

在气候政策下看中国市政 固体废弃物的可持续管理机遇

— 来自欧盟和更多地区的启示

报告撰写机构:磐之石环境与能源研究中心

研究和报告撰写机构



磐之石环境与能源研究中心（Rock Environment and Energy Institute, REEI），创立于 2012 年 7 月，是一家研究环境和能源政策的独立智库。我们以能源转型政策分析为主线，讨论如何在兼顾社会公平、气候变化、环境质量和公众健康的基础上，实现中国能源系统的低碳转型。并希望在此过程中促进多方参与、开放理性的环境政策讨论。

支持方

天津市西青区零萌公益发展中心

于 2020 年 4 月注册，主要关注垃圾减量与分类、减塑等议题，重点负责零废弃联盟项目。零废弃联盟成立于 2011 年，是国内关注垃圾议题的机构和个人共同发起的非营利的行动与项目合作平台，致力于促进政府、企业、学术机构、公众及社会组织等各界在垃圾治理过程中的沟通与合作，推动中国垃圾管理、循环经济和低碳经济的正向发展。2021 年在北京自然之友基金会竹溪计划支持下，委托磐之石环境与能源研究中心完成本报告的撰写。

北京自然之友公益基金会竹溪计划

它是由自然之友于 2021 年发起的资助项目。该项目为发挥社会组织在中国构建现代环境治理体系和环境法治建设中的积极作用，为有志于从事应对气候变化、生物多样性保护、环境法制的社会组织提供小额资助支持，并提升受资助组织的可持续发展能力，与自然之友形成合力，重建人与自然的连接，守护珍贵的生态环境。

报告作者：赵昂、袁雅婷

研究支持：林佳乔、潘伊人

校对：谢新源

设计：ZDan

感谢谢新源、田倩、李嘉诚、刘华、张静宁对此报告提出的修改意见。

免责声明

本报告由磐之石环境与能源研究中心在天津市西青区零萌公益发展中心和北京自然之友公益基金会的资助下独立完成，报告中所反映的观点与资助方无关。

目录

CONTENTS



1 引言 ······	01
2 欧盟市政固废管理的演变及其与碳减排的关系 ······	02
2.1 废弃物管理：从废弃物管理层级架构到循环经济战略下废弃物管理战略 ······	02
2.2 废弃物可持续管理：欧盟的废弃物出口管理举措 ······	03
2.3 市政固废管理碳排放核算：回收、焚烧和填埋的差别 ······	04
3 双碳目标下管理中国市政固废管理部门碳排放的机会 ······	12
3.1 填埋场的甲烷管理是实现碳达峰过程中的重要措施 ······	12
3.2 焚烧能源化利用在市政固废管理中的角色演变 ······	13
3.3 循环经济：欧盟的行动有何借鉴 ······	16
3.4 政策建议 ······	16

1 引言

国际社会于 2015 年达成的应对气候变化的《巴黎协定》加速了一些全球主要经济体在市政固体废弃物（Municipal Solid Waste, MSW¹⁾ 管理部门从碳减排的角度推进 MSW 可持续管理的进程。这一进程在不同的国家和地区表现不一。根据世界银行的一份研究，在低收入国家，MSW 管理仍以开放式倾倒和一般填埋为主，卫生填埋占比逐渐开始增长；在中等收入国家，卫生填埋占主，焚烧次之；在高收入国家，焚烧和卫生填埋占据主流。² 中国城市的 MSW 管理 2016 年-2020 年经历了由填埋占主到焚烧占主的变化。预计到 2025 年，中国城市产生的 MSW 约三分之二将被焚烧。³

在 MSW 的管理环节，分类收集和回收利用⁴ 能够带来最大的气候减排效应。⁵ 目前高收入国家的回收比例在政策和财政的激励下逐步提升。欧盟通过政策和财政支持强化了对 MSW 前端环节（包括防止产生、分类和回收）的重视和行动，对后端的卫生填埋和焚烧也提出了更高的技术和排放要求，例如《欧盟甲烷减排战略》中设定甲烷回收装置在填埋中的应用并要求 MSW 填埋气体最大程度实现能源化利用；《可再生能源指令》要求欧盟成员国确保其本国的可再生能源政策（包括补贴政策）遵守废弃物管理层级架构（Waste Hierarchy⁶），并且要求如果欧盟成员国无法满足《废弃物框架指令》中对垃圾分类

投放和收运的要求，则不应将焚烧（有能源化利用）设施列入低碳技术而得到可再生能源补贴。

提高 MSW 的可持续管理水平首先是最大限度地减少产生量、提高回收利用率，将末端处置量降至最低。要实现这样的目标，决策者须从社会经济的整个系统来考虑 MSW 管理。欧盟近年来开始实施循环经济计划，这一计划从根本上提供了一条实现废弃物可持续管理的长期路径。理想的情景是最终没有废弃物进入填埋场和焚烧厂，经过不同程度和方法的处理，上一个环节的“废弃物”是下一个环节可利用的“资源”。这正是欧盟推动循环经济行动方案的政策原因之一。

欧盟推动循环经济行动方案是落实欧盟绿色新政的关键措施之一，欧盟的绿色新政旨在推动欧盟经济和社会的可持续发展，彻底扭转目前过度消耗自然资源、破坏生态系统的经济模式，并围绕到“2050 年成为全球第一个实现碳中和目标的大陆”落实一系列政策措施。在这样的战略背景下，欧盟面向气候中和未来的 MSW 管理策略和政策将对中国带来重要借鉴作用。中国的 MSW 每年的产生量仍在较快增长过程中，讨论和制定 MSW 管理的低碳发展策略有助于支持国家落实双碳目标。本研究通过梳理在最新气候应对策略下、欧盟如何推动废弃物管理变革，提出中国在 3060 碳目标下，中国的 MSW 可持续管理有怎样的机会。

[1] 在中国的政策讨论中通常称为“生活垃圾”，本报告会交替使用“市政固废”和“生活垃圾”。

[2] What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank, 2018.

[3] 垃圾焚烧处理规模何时见顶？磐之石环境与能源研究中心，链接：<http://www.reei.org.cn/blog/783>

[4] 本报告中回收利用或循环利用（recycling）仅指物质循环，不包括能源利用。

[5] The Potential Contribution of Waste Management to a Low Carbon Economy, Eunomia,

Link: <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/the-potential-contribution-of-waste-management-to-a-low-carbon-economy/>

[6] 有时也被译为“废弃物管理优先次序原则”

2 欧盟市政固废管理的演变及其与碳减排的关系

2.1 废弃物管理：从废弃物管理层级架构到循环经济战略下废弃物管理战略

早在 1975 年，欧盟就颁布了“欧盟废弃物框架指令”(75/442/CEE)，其后又进行了多次修订，在 2008 年修订的版本中提出了影响深远的倒金字塔状的废弃物管理层级架构（见图 1），即优先序由高到低分别为源头减量→重复使用→回收利用→其他方式利用→末端处置方式。这一层级架构成为指导欧盟开展废弃物可持续管理的基本原则。

从全生命周期的角度来讲，废弃物管理层级架构和循环经济都考虑了产品的全生命周期，包括制造阶段、使用阶段以及处理阶段，且都随着时间不断地在丰富、更新内容，更加强调设计。因此，我们可以看到，循环经济和废弃物管理层级有着共同的理念，旨在通过重新思考、重新设计、重新利用来管理废弃物，以提高产品的资源效率，减少废弃物的产生和不良影响。

但是从废弃物管理层级架构来看，还是有一部

分废弃物进入末端处置环节，主要包括填埋和焚烧（无能源化利用）。而循环经济的框架将所有物质的循环和流动纳入一个闭环，经过不同程度和方法的处理，上一个环节的“废弃物”是下一个环节可利用的“资源”。因此，欧盟面向 2050 碳中和目标的废弃物管理目标不再是将末端处置量降至最低，而是在经济生产模式变革的背景下提出原材料和物质的循环利用 (recycling)⁷，不再有进入末端处置的传统意义上的废弃物。

2020 年 3 月，欧盟在发布的新版《循环经济行动计划》(EU Circular Economy Action Plan)⁸ 中也针对性提出了促进废弃物可持续管理的措施：

一是通过强化废弃物源头防控，加强废弃物的循环利用，继续更新欧盟废弃物法规。

二是重点关注有害废弃物，提高无毒环境中的可循环性。《循环经济行动计划》提出需要制定减少和管控有害废弃物的方法和战略，改进对危险废弃物的分类和管理等。



图 1 欧盟提出的固体废弃物管理层级架构

[7] 欧盟循环经济行动方案中提到的是 recycling, https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/new_circular_economy_action_plan.pdf

