

2021年8月

中国城市生活垃圾和市政 污泥处理良好实践指南

—— 温室气体减排视角



关于全球甲烷行动

全球甲烷行动（Global Methane Initiative, GMI）于 2004 年启动，是一个自愿性多边合作计划组织，旨在减少甲烷排放并促进将甲烷回收用作清洁能源。GMI 是唯一专注于通过沼气（包括城市固体废弃物和废水中排放的沼气）实现甲烷减排、回收和利用的国际组织。在合作伙伴国家/地区和其他国际组织的合作下，GMI 已经与联合国欧洲经济委员会及气候和清洁空气联盟（Climate and Clean Air Coalition, CCAC）等合作伙伴结成重要联盟，致力于全球甲烷减排承诺。GMI 的活动重点是通过提供工具和资源、培训和能力建设、技术演示和直接项目支持，旨在减少项目开发的信息、体制性和市场壁垒。

中华人民共和国（简称“中国”）是 GMI 创始伙伴国家之一；一直以来，GMI 通过美国 EPA 持续向中国提供废弃物处理和甲烷减排技术支持，并促进相关的能力建设。在提供支持方面，GMI 与中华人民共和国国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部以及国家应对气候变化战略研究和国际合作中心在内的多家组织开展合作。欲了解 GMI 的更多详情，请访问 www.globalmethane.org。

关于 iGDP

绿色创新发展中心（innovative Green Development Program, iGDP）是专注绿色低碳发展的战略咨询机构，通过跨学科、系统性、实证性的政策研究、梳理、比较和评估，推动低碳环境政策的精细化，可实施度。我们和所有利益相关方合作，共同推动中国实现零排放的未来；立足本土，讲述中国绿色低碳发展故事。

绿色创新发展中心由能源基金会发起，是绿色低碳发展智库伙伴秘书处的执行机构、中国金融学会绿色金融专业委员会的理事单位和联合国亚太经济与社会委员会东北亚环境合作机制东北亚低碳城市平台的专家机构。

绿色创新发展中心关注以下领域的研究、咨询和交流：

- 宏观气候政策
- 城市绿色低碳转型
- 绿色经济政策
- 行为减排

致谢

本指南由绿色创新发展中心（Innovative Green Development Programme, iGDP）主导编写，由美国环境保护署（United States Environmental Protection Agency, EPA）、Eastern Research Group（ERG）和 Abt Associates 提供合作支持，旨在协助全球甲烷行动（Global Methane Initiative, GMI）的甲烷减排项目。主要作者包括绿色创新发展中心（iGDP）的陈美安、奚溪、Diego Montero、杨鹏、胡敏和汪燕辉，清华科技园的刘晓，北京排水集团科技研发中心的李伟，以及 ERG。中国环境论坛的提供了所在国家/地区特定的信息。Abt Associates 提供内容审阅和协调支持。

免责声明

本指南编写所采用的数据均来自公开的信息和渠道，我们力求准确和完整，但难免偶有疏漏。指南基于初步成果撰写，用于讨论和交流，内容会随下一阶段研究成果进行修正、更新或增减。本指南仅属于作者的研究成果，不代表所在机构、资助方、咨询专家的立场和观点。

目录

1. 背景	4
1.1 废弃物处理与城市温室气体减排	4
1.2 中国城市生活垃圾和市政污泥处理实践指南	5
1.2.1 适用范围	5
1.2.2 适用对象	5
1.3 确定和选择良好实践的标准	5
2. 良好实践:生活垃圾处理处置	6
2.1 中国城市生活垃圾处理现状和挑战	6
2.2 生活垃圾综合处理体系	6
2.3 生活垃圾源头减量和分类	8
2.3.1 有效的源头削减实践	8
2.3.2 生活垃圾分类	8
2.4 厨余垃圾处理及利用	10
2.4.1 厨余垃圾处理概述	10
2.4.2 厨余垃圾处理案例及讨论	11
2.5 生活垃圾焚烧发电	14
2.6 垃圾填埋气回收利用	14
2.6.1 填埋处置	15
2.6.2 填埋气收集和控制	15
2.6.3 填埋气收集利用良好实践案例及讨论	15
3. 良好实践:市政污泥处理处置	18
3.1 中国市政污泥处理现状及相关挑战	18
3.2 污泥处理处置中的低碳方案	19
3.2.1 市政污泥直接厌氧消化处理	19
3.2.2 市政污泥与厨余垃圾联合厌氧消化	20
3.3 市政污泥处理案例及讨论	20
4. 废弃物处理的温室气体排放的监测、报告与核查(MRV)	25
4.1 中国城市废弃物处理MRV体系现状	25
4.2 城市废弃物行业MRV体系设计与建设	25
4.2.1 MRV体系设计的准备工作	26
4.2.2 MRV体系设计	26
5. 政策建议	28
附录A 废弃物和污水处理评估工具和资源国际示例	29
附录B 中国生活垃圾和市政污泥处理相关的政策法规	36
附录C 废弃物和污水处理政策、法律和法规国际示例	39

执行摘要

面对日益严峻的气候变化危机，中国正在采取积极应对措施来减少温室气体排放。在其2016年发布的“十三五”控制温室气体排放工作方案（以下简称“控温方案”）中，提出了从全经济范围到分行业的目标和政策。在党的十九大报告中，也提出了将“引导应对气候变化国际合作，成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者”¹。2020年9月，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论中提出“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”²。中国在温室气体减排上的承诺和决心将进一步推动城市绿色低碳转型。尽管温室气体排放的主要来自化石燃料燃烧产生的二氧化碳，但是来自生活废弃物处理的非二氧化碳温室气体排放也不容忽视。随着中国城市快速的城镇化和工业化，城市生活垃圾和市政污泥为主废弃物的成倍增长，而由此产生的具有高增温潜势的温室气体—甲烷，对气候变化带来的破坏效应也在持续上升。因此，在中国发布的控温方案以及中国应对气候变化政策与行动年度报告中都将废弃物领域的温室气体减排作为重点关注领域之一。

本指南从温室气体减排的视角，梳理和提炼国内外城市在生活垃圾和市政污泥处理处置中的经验，分享城市如何在现有的政策、技术和资金环境下选择适合城市自身条件的良好实践，从而达到对生活垃圾及市政污泥减量化、无害化、及资源化的处理利用。具体而言，指南重点关注城市如何从减少甲烷排放的角度下对生活垃圾和市政污泥进行妥善处理处置，并在处理过程中加强对甲烷的回收利用，从而实现由废弃物到资源的转变。

指南主要介绍城市生活垃圾、市政污泥管理以及对两者的监测、报告与核查（Monitoring, Reporting and Verification, MRV）体系建立上的良好实践。在生活垃圾处理处置章节中，主要讨论了城市在生活垃圾综合处理体系下探索的从源头削减、回收利用和最终处理处置过程中的良好实践。在市政污泥处理处置章节中，指南侧重介绍了城市基于厌氧消化这一低碳技术路线的污泥处理处置经验，旨在推动更清洁低碳的污泥处理方式。在MRV体系章节在主要分享了城市在生活垃圾和污水污泥处理中对甲烷排放的监测、报告与核查的信息。

在分享城市良好实践的同时，指南也总结了这些经验有效可行的基本要素。

首先是因地制宜的实践。由于中国城市的多样性，不同城市的经济发展、政策环境和基础条件不尽相同。因此，从减排视角来看，城市对生活垃圾和污泥的处理处置需要考虑到已有的基础设施和政策条件等因素来选择合适的方案。例如易腐有机垃圾的回收利用的前提是城市已经开始实施相应的分类措施。另外，在市政污泥的处理中，由于管道原因，可供利用的污泥也有差异。含砂量低且有机质高的污泥可以考虑选择直接厌氧消化，相反则可以考虑联合其他富含有机质的餐厨垃圾来进行处理。

其次是城市的统筹规划管理。在生活垃圾处理处置过程中，易腐有机垃圾处理是当前中国城市生活垃圾处理的重点。为了提高易腐有机垃圾处理的有效性，城市不仅需要提供前端分类的政策支持，同时也需要为垃圾处理后的处置提供相应的标准和基础设施。例如为易腐有机垃圾厌氧消化过程产生的沼气提纯后进入天然气管道或发电提供支持，同时也为处理后产生的沼液和沼渣提供市场准入的标准，以及建立针对整个分类及处理体系的质量监督及控制系统。而在污泥处理处置上的低碳化也需要建立前端基础设施，例如雨污分离或者雨水拦截利用的设施，才能在后端实现更高的污泥资源化利用。

再次，是立法保障和政策衔接。在城市统筹规划管理的基础上，建立可以规范和落实管理的法律基础。通过立法形式对生活垃圾和市政污泥的处理处置进行制度性的约束，从而确保来自不同部门的、针对垃圾和污泥的政策能够得到落实。例如在易腐有机垃圾和污泥的厌氧消化处理中产生的沼渣处置的挑战之一就是政策衔接，导致符合标准的沼渣难以得到利用。

最后，废弃物在处理处置的过程中需要公众、企业、政府部门和研究机构不同程度的参与和合作。例如，居民减少食物浪费和对垃圾进行分类可以降低垃圾的处理量，企业对生活垃圾和污泥处理处置的工艺改进可以提高能源回收效率。因此城市可以通过丰富信息交流渠道，推动参与主体之间的互动，从而促进城市探索和发展更符合自身特点的良好实践。

¹ 新华社. (2017). http://www.xinhuanet.com/politics/19cpcnc/2017-10/27/c_1121867529.htm

² 联合国新闻. (2020). <https://news.un.org/zh/story/2020/09/1067222>

1. 背景

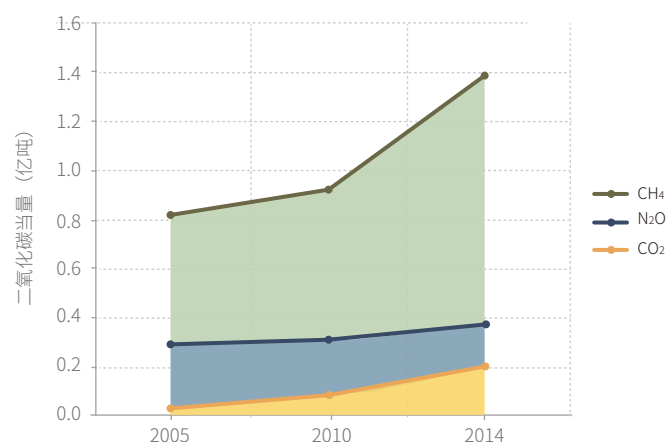
1.1 废弃物处理与城市温室气体减排

无论是来自2018年发布的IPCC1.5度特别报告中对气候变化速度的警示，还是2019年夏天的创历史记录的高温天气，都显示了减缓全球气候变化的行动刻不容缓。IPCC 1.5度特别报告再次强调了全球平均温度已经比工业化前高出了1摄氏度以上，这不仅加快了海平面的上升，也使全球遭受更多的极端天气。2019年的7月，全球各地相继出现了创历史记录的高温天气，世界气象组织的秘书长佩特里·塔拉斯指出，若不采取更多的气候行动，气候变化带来的极端天气会更多更严重³。在此背景下，进一步推动气候变化行动变得更加紧迫。面对日益严峻的气候变化危机，中国采取了一系列的应对措施。2017年，习主席也在党的十九大报告中提出了将“引导应对气候变化国际合作，成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者”。2020年，在联大第75届会议一般性辩论中提出了中国将努力争取2060年前实现碳中和的目标。

在中国应对气候变化的努力中，城市的减排行动将发挥重要作用。一方面，由于城市人口密度大、经济活动集中、资源消耗高，成为了中国温室气体排放的主要来源。据估计，城市在创造了中国75%的GDP的同时也消耗了80%左右的能源⁴。另一方面，城市由于人口的聚集，受气候变化灾害影响尤为严重。由气候变化带来的热浪、暴雨等极端天气对城市的冲击也日益频繁，而中国城市大部分基础设施都容易受到洪涝、干旱等自然灾害影响，这也让城市成为了气候变化下的脆弱地区⁵。因此，城市应对气候变化行动不仅将有效降低温室气体减排同时也将为城市创造更宜居的气候环境。

在此背景下，采取积极行动应对气候变化和减少温室气体排放已变得刻不容缓。以生活垃圾和市政污泥为主的废弃物处理作为重要的温室气体排放源之一，其甲烷排放——具有高全球变暖潜势值的温室气体，尤其是在快速的城镇化和经济发展背景下不容忽视。

图1 中国废弃物处理的温室气体排放



数据来源：《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》和《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》

³ 华盛顿邮报. (2019). <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2019/08/05/heres-how-hottest-month-recorded-history-unfolded-around-globe/>

⁴ Liu, Z., & Cai, B. (2018). High-resolution carbon emissions data for Chinese cities. Environment and Natural Resources Program, Belfer Center. Available at: <https://www.belfercenter.org/publication/high-Resolution-Carbon-Emissions-Data-Chinese-Cities>.

