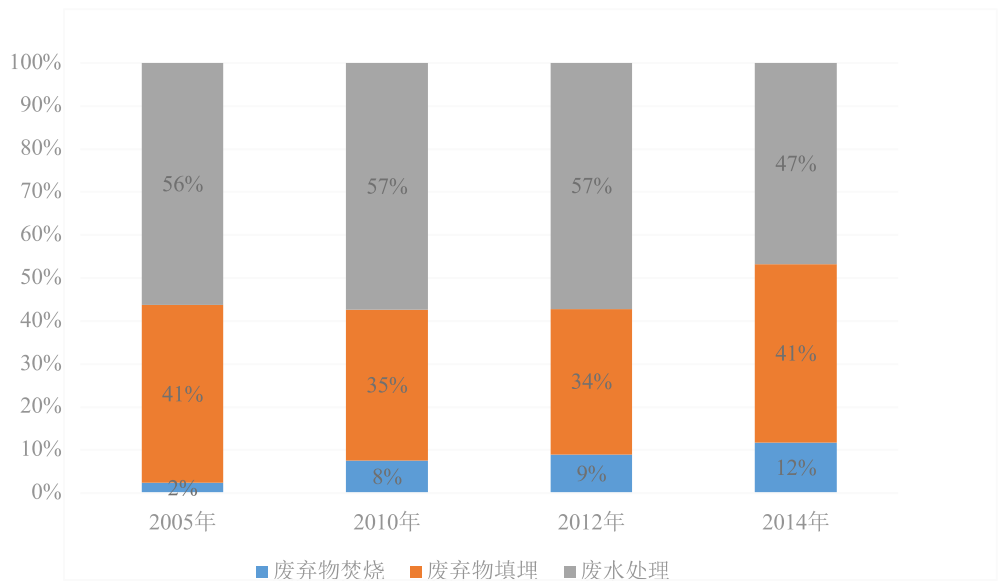


图 2-7 废弃物处理领域不同排放源占比分析

• 第二种方式：根据 IWM NAMA 研究成果进行计算

IWM NAMA 项目旨在推动城市生活垃圾综合管理，促进减少中国城市生活垃圾处理领域的温室气体排放，因此本报告研究的核心内容是计算示范城市垃圾综合管理带来的减排量。截至目前，项目通过收集五个示范城市各垃圾焚烧厂、填埋场、餐厨厂以及堆肥处理站详实的数据资料，根据国家公布的方法学，已经测算了 2019 年 1 月 ~2021 年 4 月的各垃圾处

理 / 处置设施的碳排放强度。为了使本报告研究结果具有一定的代表性，碳排放强度采用示范城市各垃圾处理 / 处置设施的平均值。具体计算结果如下：

表 2-5 垃圾处理 / 处置环节产生的碳排放 (MtCO_{2e})

年份	垃圾焚烧		垃圾填埋		其他方式		碳排放合计 (MtCO _{2e})
	处理量 (万吨)	碳排放强度 (tCO _{2e} /t)	处理量 (万吨)	碳排放强度 (tCO _{2e} /t)	处理量 (万吨)	碳排放强度 (tCO _{2e} /t)	
2015	6577	0.28	16171	0.82	525	-0.043	150.8
2016	7957	0.28	16780	0.82	618	-0.043	159.6
2017	9322	0.28	17125	0.82	728	-0.043	166.2
2018	11226	0.28	16700	0.82	837	-0.043	168.0
2019	13492	0.28	16093	0.82	1029	-0.043	169.3
2020	16323	0.28	12625	0.82	1073	-0.043	148.8

特别强调的是，经研究垃圾组分对垃圾处理碳排放强度具有较大的影响。其中，纸张、木材、橡胶和纺织品对垃圾填埋碳排放强度影响较大；塑料、橡胶和纺织品对垃圾焚烧碳排放强度影响较大。通过调研，随着经济不断发展，居民收入的日益提高，居民消费结构也不断发生变化，以及垃圾分类工作的逐步推进，垃圾中各种物理组分发生不同程度的变化，突出表现为橡塑类包装废弃物含量明显增加。因此，第 2 种方法中 2015-2020 年产生的碳排放全部采用五个示范城市各处理设施的平均碳排放强度进行计算，与实际排放情况相比还是具有一定的偏差。而且在目前的测算中，因为样本数相对局限，以及垃圾组成数据也具有局限性，因此并未考虑设施排放强度的年度变化趋势，是后续研究中可以重点关注和探讨的方向。另外，表格中“其他方式”的碳排放强度为“有效管理且实现沼气利用的厌氧消化处理设施”，设施的运行管理水平会显著影响排放强度，值得注意。

第二种方法在垃圾范围上采用《中国城乡统计年鉴》数据，包含城市和县城两部分，范围上有所扩大；另外在垃圾组分，热值等参数选择上采用了实测平均值，同时在核算碳排放强度时考虑了发电、供热替代电网供电和热网供热等产生的减排。

(3) 温室气体排放汇总

通过对垃圾收运环节和处理 / 处置环节温室气体排放量进行汇总，与垃圾处理 / 处置环节相比，垃圾收运环节碳排放占比较小，值得提出的是，此部分排放不包括道路清扫保洁以及转运站部分排放数据。而且 2020 年碳排放开始下降，主要原因是混合垃圾处理从填埋向焚烧转型。

表 2-6 生活垃圾处理行业温室气体排放 (MtCO_{2e})

年份	垃圾收运	垃圾处理 / 处置	合计
2015	0.4	150.8	151.4
2016	0.4	159.6	160.4
2017	0.5	166.2	166.5
2018	0.6	168.0	168.6
2019	0.6	169.3	169.6
2020	0.7	148.8	149.7

2.2 生活垃圾处理行业的减排潜力及趋势分析

虽然生活垃圾处理行业在垃圾收运、处理 / 处置以及回收等环节由于能源消耗以及垃圾中碳、氮元素的转化会产生一定水平的温室气体，但行业目前已具备一系列可行的减排措施，如垃圾收运体系优化及部分收运车辆的电动化，能够促进行业能源结构的清洁化。同时，通过回收环节实现的资源再利用，能够为全社会贡献金属、纸张、塑料等产品，避免了相关产品处置过程和生产过程带来的排放，优化了社会资源利用效率，也进一步降低垃圾处理行业的排放水平。此外，垃圾处理 / 处置过程垃圾填埋气回收发电、供热，垃圾处理 / 处置方式改变包括垃圾焚烧、厌氧消化以及堆肥替代垃圾填埋都将产生一定的减排效果。

2.2.1 垃圾收运体系优化带来的减排

垃圾收运体系车辆燃料的使用是主要的碳排放源，因此收运体系优化路线、进行燃料替代以及改变运输方式等都将带来一定的减排。

考虑相关数据可获得性，下面以收运车辆消耗能源电力替代化石燃料汽柴油产生的减排为例，为读者提供参考。《长江证券研究所》对新能源车和燃油车全生命周期的碳排放进行了研究比较，全生命周期的碳排放包括车辆生产和处理、燃料生产以及尾气排放 3 个阶段。其中，在车辆生产和处理阶段，新能源车辆的碳排放高于汽柴油车；在燃料生产阶段，可再生能源电力碳排放是最低的，使用混合电力和燃煤电力的车辆的碳排放高于汽柴油车；在尾气 CO₂ 排放阶段，使用电力车辆为 0，汽柴油车辆尾气 CO₂ 排放在整个生命周期占比是最大的。

由图 2-9 可知，在全生命周期内，汽柴油车碳排放相当，大约为 210g/km；使用燃煤电力车碳排放最大，大约为 305g/km；使用混合电力车碳排放低于汽柴油车，大约为 165g/km；使用可再生能源电力车辆碳排放最低，大约为 65g/km。

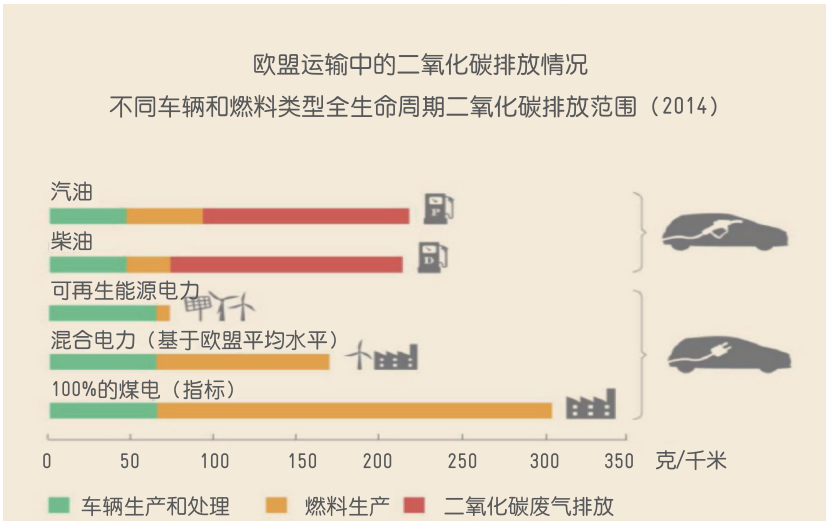


图 2-8 欧盟新能源车和传统汽柴油车全生命周期碳排放比较⁹

垃圾收运车辆电动化带来减排还需要一定时间才能形成比较大的规模，其局限性包括从能源供给端发展可再生能源电力、可再生能源电力的广泛应用相关配套设施建设以及电动车辆的技术研发等；同时对于垃圾行业，还需要统筹考虑收运距离运输强度等综合因素，垃圾转运过程涉及到大型转运车辆，其适用场景仍需分析。但是可以预见，垃圾收运车辆电动化带来的减排还是十分可观的。