[8] 欧盟循环经济行动方案 Link: https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en

三是建立运行良好的欧盟再生原料市场，明确产品中再生原料含量要求等，这将有助于防止再生原料供需比例失调，保障欧盟回收利用行业的顺利扩张。

四是解决欧盟废弃物出口的问题，加强欧盟对废弃物运输的管制，打击向第三国家非法出口和非法贩运废弃物，并设立出口废弃物的“欧盟可循环”标准。

2020 年 3 月，欧盟在其《循环经济行动计划》设定了到 2030 年实现废弃物总量大幅减少和 MSW 中的其他垃圾（Residual Waste）减半的目标。行动计划中包括“废弃物和循环利用”（Waste and Recycling）的内容。⁹ 欧盟的最新计划旨在将循环经济的理念贯穿到产品的设计、生产、消费、维修、回收处理以及二次资源利用的全生命周期当中。新的行动方案为 MSW 管理提供了有力的政策工具，并指出在废弃物管理领域未来一两年的具体行动方案。例如，某类废弃物减少的目标和评价废弃物避免产生的措施，废弃物中需关注物质的统一信息系统，欧盟范围废弃物分类收集和标识的统一模式等。¹⁰

欧盟废弃物管理变革的核心目标是支持整个经济体到 2050 年实现碳中和。而在推动实现碳中和的复杂、长期的过程中，欧盟在核算废弃物部门的碳排放和制定这一部门的减排策略方面，已经迈出了一些重要步骤。首先，我们来看欧盟在废弃物出口方面的管理进展，然后再看自 1990 年以来，欧盟废弃物部门碳排放量的历史变化，以及欧盟废弃物部门面向 2030、2050 气候应对目标的策略。

2.2 废弃物可持续管理：欧盟的废弃物出口管理举措

欧盟大量的 MSW 出口始终是欧盟废弃物管理的一个头疼问题。因为将 MSW 出口到低收入国家并不能帮助欧盟实现可持续管理废弃物的政策目标。MSW 的合法和非法出口还常常给进口国带来严重的环境污染，这是典型的跨境环境正义的挑战。

2020 年 12 月，欧盟宣布将从 2021 年始禁止向非经济合作组织（OECD）国家出口未经分类的塑料垃圾。但在此前，欧盟的大量塑料垃圾都流向了中国，而随着中国在 2018 年禁止塑料垃圾进口，这些塑料垃圾又流入了其他亚洲国家，根据统计，2019 年欧盟出口了 150 万吨塑料垃圾到土耳其、马来西亚、印度尼西亚等国家。¹¹

欧盟于 2021 年 11 月采纳了关于禁伐森林、创新可持续废弃物管理的政策提案，旨在落实欧盟保护气候和生物多样性方面的承诺，这是欧盟“绿色新政”（Green Deal）的组成部分。同时，欧盟在废弃物运输方面进行了监管政策的更新。为了遏制向不符合欧盟环境标准的第三方国家出口废弃物，欧盟委员会于 2021 年 11 月 17 日公布了《欧盟废弃物运输条例》的修订征求意见稿。欧盟的最新要求包括：对于出口到非 OECD 国家的废弃物进行限制，如果需要出口，要确保接受废弃物的国家有可持续处理所进口的废弃物的能力。对于从欧盟出口废弃物到 OECD 国家的情况，欧盟要求对废弃物进行监控，如果接受国发生了严重的环境污染事件，出口将被暂停。欧盟的废弃物出口商要接受独立审计，证明其在出口业务过程中对废弃物的管理是环境友好的。此外，修订后的条例还将促进欧盟内部废弃物的回收和再利用，支持其向循环经济过渡。¹²

通过设定更为严格的废弃物出口政策，欧盟旨在落实循环经济和零污染的长远战略雄心。欧盟的这一举措将加大其在本经济区内的废弃物管理的

[9] 欧盟循环经济行动方案 Link: https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en

[10] Circular Economy Action Plan: for a cleaner and more competitive Europe, page 27. EU, 2020. Link: https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/new_circular_economy_action_plan.pdf

[11] Plastic waste shipments: new EU rules on importing and exporting plastic waste, European Commission, Link: https://ec.europa.eu/environment/news/plastic-waste-shipments-new-eu-rules-importing-and-exporting-plastic-waste-2020-12-22_en

[12] Questions and Answers on new EU rules on waste shipments, European Commission, Link: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_5918

监管力度，减少废弃物跨境流动，加大欧盟自身废弃物可持续管理的能力。

2.3 市政固废管理碳排放核算：回收、焚烧和填埋的差别

- 联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）的废弃物温室气体排放核算方法

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）2006年公布的《国家温室气体清单指南》为废弃物部门的温室气体排放核算提供了方法学。¹³这一方法学主要估算废弃物部门处理过程（固体废弃物处置、固体废弃物的生物处理、MSW 焚烧和露天焚烧、废水处理和排放）带来的温室气体排放，包括二氧化碳、甲烷和氧化亚氮。因我们的研究聚焦于 MSW，因此废水处理和工业固废不在我们的研究范围之内。MSW 焚烧发电、发热属于废弃物能源化利用（waste-to-energy），在 IPCC 的方法学中，这些 MSW 焚烧项目归入能源部门计算碳排放，而不是在废弃物部门。世界各国也基本遵循了这个方法学。例如，美国环保署（EPA）发布的废弃物温室气体排放清单中也将 MSW 焚烧产生的二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放计入能源部门而不是废弃物部门。因为美国几乎所有城市固体废弃物焚烧都具备能源化利用的发电设施，焚烧发电属于废弃物能源化利用。¹⁴

在废弃物的处置方式中，废弃物焚烧和露天燃烧（没有能源化利用）产生的二氧化碳是废弃物部门中最重要的二氧化碳排放来源。废弃物处置、废水处理过程中产生的二氧化碳（生物成因）不能纳入废弃物部门的温室气体排放。在废弃物能源化利用（如垃圾焚烧发电）中因生物材料燃烧产生的二氧化碳排放作为信息项报告，不算作能源部门增加的温室气体排放。¹⁵

- 欧盟的废弃物碳排放核算和管理

在报告温室气体清单方面，欧盟遵照 IPCC 的方法学，最新发布了《1990-2019 欧盟温室气体排放清单和 2021 年清单报告》，对废弃物部门的温室气体排放做了详细介绍。其中废弃物部门只包含不带能源化利用的 MSW 焚烧产生的排放，带能源化利用的 MSW 焚烧设施产生的排放在能源部门报告。1990 年与 2019 年相比，不同处理方式所对应的碳排放如表 1 所示。欧盟（不包括英国）MSW 对应的碳排放从约 1.94 亿吨减少到 1.12 亿吨，降幅为 42%；类似地，欧盟内最大经济体德国从 1990 到 2020 年降幅为 75%。然而如果将焚烧能源化利用计算在内，欧盟和德国在这一时期的降幅却分别仅有 22% 和 42%。

欧盟 MSW 不同处理方式在 1995-2019 期间发生的结构变化有助于我们理解这一部门温室气体排放的历史变化过程。图 2 非常直观的显示出欧盟 MSW 管理方式的历年结构变化。欧盟 1995 年的 MSW 处理方式的占比情况为：填埋（65%），有能源化利用和无能源化利用的 MSW 焚烧（16%），回收（12%）和生化处理（8%）。到 2019 年，结构发生了巨大变化，填埋占比下降到 24%，焚烧（包括无能源化利用和有能源化利用）的占比升高至 27%，回收比例增幅最大，达到 31%，生化处理也升高到 18%。¹⁶

德国、英国、波兰和荷兰对过去三十年实现欧盟 MSW 管理温室气体排放减少做了最大的贡献。¹⁷ 德国主要是通过增加回收利用率（包括原材料回收和堆肥、发酵）；波兰主要是减少填埋比例减少了甲烷排放；英国既减少了填埋比例，也增加了回收率。

[13] 《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南目录》第 5 卷 废弃物，link: <https://www.ipcc-nrgip.iges.or.jp/public/2006gl/chinese/vol5.html>

[14] US EPA Solid Waste Greenhouse Gas Inventory, link: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-04/documents/us-ghg-inventory-2020-chapter-7-waste.pdf>