⁵ 胡熙. (2016). 中国哪些省份基础设施易受气候变化威胁？

<https://www.chinadialogue.net/article/show/single/ch/8847-Special-report-Climate-change-poses-grave-threats-to-China-s-essential-infrastructure->

当前，城市废弃物的产生量持续增长。2017年，中国城市生活垃圾的清运量已经达到了2.15亿吨⁶，比2010年增长了近36%。污水年排放量也达到了492.4亿立方米，较2010年增长30%。城市废弃物收集处理量的增加，一方面意味着需要城市提升废弃物规范管理能力，同时也意味着政府可统计的甲烷排放大量增加，城市需要采取更多气候减缓行动。

中国2019年提交的联合国气候变化框架公约（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）的第三次国家信息通报和第二次两年更新报告显示⁷，从2005到2014年，废弃物处理行业产生的温室气体排放从1.13亿吨增加到1.95亿吨二氧化碳当量，其中甲烷排放占70%，主要来自生活垃圾和污水处理（见图1）。

此外，城市废弃物收集量的快速增长以及环境保护要求的不断提高，给城市废弃物管理带来了新的挑战。垃圾在收运和处理过程中可能产生氨、硫化物等大气污染物，而在垃圾填埋过程中会产生填埋气。若不能对这些臭气及异味进行有效管理，将带来公众投诉等社会问题；同时，垃圾渗滤液在没有妥善处理情况下，也会污染地下水及土壤。另外，不经过妥善处理处置的在城市污水处理中产生的污泥，也可能会污染周边的大气、土壤和地下水。

因此，温室气体减排和环境污染防治具有显著的协同效应。在废弃物处理领域采取积极的应对行动不仅有助于减少城市温室气体排放，也可以进一步加强对废弃物处置引起的环境污染的控制，从而改善居民的生活环境。

1.2 中国城市生活垃圾和市政污泥处理实践指南

1.2.1 适用范围

本指南侧重分享城市在废弃物处理中能够减少温室气体排放并降低环境污染的良好实践。由于生活垃圾和市政污泥处理中对气候变化和生态环境的影响显著，指南将重点关注城市在这两个领域的良好实践，以及推动良好实践落地实施所需的政策、技术和资金支持。同时，指南中的实践也侧重解决生活垃圾及市政污泥的减量化、无害化、及资源化。

1.2.2 适用对象

本指南聚焦于国内外生活垃圾和市政污泥处理的良好实践，旨在为参与废弃物管理的政府决策和执行部门、以及其相应的技术和研究支持机构提供参考。

1.3 确定和选择良好实践的标准

考虑到中国国情，不同城市地理区位、经济发展阶段和人口规模有显著差异，在废弃物管理和实践上也会呈现不同特点。本指南认为，城市良好实践应当是在结合城市当地政策环境、技术条件和经济发展水平上对生活垃圾和市政污泥进行了妥善处理 and 资源化利用，并在此过程中显著降低了温室气体排放。本指南的良好实践将综合考虑以下因素：

- **广泛代表性**：既有来自人口密集经济发达的城市的实践，也有来自处在城镇化和工业化进程中的城市的实践。
- **技术可行性**：技术应用已经规模化和商业化。
- **数据可得性**：基于公开可获得的数据信息。

⁶ 中华人民共和国住房和城乡建设部，2017年城乡建设统计年鉴。

⁷ 《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》和《中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报》。其中废弃物处理温室气体清单报告的范围主要包括城市固体废弃物处置的甲烷排放、城市生活污水和工业生产污水的甲烷排放。

2. 良好实践：生活垃圾处理处置

2.1 中国城市生活垃圾处理现状和挑战

中国城市在经历经济繁荣和快速城镇化的同时，生活垃圾清运量逐年增加。国家和地方政府已出台多项政策推动生活垃圾治理（见附录B），逐步推动从填埋焚烧二元处理方式向基于垃圾分类的生活垃圾综合管理转型。

从20世纪80年代至今，我国生活垃圾处理由最初的简易填埋发展到卫生填埋与焚烧的二元处理方式，基本实现了生活垃圾的无害化处理。“十二五”以来，中国城市生活垃圾处理行业快速发展，政府管理范围扩大，有密集的政策，企业盈利模式不断成熟，社会资本大量涌入，推动行业不断发展及变革。“十三五”以来，生态文明建设作为国家顶层战略对于生活垃圾管理也提出了新的要求。“垃圾分类就是新时尚”给予垃圾管理新的定位和新的方向，建立以垃圾分类为基础的垃圾处理及管理体系是中国垃圾管理的发展目标。“十三五”规划及相关行动方案均提出了生活垃圾分类资源化利用率、易腐有机垃圾处理的相关要求及支持政策。生活垃圾精细化管理、高质量发展以及更加环境友好的处理模式成为行业新的发展趋势。2020年新修改的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》更是以立法的形式明确提出国家推行生活垃圾分类制度。2021年发布的《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》中强调加强垃圾分类处理设施的建设和覆盖水平，进一步推动和提高生活垃圾分类处理能力和资源利用效率。

另外，在生活垃圾处理处置过程中，温室气体尤其是甲烷的产生与排放控制，逐渐成为行业关注的重点，其它发达国家的经验也表明垃圾管理领域对温室气体减排有重要贡献，对气候变化的影响也不容忽视。

尽管中国生活垃圾处理处置上通过不同的政策措施和技术手段以实现垃圾减量化、无害化、和资源化基础上减少温室气体排放，但是具体到城市实际操作层面，仍存在巨大的挑战：

- **政策方面：**国家层面有支持易腐有机垃圾分流和处理的政策，但缺乏垃圾处理后产品的市场应用场景、及准入条件等相关政策；以厌氧消化为例，沼气提纯进入管网及补贴电价落实仍存在一定壁垒，以及沼液和沼渣的利用及处理处置没有明确的政策支持。
- **市场方面：**生活垃圾的资源化处理同生活垃圾填埋相比，不具有市场竞争力。原因在于大部分填埋设施仅计算了运营成本，而未考虑土地建设成本及环境成本。因此在部分经济水平欠发达，填埋场库容余量充足的城市，在只考虑运营成本的情况下更倾向选择直接填埋，这也就造成目前中国垃圾处理的格局仍以填埋为主（60%以上）⁸。而相比之下，生活垃圾的资源化处理成本相对较高，较难吸引政府、投资者和运营者的注意。
- **技术方面：**在中国目前已经形成了丰富的多元化的技术体系，具有快速高效的建设能力，但是对于垃圾处理设施的管理运营水平仍然有待提升；尤其是随着垃圾分类的推行，分类后易腐有机垃圾处理及相关设施的运维管理仍然是众多城市面临的挑战。

尽管城市生活垃圾处理处置面临着上述挑战，很多中国城市在现有的政策、技术和资金环境下也开始逐步探索并实践适合城市垃圾处理处置的模式。以下章节将主要介绍城市生活垃圾综合处理体系以及城市在该体系下的良好实践。

2.2 生活垃圾综合处理体系

中国生活垃圾处理目前正在从传统的填埋焚烧二元处理方式向基于垃圾分类的生活垃圾综合管理转型。在此背景及挑战（见2.1）下，转型的核心是建立统筹协调，综合管理生活垃圾处理处置模式。综合管理从管理层序上表现为源头减量、

⁸ 中华人民共和国住房和城乡建设部，2017年城乡建设统计年鉴。

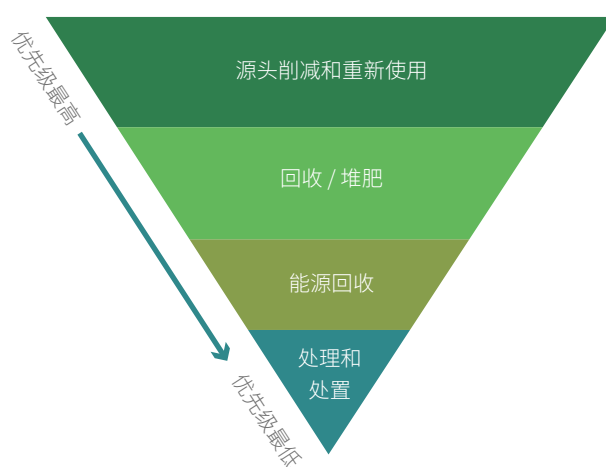
分类分选、物质回收及能量回用的协同配合，从内容上涵盖生活垃圾及可回收物的“两网融合”，从政策上体现为对垃圾产生到处理处置各个环节的政策体系建设，从空间上体现为城市和县城到农村的拓展。在实现垃圾有效管理的同时，垃圾综合管理对气候变化的减缓效应也成为目前垃圾行业及气候领域共同关注的重点，随着中国低碳市场的不断发展和完善，其可持续的减缓效应也能逐步体现并发挥作用。

如图2所示，可持续的生活垃圾综合处理实践（Integrated Solid Waste Management, ISWM）遵循固体废弃物处理的一般程序，根据城市生活垃圾处理的环境、社会和经济效益，按照由高至低的顺序进行处理。在源头削减的基础上，通过从分类投放和分类处理，实现生活垃圾处理处置的减量化、资源化和无害化。

首先，在垃圾源头采取减量措施，在生产、流通和消费过程中减少垃圾量的产生，并且通过鼓励公众参与来减少丢弃垃圾、同时鼓励回收及可再生产品等，例如减少食物浪费或者是重复使用购买商品的塑料袋，从而直接减少进入垃圾处理环节的垃圾总量。

其次，在源头削减的基础上对垃圾进行分类收集及分类处理。随着生活垃圾强制分类政策的推广和实施，全国包括直辖市、省会城市、计划单列市和第一批生活垃圾分类示范城市在内的46个城市已经先行实施生活垃圾强制分类，逐步建立和完善“四分法”的垃圾分类体系，生活垃圾按要求分为：厨余垃圾（易腐有机垃圾）、可回收垃圾、有害垃圾和其他垃圾。针对不同类型垃圾有不同的垃圾收集、转运和处理处置方式。

图2 废弃物处理层级



再次，在垃圾分类基础上鼓励对垃圾的资源化利用。其中，正在建立和完善的厨余垃圾收集和处理体系将成为现在生活垃圾处理处置的焦点。本章节也将对其进行具体分析。此外，对于其他垃圾的处理，焚烧和填埋中的能源回收也不能忽视，尤其是焚烧发电以及填埋气回收利用所带来的对煤电的替代和减排效应。

最后在尚未开展垃圾分类或者未能建立厨余垃圾处理处置设施的城市中，焚烧和填埋作为垃圾无害化和资源化的主要方式，仍然具有重要的地位及意义。

本章将从温室气体减排的视角来分享中国城市生活垃圾减量化、无害化、资源化的实践经验，以供处在不同经济发展水平、政策环境和技术水平条件的城市在绿色低碳发展建设中参考借鉴。本章首先关注生活垃圾的源头削减与垃圾分类，然后重点介绍以餐厨垃圾为主的厨余垃圾垃圾的处理和利用，最后分享垃圾在填埋和焚烧的处理处置过程中可以减少温室气体排放并实现资源化利用的方式。

2.3 生活垃圾源头减量和分类

2.3.1 有效的源头削减实践

生活垃圾量化的关键之一来自于源头削减，从而避免和减少不必要生活垃圾的产生。其中，减少食物浪费不仅降低垃圾产生量，同时也有助于减少温室气体的排放。此外，“源头削减”资金投入少，效果直接显著，但是其实现需要公众参与，其核心涉及到公众的行为改变。

大多数国家/地区已经开始采取措施来减少食物浪费。例如，在美国，由于将近83%的食物垃圾来源于城镇企业和家庭的消费者，因此源头削减措施重点关注城镇企业和家庭。政府通过消费者教育、财政激励和包装改良等举措来解决这个问题，由于措施涉及到公众自身的行为改变，因此可以预见将是一项长期和持久的任务。此外，减少企业和家庭的食物浪费也可创造可观的经济价值和环境效益⁹。欧盟委员会在2015年发布的“闭环—欧盟循环经济行动计划”的通讯中，也将食物浪费确定为优先领域。欧盟及其成员国据此接受联合国大会的减少食物浪费目标（2030年可持续发展目标之第12项目标——确保可持续的消费和生产模式，其中包括“到2030年，将零售和消费环节的全球人均粮食浪费减半，减少生产和供应环节的粮食损失”）¹⁰。为了推动实现减少食物垃圾的承诺，欧盟委员会建立了“欧盟粮食损失和食物垃圾平台”，以便参与制定措施的各方可以分别采取行动减少食物垃圾、分享优秀实践、并评估一段时间内的目标进度。

中国城市通过减少食物浪费也将显著推动生活垃圾的源头减量。来自世界自然基金会（World Wide Fund for Nature, WWF）的《中国城市餐饮食物浪费报告》显示，2015年中国城市在餐饮领域每年食物浪费的总量约为1700-1800吨，约在全国粮食产量的3%¹¹，大量餐厨垃圾不容忽视。2014年中共中央办公厅和国务院办公厅印发了《关于厉行节约反对食物浪费的意见》提出节俭用餐、建立科学文明的餐饮消费模式、减少各环节粮食损失浪费等意见。而在多个城市出现的由消费者、企业和高校等自发的“光盘行动”和“拒绝舌尖上的浪费”等倡议活动也是推动和减少食物浪费的良好实践。

2.3.2 生活垃圾分类

在源头削减的基础上，垃圾分类是生活垃圾综合管理水平的重要体现。从2000年开始，中国国家层面和地方政府即陆续出台了一些政策来推动城市生活垃圾分类和减量工作的展开。2000年，住建部发布了《关于公布生活垃圾分类收集试点城市的通知》，将北京、上海、广州、深圳、杭州、南京、厦门和桂林8个城市建立生活垃圾分类收集试点。2007年，原建设部制定了《城市生活垃圾管理办法》，对垃圾的清运、处置等过程以及生活垃圾的监督管理做出了详细规定。2016年以来，中国开始大力推进生活垃圾分类工作，旨在从源头进行垃圾分类管理，更好的推动可回收物及有机垃圾的综合利用，从而实现进入垃圾处理设施的源头减量。2017年，46个城市开始实施生活垃圾强制分类，垃圾分类也由原来的“三分法”（有害垃圾、可回收垃圾和其它垃圾）逐步过渡到了“四分法”（新增了厨余垃圾）。2019年，住建部提出到2025年，全国地级及以上城市基本建立垃圾分类系统。因此，“垃圾分类就是新时尚”在中国垃圾管理以前所未有的新高度进入公众视野。

由于垃圾分类中常常被公众质疑的问题之一是分类后垃圾没有相应的设施来处理，因此在生活垃圾管理的过程中，实现垃圾前端分类与后端处理之间的衔接关系尤为重要。城市不仅需要对垃圾分类处理进行系统建设，确保生活垃圾分类投

⁹ ReFED (Rethink Food Waste Through Economics and Data). (2016). A roadmap to reduce U.S. food waste by 20 percent. Retrieved from https://www.refed.com/downloads/ReFED_Report_2016.pdf

¹⁰ EU FUSIONS. (2015). The UN Sustainable Development Goals set food waste reduction target. Retrieved from <https://www.eu-fusions.org/index.php/14-news/242-the-un-sustainable-development-goals-set-food-waste-reduction-target>

¹¹ 世界自然基金会. (2018). 中国城市餐饮食物浪费报告.

