

浙江省易腐垃圾 处理典型案例及 成本效益分析

GREENPEACE 绿色和平

www.greenpeace.org.cn

浙江省经济信息中心

浙江工业大学

绿色和平

中华环保联合会

报告编写组

浙江省经济信息中心：

钱挺、来佳飞、胡程一、项超

浙江工业大学：

叶瑞克、刘彬、卞梦颖、李亦唯、

潘奕佐、刘康丽、黄青松、高泓俐

绿色和平：

刘华、刘文杰

评审专家

温宗国 清华大学环境学院

周传斌 中国科学院生态环境研究中心

方恺 浙江大学公共管理学院

胡培战 浙江大学经济学院

郭江江 浙江省委党校浙江发展战略研究院

致谢

我们衷心感谢倪焱、康琳、徐嘉忆等专家、同事和朋友对本报告给予支持和帮助。感谢为项目调研提供支持的有关部门及工作人员。

传播

韦毅

2022年3月

封面：© Markus Forte / Ex-Press / Greenpeace

封面二：© Yifei Chen / Greenpeace



目录

摘要	02
一、易腐垃圾的产生和处理	04
1.1 易腐垃圾概述	05
1.2 易腐垃圾的处理原则和处理方式	06
二、浙江省易腐垃圾管理概况	08
2.1 浙江省易腐垃圾产生和处理	09
2.2 浙江省易腐垃圾的管理体制	10
2.3 浙江省易腐垃圾相关政策	11
2.4 浙江省易腐垃圾处理的地方特色管理案例	12
2.5 当前面临的主要问题	13
三、浙江省易腐垃圾处理成本效益分析	14
3.1 研究方法	15
3.2 案例一：湖州市餐厨垃圾处理项目	19
3.3 案例二：金华市垃圾生态处理项目	24
3.4 案例三：杭州市天子岭餐厨垃圾处置项目	27
3.5 案例四：宁波市“一再生金”餐厨厨余垃圾处置项目	32
3.6 传统处理方式	35
3.7 比较分析	37
3.8 结论	40
四、政策建议	42
参考文献	44

摘要

近年来，随着中国经济社会快速发展和人们物质生活水平不断提高，中国的易腐垃圾产生量不断增加，占据城市生活垃圾的一半甚至更高，由此产生的资源浪费和环境污染问题也愈发严重。自2010年以来，我国城市垃圾清运量逐年上升，2019年全国337个城市的生活垃圾生产量约达3.43亿吨。作为易腐垃圾的重要组成部分，餐厨垃圾产生量达到1.28亿吨。易腐垃圾管理对废弃物资源化利用、生态环境保护和社会民生改善至关重要，如何有效分类并妥善处理易腐垃圾，成为推动循环经济建设和社会可持续发展的重要课题。

在《循环经济促进法》“减量化、再利用、资源化”和《固体废物污染环境防治法》“减量化、资源化、无害化”原则指导下，当前中国易腐垃圾常用的处理方式主要有填埋、焚烧、粉碎直排等，过程中采用堆肥、厌氧产沼、生化处理等方式进行资源化利用，能源产物进行能源化利用。易腐垃圾中丰富的营养物质使其具有极大的资源化利用价值，但也存在一些难点。在收集过程中，存在收集难、易堵塞，留存难、易腐败，转运难、易腐蚀等问题。在处理过程中，也容易产生一系列环境问题。氨、硫化物、渗滤液等产物和次生物质会对大气、水体、土壤造成一次、二次污染。由于当前中国的垃圾分类工作尚未完善，易腐垃圾通常混入其他垃圾通过填埋、焚烧等方式进行处理，不仅容易对生态环境及周边居民健康带来潜在危害，造成资源浪费，甲烷排放也成为废弃物温室气体排放的重要来源。

为改善易腐垃圾管理方式和处理技术，浙江省进行了多年有效探索，积累了宝贵的经验。自2017年以来，浙江省把生活垃圾治理确立为打造“美丽中国先行示范区”和打赢“污染防治攻坚战”的标志性工程，连续4年纳入省政府为民办实事工程。2019年8月21日，浙

江省出台《浙江省城镇生活垃圾分类标准》（DB 33/T 1166-2019），这是全国第一部城镇生活垃圾分类省级标准，编制了新建住宅小区垃圾分类设施设置、城镇垃圾分类工作指南等一批技术规范，基本构建了生活垃圾治理的制度体系，推动工作迈入法制化、规范化、标准化轨道。2020年12月24日，浙江省出台《浙江省生活垃圾管理条例》，众多法规、办法的集中出台，进一步健全生活垃圾分类制度，明确分类原则，增强了约束刚性。2020年，浙江省生活垃圾清运量较2019年减少85万吨，首次实现生活垃圾总量“零增长”。2021年1月1日起，全省垃圾填埋场除应急处置外全面终止作业，在全国率先实现“零填埋”的目标。

在浙江省的垃圾管理工作中，各地充分发挥主观能动性，因地制宜，因材施教，形成了多个具有地方特色的管理方式，湖州南浔的易腐垃圾就地处理，台州仙居的“三色定级”与差异性收费，金华浦江的“两拣四分”和“三级监管”，宁波的废弃物智慧收集循环利用示范……在积累经验的同时，易腐垃圾管理还面临着资金、技术、管理等层面的诸多挑战。

本报告以总结浙江省易腐垃圾处理典型经验为出发点，梳理了浙江省易腐垃圾的管理体制和相关政策，介绍了各具特色的地方管理案例。在此基础上，使用成本效益分析方法，进一步评估了浙江易腐垃圾处理案例的经济和环境成本效益情况，探索易腐垃圾处置的效益测算和价格形成机理，为制定合理可行的易腐垃圾处理政策、改善易腐垃圾管理提供决策支撑。基于案例研究和成本效益分析结论，报告建议全面评估易腐垃圾处理的成本效益，在考虑经济成本效益的基础上，兼顾环境和社会效益，推广具有较高综合效益的处理项目。报告分别从资金、技术、管理三个方面提出以下具体建议。

- **资金方面：扩大资金来源，合理分担处置成本**

1. 维持当前财政补贴力度，择机降低补贴标准。
2. 探索政府、居民、企业、社会组织等多方成本承担方式。
3. 完善生活垃圾处理收费制度，建立精细化阶梯式计量收费机制。

- **技术方面：优化技术路线，探索高效处置手段**

4. 推动垃圾分类精细化，加大科技创新和设备应用。
5. 防范易腐垃圾二次污染，降低易腐垃圾处理全生命周期环境影响。
6. 提升现有处置方式效率，扩大规模的同时推动技术迭代。
7. 谋划处置产物多元出路，探索制造生物质燃料、污水处理碳源等新产品。

- **管理方面：强化顶层设计，完善配套管理政策**

8. 健全制度建设，完善易腐垃圾相关管理办法和制度。
9. 因地制宜管理，推广应用适宜的管理模式和处置工艺。
10. 加强宣传教育，实现科学决策和民主决策。



第一章

易腐垃圾的 产生和处理

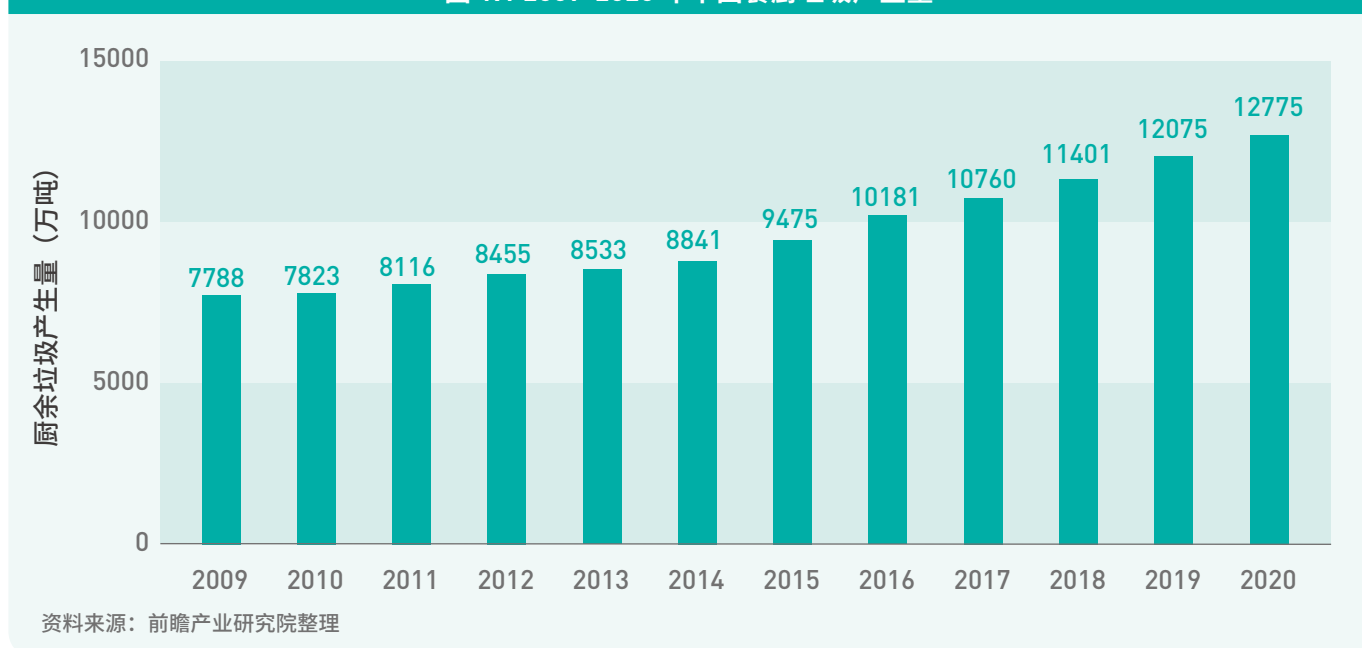


1.1 易腐垃圾概述

近年来，随着中国经济社会快速发展和人们物质生活水平不断提高，中国的易腐垃圾产生量不断增加，占据城市生活垃圾的一半甚至更高，由此产生的资源浪费和环境污染问题也愈发严重。自2010年以来，中国城市垃圾清运量逐年上升，2019年全国337个城市的生活垃圾生产量约达3.43亿吨¹。作为易腐垃圾的重要组成部分，餐厨垃圾产生量从2009年的7788万吨

上涨到2020年的12775万吨²，增长超过1.5倍以上；远高于欧盟国家和美国，约占全球餐厨垃圾总产量的13.1%³。易腐垃圾管理对废弃物资源化利用、生态环境保护和社会民生改善至关重要，如何有效分类并妥善处理易腐垃圾，成为推动循环经济建设和社会可持续发展的重要课题。

图 1.1 2009-2020 年中国餐厨垃圾产生量



2017年3月，国家发展改革委、住房城乡建设部印发《生活垃圾分类制度实施方案》，明确易腐垃圾主要品种包括相关单位食堂、宾馆、饭店等产生的餐厨垃圾，农贸市场、农产品批发市场产生的蔬菜瓜果垃圾、腐肉、肉碎骨、蛋壳、畜禽产品内脏等⁴。

2019年10月，国家市场监督管理总局、中国国家标准化委员会发布《生活垃圾分类标志》（GB/T 19095-2019），明确了厨余垃圾表示易腐烂的、含有机质的生活垃圾，包括家庭厨余垃圾，餐厨垃圾和其他厨余垃圾等。“厨余垃圾”也可称为“湿垃圾”。本报告使用的“易腐垃圾”概念，与《生活垃圾分类标志》中的“厨余垃圾”概念一致，指易腐烂的、含有机质的生活垃圾，包括家庭厨余垃圾、餐厨垃圾和其它厨余垃圾⁵。

表 1.1 易腐垃圾相关概念

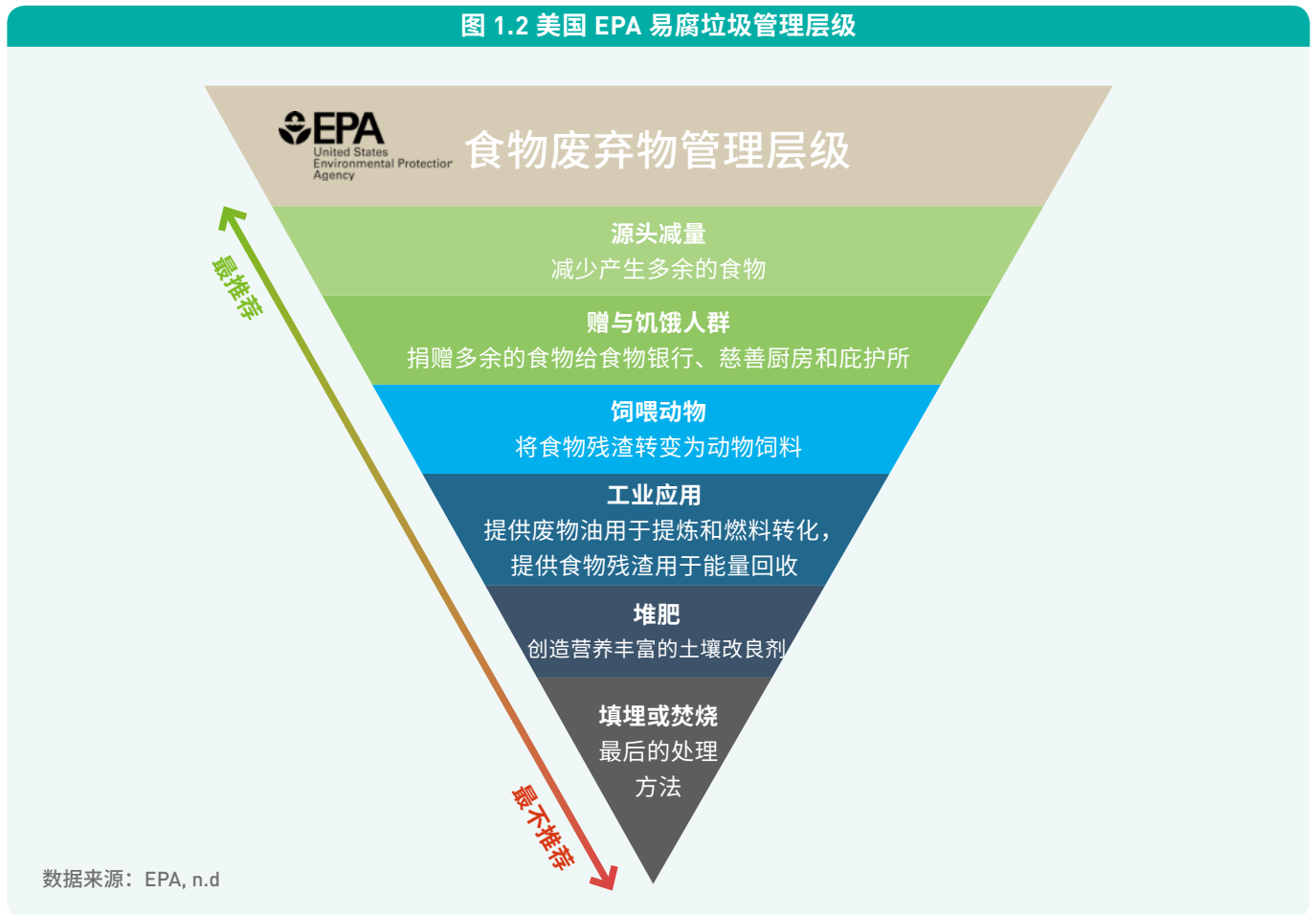
名称	说明	《生活垃圾分类标志》图形
家庭厨余垃圾	表示居民家庭日常生活过程中产生的菜帮、菜叶、瓜果皮壳、剩菜剩饭、废弃食物等易腐性垃圾，简称“厨余垃圾”。	
餐厨垃圾	表示相关企业和公共机构在食品加工、餐饮服务、单位供餐等活动中，产生的食物残渣、食品加工废料和废弃食用油脂等。	
其他厨余垃圾	表示农贸市场、农产品批发市场产生的蔬菜瓜果垃圾、腐肉、肉碎骨、水产品、畜禽内脏等。	