[15] 《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》，Link: https://www.ipcc-nrgip.iges.or.jp/public/2006gl/chinese/pdf/5_Volume5/V5_1_Ch1_Introduction.pdf

[16] 《1990-2019 欧盟温室气体排放清单和 2021 年清单报告》，p773. 链接: <https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2021>

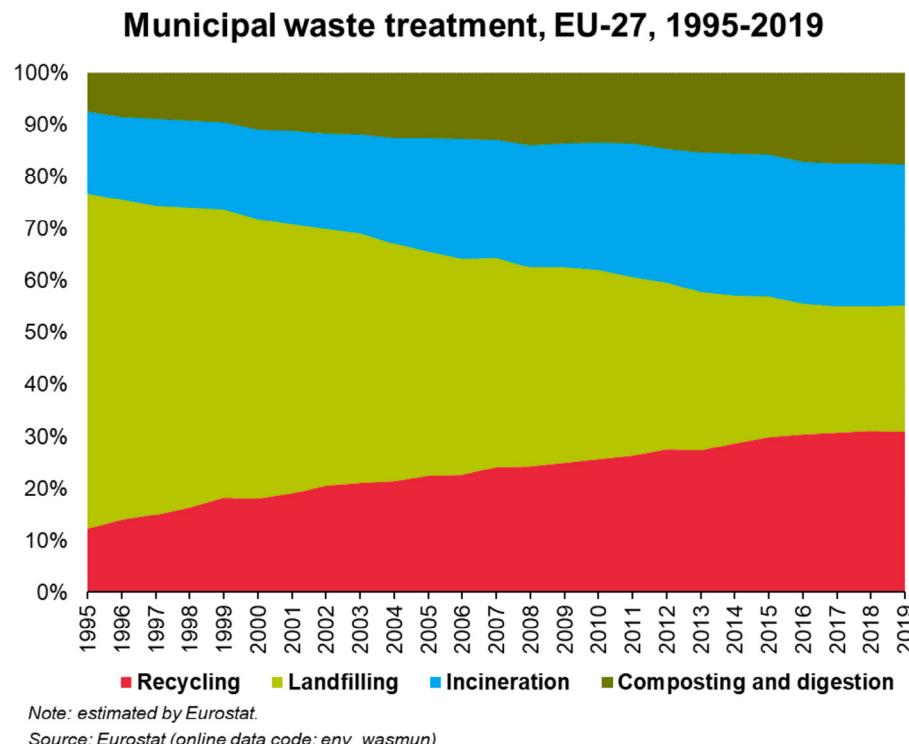
[17] 《1990-2019 欧盟温室气体排放清单和 2021 年清单报告》，p775. 链接: <https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2021>

表 1 欧盟 MSW 温室气体排放组成与 MSW 焚烧能源化利用的碳排放（单位：万吨 CO₂ 当量）

废弃物部门	欧盟（不包括英国）		德国	
	1990 年	2019 年	1990 年	2020 年
卫生填埋	15809	8409	3420	719
非卫生填埋	2804	1219	0	0
发酵	96	838	4	101
堆肥	61	372	3	31
焚烧（无能源化利用）	606	393	0	0
总计	19376	11231	3427	851
能源部门	1990 年	2019 年	1990 年	2020 年
焚烧（有能源化利用）	1149	4746	412	1385

来源：根据《1990-2019 欧盟温室气体排放清单和 2021 年清单报告》所提供的废弃物部门排放的数据整理（参见报告 773-799 页）。

报告链接：<https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2021>

图 2 欧盟（27 成员国）MSW 的处理方式占比变化，1995-2019¹⁸

[18] 《1990-2019 欧盟温室气体排放清单和 2021 年清单报告》，p774. 链接：<https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2021>

根据表 1, 发酵和堆肥合起来的碳排放从 1990 年的 157 万吨增加到 2019 年的 1210 万吨, 主要是因为用这两种方式处理的 MSW 有大量增加。填埋 (包括卫生和非卫生) 对应的碳排放从 1990 到 2019 年减少约 48%, 达到 9628 万吨。如表 2 所示, 欧盟 1995-2019 年 MSW 产生的总量从 1.88 亿吨增加到 2.21 亿吨, 人均从 443 千克增加到 493 千克。

回收率的提升 (根据表 2, 人均回收的市政固体废弃物由 1995 年的 87 千克增加到 2019 年的 239 千克) 是欧盟 MSW 处理温室气体排放过去近三十年减少的重要原因。另外两个原因包括填埋的减少 (因为填埋会带来高温室效应的甲烷的排放) 和焚烧能源化利用的比例大量增加 (这部分排放归入了能源部门)。

表 2 欧盟 MSW 不同处理方式的处理量变化

	1995 年		2019 年	
	总量 (万吨)	人均 (千克)	总量 (万吨)	人均 (千克)
填埋	12100	286	5400	120
焚烧	3000	70	6000	134
回收 (包括材料回收和堆肥)	3700	87	10700	239
总计	18800	443	22100	493

来源: 根据 Interreg Europe 提供的数据整理。Eurostat new data on MSW Generation and Management.

链接: <https://www.interregeurope.eu/smartwaste/news/news-article/11474/eurostat-new-data-on-msw-generation-and-management/>

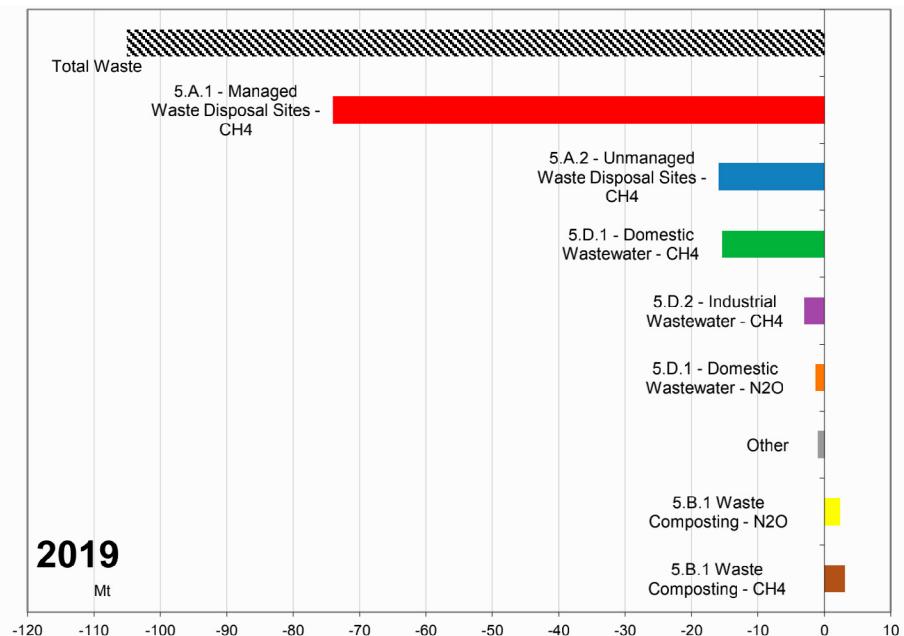


图 3 欧盟 (不包括英国) 废弃物部门不同处理方式的温室气体减排量的贡献, 1990-2019. (单位: 百万吨 CO₂ 当量)¹⁹

[19] 《1990-2019 欧盟温室气体排放清单和 2021 年清单报告》, p778, 链接: <https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2021>

欧盟在 MSW 管理上实现的减排效果主要是通过限制填埋的数量（提高回收和增加预处理²⁰）和增加填埋场的甲烷收集设施实现。如图 3 所示，卫生填埋场的甲烷减排贡献了超过 70% 的 MSW 部门的温室气体总减排量。