放、分类收运和分类处理，同时也应有相应的监督和处罚机制来推动每个环节实施。此外，城市也应该根据自身条件逐步实现垃圾分类，由“三分法”到“四分法”分类的过渡需要有相应垃圾处理基础设施的建设，从而让前端产生的厨余垃圾在后端得到有效处理。

案例1：上海市生活垃圾分类管理实践——制度化法律化是关键

生活垃圾快速增加是困扰上海城市管理者多年的问题。2018年上海市生活垃圾清运量接近2.6万吨/日，年均生活垃圾产生量超过900万吨，给环境资源和社会经济可持续发展带来很大压力。住建部于2017年发布《生活垃圾分类制度实施方案》后，上海于2019年制定了《上海市生活垃圾管理条例》，并从2019年7月1日起实施。

上海市建立起系统化的生活垃圾管理制度体系，并上升到立法高度保障制度实施。具体而言，包括：

- 1) 明确“谁产生谁付费”以及“计量收费、分类计价”的原则。
- 2) 提出生活垃圾处置总量控制制度，以立法的方式推动垃圾管理源头减量及分类管理。
- 3) 明确违反条例的法律责任。即产生主体个人罚款在50-200元，单位罚款在5000-50000元，明确监管主体为城管执法部门，确保条例的可操作性。
- 4) 系统有效的考核监督体系。上海人大在2019年4月启动生活垃圾分类专项监督工作，对上海市16个区、215个街镇（管委会）推进垃圾分类工作进行考核评分及排名，并形成专项监督调研报告（半年报）提交上海市人大常委会会议审议，确保《上海市生活垃圾管理条例》的有效执行。

按照上海市官方公布的分类数据，实施垃圾分类以后厨余垃圾分出量约为8000吨/日，分别由餐厨垃圾处理设施及厨余垃圾处理设施厌氧处理，对于温室气体减排具有一定贡献。

小结：

上海多年的实践证明垃圾分类工作需要制度化和法治化，才能推动生活垃圾分类管理的深入开展。目前中国垃圾分类管理体系面临着两个核心挑战，一是如何建立行之有效的垃圾收费制度；二是如何对生活垃圾回收利用建立科学合理的数据跟踪和统计体系。例如，《上海市生活垃圾管理条例》中分类计价以及总量控制制度的提出对于公众参与源头减量及垃圾分类具有重要的引导意义，但需要进一步跟踪政策落地及应用情况。此外，条例中关于生活垃圾回收利用率，目前缺少科学的统一核算方法，上海回收物体系和生活垃圾管理体系的统计口径和数据融合仍需要进一步探讨。可见，垃圾管理条例出台对于垃圾源头减量及垃圾管理能力的提升，需要连续跟踪，量化评估。

2.4 厨余垃圾处理及利用

随着生活垃圾强制分类在中国的实施，以厨余垃圾、有害垃圾、可回收垃圾和其它垃圾的“四分法”开始在城市推广和普及。其中，可回收垃圾具有特殊性。它具有独立运行的商业化回收体系，有价值的物质（如纸和纸板包装、塑料、金属）已经实现了收集和回收。可回收物的回收利用比例需要“物资回收网络”及“生活垃圾管理网络”两网协同考虑，本指南不做深入讨论。本节重点关注以厨余垃圾的处理利用，供已经对厨余垃圾进行单独分类处理处置的城市参考。

厨余垃圾含量高是中国城市生活垃圾的主要特点，对于大部分百万人口城市而言，日均生活垃圾清运量超过1000吨，北京、上海、深圳等超大型城市其日均生活垃圾清运量超过万吨，其中约50%为厨余垃圾，厨余垃圾处理和管理是目前中国垃圾管理面临的主要挑战，世界上大多数国家也存在同样的问题。

按照《生活垃圾分类标志》（GB/T19095-2019），厨余垃圾是易腐烂的、含有机质的生活垃圾，分为家庭厨余垃圾、餐厨垃圾和其他厨余垃圾三类。其中，其他厨余垃圾是指农贸市场垃圾、园林绿化垃圾等。从性质上讲，市政污泥中也含有易降解有机物含量高的特点，在城市范畴内可以考虑市政污泥和厨余垃圾的统筹处理。厨余垃圾中家庭厨余是由居民参与生活垃圾分类，需要有不间断实践积累才能实现由分类参与的数量提高到品质提升，其它三部分均为独立收运体系，其中市政污泥案例在下文第3章节讨论。

厨余垃圾分类：

- **家庭厨余**：家庭日常生活中丢弃的果蔬及食物下脚料、剩菜剩饭、瓜果皮等易腐有机垃圾。
- **餐饮垃圾**：餐馆、饭店、单位食堂等的饮食剩余物以及后厨的果蔬、肉食、油脂、面点等的加工过程废弃物。
- **市政污泥**：城市污水处理过程中产生的剩余活性污泥和初沉池污泥或其混合物，不包括栅渣、浮渣和沉砂。

2.4.1 厨余垃圾处理概述

厨余垃圾经过处理后可以获得有价值的产品、燃料及能源。不同品质的厨余垃圾可以采用不同的处理方式，同时也受到垃圾原料可获得性、相应的技术、经济条件以及产品市场供应情况等的影响。城市可以按照实际可以获得的厨余垃圾品质以及自身条件来选择合适的处理方法。

图3 厨余垃圾来源及品质



图3总结了不同来源的易腐有机垃圾及其品质，原料品质主要取决于垃圾源类型和分类收集程序。原料品质也决定了后续有机垃圾处理技术的选择以及产品的使用场景。其中超市商场等商业源较容易实现对于厨余垃圾的分类收集（类型1），

可以保证厨余垃圾的品质，因此通过简单预处理即可进一步利用及处理；餐饮单位产生的餐厨垃圾（类型2）一般需要通过专业预处理设施进行除杂；厨余垃圾和庭院垃圾（类型3）其产生源为居民，其品质与公众教育和分类理念的宣传有直接关系，需依照不同的情况选择不同的预处理设施；混合生活垃圾（类型4）如果采用堆肥或厌氧消化，需要大量的预处理，而且其产品使用场景有限，不作为推荐技术。

针对厨余垃圾的处理利用，当前最常见的技术包括生物稳定/生物干燥处理、堆肥和厌氧消化（即大中型沼气工程）等。其中，生物稳定/生物干化处理技术通常用于对低质量原料（例如图3中属于类型4的垃圾，即混合生活垃圾）进行稳定或干化处理，直到其不再具有生物活性，主要起到稳定作用，使其不再产生渗滤液及排放温室气体。生物干化处理后的产物或可运往垃圾焚烧厂或填埋场进行处理处置。堆肥常用于处理园林绿化垃圾或园林绿化和食物垃圾混合物（例如图3中类型1和类型3），将其制成堆肥产品。堆肥技术适用于不同品质的厨余垃圾原料，不过原料的品质决定了产品的品质，无污染的清洁原料可以生产出具有更高市场价值的优质堆肥产品，混合厨余垃圾堆肥产品不适于农业用途，但可用于场地修复、园林绿化或矿山生物修复。

厌氧消化可以用于处理图3中类型1-3的垃圾。这一技术利用微生物在厌氧环境中将有机物转化为沼气和沼渣沼液，可以实现物质和能源回收。沼气通过热电联产产生热量及电能，也可通过并网实现供热及供电；或者沼气经提纯转化为生物天然气，可作为液化/压缩天然气直接出售，或售入天然气管网。沼渣沼液可以生产液肥，或进一步制成堆肥。需要注意的是，液肥或堆肥产品的品质主要取决于原料的质量，其中类型4混合垃圾消化后产生的沼液沼渣利用场景有限。目前厌氧消化技术已经在国内外不同城市的生活垃圾处理中得到应用。

尽管厨余垃圾的利用和处理在不同垃圾品质条件下有不同的技术选择，但是其技术运用还需考虑城市的人口环境、政策条件和经济发展等因素。由于城市人口规模和经济发展水平不一，其每天产生的厨余垃圾量也不同，在技术选择时候需考虑其经济性。同时城市政策条件的差异也对厨余垃圾产量形成影响，例如已经参与生活垃圾强制分类和餐厨废弃物资源化利用和无害化处理试点的城市，目前已形成一定规模的厨余单独处理能力，在此条件下可以考虑对其进行充分处理及利用。此外，厨余垃圾处理的财政支持也不容忽视。目前较多采用由公共资本和私人资本合作的建设-经营-转让（Build-Operate-Transfer, BOT）或建设-拥有-经营（Build-Own-Operate, BOO）模式等。后续章节分别介绍不同城市在厨余垃圾处理的实践经验。

2.4.2 厨余垃圾处理案例及讨论

本节将分享目前中国在厨余垃圾处理的实践。本节中三个中国案例均为厨余垃圾下餐厨垃圾处理项目，采用建设经营-转让（Build-Operate-Transfer, BOT）或建设-拥有-经营（Build-Own-Operate, BOO）模式，核心工艺环节均为预处理除杂-三相分离-油脂利用-厌氧消化-沼气提纯利用-沼液沼渣处理，是目前中国餐厨垃圾处理的主流运营模式。垃圾分类工作开展后，各城市出现了多元化的厨余垃圾处理模式，如小型化分散式快速处理、堆肥处理或厌氧消化处理等，鉴于目前运行周期较短，均为探索阶段，因此在本指南中并未涉及。

如下文案例中所示，在餐厨垃圾处理过程中，沼气利用方式有发电上网、热电联产、提纯进入天然气管网、提纯做车用燃气等；在沼气利用时应统筹考虑，如有供热需求或者进入管网，应优先考虑。鉴于餐厨垃圾原料成分复杂，含油及含盐量高，沼液沼渣利用场景受限，在现有的处理项目中，均按照污水废渣处理，新建项目经济性分析应切实考虑此部分费用或探索其他应用场景。

案例实践中，西安餐厨垃圾处理厂周边有污水处理厂及供热公司，如果能够优化设计及运营情况，可以实现更好的经济效益；与此类似，太原餐厨垃圾处理厂将沼渣运至园区内的焚烧厂，大幅降低了沼渣的运输成本；由此可见，统筹规划及协同处理具有重要的意义，可以有效的提高项目运营的经济性。

案例2：浙江省宁波市餐饮垃圾处理实践——有前瞻性的项目规划

中国浙江省宁波慈溪开诚餐饮垃圾处理项目于2015年中标并开始建设，项目运营方为慈溪开诚有机固废处理有限公司，采用BOT（收运处理一体化）特许经营模式，特许经营期25年。项目主要处理对象为餐厨垃圾，收运范围覆盖宁波慈溪市中心城区47平方公里内的600多家餐饮单位产生的餐厨垃圾。

项目总投资6600多万元，设计2条餐厨垃圾预处理处置线，最大处理规模 ≥ 200 吨/日。同时，考虑到国内未来垃圾分类处置的发展要求，项目预留了1条满足200~300吨/日的厨余垃圾处理能力的预处理系统和1座1400立方米隧道式干式厌氧发酵系统的安装空间，可以满足垃圾分类后各类厨余垃圾的综合处理。

项目于2016年10月26日正式投产，目前日处理餐厨垃圾约80吨/日，约29200吨/年，沼气产生量为140-180万立方米/年，其中约25%的沼气为厂区自用，其余计划并网发电。沼液沼渣产生量约为废水80吨/日、废渣10-15吨/日，分别处理。

小结：

慈溪项目采用大物质分拣-精分制浆-除砂除杂-油水分离的预处理工艺，有效去除餐厨垃圾中的杂质，提高了系统运行的稳定性。综合分析慈溪项目的特点，可以总结为工艺技术成熟，设备稳定，同时在项目规划时具有前瞻性，考虑了垃圾分类情景后厨余垃圾统筹处理的可能性，具有一定的借鉴意义。

案例3：陕西省西安市餐厨垃圾处理实践——目前主流的餐厨垃圾处理模式

陕西省西安市餐厨垃圾资源化利用和无害化处理一期项目位于西安市沣东新城建章路街道办辖区，于2018年12月建成并投入试运营，是西安市第一座餐厨垃圾处理设施，处理能力为200吨/日餐厨垃圾及20吨/日地沟油。

项目采用建设-拥有-经营（BOO）模式建设，特许经营期为30年，建设运营商为西安维尔利环保科技有限公司。项目建设总投资1.92亿元人民币，根据特需经营协议，地方政府支付的餐厨垃圾收运处理费为274元/吨。



从试运营起截至目前，项目已实现稳定运行，餐厨垃圾日收运处理量超过200吨，最多日处理餐厨垃圾超过250吨，年处理餐厨垃圾超过80000吨。根据项目运营数据，1吨餐厨垃圾平均可产生约80立方米沼气，50公斤废弃油脂，可发电160千瓦时；发电除自用外，计划并网发电，并网发电手续正在办理落实中，预计于2020年4月正式并网发电。餐厨垃圾处理产生的沼液处理后，达到黄河流域二级水体排放标准外排，沼渣外运填埋处理。

小结：

西安餐厨垃圾资源化利用和无害化处理项目采取了餐厨垃圾处理的主流运营模式，在BOO模式下，餐厨垃圾单独收运，在厌氧消化中产生的沼气用于并网发电，而沼渣和沼液也得到妥善处理。如果项目能够优化设计及运营情况，例如规划时考虑周边是否有污水处理厂及供热公司，可以让沼气的利用和沼液的处理产生更好的经济效益。