⁹ 来源于长江证券研究所研究报告《碳中和的加减机会》。

2.2.2 垃圾处理 / 处置带来的减排

中国目前垃圾处理 / 处置方式主要以填埋和焚烧为主，厌氧消化和堆肥为辅。垃圾焚烧主要的减排途径包括通过垃圾焚烧发电产生绿色电力、加强提高焚烧厂热能利用水平和效率等；垃圾卫生填埋减排途径包括加强垃圾填埋气体的收集与处理系统、加强填埋场调节池的密封和气体收集处理进而提高填埋气的回收效率等，而且回收的填埋气通过锅炉燃烧也可以发电、产热；垃圾厌氧消化减排途径包括垃圾厌氧消化产生沼气，沼气不仅可以送入锅炉燃烧发电和产热，还可提纯替代天然气的使用；好氧堆肥减排途径主要是有机肥料替代化肥的使用。

通过对“中国自愿减排交易信息平台”中备案项目信息梳理，垃圾填埋发电、供热减排潜力约为 $0.1\sim0.4\text{tCO}_2\text{e/t}$ 垃圾；垃圾焚烧发电、供热相较于填埋减排潜力约为 $0.1\sim0.7\text{tCO}_2\text{e/t}$ 垃圾；垃圾厌氧消化和堆肥相较于填埋减排潜力约为 $0.3\sim0.6\text{tCO}_2\text{e/t}$ 垃圾¹⁰。因此，未来随着中国垃圾处理 / 处置方式多样化发展，从垃圾填埋逐步过渡到垃圾焚烧、厌氧消化以及堆肥等，垃圾处理 / 处置环节产生的碳排放将进一步减少，这种发展趋势也与中国坚持绿色低碳化发展理念相一致。

2.2.3 再生资源回收带来的减排

产品的生产流程大体包括从自然界获取原材料、运输原材料、原材料的加工处理、产品储存、运输和销售等过程，其碳排放包括原材料采集和运输过程消耗化石燃料产生的碳排放、产品生产制造过程需要消耗能源如电力等产生的碳排放。那么，通过对垃圾中的废品进行回收再利用，可以减少产品原材料消耗，从而减少化石燃料和电力消耗，进而减少碳排放的产生。主要的减排途径在于提高各种废品的回收率及利用率。典型再生资源碳减排潜力如下：

表 2-7 典型垃圾碳减排潜力

成分	碳减排当量 ($\text{tCO}_2\text{e/t}$ 物质)	碳减排潜力 ($\text{tCO}_2\text{e/t}$ 垃圾)
废纸	0.6-2.5	0.085-0.35
废铝	10	0.06
废铁	2	0.03
废玻璃	5	0.015
废塑料	0-1	0-0.05

根据《2020 年再生资源回收行业发展报告》¹¹，2019 年中国废纸回收量 1890 万吨、废塑料回收量 1199 万吨以及废玻璃回收量 984 万吨。可以看到，再生资源回收减排潜力巨大。那么未来随着垃圾分类工作大力开展，再生资源如废纸、废塑料、废铝等的回收量还会进一步增加，那么其产生的减排量也会进一步加大，这将助力中国 2060 碳中和目标的实现。

2.3 小结

推广生活垃圾处理行业碳排放监测及管理是推进行业绿色低碳转型的基础。准确计算生活垃圾处理行业温室气体排放前提是明确核算边界、正确识别排放源；其次是获取科学可靠的活动水平数据和排放因子数据；最终运用规范标准的核算方法开展碳排放测算。只有对行业温室气体排放量及排放特点心中有数，才能在此基础上更好的规划行业发展路径，推进行业绿色低碳转型。

¹⁰ 对于厌氧消化和堆肥项目，平台上还没有备案项目信息，该数据为审定项目信息，且未包含有机肥替代化肥产生的减排。

¹¹ 该数据包括生活源和工业源。

生活垃圾处理行业碳排放包括分类投运、收运、处理 / 处置和回收四大环节，垃圾处理 / 处置环节碳排放作为最大的排放源，其大小基本可以代表生活垃圾处理行业整体的碳排放趋势。垃圾处理 / 处置环节 2015-2019 年碳排放逐年增加，主要原因是中国生活垃圾清运范围不断扩大，生活垃圾管理体系不断完善，垃圾填埋量、焚烧量逐年升高，废水产生量逐年加大，也说明中国废弃物处理基础设施的不断完善。2020 年相对于 2019 年呈现下降的趋势，其中混合垃圾处理从填埋向焚烧转型是排放总量下降的主要因素。

生活垃圾处理行业可借助自身的行业优势，实现碳减排。目前行业已具备一系列可行的减排措施，如垃圾收运体系优化，能够实现行业能源结构的清洁化，带来可观的减排效果。同时，通过回收环节实现的资源再利用，金属、纸张、塑料等作为再生资源利用，避免了相关产品处置过程和生产过程带来的排放，优化了社会资源利用效率，也进一步降低垃圾处理行业的排放水平。此外，垃圾处理 / 处置过程垃圾填埋气回收发电 / 供热，垃圾处理 / 处置方式改变包括垃圾焚烧、厌氧消化以及堆肥替代垃圾填埋都将产生一定的减排效果。

3. 生活垃圾处理行业低碳发展目标预测

生活垃圾处理行业温室气体排放的测算包含垃圾收运环节、垃圾处理 / 处置环节以及再生资源回收环节。其中，垃圾收运环节影响碳排放的因素包括垃圾收运车辆台数、未来车辆电动化的趋势、城镇化水平提高导致收运距离的变化以及不同吨位的收运车辆能耗的差距等。根据目前国家颁布的政策、发布的相关研究成果以及通过专家咨询等，对于这些因素未来的趋势变化较难合理预测；另外再生资源回收环节各分拣中心能耗数据也相对缺失。因此，综合考虑预测的科学性和可靠性，本报告仅对垃圾处理 / 处置环节包括垃圾焚烧、填埋、厌氧消化、堆肥等低碳发展目标及路径提出预测建议。

3.1 碳排放测算模型

当前，对于碳排放变化趋势预测、影响因素分析的研究以各种数理模型结合情景分析法进行预测为主。国内外学者对碳排放预测的研究主要可分为两类。一类是通过构建混合经济模型结合情景分析法预测碳排放变化趋势，如 MARKAL-MACRO 模型、CGE 模型、IPAC 模型、LEAP 模型；另一类是利用碳排放与相关影响因素间的关系结合情景分析法进行预测，如 Kaya 模型、LMDI 模型、IPAT 模型、STIRPAT 模型。混合经济模型可以综合考虑经济、能源与环境的复杂决定关系，更多应用于国家层面。基于影响因素识别的预测模型适用范围较广，可应用于地区、部门、行业和企业层面。

从成熟的各类模型原理来看，基于 KAYA 恒等式的基础上进行了相应的改进的 LMDI 模型是比较适用于行业层面的测算。一方面，其测算方法是确定的而非拟合，结果明确且易于解释；另一方面，影响因素分解法有助于通过建模找出对行业碳排放贡献较大的关键因素，与后续基于碳排放结果的减排路径规划紧密衔接，能够清晰地展示行业为实现碳达峰、碳中和需要在各方面所达到的水平，有助于分解落实总体目标并及时对目标进行评估考核，保证碳达峰、碳中和目标按时顺利实现。模型具体内容如下：

LMDI 模型是以 KAYA 恒等式为基础的一种因素分解方法。目前对于碳排放因素分解主要包括结构分解法（SDA）和指数分解法（IDA）。SDA 方法需要获取各部门投入产出数据，偏向于国家宏观层面的研究；IDA 方法对数据要求较低，偏向于技术和结构方面的研究，国内外大部分学者采用 IDA 方法进行碳排放分解研究。众多 IDA 方法中，LMDI 分解法可以克服指数分解存在残差项的缺陷，具有不产生余值等优点，成为最常用的指数分解方法。LMDI 分解法有加法分解和乘法分解两种形式，加法分解是对碳排放量在某一时期的绝对值变化进行分解，可得到各个影响因素对碳排放的贡献值；而乘法分解是对各影响因素相对贡献的乘积求出影响因素的贡献率，两种方法的最终分解结果是一致的。

KAYA 恒等式最早由日本学者 Yoichi Kaya 提出，通过简单的数学模型将国家层面的碳排放影响因素分解为人口规模、能源强度、经济发展水平、碳排放强度 4 种效应。KAYA 恒等式一般表达式如下：

$$C = \frac{C}{E} \times \frac{E}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times P$$

式中，C 表示碳排放总量；E、GDP、P 分别表示一次能源消费总量、国内生产总值及人口规模。

LMDI 模型是在 KAYA 恒等式的基础上进行了相应的改进，一般表达式如下：

$$C = \sum_i C_i = \sum_i \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times P = \sum_i F_i \times H \times A \times P$$

式中，C 表示碳排放总量； C_i 表示第 i 种能源的碳排放； E_i 表示第 i 种能源的消费量；GDP 表示国内生产总值；P 表示人口； F_i 表示第 i 种能源的碳排放强度，即碳排放系数；H 表示单位 GDP 的能源消费量，即能源强度；A 表示人均 GDP。

LMDI 模型的分解方法较为灵活，可根据研究目进行有针对性的分解，需要时可进行多级分解。LMDI 模型多用于对历史碳排放的变化情况进行研究，识别主要的驱动因素。也有部分文献将其与情景分析法相结合对未来碳排放进行预测。采用 LMDI 模型进行碳排放预测时，模型中的碳排放与影响因素之间的模型关系是客观存在的，不是相互历史关系的拟合，可适用于中长期预测。