1.2 易腐垃圾的处理原则和方式

目前发达国家和地区采取的易腐垃圾处理方式主要有：焚烧发电 + 炉渣填埋（以日本为代表）；填埋 + 回收为主，焚烧 + 堆肥为辅（以美国为代表）；堆肥 + 回收 + 焚烧，辅以填埋（以欧盟为代表）。结合易腐垃圾含水量高等特点，厌氧发酵、好氧堆肥、饲料化处理等属于推荐的处理方式，欧盟等在管理上还强调需要考虑能量回收效率，避免低能源转化效率的焚烧发电⁶。同时，也需要考虑在垃圾收集、运输、储存、处理等过程中尽可能降低对生态环境和人体健康的损害。美国国家环境保护局（EPA）依据废弃物管理优先次序原则，提出了防止食物浪费和提高利用率的食物废弃物优先次序管理层次（Food Recovery Hierarchy），分为以下 6 个层次：源头减量、赠与饥饿人群、饲喂动物、工业应用、堆肥、焚烧或填埋⁷。

在《循环经济促进法》“减量化”（在生产、流通和消费等过程中减少资源消耗和废物产生）、“再利用”（将废物直接作为产品或者经修复、翻新、再制造后继续作为产品使用，或者将废物的全部或者部分作为其他产品的部件予以使用）、“资源化”（将废物直接作为原料进行利用或者对废物进行再生利用）⁸和《固体废物污染环境防治法》“减量化、资源化、无害化”原则指导下，当前中国易腐垃圾常用的处理方式主要有填埋、焚烧、粉碎直排等，过程中采用堆肥、厌氧产沼、生化处理等方式进行资源化利用，能源产物进行资源化利用。从目前的垃圾处理场所来看，一般将这几种方式组合使用。

图 1.2 美国 EPA 易腐垃圾管理层次



Box2. 常见易腐垃圾处理方式

1. 厌氧发酵

厌氧发酵是指在无氧的条件下利用兼性厌氧微生物的代谢作用将易腐垃圾中的有机物分解为甲烷和短链脂肪酸等小分子有机物及无机物物质的一种生物手段⁹。厌氧发酵主要包括预处理单元、厌氧发酵单元、发酵产物处理及利用单元。按照厌氧发酵参数设置的不同，一般将厌氧发酵工艺分为干法、湿法、单相、多相、中温、高温、序批式和连续式厌氧发酵等。厌氧发酵利用垃圾中存在的微生物使有机物质发生生物化学反应，生成一种类似腐殖质土壤的物质，既可用作肥料，又可用来改良土壤。其产出的沼气用作发电在一定程度上减轻了能源短缺的压力，且经济效益较高。

2. 好氧堆肥

好氧堆肥是好氧微生物在有氧条件下，将易腐垃圾中的有机物转化为无机物，同时释放能量的过程¹⁰。好氧堆肥技术主要包括传统好氧堆肥与高温好氧堆肥两类。传统好氧堆肥可利用易腐垃圾中土著微生物分解有机质，此方式成本低，简单易操作，但其占地面积大。高温好氧堆肥相较于传统好氧堆肥，其减量化明显，占地较小，堆肥产生的高温有利于去除易腐垃圾中的病原微生物¹¹。好氧堆肥工艺相对简单，发展时间较长。但易腐垃圾通常混有杂质，且油脂含量及盐含量较高，如何对易腐垃圾进行

脱油、降盐预处理并提高发酵效率，是亟需解决的问题。此外，在好氧堆肥的基础上引入蚯蚓，利用其丰富的酶系统也可将易腐垃圾中的有机物进一步转化为可直接利用的营养物质，蚯蚓既消化垃圾又可喂鱼、养鸡，从而提高对易腐垃圾的资源化利用效率。

3. 饲料化处理

饲料化处理技术以高温脱水制干饲料和生物处理制蛋白为主要的生产方式。高温脱水有利于易腐垃圾中病菌和寄生虫的灭活，生物处理则利用微生物本身及发酵产生的蛋白分泌物用于蛋白饲料的生产¹²。利用乳酸菌对易腐垃圾进行发酵，制成蛋白质饲料，其蛋白含量最高可达31.1%¹³。

4. 焚烧处理

垃圾焚烧是通过高温处理，将废弃物有机成分彻底氧化分解的处理方法。焚烧处理的优点是处理量大，减容性好（可实现固体减量50~80%），如果原料热值较好，还可能通过热量发电回收能源。但同时，焚烧处理容易产生二噁英、重金属等污染物质排放，如果废弃物热值不高，很难进行焚烧，需加辅助燃料，资源化利用价值不高。另外，焚烧处理投资过高（平均造价在50万元/吨左右）¹⁴，建设维护成本大，而我国餐厨等易腐垃圾热值低、含水量高，焚烧不是易腐垃圾处理的主流技术¹⁵。

易腐垃圾中丰富的营养物质、油脂、有机质含量使其具有极大的资源化利用价值，但同时，高含水率、盐分、极易腐败发酸发臭的特点也使得易腐垃圾的资源化利用存在一些难点¹⁶。首先在收集过程中，存在收集难、易堵塞，留存难、易腐败，转运难、易腐蚀等问题。同时，处理过程也容易产生一系列环境问题。氨、硫化物、渗滤液等产物和次生物质会对大气、水体、土壤造成一次、二次污染。特别是易腐垃圾的含水率高，既增加了污水

处理运行成本，垃圾渗滤液可通过地表径流和渗透作用，对地表水及地下水造成污染¹⁷。此外，易腐垃圾热值较低，焚烧处理需加辅助助燃，燃烧不充分时会产二噁英等污染物¹⁸，填埋处理不仅破坏环境，造成资源浪费，产生的甲烷也成为废弃物温室气体排放的重要来源¹⁹。由于当前中国的垃圾分类工作尚未完善，易腐垃圾通常混入其他垃圾通过填埋、焚烧等方式进行处理，容易对生态环境及周边居民健康造成潜在危害。

第二章

浙江省易腐垃圾 管理概况



2.1 浙江省易腐垃圾产生和处理

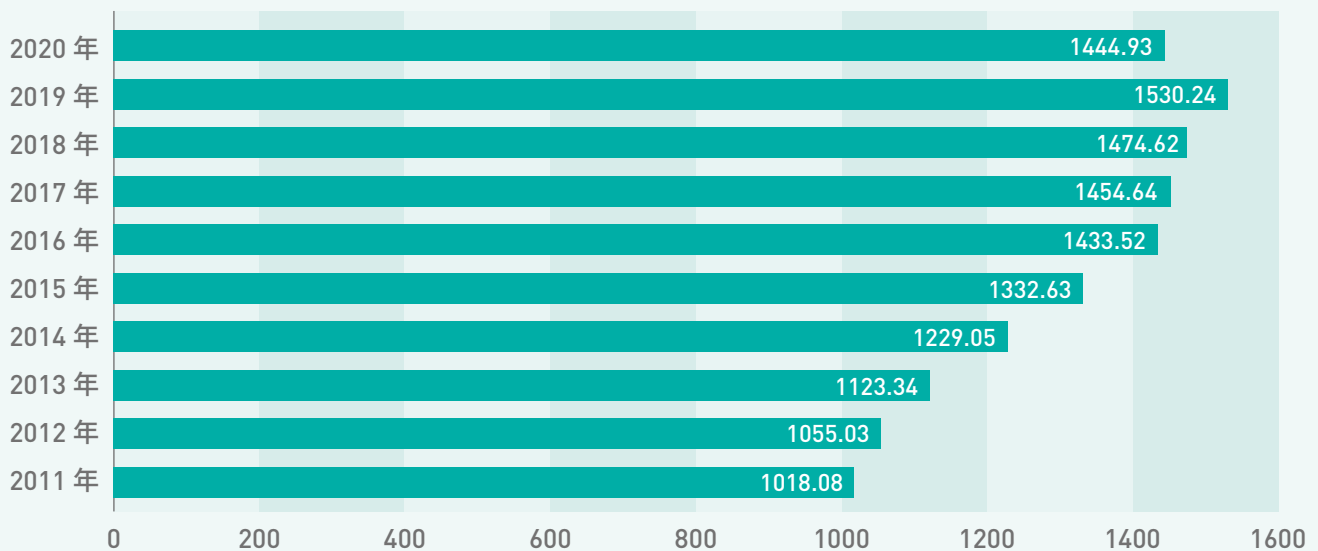
根据浙江省《城镇生活垃圾分类标准》，易腐垃圾包括居民日常生活产生的厨余垃圾，餐饮场所产生的餐厨垃圾和农贸市场产生的生鲜垃圾²⁰。

2014至2018年，浙江省生活垃圾清运量增长率呈逐年下降趋势，2020年生活垃圾清运量较2019年减少85万吨²¹，首次实现生活垃圾总量“零增长”。从2021年1月1日起，全省垃圾填埋场除应急处置外全面终止作业，在全国率先实现“零填埋”的目标²²。截至2020年底，浙江全省共有已投运的易腐垃圾处理设施56座，处理能力达到1.13万吨/日。2014年以来，全省开展1970个省级分类处理项目村，建成1078个农村易腐垃圾资源化处理站点，平均日处理3358.76吨。²³依据浙江省和其他地区厨余资源再生项目的信息显示，利用厨

余垃圾进行堆肥等处理的方式，有机肥产物可以满足《有机肥料 NY525-2012》标准²⁴，实现较高管理层级的资源化利用²⁵。同时，这一标准在2021年修订更新，不再禁止“经分类陈化后的厨余废弃物”作为生产原料，将更有利于厨余垃圾的资源化利用。

自浙江深入开展垃圾分类工作后，易腐垃圾分类收集量快速增长。至此，作为生活垃圾的主要组分——易腐垃圾的处理更显得刻不容缓，过去简单易腐垃圾处理方式已不再适用。目前浙江省内易腐垃圾资源化处理技术路线可概括为“预处理+资源化利用”，主流处理工艺为利用厌氧发酵技术，物料经不同的方式预处理后，以厌氧产沼气为处理目标，对净化处理后的沼气及脱水处理后的沼渣进行资源化利用。

图 2.1 2004-2020 年浙江省生活垃圾清运量（万吨）



数据来源：国家统计局

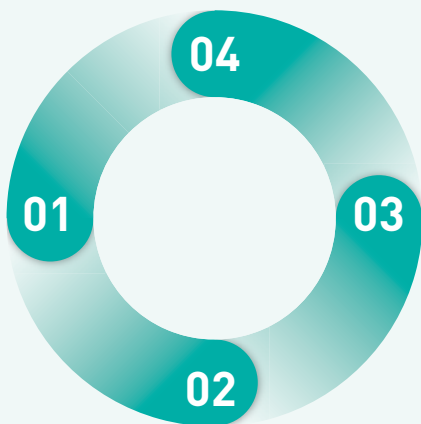
图 2.2 浙江省易腐垃圾处理流程

分类

建立健全生活垃圾分类投放、分类收集、分类运输、分类处理的全程分类体系。

投放

全面铺开易于分类投放垃圾的基础配套设施建设，易腐垃圾收集容器为绿色，由专人清理，做到“日产日清”；有包装物的易腐垃圾应去除包装物后分类投放，包装物应投放到对应的可回收物或其他垃圾收集容器中；易腐垃圾投放时不应混入废餐具、塑料、饮料瓶罐和废纸等不利于后续处理的杂质。



分拣

在易腐垃圾进行处置前，垃圾经历两道分拣。第一道位于居民投放后，主要由小区物业、村委会等单位、部门设置专门的垃圾分类指导员或雇佣员工进行粗分，指导居民正确投放易腐垃圾，避免错投混投。第二道位于进入处置设施前，主要由处置企业雇佣员工进行细分，将不属于易腐垃圾的部分剔除，部分企业还需对易腐垃圾提前进行破袋处理。

运输

垃圾运输实行分类运输，防止二次污染。易腐垃圾的运输车辆与收集容器相匹配，由符合规定的从事城镇生活垃圾经营性收集、运输的单位负责。各级人民政府或者市容管理部门通过购买服务等方式开展生活垃圾清扫、收集、运输、处理工作。鼓励和支持社会资本参与生活垃圾清扫、收集、运输、处理工作。

2.2 浙江省易腐垃圾的管理体制

为改善易腐垃圾处理，浙江省进行了多年有效探索，积累了宝贵的经验。浙江成立了生活垃圾分类工作领导小组办公室，由省建设厅厅长担任办公室主任，省委宣传部、省农办、省发展改革委、省教育厅、省环保厅、省商务厅、省工商局、省机关事务管理局等部门负责人担任办公室副主任。领导小组办公室下设综合宣传组、能力提升组、政策指导组、循环利用组等四个组，具体负责政策起草和指导、舆论宣传和教育、制定中长期规划、开展督查督导等各项工作。

《浙江省生活垃圾管理条例》规定，省住房城乡建设主管部门负责全省生活垃圾管理工作的统筹协调和指导，以及城镇生活垃圾管理工作；省农业农村主管部门负责全省农村生活垃圾管理工作。设区市、县（市、区）市容环境卫生主管部门负责本行政区域内城镇生活垃圾管理工作，设区市、县（市、区）农业农村主管部门或者本级人民政府确定的其他部门负责本行政区域内农村生活垃圾管理工作；实行生活垃圾城乡统筹管理的地区，由市容环境卫生主管部门负责生活垃圾管理工作。

其他相关政府部门的职责包括：发展改革主管部门负责协调生产者责任延伸制度的落实，完善生活垃圾处理收费机制，会同有关部门制定促进生活垃圾源头减量、资源化利用和无害化处理政策；经济和信息化主管部门负责推进工业和信息化领域产品绿色包装工作，培育再生资源综合利用龙头企业，指导有关工业企业开展生活垃圾综合利用工作；文化旅游主管部门负责旅游景区景点和宾馆（酒店）的生活垃圾源头减量、分类投放等监督管理工作；市场监督管理部门负责农贸市场、农产品批发市场的生活垃圾源头减量、分类投放等监督管理工作，会同有关部门加强对商品过度包装的监督管理；商务主管部门负责商场、超市、餐饮服务场所的生活垃圾源头减量、分类投放等监督管理工作，建立与生活垃圾回收利用相协调的回收体系，合理布局再生资源回收网点，推进电子商务领域源头减量工作；邮政管理部门负责推进邮政、快递包装标准化、减量化和可循环等工作。

2.3 浙江省易腐垃圾相关政策

自 2017 年以来，浙江把生活垃圾治理确立为打造“美丽中国先行示范区”和打赢“污染防治攻坚战”的标志性工程，连续 4 年纳入省政府为民办实事工程。2019 年 8 月 21 日，浙江省出台《浙江省城镇生活垃圾分类标准》（DB 33/T 1166-2019），2019 年 11 月 1 日起正式施行，这是全国第一部城镇生活垃圾分类省级标准，还编制了新建住宅小区垃圾分类设施设置、城镇垃

圾分类工作指南等一批技术规范，基本构建了生活垃圾治理的制度体系，推动工作迈入法制化、规范化、标准化轨道。2020 年 12 月 24 日，浙江省出台《浙江省生活垃圾管理条例》，2021 年 5 月 1 日起正式施行。众多法规、办法的集中出台，进一步健全生活垃圾分类制度，明确分类原则，增强了约束刚性。