案例4：山西省市餐厨垃圾处理项目——体现统筹规划协同处理的益处

山西省太原市餐厨垃圾处理项目位于太原市清徐县柳杜乡东南社村，处理厂占地69亩，总设计规模为日处理能力500吨，分两期建设；一期工程于2017年建成并投入试运营，餐厨垃圾处理能力为200吨/日，收集范围包括太原市六城区和清徐县。

项目采用建设-拥有-移交（BOT）模式建设，特许经营期为30年，建设运营商为太原天润生物能源公司。项目总体建设总投资3.11亿元人民币，根据特需经营协议，地方政府支付的餐厨垃圾收运处理费为309元/吨。



项目已实现稳定运行，餐厨垃圾日收运处理量超过200吨，年产沼气超过600万立方米，计划提纯作为生物天然气，另外油水分离后的粗油脂也是主要产品。餐厨垃圾处理后的沼液计划外运至污水处理厂，沼渣运往园区内垃圾焚烧厂焚烧处理。

小结：

太原市的项目与上文中西安餐厨垃圾处理案例相似好，均采用当下主流运营模式。不同的是在对沼渣的处理处置，太原餐厨垃圾处理厂可以选择将沼渣运至园区内的焚烧厂，从而降低了沼渣的运输成本，由此可见统筹规划及协同处理具有重要的意义。

2.5 生活垃圾焚烧发电

对于不能以其它任何方式有效利用的固废，可用热处理技术从中回收能源。现有三种公认的固体废弃物热处理解决方案，即焚烧、气化和热解，但目前只有焚烧具有规模化和商业化运行的成熟经验，可视为优秀实践解决方案。目前，中国的实践表明垃圾焚烧对于人员密集的大城市，是非常有效的生活垃圾处理模式；2017年中国城市生活垃圾无害化处理率达到96.1%；其中生活垃圾焚烧处理比例为34.3%，填埋处理为63.0%¹²。本指南侧重从低碳及甲烷减排的角度讨论生活垃圾焚烧的特点及良好实践。

生活垃圾焚烧是指利用高温氧化处理生活垃圾的过程，焚烧发电（Waste to Energy, WTE）是指在水泥窑协同处置过程中回收热能并利用的过程。几十年来，WTE已在世界各地的商业规模工厂中使用，WTE设备是欧洲和美国现代生活垃圾综合处理实践系统的重要组成部分。对于中国而言，生活垃圾焚烧是大部分人口密度高的大中型城市的必然选择，从1988年深圳第一座焚烧厂建立以来，30年的时间中国生活垃圾焚烧实现了跳跃式发展；截止2017年底，中国大陆区域已运行的生活垃圾焚烧厂为352座，分布在全国29个省/市/自治区，总处理能力超过33万吨/日，成为中国主要的垃圾处理模式之一¹³。

中国城市生活垃圾中厨余垃圾含量约在50%左右，热值相对较低，中国平均约为5000千焦/千克，而美国约为11000–14000千焦/千克¹⁴，因此生活垃圾焚烧在中国的应用过程中，进行了不断的工艺技术优化，在生活垃圾入炉前贮存5-7日，进而有效的而实现水分及有机物的分离，降低入炉垃圾的含水率，提高其热值。其贮存产生的高浓度渗滤液通过渗滤液处理系统进行有效处理，目前新投入运行的渗滤液处理设施通常采用厌氧消化方式，进一步回收渗滤液中的能量，减少焚烧过程的碳排放。

研究表明，在生活垃圾混合收集及处理的背景下，垃圾焚烧的碳排放强度为0.4-0.5千克二氧化碳当量/千克，填埋的碳排放强度为0.6-0.8千克二氧化碳当量/千克。因此从低碳发展的角度，生活垃圾处理从填埋向焚烧转型对于行业温室气体减排具有一定贡献。但值得提出的是，在目前生活垃圾分类工作开展的背景下，厨余垃圾的分离及单独处理将影响城市生活垃圾处理的碳排放强度：

- 首先，厨余垃圾的分离将大幅度降低填埋过程的甲烷产生及泄露，因此也降低了需要填埋处理垃圾的温室气体排放。
- 其次，厨余垃圾单独处理产生能源或者堆肥产品，替代化石能源，能够有效的起到减排作用。
- 第三，由于分类后其他垃圾中塑料等化石能源成分的增加，焚烧处理的碳排放强度将进一步增加。

因此在垃圾分类背景下，需要重新核算生活垃圾处理模式的碳排放强度，进而更有效的促进生活垃圾管理低碳转型。关于生活垃圾焚烧处理，目前中国已有丰富的成熟案例，因此在本报告中不在赘述。

2.6 垃圾填埋气回收利用

在中国以及全球范围内，填埋仍然是主要的生活垃圾处置方式。目前中国的城市生活垃圾填埋场均为卫生填埋场，但在部分村镇区域及世界上许多地方仍然使用没有污染物控制的非正规填埋场。本节将首先介绍垃圾卫生填埋处置方法和填埋气再生能源利用系统（Landfill Gas, LFG），同时介绍国内外城市对填埋气回收利用的案例实践。

¹² 中华人民共和国住房和城乡建设部，2017年城乡建设统计年鉴。

¹³ 中华人民共和国住房和城乡建设部，2017年城乡建设统计年鉴。

¹⁴ Xiaodong, Li. (2017). Waste to energy in China. Retrieved from <http://wterc.com.br/site/wp-content/uploads/2017/06/1.-China-Waste-to-Energy-%E6%9D%8E%E6%99%93%E4%B8%9C.pdf>

2.6.1 填埋处置

按照中国《生活垃圾卫生填埋处理技术规范（GB50869-2013）》，卫生填埋场需配备防渗层、渗滤液导排系统以及填埋气收集系统。卫生填埋场以对环境安全的方式处置生活垃圾，并且通过运营和管理来防止土壤、地下水、地表水和空气受到污染，同时最大程度地提高生活垃圾处理量。

欧盟在1999年发布欧洲委员会指令（1999/31/EC），要求欧盟国家逐步减少垃圾填埋过程的可生物降解的废弃物，以减少其对环境的影响；指令提出到2030年，在欧盟范围内，最多10%的城市生活垃圾可以进入填埋场处理，所以欧洲目前大部分垃圾填埋场只收集惰性垃圾（可降解有机物含量小于5%）。

在美国，回收后留下的所有废弃物全部会被运往卫生填埋场，填埋场大多设有填埋气收集系统，另外由于填埋场生活垃圾的处理处置费用不断提高，填埋运距的不断增加，目前美国的一些生活垃圾处理企业也在探索将生活垃圾中的厨余垃圾分离并制成浆液，送往市政污泥厌氧消化设施进行联合厌氧消化。

2.6.2 填埋气收集和控制

填埋气是在垃圾填埋场处理的有机物质厌氧分解后的产物，其中甲烷含量约为50%，其余为二氧化碳和其他有机化合物，填埋气经提纯处理后可转化成符合管道外输标准的生物天然气或用于能源生产。收集填埋气是减少温室气体排放、回收能源和改善公共卫生和安全的有效方法。填埋气回收具有多种环境、社会和经济效益，在生活垃圾处理中发挥着关键作用。

填埋气收集利用系统的主要环节包括填埋气收集和控制系统（Gas collection and control system, GCCS），填埋气净化系统（去除杂质），填埋气提纯或发电系统。

填埋气利用项目的可行性需综合讨论技术和经济因素，例如生活垃圾的成分和处理量，填埋气的产生收集量的核算及填埋气的品质，能源用户的位置及需求，项目建设及运维和融资方案；其中填埋气收集和控制系统是填埋气利用的核心，其设计、操作和管理是决定项目能否成功运行的关键，了解、评估和选择正确的填埋气收集和控制系统对于项目的整体可行性和成功至关重要；另外对于终端能源用户的需求及利用方式的选择也需要系统分析，统筹考虑。

2.6.3 填埋气收集利用良好实践案例及讨论

目前填埋气收集利用工艺技术成熟，以下四个案例均为对填埋场填埋气进行收集利用、发电上网或提纯作为天然气进行利用。建议在项目可行性分析阶段对商业模式进行系统分析，优选填埋气利用方式；在天然气需求高，具有接入天然气管网可行性的城市，可以优先考虑填埋气提纯进入管网，从而最大程度实现填埋气利用。

案例实践中，由于城市规模的不断扩大，垃圾收集处理量的快速增加，下坪填埋场及西安填埋场的填埋气产生量均超过了预期产生量；考虑到后续填埋气稳定产生的周期较短，新建扩建设施需要一定时间，因此目前均有部分填埋气以火炬燃烧的方式进行甲烷摧毁。

另外由于目前国内可再生能源补贴从申报到落实需要的时间较长，因此对于部分填埋气发电项目的整体经济性也提出了一定挑战。未来城市如果能够从低碳发展、清洁能源转型的角度统筹规划，填埋气发电项目仍然具有进一步提高利用效率的空间。

案例5：广东省深圳市下坪填埋场填埋气综合利用实践——填埋气回收经典案例

深圳市下坪填埋场是中国第一个卫生填埋场。一期填埋区占地63.4公顷，库容约1493万立方米，服务年限12年，目前已封场；二期填埋区占地59.4公顷，库容约1780万立方米，目前正在填埋运营中。下坪填埋场目前累计生活垃圾填埋量超过2500万吨，现在每日生活垃圾填埋量约为6000吨/日。

下坪填埋场2007年开始进行填埋气收集及甲烷摧毁，部分气体以特许经营的方式开展综合利用，是中国最大的填埋气利用项目。填埋气收集系统为政府投资，企业付资源使用费，填埋气发电利用系统和提纯利用系统为企业投资建设并运营管理，项目运营商为中国水业集团。目前填埋气收集量为40000立方米/时，气体收集率超过90%，其中部分通过36台填埋气发电机组发电后并入电网，日发电量为800000千瓦时；另建有填埋气提纯系统，处理能力为5000立方米/时，60000立方米/天，其余填埋气经封闭式火炬进行甲烷摧毁。下坪填埋场于2007年申请注册为CDM（京都议定书下的清洁发展机制项目），共计实现减排量448万吨二氧化碳当量。

小结：

填埋场的填埋气回收典型案例，由政府与企业合作开发，对填埋气的提纯利用和发电利用系统进行投资建设，对填埋气的回收和并网发电进行技术和政策支持。



案例6：陕西省西安市江沟村垃圾填埋场填埋项目——填埋气综合利用的典型代表

西安市江沟村垃圾填埋场是中国最大的填埋场，整个填埋场占地1031亩，约100个足球场大小，总容量3463万立方米，运行25年来承担了西安市的生活垃圾处理处置功能，总填埋量为数亿吨。

2003年，威立雅资源利用（西安）有限公司以BOT的方式建设并运营了江沟村填埋场填埋气综合利用设施，建设部分包括填埋气收集，净化及发电系统。

填埋气收集量约8500立方米/时，其中约7000方进入发电机组发电（现配有10.62兆瓦发电机组），其余1500方火炬燃烧实现甲烷摧毁，日发电上网量为254880千瓦时。

小结：

填埋气综合利用发电的典型代表。



案例7：山西省太原市侯村生活垃圾填埋场——走向没落

作为太原唯一的填埋场，侯村生活垃圾填埋场从2008年开始运营，设计处理能力是1500吨/日，后来扩展到3000吨/日。填埋厂收集到的垃圾为混合垃圾，但是餐厨垃圾（餐厅厨房中的垃圾）已经分出来了由专门的公司负责（位于清徐的餐厨垃圾处理厂）。

填埋场填埋气提纯系统由太原圆通生物能源有限公司建设并运营，建设部分包括填埋气收集，净化及生物天然气运输系统。项目建设投资为2300万，于2012年开始运营。

目前填埋气收集量为15000立方米/日，625立方米/时；提纯后生物天然气产量约为7000立方米/日，部分通过槽罐车运至加气站，部分进入天然气管网。每天产生渗滤液300吨，处理后产生的污水运往污水处理厂。

小结：

填埋气综合利用发电的典型代表。



3. 良好实践：市政污泥处理处置

3.1 中国市政污泥处理现状及相关挑战

随着快速城镇化进程，中国污水处理量也在逐年增长。在国家节能减排和积极的财政政策作用下，城镇污水处理也得到迅速发展。污水处理厂数量逐渐增加，城市污水处理厂由2010年的2496座增至2017年的3781座¹⁵。中国城市污水处理能力从2010年的12496万立方米/天提升至2017年的15743万立方米/天¹⁶。

而在污水处理能力快速增长的同时，作为污水处理过程衍生品的污泥产量也在逐年增加。以处理每万立方米污水产生1.2吨污泥干物质计算，则2017年中国的污泥产生量约为11.38万吨/天（含水率80%），即年产生量约为4154万吨。截至2015年，中国的污泥无害化处置设施规模约为3.74万吨/天，处理能力缺口为6.48万吨/天，年处理缺口高达2365万吨。而没有得到妥善处置的污泥对生态环境和气候变化都将带来巨大的隐患。

面对亟待处理的污泥，我国在政策、资金和技术层面也在逐步推动污泥的处理处置。国家先后出台了一系列支持文件对污水处理厂污泥处理处置方式和污泥稳定化处理后的指标进行了规定，并陆续发布了多条污泥处理处置的技术规范和相关的国家和行业标准（详见附录B）。为了在污泥处理处置技术上给予引导，2010年2月环境保护部发布了《城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治最佳可行技术指南》（试行），筛选出了污泥处理处置的最佳可行技术。技术政策和最佳可行技术指南的出台给我国城市污水处理厂污泥处理处置指明了方向，在很大程度上将促进我国污泥处理处置的发展。随后住建部和发改委联合发布《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南》（试行），为城镇污水处理厂污泥处理处置工作从污泥处置方式及相关技术、应急处置与风险管理等方面进行了系统的规划。2014年，《国家新型城镇化规划2014-2020》中指出，加强城镇污水处理及再生利用设施建设，推进雨污分流改造和污泥无害化处置。2015年，国务院发布了《水污染防治行动计划》（“水十条”），要求推进污泥处理处置。污水处理设施产生的污泥应进行稳定化、无害化和资源化处理处置，禁止处理处置不达标的污泥进入耕地。同时提出城镇污水处理收费标准不应低于污水处理和污泥处理处置成本。2016年国务院发布的《土壤污染防治行动计划》（“土十条”）中，提出修订农用污泥中污染物控制标准，并鼓励将处理达标的污泥用于园林绿化。

