

错误的激励

再论终止垃圾焚烧发电电价补贴政策的必要性



磐之石环境与能源研究中心
ROCK ENVIRONMENT AND ENERGY INSTITUTE

机构介绍：

磐之石环境与能源研究中心（REEI），前身为磐石环境与能源研究所，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。

愿景：

致力于推动以程序正义和理性批判为基石的环境政策决策机制的建立，使社会向更加包容、公正和可持续发展的方向。

报告撰写：赵昂、袁雅婷、李颖、毛达、林佳乔

排版设计：李颖

发布日期：2020 年 6 月

发布机构：磐之石环境与能源研究中心

摘要

在 2016 年发布的《错误的激励——中国生活垃圾焚烧发电与可再生能源电力补贴研究》的基础上，结合近年围绕城市生活垃圾管理政策的变化，特别是垃圾焚烧行业的快速发展，本报告从生活垃圾的组分特点、生活垃圾与生物质废物之间的差异、垃圾焚烧发电的环境和气候变化影响、欧盟新的垃圾可持续管理层级和策略、上海市实施生活垃圾分类政策对中国建立城市垃圾可持续管理机制的意义、垃圾焚烧在“十四五”面临产能过剩的风险等方面，分析了垃圾焚烧发电可再生能源电价补贴政策应当终止的理由。

报告建议政府取消生活垃圾焚烧发电可再生能源电价补贴，构建生活垃圾可持续管理优先层级，源头减量和分类为先、终端处理为后。推进生活垃圾处理收费制度，落实“谁产生、谁付费，多产生、多付费”原则，让消费者承担生活垃圾管理和处理相关成本的重要部分，在应对气候变化和发展绿色经济的背景下，真正在未来五年发展中国城市生活垃圾可持续管理的制度和实践。

目 录

1.城市固体生活垃圾不同于生物质废物.....	5
1.1 生活垃圾与生物质废物概念不同	5
1.2 生活垃圾不同组分发电贡献率的差异	6
1.3 垃圾焚烧处理占比：中国已处全球领先之列	7
2.生活垃圾焚烧发电可再生能源补贴政策的演变.....	11
3.垃圾焚烧发电清洁、低碳和可持续吗？	13
3.1 垃圾焚烧发电不是清洁电力	13
3.2 从系统性的角度看生物质能源的可持续性	15
3.3 垃圾焚烧发电是否低碳？	15
4.前端分类回收对垃圾管理的影响	22
4.1 上海垃圾分类实施经验	22
4.2 提高现有焚烧厂年均运行天数，避免更多焚烧厂建设	23
4.3 焚烧处理规模“十四五”末可能见顶	25
5. 结论.....	28

1.城市固体生活垃圾不同于生物质废物

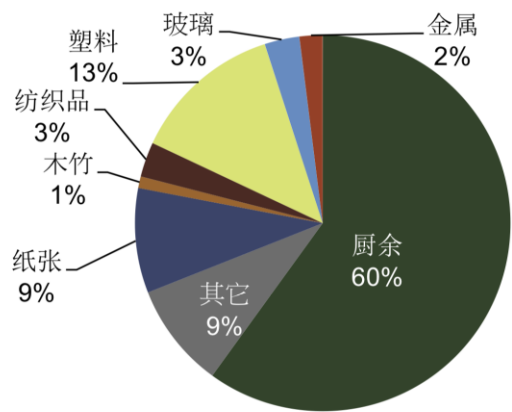
1.1 生活垃圾与生物质废物概念不同

根据美国能源信息管理局（Energy Information Administration, 简称 EIA），可再生能源资源（Renewable Energy Resources）的定义为：可以自然补充但能量流有限的能源资源称作可再生能源资源。它们持续存在且几乎不会耗竭，但在单位时段内可以获得的能量是有限的。可再生能源资源包括生物质能、水能、地热能、太阳能、风能、海洋热能、海洋波浪能、潮汐运动能¹。

生物质能和生物质废物不同，生物质统指源自生物体的有机非化石原料。而生物质废物指“源自生物体的有机非化石原料的副产品和废弃物，包括城市固体垃圾中的生物源部分，如垃圾填埋气、污泥、农作物副产品、秸秆，以及其他生物质固体、液体和气体，不包括木材和来自木材的燃料、生物燃料原料、生物柴油和燃料乙醇”²。

图 1 显示，在我国城市混合生活垃圾组成中，厨余组分占比高达 60%。厨余和可以降解的纸张、木竹和纯棉质纺织品一起，这些可以归入生物质废物的范畴。城市生活垃圾中的生物质组分与生物质能源资源之间的关系，可以由图 2 来表示，生活垃圾中既有可降解的生物质废物，也包括非生物质废物的部分，如塑料、玻璃和金属。生物质能源资源（绿色方形）统指源自生物体的有机非化石原料。生物质废物（绿色白点部分）指源自生物体的非化石有机原料的副产品和废弃物，属于生物质能源资源的一部分；生活垃圾（斜线方形）包括轻质可燃物、厨余、无机物。

图 1:中国城市混合生活垃圾组分

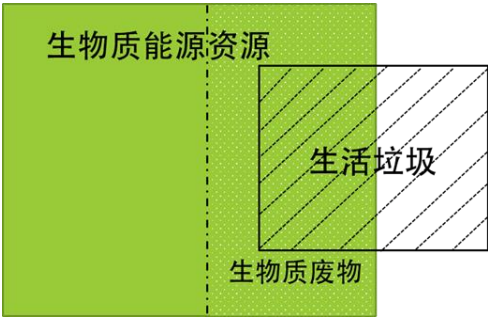


¹ U.S. Energy Information Administration, “EIA Glossary-Renewable Energy Resources” . [联机]. Available: <https://www.eia.gov/tools/glossary/index.php?id=R>

² U.S. Energy Information Administration, “EIA Glossary-Biomass Waste”. [联机]. Available: <https://www.eia.gov/tools/glossary/index.php?id=B>

来源：《中国城市生活垃圾中生物质组分的回收利用研究》，图 7-9，p77。
链接：https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/02_projekte/china_studie/2017-03-16_BioChina_chinesisch.pdf

图 2：生物质能源资源、生物质废物和生活垃圾的关系图



来源：磐之石环境与能源研究中心，2014.《错误的激励：中国生活垃圾焚烧发电与可再生能源电力补贴研究》

1.2 生活垃圾不同组分发电贡献率的差异

生活垃圾中非生物质塑料组分占比低，但单位质量焚烧发电贡献率最高。对生活垃圾给予可再生能源发电补贴其实在补贴生物质废物（厨余等）的同时，也补贴了非生物质废物，如石化工业产品、对海洋和陆地环境都造成显著负面影响的塑料。这样的补贴政策不具说服力。

有研究显示，国内垃圾的平均热值为 5400KJ/kg³，其中厨余组分热值较低，仅为 2100KJ/kg 左右⁴；塑料的热值一般超过 15000KJ/kg。

以成都洛带垃圾焚烧发电厂的数据为例，如表 1 所示，单位发电量厨余和纸张分别贡献了 7.6%和 18.3%，即使加上织物和木头等，单位发电量的贡献率合计约有 30%。以化石能源为主原料的塑料的单位发电量贡献率高达 46.6%。

将中国城市混合生活垃圾组分（见图 1）与成都洛带的生活垃圾组分（见表 1）相比，可以看出，全国平均厨余组分占比更大，塑料组分占比相近，由此可见，全国平均情况下，垃圾焚烧发电中塑料相对厨余的贡献率会更大。

³ 孙培锋，李晓东，池涌，严建华，“城市生活垃圾热值预测的研究”，能源工程, 5-2006.
⁴ 盛全良，杨志强，朱强，“餐厨垃圾生态循环综合处置方案初探”，上海环境科学, 卷 28, 编号 6, p.242—249, 2009.

表 1：不同垃圾组分单位质量发电贡献率比较

	组成 ⁵	组分	垃圾组分发电率 ⁶	单位质量垃圾组分发电率	每千瓦时电量垃圾组分贡献
垃圾组分	Kg/Kg 垃圾	%	kWh/kg	kWh/kg 垃圾	%
	A		B	C=A*B	D=C/E
厨余	0.48	48%	0.04	0.02	7.64
纸	0.13	13%	0.36	0.05	18.28
塑料	0.12	12%	0.96	0.12	46.60
玻璃	0.03	3%	0.00	0.00	0.00
木头	0.01	1%	0.36	0.00	1.20
织物	0.01	1%	0.37	0.01	2.07
其他	0.22	22%	0.28	0.06	24.21
总计	1.00	100%		0.25 (E)	100.00

注：以四川省成都市的洛带垃圾焚烧发电厂的垃圾组分成分比例为例，结合每类来记组分的焚烧发电率，计算得出各组分的发电贡献率。关于组分的数据来自 UNFCCC CDM Project, “Project3837: Chengdu Luodai Municipal Solid Waste Incineration Project,” 1372010. [联机]. Available: <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/JQA1278478145.73/view>.