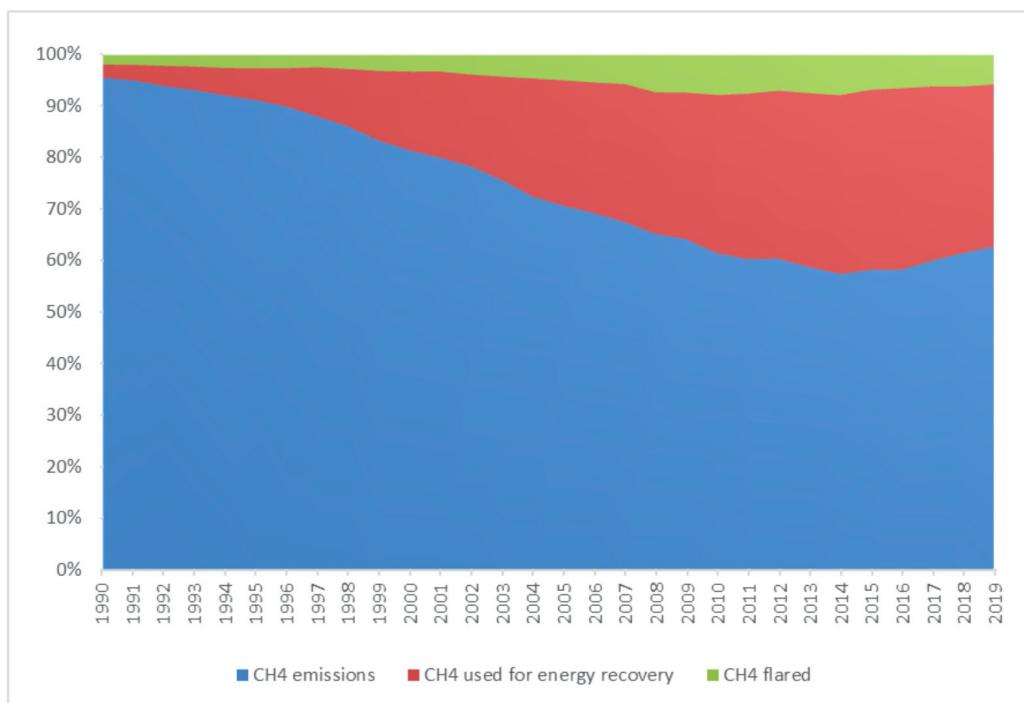
MSW 填埋场甲烷的收集和利用的增加，减少了甲烷的总体排放（如图 4 所示）。1990 年甲烷能源化利用（CH₄ used for energy recovery）和直接燃烧（CH₄ flared）加起来占比远不到 10%。到 2019 年时，虽然仍有超过 60% 的填埋场甲烷是排放到大气中，但已经有约 30% 的甲烷得到能源化利用，直接燃烧占比超过 5%，因为燃烧后排放 CO₂，带来的温升效应要远低于直接排放甲烷。

2021 年 11 月在英国格拉斯哥召开的第 26 次气候变化谈判大会（COP26）上有上百个国家加入“甲烷减排承诺”，重点关注的行业（占比从高至低）

是油气开发、农业和废弃物领域。在减少废弃物部门的甲烷排放方面，控制 MSW 填埋场的甲烷排放是关键。

- 欧盟 MSW 碳排放管理：如何从全生命周期的角度来帮助决策

欧盟在要求成员国递交各自废弃物部门历年碳排放时采用了不同于 IPCC 的方法学。这个方法学称为欧洲城市废弃物产生和管理参考模型（The European reference model on municipal waste generation and management，以下简称欧洲参考情景），它由 Eunomia Research and Consulting Ltd. 牵头开发，用于模拟城市未来废弃物的产生和管理，它是基于全生命周期的思维来建立的。在核算温室气体排放时，它分为过程排放（process emissions）和避免排放（avoided emissions），过程排放是指废弃物在收集和处理



Source: CRF 2021, Table 5A

图 4 欧盟（除英国之外）卫生填埋的甲烷利用方式占比变化，1990-2019²¹

[20] 例如，机械生物处理等

[21] 《1990-2019 欧盟温室气体排放清单和 2021 年清单报告》，p784. 链接：<https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2021>

过程中的直接排放（比如使用的化石燃料）；避免排放是指在废弃物收集和处理过程中减少的排放量，如 MSW 焚烧产生能源（电力或热）替代电网电力供应而避免产生的碳排量。所以，该模型将 MSW 焚烧过程产生的排放和避免产生的排放都进行了核算。²²

欧洲参考情景所呈现的 MSW 不同管理方式的碳排放为决策者提供了较为全面的信息和决策建议：回收的碳减排贡献最大，应极力推动；填埋的碳排放量最多，应尽量避免；焚烧虽能避免排放，但过程排放量也很高，二者差距较小，减排效应还要看其替代的能源生产的碳强度高低。

以英国为例，具体如图 5 所示，在过程排放方面，2011 年填埋的碳排放占比最高，其次是焚烧，然后是机械生物处理（MBT），生物有机处理和收集分类占比最少；在避免排放方面，占比由高到低依次为回收、焚烧、MBT 和填埋。从 2011-2020 年，MSW 处理结构发生巨变，填埋占比很小，占比最高的是焚烧，其次是 MBT。在过程排放方面，占比排序与处理结构占比变化一致；在避免排放方面，仍然是回收占比最大，焚烧次之，然后是 MBT。

欧盟用全生命周期方式来评价 MSW 管理方式的温室气体排放为我们提供了一个框架——从避

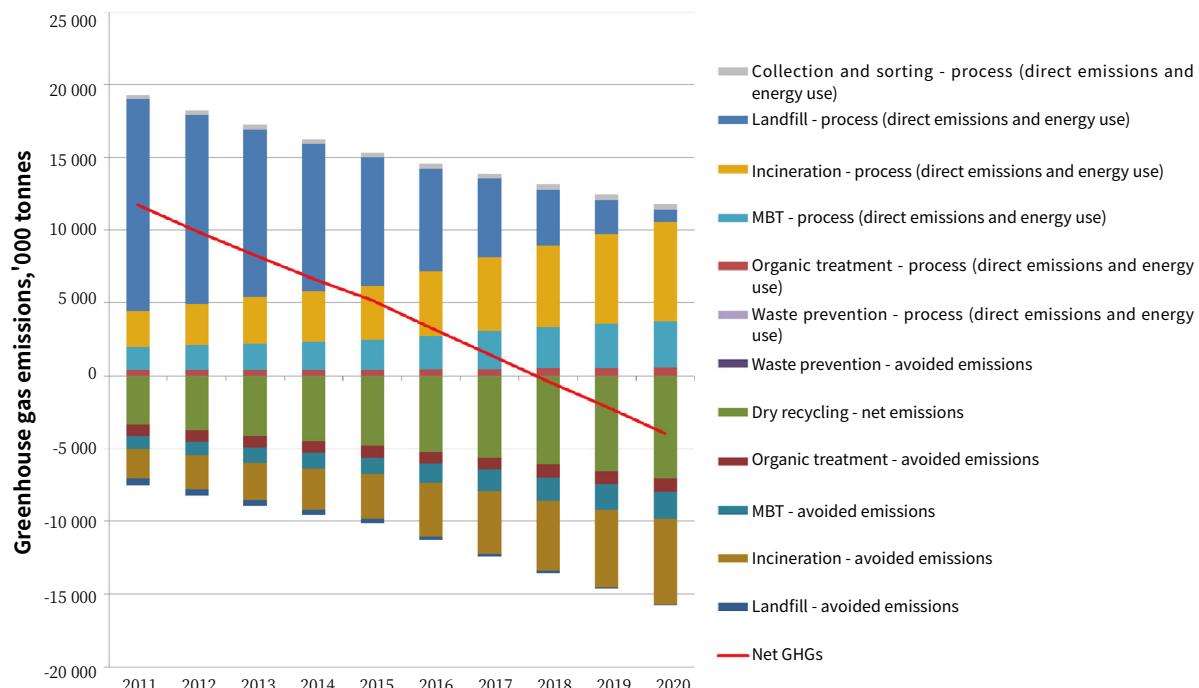


图 5 英国 MSW 温室气体排放情景，2011-2020 ²³

[22] The European reference model on municipal waste, Link: <https://www.eionet.europa.eu/etc/etc-wmge/products/wastemodel>

[23] 国家市政固体废弃物管理概况：英国（2016 年），p13. 链接：
https://www.eionet.europa.eu/etc/etc-ce/products/country-profiles-on-the-management-of-municipal-waste-1/uk_msw_2016.pdf/view

免排放的角度来讨论哪种处理方式更加符合实现碳中和的气候目标。仍以英国为例（图 5），英国于 2018 年实现了 MSW 温室气体净排放量（Net GHGs）为负数，即实现了碳中和目标。而这个前提是不断提高的回收率和用焚烧替代填埋。回收带来的减排量最显著，而焚烧替代填埋避免的排放高过焚烧处理过程产生的排放。回收的减排效应显而易见，这也是欧盟废弃物管理层级架构和循环经济都在推动的优先政策措施。