尽管我国近年来已经开始积极推动市政污泥处理处置，目前仍以填埋、堆肥和焚烧为主，而选择土地利用方式的极低。同时现有的填埋、堆肥和焚烧方式均存在不同程度的安全隐患和环境风险，而土地利用也因需要跨部门协同和规划而存在治理瓶颈。除此以外，市政污泥处理处置也面临着以下诸多挑战：

- **政策方面：**由于中国长期以来存在“重水轻泥”的现象，在快速推进污水提标改造，污水消毒、再生水的同时，却没有及时解决污泥问题。虽然近十年来，中国发布了一系列污泥处理处置的相关标准，但标准过于粗放，对于实际的处理处置过程指导性不足，难以真正落地。
- **技术方面：**与欧美国家相比，中国的污泥质量差，有机质低，含砂量大，而且性质波动较大，国外既有的污泥处理处置理论和技术无法切实解决当前面临的特殊困境，例如对高含砂污泥进行厌氧消化的技术以及对此过程中沼液和沼渣的处理。而中国的处理处置技术起步较晚，成熟度尚有待验证。
- **市场方面：**中国的污泥处理处置技术虽然百花齐放，但市场上仍以单元技术进行的开发与推广为主，例如对污泥处理处置路线上的具体环节等。然而，污泥的处理处置是一个多单元技术集成的复杂系统，真正做到全链条的工程项目数量极少，且有待于进一步的长期验证和系统评估。

¹⁵ 中华人民共和国住房和城乡建设部，2017年城乡建设统计年鉴。

¹⁶ 中华人民共和国住房和城乡建设部，2017年城乡建设统计年鉴。

3.2 污泥处理处置中的低碳方案

目前我国污泥处理处置的技术路线和方案有多种选择，住建部和发改委在2011年发布的《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南》（试行）中（以下简称“《污泥处理处置技术指南》”），列举了6种典型污泥处理处置方案，具体包括：1) 厌氧消化 + 土地利用；2) 好氧发酵 + 土地利用；3) 工业窑炉协同焚烧；4) 机械热干化 + 焚烧；5) 石灰稳定 + 填埋；6) 深度脱水 + 填埋。城市可以自身条件，例如城市基础设施条件、土地资源和环境情况、经济发展水平等来选择合适的处理处置方案。本小节将从温室气体减排的视角来关注污泥处理处置中可以实现低排放的方案，以及方案实施所需的条件。

污泥处理处置的中温室气体排放主要来自两个方面。一是其处理处置过程中直接产生的甲烷排放，二是处理处置过程中设施运行能耗产生的温室气体排放。在现行的污泥处理处置主要方案中，其中以填埋产生的温室气体最高，其次是焚烧，而对污泥进行土地利用的减排潜力则较大。《污泥处理处置技术指南》中也提到，厌氧消化 + 土地利用的污泥处理处置方式减排空间大，将其列为“负碳排放”，并指出其“能实现污泥中有机质及营养元素的高效利用，实现能量的有效回收，不需要大量物料及土地资源消耗。厌氧消化后的污泥泥质能够达到限制性农用、园林绿化或土壤改良的标准，可优先考虑采用”。

理论上，厌氧消化通过微生物作用将污泥中的有机物转化为沼气，从而使污泥中的有机物稳定化，沼气经过提纯后形成的天然气可发电或用于车载燃料，而沼渣沼液中富含的氮、磷、钾也可以用于园林绿化等，从而实现资源化利用。但是在实践中，这一方案的实现需要考虑污泥泥质特性。因此，下文将主要介绍两种情形，3.2.1聚焦对有机质含量高的市政污泥的厌氧消化，3.2.2则聚焦对有机质偏低的污泥进行联合厌氧消化。本节将重点讨论厌氧消化 + 土地利用这一低碳方案的这两种良好实践，以及其推广所需要的相应政策、技术和资金支持，以供城市参考。

3.2.1 市政污泥直接厌氧消化处理

在市政污泥有机质丰富的情况下，例如已经建立雨污分离管道的城市，污水处理厂可以通过升级设备，将厌氧消化作为一种污泥稳定化处理的方法。

厌氧消化池是处理集中式好氧处理厂产生的污泥的有效手段，已经在世界各地包括中国成功应用。这些系统能杀死病原体并减少污泥体积，从而对其进行稳定处理，并产生沼气和沼渣沼液。进入厌氧消化池之前的处理可改善污泥的生物降解性。由于污水处理过程中可进行预处理，最终进厌氧消化系统的污泥中不含无机污染物。常用的预处理技术包括热水解、高压均质化、机械粉碎和超声预处理技术等¹⁷。其中热水解是目前实现商业成熟运营的预处理方式，热水解可以实现对污泥的灭菌处理，破坏污泥中的病原体，同时也可促进生物降解，从而提高消化性能。

尽管厌氧消化的技术条件成熟，但是其在城市的应用和推广还需要有相应的资金和政策支持。如前文提到，由于长期的“重水轻泥”，污水处理厂用于污泥处理处置的投资普遍不足，是目前污泥处理存在的主要壁垒之一。目前较常用的则是由政府和社会资本合作的模式来共同参与污泥处理处置项目的建设和运营，例如在污水处理中应用的较多的BOT（build-operate-transfer, 建设-运营-转让）的模式。在BOT模式下，由投资者来承担项目建设、经营和维护责任，并在一定协议期限内对项目拥有经营权和收益权，在特许权期满后转交给政府。本节中将提到污泥处理处置案例也多以BOT的方式进行融资。

除此以外，厌氧消化后针对沼渣的处理需要政策支持和各部门的协调来实现。经过厌氧消化后的污泥在泥质达到国家关于污泥处置中对土地改良泥质、园林绿化用泥质和农用泥质的相应标准的前提下可实现土地利用。由于污泥标准的制定

¹⁷ Chen, D., Sharma, S. K., & Mudhoo, A. (Eds.). (2011). Handbook on applications of ultrasound: Sonochemistry for sustainability. Boca Raton, FL: CRC Press.

和实施分布在农业部门、林业部门和环保部门等，因此符合要求的沼渣是否能够最终实现相应的土地利用很大程度上取决于政府部门的合作，标准缺失及产品使用情景受限也是目前污泥处理存在的壁垒。

3.2.2 市政污泥与餐厨垃圾联合厌氧消化

由于中国市政污泥中含水率高、有机质含量较低且含砂量大（尤其是在尚没有实现雨污分离的城市中），沼气的产气量也会降低。在这种情况下，污水处理厂厌氧消化系统运行处理的污泥量可能低于其设计容量。因此，城市可以考虑将厨余垃圾与市政污泥进行联合厌氧消化这一低碳方式来处理市政污泥。

首先，这一方案在技术上可行并已有成熟的运用和实践。通过向污水处理厂的厌氧消化系统中添加餐厨垃圾，或者将市政污泥添加到餐厨垃圾中（该过程称为“联合厌氧消化”），在控制好污泥与餐厨垃圾两者的混合比例下，可以提高厌氧消化的产气效率，从而在减少废弃物单独处理流程的情况下产生协同效应。

联合厌氧消化不仅在技术上可行，同时由于将不同的废弃物一起集中处理，可以使不同参与主体之间进行成本分摊，利用现有资金和基础设施，从而更好的发挥规模效应。并且联合厌氧消化可更多地减少挥发性固体，并加快产生沼气¹⁸，同时也避免了设计并修建单独的餐厨垃圾（或者污泥）厌氧消化设备。此外，联合厌氧消化的资金投入也以公共私营合作制（Public-Private-Partnership, PPP; 如BOT或者BOO）的模式为主。

实现联合厌氧消化中面临的最大的挑战来自政策支持和部门合作。政策上，对已经开始进行垃圾分类的城市而言，餐厨垃圾将被要求单独收集、转运和处理处置，如果已经建成有餐厨垃圾处理厂，可以考虑与当地市政污泥进行联合厌氧消化，在降低成本的同时增加沼气产量，提高经济效益。此外，城市规划中对污水处理厂和餐厨垃圾场的规划和选址也可以促进两者之间的合作。最后，厌氧消化产生的沼渣的土地利用同样需要各个部门之间合作才能得以实现。

3.3 市政污泥处理案例及讨论

前面的章节提到污泥处理处置的低碳方案的主要的技术路线是厌氧消化+土地利用，而技术路线的实施需要考虑和符合城市基础设施条件、政策环境和经济发展水平等因素。本节将梳理国内外城市基于自身条件而采取的并值得借鉴的实践经验。

以厌氧消化为基础的污泥处理方式已经在不同的国家和地区得到推广和应用，例如美国的纽约和洛杉矶等城市已经在广泛通过厌氧消化对污泥进行处理，并且在过程中对其产生的甲烷进行回收利用。同时政府也提供相应的配套措施来推动这一方式的实现。一方面，针对厌氧消化产生的沼渣，美国环保署建立分级标准（A类和B类）并规定其使用范围。另一方面对过程中产生甲烷利用也提供了政策支持，环保署制定的《可再生燃料标准》（Renewable Fuel Standard Program）下允许可再生天然气（甲烷提纯后的产品）的生产者可以将由此产生的“可再生燃料身份码（Renewable Identification Number, RIN）”进行交易¹⁹，因此也激励了污泥处理中的甲烷回收。下文将分别分享美国不同城市通过厌氧消化方式进行污泥处理处置的实践。

¹⁸ Chen, D., Sharma, S. K., & Mudhoo, A. (Eds.). (2011). Handbook on applications of ultrasound: Sonochemistry for sustainability. Boca Raton, FL: CRC Press.

¹⁹ 在《可再生燃料标准》是为了提高生物燃料利用量而制定的强制法令，要求汽油柴油的制造和进口的责任商完成一定比例的可再生燃料配比的责任量。责任商每年提供足够数量的RIN来完成要求，因此如果RIN数量不够，可以通过交易来购买RIN。

案例8：美国纽约市政污泥处理实践——厌氧消化和甲烷回收利用并举²⁰

作为一个人口密集并且同样拥有不少雨污混合管道的城市。纽约所有的14个污水处理厂都采用了厌氧消化工艺并对甲烷进行回收利用并采取了一系列可供参考的举措。

首先，和中国的部分城市相似，纽约有不少没有进行雨污分离的管道，而在雨天由于雨水灌入导致污泥有机质降低，从而影响污水污泥处理的情况下，纽约没有选择重新投资雨污分离管道，而是通过建立一些雨水截留设施来收集雨水，从而减少进入管道的雨水量。

其次是将市政污泥与餐厨垃圾进行联合厌氧消化来提高沼气产量。2013年时任市长布隆伯格通过了2项法案来推动城市联合厌氧。一项是垃圾分类，将厨余和餐厅垃圾进行分类，另一项则是要求餐厨垃圾产量大的行业例如酒店，对垃圾进行堆肥或者是将垃圾送往污水处理厂。

位于纽约市的Newtown Creek污水资源利用中心将污泥与餐厨垃圾进行联合厌氧消化。其中产生的沼气经提纯产生的可再生天然气可以进入管网。同时这些可再生天然气也有相应的“可再生燃料身份码（RIN）”，中心也可以按照《可再生燃料标准》下的要求将RIN进行交易并获利。

由于中心的甲烷高产，电力公司开始与其合作，在2019年建立新的甲烷处理设施，项目完成后将可以为5200个家庭提供足够的天然气，同时也可以带来9万吨左右二氧化碳当量的减排。由于厌氧消化项目的投资不低，目前该市的项目融资也采用了BOT的方式进行。

小结：

仍使用雨污合流管道城市可以借鉴纽约对市政污泥处理处置方式，例如截留雨水减少进入管道的雨水，从而提高污泥质量。同时采用联合厌氧消化的方式来增加沼气的产量。

²⁰ 信息整理来自于威尔逊中心：“实现中国污水治理闭环”报告。

案例9：美国洛杉矶市政污泥处理实践——联合厌氧消化的综合解决方案²¹

美国加利福尼亚州的洛杉矶市每年2100万吨的食物浪费中有35.8%是厨余垃圾。2014年，洛杉矶公共卫生管理委员会决定不再让这些有机垃圾直接进入垃圾填埋场。

因此，委员会与专门从事废弃物收集的私营公司Waste Management废弃物管理公司（WM公司）合作，开展了一个从2015-2018年的联合污水控制厂（JWPCP）项目。该项目每天接收65-85吨的有机浆料，这些浆料在材料回收部门进行了预处理，然后注入到JWPCP的沼气池中。

根据地区监督工程师William Chen的说法，在试点期间，由于联合厌氧消化，测试消化池的甲烷产量增加了112%。而产生的甲烷已经可以完成可以实现厂内的供电。另外，这些甲烷在转为可再生天然气的后也可以得到“可再生燃料身份码（RIN）”并进行交易。

小结：

试点项目成功之后，委员会现在正在寻求巩固与多个废弃物运输商的合作伙伴关系，并开发一种“综合解决方案”，其中包括内部预处理厨余以及对沼气进行沼气调节以生产可再生天然气用作汽车燃料等。

案例10：美国费城污泥处理实践——联合厌氧消化的典型案例

美国宾夕法尼亚州费城的东北水污染控制厂拥有该市最大且最古老的污水处理厂，也采用了市政污泥和食物垃圾进行联合厌氧消化的方式来处理污泥。

其投资用于厌氧消化和沼气利用装置的大概花费4750万美元。产生的沼气为该厂提供电力支持，目前安装的沼气热电联产设施可以为85%的设备运行提供所需的电力。此外，产生的沼渣经处理形成A类沼渣进行使用²²。2005年，经过竞标流程后，费城水利局建议该市与私人集团签订长期合同，将沼渣回收中心（Biosolids Recycling Center, BRC）升级改用室内热干燥微粒化工艺。在行业领导者Synagro的带领下，费城生物固体废弃物服务公司（Philadelphia Biosolids Services, PBS）将负责三到五年内的现有BRC的运营，同时将在场地建造A类沼渣热干燥设施。PBS将负责新设施运营，运营时间为20年，并提供五年延期选择。