1.3 垃圾焚烧处理占比：中国已处全球领先之列

2016 年中国《生物质能发展“十三五”规划》（以下简称《规划》）将生物质能列为重要的可再生能源之一，认为其具有绿色、低碳、清洁、可再生等特点，并明确加快生物质能开发利用，表示这是改善环境质量、发展循环经济的重要任务。这对中国在“十三五”期间快速发展生活垃圾焚烧发电起到关键推动作用。这一《规划》也认为垃圾焚烧属于绿色、低碳、清洁、可再生的生物质能。为支持这一判断，《规划》特别指出，截至 2015 年，全球生物质发电装机容量约 1 亿千瓦，其中美国 1590 万千瓦、巴西 1100 万千瓦。

《规划》中引用的全球生物质发电装机领先的美国和巴西，其生物质发电装机主要指现代生物质能源发电，而非生活垃圾焚烧发电。因此，从肯定生物质能低碳、绿色的特点过渡到认为垃圾焚烧也是绿色、低碳、可再生的生物质能利用方式，显然从逻辑上来看是有缺陷的。以美国 2019 年发电量为例，生物质发电占比为 1.4%，生活垃圾焚烧

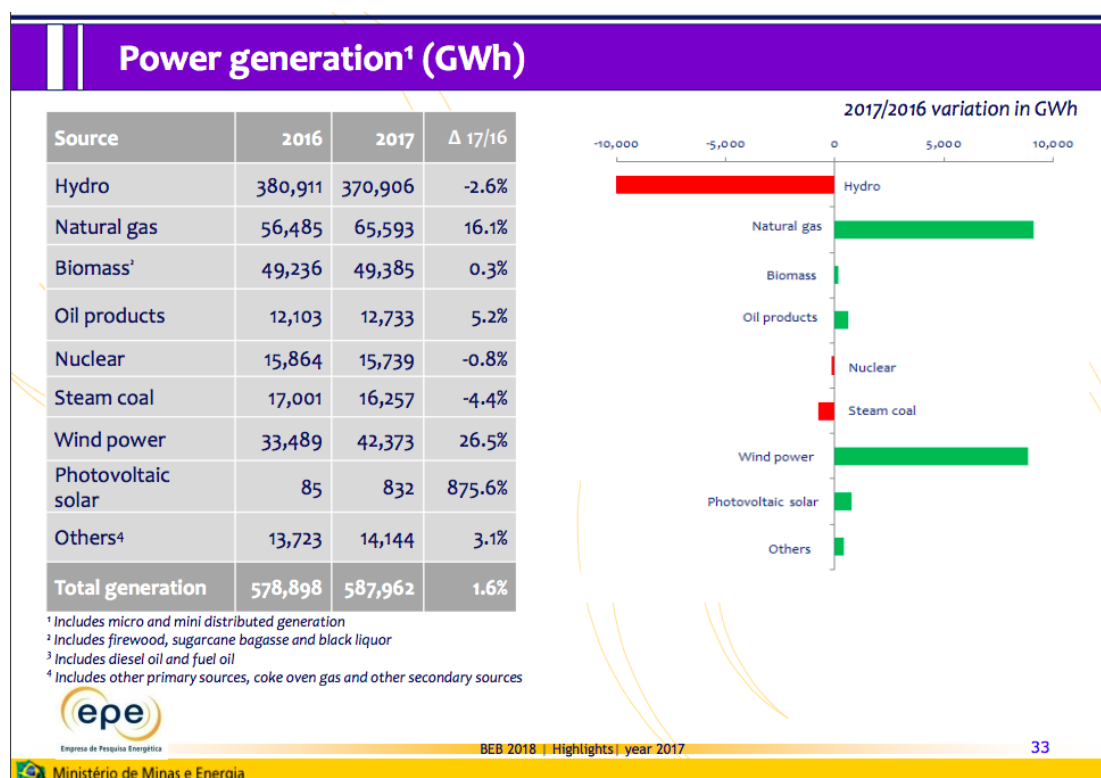
⁵ UNFCCC CDM Project, “Project3837: Chengdu Luodai Municipal Solid Waste Incineration Project,” 1372010. [联机]. Available: <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/JQA1278478145.73/view>

⁶ Swiss Centre for Life Cycle Inventories, “EcoInvent Database,” 2010. [联机]. Available: <http://www.ecoinvent.ch/>

发电仅占比 0.1%，垃圾焚烧发电仅占生物质发电的 7%⁷。黑液⁸占美国 2016 年生物质能和废物产生电力的 27%。其他用作燃料的造纸废物（包括污泥废物，木材废液和其他生物质液体）也是造纸过程的副产品，但加起来它们所产生的电力不到 2016 年美国生物质发电的 0.5%⁹。

巴西生物质发电不包括生活垃圾焚烧发电，生物质包括木材、甘蔗渣和纸浆黑液。如图 3，2017 年巴西生物质发电 493.85 亿千瓦时，占总发电量的 8.4%¹⁰。

图 3：巴西生物质发电占比



生活垃圾焚烧发电发展与国土面积、人口密度、经济发展程度和环境污染控制技术水平等因素相关。垃圾焚烧发电处理量占生活垃圾无害化处理量比例最高的国家是日本，超过 70%。尽管垃圾焚烧发电和供热已成为一些发达经济处理生活垃圾的重要方式之一，但各国焚烧占垃圾处理量的比例差别显著，日本为 72%，北欧斯堪的纳维亚国家为 53%，

⁷ U.S. Energy Information Administration, “What is U.S. electricity generation by energy source?”. [联机].

Available: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3>

⁸ 作为木材化学加工副产品的燃料被称为木材衍生燃料。几乎所有源自木材的燃料都是作为造纸相关产品的副产品而产生的废物。木材衍生的主要燃料是黑液，它是牛皮纸制浆过程的副产品。

⁹ U.S. Energy Information Administration, “Biomass and waste fuels made up 2% of total U.S. electricity in 2016”. [联机]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=33872>

¹⁰ Empresa de Pesquisa Energética, “Brazilian Energy Balance 2018”, p33. [联机]. Available: <https://www.epe.gov.br/en/publications/publications/brazilian-energy-balance/brazilian-energy-balance-2018>

瑞士为 47%。英国、法国和德国分别为 36%、35%和 27%。美国垃圾处理方式仍以填埋为主，以 2017 年的数据为例，美国当年产生城市生活固体垃圾约 2.68 亿吨，其中填埋 (landfilled) 占比 52.1%，回收利用 (recycled) 25.1%，堆肥 (composted) 10.1%，焚烧发电/供热 (burned with energy recovery) 12.7%^{11,12}。

相比之下，与美国年垃圾产生量接近的中国，垃圾焚烧处理占比在 2018 年已经接近瑞士的水平。2020 年 6 月 10 日环保部副部长赵英民在《第二次全国污染源普查公报》发布会上提到，中国“十二五”和“十三五”十年间垃圾焚烧厂的数量增加了 303%，焚烧处理量增加了 577%¹³。2010 年，城市生活垃圾的 79%是填埋处置，19%是焚烧处置。

2016 年中国住房和城乡建设部颁布的《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》中指出，填埋和焚烧处理所占比例在 2015 年分别为 66%、31%，到 2020 年时，填埋比例将降低为 43%，焚烧比例增至 54%¹⁴。根据《全国城乡统计年鉴》的数据¹⁵，中国 2018 年生活垃圾无害化处理量 2.26 亿吨，比 2017 年增长 7.28%，其中填埋 1.17 亿吨，占比 51.8%，焚烧 1.02 亿吨，占比 45.1%。焚烧处理总量比 2017 年增长 20.34%。

据披露的公开信息统计¹⁶，2019 年中国共开标 114 个生活垃圾焚烧发电项目，设计处理规模共计 12.8 万吨/天，年处理垃圾量约 4668 万吨。垃圾焚烧发电项目的建设周期一般为 12-24 个月。由此推算，到 2020 年前后，中国的垃圾焚烧处理量在 2018 年 1.02 亿吨的基础上再增加 0.47 亿吨，将达到 1.49 亿吨，假设 2019 和 2020 年的年均垃圾无害化处理量增幅皆为 7%，2020 年底中国的城市垃圾处理量将达到 2.59 亿吨，那么生活垃圾焚烧处理占比将从 2018 年的 45.1%增加到 2020 年 57.5%，这已经超过了“十三五”的规划目标（54%）。

中国城市垃圾焚烧处理比例如果到 2020 年达到 57.5%，则仅次于日本，超过了北欧的瑞典、挪威。如此快速的发展垃圾焚烧发电，在很大程度上挤压了垃圾前端减量、分类、回收和循环使用为主导的可持续的垃圾管理体系建立的空间。从“十三五”垃圾无害化处理上的投资（表 3）可以看出中国垃圾管理的资金安排过于偏向终端处理设施的建设，特别是焚烧厂的大规模扩张。三分之二的投资用于建设焚烧厂和填埋场，仅 3.7% 的投资用于分类工作的落实。

焚烧厂的数量从 2015 年的 220 座，增加到 2018 年的 331 座。截止到 2020 年 6 月 1

¹¹ U.S. Energy Information Administration, “Biomass explained: Waste-to-energy (Municipal Solid Waste): BASICS” . [联机]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/waste-to-energy.php>

¹² U.S. Energy Information Administration, “Biomass explained: Waste-to-energy (Municipal Solid Waste): IN DEPTH” . [联机]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/waste-to-energy.php>

¹³ 中国环境新闻网, “第二次全国污染源普查公报” 发布会实录” . [联机]. Available: http://www.cfej.net/jizhe/jzsl/202006/t20200611_783859.shtml

¹⁴ 国家发展改革委, “‘十三五’全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划”, p15 (附件三). [联机]. Available: <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201701/W020190905497906455466.pdf>

¹⁵ 国家统计局, “中国统计年鉴 2019” . [联机]. Available: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexch.htm>

¹⁶ 中国环卫科技网, “2019 垃圾焚烧产业盘点: 总投资逾 600 亿, ‘马太效应’明显”. [联机]. Available: https://www.cn-hw.net/news/202001/07/69538_1.html

日，中国目前在运行的垃圾焚烧厂已经达到 455 座。¹⁷

表 2：中国城市生活垃圾处理变化 2010-2020

	垃圾清运量 (亿吨)	无害化处理 量(亿吨)	处理率	填埋占比	焚烧占比
2010	1.58	1.23	78%	77.9%	18.8%
2015	1.91	1.80	94%	63.7%	34.3%
2020	2.62	2.59	99%	40%*	57.5%