表 2.1 近年来浙江省生活垃圾处理政策及规划汇总

发布时间	政策名称	重要内容
2021.4	《浙江省住房和城乡建设十四五规划》	打造生活垃圾综合治理示范先行，强化生活垃圾治理制度建设与习惯养成，健全生活垃圾回收利用网络，促进生活垃圾源头减量与能级提档。到 2025 年，全省城乡生活垃圾分类基本实现全覆盖，城镇生活垃圾资源化利用率达 100%，构建完备的法规和政策标准体系，生活垃圾处理各项指标处于全国领先水平。
2020.12	《浙江省生活垃圾管理条例》	明确政府推动、全民参与、城乡统筹、因地制宜、简便易行的原则，建立健全生活垃圾分类投放、分类收集、分类运输、分类处理的全程分类体系，推动生活垃圾减量化、资源化、无害化。
2020.3	《2020 年度浙江省生活垃圾分类工作要点》	到 2020 年底，全省城镇、农村生活垃圾分类覆盖面分别达到 90%、85% 以上；全省城乡生活垃圾回收利用率达到 45% 以上，资源化利用率达到 90% 以上，无害化处理率达到 100%，力争新增城镇生活垃圾处理能力 2 万吨/日以上，率先实现焚烧和餐厨垃圾处理设施县县全覆盖。
2019.11	《浙江省生活垃圾焚烧发电中长期专项规划（2019-2030 年）》	到 2020 年底，全省生活垃圾焚烧发电处理能力达到 8 万吨/日以上，全省生活垃圾焚烧处理能力基本满足生活垃圾处理需求。到 2030 年底，全省生活垃圾焚烧发电处理能力达到 9 万吨/日以上，全省生活垃圾全部实现焚烧处理。
2019.8	《浙江省城镇生活垃圾分类标准》	明确了分类投放、分类收集、分类运输和分类处置操作规范。明确生活垃圾分成四大类：可回收垃圾、有害垃圾、易腐垃圾、其他垃圾。并对易腐垃圾的投放、收集、运输、处理等进行了规定。
2018.2	《浙江省城镇生活垃圾分类管理办法》	鼓励市容环节卫生、再生资源回收与利用，鼓励生活垃圾分类技术研究、开发和应用，提高生活垃圾分类科学技术水平。
2017.1	《浙江省餐厨垃圾管理办法》	餐厨垃圾处理实行单独投放、统一收运、集中处置。鼓励居民日常生活产生的餐厨垃圾与其他生活垃圾分开投放，有条件的地区逐步纳入统一收运、集中处置，有条件的社区可以开展就地收集和处置。
2017.1	《浙江省城镇生活垃圾无害化处理设施建设“十三五”规划》	到“十三五”末，全省城镇生活垃圾减量化、无害化和资源化能力显著增强，实现三个“全覆盖”，即建制镇以上垃圾处理设施或处理能力实现全覆盖、设区市市区垃圾分类收集处理基本实现“全覆盖”、餐厨垃圾资源化综合利用能力基本实现“全覆盖”，显著提升生活垃圾无害化处理和产业化发展水平，以及环境污染第三方治理水平，力争我省生活垃圾处理和污染综合治理水平走在全国前列。

2.4 浙江省易腐垃圾处理的地方特色管理案例

在浙江省的垃圾处理管理工作中，各地充分发挥主观能动性，因地制宜，因材施教，形成了多个具有地方特色的管理方式。

• 湖州南浔：易腐垃圾就地处理

湖州市南浔区围绕《浙江省生活垃圾管理条例》《美丽提标垃圾分类专项行动方案》等文件精神，以“碳达峰、碳中和，推进‘无废城市’”建设为目标，在全区首推易腐垃圾就地处理方式。该处理方式针对末端处置方式单一、能耗大、占地大、存储散发恶臭、运输途中抛洒滴漏等难题，利用微生物发酵降解系统高效降解易腐垃圾，处理过程无污染排放、无异味、无噪音、不产生二次污染，产出物自然发酵后可用于绿化养护施肥，实现最大经济效益。依托区生活垃圾分类大数据监管云平台，利用数据自动传输处理量、产出量、GPS定位、运行状态等重要数据，实现易腐垃圾处置全流程智能监管，同时采用智能节能设备，避免无人投放垃圾时长期运转，真正打造数字化、低能耗的智控场景。充分发挥财政保障作用，对配置易腐垃圾就地处理设备和智能化设备的单位给予设备金额100%的财政保障，对非财政保障经费单位给予设备金额30%的补助资金。截至2021年9月，已申请专项补助资金合计532.683万元，已在50家单位投放使用易腐垃圾就地处理设备55台，日均就地处理易腐垃圾3.47吨，日产生有机肥约347千克，每吨处理成本为不含清运集中处置成本的77%。全区11个镇（街道）、27个社区覆盖48台设备，惠及201个小区、5万余户居民。

• 台州仙居：“三色定级”与差异性收费

2020年5月以来，为切实推进垃圾分类工作，台州市仙居县按照“谁污染、谁付费”原则，制定出台《仙居县城区生活垃圾处理收费标准》，对县城规划范围内所有产生生活垃圾的不同主体征收生活垃圾处理费。为进一步推广差异收费，仙居县开创了“红黄绿”三色定级法，根据生活垃圾分类达标情况对社区公共机构、主次干道、企业等进行评级，按照达标率90%以上、70-90%、70%以下进行“绿色”“黄色”“红色”三色定级挂牌，以“一地一色一牌”督促问题整改落实。同时，加强反面约束，对不履行生活垃圾分类和减量义务的单位和个人进行曝光与处罚，逐步实现差异化收费常态化监管。截至2021年8月，共发放绿牌320张、黄

牌1140张、红牌175张，对不履行生活垃圾分类和减量义务个人曝光50起，处罚金额达12000元。

• 金华浦江：“两拣四分”和“三级监管”

在垃圾分类工作机制上，金华市浦江县推行的“两拣四分”和“三级监管”模式也卓有成效。农户第一次分拣，将生活垃圾分为会腐烂与不会腐烂，保洁员上门收集时进行第二次分拣，将不会腐烂垃圾分为可回收垃圾、不可回收垃圾、有害垃圾并分桶收集。同时辅以村级自查、镇级监管、县级督查的三级联动体系，形成了一套简单易懂、科学有效的农村生活垃圾长效分类模式。截至2021年10月，该县农村垃圾分类覆盖率达100%，分类正确率稳定在95%以上。为覆盖农村生活垃圾处理成本，该县建立了“财政兜底、社会参与”的多元化资金筹集模式。各级财政投入主要分一次性投入和长期投入，相关支出列入预算。其中一次性投入包括阳光堆肥房每个行政村补助10万元，分类垃圾桶（箱）、垃圾车等配套设施每个农业户籍人口补助20元。长期投入主要包括分拣（保洁）员工资、设施运维费用等。同时分村设立“共建美丽家园维护基金”，资金来源主要是社会各界捐资和村民自愿缴纳卫生费，其中卫生费标准一般为每人每年12-30元不等。

• 宁波：废弃物智慧收集循环利用示范

2013年，宁波市借助世行贷款已经建成包括生活源厨余垃圾厌氧堆肥处置工厂在内的终端处理设施，2021年再次依托世行贷款建设宁波城镇生活废弃物智慧收集循环利用示范项目。项目整体的运营流程包括前端居民投放-小区归集-环卫清运-城市压缩/分拣和中转-集中转运-终端处置与资源化利用。在源头投放端，实行舱体内自动实施破袋，快速分离出塑料袋。并建立科学、客观的评定体系，用于各级政府的垃圾分类工作成效评定指标。在清运端，根据系统实时发布小区清运需求订单，优化最近清运路线，并实行源头投放-垃圾箱清运-压缩中转-最终处置全过程集中数据校验，客观记录各清运主体清运量。在分拣端，实现了自动化、流水线操作，大幅提高分拣效率和质量。通过实时数据采集、数据直接上传市级智慧管理平台，塑料垃圾数据校验评估，最大程度控制泄露风险。本项目建设居民端全品类生活垃圾智能分类设施体系，加强城市生活垃圾的精准分类管理，完善了垃圾分类的数字化治理体系。

2.5 当前面临的主要问题

推进“无废城市”建设和易腐垃圾妥善处置，需要大量资金、技术和配套政策支持，现有管理模式下政府需承担较高的垃圾处理成本，无形中增加了财政负担。如何多渠道增加处理易腐垃圾的资金投入，提高处理技术和处理水平，是当前浙江和其它省份易腐垃圾管理面临的重要课题。

• 资金层面

浙江易腐垃圾处理成本主要由财政资金补助，仅有小部分资金来源于居民与单位缴纳的垃圾处理费。近几年，全省 11 个设区市的垃圾处理费收入均不足以覆盖支出，差额高者达到亿元，财政压力巨大。与发达国家的平均水平相比，浙江省垃圾处理收费标准明显偏低。另据 2021 年 3 月省发展改革委对各市的调查和不完全统计，2019 年度、2020 年度浙江省生活垃圾处理总收入和总支出的比例分别为 1:1.9 和 1:2.2，支出是收入的 2 倍左右且差距在扩大，生活垃圾带来的处理成本压力已经成为不可避免的问题。

• 技术层面

目前在浙江推广使用的几种处理方式也各有优劣。厌氧消化可将易腐垃圾转化为沼气用作燃料，产出经济价值较大，但投资大，运营成本较高，厌氧发酵后剩余的沼渣仍需要寻找资源化利用的出路。好氧堆肥在浙江的覆盖面较广，但易腐垃圾通常混有杂质，且油脂含量及盐含量较高，如何对易腐垃圾进行脱油、降盐预处理并提高发酵效率，均是亟需解决的问题。相较于好氧堆肥，一体化发酵对易腐垃圾的处置效率更高，对周边环

境的二次污染影响更小，但运营维护成本较高，处置后的易腐垃圾尚未完全腐熟，后续仍需要采取腐熟化发酵工艺。昆虫养殖将易腐垃圾无害化及资源化的同时，养殖的昆虫也可以用来加工成动物饲料，但条件要求高、自动化水平低等问题限制了昆虫养殖的规模，昆虫蛋白作为牲畜饲料的安全问题也需要格外关注。阳光堆肥房是近年来开始实际应用的资源化方式，投资、运行和维护成本较低，易于管理，在部分农村地区广受欢迎，然而，阳光堆肥房由于设计问题导致物料腐熟程度低、臭味大、杂质含量高，需要进一步迭代升级。

• 管理层面

各市出台的管理办法和政策文件仍存在收费标准不能反映易腐垃圾处理成本、文件更新不及时、实际贯彻执行不完全等问题，省发展改革委、省财政厅、省分类办等单位在抽查、调研过程中也发现了部分市尚未落实生活垃圾收费制度改革要求等情况，亟须各地各级部门制定完善收费政策，及时落实整改措施，建立多元化成本分担机制，有效覆盖垃圾处理成本。

易腐垃圾处理作为生态文明建设的重点工作之一，在减少垃圾处理量、降低处理成本和减少土地资源消耗等方面具有多重效益，同时，传统的易腐垃圾填埋或焚烧也是垃圾处理中重要的温室气体排放来源，探索低碳节能的易腐垃圾处理方案，有利于推进实现“2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和”目标。对浙江易腐垃圾典型处理方式进行总结和评估，才能更好地为实现易腐垃圾管理的多重效益提供参考和依据。



第三章

浙江省易腐垃圾处理 成本效益分析

为全面了解浙江省易腐垃圾处理的资源化利用情况，定量评估其成本效益，该研究在全面了解各种易腐垃圾处理流程的基础上，分别从企业视角和社会视角分析易腐垃圾处理的经济、环境成本效益情况，探索易腐垃圾处置的效益测算和价格形成机理，为改善厨余垃圾管理、推广优秀技术案例提供决策支撑。

3.1 研究方法

3.1.1 研究对象

本次调研选取浙江省四个厨余垃圾处理项目作为研究对象进行成本效益分析，这些项目涵盖村镇易腐垃圾、家庭厨余垃圾、非居民餐厨垃圾处理，其垃圾理化特性和成本效益差别较大，特征各异，具有一定代表性。项目地理位置及简介见图 3.1 和表 3.1。

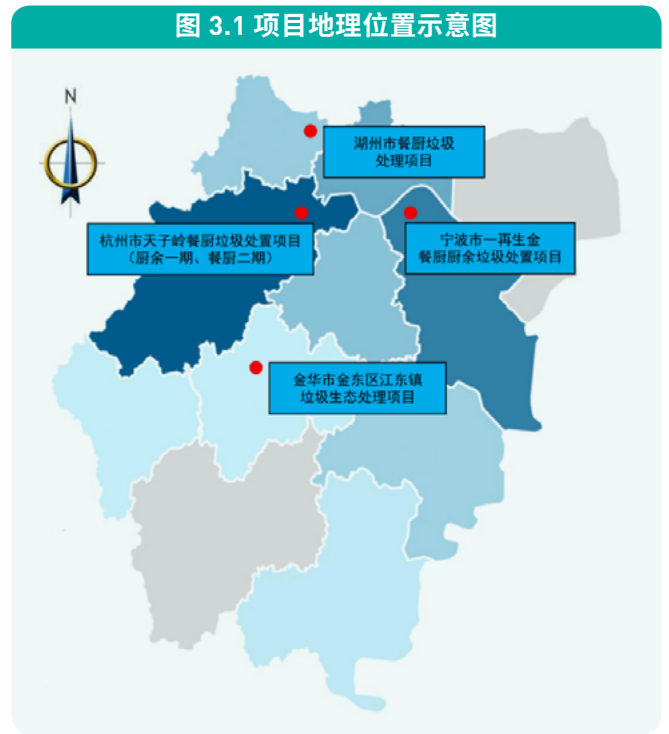


表 3.1 调研基本情况

项目名称	处置总规模	基本环节	地理位置
湖州市餐厨垃圾处理项目	餐厨垃圾 300 吨 / 日 厨余垃圾 400 吨 / 日	预处理阶段 昆虫养殖阶段 厌氧系统阶段 废水处理阶段	浙江省湖州市
金华市江东镇垃圾生态处理项目	易腐垃圾 3 吨 / 日	预处理阶段 好氧堆肥阶段 废气处理阶段	浙江省金华市
杭州市天子岭餐厨垃圾处置项目	厨余垃圾 400 吨 / 日 餐厨垃圾 450 吨 / 日	预处理阶段 油脂回收阶段 厌氧系统阶段 废水处理环节	浙江省杭州市
宁波市“一再生金”餐厨厨余垃圾处置项目	厨余垃圾 150 吨 / 日 餐厨垃圾 200 吨 / 日	预处理阶段 三相分离阶段 昆虫养殖阶段	浙江省宁波市

3.1.2 研究边界

本次研究核算了易腐垃圾在投放、收集、运输、处置、资源化利用环节中产生的经济和环境两个维度的成本和效益。经济成本是指项目建设运营投入的所有人、财、物以及服务的总和，经济效益则是指项目运行产生的产品和服务的总和。环境成本指易腐垃圾运输到处理达标

排放过程中，因环境污染和生态破坏造成的损失，环境效益为最终产品和副产品避免排放污染而带来的效益。关于财政补贴，基于考察企业参与的积极性和政府补贴的有效性，企业视角下的成本效益分析将财政补贴作为一项经济收入，而社会视角下的成本效益分析则将财政补贴作为了一种经济投入，即经济成本之一。具体核算边界详见表 3.2。

表 3.2 核算边界

项目	成本	效益
经济	<ul style="list-style-type: none"> 固定成本（运输、车间和设备投入、土地投入等） 流动成本（管理费用、折旧成本、电费、设备维护、人工费用等等） 财政补贴（社会视角） 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂、沼气、虫饲料（蛋白质）、有机肥等副产物销售 财政补贴（企业视角）
环境	<ul style="list-style-type: none"> 运输环节车辆二氧化碳排放 电力消费产生的间接二氧化碳排放 	<ul style="list-style-type: none"> 沼气替代标准煤生产等量电力的潜在环境效益 有机肥使用避免的化肥使用

3.1.3 研究方法

成本效益分析法，是指对投资项目将付出的成本和可能获得的利益进行测定，并将成本和利益综合起来加以合理分析，以在可供选择的支出项目之间进行抉择的方法。其中，综合成本为各个环节经济成本和环境成本，综合效益为各个环节经济效益和环境效益总和：

$$\begin{aligned}
 TC &= C_{econ} + C_{env} \\
 TB &= B_{econ} + B_{env} \\
 NET(M) &= TB - TC
 \end{aligned}$$