美国 EPA 的一项关于采用全生命周期评价固体废弃物温室气体排放的研究显示，在绝大多数情况下，源头减量的温室气体减排效果甚至比回收利用更高。

源头减量（source reduction）减少了原材料开采和生产制造过程中与能源有关的碳排放并避免了废弃物管理产生的碳排放。市政固废回收利用（recycling）也可以减少生产制造过程中与能源相关的碳排放（尽管不如源头减量那么明显），同时也没有废弃物管理过程产生的碳排放。为了估计与源头减量相关的碳排放，研究者区分了产品制造来自原生材料和混合材料两种情况。²⁴ 即在这两种情况下，在满足需求的情形下（生产一定量的产品或提供一定量的服务），每减少一个单位的原材料使用（源头减量）而带来的单位碳减排效果。表 3 显示了不同材料源头减量和回收利用的碳排放效果，这有助于我们理解不同材料和产品在源头减量和回收利用上对应的不同程度的碳排放。

表 3 源头减量和回收利用带来的碳减排效应

材料	回收利用 *		源头减量 **	
	使用回收材料所带来的碳减排量 (吨 CO ₂ e/ 吨)	替代混合材料带来的碳减排量 (吨 CO ₂ e/ 吨)	替代 100% 原生材料带来的碳减排量 (吨 CO ₂ e/ 吨)	
报纸	0.76	1.33	1.62	
杂志	0.84	2.36	2.44	
教材	0.85	2.50	2.58	
办公纸张（打印、复印纸）	0.78	2.18	2.26	
瓦楞板	0.85	1.52	2.21	
铁罐	0.49	0.87	1.01	
铝罐	3.70	2.24	4.27	
玻璃	0.08	0.16	0.18	
轮胎	1.75	3.81	3.81	
高密度聚乙烯（HDPE）	0.38	0.49	0.54	
低密度聚乙烯（LDPE）	0.46	0.62	0.64	
聚乙烯对苯二甲酸脂（PET）	0.42	0.57	0.59	

* 来源：美国环保署（EPA）2006 年 9 月发布的《固体废弃物管理和温室气体：排放和沉积的生命周期评价》（第三版），Exhibit 3-8.

** 来源：美国环保署（EPA）2006 年 9 月发布的《固体废弃物管理和温室气体：排放和沉积的生命周期评价》（第三版），Exhibit 3-1.

[24] “混合材料”是指在美国环保署 2006 年 9 月《固体废弃物管理和温室气体：排放和沉积的生命周期评价》（第三版）所使用的美国当时各类材料制造中所使用的再生料与原生料配比的状况。

- 焚烧的减排效果究竟在哪里？

我们这里重点讨论焚烧对填埋的替代而带来的减排效果。要做到焚烧相对填埋减排效果好，一则需要实现较高的填埋场甲烷能源化利用率（即当前填埋场甲烷能源化利用率较低），二则需要焚烧发电和供热所替代电网的电力可以带来显著的减排效应（即当前电网电力的碳强度较高）。如图 4 所示，2019 年欧盟的填埋甲烷有效管理（包括能源化利用和直接燃烧）比例不足 40%，而同年英国的比例为 57%，仅次于位居第一的爱尔兰（59%），德国仅有 23%。²⁵

焚烧能源化利用带来的避免减排量与电网的碳强度有较高的相关性。根据上述美国 EPA 的一项关于采用全生命周期评价废弃物温室气体排放的研究（如表 4 所示），混合垃圾焚烧避免的碳排放绝大多数来自对电网电力的替代，当电网电力主要来自可再生能源发电时，MSW 混合焚烧发电避免的排放将无法补偿其在焚烧非生物质过程中的碳排放，因此焚烧能源化利用将是增加碳排放。表 4 的估算采用了美国 2004 年电网和焚烧发电的相关参数，包括混合垃圾热值（10 million Btu/ton）²⁶、焚烧发电系统效率（17.8%）、美国全国平均电网排放因子（0.62 kgCO₂e/kWh）。这是根据上述 EPA 报告第 74 页的 Exhibit 5-4 下注释 e 里所提供的数

据（1.37 磅 CO₂e/kWh）而换算出来的。同一个国家，电网的碳排放强度随着低碳电力占比的增加会随之减少。不同的国家的电网，因其不同的电源组成（低碳电力和高碳电力的占比）碳排放强度也会相差很大。然而，根据表 4 我们看出，电网的碳强度是影响垃圾焚烧具有多大的碳减排效果的最大影响因素。换句话说，电网碳强度越低，垃圾焚烧替代电网发电所避免的碳减排就越不明显。

根据国际能源署（IEA）发布的《2021 全球电力市场报告》，各主要经济体的电力系统碳强度差别很大，如图 6 所示。美国的电力系统全国平均的碳排放到 2019 年约为 0.38 kgCO₂e/kWh，比 2004 年的 0.62 kgCO₂e/kWh 的水平下降 39%。电力系统的碳强度一般会低于电网的碳强度，因为电网的建设和运营还会增加每消费一度电带来的排放。根据官方公布的最新数据，中国的区域电网 2019 年的基准线排放因子在 0.79-1.1 kgCO₂e/kWh 之间。²⁷

由此来看，随着美国电力系统的低碳发展，美国的垃圾焚烧发电替代电网发电所带来的碳减排效果也会相应减少。假设其它因素不变，参照表 4 里的数据，美国焚烧厂替代电网发电的减排果将从 140 千克 / 湿吨²⁸ 降低为 85 千克 / 湿吨。除非焚烧非生物质的碳排放也显著减少，否则垃圾焚烧厂在 2019 年美国电网碳排放水平下并不具有减排效应。

表 4 混合生活垃圾焚烧发电碳排放（单位：千克 CO₂ e / 湿吨）

	增加排放		避免的排放	净排放
非生物质焚烧过程的 CO ₂ 排放	100	替代电网发电	-140	-40
焚烧过程中的 N ₂ O 排放	10	燃烧过程回收钢	-10	0
MSW 运输的交通排放	10			10
小计	120		-150	-30

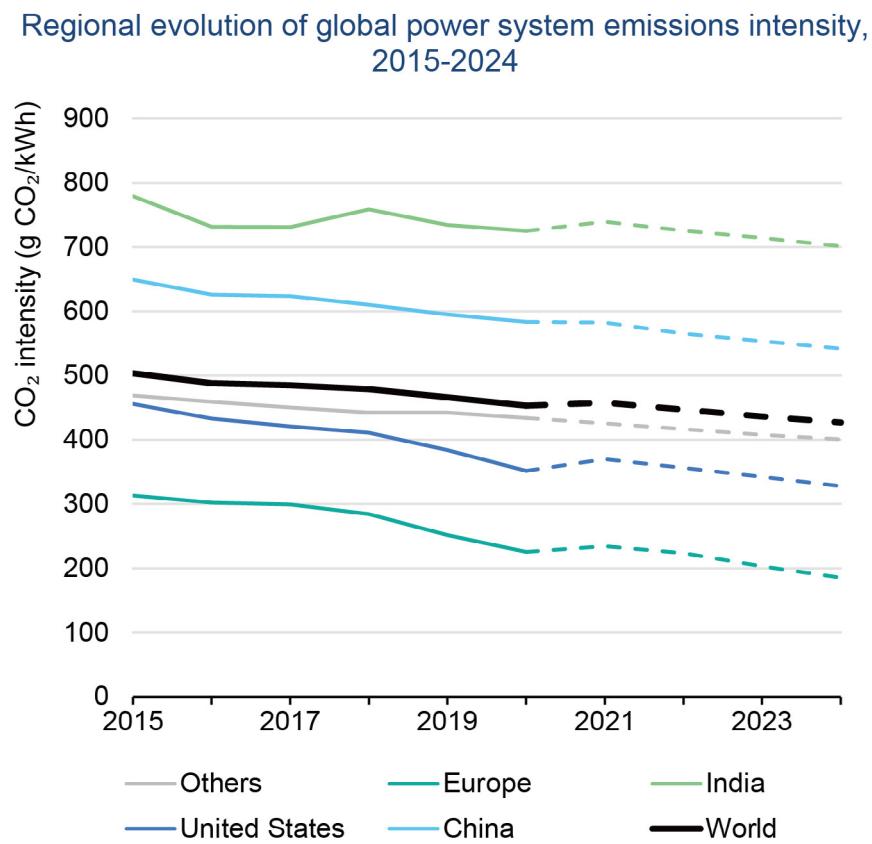
来源：美国环保署（EPA）2006 年 9 月发布的《固体废弃物管理和温室气体：排放和沉积的生命周期评价》（第三版）

[25] 《1990-2019 欧盟温室气体排放清单和 2021 年清单报告》，Figure 7.9., p785. 链接：<https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2021>

[26] 换算成千卡，约为 2.52 million 千卡 / 吨。

[27] 2019 年度减排项目中国区域电网基准线排放因子。中国生态环境部公布。<https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtz/202012/W020201229610353340851.pdf>

[28] “湿吨”指每吨未经分类和 / 或预处理的原生垃圾。



IEA. All rights reserved.