数据来源：中国统计年鉴

注：1) 假设清运量的 99.9%都得到无害化处理。2) 2020 年的填埋占比由焚烧占比和其他占比粗略估算而出。

表 3：“十三五”城镇生活垃圾无害化处理投资组成及占比（单位：亿元）

	设施建设	收运转运 体系	餐厨专项	分类示 范工程	监管体 系	存量整治	总计
投资额	1699.3	257.8	183.5	94.1	42.3	241.4	2518.4
占总投资 比例	67.5%	10.2%	7.3%	3.7%	1.7%	9.6%	100%

数据来源：《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施规划建设规划》，2016

¹⁷ 生态环境部污染源监控中心平台,“生态环境部公开 2020 年第一季度生活垃圾焚烧发电厂环境违法行为处理处罚情况”. [联机]. Available: <http://www.envsc.cn/details/index/6714>

2.生活垃圾焚烧发电可再生能源补贴政策的演变

目前将垃圾焚烧发电作为可再生能源进行补贴的依据是视生活垃圾为一种生物质废物能源资源。2006年1月1日《中华人民共和国可再生能源法》（以下简称《可再生能源法》）生效，随即国家发改委颁布的《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》（2006年1月4日，以下简称《试行办法》）和《可再生能源发电有关管理规定》（2006年1月5日，以下简称《管理规定》）两份规范性文件都明确将“垃圾焚烧发电”纳入了生物质发电的政策支持和管理的范围。《可再生能源法》全文没有出现生活垃圾一词，也没有比较生活垃圾和城乡有机废物在概念上的异同。

《试行办法》第二条规定：“本办法的适用范围为：风力发电、生物质发电（包括农林废弃物直接燃烧和气化发电、垃圾焚烧和垃圾填埋气发电、沼气发电）、太阳能发电、海洋能发电和地热能发电等。《管理规定》第二条也称它所管理的“可再生能源发电”包括：“火力发电、风力发电、生物质发电（包括农林废弃物直接燃烧和气化发电、垃圾焚烧和垃圾填埋气发电、沼气发电）、太阳能发电、地热能发电以及海洋能发电等”。显然这里隐含了一个假设：生活垃圾属于城乡有机废物的范畴。如前文所述，这样的假设值得商榷。

对于垃圾焚烧发电所属的生物质发电项目，《试行办法》对如何进行电价补贴做出了具体规定，其第七条称：“生物质发电项目上网电价实行政府定价的，由国务院价格主管部门分地区制定标杆电价，电价标准由各省（自治区、直辖市）2005年脱硫燃煤机组标杆上网电价加补贴电价组成。补贴电价标准为每千瓦时0.25元。发电项目自投产之日起，15年内享受补贴电价，运行满15年后，取消补贴电价。自2010年起，每年新批准和核准的发电项目的补贴电价比上一年新批准和核准建设项目的补贴电价递减2%。发电消耗热量中常规能源超过20%的混燃发电项目，视同常规能源发电项目，执行当地燃煤电厂的标杆电价，不享受补贴电价。”

上述政策实施6年后，财政部、国家发改委、国家能源局在2012年3月14日联合发布了《可再生能源电价附加补助资金管理暂行办法》。其第二条指出，该办法所称可再生能源发电中，生物质能发电包括农林废弃物直接燃烧和气化发电、垃圾焚烧和垃圾填埋气发电、沼气发电。

国家发改委随后专门就垃圾焚烧发电产业的电价补贴问题，下发了《关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知》（以下简称《完善通知》），自2012年4月1日起执行，2006年1月1日后核准的垃圾焚烧发电项目均按此规定执行，主要包括：

一、进一步规范垃圾焚烧发电价格政策

以生活垃圾为原料的垃圾焚烧发电项目，均先按其入厂垃圾处理量折算成上网电量进行结算，每吨生活垃圾折算上网电量暂定为280千瓦时，并执行全国统一垃圾发电标杆电价每千瓦时0.65元（含税，下同）；其余上网电量执行当地同类燃煤发电机组上网电价。

二、完善垃圾焚烧发电费用分摊制度

垃圾焚烧发电上网电价高出当地脱硫燃煤机组标杆上网电价的部分实行两级分摊。其中，

当地省级电网负担每千瓦时 0.1 元,电网企业由此曾加的购电成本通过销售电价予以疏导;其余部分纳入全国征收的可再生能源电价附加解决。

三、切实加强垃圾焚烧发电价格监管

- 省级价格主管部门依据垃圾发电项目核准文件、垃圾处理合同,以及当地有关部门支付垃圾处理费的银行转账单等,定期对垃圾处理量进行核实。电网企业依据省级价格主管部门核定的垃圾发电上网电量和常规能源发电上网电量支付电费。
- 当以垃圾处理量折算的上网电量低于实际上网电量的 50%时,视为常规发电项目,不得享受垃圾发电价格补贴;当折算上网电量高于实际上网电量的 50%且低于实际上网电量时,以折算的上网电量作为垃圾发电上网电量;当折算上网电量高于实际上网电量时,以实际上网电量作为垃圾发电上网电量。

由《可再生能源法》以及国家发改委出台的若干规范性文件组合而成的可再生能源政策,将垃圾焚烧发电作为生物质能源发电的一种方式纳入了可再生能源发电补贴的范围中。一般而言,可再生能源发电补贴具体指的就是在本地脱硫燃煤机组标杆上网电价的基础上给予的额外资助。目前,国家发改委制定的垃圾焚烧发电全国统一标杆电价为每千瓦时 0.65 元,除去各地脱硫燃煤机组标杆上网电价(一般在 0.40 元/千瓦左右),除去省级电网负担的 0.1 元/千瓦时,生活垃圾焚烧发电项目可以从国家可再生能源电价附加获得可再生能源发电补贴约 0.15 元/千瓦时,可再生能源发电补贴占垃圾焚烧发电全国统一标杆电价的 23.1%,可见其在成本收益核算方面对垃圾焚烧项目的重要性。

此后,国务院在 2016 年及 2018 年相继出台《“十三五”生态环境保护规划》和《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》等文件中明确指出“推进垃圾资源化利用,大力发展垃圾焚烧发电”。但在 2019 人大代表建议复文公开文件中(以下简称回复文件),财政部公开指出,垃圾焚烧发电项目效率低、生态效益欠佳¹⁸。但仍然把垃圾焚烧发电归属于生物质发电,认为其属于可再生能源发电,并在文件中肯定了其为我国调整能源结构做出了贡献。

2020 年初发改委公示了《关于有序推进新增垃圾焚烧发电项目建设有关事项的通知》(征求意见稿),这会直接影响未来五年垃圾焚烧行业发展的态势,这是在中国垃圾焚烧处理量占比到 2020 年预计会超过规划目标、可再生能源电价补贴缺口持续加大、中国经济增长继续放缓的情形下出台的一份重要政策风向标。出台这一政策可能也预示着“十四五”不会再现“十二五”和“十三五”垃圾焚烧高速发展的势头,然而在刺激经济增长,尤其在新冠疫情后经济保持经济复苏的压力巨大的背景下,垃圾焚烧项目会不会仍有产生过剩的风险呢?

¹⁸ 中华人民共和国财政部,“财政部对十三届全国人大二次会议第 8443 号建议的答复财建函〔2019〕61 号”.[联机]. Available: http://jjs.mof.gov.cn/jytafwgk_8360/2017jytafwgk_9467/2018rddbjiyfwgk/201909/t20190927_3393800.htm

3.垃圾焚烧发电清洁、低碳和可持续吗？

垃圾焚烧首先是垃圾处置方式之一，但其所具备的能源回收特性使得对其进行能源利用的评价也是相关的。支持焚烧的观点认为，垃圾焚烧是清洁、低碳的能源利用方式，反对的观点认为，将垃圾焚烧与风电、太阳能光伏一起给予可再生能源发电补贴，是一种鼓励以焚烧为主导的末端垃圾管理方式的发展，而对建立以前端分类、回收和循环利用的生活垃圾可持续管理机制产生负面影响。

3.1 垃圾焚烧发电不是清洁电力

在垃圾焚烧发电发展历史较长的发达国家，需要投入巨额资金和高新技术来控制焚烧过程所排放的污染物，并对废液、灰渣和飞灰进行无害化处理。在垃圾焚烧发电发展历史较短的中国，由于环境监管力度和水平的不足，垃圾焚烧发电项目常令人担忧其潜在的环境和公众健康影响。

表 4 罗列了一些近几年关于城市生活垃圾焚烧带来环境和健康风险的研究。焚烧企业周边附近居民面临健康风险暴露程度高的问题。如前所述，2010-2020 年中国垃圾焚烧行业的高速发展，尤其凸显出垃圾焚烧带来的环境和健康挑战不容忽视。

表 4：生活垃圾焚烧污染问题文献例举

文献	主要内容	发布机构	发布时间
《城市生活垃圾露天焚烧排放 PM2.5 中重金属污染特征及其暴露健康风险》	利用烟气稀释采样系统，针对不同功能区城市生活垃圾样品，分别考虑桶内焚烧和自然堆积焚烧两种常见露天焚烧方式，对城市生活垃圾露天焚烧排放 PM2.5 中重金属的污染特征及居民暴露健康风险进行分析和评估。结果表明，自然堆积焚烧下，As 和 Pb 对儿童经皮肤接触的非致癌总风险值大于 1，存在非致癌风险；4 种致癌元素（As、Cd、Cr 和 Ni）的致癌风险值均小于 1.0×10^{-4} ，但若长期处于这种环境下，会存在较低的潜在致癌风险。	《环境科学》第 40 卷第 10 期	2019 年
《生活垃圾重金属对环卫工人身体健康影响研究》	以珠江三角洲 5 市（广州、深圳、佛山、惠州和肇庆）生活垃圾为研究对象，分析 55 个生活垃圾样品的干基组分及典型重金属（As、Cd、Hg、Cr 和 Pb）的含量，用蒙特卡洛模拟定量评价生活垃圾收运、分类及处理各环节环卫工人的健康风险。结果表明，垃圾焚烧处理工人的非致癌风险和致癌风险均很高，非致癌风险和致癌风险指数最高值分别	《中国环境科学》，39（3）	2019 年