式中， TC 代表了处理一吨易腐垃圾的综合成本； C_{econ} 代表了处理一吨易腐垃圾的经济成本； C_{env} 代表了处理一吨易腐垃圾的环境成本； TB 代表了处理一吨易腐垃圾的综合收益； B_{econ} 代表了处理一吨易腐垃圾的经济效益； B_{env} 代表了处理一吨易腐垃圾的环境效益； $NET(M)$ 代表了处理一吨易腐垃圾的货币化后的净评估结果。

1. 经济成本效益计算方法

本研究中，经济成本的计算方式为：

$$TC_m = VC_m + FC_m$$

式中， VC_m 指的月可变成本，包括了易腐垃圾处理过程中的电费、人工费、设备维护费等费用； FC_m 为年固定成本，由各个阶段一次性投入的月均分摊成本相加，即：

$$FC_m = \sum_{i=1}^n AFC_{mi}$$

式中， AFC_{mi} 为设备一次性投入的月均分摊成本， i 代表了第 i 项投入设备，即 i 这项设备的月均投入成本。会计上折旧方法包括了年限平均法、双倍余额递减法、年数总和法与工作量法，便于计算且符合实际需要，采用年限平均法折算到月计算每吨原生垃圾的固定成本，并假定残值为 0，计算公式为：

$$AFC_{mi} = \frac{OV_i - RV_i}{ym} / 12$$

式中， OV_i 代表设备一次性投入； RV_i 代表设备的余值； ym 取按折旧最低年限取对应值²⁶。

$$C_{econ} = TC_m / R$$

式中， TC_m 为每个月的经济成本， R 代表每个月处理的易腐垃圾数量，经过折算（即 C_{econ} ）代表每一吨原生垃圾的经济成本。

本研究中，经济效益的计算方式为：

$$TB_m = \sum_{i=1}^n (B_i - C_i) * S_i$$

式中， i 代表了最终产物 / 副产品种类； B_i 代表第 i 种最终产品 / 副产品的单位收入； C_i 代表第 i 种最终产品 / 副产品的投入； S_i 代表了第 i 种产品的产量。

$$B_{econ} = TB_m / R$$

式中， TB_m 为每个月的经济收益， R 代表每个月处理的易腐垃圾数量，经过折算（即 B_{econ} ）代表每一吨原生垃圾的经济收入。

2. 环境成本效益计算方法

环境成本效益计算采用全生产过程评价法，流程中主要计算了运输和电力消耗产生的环境成本。

运输环节产生的二氧化碳构成环境成本计算中，假设使用中型车（7吨）运输易腐垃圾，运输距离为20公里，碳排放因子为 $0.1129\text{kg}/(\text{t}\cdot\text{km})$ ²⁷，碳排放环境成本 = 运输距离 * 运输质量 * 碳排放因子 / 1000 * 碳交易价格。

电力的环境成本计算分为两步，第一根据用电量计算出排放的二氧化碳量，第二根据碳交易价格计算出相应环境成本。计算过程中，浙江省工业用电价格采用均价 0.853 元 / 千瓦时²⁸，排放因子采用2016年电力调入调出二氧化碳排放因子 0.5246 ，碳交易价格采用2022年1月的碳汇交易价格 57.29 元 / 吨²⁹。

表 3.3 电力调入调出二氧化碳排放因子

年份	单位	排放因子
省级电网（浙江）碳排放系数	kg-CO ₂ /kWh	0.5246

数据来源：浙江省市县温室气体清单编制指南（2020年修订版）³⁰

环境效益为最终产品和副产品避免排放污染而带来的效益，本研究中主要计算了副产品沼气和有机肥带来的潜在环境效益。

沼气环境效益根据避免煤炭使用所带来的环境影响计算。由于所有的一次能源以及部分的二次能源（柴油、沼气等）均能用于发电，通过换算成电能，使得不同能源之间具有了量上的可比性。电量与沼气的电气比为 1.4 ³¹，沼气发电环境成本 0.071 元 / 千瓦时，燃煤发电环境成本 0.157 元 / 千瓦时，沼气发电的潜在环境效益 0.086 元 / 千瓦时。³²

有机肥的使用可以相应避免化肥的使用，本研究依据有机肥替代化肥的情况计算有机肥的环境效益。不同原料组分和工艺流程的有机肥替代化肥的比例不同，根据实地调研信息，湖州旺能企业生产的有机肥与化肥替代比为 $10:1$ ，金华市江东镇垃圾生态处理项目产物有机肥与化肥替代比为 $4:1$ ，其他项目无有机肥产品。根据已有研究，采用施化肥带来的环境成本 603.27 元 / 吨³³ 折算不同项目的潜在有机肥收益。

$$TBE_m = \sum_{i=1}^n TBE_{mt}$$

式中， TBE_m 代表各种产物每月货币化后的总环境效益值， TBE_{mt} 代表产物 t 每月货币化后的环境效益值。经过算式 $B_{env} = TBE_m / R$ 折算出 B_{env} ， B_{env} 代表每一吨原生垃圾带来的环境效益。

1.4 研究过程

项目组通过文献研究，文件查阅，经验借鉴，部门座谈，以及前往各省份实地调研，重点调研了杭州市、金华市、湖州市等垃圾处理企业状况，进一步展开项目调查评估。

- 全面了解浙江省易腐垃圾基本处理情况。了解浙江省易腐垃圾的政策、处置情况、处置规模以及易腐垃圾处理的大概流程，结合浙江省垃圾处理政策结合实际对易腐垃圾基本情况建立起宏观的框架以及调查评估方向。
- 系统梳理和深入分析易腐垃圾处理环节。根据4处地点的实地考察情况，建立起垃圾处理的整体框架

(流程图)，从而根据实际的垃圾处理情况开展调查研究，分析整个过程中投入的人力物力和产出的最终产品以及副产品，接下来进行寻求数据，用以计算每个企业的收益与成本。同时编制易腐垃圾处置中的影响因素，分析其对经济造成的直接与间接的损耗，直接与间接的环境影响，以及带来的经济效益、环境效益和社会效益。

- 对各个环节项目整体做出评估。搜集和梳理浙江省易腐垃圾现有处理方案和管理方案，借鉴国内相关城市的先进的管理理念和经验，结合最终获得的数据对每个企业的成本效益进行分析评估。构建城市易腐垃圾处理“成本—效益”测算模型，发现易腐垃圾处置的实际成本和效益以及价格形成机理。



3.2 案例一：湖州市餐厨垃圾处理项目

3.2.1 项目基本情况

湖州餐厨项目是浙江省第一批餐厨垃圾处理试点项目，位于湖州市南浔区和孚镇，占地面积 30 余亩，于 2017 年 7 月正式生产，项目一期总投资 1.4 亿元，全部出自企业自有资金。日处理能力为 400 吨，其中餐厨垃圾 200 吨/日，厨余垃圾 200 吨/日。自 2020 年湖州市垃圾分类工作的不断推进，日进场处理量已超 450 吨。目前二期扩建项目建设中，总投资约 7000 万元，整体设计增加 300 吨/日处理能力，分别为餐厨 100 吨/日、厨余 200 吨/日。本项目 2021 年度，垃圾收运及处理量为 163516.51 吨，沼气产量为 3376300 立方米，沼气清洁能源综合发电量为 4908257 千瓦时，产出油脂 2546.19 吨。

湖州餐厨项目采用“预处理+厌氧发酵+沼气发电+两级 A/O 水处理”工艺。具体生产流程如下：餐饮物料→粗分选→精制制浆→除沙除杂→浆料加热三相离心分离。预处理末端离心后，固相集中资源化利用，其中上级公司已经成立专属养虫基地，后续堆肥立项中，将对标业内的生产水平，优化产业链，能对之前无利用价值的固相残渣做到物尽其用；粗油脂销售后进行生物柴油提炼；水相经过两个 2500 立方米厌氧罐进行发酵，沼气进行发电，沼液进行两级 A/O 生化系

统处理后，污水达到三级纳管标准后排至和孚污水处理厂进行深度处理。

该项目的示范性在于收运纳入信息大数据把控，做到源头分类收集，收运设备专业配置，收运路线统一规划，终端处理设施科学规划。项目实现收运路线智能规划和优化，自动计算和推送最佳路线，让每一桶餐厨垃圾都“拼”出最高效率，在形成后台大数据的同时，做到应收尽收和收运质量的掌控。凭借智能工厂系统，实现了项目的大数据分析、智能管理、安防预警等诸多功能，加强项目运营管理和数据监控，对布防区提前预警，同时规范员工行动路线，及时定位员工位置。在工艺生产线上，实现了餐厨垃圾和厨余垃圾的厌氧协同处置、厨余垃圾和生活垃圾等的协同资源化处置等多种创新工艺流程，有效提升了处理效率。

本项目作为湖州市区易腐垃圾处理的主要承担者，目前来看对辖区垃圾处理值预判过低，已出现设备过载、使用年限降低等问题。在后期项目推进中，须注意对经济发展、城镇化水平、政策导向等宏观因素，以及民众垃圾分类水平、预处理能力等微观因素的综合判断，从而建立一个垃圾产生量预测模型，并通过全流程管理的数字化平台搭建，逐步将整个处理流程可视化，做到资源最大化利用。

表 3.4 湖州市旺能再生能源餐厨垃圾处理简介

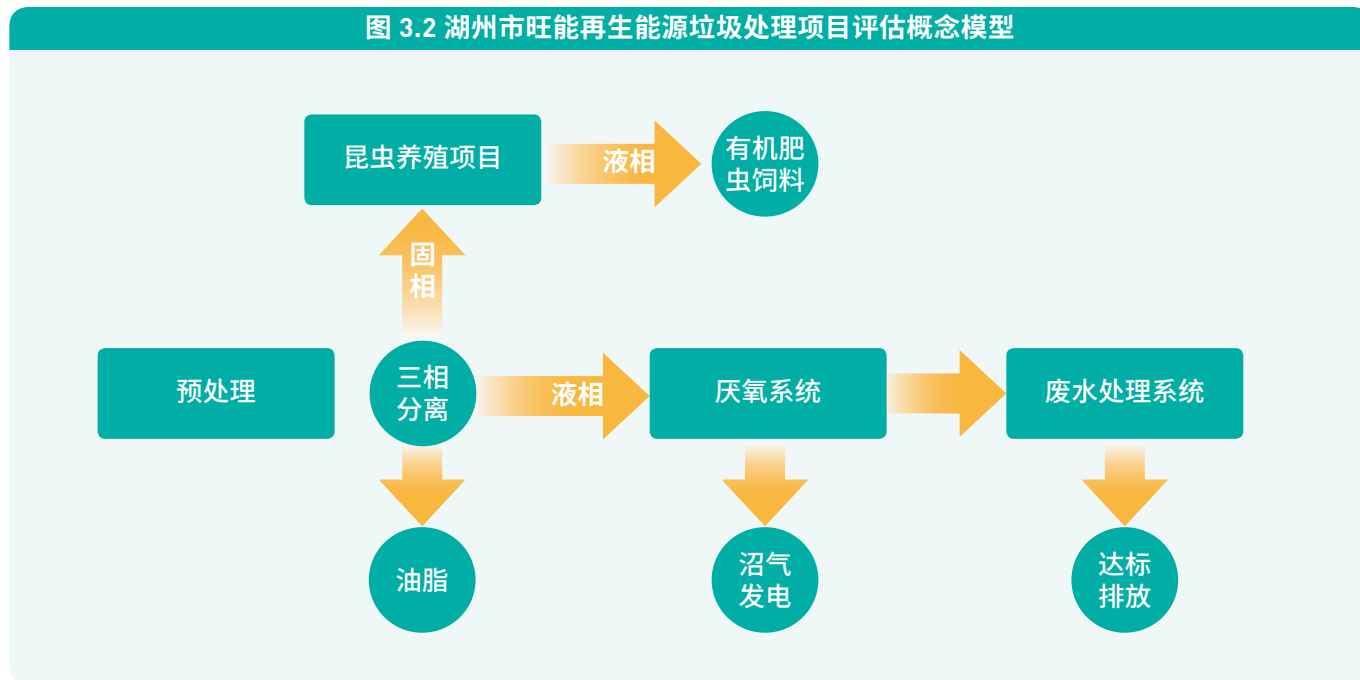
项目	一期	二期
处理量	餐厨垃圾 200 吨/日 厨余垃圾 200 吨/日	餐厨垃圾 100 吨/日 厨余垃圾 200 吨/日
总耗资	1.4 亿	7000 万元
处理垃圾总量 (2021 年度)	163516.51 吨	
沼气总产量 (2021 年度)	3376300 立方米	
发电总量 (2021 年度)	4908257 千瓦时	
泔水油 (2021 年度)	2546.19 吨	
工艺	预处理 + 厌氧发酵 + 沼气发电 + 两级 A/O 水处理	
生产流程	餐饮物料→粗分选→精制制浆→除沙除杂→浆料加热三相离心分离	

3.2.2 成本效益分析

1. 核算模型

根据实际处理流程，湖州市旺能再生能源垃圾处理项目对易腐垃圾处理流程如图。

图 3.2 湖州市旺能再生能源垃圾处理项目评估概念模型



湖州市旺能再生能源垃圾处理项目经济收入主要来源依赖于油脂、沼气发电以及政府补贴，经济成本包括一次投入的固定成本以及流动成本。环境效益根

据生产的沼气、有机肥进行计算，环境成本根据消耗电力间接排放的二氧化碳量与运输途中排放的二氧化碳来计算。



2. 经济成本效益分析

通过对湖州市旺能再生能源垃圾处理项目的调查分析，根据垃圾处理的流程，求出每月处理 7495 吨易腐垃圾处理生产线的月成本，固定成本与流动成本投入见表 3.5 和表 3.6。

项目	内容	金额 (万元)
运输投入	运输车	624.92
预处理阶段	厨余线、粗分选设备 接料斗、匀浆罐 粗分选设备 三相分离设备等	4100
昆虫养殖阶段	车间和设备投入	5400
厌氧系统阶段	厌氧罐和沼气净化设备	1250
废水处理系统	两级 A/O 生化系统	1600
合计		12974.92

项目	内容	金额 (元 / 月)
管理费用	管理人员工资与养殖管理	230000
电费	含各预处理阶段、人工养殖阶段、厌氧系统阶段的电费	281560
运输费用	运至处理厂费用	740000
人工费用	含各预处理阶段、人工养殖阶段、厌氧系统阶段的人工费用	214950
维护成本	整个流程中所有设备维护费用	245017
蒸汽费	浆料罐耗用蒸汽费	71000
处置成本	固渣运输处理以及废水处理	720000
其他费用	除臭系统和地沟油相关费用	520000
合计		3022527

从固定成本表中可以看出，昆虫养殖阶段车间和设备投入成本在固定成本投入中最高，达到了 5400 万元，其次为预处理阶段分选设备，该阶段成本为 4100 万元。运输车运输成本在固定成本投入中占比最低。在湖州餐厨垃圾处置案例中，运输费用、处置成本和其他费用投入比较高，在流动成本中占据了前三，每一项月投入都达到 52 万元以上。从整体上来说，生产成本并不低，总计达到 3022527 元 / 月。

在进行副产品的经济效益分析时，由于有机肥的价格存在波动，市场价格为 200-260 元 / 吨³⁴，取均值 230 元 / 吨；该企业虽然生产了虫饲料，但处于试验阶段，未按饲料标准进行饲料成分评估，未对外销售，按市场价格 3200 元 / 吨³⁵进行收益化计算；沼气价格按 1.2 元 / 立方米计算³⁶。湖州餐厨垃圾处理工艺中，收入最大来源是粗油脂的销售，其次为沼气与有机肥带来的收益，三者占比高达 97%。

表 3.7 湖州市旺能再生能源垃圾处理项目产值估算
(按月计算)

项目	产量	金额 (元)
有机肥	1800 吨	414000
虫饲料	20 吨	64000
沼气	350000 立方米	420000
粗油脂	212 吨	1696000
合计		2594000