3.2 碳排放关键参数分析

对垃圾处理 / 处置环节碳排放进行预测时，影响因素主要包括垃圾清运量、垃圾处理 / 处置方式变化以及碳排放强度大小等。基于这些影响因素本次研究对上文 3.1 节 LMDI 模型进行了改进，用以研究生活垃圾处理行业碳排放的预测，改进后的公式如下：

$$CO_2 = \sum_i CO_{2i} = \sum_i \frac{C_i}{W_i} \times \frac{W_i}{W} \times \frac{W}{P} \times P = \sum_i EI_i \times WS_i \times WP_i \times P$$

式中， i 代表不同垃圾处理 / 处置方式； C_i 为方式 i 产生的碳排放； W_i 为方式 i 处理 / 处置量； W 为垃圾处理 / 处置总量； P 为人口。 EI_i 代表方式 i 的碳排放系数，表征碳排放强度效应； WP_i 代表第 i 种方式占垃圾处理 / 处置总量的比例，表征垃圾处理 / 处置结构效应；代表人均垃圾清运量，表征产出效应。

为得到不同因素对碳排放变化的贡献率，采用 LMDI 方法对基年到 t 年的碳排放变化量进行因素分解研究，计算公式如下：

$$\begin{aligned} \Delta CO_2 &= CO_2^t - CO_2^0 \\ &= \sum_i EI_i^t \times WS_i^t \times WP_i^t \times P^t \\ &\quad - \sum_i EI_i^0 \times WS_i^0 \times WP_i^0 \times P^0 \\ &= \Delta EI + \Delta WS + \Delta WP + \Delta P \end{aligned}$$

其中，每个影响碳排放的因素的效应值（即对碳排放变化的贡献率）计算公式如下：

$$\begin{aligned} \Delta EI &= \sum_i \frac{CO_{2i}^t - CO_{2i}^0}{\ln CO_{2i}^t - \ln CO_{2i}^0} \times \ln \left(\frac{EI_i^t}{EI_i^0} \right) \\ \Delta WS &= \sum_i \frac{CO_{2i}^t - CO_{2i}^0}{\ln CO_{2i}^t - \ln CO_{2i}^0} \times \ln \left(\frac{WS_i^t}{WS_i^0} \right) \\ \Delta WP &= \sum_i \frac{CO_{2i}^t - CO_{2i}^0}{\ln CO_{2i}^t - \ln CO_{2i}^0} \times \ln \left(\frac{WP_i^t}{WP_i^0} \right) \\ \Delta P &= \sum_i \frac{CO_{2i}^t - CO_{2i}^0}{\ln CO_{2i}^t - \ln CO_{2i}^0} \times \ln \left(\frac{P^t}{P^0} \right) \end{aligned}$$

碳排放强度效应（ ΔEI ）：由于碳排放强度的提高或降低而造成的排放量的变化。

结构效应（ ΔWS ）：由于垃圾处理 / 处置方式改变造成的排放量的变化。

产出效应（ ΔWP ）：由人均垃圾清运量的增加或减少造成的排放量的变化。

人口效应（ ΔP ）：由人口的增长或下降造成的排放量的变化。

利用递阶 LMDI 因素分解法基于现有数据，采用上述公式分别对碳排放变化影响因素的 ΔEI 、 ΔWS 、 ΔWP 、 ΔP 在 2010-2019 年影响效应进行分析。其中，由于影响吨垃圾处理碳排放强度大小的因素很多，包括垃圾组分的变化、上网电量和供热量、资源化产品的不同，以及各垃圾处理设施的能效水平，因此无法准确获取每年的数据，因此假设各垃圾处理处置方式碳排放强度保持不变，采用 IWM NAMA 项目中五个示范城市计算的平均值，因此 $\Delta EI=0$ 。其他影响因素 ΔWS 、 ΔWP 、 ΔP 逐年分解结果如下：

表 3-1 垃圾处理 / 处置环节碳排放变化影响因素逐年分解结果（%）

年份	ΔWS	ΔWP	ΔP
2010-2011	-1.93	1.04	3.65
2011-2012	-2.87	-0.08	3.97
2012-2013	-2.28	-4.11	3.18
2013-2014	-2.67	0.70	3.64
2014-2015	-1.70	3.96	3.41
2015-2016	-4.46	3.40	3.84
2016-2017	-4.66	3.22	4.10
2017-2018	-7.66	1.62	5.30
2018-2019	-9.17	5.44	3.59
2019-2020	-21.91	-7.59	3.33

在上述 3 个影响碳排放因素中，人口效应和产出效应基本为正值，表明随着人口和人均垃圾清运量的增加，将促进生活垃圾处理行业碳排放的增长；而结构效应影响全部为负值，意味着垃圾处理 / 处置方式结构的优化，从垃圾填埋逐步过渡到垃圾焚烧、厌氧消化等低碳处理方式，将减少碳排放的产生。

3.3 碳排放预测情景设置

考虑国家相关规划和研究已对未来人口进行了预测，本报告仅设置一种情景。碳排放强度影响因素较多包括提质增效、垃圾组分变化、资源化产品的产量等，这些因素基于目前的研究现状无法进行合理、科学的预测，本报告采用固定值。故此，对于排放量的预测，根据关键参数垃圾处理 / 处置方式（ ΔWS ）和人均垃圾清运量（ ΔWP ）的变化情况，报告设置了三种排放情景，具体如下：

基准情景：人均垃圾清运量和垃圾处理 / 处置方式延续现有情况保持不变。

低碳情景：在基准情景的基础上，相关政策如垃圾焚烧、垃圾分类、再生资源回收等正常推进。人均垃圾清运量逐年降低，垃圾处理 / 处置方式也加速从填埋向焚烧、厌氧消化和堆肥过渡转型。

强化低碳情景：指在低碳情景的基础上，相关政策如垃圾焚烧、垃圾分类、再生资源回收等加速推进。人均垃圾清运量进一步降低，垃圾处理 / 处置方式从填埋向焚烧、厌氧消化和堆肥转型更加迅速。

3.4 碳排放关键参数设置

本报告地理边界为城市和县城，设施边界包括收运设施、处理 / 处置设施以及回收设施，因此以下参数的设置均以划定的地理边界和设施边界为依据。具体如下：

(1) 人口效应 (ΔP)

根据《中国城乡建设统计年鉴》，中国城市和县城人口总量从 2011 年 5.33 亿增长到 2020 年的 6.96 亿，增长了 30.50%，年均变化率为 2.70%。通过考察不同年段的人口增长率，发现变化率呈缓慢下降的趋势。

表 3-2 2010-2020 年中国城市和县城人口年均增速¹²

年份	2010-2015	2015-2020
人口年均增速	2.93%	2.47%

经调研，目前国家发展规划和相关研究基本都是对全国人口和城镇人口进行预测，但是《中国城乡建设统计年鉴》中城市和县城的人口数量小于《国家统计年鉴》中城镇人口。据此，本报告通过预测中国人口和城镇化率，并以城镇人口的年均增长率作为城市和县城人口的年均增长率对城市和县城人口进行预测。其中：

全国人口预测：根据《国家人口发展规划（2016-2030）》，2021-2030 年中国人口进入关键转折期，2030 年人口与经济、环境的协调度进一步提高，人口达到峰值，预计 14.5 亿左右。“十四五”以后受育龄妇女数量减少及人口老龄化带来的死亡率上升影响，人口增长势能减弱。据《全面二孩政策下中国未来 30 年人口趋势预测》中对人口的预测研究结果，2040 年人口将达到 14.42 亿，2050 年将达到 14.36 亿，与其他研究结果基本一致。考虑三胎政策的开放，假设 2050-2060 年人口保持 2040-2050 年水平，不再继续下降。

城镇人口年均增长率：《国家人口发展规划（2016-2030）》提出 2030 年中国人口的城镇化率将达到 70%。设定城镇化率根据城镇化水平年均近 1.0% 增长速度，2035 年进入低增长阶段，2050 年将进入饱和状态，最终稳定在 75%-80% 进行设定¹³。

综上，假设中国城市和县城人口 2030 年城镇人口较 2020 年年均增长 1.00%，2040 年较 2030 年年均增长 0.70%、2050 年较 2040 年增长 0.20%，2050-2060 年人口保持 2040-2050 年水平，不再继续下降。

表 3-3 2020-2060 年城市和县城人口年均增速

年份	2020-2030	2030-2040	2040-2050	2050-2060
人口增速	1.00%	0.70%	0.20%	0.00%

(2) 产出效应 (ΔWP)

表 3-4 中城市和县城人口数据来源于《中国城乡建设统计年鉴》，垃圾清运量为《中国城市建设统计年鉴》中城市和县城的垃圾清运总量数据。人均垃圾清运量在 1.1kg-1.25kg/ 人·d 之间。

¹² 以 2010-2015 年为例，年均增长率 = (2015 年数据 / 2010 年数据) ^ (1/5) - 1，下文的计算方法与其一致。

¹³ 来源于顾朝林，管卫华，刘合林. 中国城镇化 2050: SD 模型与过程模拟 [J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(7): 818-832.