文献	主要内容	发布机构	发布时间
	约为安全阈值的 11 倍和 9 倍，主要风险暴露途径为手-口摄入和呼吸吸入；相同暴露环境下，女环卫工人的非致癌风险和致癌风险概率均略高于男环卫工人。		
《生活垃圾焚烧发电厂二噁英的健康风险影响评价》	为探讨生活垃圾焚烧发电厂排放污染物中二噁英的健康风险影响评价，以广州市某大型生活垃圾焚烧厂（4000t/d）为例，通过呼吸、土壤灰尘和皮肤接触三种不同途径摄入的二噁英暴露量、非致癌风险指数和致癌风险指数进行计算分析，结果表明生活垃圾焚烧发电厂周围居民二噁英暴露量存在一定的潜在风险。	《广东化工》第 44 卷总第 352 期	2017 年
《南方某生活垃圾焚烧厂周围居民主观健康评价及其影响因素》	采取多阶段随机抽样的方法抽取某生活垃圾焚烧厂周围不同半径距离地区内 1043 名居民，自行开发问卷进行调查。结果表明，居住年限越长、距离焚烧厂的距离越近，被调查者健康自评情况越差。被调查者主观上认为焚烧炉影响了他们的健康。焚烧炉的存在从心理上影响居民的主观健康感受，而主观健康感受产生的中介作用，在某种程度上加重了被调查者对慢性疾病的痛苦感受，进而让被调查者对自我健康的评价更倾向于差。	《医学与社会》第 28 卷第 2 期	2015 年 2 月

除了环境和健康影响，垃圾焚烧厂也带来一些社会影响。目前我国垃圾分类管理尚未普及，一些垃圾焚烧厂二噁英排放不能稳定达标，公众通过抗议等行为表达他们对于垃圾焚烧发电项目的质疑与反对，“邻避现象”也成为我国垃圾焚烧厂选址的重要问题。当地居民对建设垃圾焚烧厂产生“邻避心理”主要有三个原因：居民的健康暴露风险、对周边环境的负面影响以及焚烧厂信息公开度较低。

据芜湖生态中心和公众环境研究中心联合发布的《428 座生活垃圾焚烧厂环境责任履行观察报告》¹⁹显示，全国已运行的 428 座垃圾焚烧厂中只有 163 座在网站公开信息，其中只有 61 座公开企业周边环境质量信息，69 座公开烟气自动监测数据，99 座公开了烟气二噁英监测数据，81 座公开了飞灰处置信息。

信息公开透明度低导致公众知情权的缺失，公众难以了解焚烧厂的运行状况和污染物排放情况，对于自身健康以及生活是否收到负面影响难以评判，心中疑惑多，难免产

¹⁹ 芜湖生态中心和公众环境研究中心，“428 座生活垃圾焚烧厂环境责任履行民间观察报告”。[联机]. Available: http://www.waste-cwin.org/sites/default/files/2019nian_qi_ye_she_hui_ze_ren_lu_xing_bao_gao_-_wang_luo_ban_.pdf

生“邻避情绪”。

2020 年 1 月 1 日开始执行《生活垃圾焚烧发电厂自动监测数据应用管理规定》(生态环境部令第 10 号)设区的市级以上地方生态环境主管部门应当将垃圾焚烧厂列入重点排污单位名录。生态环境主管部门可以利用自动监控系统收集环境违法行为证据。自动监测数据可以作为判定垃圾焚烧厂是否存在环境违法行为的证据。自动监测数据的公开,有助于公众和环保团体了解焚烧厂的运行带来的环境影响,是应对“邻避效应”的基本出发点。

3.2 从系统性的角度看生物质能源的可持续性

生物质能源利用存在可持续性的争论。生物质能源无论用于发电,还是用于交通燃料,很可能对生物质为基本原料的农业和林业的发展和管理带来影响。由于土地资源有限,在一定的时空内土地的产出是有限的。如果生物质的能源利用被强化,可能影响农业生产和食品供应,如果生物质能源利用监管不到位,出现过度的森林砍伐,可能给林业可持续管理带来负面影响。

为保证生物质能源的利用符合可持续性原则,一些经济合作与发展组织国家(OECD)及大多数欧盟国家已尝试通过建立生物质可持续性标准(Biomass Sustainability Criteria),促进生物质能源利用能够符合可持续原则。这些国家并没有将生活垃圾中未被分离出来的可降解生物质纳入到绿色电力认证体系里进行额外补贴²⁰。这显然是一种更为科学、更加精细化的电力认证方法。相比之下,中国对混合了生物质和非生物质组分的生活垃圾焚烧发电项目提供可再生能源电力补贴,是一种较为粗放的政策选择,不利于更高效的生物质废物分类循环利用,也不利于优先生活垃圾前端分类和回收的可持续管理模式的建立。当中国垃圾焚烧处理占比在“十三五”末即将超过 50%之时,政府是否也应借鉴欧盟的经验,实施更为精细化的可再生能源电价补贴政策,将建立垃圾管理可持续战略和实践作为优先政策选项,停止对垃圾焚烧项目的不合理补贴呢?

3.3 垃圾焚烧发电是否低碳?

碳排放强度(即单位能源产出的碳排放水平)也是比较不同能源可持续性的重要指标。认为焚烧发电是一种低碳垃圾处理方式的观点只看到了发电的部分减排效果,以及它对垃圾填埋甲烷气体排放的替代作用。首先,生活垃圾中非生物质类可燃物焚烧后会产生二氧化碳净排放;其次,生活垃圾中生物质废弃物焚烧相比填埋碳排放较低,但相比厌氧发酵和好氧堆肥等其他处理方式却不一定低碳。

3.3.1 垃圾焚烧发电与其他垃圾处理方式碳排放比较

²⁰ Biomass Technology Group BV, “Sustainability Criteria and Certification Systems for Biomass Production,” DGTREN-EUROPEAN COMMISSION, Enschede, 2008.

首先比较一下单位质量垃圾在不同处理方式下的碳排放。通常焚烧 1 吨垃圾产生的二氧化碳为 0.7-1.2 吨，其中生物质组分占 33-50%²¹。这种估算显然跟生活垃圾组分特点有关，如台北市的一项研究通过实测表明，每吨生活垃圾焚烧产生的二氧化碳量为 0.964 吨，其中厨余组分的比例为 23.4%，约贡献 0.236 吨二氧化碳排放²²。

从低碳的角度，合理的垃圾处理方式的起点必然是干湿垃圾分类收集，然后根据实际情况对厨余进行厌氧发酵、产沼利用或者进行好氧堆肥，同时用其他方式处置非可降解废弃物。

生命周期分析的结果也表明，对于中国生活垃圾厨余比例高的情况，厨余有机物堆肥以及卫生填埋场甲烷气体回收利用给环境带来的影响远小于焚烧发电；每 1 吨垃圾可以生产 0.254 吨堆肥和 60 千瓦时电量²³。

3.3.2 垃圾焚烧发电与其他能源发电技术碳排放比较

垃圾焚烧产业往往倾向于通过计算垃圾中源自于化石类物质含碳化合物的比例来推导垃圾焚烧发电的二氧化碳排放量，因为生物质作为燃料在很多场合都被视为是“碳中和”的。政府间气候变化委员会 (IPCC) 在其 2006 年国家温室气体清单指南中提出，“遵照《1996 年指南》(IPCC, 1997)，只有废弃物中的矿物碳(如，塑料、某些纺织物、橡胶、液体溶剂和废油)在焚化和露天燃烧期间氧化过程产生的 CO₂ 排放，被视为净排放，应当纳入国家 CO₂ 排放估算。废弃物中所含的生物质材料(如，纸张、食品和木材废弃物)燃烧产生的 CO₂ 排放，是生物成因的排放，不应当纳入国家排放总量估算。但是，如果废弃物焚烧作为能源使用，则均应估算化石和生物成因的 CO₂ 排放。只有矿物 CO₂ 应当纳入国家排放，而生物 CO₂ 应当作为信息项，二者皆在能源部门中报告。”²⁴

如表 3 所示，比较美国与中国在生活垃圾焚烧的单位发电量的碳排放水平可以看出，非生物来源的碳排放，美国是 0.45tCO₂/MWh，中国是 1.26tCO₂/MWh。在中国的情景下，生活垃圾焚烧发电的碳排放强度甚至高过煤炭发电。在美国的情景下，生活垃圾焚烧的碳排放水平远低于燃煤发电，甚至低于天然气发电。中美两国的差异，主要与生活垃圾的厨余组分比例、含水率和热值有关。

²¹ B.Johnke, “Emissions from waste incineration,” Background paper for Expert meeting on good practice in inventory preparation: emissions from waste. IPCC/OECD/IEA National Greenhouse Gas Inventories Programme, TSU, Japan, 1999.

²² T.C.Chen and C.F.Lin, “CO₂ Emission from Municipal Solid Waste Incinerator: IPCC Formula Estimation and Flue Gas Measurement,” J.Environ. Eng. Manage, pp.9-17, 2012010.

²³ A.H.Pandyaswargo, H.Onoda 和 K.Nagata, “Energy recovery potential and life cycle impact assessment of municipal solid waste management technologies in Asian countries using ELP model,” International Journal of Energy and Environmental, pp.1-11, 5102012.