PBS于2008年10月接管BRC运营工作，且私营业务转型一直非常成功。该设施于2012年2月开始生产A级完整颗粒生物固体废弃物颗粒。

小结：

费城的污水处理处置实践提供了联合厌氧消化的典型案例，污水处理厂通过接收餐厨垃圾，并将其与污泥进行联合厌氧消化来提高沼气产量。

²¹ 信息整理来自于威尔逊中心：“实现中国污水治理闭环”报告。

²² 美国环保署下对污泥在处理处置后可用于堆肥产品的分级，分为A类和B类沼渣产品（Class A/Class B biosolid），更多细节请访问该链接：<https://www.epa.gov/biosolids>

案例11：美国伍斯特市污泥处理实践——沼气发电节省电力成本

美国俄亥俄州Quasar能源集团与伍斯特市合作，对其原来的污水处理厂设施进行升级，并引入油脂和食物垃圾之后来进行联合厌氧消化，投资了大概860万美元。

具体改进包括增加固体废弃物处理能力，引进新型绝缘、增强混合技术，以及先进的管理控制和数据采集（SCADA）系统。作为项目的一部分，Quasar将安装沼气升级系统，以便能够销售可再生压缩天然气车用燃料。通过城市生物固体废弃物和区域有机物质产生的能源足以支持厌氧消化池、污水处理厂和邻近的水处理厂的运行。

目前其产生的甲烷一半满足自身电力需求，一半卖给电力公司，因此每年可节省约40万美元的电力成本。

小结：

与费城案例相似，可以反映联合厌氧消化方式在不同城市的都得到应用。

以厌氧消化技术路线为主的市政污泥低碳处理方案不仅在国外已经得到普遍运用，在中国部分城市也开始了推广和应用，例如北京和深圳等城市。在以下分享的中国城市的实践经验中，将看到在污泥厌氧消化处理过程中产生的沼气用于发电，产生的沼渣则进行土地利用。其中深圳的案例也采用了联合厌氧消化的方式对污泥进行处理。与国际实践不同，深圳案例以餐厨垃圾处理为主，通过接收部分市政污泥来增加沼气的产量；而国际案例中以市政污泥处理为主，同时接收餐厨垃圾来进行联合消化。通过不同方式的联合厌氧消化，两者都提高了沼气产量。

案例12：北京市政污泥厌氧消化——有机垃圾处理后形成多品类产品

北京昊业怡生科技有限公司（CanFit）是一家拥有15年历史的废弃物处理和回收公司，总部位于北京中关村高新技术园区。Canfit成立于2002年，现已发展成为中国发展最快的废弃物处理公司之一。CanFit主要关注厨余垃圾和收集的粪便污泥的处置和回收，CanFit的设备和服通过北京市政府认证，能够为该市提供废弃物处理服务。目前，通过联合厌氧消化，沼渣沼液被制成堆肥（70%）和生物炭（30%），由于生物炭的价格较高，CanFit计划尽快将所有的沼渣沼液转化成生物炭。每日沼气产生量从1000到3000立方米不等。

CanFit计划将有机垃圾处理成以下产物：1）沼气，其中一部分用于升级为生物甲烷（甲烷含量为93%），每日沼气产生量从1000到3000立方米不等；2）乙醇（实验阶段）；3）生物燃料（由漂浮脂肪、地沟油、隔油池油脂和餐厅用过的油转化而来的生物柴油）；4）生物炭（在桶中固体沼渣、沼液、沼气的碳化作用下产生）；5）果蔬生物洗涤剂等。

小结：

项目采用了联合厌氧消化方式来提高沼气产量的同时，也对沼液和沼渣的处理处置进行了实验性的运用，可以为以后厌氧消化方式的推广提供技术支持。

案例13：广东省深圳市市政污泥厌氧消化实践——联合厌氧消化中国因地制宜的实践

深圳市城市管理局与深圳市利赛环保科技有限公司（以下简称利赛）签署了《深圳市城市生物质垃圾处置工程BOT项目特许经营协议》。协议商定设计建设处理规模为500吨/日的生物质垃圾处置工程，处理对象包括污泥（300吨/日）和餐厨垃圾、厨余垃圾、菜场垃圾（200吨/日）等。工程投资为2.5亿元。

同时，深圳龙华新区城市管理局与利赛于2015年12月签署了《深圳市龙华新区餐厨垃圾等委托收集运输和处置协议》，协定由利赛提供龙华新区范围内的餐厨垃圾、厨余垃圾、菜场垃圾及其它性质相似的生物质垃圾的收运及处置服务。协议特许经营权期限为10年，自利赛取得餐厨垃圾收运处置经营许可证之日起计算。

项目处理对象为餐厨垃圾和市政污泥，从污水厂进来的污泥（含水量80%）经过热水解脱水与餐厨垃圾一起厌氧消化。产生的沼气可以为园区提供电力支持。

小结：

项目同样采用联合厌氧消化，以餐厨垃圾处理为主，通过接收部分市政污泥来增加沼气的产量。而上文提到的国际案例中，联合厌氧消化是以市政污泥为主，通过接收餐厨垃圾来实现沼气增加。因此，联合厌氧消化具有一定灵活性，需要因地制宜来才能发挥良好效果。

案例14：高碑店污泥处理厂项目——适用于北京的特色案例

高碑店污泥高级厌氧消化项目依托于高碑店再生水厂的整体运营，运行模式为特许经营。北京市水务局代表市政府与北京城市排水集团有限责任公司签署了《北京市中心城区污水处理和再生水利用特许经营服务协议》，将本市中心城区污水处理和再生水利用服务特许经营授予北京排水集团，特许经营期30年。根据特许经营服务协议，市政府向企业购买公共服务并加强监管，企业作为投融资、建设、运营主体提供专业服务。项目实行建设-拥有-经营（BOO）模式，30%申请政府固定资产投资，70%通过银行贷款解决。

该项目2016年10月开始调试，2017年7月全线生产。污泥处理单元采用“污泥浓缩+预脱水+热水解+厌氧消化+板框脱水”工艺。消化污泥经过板框脱水，脱水滤液经过厌氧氨氧化处理后回流污水厂进口，脱水泥饼作为有机营养土进行土地利用。同时，在此过程中产生的沼气发电，进入厂内电网，电力净输出潜力为1534万千瓦时，约折合1227万元人民币。

小结：

在全新的水环境治理模式下，北京市中心城区排水和再生水利用设施能力和水平将有大幅度提升，在排水管网收集及防汛、污水处理、污泥处置等方面，能够全面落实国家和北京市在减排、环保方面的要求，提高北京水环境的质量；同时，通过大力推进污水再生利用、污泥资源化利用，还可加强北京水资源建设和循环经济发展。

4. 废弃物处理的温室气体排放的监测、报告与核查（MRV）

尽管目前中国城市的温室气体排放主要来自工业、交通和建筑等领域，但是随着城镇化进程中废弃物的产量的增长，来自废弃物处理过程中的甲烷等温室气体也在增加。本章节将关注城市在废弃物管理中对温室气体的监测、报告和与核查（Monitoring-Reporting-Verification, MRV）体系。这一体系不仅可以确保温室气体排放及减排行动中数据的精确可靠，同时也助于量化的理解中国城市中的低碳行动对实现国家温室气体减排目标的贡献程度。

4.1 中国城市废弃物处理MRV体系现状

中国一直积极构建国家、地方、企业三级温室气体MRV体系。自2009年碳强度下降目标作为约束性指标被纳入国民经济和社会发展中长期规划，中国不断探索和推进温室气体排放MRV的能力建设。2011年，国家发展改革委发布了《关于印发省级温室气体清单编制指南（试行）的通知》，以确保地方温室气体编制的科学性、操作性、规范性，以及数据方法的透明、格式一致等。

中国低碳城市编制温室气体排放清单中包括固体废弃物填埋、焚烧、工业污水、生活污水等处理过程中的排放量。废弃物行业排放数据监测是采取间接监测方法，主要参考IPCC国家温室气体清单指南和中国省级温室气体清单编制指南中的方法和排放因子。2013年国家发展改革委和国家统计局发布了《关于加强应对气候变化统计工作的意见的通知》。根据该通知，温室气体排放基础统计体系中废弃物处理需要“增加生活垃圾填埋场填埋气处理方式、填埋气回收发电供热量以及垃圾焚烧发电供热量的统计，并选择典型城市进行垃圾成分专项调查。增加生活污水生化需氧量（BOD）排放量及去除量、污水处理过程中污泥处理方式及其处理量的统计与调查。”2017年国家统计局开始试行应对气候变化部门统计报表制度，为国家温室气体排放清单编制和排放核算提供基础统计资料。城镇污水处理厂及污水集中处理装置是其统计范围之一。从主管机构职责划分上，由住房和城乡建设系统负责城市固体废弃物处理统计调查，环境保护系统与住房和城乡建设系统共同负责完善污水排放和处理统计调查工作。

总体而言，尽管废弃物行业是中国温室气体清单编制的重要领域之一，但是无论从国家还是地方层面而言，城市废弃物处理行业的MRV体系仍处于起步阶段，只有原则性规定，还缺乏针对性、系统性设计和制度建设，以及具体的试点实践活动。加强废弃物行业减排活动需要建立强有力的MRV体系。借鉴国际经验，可以推动废弃物行业MRV体系的规范化和标准化，促进企业减少温室气体排放。

4.2 城市废弃物行业MRV体系设计与建设

建立MRV体系首先应该明确目的。常见的MRV体系可以记录项目运行时的直接测量的数据（例如垃圾产生量或甲烷排放量），也可以记录运行项目的效果（例如温室气体减排量）。本指南旨在推动温室气体减排，因此本节将着重讨论如何设计与建设MRV使其可以监测和计算项目所带来的温室气体减排量。

4.2.1 MRV体系设计的准备工作

识别利益相关方

在设计MRV体系时应考虑到不同利益相关方的协调与合作，以提高数据和信息的准确性和一致性。一个有效的MRV体系应清晰地定义每个参与方的角色与职责，并明确规定每个参与方所负责的或可获取的数据信息。MRV体系的主要参与部门包括MRV设施或项目运营方/上报机构、数据核查方、以及数据收集方（通常为政府机构），还有可能涉及到的参与方包括项目投资人以及温室气体减排量的购买方。

在设计MRV体系时，应与利益相关方及时沟通，确保最终体系的可行性与有效性。例如，设计者可与设施工作人员咨询当前技术下可收集的数据类型以及收集新数据所带来的工作量和资源需求。另外，实施MRV体系时应保证各参与方在各个环节有足够的资源和技术支持。这些资源与支持不仅限于资金及人员的支持，同时也包括技术指导意见、监测计划模板、对常见问题的统一回答等。与各参与方的及时沟通与反馈有助于确认最重要的资源需求。

确定体系边界与范围

MRV体系应有明确的边界，以便于准确、全面地计算减排量。一般来说，体系应包括垃圾和污泥的产生、收集、运输、处置和回收环节所造成的温室气体排放。

基准线

计算由项目导致的减排量需比较项目实施后的排放量与基准线的差。基准线的计算一般基于项目实施前几年数据的平均值。计算基准线时一般需要考虑往年垃圾排放量、垃圾成分、垃圾处理方式等。例如德国国际合作机构（GIZ）发布的《城市生活垃圾管理温室气体减排MRV模型》，里面介绍了基准线设定和计算的具体方式。

4.2.2 MRV体系设计

监测计划

监测计划一般记述项目设施的基本信息、应被收集的收集数据、如何记录整合并上报相关数据以及确保数据质量的相关措施。

计算减排量

数据收集及计算的方法学应参考IPCC或清洁发展机制(Clean Development Mechanism, CDM)指导意见。具体的计算模型可参考已有的工具。上文提及的由GIZ撰写的《城市生活垃圾管理温室气体减排MRV模型》提供了针对生活垃圾的全过程减排模型和计算方式。气候和清洁空气联盟城镇固体废弃物行动（Climate and Clean Air Coalition Municipal Solid Waste Initiative）开发了固体废弃物排放评估工具（Solid Waste Emissions Estimation Tool, SWEET）。对于污水处理行业，全球甲烷行动提供了一款称之为污泥产沼评估技术工具（Biogas Wastewater Assessment Technology Tool, BioWATT），用于计算污水处理产生的沼气用于发电后减少的温室气体排放量。附录A提供了一些用于量化温室气体减排的分析工具和资源，以及上述工具。这些资源和工具的使用需要根据具体城市和设施情况进行调整。

数据缺失的替代方案

数据监测及收集设备难免在运行期间发生故障，从而导致数据缺失。MRV体系应包含对缺失数据的替代方案。一般来说，应使用较为保守的、且受其他数据支持的替代方案。

上报数据

本指南讨论的MRV体系一般由政府作为上报数据的收集与整理方。地方政府在考虑收集的数据点时应考虑到数据用途。如果收集的数据与其他国家或地方的上报体系收集的数据有重叠，应尽量保证与现收集数据的一致，以减少设施上报负担并增强数据通用性。低碳城市可参考相关的温室气体排放清单所收集的数据，以便体现生活垃圾及污水污泥处理项目的温室气体减排效益在城市整体减排中的角色。通常，最基本的上报数据包括项目基本信息、上报年份、减排量及其他用以计算减排量的重要相关数据点。