Source: IEA analysis based on data from IEA (2022), [Data and statistics](#).

图 6 全球各主要经济体电力系统碳排放强度²⁹

[29] 《2021 年全球电力市场报告》, p13. 链接: https://iea.blob.core.windows.net/assets/d75d928b-9448-4c9b-b13d-6a92145af5a3/ElectricityMarketReport_January2022.pdf

3 双碳目标下管理中国市政固废管理部门碳排放的机会

3.1 填埋场的甲烷管理是实现碳达峰过程中的重要措施

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的 1.5 摄氏度情景报告指出，如果将全球到本世纪末平均温升控制在 1.5 摄氏度以内，需要考虑对甲烷的深度减排，即与 2010 年水平相比，到 2050 年全球甲烷排放减少到 35% 以下。³⁰ 虽然与二氧化碳相比，非 CO₂ 温室气体排放占比相对较小，但其全球气候变化的影响不容忽视。中国非 CO₂ 温室气体排放占比中，甲烷排放比重最大，主要来自石油、天然气生产、农业以及废弃物管理部门。其中，废弃物管理部门的甲烷排放（主要是垃圾填埋产生的甲烷）预计是未来中国甲烷排放增长最快的领域。

2005 年，废弃物管理部门产生的非 CO₂ 温室气体排放量约 1.1 亿吨 CO₂ 当量，占中国非 CO₂ 温室气体排放总量的 7%。其中，生活垃圾填埋处理产生的甲烷排放贡献最大，其在 2005 年的排放量达到 0.46 亿吨 CO₂ 当量，占当年中国废弃物管理产生的非 CO₂ 温室气体排放总量的 42%。³¹ 中国生活垃圾总体呈现含水率高、有机物含量高的特征，这导致其在进行垃圾填埋处理时产生大量甲烷气体排放。根据原环境保护部预测结果，2030 年废弃物管理部门非 CO₂ 温室气体排放量将达到 3.1 亿吨 CO₂ 当量，其中垃圾填埋场固体废

弃物甲烷排放将达到 1.7 亿吨 CO₂ 当量。³²

为减少固体废弃物处理产生的甲烷排放，中国政府于 2008 年出台了《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB16889-2008），其对生活垃圾填埋场从场址选择、建设、运行等全过程中的污染控制提出了更严格的标准，尤其是要求填埋量大于 250 万吨且垃圾填埋厚度超过 20 米的生活垃圾填埋场应建设甲烷回收设施；小于上述规模的生活垃圾填埋场，应采用能够有效减少甲烷产生和排放的填埋工艺或采用火炬燃烧设施处理含甲烷填埋气体。³³ 此外，中国在 2015 年提交的《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》中强调完善废旧产品回收体系和垃圾分类处理体系，从源头治理，避免过多水分含量高的垃圾进行填埋处理。³⁴ 2021 年 11 月在英国格拉斯哥举办的《联合国气候变化框架公约》第二十六次缔约方大会（COP26）期间，中美两国发布《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》（以下简称《中美联合宣言》），其强调将“聚焦强化甲烷测量和减排具体事宜，包括通过标准减少来自化石能源和废弃物管理部门产生的甲烷排放”³⁵。同月，为推动实现碳达峰碳中和目标作出贡献，生态环境部发布了《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》，其中提出“大幅减少生活垃圾填埋处置，规范生活垃圾填埋场管理，减少甲烷等温室气体排放”³⁶。可见，中国未来

[30] 全球升温 1.5° C 特别报告，IPCC，链接：https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_zh.pdf

[31] 中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报，中华人民共和国发展和改革委员会（2012），链接：<http://www.ccchina.org.cn/archiver/NCCCcn/UpFile/Files/Default/20151120165818652790.pdf>

[32] 全面减排 迈向净零排放目标——中国非二氧化碳温室气体减排潜力研究，世界资源研究所（2016），链接：<https://wri.org.cn/research/opportunities-enhance-non-carbon-dioxide-greenhouse-gas-mitigation-china>

[33] 《生活垃圾填埋场污染控制标准》生态环境部，链接：https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/gthw/gtfwwrkzbz/200804/t20080414_121136.htm

[34] 强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献（全文），新华社，链接：<http://www.gov.cn/xinwen/2015-06/30/> [35] 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，新华社，链接：http://www.gov.cn/xinwen/2021-11/11/content_5650318.htm

[36] “十四五”时期“无废城市”建设工作方案，生态环境部，链接：<http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202112/W020211215761126730366.pdf>

五年将在固体废弃物甲烷排放方面进行一系列减排活动。

生活垃圾填埋场是中国重要的甲烷人为排放来源，该领域的甲烷减排仍任重道远。目前中国虽在《中美联合宣言》承诺将减少来自废弃物部门甲烷排放，但后续甲烷减排目标和政策方案尚未出台。对标欧盟和美国，其于 2021 年 9 月联合发布全球甲烷减排倡议，号召参与国共同承诺到 2030 年将全球甲烷排放量较 2020 年水平减少 30%。³⁷

3.2 焚烧能源化利用在市政固废管理中的角色演变

2019 年之前，中国城市生活垃圾呈现出以卫生填埋为主、焚烧处理上升、堆肥处理减少的特点。2015 年，全国城市生活垃圾填埋和焚烧处理的比例分别为 64% 和 34%。但在 2019 年，全国城市生活垃圾无害化处理量为 2.4 亿吨，其中卫生填埋处理量约为 1.1 亿吨（占 45.6%），焚烧处理量约为 1.22 亿吨（占 50.7%），³⁸ 这是生活垃圾焚烧处理量首次超过卫生填埋处理量，也说明了中国城市生活垃圾处理开始逐步以焚烧为主。2020 年，焚烧处理量增加至 1.46 亿吨，焚烧处理占比达到 62%，而填埋仅占 33%。³⁹

中国最早于第八个五年计划期间开展研究城市生活垃圾焚烧处理技术，2006 年广州市政府决定在番禺区建设生活垃圾焚烧发电厂，但由于对环境污染和公共健康的担心，大量群众抗议建厂，这一“邻避”事件的持续发酵影响全国多地生活垃圾焚烧厂的建设及审批，导致垃圾焚烧行业发展受阻。但随着政府大力宣传垃圾焚烧规范及影响，加上土地价格上涨导致垃圾填埋收益下降，从 2010

年开始生活垃圾处理企业更倾向于投入垃圾焚烧。为了规范垃圾焚烧厂的运行和控制垃圾焚烧过程中的污染排放，《生活垃圾焚烧污染控制标准》于 2016 年开始全面实施，其规定了垃圾焚烧厂选址、监测等严格要求，并对污染物排放限制提出了更高的要求。2021 年发布的《中美联合宣言》对甲烷减排约束将进一步降低生活垃圾填埋比例，意味着焚烧替代填埋的趋势将延续，同时也要求垃圾焚烧处理技术提升至更高的水平。

垃圾焚烧成为主流的生活垃圾处理技术的主要原因是垃圾焚烧发电作为固体废弃物处理和资源化利用的典型形式，属于国家政策明确支持的资源综合利用项目。2009 年，生活垃圾焚烧发电被正式纳入中国电力统计体系范畴，2009 年至 2013 年期间，生活垃圾焚烧发电量从 67.5 亿千瓦时增加到 176 亿千瓦时，涨幅超过 160%。⁴⁰ 2021 年 5 月，发改委发布的《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》中提出了“到 2025 年底，全国城镇生活垃圾焚烧处理能力达到 80 万吨/日左右，城市生活垃圾焚烧处理能力占比 65% 左右”的具体目标。⁴¹ 此外，该《规划》还将全面推进生活垃圾焚烧设施建设，包括加强垃圾焚烧设施规划布局（如依法依规做好选址工作）、持续推进焚烧处理能力建设以及开展既有焚烧设施提标改造（如全面排查现有焚烧处理设施运行和污染排放状况）。虽然目前中国针对垃圾焚烧发电提出的目标和政策都较为明确，但如果真的要实现生活垃圾处理减量化、无害化及高质量资源化，还应遵循欧盟提出的固体废弃物管理层级架构的优先次序，从源头减少固体废弃物的产生。此外，中国对固体废弃物资源化利用定义较为笼统，应参照欧盟《废弃物框架指令》（2018）中针对城市生活垃圾焚烧厂的能源