²⁴ IPCC 国家温室气体清单指南目录, “第 5 卷废弃物,” 2006. [联机]. Available: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/chinese/pdf/5_Volume5/V5_5_Ch5_IOB.pdf

表 5：不同燃料原料在发电过程中的 CO₂ 排放比较^{25 26 27 28}

	美国			中国		
tCO ₂ /MWh	非生物来源	生物来源	总计	非生物来源	生物来源	总计
天然气	0.51	0	0.51	0.37	0	0.37
燃油	0.76	0	0.76	0.52	0	0.52
煤炭	1.02	0	1.02	0.79	0	0.79
生活垃圾焚烧	0.45	0.90	1.35	1.26a	1.46a	2.72
太阳能、风能	0	0	0	0	0	0

注：a，非生物来源和生物来源的二氧化碳排放比较，有 IPCC 推荐的垃圾总碳含量和东亚垃圾组分缺省值推算得出，即 12.1%，14%。

中国生活垃圾中生物物质的高比例导致垃圾焚烧的碳排放强度较高。如表 6 所示，中国城市垃圾的生物物质组分（质量）占比高达 52.6%、塑料 7.3%、纸（包括软性纸张和硬纸板等）6.9%，欧洲平均下来，几项组分占比分别为 30.0%、7.0%和 32.0%。

表 6：中国和其他国家的生活垃圾组分比较

Comparison of typical distribution of MSW composition between China and other countries.

Composition (%)	Organic garbage	Paper/ cardboard	Plastic	Glass	Metal	Textile	Wood	Ash	Construction debris	Horticultural waste	Others
China (2003) ^a	52.6	6.9	7.3	1.6	0.5	4.7	6.9	19.2	—	—	—
Singapore (2008) ^b	9.5	21.2	11.5	1.0	14.6	1.6	4.5	9.5	15.4	3.8	7.5
USA (2005) ^c	25.0	34.0	12.0	5.0	8.0	—	—	—	—	—	16.0
Japan (2000) ^c	34.0	33.0	13.0	5.0	3.0	—	—	—	—	—	12.0
Korea (2005) ^c	28.0	24.0	8.0	5.0	7.0	—	—	—	—	—	28.0
Canada (2005) ^c	24.0	47.0	3.0	6.0	13.0	—	—	—	—	—	8.0
France (2005) ^c	32.0	20.0	9.0	10.0	3.0	—	—	—	—	—	26.0
Netherlands (2005) ^c	35.0	26.0	19.0	4.0	4.0	—	—	—	—	—	12.0
Germany (2005) ^c	14.0	34.0	22.0	12.0	5.0	—	—	—	—	—	12.0
Switzerland (2005) ^c	29.0	20.0	15.0	4.0	3.0	—	—	—	—	—	29.0
Australia (2005) ^c	47.0	23.0	4.0	7.0	5.0	—	—	—	—	—	13.0
Mexico (2005) ^c	51.0	15.0	6.0	6.0	3.0	—	—	—	—	—	18.0
Slovak R. (2005) ^c	38.0	13.0	7.0	8.0	3.0	—	—	—	—	—	31.0
Portugal (2005) ^c	34.0	21.0	11.0	7.0	4.0	—	—	—	—	—	23.0
Hungary (2005) ^c	29.0	15.0	17.0	2.0	2.0	—	—	—	—	—	35.0
Europe (average) ^a	30.0	32.0	7.0	10.0	8.0	4.0	—	9.0	—	—	—
Low-income countries ^d	40–85	1–10	1–5	1–10	1–5	1–5	—	—	—	—	—
Middle-income countries ^d	20–65	8–30	2–6	1–10	1–5	2–10	—	—	—	—	—
Upper-income countries ^d	6–30	25–66	2–8	4–12	3–13	2–6	—	—	—	—	—

“—” Means data absent.

^a Visvanathan et al. (2004).

^b National Environment Agency (NEA), Singapore (2008).

^c OECD (2005).

^d Tchobanoglous et al. (1993).

文献来源：Municipal Solid Waste Management in China: Status, Problems and Challenges, Journal of Environmental Management, 2010. Available:

http://scinet.dost.gov.ph/union/Downloads/sdarticle_002_309783.pdf

²⁵ 李欢，全直英和李洋洋，“生活垃圾处理的碳排放和减排策略”，中国环境科学，pp.259-264, 3122011.

²⁶ IPCC; EPA, “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,” Geneva, 2006.

²⁷ 中国清洁发展机制网，“中国区域电网基准线排放因子附件 2-BM 计算说明和结果”，国家发展和改革委员会应对气候变化司主办，1992013. [联机]. Available:

<http://cdm.ccchina.gov.cn/Detail.aspx?newsId=41386&TId=3;>

²⁸ U.S. Environmental Protection Agency, “Clean Energy,” EPA, 2352014. [联机].

Available: <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-and-you/affect/air-emissions.html>

3.3.3 发达国家垃圾焚烧发电的经验值得中国的决策者深思

- 欧盟：后焚烧时代推动循环经济发展模式

垃圾焚烧的发电效率较低，一般为 13-27%²⁹。风电和太阳能光伏的发电效率分别在 35%和 15%左右³⁰。根据 2008 年欧盟垃圾管理框架指令，能效指标（R1）达到 0.6-0.65（换算成发电效率至少要达到 23-25%以上）的垃圾焚烧厂才能被视为是能源利用设施，达不到此标准的焚烧厂只能被看作是一种垃圾末端处置设施，在垃圾管理优先次序层级中与卫生填埋类似。

根据欧洲垃圾焚烧行业联合会（CEWEP）2012 年发布的调查报告，在 314 座被调查的欧洲焚烧厂中，能够达到 R1 能源利用门槛的数量为 206，占比 65.6%。虽然这一比例看似较高，但其中只发电、不供热的焚烧厂数仅为 31，占比不到 10%³¹。说明目前能够达到欧盟能源利用标准的垃圾焚烧厂，绝大多数都是能够供热或实现热电联产的设施。对于中国来说，由于生活垃圾水分高、热值低、污染控制耗能多、热损失大、环境污染监管的挑战、信息公开和披露不及时导致“邻避效应”挑战大等因素，不少焚烧厂只能选址于远离居民区或工业区的地区，不易实现热电联产，很难达到欧盟法规中关于能源利用设施的水平。

欧盟国家不仅不将垃圾焚烧视为绿色能源，还准备进一步降低垃圾焚烧占垃圾处置总量的比重和碳排放。2013 年，前丹麦环境部长提出丹麦要循环利用更多，焚烧更少³²。据 2011 年丹麦科技大学一项研究表明，丹麦垃圾焚烧厂每千兆焦耳产能所排放的二氧化碳为 32.5 千克，是原来预计的两倍³³。2014 年，法国环境部长也表示焚烧是过时技术，在废弃物收集和能源转化方面，许多技术都比垃圾焚烧更环保、合理，必须通过强制手段来停止焚烧垃圾³⁴。2012 年欧盟委员会发布的“欧洲资源效率路线图”也提议在 2020 年以前禁止焚烧所有能够被循环利用的垃圾，包括可堆肥废弃物。2018 年，欧盟发布更新版《可再生能源指令》（2021-2030）（以下简称《指令》），2021 年正式生效。该《指令》规定了适用于垃圾焚烧的新可持续性标准，要求没有完成《废弃物框架指令》³⁵中规

²⁹ Defra UK, “Incineration of Municipal Solid Waste,” 2013. [联机]. Available:

<https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachme>

³⁰ The Union of the Electricity Industry-EURELECTRIC, “EURELECTRIC,” 2013. [联机].

Available: <http://www.eurelectric.org/>

³¹ CEWEP, “CEWEP Energy Report III, Results of Specific Data for Energy, R1 Plant Efficiency Factor and NCV of 314 European Waste-to-Energy (WtE) Plants,” 2012.

³² A. Jakobsen, “Environment minister calls for increased recycling and waste sorting,” the Copenhagen post, 2682013. [联机]. Available: <https://www.letsrecycle.com/news/latest-news/copenhagen-waste-wonderful/>

³³ J. Buley, “Denmark's carbon bomb,” the Copenhagen post, 842011. [联机]. Available: <https://www.wind-watch.org/news/2011/04/08/denmarks-carbon-bomb/>

³⁴ Stop the incinerator, “French Environment Minister Calls for an end to Incineration,”. [联机]. Available: <http://www.stoptheincinerator.co.uk/?p=645>

³⁵ 根据《废弃物框架指令》第 3 条第 11 款，垃圾分类收集的定义是“按废弃物类别及性质将废弃物分开存放，以便进行特定的处理”。各成员国被要求按照规定的表，分别对（至少）纸张、金属、塑料、玻璃、生物垃圾和纺织品建立分类收集计划。

定的垃圾分类收集义务的成员国不得再对垃圾焚烧进行补贴³⁶。

2019 年，欧盟发布最新版《欧盟分类法》，该分类法包含了一份被认为是可持续的经济活动清单。这些经济活动可以对减缓气候变化作出重大贡献，并且不会对其他环境目标造成重大伤害。而垃圾焚烧发电被排除在这些可持续的经济活动之外，因为它既不能减缓气候变化，也对循环经济的环境目标（废物预防和再循环）造成了损害³⁷。这说明，在垃圾焚烧发展最早的欧洲国家，焚烧已不再是“资源化”利用的垃圾处理方式。