表 3-4 2010-2020 年人均垃圾清运量¹⁴ 及增速

年份	城市和县城人口（万人）	垃圾清运量 （万吨）	人均垃圾清运量	
			数值（kg/人·d）	增长率（%）
2010	53341.8	22121	1.14	/
2011	55241.4	23138	1.15	1.00%
2012	57146.8	23919	1.15	-0.07%
2013	58585.2	23744	1.11	-3.17%
2014	60181	24518	1.12	0.52%
2015	61614.3	25797	1.15	2.77%
2016	63155.2	27028	1.17	2.21%
2017	64763.8	28268	1.20	1.99%
2018	66846.7	29461	1.21	0.97%
2019	68280.6	31078	1.25	3.27%
2020	69608.8	30322	1.19	-4.29%

据相关研究表明，垃圾清运量与人口、经济发展水平、居民生活水平以及基础设施建设水平有关。通过对国外发达国家生活垃圾人均产生量的变化趋势分析可以发现，生活垃圾人均产生量基本是在达到一定峰值后趋于稳定。本报告调研了国外发达国家人均垃圾产生量达到峰值时的人均 GDP 数据，发现不同国家存在较大的差异，见表 3-5，值得提出的是，发达国家的人均垃圾产生量含再生资源，与中国的人均垃圾产生量边界有所差异，具体如下：

表 3-5 发达国家人均垃圾产生量达到峰值的情况

序号	国家	人均垃圾产生量 ¹⁵ 达到峰值		
		时间	数值（kg/人·d）	人均 GDP（美元）
1	法国	2007 年	1.49	41508
2	德国	2002 年	1.78	25077
3	瑞典	2007 年	1.41	53700
4	英国	2004 年	1.64	40208
5	美国	2005 年	2.12	44114
6	日本	2000 年	1.18	38532

中国 2019 年人均 GDP 为 10216 美元，党的十九届五中全会审议通过了《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》，五中全会公报明确 2035 年中国要基本实现社会主义现代化，人均国内生产总值达到中等发达国家水平，也就是说将比 2019 年的水平翻一倍，要升至 2 万美元。参考发达国家人均 GDP 和人均垃圾产生量的发展关系，同时访谈相关领域专家，三种情景下数值设定如下，值得提出的是，本章预测只考虑处理处置，因

¹⁴ 中国官方文件未公布垃圾产生量数据，该数据为垃圾清运量，因此不含再生资源回收。

¹⁵ 该数据包含再生资源回收。

此本情景中人均垃圾清运量不包括可回收物，仅为进入垃圾处理处置体系的生活垃圾（包括厨余垃圾及其它垃圾，有害垃圾含量很小，未做考虑），因此人均垃圾清运量的降低也考虑到资源回收体系的完善，更过可回收物分流进入回收体系：

基准情景：考虑 2020 年城市和县城垃圾处理 / 处置结构已向焚烧转型，为了使基准情景设置更具参考价值，假设人均垃圾清运量保持 2019 年的水平不变，即 1.25kg/ 人·d；

低碳情景：假设 2020-2030 年人均垃圾清运量逐年下降 1%，2030-2040 年逐年下降 0.6%，在 2040 年达到 1.10 kg/ 人·d 后保持稳定；

强化低碳情景：假设 2020-2030 年人均垃圾清运量逐年下降 2%，2030-2040 年逐年下降 1.5%，在 2040 年达到 1.00 kg/ 人·d 后保持稳定；

(3) 结构效应 (△ WS)

表 3-6 中列出了 2010-2019 年不同垃圾处理 / 处置方式的占比及增速的变化趋势，数据来源于《中国城市建设统计年鉴》，包含城市和县城。其中，垃圾焚烧占比总体呈增长趋势，而且发展速度较快，基本用 30 年的时间成功追上了发达国家垃圾焚烧 130 年的水平；垃圾填埋占比总体呈下降趋势；其他垃圾处理方式占比较小，在 1%-4% 之间，最近 3 年也呈现增长的态势。

表 3-6 2010-2020 年不同垃圾处理 / 处置方式占比及增速

年份	垃圾焚烧		垃圾填埋		其他	
	占比	增速	占比	增速	占比	增速
2006	13.87%	/	82.22%	/	3.91%	/
2007	14.69%	5.91%	82.47%	0.30%	2.83%	-27.62%
2008	14.70%	0.07%	83.36%	1.08%	1.95%	-31.10%
2009	17.29%	17.62%	81.03%	-2.80%	1.68%	-13.85%
2010	17.65%	2.08%	80.77%	-0.32%	1.58%	-5.95%
2011	17.72%	0.40%	79.16%	-1.99%	3.13%	98.10%
2012	21.32%	20.32%	75.86%	-4.17%	2.82%	-9.90%
2013	25.04%	17.45%	73.12%	-3.61%	1.84%	-34.75%
2014	26.81%	7.07%	70.92%	-3.01%	2.27%	23.37%
2015	28.26%	5.41%	69.49%	-2.02%	2.25%	-0.88%
2016	31.38%	11.04%	66.18%	-4.76%	2.44%	8.44%
2017	34.30%	9.31%	63.02%	-4.77%	2.68%	9.84%
2018	39.03%	13.79%	58.06%	-7.87%	2.91%	8.58%
2019	44.07%	12.91%	52.57%	-9.46%	3.36%	15.46%
2020	54.37%	23.38%	42.05%	-20.00%	3.57%	6.33%

近年来，发改委等相关部门出台的《城镇生活垃圾分类和处理设施短板强弱项实施方案》以及《十四五城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》都提出 要继续鼓励垃圾焚烧技术，明确“生活垃圾日清运量超过 300 吨的地区，要加快发展以焚烧为主的垃圾处理方式，适度超前建设与生活垃圾清运量相适应的焚烧处理设施，到 2023 年基本实现原生生活垃圾零填埋”。同时，也提出加快完善垃圾分类设施体系，稳步提升厨余垃圾处理水平。那么基于国家目前支持垃圾焚烧利好政策、垃圾分类推进政策以及访谈相关领域专家等，三种情景下数值设定如下：

基准情景：未考虑 2020 年城市和县城垃圾处理 / 处置结构向焚烧转型的明显变化趋势，为了使基准情景设置更具参考价值，垃圾焚烧、垃圾填埋以及其他处理 / 处置方式延续 2019 年占比保持不变。

低碳情景：加快推进焚烧设施的建设，预计焚烧占比在 2040 年达到最大值 75%，2050 年实现零填埋。

强化低碳情景：加大焚烧设施建设力度，预计焚烧占比在 2030 年达到最大值 75%，2040 年实现零填埋。

不同情景下具有数值如下：

表 3-7 垃圾处理 / 处置方式情景设置

情景		2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
基准情景	垃圾焚烧	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%
	垃圾填埋	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%
	其他	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
低碳情景	垃圾焚烧	59%	65%	70%	75%	75%	75%	70%	70%
	垃圾填埋	35%	28%	20%	12%	8%	0%	0%	0%
	其他	6%	7%	10%	13%	17%	25%	30%	30%
强化低碳情景	垃圾焚烧	65%	75%	75%	75%	70%	70%	70%	70%
	垃圾填埋	28%	12%	8%	0%	0%	0%	0%	0%
	其他	7%	13%	17%	25%	30%	30%	30%	30%

（4）碳排放强度效应（ ΔEI ）

本报告不同垃圾处理 / 处置方式的吨垃圾碳排放强度采用 IWM NAMA 项目研究成果。吨垃圾处理 / 处置碳排放强度的大小受垃圾组分、各项垃圾处理 / 处置技术进步（如垃圾填埋气有效利用，垃圾焚烧发电、供热效率提高，以及厌氧消化和堆肥资源化产品沼气、有机肥以及油脂等产出量的增加等）等因素影响较大，其中：

- 1）垃圾组分中纸张、木材、橡胶和纺织品以及厨余垃圾的增加会提高垃圾填埋碳排放强度；塑料、橡胶和纺织品增加会提高垃圾焚烧碳排放强度。进而提高生活垃圾处置行业的温室气体排放量。
- 2）垃圾填埋气有效利用，垃圾焚烧发电、供热效率提高，以及厌氧消化和堆肥资源化产品沼气、有机肥以及油脂等产出量的增加会降低垃圾焚烧、垃圾填埋以及垃圾厌氧消化的碳排放强度，进而减少生活垃圾处理行业的温室气体排放量。

为了使预测结果具有一定的代表性，本报告吨垃圾碳排放强度数据采用所有处理厂的平均值。具体如下：

表 3-8 不同垃圾处理 / 处置方式吨垃圾碳排放强度 (tCO_{2e}/t 垃圾)

处理 / 处置方式	垃圾焚烧	垃圾填埋	其他 (含厌氧消化和堆肥)
吨垃圾处理 / 处置碳排放强度	0.28	0.82	-0.043

3.5 碳排放预测结果分析

3.5.1 碳排放达峰预测

通过对不同情景模式下垃圾处理 / 处置环节碳排放进行预测研究，三种情景下达峰情况各不相同。在基准情景中，垃圾处理 / 处置环节碳排放持续稳定增长，未出现峰值；低碳情景和强化低碳情景中垃圾处理 / 处置环节都是 2019 年达峰，峰值为 169Mt。

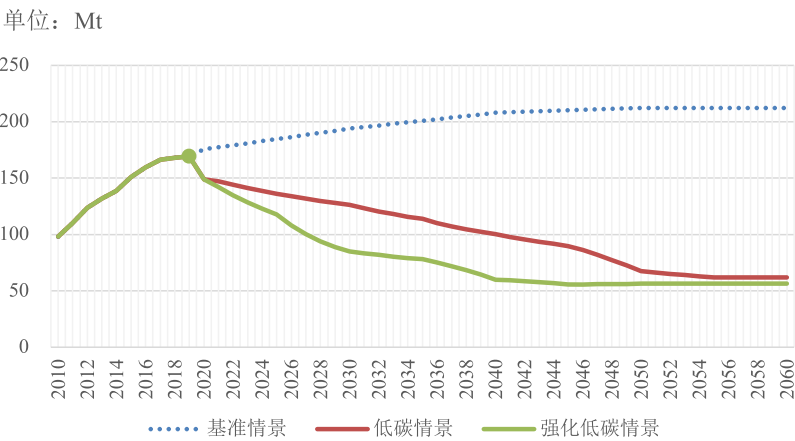


图 3-1 不同的情景模式垃圾处理 / 处置碳排放预测¹⁶

表 3-9 不同情景下生活垃圾处理 / 处置碳排放达峰时间及峰值

情景模式	基准情景	低碳情景	强化低碳情景
达峰年份	持续增长，无峰值	2019	2019
峰值 /Mt		169	169

基准情景设置更多的是作为一种参考，代表着如垃圾处理仍然以填埋为主，随着垃圾清运量的增加，垃圾处理行业碳排放将继续增长。低碳情景代表着相关政策如垃圾焚烧、垃圾分类、再生资源回收等正常推进，垃圾处理行业碳排放将逐渐降低并趋于稳定，这也与中国垃圾处理行业目前发展形势相一致。强化政策情景是在低碳情景的基础上，相关政策加速推进，在这个情景下，垃圾处理 / 处置环节碳排放下降速度更快。