综上所述,结合成本收益,每月处理 7495 吨原生易腐垃圾,固定成本总投入 12974.92 万元,流动成本每月总计 302.25 万元,折算后每吨垃圾分配的固定成本为 154.68 元,每吨垃圾分配的流动成本为 403.27 元,每吨易腐垃圾分配的成本为 475.40 元;最终产品、副产品月销售为 259.40 万元,每吨易腐垃圾收益为 346.10 元/吨,政府补贴 275 元/吨,每吨易腐垃圾的经济效益为 621.10 元。每吨易腐垃圾的净经济效益为 63.15 元。

注:有机肥价格 230 元/吨;虫饲料价格 3200 元/吨;粗油脂价格 8000 元/吨;沼气价格 1.2 元/立方米

表 3.8 湖州市旺能再生能源垃圾处理项目经济成本效益评估

经济成本 (元/吨)		经济收益 (元/吨)		效益 (元/吨)
固定成本	流动成本	每吨收益	政府补贴	
154.68	403.27	346.10	275.00	63.15

3. 环境成本效益分析

本项目下每月运输原生垃圾 7495 吨,根据碳排放环境成本 = 运输距离 * 运输质量 * 碳排放因子 / 1000 * 碳交易价格,每月排放 16.92 吨二氧化碳,运输碳排放的环境成本为 969.56 元,运输每吨易腐垃圾的排放了 2.26 千克二氧化碳,每吨易腐垃圾带来的环境成本为 0.13 元。

浙江省工业用电平均价格为 0.853 元/千瓦时,易腐垃圾处理的耗电量为 330082.06 千瓦时,根据 2016 年排放因子 0.5246,计算出间接排放 173161.05 千克二氧化碳,每吨排放 25.36 千克二氧化碳与耗电 44.04 千

瓦时,碳汇交易价格 57.29 元/吨,月排放二氧化碳货币化的环境成本为 9920.40 元,平均每吨垃圾的环境成本为 1.32 元。

沼气可以替代煤炭发电,从而产生潜在环境效益。根据计算,该项目每月的潜在环境效益为 42140 元,平均每吨餐厨垃圾带来的潜在收益为 5.62 元。

企业生产了 1800 吨有机肥,避免了部分化肥的使用,根据调研,该项目有机肥与化肥替代比为 10:1,由此带来的环境效益为 10.86 万元,折算每吨易腐垃圾的潜在环境效益为 14.49 元。

表 3.9 湖州市旺能再生能源项目餐厨垃圾环境成本效益评估

环境成本 (元/吨)		环境收益 (元/吨)		合计 (元/吨)
运输环节环境成本	电力间接排放环境成本	沼气环境收益	有机肥环境收益	
0.13	1.32	5.62	14.49	18.66

4. 综合评估

湖州市旺能再生能源项目副产物利用较多，有着稳定的经济来源，经济效益为 63.15 元 / 吨，是一个盈利企业，其中粗油脂的月销售达到了 169 万元。由于副产物资源化利用较多，产生了 18.66 元 / 吨的潜在正向环境效益。该项目综合效益达到 81.81 元 / 吨。

表 3.10 湖州市旺能再生能源垃圾处理项目
成本效益评估

项目	净经济效益 (元 / 吨)	净环境效益 (元 / 吨)	综合成本效益 (元 / 吨)
湖州市旺能再生能源项目	63.15	18.66	81.81



3.3 案例二：金华市江东镇垃圾生态处理项目

3.1 项目基本情况

金华市垃圾生态处理项目自 2018 年 11 月建造完成，总投资超 200 万元，全部出自地方政府、省级补助等财政资金，包括好氧生物发酵处理站一座和生活垃圾压缩站一座，覆盖全镇生活垃圾处理。该处理站采用浙江大学环境生态研究所研发的好氧堆肥仓强化生物发酵专利技术，易腐垃圾通过进仓前的撕碎压榨，仓内强化好氧堆肥发酵，转变为腐熟充分、氮磷钾和有机质含量高，成肥利用效果佳的有机肥料，该肥料对促进植物生长、土壤修复均有良好的作用。

好氧堆肥仓处理工艺的主要流程为：来料→撕碎压榨→进仓→微生物接种→好氧堆肥（过程监控+智能自动控制+阶段翻堆）→风干脱水→出仓→成品肥深加工/贮存。强化好氧生物发酵处理站是普通阳光堆肥房的升级版，堆肥发酵时间可缩短至 20-30 天，收集后的易腐生活垃圾原料经过二次检查和撕碎、压榨等预处理工艺（与新鲜垃圾相比，经预处理后的垃圾质量可减少约 30%，体积可减少约 60%，确保进仓堆肥的有机垃圾分成良好、垃圾大小和含水率均衡）。堆肥过程中，以温湿度为指标，实现过程监控和智能自动控制，同时通过阶段翻堆、通风曝气和温度保持等手段，控制垃圾的含水率和腐熟程度，实现垃圾的快速腐熟成肥。

该项目的示范性在于：设备设施使用寿命长，折旧成本低。保守估计可稳定运行 10 年以上，不需要整体更换或整体翻新设备。构筑物可稳定使用 20 年以上。运维管理得当的前提下，设备设施几乎无折旧损失风险，运行稳定，故障率较低，抗故障能力强。该工艺可短时间内接收超过本身设计处理能力 3 倍以上的厨余垃圾数量。日常运行成本极低，契合农村生活垃圾资源化应用场景的最佳技术路线。从工艺原理本质论述，区别于目前广泛使用电能的机械成肥工艺，该工艺充分利用太阳能与生物质自热能量，每吨厨余垃圾处置能耗极低。自动化程度高且操作简便，职工培训成本较低。中长期来看，对技术工人流失严重、技工人力资源越来越缺乏的农村地区，该技术极为适应农村地区应用，大大降低农村生活垃圾资源化长期的人力成本。

此类项目的重难点在于阳光房的建造，特点是运行成本低、占地面积大，因此天然符合农村易腐垃圾处理的需求。下一步，从破解单个项目处理能力和单位面积利用率偏低的角度出发，可以通过多个村联合的形式，共同出资建造和运维阳光房，进一步整合各地优势资源，提高利用率。同时，优化易腐垃圾转运路线，改进项目工艺水平，提高项目管理水平，提升项目运行效率。

表 3.11 金华市垃圾生态处理项目简介

项目	金华市江东镇垃圾生态处理项目
处理量	易腐垃圾 90 吨 / 月
总耗资	200 万元
设备情况	好氧生物发酵处理站与生活垃圾压缩站
处置流程	来料→撕碎压榨→进仓→微生物接种→好氧堆肥→风干脱水→出仓→成品肥深加工 / 贮存
特点	成肥效果好，能耗低，效率高，维护成本低

3.2 成本效益分析

1. 核算模型

金华市江东镇垃圾生态处理项目易腐垃圾处理的流程如右图。

江东镇垃圾处理规模较小，经济成本主要为土地与设备的投入，收益依赖于政府补贴，堆肥产物有机肥供村民无偿使用。环境效益主要为有机肥带来的收益。

2. 经济成本效益分析

该处置中心运输采取电动车的方式运输，易腐垃圾由各个村集中运至处理点，其费用由各村承担，故不计入一次固定成本。该项目主要分为预处理阶段与好氧堆肥阶段。

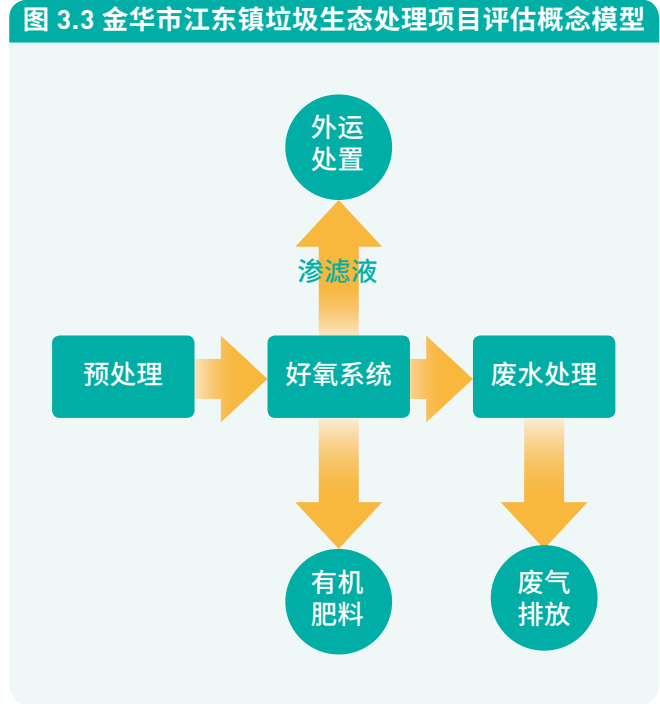


表 3.12 金华市江东镇垃圾生态处理项目固定成本投入

项目	内容	金额 (万元)
运输投入	各村运至集中点集中处理，费用各村承担	0
预处理阶段	破碎压榨设备投入以及土地投入	46.57
好氧堆肥阶段	好氧设备投入、废气处理设备投入以及土地投入	60.71
合计	/	107.28

表 3.13 金华市江东镇垃圾生态处理项目流动成本估算

项目	内容	金额 (元/月)
管理费用	管理人员工资	6000
电费	含各预处理、好氧堆肥阶段所有设备	1132
运输费用	垃圾量小，电动三轮车运输，5个村，每个村按每日1元电费估计	150
人工费用	含预处理阶段与好氧堆肥阶段工资	11000
维护成本	整个流程中所有设备维护费用	3433
微生物接种	30*90元/次	2700
处置成本	固渣运输处理以及后续处理	1800
其他费用	税费、物资采购、燃油费等	2583
合计	/	28798

金华市江东镇垃圾生态处理项目规模较小，收益方面主要依赖于补贴收入，一次投入政府补贴 107.28 万元，此外，按月补贴 29650 元。最终产品有机肥无偿供村民自用，出于该项目核算需要，按 230 元 / 吨计算收入，月收入为 2898 元。易腐垃圾折算每吨成本为 369.64 元，其中包括固定成本为 49.67 元 / 吨，流动成本为 319.98 元 / 吨；易腐垃圾折算每吨收益为 411.31 元，其中包括政府补贴为 379.11 元 / 吨，有机肥所带来的收益为 32.20 元 / 吨。每吨易腐垃圾经济效益为 41.66 元 / 吨。

表 3.14 金华市江东镇垃圾生态处理项目经济成本效益评估

经济成本 (元 / 吨)		经济收益 (元 / 吨)		合计 (元 / 吨)
固定成本	流动成本	每吨收益	政府补贴	
49.67	319.98	32.20	379.11	41.66

3. 环境成本效益分析

在本项目中，运输由小型电动车三轮车运输，一方面运输路程较短，另一方面不存在柴油消耗，不考虑二氧化碳的排放量。

根据实际消耗的电量，计算出金华市江东镇垃圾生态处理项目存在 696.19 千克二氧化碳排放量，月排放二氧化碳货币化的环境成本为 39.88 元，每吨易腐垃圾消耗电力排放 2.26 千克二氧化碳和耗电 14.75 千瓦时，每吨环境成本为 0.44 元。

本项目的环境效益主要来源于有机肥。根据每月

生产 12.6 吨有机肥，根据实际情况，有机肥与化肥替代比为 4:1，计算出每月生产有机肥带来的环境效益为 1900.30 元，折算后每吨易腐垃圾带来的潜在环境效益为 21.11 元，该项目下每吨易腐垃圾环境效益为 20.67 元 / 吨。

表 3.15 金华市江东镇垃圾生态处理项目环境成本效益评估

环境成本 (元 / 吨)	环境收益 (元 / 吨)	合计 (元 / 吨)
设备电力消耗间接排放二氧化碳成本	有机肥环境收益	
0.44	21.11	20.67

4. 社会成本效益分析

金华市江东镇垃圾生态处理项目具有公益性质，收入基本为 0，但出于项目核算需要，其产出有机肥作为收入项目处理。由于规模较小人力资源投入较大，使得流动成本（主要集中于人力费用）远远高于固定成本。项目潜在收益仅仅依靠有机肥，来源单一，经济效益上盈利 41.66 元 / 吨。考虑到经济、环境效益，该项目盈利 62.33 元 / 吨。

表 3.16 金华市江东镇垃圾生态处理项目成本效益评估

项目	净经济效益 (元 / 吨)	净环境效益 (元 / 吨)	综合效益 (元 / 吨)
金华市垃圾生态处理项目	-194.95	83.83	652.88



3.4 案例三：杭州市天子岭餐厨垃圾处置项目

3.4.1 项目基本情况

杭州天子岭餐厨垃圾处置项目包括 2 个厨余垃圾处理子项目和 2 个餐厨垃圾处理子项目。厨余垃圾一期子项目是杭州市第一个，也是全国第一个规模化厨余垃圾处理项目，总占地面积 5710 平方米（8.56 亩），总投资约 1.1 亿元，处理规模 200 吨/日，项目于 2013 年 5 月 30 日开工，2014 年 6 月 25 日启动试运行，2015 年 3 月 31 日进入正式运行。

厨余垃圾二期子项目，占地约 18 亩，总投资约 1.2 亿元，处理规模 200 吨/日，项目于 2019 年 3 月开工建设，2021 年 2 月建成并投入试运行。餐厨一期子项目，占地面积约 13 亩，总投资约 1.2 亿元，处理餐厨垃圾 200 吨/日、地沟油处理 20 吨/日，项目于 2014 年 12 月开工建设，2016 年 1 月建成并投入试运行。餐厨二期子项目，占地面积约 38 亩，总投资约 2.4 亿元，处理餐厨垃圾 250 吨/日、实现毛油资源化利用 25 吨/日，项目于 2018 年 12 月开工建设，2020 年 8 月建成并投入试运行。四个子项目中，仅厨余垃圾处理二期子项目的建设资金由企业自筹，其他三个子项目资金均来自财政资金。

厨余一期子项目整体工艺采用“预处理+干式厌氧发酵+沼气净化发电+沼渣脱水处置”，除臭工艺采用“水洗预处理+生物过滤”工艺。一期子项目采用了机械“破袋”方法。易腐垃圾处理首先将垃圾放在流水线的传送带上，由工人拿着特制的钉耙，站在传送带两端，挑拣出衣服、鞋子、易拉罐等非易腐垃圾，再把剩下的垃圾送入破袋机。在破袋机里，设有一个装有刀片的滚筒，

在旋转运动中，将垃圾袋破开，并将垃圾和塑料袋初步分离。之后，垃圾还要再经过风选机、滚筒筛、生物质分离器等做二次分选，最终留下能处理的有机物。厨余二期子项目整体工艺采用“预处理+干式厌氧发酵+沼气发电+沼渣脱水处置”，除臭工艺采用“化学洗涤+光催化+活性炭”工艺。

餐厨一期子项目整体工艺采用“预处理+油脂回收提纯+湿式厌氧发酵+沼气净化发电+沼渣脱水处置”，除臭工艺采用“化学洗涤+光催化”。餐厨二期子项目整体工艺采用“预处理+油脂回收提纯+湿式厌氧消化+沼气净化发电+沼渣脱水处置+污水预处理”。

该项目的示范性在于：项目建设至今已经建成四期，厨余垃圾处理能力达到 400 吨/日，餐厨垃圾处理能力达到 450 吨/日，是杭州市规模最大的易腐垃圾处置项目，基本覆盖杭州市中心城区处理需求，有效破解大城区易腐垃圾处置难题；该项目垃圾提油率超过 1.5%，地沟油提油率超过 97%，所提油脂纯度超过 98%，大大降低了由于餐厨垃圾处理市场不规范所导致的食物安全隐患和生态环境污染风险，有效解决地沟油隐患问题；易腐垃圾从居民投放端直运到天子岭餐厨垃圾处置中心，处置后产生的固渣和筛上物送往垃圾焚烧厂焚烧发电，沼气也应用于发电，浆料经厌氧发酵后送污水厂进行处理，有效创建首中末一体化管理模式。