在欧盟，垃圾可持续管理做的突出的国家以德国为代表。关于德国的经验将在下面的德国、日本的比较中更详细的介绍。

- 美国：多样化地方决策并未形成焚烧主导的垃圾处理局面

与欧盟逐步取消垃圾焚烧发电的可再生能源补贴相比，美国的垃圾管理呈现多样化的地方特色。美国不少州仍将垃圾焚烧视为“可再生能源”利用方式之一。据美国地方自力更生研究所（The Institute for Local Self-Reliance）于 2018 年发布的《垃圾焚烧：各州如何定义可再生能源的肮脏秘密》报告显示，美国现有 23 个州允许焚烧城市固体生活垃圾产生的能源在全州范围内的可再生能源发电配额制（Renewable Portfolio Standards, RPS）或目标中被归类为“可再生能源”。其中加州和威斯康星州将现有的固体垃圾焚烧厂纳入可再生能源的类别，但不允许新设施包括在内，而亚利桑那州、科罗拉多州、密苏里州和俄亥俄州只允许固体垃圾焚烧厂在某些情况下可被纳入可再生能源的类别³⁸。马里兰州是美国唯一一个州将垃圾焚烧提升为 RPS 中可再生能源的“一级”资源，使其与风能和太阳能直接竞争，获得补贴。但也有一些州（例如纽约州）已经将垃圾焚烧完全排除在 RPS 中的可再生能源类别之外。

- 日本：“无奈”的焚烧建立在精细化分类回收机制和污染排放严格控制的前提下

日本受国土面积狭小、人口众多等客观因素影响，主要采取焚烧方式来处理生活垃圾，全国逾 70%的城市生活垃圾依赖焚烧解决³⁹。在日本，垃圾焚烧并未在法律中获得明确授权。日本废弃物管理法律名义上规定了废弃物管理的优先次序，但在实用性的《废弃物管理指南》中，焚烧却似乎是唯一可操作的方式，关于焚烧的技术介绍的篇幅最大，

³⁶ Zero Waste Europe, “Guidelines for the implementation of article 3(3) of the REDDII regarding support schemes for waste incineration”. [联机]. Available: https://zerowasteurope.eu/downloads/guidelines-for-the-implementation-of-article-33-of-the-redii-regarding-support-schemes-for-waste-incineration/?mc_cid=c64c439353&mc_eid=30f3094eb1

³⁷ Zero Waste Europe, “Burning news: Waste-to-Energy is not sustainable as it harms the Circular Economy”. [联机]. Available: <https://zerowasteurope.eu/2019/09/waste-to-energy-is-not-sustainable/>

³⁸ Institute for Local Self-Reliance, “Waste Incineration: A Dirty Secret in How States Define Renewable Energy”. [联机]. Available: <https://ilsr.org/waste-incineration-renewable-energy/>

³⁹ 康玲，祝铠，“日本、德国垃圾分类管理经验对我国的启示”，中国环境管理干部学院学报，2019（6），pp65.

也最容易获得补贴⁴⁰。焚烧带来的污染导致日本在 20 世纪 70 年代开始着手推动全国性的垃圾分类运动，从源头入手，降低垃圾焚烧对生态环境带来的负面影响。日本的生活垃圾主要分为可燃垃圾、不可燃垃圾、粗大垃圾和资源垃圾。在这几类的基础上，还能再细分成若干子类。日本政府还为市民编写了详尽的垃圾分类手册和倾倒指南。日本现已形成完善有效的垃圾分类制度：定时回收，即在日本扔垃圾必须在指定时间、指定地点、使用特制的垃圾袋，并由专业部门负责收集运输，具体的回收政策各地区大同小异。在监管方面，日本政府通过法律惩罚和经济罚款等手段来确保生活垃圾分类回收制度的有效运行。

此外，日本垃圾焚烧厂还对焚烧垃圾过程中不可避免产生的烟尘、二氧化硫、氯化氢、重金属等有害物质都采取了相对应的环保举措。而在二噁英控制方面，日本以《二噁英对策推进基本指针》和《二噁英对策特别措施法》为核心，尤其重视生活垃圾焚烧过程中二噁英的排放问题。

3.3.4 效法德国还是日本

德国和日本虽然都是生活垃圾管理比较领先的国家。但两个国家在垃圾焚烧处理率上的差别显示出两个国家在构建垃圾可持续管理体系、推动循环经济方面，存有显著差距。在探讨未来 20-30 年中国城市生活垃圾管理如何发展时，对比德国和日本所代表的垃圾管理的两种路径的经验值得中国的决策者参考。

德国和日本在生活垃圾回收率上的巨大差异应该是由多种原因造成的。但焚烧可以实现垃圾末端处理快速减量，相形之下，耗时耗力的前端分类、回收和垃圾管理流程重塑的努力就显得不那么紧急和重要。似乎只要把焚烧搞得更清洁、污染控制得更精细些，追求高比例的焚烧似乎也是不错的政策选择，日本显然代表了这样的选择。然后，从长期的视角来看，德国积累数十年所建立起来的废弃物管理体系，不仅更好地落实着 3R（Reduce, Reuse and Recycle）原则，而且逐渐建立起规模可观的循环经济，同时也为生活垃圾处理行业应对已日渐紧迫的气候变化挑战做好了准备。德国废弃物管理行业提供有 25 万就业机会，年营业额达约有 500 亿欧元。⁴¹ 根据德国政府的数据，废弃物行业（生活垃圾处理是其中的一部分）贡献了德国满足《京都议定书》温室气体减排目标的 20%。⁴²而日本废弃物行业的碳排放经过一个起伏，2014 年的排放是 3738 万吨，与 1990 年的水平（3795 万吨）持平。⁴³

尽管日本、德国两国都在实施了基于 3R 原则的垃圾管理层级体系，显然从回收率来看，两国垃圾管理的成效还是有较大的差别。德国生活垃圾的高回收率是基于 2005 年

⁴⁰ 服部雄一郎，“日本垃圾焚烧全报告（2013 年）”。[联机]. Available: http://www.waste-cwin.org/sites/default/files/ri_ben_la_ji_fen_shao_quan_bao_gao_2013_dan_ye_ban.pdf

⁴¹ 罗斯托克大学，同济大学，RETech 公司，“中国城市生活垃圾中生物质组分的回收利用研究”。[联机]. Available: https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/02_projekte/china_studie/2017-03-16_BioChina_chinesisch.pdf

⁴² Waste Management in Germany 2018 – Facts, Data, Diagrams. p38.

⁴³ State of the 3Rs in Asia and the Pacific – Japan. United Nations Center for Regional Development. Table C-10, p38.

之后法律要求未经处理的有机垃圾不可以进填埋场。因此德国当前的有机垃圾（厨余、农林生物质废弃物）都是要用来堆肥或者厌氧发酵。2015 年，德国以这两种主要方式处理了 420 万吨厨余为主的有机垃圾。⁴⁴这与日本在厨余垃圾的处理水平形成很大反差。日本 2014 年厨余垃圾的回收率仅有 25%。⁴⁵

表 7: 日本、德国的生活垃圾管理中焚烧处理占比和回收率对比

	生活垃圾处理量（亿吨）	焚烧占比	回收率 ⁴⁶
日本	0.44（2014 年）	72%（2016）	21%（2014）
德国	0.52（2015）	27%（2017）	66.7%（2015）

数据来源：Takashi Amemiya, 2018. Current State and Trend of Waste and Recycling in Japan. Int J Earth Environ Sci 2018, 3:155. Figure 8; Statista, Recycling rate of municipal waste in Germany from 2009 to 2017 link: <https://www.statista.com/statistics/632887/municipal-waste-recycling-germany/>

过去十年，中国生活垃圾管理的模式似乎是在效法日本，但从可持续发展和应对气候变化的角度来看，德国的例子似乎更应该学习。面对被德国证明行之有效的废弃物管理的五层级：优先序由高至低分别为减少垃圾的产生（reduce）、再利用（reuse）、再生利用（recycle）、其它利用（other use）和最终处置（disposal），决策者在未来五至十年应当真正转向生活垃圾可持续管理体系和实践。

⁴⁴ Waste Management in Germany 2018 – Facts, Data, Diagrams. Figure 4, p13.

⁴⁵ State of the 3Rs in Asia and the Pacific – Japan. United Nations Center for Regional Development. Table C-10, p24.

⁴⁶ 德国的回收包括三种方式：材料回收、堆肥和厌氧发酵。日本的回收仅指材料回收。

4.前端分类回收对垃圾管理的影响

4.1 上海垃圾分类实施经验

上海的垃圾分类政策实施经验表明，垃圾前端分类是垃圾可持续管理的关键环节，在城市垃圾管理当中应置于优先地位。

上海于 2019 年 7 月 1 日正式施行《上海市生活垃圾管理条例》(以下简称《条例》)，⁴⁷ 至今已有近一年时间。《条例》明确了生活垃圾分类标准(干垃圾、湿垃圾、可回收垃圾和有害垃圾)，并且根据《条例》，个人将有害垃圾与可回收物、湿垃圾、干垃圾混合投放，或者将湿垃圾与可回收物、干垃圾混合投放的，由城管执法部门责令立即改正；若拒不改正，处 50 元以上 200 元以下的罚款。上海市生活垃圾分类政策的效果正在显现。根据上海市绿化和市容管理局统计数据显示，⁴⁸ 截至 2019 年底，上海全市可回收物回收量平均每天 4049 吨，有害垃圾分出量平均每天 0.6 吨，湿垃圾分出量平均每天 7453 吨，较 2018 年底分别增加 431.8%、504.1%、88.8%，而干垃圾处置量平均每天 17731 吨，比 2018 年底减少了 17.5%。上海全市 1.3 万余个居住区，2019 年分类达标率由 2018 年年底的 15% 提高到 90%。

评价生活垃圾分类给焚烧发电带来怎样的影响仍处于初步阶段，但已有的报道表明，垃圾分类对终端焚烧厂效率的提升起到正向作用。中国环境报的一篇文章和全国能源信息平台的文章，都认为虽然垃圾分类后垃圾处理量减少，但垃圾分类后热值提升，烟气易达标，每吨垃圾发电量增加，发电收入增加，而且渗滤液处理成本也降低。⁴⁹