综上，生活垃圾处理处置碳排放量主要影响因素为垃圾清运处理量，垃圾组分以及垃圾处理处置技术结构，三者耦合相关。目前中国城镇生活垃圾已基本实现全量处理，垃圾清运量增速放缓，后续城乡一体化可能是影响行业碳排放总量的

16 无害化处理率从 2006 年的 39% 已提高到 2020 年 99%，考虑无害化处理率已达到较高水平，本次 2020 年以后的碳排放预测假设清运的垃圾 100% 进行了无害化处理。

主要因素；另外从排放强度上分析，一方面处理技术结构优化，与相关政策如垃圾分类、垃圾焚烧、再生资源回收等政策的推行相辅相成，还与各项垃圾处理 / 处置技术进步（减少吨垃圾处理碳排放强度）密切相关。另一方面，需要关注生活方式及经济水平对生活垃圾组分带来的变化，塑料等化石碳组分的增加会对不同处理技术的碳排放强度产生直接影响，尤其对于焚烧设施其碳排放强度会相应增加。

3.5.2 碳排放中和展望

中国提出 2060 年碳中和目标，该目标的制定与各行各业发展路径息息相关。但是按照目前三种情景设置来看，生活垃圾处理行业 2060 年自身无法实现碳中和。生活垃圾行业其主要功能为垃圾的有效处理处置，作为城市兜底保障功能重要一环，随着人口增加、经济增长，仍然还是一个不断发展的行业。不过，根据 2.2 节研究可知，垃圾收运体系优化、再生资源回收以及垃圾处理 / 处置方式的变化都会产生一定的减排效果，因此垃圾处理行业为社会带来的减排贡献也应予以考虑，能够更为全面体现出生活垃圾处理行业对全社会带来的排放影响。因此，推动垃圾管理行业碳减排，需要进一步通过优化垃圾收运体系、提升垃圾处理 / 处置设施能效水平以及推进再生资源回收体系建设等措施实现，焚烧厂碳捕集技术也将有效降低行业排放水平。而推动垃圾管理行业碳中和，则需要推动源头减量、循环经济及可持续生产消费，进而引导整个社会体系向更可持续更低碳转型升级，实现无废城市、无废社会的美好愿景。

3.6 小结

基于 IWM NAMA 项目执行基础，通过设定基准情景、低碳情景和强化低碳情景对生活垃圾处理行业碳排放进行预测。基准情景设置更多的是作为一种参考，代表着如垃圾处理仍然以填埋为主，随着垃圾清运量的增加，垃圾处理行业碳排放将继续增长。低碳情景代表着相关政策如垃圾焚烧、垃圾分类、再生资源回收等正常推进，垃圾处理行业碳排放将逐渐降低并趋于稳定，这也与中国垃圾处理行业目前发展形势相一致。强化政策情景是在低碳情景的基础上，相关政策加速推进，在这个情景下，垃圾处理 / 处置环节碳排放下降速度更快。

生活垃圾处理行业垃圾处理 / 处置环节碳排放呈现下降趋势，与相关政策推进和技术进步相关性较大。生活垃圾处理处置碳排放量主要影响因素为垃圾清运处理量，垃圾组分以及垃圾处理处置技术结构，三者耦合相关。目前中国城镇生活垃圾已基本实现全量处理，垃圾清运量增速放缓，后续城乡一体化可能是影响行业碳排放总量的主要因素；另外从排放强度上分析，一方面为处理技术结构的优化，与相关政策如垃圾分类、垃圾焚烧、再生资源回收等政策的推行相辅相成，还与各项垃圾处理 / 处置技术进步（减少吨垃圾处理碳排放强度）密切相关。另一方面，需要关注生活方式及经济水平对生活垃圾组分带来的变化，塑料等化石碳组分的增加会对不同处理技术的碳排放强度产生直接影响，尤其对于焚烧设施其碳排放强度会相应增加。

生活垃圾处理行业作为城市基础设施行业，首要承担垃圾无害化的职责，同时可进一步采取措施引导推动整个社会体系向更可持续更低碳转型升级。生活垃圾行业与人民生活息息相关，作为城市兜底保障功能中的重要一环，碳排放并不是唯一指标，需要无害化 / 减量化 / 资源化的综合优选。随着人口增加、经济增长，垃圾处理仍然还是一个不断发展的行业。开展垃圾分类工作，尤其需要关注回收环节的减排潜力，将回收环节纳入垃圾管理碳排放边界能够更全面体现出生活垃圾处理行业对全社会带来的排放影响。加强推动资源回收环节，实现可回收物在源头的有效分流及利用，将是未来垃圾管理行业减排的贡献。更进一步推动垃圾管理行业碳中和，则需要推动源头减量、循环经济及可持续生产消费，进而引导整个社会体系向更可持续更低碳转型升级，实现无废城市、无废社会的美好愿景。

4. 生活垃圾处理行业低碳发展建议

国家相关政策如垃圾分类、垃圾技术体系优化、再生资源回收等顺利推进是减少生活垃圾处理行业碳排放的关键。各项垃圾处理 / 处置技术进步，如垃圾填埋气有效利用，垃圾焚烧发电、供热效率提高，以及厌氧消化和堆肥资源化产品沼气、有机肥以及油脂等产出量增加，将助力生活垃圾处理行业进一步减少碳排放。此外，绿色投融资是支持生活垃圾处理行业低碳转型发展的根本保障，对此，本报告从政策管理、行业发展、绿色融资等方面提出以下建议：

4.1 政策管理建议

4.1.1 明确城市生活垃圾管理核心原则

具有明确的核心原则能够更精准地为中国瞄准城市生活垃圾管理未来发展的主流方向，指导政策发挥应有的效力。核心原则将围绕垃圾管理层序、综合管理、收费机制及商业模式展开。

垃圾管理是减量化 / 资源化 / 无害化的综合优选，是环境效益 / 社会效益 / 经济效益的统筹考量，需要从垃圾管理层序的角度来看待。减量化和资源化的优先级优于能源化焚烧处理，也高于最终处置填埋，推动垃圾管理不断向更高层级发展仍然具有实际需求及客观价值。

同时也需要切实关注垃圾行业产业链的统筹协调，垃圾管理是一个综合体系，不同设施 / 技术之间的协同配合才能进一步优化垃圾管理效率。例如，首先注重从源头避免厨余垃圾的产生，再生利用中厌氧消化设施在后端产品出路不通畅的情况下需要焚烧厂协同，焚烧处理设施也需要填埋场的兜底和支持。垃圾产业链具有显著的减污降碳协同效果，从整体的固废管理的维度，仍然具有很大的减排潜力。