杭州环境集团作为垃圾处理行业龙头，在“双碳”改革中肩负重任，亟需继续加大研发力度，改进现有处理工艺，探索新型高效处理方式。

表 3.17 杭州天子岭餐厨垃圾处置项目简介

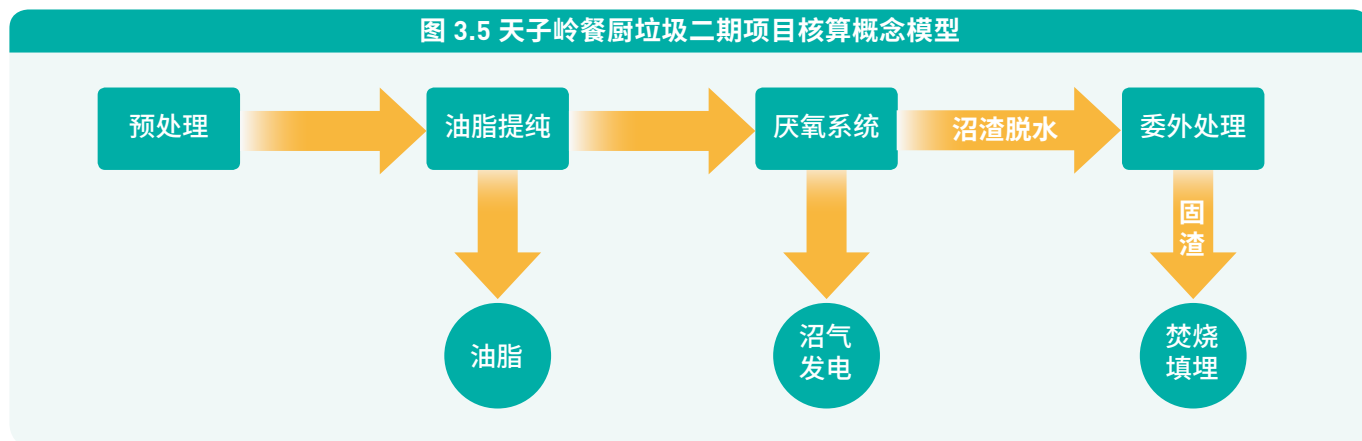
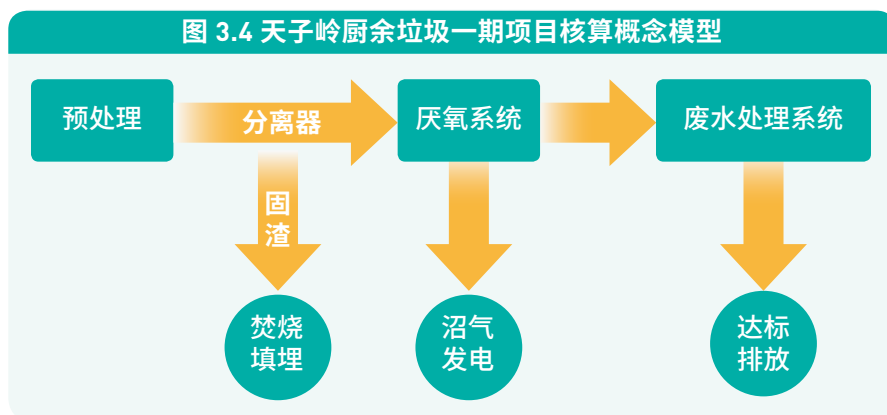
项目	厨余一期	餐厨二期
处理量	厨余垃圾 200 吨/日	餐厨垃圾 250 吨/日
规模	8.56 亩	38 亩
总耗资	1.1 亿元	2.4 亿元
工艺	采用“预处理+干式厌氧发酵+沼气净化发电+沼渣脱水处置”，除臭工艺采用“水洗预处理+生物过滤”工艺	采用“预处理+油脂回收提纯+湿式厌氧消化+沼气净化发电+沼渣脱水处置+污水预处理”，除臭工艺采用“化学洗涤+生物过滤+植物精油”工艺

3.4.2 成本效益分析

1. 核算模型

根据实际处理流程，杭州天子岭餐厨垃圾处置项目易腐垃圾处理分为两期，各期处理流程如下。

杭州天子岭餐厨垃圾处置项目的经济成本主要包括固定成本和流动成本，经济效益主要为油脂、沼气两项产物带来的直接收益。环境成本主要是电力使用所带来的二氧化碳的间接排放以及运输阶段的二氧化碳排放，环境效益集中在沼气发电避免煤炭使用带来的环境效益。



2. 经济成本效益分析

天子岭厨余垃圾一期是全国第一个规模化厨余垃圾处理项目，通过计算发现厨余一期项目处于亏损状态运行，餐厨二期项目存在盈利。厨余一期生产建设各阶段固定成本上相差不大，流动成本主要集中在了处置成本，处置成本远高于电费人工费用和维护成本之和。由于存在规模经济效益，人工费所占总成本比重明显低于江东镇项目，大量的人工费用被电力费用替代。

表 3.18 杭州天子岭厨余垃圾一期生产固定成本

项目	内容	金额 (万元)
预处理阶段	螺罗脱水机、滚筒筛、生物质分离器	520
厌氧系统阶段	沼气净化设备、厌氧处理设备	550
合计	/	1070

表 3.19 杭州天子岭厨余垃圾一期流动成本估算

项目	内容	金额 (元 / 月)
电费	包含各阶段电费	702640
人工费用	预处理过程人工费用	80780
维护成本	各个阶段保养维修费用	27424
处置成本	运输、焚烧、填埋以及废水处理成本	700000
合计	/	1510844

表 3.20 杭州天子岭餐厨垃圾二期固定成本

项目	内容	金额 (万元)
预处理阶段	预处理设备	2300
油脂提纯阶段	油脂提纯设备	350
厌氧处理阶段	厌氧处理设备、沼气净化设备、沼渣脱水设备	2000
合计	/	4650

表 3.21 杭州天子岭餐厨垃圾二期流动成本估算

项目	内容	金额 (元 / 月)
电费	预处理阶段、提纯阶段、厌氧系统所耗电费	450000
人工费用	预处理阶段、提纯阶段、厌氧系统阶段所耗人工费用	220000
维护成本与周期	油脂提纯设备、厌氧处理设备、沼气净化设备	62500
处置成本	焚烧、运输成本	330000
合计	/	1062500

根据获得数据，天子岭厨余垃圾一期项目每月处理 6000 吨厨余垃圾，每吨厨余垃圾处理的流动成本为 251.81 元，固定成本 14.86 元，总成本为 266.67 元。

天子岭厨余垃圾一期最终产物以沼气为主，每日产生原生沼气 16000 立方米，每月产生沼气 480000 立方米，沼气价格取 1.2 元 / 立方米，带来基本收益 57.60 万元。折算为收益为 96 元 / 吨，此外，政府补贴 207 元 / 吨。

天子岭餐厨垃圾二期每月处理餐厨垃圾 7500 吨，根据生产固定成本与流动成本计算方式，每吨餐厨垃圾处理流动成本为 141.66 元，固定成本为 51.67 元，总成本为 193.33 元。

天子岭餐厨垃圾二期最终产物以沼气与粗油脂为

主，沼气月产量 360000 立方米，价格取 1.2 元 / 立方米，沼气每月产值 43.2 万元，粗油脂每月价值 281.25 万元，产品总收入平均每吨 432.6 元，天子岭二期每吨补贴 166 元，天子岭餐厨二期收益折算后为 598.6 元 / 吨，净收益为 405.27 元 / 吨。研究发现，在收入中粗油脂带来的收益占了 87%，是弥补成本的主要来源。

表 3.22 杭州天子岭餐厨垃圾二期月产值估算

产品	产量	产值 (元)
沼气	360000 立方米	432000
粗油脂	375 吨	2812500
合计		3244500

表 3.23 杭州天子岭餐厨垃圾处置项目项目经济成本效益评估

项目	经济成本 (元 / 吨)		经济收益 (元 / 吨)		合计 (元 / 吨)
	固定成本	流动成本	每吨收益	政府补贴	
杭州天子岭一期项目	14.86	251.81	96	207	36.33
杭州天子岭二期项目	51.67	141.66	432.6	166	405.27

3. 环境成本效益分析

杭州天子岭厨余垃圾一期每月易腐垃圾运输量为 6000 吨，碳排放环境成本 776.16 元，每吨易腐垃圾排放 2.26 千克二氧化碳，每吨易腐垃圾环境成本 0.13 元；餐厨垃圾二期每月碳排放环境成本 970.21 元，每吨易腐垃圾排放 2.26 千克二氧化碳，每吨易腐垃圾环境成本 0.13 元。

就厨余垃圾一期而言，易腐垃圾处理的耗电量为 823728.02 度电，间接排放 432127.72 千克二氧化

碳，平均每吨易腐垃圾排放 72.02 千克二氧化碳与耗电 137.29 千瓦时，二氧化碳货币化的环境成本为 24756.60 元，平均每吨餐厨垃圾环境成本为 4.13 元。同理，餐厨垃圾二期排放二氧化碳的环境成本为 15855.16 元，每吨易腐垃圾排放 36.9 千克二氧化碳与耗电 70.34 千瓦时，平均每吨易腐垃圾处理为 2.11 元。

天子岭一期每月产生沼气 480000 立方米，二期每月产生沼气 360000 立方米，发电带来的每月潜在环境效益分别为 67.20 万元和 50.40 万元，每吨厨余垃圾环境效益 9.63 元，每吨餐厨垃圾环境效益 5.78 元。

表 3.24 杭州天子岭餐厨垃圾处置项目环境成本效益评估

项目	环境成本 (元 / 吨)		环境效益 (元 / 吨)	合计 (元 / 吨)
	运输环节	电力消耗间接排放二氧化碳的成本	沼气避免的环境成本	
杭州天子岭一期项目	0.13	4.13	9.63	5.37
杭州天子岭二期项目	0.13	2.11	5.78	3.54

4. 综合评估

杭州天子岭项目两期的核心收入依赖于粗油脂销售。一期投入较早，经济效益利润较小，随着二期规模扩大，技术进步，固定成本投入有所增加，流动成本大大降低大量的人力资源被电力所替代，有了较高的经济效益。在经济成本效益分析中，该项目存在 441.60 元 / 吨的经济盈余。结合环境效益，天子岭项目环境与经济成本效益评估为 450.51 元 / 吨。

表 3.25 杭州天子岭项目成本效益评估

项目	净经济效益 (元 / 吨)	净环境效益 (元 / 吨)	综合效益 (元 / 吨)
杭州天子岭一期项目	36.33	5.37	41.70
杭州天子岭二期项目	405.27	3.54	408.81
合计	441.60	8.91	450.51



3.5 案例四：宁波市“一再生金”餐厨厨余垃圾处置项目

5.1 项目基本情况

宁波市“一再生金”环境科技有限公司成立于2011年4月，前身为宁波恒信环保科技有限公司即原余姚市餐厨垃圾处理厂，项目总投资4000万元，全部由企业自筹，位于浙江省宁波余姚市中意（宁波）生态园，占地面积30亩，其中餐厨垃圾处理16亩，处理规模200吨/日；厨余垃圾处理14亩，处理规模150吨/日。垃圾处置涵盖主城区及七成以上乡镇村。

餐厨垃圾经收运车辆收集后送至餐厨垃圾处理厂，经地磅称重、记录、打单后至卸料区，倒入装有滤水功能链板的接料斗内；接料斗将餐厨垃圾送至滚筒筛（大物质分选设备）；滚筒筛将大块杂质（筛上物）分选出来委外处理，筛下物通过螺旋装车送至制浆设备；粉碎后的浆料与挤压液经泵提升进入湿热水解反应釜，在搅拌机和外蒸汽盘管加热的配合作用下，物料均匀的加热至60℃以上。物料中的油脂粘度降低，方便后续分离提油。湿热水解后的物料经螺杆泵输送进入三相分离机，在离心力作用下，利用水、油、固相的密度差实现三相分离。分离得到的固形物经螺旋输送进入出渣车间，水、油相自流进入相应的过滤除杂设备，在过滤栅板作用下将水、油相中粒径大于1毫米的杂物分离出来，并进行挤压脱水。分离得到的浓水经泵提升送至均质罐；分离得到的油脂进入车间油水分离器；在重力作用下、去除水杂固形物通过输送泵至昆虫养殖区；油脂经过滤除杂后泵至油脂储罐，对外出售；浓水自流至浓水暂存池，委外处置。

该项目的示范性在于：采用热解工艺，降低油脂粘度，还能提高有机物的后续生化性，提高产沼率；通过加热处理，餐厨废弃物中油脂成分被充分从食物中释放出来，同时达到对餐厨废弃物灭菌的效果；采用外盘管加热，整个加热环节不增加工艺用水和废水排出量；采用成熟的三相分离工艺，浆料中99%的油脂可以被分离回收，降低浓水中的油脂含量，提高后续垃圾渗滤液协调处理的稳定性；投入运营成本低，没有后端发酵罐购买成本及运营成本。

易腐垃圾饲料化处理后的产品销售是制约该种处理方式广泛运用的主要因素，一方面民众对于产品安全性仍有较多顾虑，另一方面，无法规模化量产导致供应量限制在较低水平。下一阶段的主要难度在于提高养殖技术，包括通过增加养殖架层数、单位面积虫卵数量来提高养殖数量，通过调节营养配比、提高易腐垃圾腐熟质量来提高养殖质量，通过优选虫种来提高养殖速度等，进一步优化预处理工艺，同时整合杀菌消毒环节，提升产品安全性。

表 3.26 宁波市“一再生金”餐厨垃圾简介

项目	宁波市“一再生金”餐厨厨余垃圾处置项目
处理量	餐厨垃圾 200 吨 / 日 厨余垃圾 150 吨 / 日
总耗资	4000 万元
处理环节	预处理阶段，厌氧发酵阶段
规模	44 亩

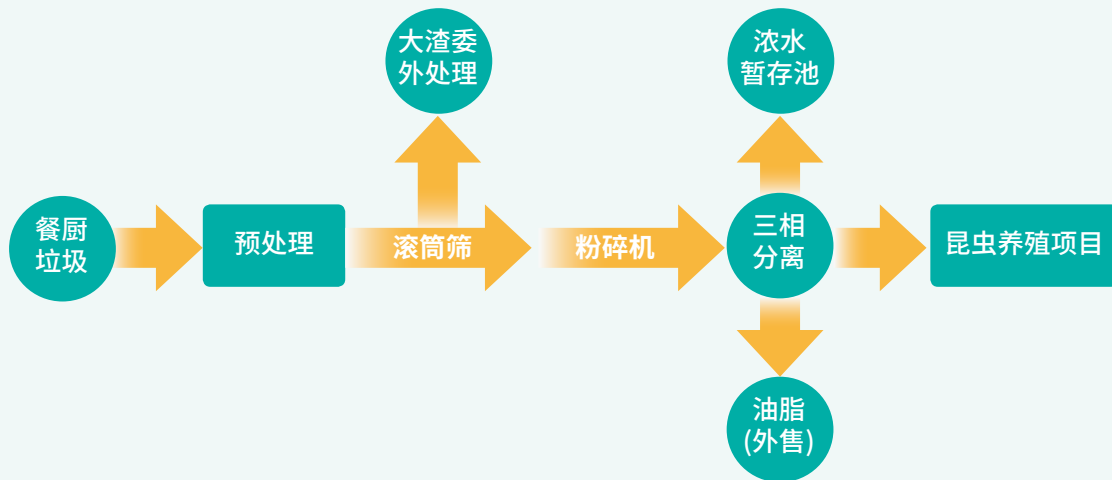
5.2 成本效益分析

1. 核算模型

根据实际处理流程，宁波市“一再生金”项目核算概念模型流程如下：

宁波市“一再生金”项目的经济成本主要包括固定成本和流动成本，经济效益主要为油脂、虫饲料两项产物带来的直接收益。环境成本主要是电力使用所带来的二氧化碳的间接排放以及运输阶段的二氧化碳排放。本项目没有生产有机肥和沼气，未产生相应的环境效益。