北京已于 2020 年 5 月 1 日起执行生活垃圾分类政策：按厨余垃圾、可回收物、有害垃圾、其他垃圾分类。⁵⁰《北京市生活垃圾管理条例》⁵¹第四条要求市政府制定各区生活垃圾源头总量控制计划，统筹设施规划布局，制定促进生活垃圾减量化、资源化、无害化的经济、技术政策和措施，保障生活垃圾治理的资金投入。第八条：本市按照多排放多付费、少排放少付费，混合垃圾多付费、分类垃圾少付费的原则，逐步建立计量收费、分类计价、易于收缴的生活垃圾处理收费制度，加强收费管理，促进生活垃圾减量、分类和资源化利用。

⁴⁷ 上海市青浦区人民政府，“《上海市生活垃圾管理条例》全文公布”。[联机]. Available: <http://www.shqp.gov.cn/mac/tzgg/20191031/604406.html>

⁴⁸ 央视网新闻，“上海生活垃圾分类‘年报’出炉 分类效果正在显现”。[联机]. Available: <http://m.news.cctv.com/2020/04/29/ARTIWkWX5jGK6aIaRyzL4200429.shtml>

⁴⁹ 全国能源信息平台，“上海垃圾分类‘年报’成绩亮眼 但对焚烧行业是利好还是利空?”。[联机]. Available: <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1665286316073404666&wfr=spider&for=pc>

⁵⁰ 中国环境报，“上海垃圾分类两月后干垃圾减量效果明显，垃圾焚烧企业该发愁吗?”。[联机]. Available: https://www.sohu.com/a/338765190_120043298

⁵¹ 北京市人民政府，“北京市生活垃圾管理条例”。[联机]. Available: http://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefagui/201912/t20191218_1256860.html

上海垃圾分类的经验未来五年在全国推广将获得怎样的成效，垃圾分类回收政策是否带来传统处理模式（焚烧和填埋）的根本转变？

4.2 提高现有焚烧厂年均运行天数，避免更多焚烧厂建设

评价垃圾焚烧产能在“十四五”期间是否有过剩的风险，需要考虑很多因素，如：

- 1) 宏观经济增长趋势；
- 2) 城市化发展水平；
- 3) 垃圾焚烧产能扩张及现有产能的伸缩性；
- 4) 垃圾分类回收政策对垃圾减量的影响

我们先来看前三个因素。

4.2.1 宏观经济增长预期与城市化水平放缓将影响城市生活垃圾增长幅度

经济增长对居民消费及生活垃圾产生量会有显著的影响。因新冠疫情的影响，2020年的GDP增幅具有较大的不确定性，我们假设年增长率为零，“十四五”期间年均复合增长率很可能徘徊在5%-6%之间，假设为5.5%。宏观经济形势将给对城镇人口的增加速度带来影响。2010-2015年的城镇人口由6.66亿增长到7.71亿，2010-2015年的城镇人口年均复合增长率为3.0%，2015年的城镇人口比例达到56.10%。

表 8：中国城市生活垃圾清运量、城镇人口和处理方式占比

年份	垃圾清运 (亿吨)	无害化处理 (亿吨)	卫生填埋 处理(亿吨)	焚烧处理 (亿吨)	焚烧处理 占比	城镇人口 (百万)
2010	1.58	1.23	0.96	0.23	18.8%	666
2015	1.91	1.80	1.15	0.62	34.3%	771
2018	2.28	2.26	1.17	1.02	45.15	831
2019	2.42	2.42	1.17	1.24	51.2%	848
2020	2.56	2.56	1.17	1.37	53.5%	869
2025 情景 A	3.43	3.43	1.17	2.26	65.9%	945
2025 情景 B	3.12	3.12	1.17	1.95	62.5%	945

数据来源：中国统计年鉴；注：2020、2025 年的数据根据情景分析而得。

2019 年，城镇人口增加到 8.48 亿，占总人口比例达到 60.60%。2015-2019 年的年均复合增长率为 2.4%，假设 2019-2020 年的增长率仍为 2.4%，那么 2020 年底，城镇人口将达到 8.69 亿。“十三五”（2015-2020）比“十二五”（2010-2015）在城镇人口年均复合增长率速度上降低了 20%。假设 2020-2025 年，城镇人口年均复合增长率为“十三五”水平的 80%，即 1.9%，那么到 2025 年，中国的城镇人口将达到 9.45 亿。

经济增长和城市化水平对城市生活垃圾清运量的影响可以用不同的情景来分析，假设“十四五”期间（2021-2025）中国城市生活垃圾清运量和无害化处理量⁵²的年均复合增长率有两种情景：A 为高增长情景，比例为 6%，B 为低增长情景，比例为 4%。那么到 2025 年，垃圾无害化处理量将达到 3.43 亿吨和 3.12 亿吨。同时，假设垃圾填埋处理量维持不变，净增的垃圾量都用于焚烧处理。那么到 2025 年垃圾焚烧量将达到 2.26 亿吨（高增长情景）和 1.95 亿吨（低增长情景）。

需要特别注意的一点，这里假设垃圾处理仍以填埋和焚烧为绝对主导，其他处理方式，如垃圾分类回收预计在“十四五”会带来垃圾管理的较大变化，但本文在这里暂且忽略不计。关于垃圾分类回收政策带来的影响，5.3 节内容将进行分析。

4.2.2 垃圾焚烧处理能力的弹性

中国垃圾焚烧厂的处理能力还有较大的挖掘空间。衡量中国在“十三五”末所具备的垃圾焚烧处理能力的弹性有助于理解“十四五”垃圾焚烧处理产能增加的空间究竟有多大。影响焚烧处理能力弹性的主要因素就是焚烧厂的数量和平均每个焚烧厂的年均运行小时数，本文为了方便计算采用年均运行天数来计算焚烧厂的处理能力。

如表 9 所示，自 2010 年以来，焚烧厂数量的快速增长带动了焚烧处理能力的相应提升。焚烧厂日均处理能力也从 2010 年的 816 吨增加到 2018 年的 1102 吨。我们假设 2020 年的平均一个焚烧厂的日均处理能力维持在 1102 吨。2019、2020 年的年均焚烧处理量的年均增长保持与 2015-2018 的年均复合增长率一致，即 18%，那么 2019、2020 年的焚烧量分别为 12018 万吨和 14182 万吨。焚烧处理能力 2015-2018 的年均复合增长率为 18.5%，那么保持这样的增速，到 2019 和 2020 年的焚烧处理能力分别达到 43.2 万吨/日和 51.2 万吨/日。

截止到 2020 年 6 月 1 日，中国运行的垃圾焚烧厂总计 455 个。⁵³“十三五”期间，焚烧厂数量的年均复合增长率为 15.6%。表 9 还显示了平均每个焚烧厂的年均运行天数在过去近十年变化不大，在 280 天上下浮动。

表 9：焚烧处理能力概况

	焚烧厂 运行数量	焚烧处理能力 (万吨/日)	焚烧处理量 (万吨/年)	每个焚烧厂平均 日处理能力(吨)	按照现有处理能 立平均每个焚烧 厂完成处理量所 需要的运行天数
2010	104	8.49	2316.7	816	272
2015	220	21.91	6175.5	996	282
2018	331	36.46	10185	1102	279
2019	401	43.20	12018	1102	272
2020	455	51.20	14182	1102	283

⁵² 垃圾无害化处理率 2018 年已经达到 99.1%，本文假设 2018 年之后，垃圾无害化处理率将达到 99.9%。

⁵³ 生态环境部污染源监控中心平台，“生态环境部公开 2020 年第一季度生活垃圾焚烧发电厂环境违法行为处理处罚情况”。[联机]. Available: <http://www.cnvsc.cn/details/index/6714>

假设中国焚烧厂平均年工作天数可以达到 320 天，那么到 2020 年焚烧处理能力超出焚烧处理量达 2200 万吨，这相当于 63 个日处理能力 1100 吨、年运行天数 320 天的焚烧厂一年处理的垃圾量。因此，如果将现有 455 个垃圾焚烧厂的年均运行天数从 283 提高到 320，那么中国在“十四五”期间可以避免 63 个焚烧厂的建设。

表 10:垃圾焚烧全年处理能力与全年处理量的比较

	情景 1: 焚烧厂年均运行 280 天的 处理能力（亿吨）	焚烧年处理量 （亿吨）	情景 2: 焚烧厂年均运行 320 天的处 理能力（亿吨）
2010	0.238	0.232	0.272
2015	0.613	0.618	0.701
2018	1.021	1.019	1.167
2019	1.237	1.202	1.414
2020	1.404	1.418	1.638

数据来源：中国统计年鉴；磐之石环境与能源研究中心；

到 2020 年底，预计还会有新的焚烧厂投入运行，焚烧处理的能力仍会继续增长。即使以 455 座焚烧厂为基准，焚烧厂的处理能力因为在运行天数方面有显著的提升空间，因此决策者在制定“十四五”垃圾管理的规划目标时，应当考虑到一个优先政策选择，即发挥现有焚烧厂的处理能力的潜力优于建设新的焚烧厂。

未来五年，中国城市生活垃圾管理将因为落实分类和回收政策而出现较大的变化，干湿分类将直接导致焚烧处理量的减少。上海 2019 年下半年垃圾分类实践显示，干垃圾处置量到 2019 年底比 2018 年底减少了 17.5%。⁵⁴进入焚烧厂的垃圾组分发生大的变化，焚烧效率提高了，但是可以焚烧的量在减少，焚烧会继续抢占填埋处理方式的份额吗？这对垃圾焚烧处理行业会带来怎样的影响？