数据核查

数据核查一般应由有官方认可的独立第三方进行。国际上有International Accreditation Forum (IAF) 组织对第三方进行授权认可。政府也可根据中国的实际情况挑选可靠的核查方。数据核查一般应遵守一定的标准，例如国际通用的ISO 14064-3:2019 温室气体——第三部分：温室气体报告核查细则（Greenhouse Gases -- Part 3: Specification with Guidance for the Verification and Validation of Greenhouse Gas Statements）或为中国或项目单独制定的规定，如清洁发展机制的项目活动核查标准（CDM Validation and Verification Standard for Project Activities）或者核证减排标准（VCS Standard）。数据核查的标准一般遵循实质性（materiality）和保证水平（level of assurance）两个标准。实质性指核查方应保证缺失数据或计算错误等因素对计算出的减排量的影响不超过百分之五。保证水平指对上报数据的置信度（degree of confidence）

5. 政策建议

本指南从温室气体减排的视角来关注城市在生活垃圾和市政污泥处理处置过程中的良好实践，展现城市基于自身条件以及相应的政策、技术和资金环境下进行的探索。尽管良好实践的案例城市在人口规模和经济发展水平上各有不同，但是这些良好实践行之有效的因素也有共性。城市决策者可以通过参考这些实践经验来推动城市在废弃物管理领域的绿色低碳发展，从而助力城市应对气候变化行动。

- 按照源头削减、分类回收和资源利用的原则进行生活垃圾的管理。通过源头减量从生产端就减少生活垃圾的产生，通过垃圾分类提高垃圾的资源化利用。指南中提到各地开始现在实施的生活垃圾强制分类就是一个显著的例子。此外，由于厨余垃圾是中国城市生活垃圾的主要构成成分，且影响生态环境和气候变化，因此建立对易腐有机组分例如家庭厨余垃圾和餐饮垃圾管理尤为重要。
- 通过立法保障和政策衔接来实现生活垃圾和市政污泥的系统性全流程管理。由于两者的产生、运输到处理处置会涉及到不同的管理部门，通过立法形式对废弃物的全流程进行制度性的规范和约束可以打破管理壁垒，同时有利于推动各环节政策的衔接。指南中的案例显示，无论是生活垃圾还是市政污泥的低碳化处理处置，沼气的资源化利用，例如上网发电或者是并入管网，都需要不同部门合作，而沼渣的处理更是需要部门政策的衔接才能得以实现。
- 通过统筹规划与协同处理提高废弃物管理的经济性。通过废弃物处理设施的统筹规划可以降低企业投资和运营成本，提高企业经济效益。如报告中最佳实践案例所示，餐厨垃圾处理过程中产生的污水和废渣需要分别由污水处理厂和垃圾焚烧厂来处理，因此如果三家工厂都在同一园区将有利于降低废弃物处理的成本。除此以外，餐厨垃圾在厌氧消化的过程中也可以通过加入市政污泥来提高其沼气产量，从而提升经济效益，反之亦可行。
- 建立废弃物处理温室气体排放的MRV体系，为城市低碳减排提供政策依据。通过监测、报告和核查废弃物处理的温室气体排放，可以提高温室气体排放数据收集的常规性和科学性，从而为城市低碳减排的政策制定建立数据基础。
- 建立多方参与机制推动有效的废弃物管理和政策实施。城市废弃物管理中涉及到从市政部门、研究机构、企业和居民等不同的参与主体，通过建立多方参与机制可以让不同的诉求和声音在政策制定和实施中得以体现，不仅可以提高利益相关方的参与积极性也可以更有效的对废弃物管理进行监督和反馈。

附录A 废弃物和污水处理评估工具和资源国际示例

A-1 美国环境保护署(EPA)、全球甲烷行动 (GMI) 及气候和清洁空气联盟 (CCAC)

【排放建模工具】

Landfill Gas Models

填埋气模型

- 国家或地区特定工具（包括中国），用于模拟垃圾填埋场的填埋气产生
- 仅适用于固体废弃物（不适用于污水）
- 形式：基于Excel
- 参考网址：<https://globalmethane.org/sectorres/technicalgroup.aspx?s=msw>

Materials Recovery Greenhouse Gas Calculator for Communities

适用于社区的物质回收温室气体排放量计算器

- 帮助社区领导者评估因实施新的或扩展的政策和计划导致的生命周期温室气体减排量
- 作为废弃物减排模型（Waste Reduction Model, WARM）工具的补充（见下）
- 适用于美国的固体废弃物（不适用于污水）
- 形式：基于 Excel
- 参考网址：<https://www.epa.gov/warm/policy-and-program-impact-estimator-materials-recovery-greenhouse-gas-ghg-calculator>

Solid Waste Emissions Estimation Tool

固体废弃物排放估算工具，SWEET

- 在项目、来源和市政层级量化所选污染物的排放量和减排量的工具
- 可在国际范围使用，仅适用于固体废弃物（不适用于污水）
- 形式：基于 Excel；并提供用户手册、示范城市和其他应用的背景信息
- 参考网址：<http://www.waste.ccacoalition.org/document/solid-waste-emissions-estimation-tool-sweet-version-20>

【可行性评估工具】

Biogas Wastewater Assessment Technology Tool

沼气污水评估技术工具，BioWATT

- 根据基本用户的输入信息提供有关污水再生能源项目的初步可行性评估
- 可在国际范围使用，仅内适用于污水（不适用于固体废弃物）
- 形式：基于Excel，并提供用户手册
- 参考网址：<https://globalmethane.org/sectors/technicalgroup.aspx?s=ww>

Landfill Gas Project Screening Tool

填埋气项目筛选工具

- 用于在国际范围内评估特定垃圾填埋场的填埋气再生能源项目可行性的工具
- 可在国际范围使用，仅适用于固体废弃物（不适用于污水）
- 形式：基于Excel
- 参考网址：<http://www.waste.ccacoalition.org/document/landfill-gas-project-screening-tool-version-2>

Anaerobic Digester Project Screening Tool

厌氧消化池项目筛选工具

- 用于评估厌氧消化池可行性的工具
- 预估沼气和沼渣沼液产出量
- 形式：基于Excel
- 参考网址：<http://www.waste.ccacoalition.org/document/anaerobic-digester-project-screening-tool>

Co-Digestion Economic Analysis Tool

联合厌氧消化经济分析工具，CoEAT

- 重点是在美国的水资源回收设施中添加有机物质，以进行联合厌氧消化
- 评估污水处理厂利用食物垃圾联合厌氧消化来生产沼气的初步经济可行性
- 形式：基于Excel，并提供用户手册
- 参考网址：<https://www.epa.gov/anaerobic-digestion/anaerobic-digestion-tools-and-resources#CoEAT>

Cost Estimating Tool for Managing Source-Separated Organic Waste

有关源头分类有机废弃物处理的成本估算工具，OrganEcs

- 地方政府、废弃物处理专业人员、政策制定者、设施运营商和项目开发人员可以使用此工具来帮助制定与有机废弃物处理相关的财务决策
- 可在国际范围内使用，适用于有机废弃物处理
- 形式：基于Excel，工具内附有说明
- 参考网址：<http://www.waste.ccacoalition.org/document/organecs-cost-estimating-tool-managing-source-separated-organic-waste>

【项目开发 and 运营指导】

International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects

（在国际范围内使用的填埋气再生能源项目优秀实践指南）

- 概述填埋气再生能源项目开发，包括可能影响项目成功的技术、经济和政治因素
- 可在国际范围内使用仅适用于固体废弃物（不适用于污水）
- 形式：说明性报告
- 参考网址：<https://globalmethane.org/sectors/technicalgroup.aspx?s=msw>

Technical Guidance on the Operation of Organic Waste Treatment Plants

有机废弃物处理厂运营的技术指导

- 向地方当局、设备供应商和工厂经理提供相关技术指导的报告
- 适用于有机废弃物处理、规划和资金
- 参考网址：<http://www.waste.ccacoalition.org/document/technical-guidance-operation-organic-waste-treatment-plants>

【其他工具和资源】

Managing and Transforming Waste Streams: A Tool for Communities

废物流处理和转化：社区工具

- 提供 100 项措施，社区可采取这些措施来减少废弃物和回收物质（不包括污水）
- 提供有关美国和加拿大社区的 300 多个实施示例，包括当地法令和项目网站的链接
- 形式：网页界面和Excel
- 参考网址：<https://www.epa.gov/transforming-waste-tool>

Municipal Solid Waste Decision Support Tool

城市固体废弃物处理决策支持工具，MSW DST

- 使用户能够模拟现有的城市固体废弃物处理实践，并根据成本和环境目标对新策略进行情景分析
- 形式：基于Excel；并提供用户手册、教程参考网址：<https://mswdst.rti.org/>

Materials Management Wizard

物质管理向导，MWiz

- 交互式网络应用程序，允许用户在线搜索美国环境保护署 物质处理工具和资源数据库，旨在支持和促进可持续的物质处理和社区规划
- 仅适用于美国的固体废弃物（不适用于污水）
- 参考网址：<https://www.epa.gov/sustainability/mwiz>

Waste Reduction Model

废弃物减排模型，WARM

- 仅适用于美国的固体废弃物（不适用于污水）
- 帮助固体废弃物处理规划者和组织跟踪，并自愿报告在多个不同的废弃物处理实践中实现的温室气体减排量
- 形式：有开放式生命周期评估软件和 Excel 两种格式
- 参考网址：<https://www.epa.gov/warm>

Waste to Biogas Mapping Tool

废弃物与沼气映射工具

- 创建交互式地图以便在有机废弃物来源（例如，油脂熔解设施、食物加工设施）与潜在用户之间建立联系，以进行联合厌氧消化和沼气回收
- 参考网址：<https://www3.epa.gov/region9/biogas/purpose.html>

A-2 世界银行

World Bank Data Collection Tool for Urban Solid Waste Management

世界银行城市固体废弃物处理数据收集工具

- 可在国际范围内使用，仅适用于固体废弃物（不适用于污水）
- 通过标准化方法收集特定城市现有固体废弃物收集和处理实践的相关数据
- 形式：基于Excel，并提供用户手册
- 参考网址：<https://globalmethane.org/sectors/technicalgroup.aspx?s=msw>

A-3 政府间气候变化专门委员会 (IPCC)

IPCC Waste Model

IPCC 废弃物模型

- 属于 2006 年 IPCC 国家温室气体盘查指南的一部分
- 估算固体废弃物处置场所的甲烷排放量
- 可在国际范围内使用，仅适用于固体废弃物（不适用于污水）
- 形式：基于Excel
- 参考网址：<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>

A-4 其他工具和资源

International Solid Waste Association

国际固体废弃物协会 (ISWA)

Field Procedures Handbook for the Operation of Landfill Biogas Systems

垃圾填埋场沼气系统现场运行程序手册

- 参考网址：https://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUid=123

White Paper on Alternative Waste Conversion Technologies

替代废弃物转化技术白皮书

- 参考网址：http://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUid=3155

A-5 州政府和地方政府

Best Practices for Local Government Solid Waste Recycling, Diversion from Landfill and Waste Reduction

有关地方政府固体废弃物回收、垃圾填埋场分流和废弃物减排的优秀实践

- 参考网址：<http://charmack.org/mecklenburg/county/luesa/solidwaste/managementplan/documents/bestpracticesrecyclingstudy.pdf>

Technologies and Management Options for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Landfills

有关减少垃圾填埋场温室气体排放的技术和处理方案

- 参考网址：<http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Documents/Facilities%5C20008001.pdf>

A-6 国际政府或协会

Advanced Biological Treatment of Municipal Solid Waste

有关城市固体废弃物的先进生物处理技术

- 参考网址: <https://www.gov.uk/government/publications/advanced-biological-treatment-of-municipal-solid-waste>

Biological Treatment of Solid Waste—Technologies

固体废弃物的生物处理技术

- 参考网址: <http://www.climatechwiki.org/category/2006-ipcc-sector-categorization/waste/biological-treatment-solid-waste>

Developing Integrated Solid Waste Management Plan—Training Manual, Volume 1: Waste Characterization and Quantification with Projections for Future

制定固体废弃物综合处理计划—培训手册, 第1卷: 根据预测进行废弃物特征描述和量化

- 参考网址: <http://www.unep.or.jp/ietc/SPC/publications.asp> (共4卷)

Energy from Waste: A Guide to the Debate

废弃物再生能源: 辩论指南

- 参考网址: <https://www.gov.uk/government/publications/energy-from-waste-a-guide-to-the-debate>

Enhancing Participation in Kitchen Waste Collections

加强厨余垃圾收集的参与度

- 参考网址: <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=14743>

Food and Garden Organics Best Practice Collection Manual

有关食物和庭园有机废弃物收集的优秀实践手册

- 参考网址: <http://www.environment.gov.au/protection/national-waste-policy/publications/food-and-garden-organics-best-practice-collection-manual>

Greenhouse Gas Impacts of Biowaste Management

温室气体对生物废弃物处理的影响

- 参考网址: <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=14744>

Landfill Guidance: Engineering, Waste Acceptance, Monitoring, Gas Management, Permitting

垃圾填埋指导: 工程、废弃物接收、监测、气体管控、许可

- 参考网址: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140328092228/http://www.environment-agency.gov.uk/business/sectors/108918.aspx>

Landfill Gas Management Facilities Design Guideline

填埋气处理设施设计指南

- 参考网址: <http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/waste-management/garbage/designguidelinesfinal.pdf>

Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste

城市固体废弃物的机械生物处理

- 参考网址: <https://www.gov.uk/government/publications/mechanical-biological-treatment-of-municipal-solid-waste>

The Waste Treatment Plant

废弃物处理厂

- 参考网址: <http://www.waste.ccacoalition.org/document/waste-treatment-plant>

Toward Sustainable Municipal Organic Waste Management in South Asia

推动可持续的南亚城市有机废弃物处理实践

- 参考网址: <https://www.adb.org/publications/toward-sustainable-municipal-organic-waste-management-south-asia>

Waste to Energy—Treatment of Residual Waste

废弃物再生能源—剩余废弃物的处理

- 参考网址: <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/service/publikationen/pdf/waste-to-energy-en.pdf>

Global Methane Initiative

全球甲烷行动

- 参考网址: <https://globalmethane.org/sectors/technicalgroup.aspx?s=msw>
- 参考网址: <https://globalmethane.org/sectors/technicalgroup.aspx?s=ww>

CCAC Municipal Solid Waste Initiative

气候和清洁空气联盟 城市固体废弃物处理倡议

- 参考网址: <http://www.waste.ccacoalition.org/tool>

U.S. EPA Food Recovery Challenge

美国环境保护署 食物回收挑战

- 参考网址: <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/food-recovery-challenge-frc>

U.S. Department of Agriculture Food Waste Challenge

美国农业部食物垃圾挑战

- 参考网址: <https://www.usda.gov/oce/foodwaste/index.htm>

U.S. EPA Landfill Methane Outreach Program

美国环境保护署垃圾填埋场甲烷延伸计划

参考网址: <https://www.epa.gov/lmop/list-publications-tools-and-resources>

Water Environment Foundation

水环境基金会

参考网址: <http://wefcom.wef.org/home>

The Water Research Foundation

水研究基金会

参考网址: http://www.werf.org/i/ka/Climate_Change/a/ka/ClimateChange.aspx?