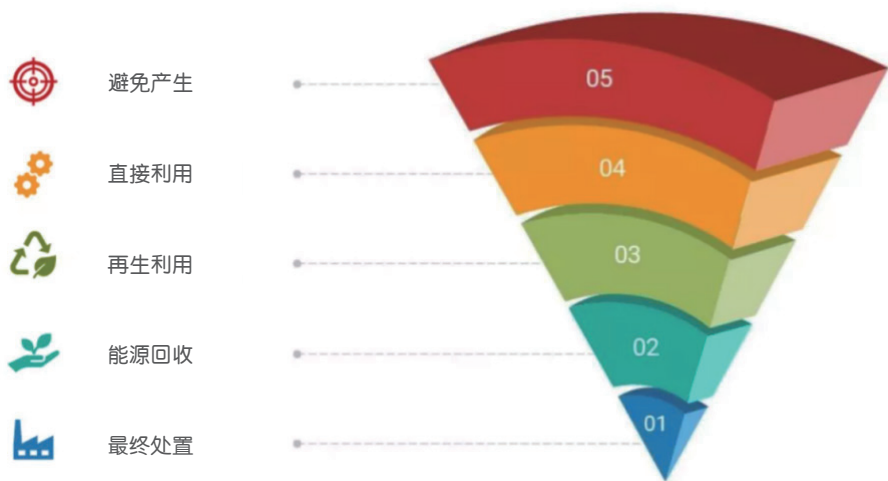


图 4-1 垃圾管理层序图

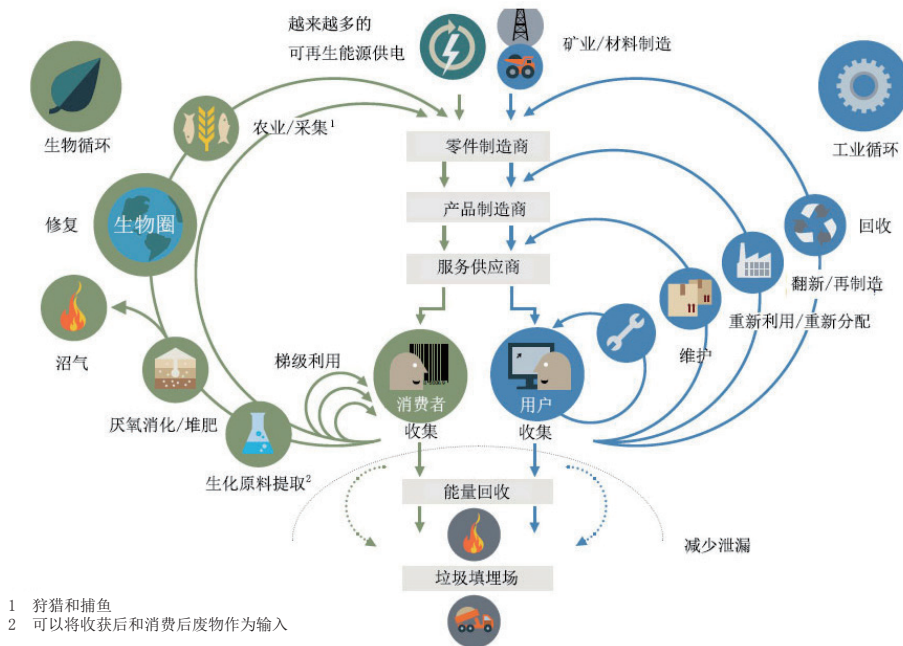


图 4-2 循环经济系统图

另外，从垃圾管理向资源管理的转型将是行业低碳发展的重要推动力，垃圾管理作为社会供应链的末端，可以对于生产和生活的供应链给予积极的建议和反馈，推动供应链变革，推动可持续生产和消费，最终推动循环经济发展。

4.1.2 细化城市生活垃圾管理政策内容及管理体系

政策要求与政策内容清晰明确能够更好助力政策解决问题，中国必须加大力度将每项城市生活垃圾管理政策的各项内容进行细化，才能从根本上达到政策预设的目的。

中国必须将城市生活垃圾管理政策的各项要求鲜明化、具体化和可操作化，让城市生活垃圾管理政策的执行者和实施者能够精准地确定这项城市生活垃圾管理政策可以在哪段时间、哪个地点、什么条件下、什么范围内、针对哪些利益相关者、采取什么样的手段，怎样采取具体和特殊的操作。政府应确保以适当的形式收集、运输、处理、储存、装运、回收并以环保的方式处理废物，规划及许可废弃物处理厂的建立，并强调生产者在产品生命周期结束时处置其产品的责任，建立运输、包装、收集、贸易、处置与贮存、管理人员等重要的城市生活垃圾管理相关法案。只有细化城市生活垃圾管理政策的各项要求才能破解中国可持续发展道路上日益增多、日益复杂、日益多样的城市生活垃圾的难题。

4.1.3 完善收费机制及资金支持体系

行业的高质量发展需要充足的资金支持，以及形成可持续的商业模式；在商业模式建立方面，目前中国主要以公私合营（Public-Private Partnership, PPP）的方式开展垃圾处理相关设施建设，并通过垃圾处理费 / 再生能源补贴的方式支持垃圾处理项目的运营。从资金来源方面，目前主要为地方政府和中央政府的财税统一划拨支付，建议从源头上建立收费机制与生产者、消费者、垃圾管理服务商之间的链接，尝试押金制（Deposit system）、生产者责任延伸制（Extended Producer Responsibility, EPR）、分质按量收费机制（Pay as you throw, PAYT）的应用，进一步推动各利益相关方的积极性。

另一方面，垃圾行业的进一步发展，仍然需要外部效益的内部化，政府可以利用环境税、费用、关税和补贴等经济手段引导社会采取对环境友好的行为，更多地利用市场机制，对环境资源进行适当定价，将环境成本内部化。再通过多元商业模式合作，以及类似碳市场等价格调节机制，赋予垃圾管理更多的价值，推动垃圾行业可持续高质量发展。

4.2 行业发展建议

从生活垃圾处理行业温室气体排放减少的角度，对生活垃圾处理行业垃圾全流程管理包括垃圾分类、垃圾收运、垃圾处理 / 处置以及再生资源回收体系建设提出建议，具体如下：

4.2.1 推动垃圾分类政策的深入实施

垃圾分类的意义一方面在于前端分类推动更多的回收及资源化利用，减少末端处理量；另一方面的作用在于通过垃圾分类实现公众对于避免垃圾产生及资源节约的意识，推动可持续生产消费的落地及发展，有助于中国碳达峰及中和目标的实现；因此深入推动垃圾分类，具有重要的战略意义：

（1）完善垃圾分类法规政策，纳入绩效考核。当前在《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》修订版中，已提出要健全生活垃圾污染防治制度，这是垃圾分类首次被纳入国家立法中。在此基础上，各省要制定专门的垃圾分类管理条例；同时，将垃圾分类工作纳入地方在政府绩效考核指标体系。现在有北京、上海、广州、深圳等多地出台了生活垃圾分类管理条例，为国家层面专门立法奠定了良好的基础。

（2）确定科学合理的垃圾分类评价体系。明确垃圾分类的目标，设置科学合理的垃圾源头减量目标，推动资源化利用效率及能量回收效率；例如目前部分城市提高非居民厨余垃圾收费标准，推动厨余垃圾源头减量，具有积极的引导意义，有利于推动形成垃圾减量的良性循环；

（3）因地制宜，城乡统筹，分类方式多样化。垃圾分类是城市治理的重要组成部分，要纳入城市社会发展规划，同时做好城乡统筹管理。当前农村垃圾治理还是我垃圾分类治理的短板。根据中国国情，农村垃圾治理既是改善农村人居环境的重点，从某种程度上也决定了中国垃圾分类治理的成败。因地制宜的选择适合本地实情的垃圾分类和处置方式，既治理区域环境，同时培育新的产业增长点；有条件的地区可公开招标专业公司进行市场化运作。

（4）引导公众积极参与。从社会层面，对于前期的鼓励参与的宣传，可以由政府支持环保公益组织，并给予良性引导和资金支持，进入各个社区、学校、企业等地方进行宣讲、开办活动，渲染全民进行垃圾分类的氛围。从公民层面，公众要有垃圾分类的意识，要将其看作是义务。除此之外，还要提高整体的素质，意识到全体人类和环境是共生的关系，树立科学的环保意识。

4.2.2 优化垃圾收运系统

根据清华大学《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》综合报告的研究结果，工业、建筑、交通是主要的终端用能部门，当前交通部门能源消费占全国总终端能耗约 10%，随着城市化进程加快，也将呈现较快增长趋势。作为交通运输中的组成部分，应通过优化垃圾收运系统，包括减少燃料的消耗或提高燃料的使用效率来实现碳减排。建议如下：

（1）优化垃圾收运路线，减少垃圾运输距离。如建设垃圾中转站，实现大型垃圾转运站替代小型垃圾收运车，减少垃圾收运的总里程。

（2）采用节能指标高的垃圾车或采用清洁燃料（如生物质燃料、氢燃料等），在同等运输距离条件下也可以减少燃料燃烧产生的碳排放。

（3）改变垃圾运输方式，实现碳减排。如采用水路运输垃圾或采用火车运输等方式，提高垃圾运输效率，从而减少碳排放。

此外，基于信息化系统对于收运路径进行优化，完善整体运输链的各环节衔接，实现分类后垃圾的针对性处理，也可以支持收运体系低碳化发展。

4.2.3 促进垃圾高效资源化利用

垃圾处理处置的过程中，更应注重垃圾的无害化与资源化，在减少生活垃圾处理行业产生的碳排放的同时，利用资源化带来一定的减排贡献。可以重点关注填埋处理方式中填埋气的有效利用，焚烧处理中能效回收的提升，以及厨余垃圾资源化利用的多种情景。

（1）加强垃圾填埋气收集和有效利用。目前，中国非二氧化碳温室气体排放占总温室气体排放量的 16%，且仍呈增长趋势，废弃物填埋也是目前废弃物领域甲烷排放的主要来源。通过采取填埋场调节池的密封和气体收集处理，加强垃圾填埋气收集。同时结合火炬燃烧、发电、供热、制作替代燃料等方式促进填埋气的有效利用不仅可以降低废弃物填埋产生的甲烷排放，还可以通过碳市场等交易获得一定的减排收益。

（2）推动发展垃圾高效清洁焚烧。焚烧作为目前最常用的垃圾处理方式，通过垃圾焚烧实现热量到热能的转化，有利于提升能源利用效率。同时垃圾焚烧作为减排项目可以进入碳市场，其带来的减排收益是可以覆盖一部分垃圾焚烧建设、运营成本，进而促进垃圾焚烧产业良性发展。因此，首先要从生活垃圾源头全过程垃圾管理的责任主体出发，通过科学、诚信、成熟的建设运行管理，建立长效清洁焚烧管理机制；其次，利用最佳可行技术与适宜的装备安全焚烧处理垃圾，并在最大化利用焚烧热能的同时，减少资源和能源消耗；最后采用适宜的污染物控制指标系统，将污染物控制在对人体健康和生态环境的负面作用的安全范围内。

（3）提高厨余垃圾处理产品资源化利用效率。目前中国已基本形成以厌氧消化为主、好氧制肥为辅、饲料化和昆虫法等为补充的厨余垃圾处理与资源化利用的技术路线，厌氧消化是目前国内的主流处理方法。根据 IWM NAMA 项目研究结果，如果能实现良好的运维管理及产品利用，分类后的厨余垃圾厌氧消化和好氧堆肥低碳化水平较高，因此提高厨余垃圾处理产品资源化利用效率能更好的助力中国垃圾处理低碳发展。