[37] 欧盟与美国联合发布全球甲烷减排倡议，驻欧盟使团经济商务处，链接：<http://eu.mofcom.gov.cn/article/jmxw/202109/20210903201493.shtml>

[38] 《中国统计年鉴 2020》，国家统计局，链接：<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2020/indexch.htm>

[39] 《中国统计年鉴 2021》，国家统计局，链接：<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2021/indexch.htm>

[40] 垃圾发电市场发展的政策和保障机制研究，p8，能源基金会，链接：<https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-cre-20141001-zh/%E5%8A%A0%E5%BF%AB%E5%9E%83%E5%9C%BE%E5%8F%91%E7%94%B5%E5%82%E5%9C%BA%E5%8F%91%E5%B1%95%E7%9A%84%E6%94%BF%E7%AD%96%E5%92%8C%E4%BF%9D%E9%9A%9C%E6%9C%BA%E5%88%BF%E7%A0%94%E7%A9%BF%E6%8A%A5%E5%91%8A-%E7%BB%88%E7%A8%BF0306>

[41] 《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》，国家发改委，链接：<https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202105/P020210513624038179527.pdf>

效率设定指标（下文将具体说明），达到该指标才能被认定为“能源化利用”。

2021 年 7 月 16 日，全国碳市场启动，把中国核证自愿减排量（CCER）纳入了全国碳市场，控排企业可以使用 CCER 抵消碳排放配额的清缴。⁴²生活垃圾焚烧发电项目是能够产生 CCER 的主要项目之一，其利用垃圾焚烧发电，将所发电量并入电网，避免垃圾填埋产生的温室气体排放及替代以化石燃料发电厂为主的电网同等电量，从而相对减少温室气体的排放。2020 年，生物质发电行业（包括农林生物质发电、垃圾焚烧发电和沼气发电）国家补贴逐步退出的政策得到明确，为缓解国家补贴退出后受到的冲击，生物质发电行业期待通过全国碳市场获得红利。关于 CCER 交易将为生活垃圾焚烧发电企业带来额外收益的声音不绝于耳。一项分析指出，假设以 5 元 / 吨 CCER 的交易价格计算，一个典型的 1000 吨 / 日存量生活垃圾焚烧发电项目年总营业收入增加 42.9 万元。⁴³ 该研究对 11 个已备案的代表性生活垃圾焚烧发电项目进行测算，得出生活垃圾焚烧发电项目平均度电减排约为 821 克 / 千瓦时（表 5）。该分析测算焚烧项目二氧化硫减排量时使用了如下公式：

$$\text{度电二氧化硫减排量} = (\text{监测期二氧化硫基准排放量} - \text{实际排放量}) / \text{监测期项目上网电量};$$

影响焚烧项目度电碳减排量的关键是基准排放量和焚烧厂的实际碳排放量，前者是指没有甲烷回收的填埋场的碳排放量，这个数据相对容易确

定。而后者，焚烧厂运行带来的直接排放量确定起来较为复杂。参照表 4，直接排放量跟焚烧厂燃烧非生物质带来的排放和焚烧发电替代电网电量而避免的碳排放关系最为密切。正如上文讨论美国 2004-2019 年的电网脱碳的趋势对焚烧避免碳排放的影响一样，随着电网碳强度的逐渐降低，焚烧发电替代电网电量所避免的碳排放就愈加不明显。

类似地，伴随着低碳电力的快速发展，中国的电网也在一个碳强度逐步降低的过程中，这从生态环境部于 2020 年 12 月发布的《2019 年度减排项目中国区域电网基准线排放因子》⁴⁴ 就可以看得出来。由此推断，垃圾焚烧项目发电所避免的电网电量的排放会逐渐降低，从而导致实际碳排放量将逐渐升高，焚烧项目度电碳减排量随之相应降低。究竟未来的焚烧项目是否还具备较高的碳减排效益，的确是一个值得讨论的问题。

此外，分析中给出的一些假设也值得商榷，例如资金长期借贷成本为零，这会低估借贷成本、高估项目回报率。总之，我们认为，这份关于生活垃圾焚烧发电项目碳减排量在 CCER 市场中的潜在商业收益的商业分析的主要结果值得商榷。

另外，在未来的全国碳市场中，预计配额交易占 95%，CCER 交易仅占 5%，⁴⁵ 而且在产生 CCER 的项目中可能优先风电、光伏交易，留给归类于生物质发电的生活垃圾焚烧发电项目参与碳交易的空间有限。

欧盟于 2021 年 7 月 14 日提出的一揽子计划

[42] 政府会给纳入碳市场的控排企业分配年度可交易的碳排放配额，可以免费发放，也可以拍卖。如果控排企业在一年内通过技术升级或其它措施减少了碳排放，其碳配额有剩余，可以在碳市场出售。反之，如果控排企业在一年内实际碳排放量超过碳排放许可额度，其需要在碳市场中购买碳配额或者 CCER 来完成履约。

[43] 垃圾焚烧行业：CCER 碳交易能给项目带来多少盈利增厚，链接：https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202104191486347695_1.pdf?1618850122000.pdf

[44] 《2019 年度减排项目中国区域电网基准线排放因子》，EF_{OM} 为电量边际排放因子，可理解为该减排项目所处区域现有电网的二氧化硫排放因子；此外，生态环境部公布的另一种排放因子计算方法为 EF_{BM}，即容量边际排放因子，可理解为能获得数据的最近某年的新增电厂或新增机组的二氧化硫排放因子以其发电量为权重的加权平均值。生态环境部，链接：<https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtkz/202012/W020201229610353340851.pdf>

[45] 碳交易市场分为强制减排市场和自愿减排市场。强制减排市场是监管部门向控排企业发放碳配额，并按照一定规则逐年减少。自愿减排市场是企业通过购买 CCER 用于抵消自身碳排放量，不仅可以适当降低企业的履约成本，同时也能给减排项目带来一定收益。但根据 2020 年 12 月发布的《碳排放权交易管理办法（试行）》，参加全国碳市场的控排企业可使用 CCER 进行碳抵消的比例不得超过 5%，预计未来全国碳市场 CCER 抵消比例也将不超过 5%，其主要原因是 CCER 交易价格相比碳配额交易价格更低，因此，为避免控排企业过多使用 CCER 完成履约，并促进其自身低碳减排技术发展，未来 CCER 交易比例并不会很高。

表 5 已备案生活垃圾焚烧 CCER 项目减排情况

项目名称	产能 (吨/日)	检测时间段	检测期间二氧化碳 减排量(吨)	检测期间上网电量 (MWH)	度电二氧化碳减排 (g/kwh)
深圳市宝安区老虎坑垃圾焚烧发电厂二期工程项目	3000	2013.01.01-2013.12.30	233376	276080	845.32
大连市城市中心区生活垃圾焚烧处理(发电)项目	1500	2015.09.01-2016.10.31	151923	197214.34	770.34
曲靖市生活垃圾焚烧发电项目	800	2013.01.01-2015.12.31	146112	170974	854.59
龙岩市生活垃圾焚烧发电厂项目	600	2014.01.11-2015.12.31	127100	100544	1264.13
佛山市南海垃圾焚烧发电一厂改扩建项目	1500	2016.06.01-2016.12.31	81453	81442	1000.14
淮安市生活垃圾焚烧发电项目	1000	2015.01.01-2016.08.31	211370	261092	809.56
六安市生活垃圾焚烧发电项目	600	2014.12.01-2015.09.30	16563	43059	384.66
江苏省江阴市垃圾焚烧发电一期工程	800	2008.03.26-2015.12.31	484816	467231	1037.64
光大环保能源(江阴)生活垃圾焚烧发电二期工程	400	2011.03.09-2015.12.31	273652	381861	716.63
南京市江北静脉产业园生活垃圾焚烧发电厂	2000	2015.02.06-2016.06.30	191937	309732	619.69
徐州垃圾焚烧发电项目	1200	2015.01.01-2016.11.30	145294	198952	730.30
平均					821.18