4.3 焚烧处理规模“十四五”末可能见顶

城市生活垃圾分类回收效果如何将直接影响垃圾焚烧处理能力和运行效率。一般来说，垃圾分类回收水平高，干湿分类做得细致，厨余和有机垃圾堆肥和厌氧发酵做的到位，终端焚烧处理的垃圾水分低、热值高，焚烧厂运行效率也相应较高。实施了一年生活垃圾分类回收措施的上海已经取得了成效。上海市干垃圾处置量到 2019 年底比 2018 年底减少了 17.5%。⁵⁵如果上海的垃圾分类回收效果未来五年在中国更多的城市展现，

⁵⁴ 央视网新闻，“上海生活垃圾分类‘年报’出炉 分类效果正在显现”。[联机]. Available: <http://m.news.cctv.com/2020/04/29/ARTIWkWX5jGK6aIaRyzL4200429.shtml>

⁵⁵ 央视网新闻，“上海生活垃圾分类‘年报’出炉 分类效果正在显现”。[联机]. Available:

中国的垃圾管理将发生重要变化，目前业已处于垃圾处理主导地位的焚烧将面对怎样的挑战，干垃圾减量有机会使垃圾焚烧处理规模和能力在“十四五”期间见顶吗？

4.3.1 分类回收效果越好，避免建设的焚烧厂越多

上海实施城市生活垃圾分类举措将为“十四五”期间在全国城市范围内实施期待已久的生活垃圾分类和回收政策提供经验。到 2025 年，中国城市生活垃圾的分类回收效果究竟会达到怎样的效果，我们参照上海 2019 年后半年取得的成绩，分高、中、低三种垃圾分类回收的情景来预测全国城市垃圾分类回收到 2025 年达到的效果。

- 高速发展情景 A：到 2025 年分类回收措施使全国 100%的城市生活垃圾进入终端处理的垃圾量比 2020 年的水平降低 17.5%；
- 中速发展情景 B：到 2025 年分类回收措施使全国 50%的城市生活垃圾进入终端处理的垃圾量比 2020 年的水平降低 17.5%；另有 25%的垃圾比 2020 年的水平降低 8.5%，其余的 25%的垃圾进入终端处理的量维持不变；
- 低速发展情景 C：到 2025 年分类回收措施使全国 25%的城市生活垃圾进入终端处理的垃圾量比 2020 年的水平降低 17.5%；另有 25%的垃圾比 2020 年的水平降低 8.5%，其余的 50%进入终端处理的量维持不变；

在 5.2.1 中提到，假设“十四五”期间垃圾填埋处理量为零增长率，因此三种分类回收发展情景下的垃圾减量主要影响的是垃圾焚烧处理。同时，前文中预测了在没有分类回收的政策下，到 2025 年焚烧处理量可能的高、低两种增长情景，分别为 2.26 亿吨和 1.95 亿吨，取中间值 2.11 亿吨作为 2025 年无分类回收政策下的焚烧年处理量，如表 1 所示。如果 2020 年全国焚烧厂年均运行天数达到 330，那么垃圾焚烧处理的能力在 2020 年达到 1.65 亿吨，即使 2020 年焚烧厂年均运行天数还达不到 330，但是这样的潜力有可能在“十四五”中期实现或者运行天数接近 330 天的理想水平。截止到 2020 年 6 月 1 日，中国有 455 座垃圾焚烧厂。如果这一数字保持不变、运行天数增加到 330 多达到的 1.65 亿吨垃圾处理能力与到 2025 年高、中、低情景下垃圾处理量以及无分类回收的处理量相比，分别相差 0.09 亿吨、0.23 亿吨、0.32 亿吨和 0.46 亿吨。相差的焚烧处理量换算成焚烧厂的数量，我们可以得到如下结果：与无分类回收的情景比较，在分类回收效果不同的三种情景下，垃圾焚烧厂分别只需要建 25、63 和 88 个，与无分类回收情形下需要 581 个焚烧厂相比，三种情景下分别可以少建焚烧厂 101、63 和 38 个。

表 11：垃圾分类回收对焚烧处理的影响

	2020	2025	2025 年垃圾分类回收情景下焚烧处理量（亿吨）		
		无分类回收	情景 A	情景 B	情景 C
焚烧厂数量	455	581	480	518	543

	2020	2025	2025 年垃圾分类回收情景下焚烧处理量（亿吨）		
		无分类回收	情景 A	情景 B	情景 C
到 2025 年可以少建的焚烧厂数量			101	63	38
每个焚烧年均运行天数	283	320	320	320	320
平均焚烧厂日均焚烧量（吨）	1100	1100	1100	1100	1100
焚烧处理量（亿吨）	1.42	2.11	1.74	1.88	1.97
与 2020 年处理能力（年均运行 330 天）的差异（亿吨）		0.46	0.09	0.23	0.32

数据来源：根据情景分析推算而得。

4.3.2 焚烧处理规模“十四五”末有望出现拐点

对“十四五”期间垃圾分类回收的效果的估算是比较保守的，全国用五年时间实现的分类回收的效果想必要超过上海仅用半年达成的目标。在情景 A 之下，在现有 455 个焚烧厂的基础上，到 2025 年只需新建 25 个焚烧厂就可以满足焚烧处理量的需求。如果分类回收的实际效果比情景 A 更好，例如到 2025 年分类回收措施使全国 100% 的城市生活垃圾进入终端处理的垃圾量比 2020 年的水平降低 21.5%，即比 17.5% 再高出 4 个百分点，那么进入终端焚烧处理的垃圾总量也就 1.66 亿吨，这与 455 个垃圾焚烧厂年均运行 330 天所处理的垃圾量（1.65 亿吨）相差无几。那么，“十四五”焚烧所聚焦的将是提高已有焚烧厂的运行天数，而不用新建焚烧厂。2025 年之后，分类回收的效果仍会继续提升，那时焚烧厂的数量或许进入减少的新通道。从此角度来说，2025 年有可能成为垃圾焚烧行业发展的拐点。

或许有观点认为，“十四五”期间填埋处理的占比不但会因为焚烧的增加而继续降低，还很有可能出现填埋处理绝对量的减少，这可能为焚烧提供额外的处理量。本文认为，分类回收政策的执行，在增加堆肥、厌氧发酵等处理量、提高回收率的同时，也会减少填埋处理的垃圾量，降低填埋处理能力不足的压力。为了维持正常运转，已有处理 1.17 亿吨能力的填埋设施也会有处理垃圾的惯性，不会轻易通过减少填埋量来给焚烧厂提供更多可处理的垃圾。填埋场和焚烧厂是否会在未来争夺垃圾处理量，影响因素较为复杂，本文暂不展开讨论。

5. 结论

由于垃圾焚烧发电所处理的生活垃圾含有大量非生物物质废弃物（至少 30%），且生物物质废弃物燃烧对发电贡献比例低，本报告认为城市生活垃圾不应被简单视为一种生物物质废弃物而纳入可再生能源利用的范畴；其次，垃圾焚烧作为一种发电方式，其具备的清洁、低碳和可持续等特点有很大的争议；第三，最早发展垃圾焚烧发电的欧洲各国近年来实施更为可持续的垃圾管理层级制度和生物物质能源利用的可持续标准评价机制，为中国建立更符合应对气候变化和优先关注社区环境和公共健康的未来垃圾可持续管理制度提供了重要借鉴。

垃圾焚烧发电厂作为在短期内应对中国城市生活垃圾大量产生、混合排放、无处消纳等困境的一种技术手段所发挥的作用客观存在，然而，将逐渐吃紧的公共资金（可再生能源电价补贴）来支持垃圾焚烧发电产业的发展，不仅影响了这一补贴机制的效率和公平性，也会刺激城市管理者 and 投资者建设更多垃圾焚烧厂。焚烧厂一旦建起，在 20-30 年的时间内都需要稳定的生活垃圾供应来维持其运营，这可能会对垃圾减量和分类利用构成负面影响，不利于构建以前端分类、回收为优先选择的可持续垃圾管理体系。

目前中国正处于构建“十四五”垃圾管理发展规划的时机，垃圾焚烧处理占比即将在 2020 年末达到全球领先水平。面对未来五至十年的垃圾管理战略，决策者不仅需要关注经济发展和城市化水平的态势，审慎评价垃圾焚烧的需求，避免出现焚烧产能的过剩，而且到看到垃圾焚烧可再生能源电价补贴在焚烧高速发展过程中的作用，为了应对未来垃圾管理的挑战，包括应对气候变化的要求，我们建议决策者：

- 取消对生活垃圾焚烧发电给予的可再生能源电价补贴；
- 在全国大中城市推进生活垃圾分类回收制度的建立和实施，支持垃圾资源化利用技术的应用；
- 建立能够反映垃圾处理真实成本的收费制度；

2021-2030 年是中国应对气候变化、实现巴黎协定承诺的关键十年，城市生活垃圾可持续管理面临脱胎换骨的机遇。中国走出垃圾管理依赖焚烧的过去十年的路径，应当从取消可再生能源电价补贴开始。

依赖焚烧使中国在垃圾可持续管理上失去了宝贵的五年时间。中国的决策者应该告别走日本超高焚烧率的老路，转而效法德国垃圾管理的模式，加快分类回收政策的落实、快速提高分类回收对垃圾减量的作用、有效减少对终端处理（特别是焚烧）的依赖。在应对气候变化、发展绿色经济的大背景下展望 2030、2050 年的中国城市生活垃圾管理发展的趋势，分类回收理应发挥应有的作用和效果。中国城市生活垃圾可持续管理不能再失去一个五年，而应利用“十四五”扭转垃圾管理的传统模式，踏入垃圾管理的可持续路径。

磐之石环境与能源研究中心
Rock Environment and Energy Institute

地址：中国北京市顺义区后沙峪艾迪城14号楼312室
电话：+86(10) 61438032 网址：www.reei.org.cn