图 3.6 宁波市“一再生金”项目核算概念模型



2. 经济成本效益分析

宁波市“一再生金”项目下昆虫养殖阶段固定成本投入最高，投入达到了 1831.40 万元；流动成本中，人工费用投入较大，仅考虑生产过程中的人工费用，月投入就达到了 32.51 万元。收入来源主要依靠油脂收入以及政府补贴，油脂带来的月收入以及政府补贴可以弥补成本的投入，是一个盈利项目。宁波市“一再生金”项目经济成本效益分析如下：

表 3.27 宁波市“一再生金”项目固定成本估算

项目	内容	金额(万元)
运输投入	运输车	516.37
预处理阶段	滚筒筛、粉碎机、热解罐等设备	690.83
三相分离阶段	固液分离设备、三相分离设备、粗油脂罐设备	421.16
昆虫养殖阶段	车间、设备投入	1831.40
合计	/	3459.76

表 3.28 宁波市“一再生金”项目流动成本估算

项目	内容	金额 (元 / 月)
管理费用	高层管理人员工资	199351.17
电费	含各阶段总电费	6879.00
人工费用	含各预处理阶段、昆虫养殖人工费用	325095.81
维护成本	整个流程中所有设备维护费用	43012.00
处置成本	固渣处理	38939.00
其他费用	其他相关费用	137846.86
合计	/	751123.84

表 3.29 宁波市“一再生金”项目月产值估算

产品	产量	产值 (元)
虫饲料	0	4700 ³⁷
粗油脂	97.72 吨	605864 ³⁸
合计	/	610564

表 3.30 宁波市“一再生金”项目经济成本效益评估

经济成本 (元 / 吨)		经济收益 (元 / 吨)			合计 (元 / 吨)
固定成本	流动成本	每吨收益	每吨收费	每吨补贴	
152.56	324.74	263.97	35.00	236.00	57.67

3. 环境成本效益分析

宁波市“一再生金”项目的环境成本主要为运输和电力间接带来的环境成本。运输环节中环境成本为每月 299.21 元，每吨易腐垃圾排放 2.26 千克二氧化碳，每吨环境成本为 0.13 元。

根据宁波市“一再生金”项目耗电量 8064.48 度电，间接排放 4230.63 千克二氧化碳，排放二氧化碳货币化的环境成本为 242.37 元，平均每吨易腐垃圾排放 1.83 千克二氧化碳与耗电 3.49 千瓦时，每吨易腐垃圾电力间接排放环境成本为 0.10 元。

宁波市“一再生金”项目每吨餐厨垃圾的总环境成本为 0.23 元。

表 3.31 宁波一再生金经济成本效益评估

环境成本 (元 / 吨)		环境效益 (元 / 吨)	环境效益 (元 / 吨)
运输环节环境成本	电力间接排放环境成本		
0.13	0.10	0	-0.23

4. 综合评估

宁波市“一再生金”项目下，净经济效益为 57.68 元 / 吨，净环境成本为 0.23 元 / 吨，尽管为未生产可以带来潜在收益的副产品，但宁波市“一再生金”项目依旧存在利润，环境与经济效益达到了 57.45 元 / 吨。

表 3.32 宁波市“一再生金”项目成本效益评估

项目	净经济效益 (元 / 吨)	净环境效益 (元 / 吨)	综合效益 (元 / 吨)
宁波市“一再生金”项目	57.68	-0.23	57.45

3.6 传统处理模式

传统的垃圾处理方式以填埋或者焚烧为主。通过参考相关文献，可变成本为收集、转运以及处理原生垃圾的费用，固定成本包括土地投入与设备投入，焚烧收益包括电价补贴与服务收入，经济效益如下：

不考虑焚烧收集与处理环节，生活垃圾的可变处理成本为 35 元 / 吨，考虑到收集与处理环节，单位生活垃圾的焚烧成本为 340 元 / 吨；不考虑填埋收集与处理环节，填埋可变处理的单位成本为 20 元 / 吨³⁹ 考虑到收集与处理环节，单位生活垃圾的填埋成本为 340 元 / 吨。焚烧基建投入为 57.59 元 / 吨，填埋基建投入为 150.39 元 / 吨⁴⁰。焚烧每吨垃圾的成本为 397.59 元 / 吨，填埋每吨垃圾的成本为 490.39 元 / 吨。

垃圾发电企业的经济收入包括垃圾焚烧处理收入和售电收入，其中售电占比为 70% ~ 80%。根据近期中标的部分垃圾焚烧项目，垃圾处理焚烧处理收入取 60 元 / 吨⁴¹，售电收入按占比 75% 折算为 240 元 / 吨。

垃圾焚烧与填埋过程中会对环境产生重要影响。已有研究对 25 个城市进行了填埋的环境成本测算，垃圾填埋场的环境污染最主要的污染源是渗滤液中的污染物。因此，利用渗滤液的环境成本近似估计填埋场的环境污染成本，计算出杭州市填埋的环境成本为 24 元 / 吨。焚烧会产生大量有毒气体，毛永宁以二氧化碳作为环境指标的为切入点来计算环境成本。已知一种污染物排放的环境成本的前提下，计算其他污染物排放的环境成本。焚烧情况下单位 SO₂、NO_x 和二噁英排放的环境成本分别为 73976.65、256600.9、3.47*10¹⁰ 元 / 吨。⁴² 根据传统炉排炉折算到焚烧处理每吨易腐垃圾产生 SO₂ 的环境成本为 0.28 元，产生 NO_x 的环境成本为 3.49 元，产生二噁英的环境成本为 0.16 元。

表 3.33 传统方案下单位易腐垃圾处理经济效益估算

类型	项目	成本 / 收入 (元 / 吨)
成本项目	焚烧固定成本投入	57.59
	填埋固定成本投入	150.39
	焚烧收集、转运费用	305
	填埋收集、转运费用	315
收益项目	焚烧成本	35
	填埋成本	25
	发电补贴收入	240
	焚烧处理收入	60

数据来源：

孙雪蒙, 韩织阳, 蔡良娟, 刘斌. 垃圾收费定价方案模拟——基于处理成本与回归模型的分析 [J]. 沈阳大学学报 (社会科学版), 2018, 20(03): 286-290

表 3.34 传统方案下单位易腐垃圾处理环境成本估算

污染物	成本 (元 / 吨)
SO ₂	0.28
NO _x	3.49
二噁英	0.16

除此之外，传统的生活垃圾焚烧、填埋还产生较高的温室气体和其它污染物排放（见表 3.35）。由于研究边界和方法不同，现有研究中的污染排放及健康损失难以与本研究中的 4 个项目进行直接比较，但现有研究显示，焚烧、填埋等传统生活垃圾处理方式带来的污染物排放依然可能带来不容忽视的健康成本⁴³。

表 3.35 传统生活垃圾处理主要能源（物质）输入输出情况

项目	能源输入		能源（物质）输出							
	柴油 (L/t)	电力 (kWh/t)	电力 (kWh/t)	沼气 (m ³ /m)	有机肥 (t/m)	油脂 (t/m)				
传统焚烧处理	1.39	73.660	411300*	0	0	0				
传统填埋处理	0.683	1.960.173****	20347****	其中 CH411kg/t	0	0				
项目	碳排放、污染物排放									
	二氧化碳 (kg/t)	二噁英 (ug TEQ/t)	镉 (g/t)	铅 (g/t)	铬 (g/t)	锌 (g/t)	镍 (g/t)	铜 (g/t)	砷 (g/t)	汞 (g/t)
传统焚烧处理	561.00*	17**	3***	109***	101***	877***	34***	241***	21***	1.7***
传统填埋处理	1700	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注：

** 其中，烟气中的二噁英排放为 0.5ugTEQ/t，飞灰、底渣中的二噁英排放为 16.5ugTEQ/t。

数据来源：

* 李欢，金宜英，李洋洋 . 生活垃圾处理的碳排放和减排策略 [J]. 中国环境科学 ,2011,31(02):259-264.;

** United Nations Environment Programme (UNEP). Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs[R]. 2013(1):37-38;

*** Ping Wang, Yuanan Hu, Hefa Cheng, Municipal solid waste (MSW) incineration fly ash as an important source of heavy metal pollution in China, Environmental Pollution, Volume 252, Part A, 2019, Pages 46;

**** 韦保仁，王俊 . 苏州垃圾填埋生命周期清单分析 [J]. 环境科学与技术 ,2008(11): 89。



© Peter Caton / Greenpeace

3.7 比较分析

3.7.1 经济成本效益比较

通过比较各个项目的成本投入发现，项目运行时流动成本占总成本的占比要远大于固定成本占总成本的占比。此外，处理易腐垃圾的规模越大，意味着处理易腐垃圾的机械化程度越高，固定成本的投入占总成本比重也越高，流动成本占比降低。

各个易腐垃圾处理项目下，政府补贴占企业收入比重较大，处置规模越大，政府补贴占收入比会相对较低。此外产业链越长，副产品产出越多，项目的经济效益越好，企业对政府补贴的依赖性也越低。技术进步也起着重要作用，天子岭餐厨项目随着技术的创新和新工艺的投入，效益大有改善。在不计入政府补贴，只比较产品/服务收入的条件下，企业核心收入主要来自各个项目的副产物油脂，其次为沼气。

假设没有财政补贴，除天子岭餐厨二期子项目，各项目都出现了不同程度的亏损。小规模垃圾处理方式（金华市垃圾生态处理项目）面临巨大亏损，其次为湖州市旺能再生能源项目。

表 3.36 各项目经济成本比较（元/吨）

项目	固定成本	固定成本占比	流动成本	流动成本占比	总成本	
湖州市旺能再生能源项目	154.68	27.72%	403.27	72.28%	557.95	
宁波市“一再生金”餐厨处置项目	152.56	31.96%	324.74	68.04%	477.30	
金华市垃圾生态处理项目	49.67	13.44%	319.98	86.56%	369.65	
杭州天子岭	厨余垃圾一期	14.86	5.57%	251.81	94.43%	266.67
	餐厨垃圾二期	51.67	26.72%	141.66	73.28%	193.33

表 3.37 各项目经济效益比较（元/吨）

项目	补贴收入	补贴收入占比	产品/服务收入	产品收入占比	总收入	
湖州市旺能再生能源项目	275.00	44.28%	346.10	55.72%	621.10	
宁波市“一再生金”餐厨处置项目	236.00	44.11%	298.97	55.89%	534.97	
金华市垃圾生态处理项目	379.11	92.17%	32.20	7.83%	411.31	
杭州天子岭	厨余垃圾一期	207.00	68.32%	96.00	31.68%	303.00
	餐厨垃圾二期	166.00	27.73%	432.60	72.27%	598.60

表 3.38 除去财政补贴情况各项目对比（元/吨）

项目	固定成本	流动成本	总成本	收入	盈余	
湖州市旺能再生能源项目	154.68	403.27	557.95	346.10	-211.85	
宁波市“一再生金”餐厨处置项目	152.56	324.74	477.30	298.97	-178.32	
金华市垃圾生态处理项目	49.67	319.98	369.65	32.20	-337.45	
杭州天子岭	厨余垃圾一期	14.86	251.81	266.67	96.00	-170.67
	餐厨垃圾二期	51.67	141.66	193.33	432.60	239.27



表 3.39 各项目下产品 / 流动成本比 (元 / 吨)

项目	流动成本	产品收入	产品收入 / 流动成本
湖州市旺能再生能源项目	403.27	346.10	0.86
宁波市“一再生金”餐厨处置项目	324.74	298.97	0.92
金华市垃圾生态处理项目	319.98	32.20	0.10
杭州天子岭	厨余垃圾一期	251.81	96.00
	餐厨垃圾二期	141.66	432.60

3.7.2 环境成本效益比较

环境效益主要得益于有机肥带来的效益，净效益较低。但良好环境对社会和公众而言意义重大，环境效益高的处理项目可在很大程度上提高易腐垃圾处理的综合效益。考虑到环境效益，浙江省 4 个项目案例比焚烧、填埋等传统处理方式更值得推广。

表 3.40 各项目的环境收益比较 (元 / 吨)

项目	环境成本	环境效益	净效益
湖州市旺能再生能源项目	1.45	20.11	18.66
金华市垃圾生态处理项目	0.44	21.11	20.67
宁波市“一再生金”餐厨处置项目	0.23	0.00	-0.23
杭州天子岭	厨余垃圾一期	4.26	9.63
	餐厨垃圾二期	2.24	5.78

浙江省 4 个项目中，处理每吨易腐产生的二氧化碳排放远低于传统焚烧、填埋下的二氧化碳排放。此外，传统方案还通过烟气和飞灰等排放对人体有害的二噁英等污染物质，健康损害应纳入相应的政策管理考量中。

3.7.3 综合比较

在企业视角下（财政补贴计入经济收入）比较 4 个项目发现，各项目则存在不同程度的盈余，天子岭餐厨垃圾二期项目综合效益最高。

表 3.41 企业视角下易腐垃圾处理项目成本效益比较 (元 / 吨)

项目	经济成本	经济收入	经济效益	环境效益	综合效益	
湖州市旺能再生能源项目	557.95	621.10	63.15	18.66	81.81	
宁波市“一再生金”餐厨处置项目	477.30	534.97	57.67	-0.23	57.44	
金华市垃圾生态处理项目	369.65	411.31	41.66	20.67	62.33	
杭州天子岭	厨余垃圾一期	266.67	303.00	36.33	5.37	41.70
	餐厨垃圾二期	193.33	598.60	405.27	3.54	408.81

在社会视角（财政补贴计入经济成本）下考察易腐垃圾的成本效益，企业与政府的投入共同构成了对垃圾处理的经济成本，因而各项目经济效益显著下降，仅天子岭餐厨垃圾二期项目存在正向的经济效益。虽然大部分项目都具有正向的环境效益，但因企业收入不足以抵消成本及财政补贴，导致除天子岭餐厨垃圾二期项目外，

大部分项目尚不具备正向的综合效益。

以传统的焚烧、填埋能源（物质）输入输出为参照，浙江省 4 个易腐垃圾处理项目的能源消耗和温室气体排放显著较低，同时，因副产品沼气和有机肥的使用避免了污染排放，产生了正向的环境效益。

表 3.42 社会视角下易腐垃圾处理项目成本效益比较（元/吨）

项目	总成本	财政补贴	企业收入	经济效益	环境效益*	综合效益	
湖州市旺能再生能源项目	557.95	275	346.10	-486.85	18.66	-468.21	
金华市垃圾生态处理项目	369.64	329.44	0	-699.09	20.67	-678.42	
宁波“一再生金”餐厨处置项目	477.30	236	298.97	-414.32	-0.23	-414.56	
杭州天子岭	厨余垃圾一期	266.67	207	96.00	-377.67	5.37	-372.30
	餐厨垃圾二期	193.33	166	432.60	73.27	3.54	76.81

* 张木喜, 孙晓杰, 王亚搏, 谭知涵, 王春莲. 广东省生活垃圾处理方式变化趋势及其原因 [J]. 环境工程学报, 2021, 15(11):3651-3659

表 3.43 易腐垃圾处理主要能源（物质）输入输出比较

项目	能源输入		能源（物质）输出				碳排放	
	柴油 (L/t)	电力 (kWh/t)	电力 (kWh/t)	沼气 (m ³ /m)	有机肥 (t/m)	油脂 (t/m)	二氧化碳 (kg/t)	
湖州市旺能再生能源项目	1.388	44.04	0	350000	1800	212	25.36	
金华市垃圾生态处理项目	0	14.75	0	0	12.6	0	7.74	
宁波“一再生金”餐厨处置项目	1.388	3.49	0	0	0	97.72	4.09	
杭州天子岭	厨余垃圾一期	1.388	137.29	0	480000	0	0	74.28
	餐厨垃圾二期	1.388	70.34	0	360000	0	375	39.16