4.2.4 建设标准化再生资源回收体系

再生资源回收利用兼具了减污降碳的协同效益，也推动了资源的再次利用，是实现碳达峰和碳中和的重要方式。通过采取统筹规划分拣处理中心、推动可回收物资源化利用设施建设以及制定相关建设标准与规范等措施，能够进一步构建完善的再生资源回收体系，将助力中国碳达峰及中和目标的实现。具体可以从以下两方面推进：

（1）回收站点列入国土空间规划，完善再生资源回收利用网络。在符合城镇总体规划的土地利用总体规划的前提下，将城镇再生资源回收站点和分拣中心纳入国土空间规划，并作为再生资源用地专项规划进行科学的布局和选址，以完善再生资源回收网络。

（2）完善建设标准和技术规范，促进再生资源的科学、规范化管理。完善相关建设标准和规范，做到全国的回收站点和分拣中心统一规范和标准，促进再生资源的科学、规范化管理。完善统一回收站点和分拣中心等再生资源基础设施污染控制标准，防止在废旧资源处理、转运过程中产生二次污染，保护周边的生态环境。

4.3 绿色融资建议

绿色金融是支持低碳转型的重要工具，为更好的引导绿色资金进入垃圾管理行业，提出以下建议：

4.3.1 核算垃圾相关行业的减排效益

做好行业数据统计及管理，良好的数据体系是核算绿色资产的基础，是绿色金融投资绩效指标的核心所在。金融系统对于垃圾行业的实际发展及变化了解渠道有限，作为行业从业人员，建议主动做好垃圾管理相关项目绿色绩效、减排绩效的核算，主动建立与金融行业沟通的渠道，为绿色金融投资建立基础。

4.3.2 采用多元化的金融工具

根据实际项目特点，可以考虑采用不同绿色金融产品，如绿色贷款，绿色债券，绿色基金及环境权益金融等方式。

以绿色贷款为例，金融机构为支持环境改善、应对气候变化和资源节约高效利用等经济活动，可通过绿色贷款的形式发放给企（事）业法人、其他组织或个人，用于投向节能环保、清洁生产、清洁能源、生态环境、基础设施绿色升级和绿色服务等领域的贷款。生活垃圾处理行业可利用的贷款形式主要为流动资金贷款与项目贷款。

绿色信贷评估要求根据银保监会《绿色融资统计制度》确定，其环境和气候效益涉及 11 项指标：标准煤、二氧化碳当量、化学需氧量、氨氮、二氧化硫、氮氧化物、节水、细颗粒物、挥发性有机物、总氮、总磷。绿色信贷尚未引入强制第三方绿色认证机制，环境和气候效益评估均由银行参考可研报告和环评报告测算而得，部分银行如汇丰银行北京分行开始着手引入第三方评估机制。

目前绿色基金的准入要求基本与绿色信贷一致，细化绿色领域依据基金方偏好确定。国家对于绿色基金暂无具体评估要求出台，可参考绿色信贷相关指标。

环境权益交易是指涉及环境类一切权益交易活动，是推进市场化、多元化生态保护补偿机制建设的重要组成部分。发展环境权益金融是促进绿色产品外部属性内生化的最直接方式，也是激发企业减排积极性最有效的手段。进一步物权化环境权益，有助于碳排放权、排污权、用能权等环境权益抵质押融资的金融服务获得广阔拓展空间。

垃圾焚烧发电、填埋气发电、沼气发电以及堆肥等项目产生的 CCER 均具备资产属性和交易价值。有序开展环境权益交易金融产品创新，构建包括配额、减排量（CCER）等为基础资产的远期、期权、掉期、质押、回购、保函等环境权益金融产品体系，盘活环境权益资产，促进资产保值增值，提升市场流动性，促进权益合理定价。

4.4 小结

政策管理建议。首先建议以垃圾管理减量化 / 资源化 / 无害化的综合优选、垃圾行业产业链的统筹协同发展作为城市生活垃圾管理的核心原则；其次建议不断细化城市生活垃圾管理政策内容及管理体系，从根本上达到政策预设的目的；最后建议通过多元商业模式合作、利用市场机制等措施完善收费机制及资金支持体系，进而推动垃圾行业可持续高质量发展。

行业发展建议。垃圾分类作为前端收集的重要环节，决定了末端处理的碳排放以及再生资源回收碳减排。建议从完善垃圾分类法规政策，纳入绩效考核；确定科学合理的垃圾分类评价体系；因地制宜，城乡统筹，分类方式多样化；引导公众积极参与等方面，推动垃圾分类政策的深入实施。垃圾收运系统作为交通运输中的重要组成部分，建议从优化垃圾收运路线，减少垃圾运输距离；采用节能指标高的垃圾车或采用清洁燃料（如生物质燃料、氢燃料等）；改变垃圾运输方式等方面，优化垃圾收运系统。垃圾处理处置的过程中，更应注重垃圾的无害化与资源化，建议从加强垃圾填埋气收集和有效利用、推动发展垃圾高效清洁焚烧、提高厨余垃圾处理产品资源化利用效率 3 个方面促进垃圾高效资源化利用。再生资源回收利用具有显著的减排潜力，建议从政策上将回收站点列入国土空间规划，完善再生资源回收利用网络；完善建设标准和技术规范，促进再生资源的科学、规范化管理 2 个方面，建设标准化再生资源回收体系。

绿色融资建议。良好的数据体系是核算绿色资产的基础，是绿色金融投资绩效指标的核心所在。建议在做好垃圾管理相关项目绿色绩效、减排绩效的核算的基础上，采用多元化的金融工具包括绿色贷款，绿色债券，绿色基金及环境权益金融等，助力生活垃圾处理行业绿色低碳转型的实现。

附件一 典型国家碳中和目标

序号	国家	目标日期	承诺性质	具体内容
1	中国	2060	政策宣示	中国在 2020 年 9 月 22 日向联合国大会宣布，努力在 2060 年实现碳中和，并采取“更有力的政策和措施”，在 2030 年之前达到排放峰值。
2	奥地利	2040 年	政策宣示	奥地利联合政府在 2020 年 1 月宣誓就职，承诺在 2040 年实现气候中立，在 2030 年实现 100% 清洁电力，并以约束性碳排放目标为基础。右翼人民党与绿党合作，同意了这些目标。
3	不丹	目前为碳负，并在发展过程中实现碳中和	《巴黎协定》下自主减排方案	不丹人口不到 100 万，收入低，周围有森林和水电资源，平衡碳账户比大多数国家容易。但经济增长和对汽车需求的不断增长，正给排放增加压力。
4	美国加利福尼亚	2045 年	行政命令	加利福尼亚的经济体量是世界第五大经济体。前州长杰里·布朗在 2018 年 9 月签署了碳中和令，该州几乎同时通过了一项法律，在 2045 年前实现电力 100% 可再生，但其他行业的绿色环保政策还不够成熟。
5	加拿大	2050 年	政策宣示	特鲁多总理于 2019 年 10 月连任，其政纲是以气候行动为中心的，承诺净零排放目标，并制定具有法律约束力的五年一次的碳预算。
6	智利	2050 年	政策宣示	皮涅拉总统于 2019 年 6 月宣布，智利努力实现碳中和。2020 年 4 月，政府向联合国提交了一份强化的中期承诺，重申了其长期目标。已经确定在 2024 年前关闭 28 座燃煤电厂中的 8 座，并在 2040 年前逐步淘汰煤电。
7	哥斯达黎加	2050 年	提交联合国	2019 年 2 月，总统奎萨达制定了一揽子气候政策，12 月向联合国提交的计划确定 2050 年净排放量为零。
8	丹麦	2050 年	法律规定	丹麦政府在 2018 年制定了到 2050 年建立“气候中性社会”的计划，该方案包括从 2030 年起禁止销售新的汽油和柴油汽车，并支持电动汽车。气候变化是 2019 年 6 月议会选举的一大主题，获胜的“红色集团”政党在 6 个月后通过的立法中规定了更严格的排放目标。
9	欧盟	2050 年	提交联合国	根据 2019 年 12 月公布的“欧洲绿色协议”，欧盟委员会正在努力实现整个欧盟 2050 年净零排放目标，该长期战略于 2020 年 3 月提交联合国。
10	斐济	2050 年	提交联合国	作为 2017 年联合国气候峰会 COP23 的主席，斐济为展现领导力做出了额外努力。2018 年，这个太平洋岛国向联合国提交了一份计划，目标是在所有经济部门实现净碳零排放。
11	芬兰	2035 年	执政党联盟协议	作为组建政府谈判的一部分，五个政党于 2019 年 6 月同意加强该国的气候法。预计这一目标将要求限制工业伐木，并逐步停止燃烧泥炭发电。
12	法国	2050 年	法律规定	法国国民议会于 2019 年 6 月 27 日投票将净零目标纳入法律。在今年 6 月份的报告中，新成立的气候高级委员会建议法国必须将减排速度提高三倍，以实现碳中和目标。
13	德国	2050 年	法律规定	德国第一部主要气候法于 2019 年 12 月生效，这项法律的导语说，德国将在 2050 年前“追求”温室气体中立。
14	匈牙利	2050 年	法律规定	匈牙利在 2020 年 6 月通过的气候法中承诺到 2050 年气候中和。
15	冰岛	2040 年	政策宣示	冰岛已经从地热和水力发电获得了几乎无碳的电力和供暖，2018 年公布的战略重点是逐步淘汰运输业的化石燃料、植树和恢复湿地。
16	爱尔兰	2050 年	执政党联盟协议	在 2020 年 6 月敲定的一项联合协议中，三个政党同意在法律上设定 2050 年的净零排放目标，在未来十年内每年减排 7%。
17	日本	2050 年	政策宣示	日本政府于 2019 年 6 月在主办 20 国集团领导人峰会之前批准了一项气候战略，主要研究碳的捕获、利用和储存，以及作为清洁燃料来源的氢的开发。值得注意的是，逐步淘汰煤炭的计划尚未出台，预计到 2030 年，煤炭仍将供应全国四分之一的电力。