Carbon Footprint Control

碳足迹控制

参考网址: <http://cfootcontrol.gr/>

Canada

加拿大

参考网址: <https://www.ccme.ca/en/resources/waste/biosolids.html>

Low Emission Development Strategies Global Partnership

低排放发展战略 (LEDS) 全球合作伙伴关系

参考网址: http://ledsgp.org/resources/?loclang=en_gb

附录B 中国生活垃圾和市政污泥处理相关的政策法规

B-1 生活垃圾处理处置政策和法规

时间	政策行动	说明
2000	《关于公布生活垃圾分类收集试点城市的通知》	北京、上海、广州、深圳、杭州、南京、厦门和桂林8个城市开始了生活垃圾分类收集试点。
2000	《城市生活垃圾管理办法》	对垃圾的清运、处置等过程以及生活垃圾的监督管理做出了详细规定。
2010	《关于加强地沟油整治和餐厨废弃物管理的意见》	强调加强餐厨废弃物管理。
2015	《关于公布第一批生活垃圾分类示范城市(区)的通知》	选择26个城市(区)作为分类示范城市(区)。
2017	《关于加快推进部分重点城市生活垃圾分类工作的通知》	在46个重点城市(包括直辖市、省会城市、计划单列市和第一批生活垃圾分类示范城市)先行实施生活垃圾强制分类。
2017	《生活垃圾分类制度实施方案》	强制分类类别包括有害垃圾、餐厨垃圾和可回收垃圾。
2020	《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》	国家推行绿色发展方式,促进清洁生产和循环经济发展。国家推行生活垃圾分类制度。
2021	《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》	到 2025 年底,全国生活垃圾分类收运能力达到70万吨/日左右,基本满足地级及以上城市生活垃圾分类收集、分类转运、分类处理需求;鼓励有条件的县城推进生活垃圾分类和处理设施建设。

B-2 市政污泥处理处置政策、法规和标准

时间	政策行动	说明
1993	《城市污水处理厂污水污泥排放标准》(CJ3025-93)	要求城市污水处理厂污泥宜进行脱水处理,其含水率宜小于80%。
2000	《城市污水处理及污染防治技术政策》	规定城市污水处理产生的污泥,应采用厌氧、好氧和堆肥等方法进行稳定化处理,也可采用卫生填埋方法予以妥善处理。经过处理后的污泥,达到稳定化和无害化要求的可农田利用,否则应按有关标准和要求进行卫生填埋处置。

时间	政策行动	说明
2002	《城镇污水处理厂污染物排放标准》	该标准规定了污泥稳定化处理后的指标：无论是厌氧消化还是好氧消化有机物降解率都要大于40%；并进一步规定了含水率、蠕虫卵死亡率、粪大肠菌群值等指标限值。
2009	《城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策(试行)》	明确了污泥处理处置的技术路线，规定在安全、环保和经济的前提下实现污泥的处理处置和综合利用。
2009	《城镇污水处理厂污泥泥质》(GB24188-2009)	规定了城镇污水处理厂污泥中污染物的控制项目和限值。
2009	《城镇污水处理厂污泥处置分类》(GB/T 23484-2009)	明确了污泥处置分类方式。
2009	《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》(GB/T 23486-2009)	规定了城镇污水处理厂污泥园林绿化利用的泥质指标及限值、取样和监测等。
2009	《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质》(GB/T 24600-2009)	规定了污泥处置土地改良用泥质标准。
2009	《城镇污水处理厂污泥处置单独焚烧用泥质》(GB/T24602-2009)	规定了污泥处置单独焚烧用泥质标准。
2009	《城镇污水处理厂污泥处置混合填埋用泥质》(GB/T 23485-2009)	规定了污泥处置混合填埋用泥质标准。
2010	《城镇污水处理厂污泥处置制砖用泥质》(GB/T 25031-2010)	规定了污泥处置制砖用泥质标准。
2010	《城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治最佳可行技术指南》(试行)	筛选出了污泥处理处置的最佳可行技术。
2011	《关于加强城镇污水处理厂污泥污染防治工作的通知》	要求各级地方政府加快污泥处理设施建设。

时间	政策行动	说明
2011	《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南(试行)》	为城镇污水处理厂污泥处理处置工作从总则、污泥的来源与性质、污泥处理处置的技术路线与方案选择、污泥处置方式及相关技术、应急处置与风险管理等方面进行了规划。
2015	《水污染防治行动计划》 （“水十条”）	要求推进污泥处理处置。污水处理设施产生的污泥应进行稳定化、无害化和资源化处理处置，禁止处理处置不达标的污泥进入耕地。
2016	《土壤污染防治行动计划》 （“土十条”）	鼓励将处理达标后的污泥用于园林绿化。
2018	《农用污泥污染物控制标准》 (GB 4284-2018)	规定了城镇污水处理厂污泥农用时的污染物控制指标、取样、检测、监测和取样方法。

附录C 废弃物和污水处理政策、法律和法规国际示例

C-1 欧盟废弃物和污水处理政策示例

欧洲是固体废弃物处理实践和垃圾填埋场废弃物分流方面的世界领先者。截止到2014年，欧盟内27个州将固体废弃物填埋总量从1995年的1.44亿公吨降至66,00万公吨，减少54%。

文件	说明
废弃物框架指令，欧洲议会和理事会 2008年11月19日第2008/98/EC号指令 参考网址： https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098	该指令为欧盟内废弃物处理建立法律框架，确定了与废弃物处理相关的基本概念和定义，并制定与废弃物有关的所有其他欧盟立法的废弃物处理原则，例如“污染者付费原则”和“废弃物处理层级”。该指令为成员国制定废弃物处理框架，并且纳入生产者责任延伸制度。
关于废弃物填埋的指令，欧洲理事会 1999年4月26日第1999/31/EC号指令 参考网址： https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A31999L0031	该指令旨在防止或减少垃圾填埋场对环境的不利影响。其中定义了不同类型的废弃物（城市废弃物、有害废弃物、无害废弃物和惰性废弃物），并适用于所有垃圾填埋场。垃圾填埋场分为三类：有害废弃物填埋场、无害废弃物填埋场和惰性废弃物填埋场。该指令要求成员国尽量将运往垃圾填埋场的可生物降解废弃物数量到2006年、2009年和2016年分别降到75%、50%和35%，并且在处置之前进行处理。该指令还对任何垃圾填埋场不接收的废弃物作了界定，并建立垃圾填埋场运营许可制度。该指令于2009年8月16日全面生效。
2015年欧盟(家庭食物垃圾和生物废弃物)法规，430/2015法定文件 参考网址： https://www.ecolex.org/details/legislation/european-union-household-food-waste-and-bio-waste-regulations-2015-si-no-191-of-2015-lex-faoc145934/	该法规于2015年颁布，禁止将食物垃圾丢入剩余废弃物中，或以任何方式改变废弃物，例如粉碎。欧盟居民可以选择通过以下方式实现食物垃圾分流： ● 源头分类收集（强制要求）。 ● 在家制成堆肥。 ● 自行拖运到处理设施（例如厌氧消化处理厂）。
城市污水处理指令，欧洲理事会 1991年5月21日第91/27/EEC号指令 参考网址： https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM:l28008	该指令涉及城市污水收集、污水处理和排放，以及特定工业部门的污水处理和处置。该指令要求在人口当量超过2,000人的城市群中实行污水收集和处，并且在敏感地区人口当量超过10,000人的地点实行更先进的处理方案。 该指令要求在以下地点建设 污水处理厂： ● 截至 1998年12月31日，所有人口当量超过10,000人的地点（将污水排入敏感地区）。 ● 截至 1998年12月31日，所有人口当量超过15,000人的地点（将污水排入“正常地区”）。 ● 截至2005年12月31日，所有人口当量介于2,000–10,000人的地点（将污水排入敏感地区）。 ● 截至2005年12月31日，所有人口当量介于10,000–15,000人的地点（不会将污水排入敏感地区）。

C-2 美国各州废弃物处理立法政策示例

虽然美国没有联邦有机废弃物处理政策，但各州已制定各自的不同政策（例如，24个在州范围内实施的禁令禁止填埋有机废弃物）。

州名	政策说明
加利福尼亚州	强制性商业有机废弃物回收（MORE），AB 1826 参考网址：https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM:l28008 适用于事务所、合伙企业、公司和协会等商业或公共实体（营利性或非营利性）；适用于拥有五个以上单元的多户型住宅，以及园林绿化服务。 根据实施时间表，所涉实体应安排有机废弃物回收服务。 2006年全球变暖解决方案法案，AB 32 参考网址：https://www.arb.ca.gov/cc/ab32/ab32.htm 到2020年，加利福尼亚州旨在将温室气体排放量减少到1990年的水平。
康涅狄格州	商业有机废弃物回收法，第11-217号公法（依据第13-285号公法修正） 参考网址： http://www.ct.gov/deep/cwp/view.asp?a=2718&q=552676&deepNav_GID=1645 适用于商业食物批发商/经销商、工业化食物制造商/加工商、超市、度假村和会议中心。 在可接收有机废弃物的许可回收设施20英里范围内的所有企业都必须确保有机物质可回收利用。
马萨诸塞州	商业有机废弃物处置禁令，310 CMR 19.000 参考网址：https://www.mass.gov/guides/commercial-food-material-disposal-ban 适用于任何个人、合伙企业、协会、事务所、公司、企业、部门、机构、团体或公共机构（包括城市、城镇、地区、县、主管、州、联邦或其他政府单位）。 禁止在固体废弃物处理设施中处置/焚化/分流任何有机物质。
新泽西州	第3027号参议院法案，2017年6月 目标：到2030年，食物垃圾产生量在2017年的基础上减少50%。 第S-2360/3030号参议院法案 有关K-12学校和高等教育机构减少、回收和重复利用食物垃圾的自愿性指导准则。 第S-3026号参议院法案 扩大直接面向个人的捐款责任保护。 参考网址： http://www.njspotlight.com/stories/17/07/23/by-2030-state-looks-to-reduce-food-waste-by-50-percent/

州名	政策说明
罗德岛州	有机废弃物禁令，罗德岛州普通法 Ann. § 23-18.9-17 参考网址： http://www.njspotlight.com/stories/17/07/23/by-2030-state-looks-to-reduce-food-waste-by-50-percent/ 适用于商业食物批发商或经销商、工业化食物制造商或加工商、超市、度假村或会议中心、宴会厅、餐厅、宗教机构、军事设施、监狱、企业、医院或其他医疗机构、赌场和室内教育设施。 影响在授权堆肥设施或厌氧消化设施15英里范围内，并且目前有能力接收此类物质的实体。 如果垃圾填埋场倾倒费低于企业15英里范围内的授权堆肥或厌氧消化设施所收取的费用，则免除。
佛蒙特州	通用回收法：第148号法案 参考网址：http://dec.vermont.gov/waste-management/solid/universal-recycling 适用于任何个人、合伙企业、公司、企业、协会、非法人团体、合资企业、信托或市政当局；佛蒙特州或佛蒙特州的任何机构、部门或分部；任何联邦机构，或任何其他法律或商业实体。 到2020年完全禁止填埋食物残渣。

C-3 制定零废弃物目标的美国主要城市

近年来，许多美国主要城市社区宣布减排或分流目标（例如零废弃物），目标截止日期从几年到几十年不等。

市/州 (2015 年人口)	零废弃物目标进展
纽约州纽约市 (8,550,405)	到2030年废弃物产生量降低90%（相对于2005年的水平）
加利福尼亚州洛杉矶 (3,971,883)	到2025年实现零废弃物排放
加利福尼亚州圣迭戈 (1,394,928)	到2020年废弃物产生量降低75%，到2035年降低90%，到2040年实现零废弃物排放
德克萨斯州达拉斯 (1,300,092)	到2020年废弃物产生量降低40%，到2030年降低60%，到2040年实现零废弃物排放
德克萨斯州奥斯汀 (931,830)	到2040年实现零废弃物排放（2013年：食物废弃物预防年）
加利福尼亚州旧金山 (864,816)	到2020年实现零废弃物排放
华盛顿州西雅图 (684,451)	到2025年废弃物产生量降低 70%
华盛顿哥伦比亚特区 (672,228)	自2016年起禁止使用发泡胶餐饮服务产品；推行零废弃物计划，旨在实现80%的废弃物分流（未提供日期）
加利福尼亚州奥克兰 (419,267)	到2020年实现零废弃物排放
明尼苏达州明尼阿波利斯 (410,939)	到2020年废弃物产生量降低50%，到2030年降低80%

资料来源：CEC (Commission for Environmental Cooperation). (2017). Characterization and management of organic waste in North America—Foundational report. Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation.

绿色创新发展中心(iGDP)

地址:中国北京市朝阳区秀水街1号建外外交公寓7-1-51 100600

电话:86-10-8532 3096

传真:86-10-8532 2632

邮箱:igdpoffice@igdp.cn

网站:www.igdp.cn