3.8 结论

- 易腐垃圾处理各项目成本不一，长流程、规模化处置效益/成本比更高。

研究发现，四个被考察项目数处理每吨易腐垃圾的经济成本在 193.33 ~ 557.95 元不等，且项目间差异较大。总体看来，项目规模越大、产业链越长、副产品越多，实现“多级压榨”，则经济效益和环境效益越好。

- 各项目收入财政补贴比重大，盈利能力普遍较低。

被考察项目中，财政补贴占易腐垃圾处理企业收入 40% 以上，如降低或取消补贴，大部分项目都会出现不同程度的亏损。目前厨余垃圾处理项目经济效益不高的主要瓶颈在于有机肥料等资源化产品利用渠道不畅，价值尚未得以充分体现。现阶段财政补贴政策对垃圾资源化回收利用市场培育和企业扶持十分必要。

- 以厌氧发酵、好氧堆肥和饲料化处理为主的易腐垃圾项目环境效益显著。

与传统垃圾处理方式相比，被考察项目在能耗、碳排放及其它污染物排放上显著较低，环境效益较高。这些项目的环境效益主要得益于沼气生产等量电力所避免的煤炭消耗和有机肥使用避免的化肥使用。如果计入因替代焚烧而产生的环境效益，这些项目的综合效益更佳。因此，财政补贴具有培育垃圾资源化回收利用市场、保护环境和公众健康的多重政策效果。

报告完稿过程中，我们得到多方专家的指导和帮助，但仍存在不足之处。在成本效益分析方法上，由于数据可获得性限制，纳入考察的环境影响还不完整。目前测算的环境成本仅限于运输和电力消费产生的二氧化碳排放，环境效益仅限于沼气替代标准煤生产等量电力和有机肥替代化肥使用避免的环境影响。同时，在投放、收集、运输、处置、资源化利用不同阶段的数据收集和分析也仍有改善空间。另外，在填埋、焚烧等传统垃圾处理场景下，易腐垃圾难以从生活垃圾中完全剥离，因此其经济、环境影响也难以完全分解。为推进研究工作，本报告选用了最佳可得数据和相关参数进行分析。在后续研究中，我们会完善方法和数据，以期得到更加全面、准确的结果，为改善厨余垃圾处理政策和相关技术提供支撑。



© Dennis Reher / Greenpeace



第四章

政策建议

作为无废城市建设的重要课题和关键一环，改善易腐垃圾处理，不仅事关污染物排放控制、废弃物资源化利用和低碳化管理，也事关循环经济发展和社会民生改善。本报告以总结浙江省易腐垃圾处理典型经验为出发点，梳理了浙江省易腐垃圾的管理体制和相关政策，介绍了各具特色的地方管理案例，检视了易腐垃圾管理和产业发展面临的问题。目前，易腐垃圾处理还面临着来自资金、技术、管理理念等层面的诸多挑战。报告在此基础上，使用成本效益分析方法，进一步评估了浙江易腐垃圾处理案例的经济、环境和社会的成本及效益情况，探索易腐垃圾处置的效益测算和价格形成机理，为制定合理可行的易腐垃圾处理政策、改善厨余垃圾管理模式提供决策支撑。基于案例研究和成本效益分析结论，报告建议全面评估易腐垃圾处理的成本效益，在考虑经济成本效益的基础上，兼顾环境效益和社会效益，推广具有较高综合效益的处理项目。报告分别从资金、技术、管理三个方面提出以下具体建议。



• 资金方面：扩大资金来源，合理分担处置成本

1. 维持当前财政补贴力度，择机降低补贴标准。短期看，政府应该维持甚至提升财政补贴，以提高企业积极性，扶持垃圾资源化回收利用产业的发展壮大，逐步实现规模效应。长期看，考虑到补贴的不可持续性以及财政压力，可出台有针对性的补贴政策，按环节补贴，视效率补贴，重点扶持多元化、长流程、大规模的企业，激励易腐垃圾的多元化资源化回收利用。
2. 探索政府、居民、企业、社会组织等多方成本承担方式。其中，政府应以财政补贴发挥兜底作用，居民应支付易腐垃圾处理费，企业可通过易腐垃圾处置产物的经济效益补偿处理成本，相关公益组织、基金会可从协调、资金等多方面推动易腐垃圾处理体系进一步完善。
3. 完善生活垃圾处理收费制度，建立精细化阶梯式计量收费机制。当前浙江省易腐垃圾处理收费标准不一，一方面应以“谁产生谁付费，多产生多付费”为原则，建立健全易腐垃圾处理收费制度，依据易腐垃圾处理财政补贴以及必要的行政费用适当提高垃圾收费标准。另一方面，在全面建立计量收费制度的基础上，推广落实超定额累进加价机制，鼓励源头减量。

• 技术方面：优化技术路线，探索高效处置手段

4. 推动鼓励垃圾分类精细化，加大科技创新和设备应用。易腐垃圾中经常混合不可回收垃圾，为提高易腐垃圾的资源利用率，建议在有条件的地区倡导和鼓励精细化垃圾分类，既要引导居民更好得实施分类处理，又要要求一线工作人员在可回收物的源头进行细分。此外，考虑使用先进机器设备来进行垃圾智能分拣，也可一定程度上也可缓解高昂的人力支出。
5. 防范易腐垃圾二次污染。在发酵、堆肥等处置过程中，尤其要注意臭气、渗滤液、沼渣等次生产物的处置工作，严格按照技术规范开展后续处理。探索更低污染物排放、更高资源化利用效率、更少温室气体排放的处置手段，降低易腐垃圾处理全生命周期环境影响。

6. 提升现有处理方式效率。通过技术改进、设备改良等手段，提高处理产出效率，特别是昆虫养殖、阳光堆肥房等近年来多有尝试推进的处理技术，要在合适的地区大力推广，在扩大规模的同时，推动技术迭代，提标增质。
7. 谋划处置产物多元出路。拓宽各类处置产物资源化利用方式和销售渠道，探索制造生物质燃料、污水处理碳源等新产品，提高处置企业收入，进一步提高处置企业积极性，同时吸引更多企业加入易腐垃圾处置行业。

• 管理方面：强化顶层设计，完善配套管理政策

8. 健全制度建设。一方面，易腐垃圾相关制度和法规仍需补充完善，尤其是管理边界、实施主体、处罚措施等内容亟待明确，督促形成多方齐抓共管的工作局面。另一方面，发布行业标准及相关管理办法，严格规范工作要求，明确工作责任落实，梳理优化工作流程，以高度的目标导向和行业自律推动行业发展。
9. 因地制宜管理。不同地区的易腐垃圾处理成本效益差别较大，同时由于各种易腐垃圾资源化处置技术各有优劣，各地各部门要针对实际，推广应用适宜的管理模式和处置工艺。城市地区应鼓励发展大规模、长流程、多元化的易腐垃圾处理方式，农村地区则应鼓励就近处理推广阳光堆肥，交通等条件相对成熟的农村地区应纳入城乡一体的易腐垃圾处理体系，以实现规模效益和“多级压榨”的资源化利用。
10. 加强宣传教育。要持续做好垃圾分类宣传教育活动，强化社区、家庭宣教活动的广泛性，以及餐饮等行业宣教的针对性；针对易腐垃圾处理的收费事宜，要就公众普遍关心的问题积极正面的宣传与引导，在定价过程中要加强部门主导、专家论证以及公众参与，实现科学决策和民主决策。

参考文献

1. 灵动核心. 2020年我国城市生活垃圾产生量及重点城市占比分析. 北极星固废网. 2020.
<https://huanbao.bjx.com.cn/news/20200717/1089961.shtml>
2. 周婕. 2021年中国餐厨垃圾处理行业市场现状与发展前景分析 资源化利用技术仍有待改善. 前瞻产业研究院. 2021.
<https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/210423-4a53aead.html>
3. 王凯军, 王婧瑶, 左剑恶, 吴静, 李坤. 我国餐厨垃圾厌氧处理技术现状分析及建议. 环境工程学报. 第14卷第7期. 2020年7月.
4. 国务院办公厅. 《生活垃圾分类制度实施方案》. 2017.
http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-03/30/content_5182124.htm
5. 生活垃圾分类标志 (GB/T19095-2019).
<http://www.changbaishan.gov.cn/ztl/ljfl/xgzc/202006/P020200611318570538098.pdf>
6. EU. Waste Framework Directive.
https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en
7. EPA. Food Recovery Hierarchy (Sustainable Management of Food). United States Environmental Protection Agency.
<https://www.epa.gov/sustainable-management-food/food-recovery-hierarchy#simplified>
8. 中华人民共和国循环经济促进法. 2008.
http://www.gov.cn/flfg/2008-08/29/content_1084355.htm
9. Zhao J, Y Jing, Zhang J, et al. (2019). Aged Refuse Enhances Anaerobic Fermentation of Food Waste to Produce Short-chain fatty acids. *Bioresource Technology*, 289:121547.
10. 蒯伟, 徐艳, 李厚禹, 张春雪, 成卫民, 郑向群. 易腐垃圾处理技术及其效果研究进展. *农业资源与环境学报*. 1-12. DOI:10.13254/j.jare.2020.0532. 2022
11. 余培斌, 杜晶, 陈建新. 高温好氧堆肥过程中芽孢杆菌的筛选, 鉴定及应用. *食品与发酵工业*. 46(12):8. 2020
12. 冯华一. 餐厨垃圾资源化利用处理方法现状及改进策略研究. *中国资源综合利用*, 37(8):3. 2019
13. 王孝强, 尹玮, 汪群慧等. 餐厨垃圾乳酸发酵残渣生产蛋白饲料的研究. *哈尔滨商业大学学报自然科学版*. 24(4):5. 2008
14. 郭云高. 垃圾焚烧行业电价补贴久拖不决或将影响污染防治攻坚效果. *中国能源报*. 2020.
<https://huanbao.bjx.com.cn/news/20200115/1036522.shtml>
15. 杨怡敏. 气候变化下生活废弃物治理. 科学出版社. 152-163. 2018
16. 陈冠益等. 餐厨垃圾废物资源综合利用. 化学工业出版社. 20. 2018
17. 朱芸, 王丹阳, 弓爱君, 周陆军, 张振星, 刘茜宇. 餐厨垃圾的处理方法综述. *环境卫生工程*. 19(03):50-52. 2011
18. 王耀军. 国内餐厨垃圾处理现状与发展趋势分析. *节能与环保*. 08.47-48. 2019
19. 姚波等. 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, WRI. 2016
<https://wri.org.cn/research/opportunities-enhance-non-carbon-dioxide-greenhouse-gas-mitigation-china>
20. 浙江省《城镇生活垃圾分类标准》. 2019. http://zjcmspublic.oss-cn-hangzhou-zwynet-d01-a.internet.cloud.zj.gov.cn/jcms_files/jcms1/web3162/site/attach/0/a07fc3ee22784f218a8f1bcdf86962e1.pdf
21. 国家统计局, 分省年度数据, 浙江省生活垃圾清运量, 2019-2020
<https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0103&zb=A0B09®=330000&sj=2021>
22. 浙江省住房和城乡建设厅 2021年度法治政府建设年度报告, 2022.
http://jst.zj.gov.cn/art/2022/3/7/art_1229155330_4888022.html
23. 根据浙江省生活垃圾分类工作领导小组办公室提供资料整理.
24. 婺城区临江厨余资源再生中心环境影响报告书(报批稿). 2021. http://zjcmspublic.oss-cn-hangzhou-zwynet-d01-a.internet.cloud.zj.gov.cn/jcms_files/jcms1/web3588/site/attach/0/63f0bb1c95a743e8bf368817f52c586e.pdf
25. 国家乡村振兴局, 农村有机废弃物资源化利用典型技术模式与案例.
<http://nrra.gov.cn/module/download/downfile.jsp?classid=0&filename=e6cf85276cc8403f88d745e36738f656.pdf>

26. 《中华人民共和国企业所得税法实施条例》(国务院令 512 号).
<http://www.chinatax.gov.cn/chinatax/n810341/n810825/c101434/c28479831/content.html>
27. 黄显雷, 师博扬, 张英楠, 龙昭宇, 尹昌斌. 基于生命周期视角的种养一体化奶牛场环境经济效益评估. 中国环境科学 .41(08):3944-3955. 2021
28. 昌金铭. 积极的光伏上网电价: 振兴光伏产业的利器. 新材料产业 .(11):49-52.2013
29. 中国碳排放交易市场网, <http://www.tanpaifang.com>.2022 年 1 月获取.
30. 生态环境部关于商请提供 2018 年度省级人民政府控制温室气体排放目标责任落实情况自评报告的函.
http://www.ncsc.org.cn/SY/tjkhybg/202003/t20200323_770098.shtml
31. 李金平, 曹忠耀, 刘明静, 李娟, 魏恩功, 曹岗林, 冯琛. 兰州花庄沼气发电工程九年运行效果研究 [J]. 中国沼气, 2017, 35(03):79-84
32. 王火根, 王可奕. 基于生命周期评价的生物质与煤炭发电综合成本核算 [J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(06):56-61. DOI:10.13448/j.cnki.jalre.2020.155.
33. 向平安, 黄璜, 燕惠民, 周燕, 郑华, 黄兴国. 湖南洞庭湖区水稻生产的环境成本评估. 应用生态学报, (11):183-189.2005
34. 数据由湖州旺能再生能源企业提供, 2022 年 1 月.
35. 数据由湖州旺能再生能源企业提供, 2022 年 1 月.
36. 吴进, 闵师界, 朱立志, 程静思, 李谦, 邓良伟, 雷云辉, 张敏. 养殖场沼气工程商业化集中供气补贴分析 [J]. 农业工程学报, 31(24):269-273. 2015
37. 数据由宁波一再生金企业提供, 2022 年 1 月.
38. 数据由宁波一再生金企业提供, 2022 年 1 月.
39. 孙雪蒙, 韩织阳, 蔡良娟, 刘斌. 垃圾收费定价方案模拟——基于处理成本与回归模型的分析 [J]. 沈阳大学学报 (社会科学版).20(03):286-290.2018
40. 万君宜, 冯心茹, 唐其旭, 刘康华. 城市生活垃圾无害化处理的成本 - 效益分析——以我国 25 个城市为例 [J]. 资源与产业 .21(04):8189.2019
41. 张美妍, 彭维珂, 陈衡, 徐钢, 刘彤. 燃煤发电与垃圾发电耦合系统的性能分析 [J]. 中国电机工程学报 . 41(23):8067-8078.2021
42. 毛永宁, 汪小愨, 赵黛青, 杨捷. 不同城市生活垃圾焚烧技术的综合评价. 环境污染与防治 .37(02):32-37+41.2015
43. 宋国君, 孙月阳, 赵畅, 刘帅, 王颖, 耿建彬. 北京市城市生活垃圾焚烧社会成本评估报告. 2017

免责声明

本报告为绿色和平和合作伙伴基于公开信息进行的研究成果。如对本报告中的研究成果存疑, 欢迎与我们沟通联系。

本报告引用的数据、信息和研究结果, 绿色和平不承担相关责任。

本报告研究截止日期后, 相关信息如有变更, 绿色和平不承担相关责任。

本报告仅用于技术参考、信息共享和环保公益目的。

知识产权声明

本报告由绿色和平、中华环保联合会、浙江省经济信息中心、浙江工业大学共同发布。

除标明引用的内容以外, 本报告所有内容 (包含但不限于文字、数据、图片、图表、商标) 的著作权及其他知识产权归绿色和平所有。

如需引用本报告中的数据及图表, 请注明出处。

必须取得绿色和平授权后方可使用本报告中的照片。

GREENPEACE 绿色和平

绿色和平是一个全球性环保组织，
致力于以实际行动推动积极的改变，
保护地球环境。

地址：北京东城区东四十条 94 号亮点文创园 A 座 201 室
邮编：100007

电话：86 (10) 65546931

传真：86 (10) 64087851

www.greenpeace.org.cn