序号	国家	目标日期	承诺性质	具体内容
18	马绍尔群岛	2050 年	提交联合国的自主减排承诺	在 2018 年 9 月提交给联合国的最新报告提出了到 2050 年实现净零排放的愿望，尽管没有具体的政策来实现这一目标。
19	新西兰	2050 年	法律规定	新西兰最大的排放源是农业。2019 年 11 月通过的一项法律为除生物甲烷（主要来自绵羊和牛）以外的所有温室气体设定了净零目标，到 2050 年，生物甲烷将在 2017 年的基础上减少 24-47%。
20	挪威	2050/2030	政策宣示	挪威议会是世界上最早讨论气候中和问题的议会之一，努力在 2030 年通过国际抵消实现碳中和，2050 年在国内实现碳中和。但这个承诺只是政策意向，而不是一个有约束力的气候法。
21	葡萄牙	2050 年	政策宣示	葡萄牙于 2018 年 12 月发布了一份实现净零排放的路线图，概述了能源、运输、废弃物、农业和森林的战略。葡萄牙是呼吁欧盟通过 2050 年净零排放目标的成员国之一。
22	新加坡	在本世纪后半叶尽早实现	提交联合国	与日本一样，新加坡也避免承诺明确的脱碳日期，但将其作为 2020 年 3 月提交联合国的长期战略的最终目标。到 2040 年，内燃机车将逐步淘汰，取而代之的是电动汽车。
23	斯洛伐克	2050 年	提交联合国	斯洛伐克是第一批正式向联合国提交长期战略的欧盟成员国之一，目标是在 2050 年实现“气候中和”。
24	南非	2050 年	政策宣示	南非政府于 2020 年 9 月公布了低排放发展战略（LEDs），概述了到 2050 年成为净零经济体的目标。
25	韩国	2050 年	政策宣示	韩国执政的民主党在 2020 年 4 月的选举中以压倒性优势重新执政。选民们支持其“绿色新政”，即在 2050 年前使经济脱碳，并结束煤炭融资。这是东亚地区第一个此类承诺，对全球第七大二氧化碳排放国来说也是一件大事。韩国约 40% 的电力来自煤炭，一直是海外煤电厂的主要融资国。
26	西班牙	2050 年	法律草案	西班牙政府于 2020 年 5 月向议会提交了气候框架法案草案，设立了一个委员会来监督进展情况，并立即禁止新的煤炭、石油和天然气勘探许可证。
27	瑞典	2045 年	法律规定	瑞典于 2017 年制定了净零排放目标，根据《巴黎协定》，将碳中和的时间表提前了五年。至少 85% 的减排要通过国内政策来实现，其余由国际减排来弥补。
28	瑞士	2050 年	政策宣示	瑞士联邦委员会于 2019 年 8 月 28 日宣布，打算在 2050 年前实现碳净零排放，深化了《巴黎协定》规定的减排 70-85% 的目标。议会正在修订其气候立法，包括开发技术来去除空气中的二氧化碳（瑞士这个领域最先进的试点项目之一）。
29	英国	2050 年	法律规定	英国在 2008 年已经通过了一项减排框架法，因此设定净零排放目标很简单，只需将 80% 改为 100%。议会于 2019 年 6 月 27 日通过了修正案。苏格兰的议会正在制定一项法案，在 2045 年实现净零排放，这是基于苏格兰强大的可再生能源资源和在枯竭的北海油田储存二氧化碳的能力。
30	乌拉圭	2030 年	《巴黎协定》下的自主减排承诺	根据乌拉圭提交联合国公约的国家报告，加上减少牛肉养殖、废弃物和能源排放的政策，预计到 2030 年，该国将成为净碳汇国。

附件二 术语和定义

生活垃圾：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以及法律、行政法规规定视为城市生活垃圾的固体废物。本报告中的生活垃圾主要包括居民生活垃圾（厨余垃圾等）、餐厨垃圾、农贸市场垃圾及可回收物，不包括建筑垃圾、园林垃圾、医疗垃圾和危险垃圾等。

垃圾处理 / 处置方式：生活垃圾处理 / 处置设施采用的垃圾处理技术，包括填埋、焚烧、厌氧消化、堆肥及其他技术。

焚烧：生物和化石原料中有机化合物在有或没有热捕获和热利用时的可控燃烧。理想情况下，所有的有机物含量可转变为 CO_2 和 H_2O 。

厌氧消化：在厌氧细菌的作用下，通过降解和稳定有机物质，产生甲烷和二氧化碳。

堆肥：一种在有氧（富氧）条件下垃圾的生物降解工艺。堆制肥料工艺处理的垃圾必须包含可生物降解的固体有机材料。堆肥将可生物降解的有机碳大部分转变为 CO_2 ，少量为可以被用作肥料的残渣（即堆肥）。来自堆制肥料的其他产出包括，但不限于，甲烷（ CH_4 ），氧化亚氮（ N_2O ）和（联合堆肥工艺产生的）废水排放。

填埋气（LFG）：填埋气来源于垃圾填埋场垃圾的分解。垃圾填埋气主要由甲烷、二氧化碳组成。

气候变化：指气候平均状态统计学意义上的显著改变或者持续较长一段时间（典型的为 10 年或更长）的变动。气候变化的原因包括自然的内部变异性、自然的外部强迫和人为的外部强迫（包括对大气组成成分的改变和土地利用变化）。全球和区域气候在年代以上所有时间尺度上不断地变化。

温室气体：温室气体是指大气中由自然或人为原因产生的能够吸收和释放地球表面、大气和云所射出的红外辐射谱段特定波长辐射的微量气体成分。温室气体能够导致大气温室效应。水汽（ H_2O ）、二氧化碳（ CO_2 ）、氧化亚氮（ N_2O ）、甲烷（ CH_4 ）和臭氧（ O_3 ）是地球大气中最重要的温室气体。这些温室气体有些是由于自然过程产生的，还有许多完全由人为因素产生的温室气体，如《蒙特利尔协议》所涉及的卤烃和其他含氯和含溴物。除 CO_2 、 N_2O 和 CH_4 外，《京都议定书》也将六氟化硫（ SF_6 ）、氢氟碳化物（HFCs）和全氟化碳（PFCs）定为温室气体。

排放情景：是对潜在辐射活跃的人为温室气体和气溶胶未来可能趋势的各种假设。排放情景的建立考虑了驱动因子（如人口、社会经济发展、技术变化）及其内部的协调性。

碳达峰：指在某一个时点，一般为日历年度，某个国家 / 行业 / 企业的二氧化碳排放量达到峰值，不再增长，并在之后逐步回落。

碳中和：在一定时间内直接或间接产生的温室气体排放总量，通过植树造林、节能减排等形式，以抵消自身产生的二氧化碳排放量，实现温室气体“净零排放”。

清洁发展机制（CDM）：是《京都议定书》附件一缔约方（发达国家）与发展中国家的合作机制，它是指发达国家通过提供资金和技术的方式在清洁能源、控制温室气体排放方面与发展中国家进行项目级合作，项目合作中获得的“经核证的减排量”即 CERs 可以用于发达国家履行《京都议定书》所规定的减排任务。

联合履约机制（JI）：是《京都议定书》附件一缔约方（发达国家）之间基于减排项目的合作机制。它是指一个发达国家通过以技术和资金投入的方式与另外一个发达国家合作，合作实现的温室气体减排或碳吸收汇（ERUs）转让给投入

技术和资金的发达国家缔约方，用于履行其在《京都议定书》下的减排任务。

排放源：向大气中释放温室气体或通过垃圾管理改进措施避免向大气中排放温室气体的过程或活动。

活动水平：导致温室气体排放的生产或消费活动量的表征。例如垃圾处理量、化石燃料消耗量、电力消耗量等。

排放因子：表征单位生产或消费活动量的温室气体排放的系数。例如每单位化石燃料燃烧所产生的二氧化碳排放量、每单位购入使用电量所对应的二氧化碳排放量等。

碳排放强度：表示每单位物理活动或经济价值产生的温室气体影响（例如，单位垃圾处理产生的 CO₂ 排放量）。

碳减排：通过实施清洁能源、提高效率等项目活动，使产出等量产品或服务过程中产生的排放有所减少。

IWM NAMA 项目：中国城市生活垃圾领域国家适当减缓行动项目（Integrated Waste Management, IWM NAMA）是国家适当减缓行动基金会（NAMA 基金会）资助的国际合作项目，在中华人民共和国住房和城乡建设部标准定额司的支持下，由德国国际合作机构（GIZ）与中国城市环境卫生协会（CAUES）共同执行。项目于 2017 年 9 月正式开始实施。IWM NAMA 项目旨在推动城市生活垃圾综合管理，促进减少中国城市生活垃圾处理领域的温室气体排放。此外，项目将助力中国城市生活垃圾管理行业转型，协助推动垃圾综合管理和垃圾能源化利用作为新的经济可持续的低碳投资领域。



德国国际合作机构 (GIZ)
中国城市生活垃圾处理领域国家适当减缓行动项目 (IWM NAMA)

北京市朝阳区亮马河南路 14 号外交办公大楼 2-5
邮编：100600

联系人：刘晓
电话：+86 (0) 10 8527 5589 ext. 188
手机：+86 13488760269
邮箱：xiao.liu@giz.de

网站



微信