中将改革欧盟碳排放交易系统(EU ETS),⁴⁶ 改革应包括收紧现有的EU ETS 排放总量上限, 或者降低排放总量上限, 并将覆盖更多的新的碳排放行业。

目前在修订提案中, MSW 焚烧厂仍不在 EU ETS 的限制范围内, 不需要遵守 EU ETS 设定的碳排放限额, 其原因可能是如果将焚烧厂纳入 EU ETS 下可能会增加生活垃圾填埋场处理量, 从而对欧盟到 2035 年实现 65% 以上的 MSW 回收率和 10% 以下的填埋率的目标产生负面影响。但另一方面, 欧盟正在逐渐减少对焚烧发电的补贴, 因为

MSW 焚烧将阻碍欧盟向循环经济过渡, 因此将其排除在欧盟可持续发展的议程之外。例如, 修订后的《可再生能源指令》提到, 在促进可再生能源发展时, 欧盟成员国应考虑废弃物管理层级和循环经济原则, 将废弃物预防和回收作为优先选择; 并明确指出如果成员国无法满足《废弃物框架指令》中对分类投放和收运的要求, 就不应当继续向 MSW 焚烧提供可再生能源补贴。其中, 欧盟的《废弃物框架指令》(2018) 要求城市生活垃圾焚烧厂的能源效率指标 R1>0.65, 才算作被可以认定为“废弃物管理层级”中所提及的“其他方式利用”, 采取该措施意味着欧盟更多的补贴将会以废弃物管

[46] 欧盟 ETS 和国内碳市场机制是一致的, 都是纳入 ETS 下的控排企业需要根据自身排放量上交免费碳配额或者向其他企业购买其剩余的碳配额或者核证碳减排量。不同的是, 中国碳市场的配额分配是基于排放强度(1个碳配额等于一家公司可以排放一吨碳), 欧盟 ETS 的碳配额分配是基于排放总量上限确定的。

理层级的上层措施（源头减量、重复使用、回收利用、其他方式利用）为对象，以逐步停止向垃圾焚烧厂、尤其是低能效焚烧厂发放补贴。

3.3 循环经济：欧盟的行动有何借鉴

2020年欧盟发布的《循环经济行动计划》提出构建可持续产品政策框架，将循环经济理念融入到产品设计、消费以及末端处理整个生命周期中。其中在产品设计方面，欧盟于2016年发布的《2016-2019年生态设计工作计划》（Ecodesign Working Plan 2016-2019）提出了产品的循环设计和能效目标，并对多种产品的节能要求制定具体措施，在欧盟市场流通的多种产品必须满足节能要求、减少污染排放等要求，否则欧盟成员国有权要求从市场上撤回该产品。⁴⁷ 新版《循环经济行动计划》中提出将扩大其覆盖产品范围，使其覆盖电子、纺织品、家具的中间产品（例如钢铁和水泥）等，从源头提高产品的可持续性。在消费方面，欧盟将修订欧盟消费者法，将产品具体信息（如产品制造、生命周期、维修等）公开，使消费者在购买产品时能获取准确有效地信息，从而帮助消费者主动选择对环境有利的产品。在末端处理方面，前面也提到了欧盟首先提出到2030年废弃物总生产量大幅减少和不可回收MSW减半的目标，并通过加强废弃物管理政策，支持废弃物预防和循环。

如前一节所述，无论是未将MSW焚烧纳入新的EU ETS之内，还是要求MSW焚烧厂的能源效率指标R1大于0.65，都体现出欧盟将废弃物管理纳入其循环经济计划和战略的出发点，即以废弃物管理层级的上层措施为优先，最大可能减少末端处置的废弃物数量，并最终通过循环经济的模式，从本质上、系统性地实现废弃物的可持续管理。

3.4 政策建议

其实，中国提交的2015年《国家自主贡献目标》中也提出了与可持续经济相关的内容，循环利用和减少废弃物产生量是主要内容之一。其中第七条指出应推动“倡导低碳生活方式”，引导适度消费，鼓励使用低碳节能产品，遏制铺张浪费，并完善生活垃圾回收和分类处理体系。⁴⁸ 但我国重点资源循环利用水平与发达国家相比仍有较大提升空间，目前欧盟在循环经济方面的战略规划和目标都很明确，也制定了完备的措施，有很多值得中国借鉴的地方，具体如下：

在宏观政策层面，在废弃物管理中，中国政府需要设定明确的源头减量目标，并遵循固体废弃物管理层级架构，以其中层级靠上的措施为主，最大化减少末端处置的废弃物数量。此外，还应通过循环经济的模式，如确定提高生活垃圾回收利用率和减少垃圾填埋处理量的中长期目标，并制定废弃物可持续管理框架和对应的有效措施，以此从本质上实现废弃物管理的可持续性。

在微观层面（产品），中国应重视产品生态设计，因为在产品设计和生产阶段都可节约资源。例如，企业在进行产品设计和生产时可注重提升产品的耐用性和可回收性。同时，中国需要向市场发出一个市场上流通产品需要符合循环经济和节能减排的信号。

在消费者层面，消费者观念和生活方式的改变对废弃物可持续管理也有积极的影响。废弃物数量大、回收难一直是资源循环利用的关键问题之一。欧盟一方面强化生产者责任制，降低废弃物中有害物质含量，提高废弃物价值和回收水平；另一方面赋予消费者权利，通过公布产品详细信息，以激励消费者减少生活垃圾，并由此激发生产者改进产品。因此，应结合中国消费者的消费习惯，利用消费者的市场能力去推动企业主动改变产品设计理念等。例如，向消费者提供充分地产品信息，包括产品原材料、末端回收的可能性和对环境的影响等，以便让消费者自主进行正确选择。

[47] Ecodesign Working Plan 2016-2019, European Commission,
Link: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/com_2016_773.en_.pdf

[48] 强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献（全文），新华社，链接：http://www.gov.cn/xinwen/2015-06/30/content_2887330.htm

此外，根据欧盟的《废弃物框架指令》（2018）中要求的 MSW 焚烧厂的能源效率指标 $R1>0.65$ ，建议我国废弃物管理中也通过设置能源效率指标 ($R1>0.65$) 来判定是否给予生活垃圾焚烧项目财政补贴，这将有助于推动我国生活垃圾焚烧厂进行技术变革，并且利于推动我国生活垃圾分类和回收发展。同时，我国政府文件如《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》所使用的“资源化利用率”同时涵盖了再生资源回收利用和焚烧能源化利用，未反映出“梯级利用”的观念。而废弃物作为再生资源利用，往往比焚烧能源化利用具有更高的环境效益、经济效益，因此建议将二者分归不同层次的资源化利用。

最后，目前我国 CCER 项目很大程度上沿用了国际清洁发展机制（CDM）项目的方法学来核算项目减排量，以垃圾焚烧发电项目为例，2014 年原国家发改委气候司发布了两个 CCER 方法学。但该方法学中针对垃圾焚烧发电项目的额外性是基于与不带有甲烷气体收集的填埋处理方式相比。但《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB16889-2008）

已经对填埋场甲烷排放提出了限制性要求。而根据美国 EPA 研究发现，带有甲烷气体回收的生活垃圾填埋的平均净温室气体排放量为 $272\text{kgCO}_2\text{e}/\text{湿吨}$ ，不带有甲烷温室气体回收的生活垃圾填埋的平均净温室气体排放量为 $522\text{kgCO}_2\text{e}/\text{湿吨}$ 。⁴⁹ 简单相比，带有甲烷温室气体回收的排放量相比不带有甲烷温室气体回收的填埋相比减少了约 48%。

随着我国治理甲烷排放行动的开展，我们认为未来的生活垃圾填埋场将普遍带有甲烷收集装置。因此，CCER 机制下关于垃圾焚烧发电项目的方法学就需要相应调整，与焚烧对比的基准线就不再是没有甲烷收集的填埋场，而是带甲烷收集的填埋处理方式所对应的温室气体排放水平。参照美国的经验，带甲烷收集的填埋场的碳排放要显著低于没有甲烷收集的填埋场，因此与有甲烷回收的填埋场相比，焚烧带来的所谓减排效果将大打折扣。在以后的研究中，我们将根据甲烷治理的新政策来深入探讨生活垃圾焚烧项目通过 CCER 机制获得碳信用所面临的争议。

[50] Solid Waste Management and Greenhouse Gases A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, Environmental Protection Agency, p89.

磐之石环境与能源研究中心

网站：www.reei.org.cn

邮箱：info@reei.org.cn

地址：北京市顺义区后沙峪艾迪城14号楼312室



扫码关注磐之石