

DB4403

深圳市地方标准

DB4403/T 468—2024

厨余垃圾处理项目碳排放核算指南

Guidelines for carbon emission accounting for food waste treatment
projects

2024-07-05 发布

2024-08-01 实施

深圳市市场监督管理局 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 核算边界	2
4.1 边界	2
4.2 碳排放源识别	3
5 核算方法	3
5.1 核算原则	3
5.2 核算流程	4
5.3 核算内容	4
5.4 活动数据收集	5
5.5 排放因子确定	6
6 不确定性分析	6
6.1 主要流程	6
6.2 降低不确定性的方法	7
7 数据质量管理	7
8 报告编制	7
8.1 项目信息	7
8.2 碳排放核算	7
8.3 数据来源说明	8
8.4 真实性声明	8
附录 A（资料性） 相关参数推荐值	9
附录 B（资料性） 报告格式模板	15
参考文献	21

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由深圳市城市管理和综合执法局提出并归口。

本文件起草单位：深圳市城管宣教和发展研究中心、深圳市生活垃圾分类管理事务中心、清华大学深圳国际研究生院。

本文件主要起草人：金红、刘荣杰、李欢、吴远明、李水坤、张蕾、尹寒冰、肖丽祺、姜建生。

引 言

随着深圳市全面推进生活垃圾分类工作，厨余垃圾收运处理量不断提升，厨余垃圾已成为生活垃圾分类管理的重要板块。厨余垃圾处理技术种类多样，不同技术之间的碳排放存在较大差异。为引导全市厨余垃圾处理项目转型升级，减少生活垃圾处理过程的碳排放，促进城市降碳减污、资源节约集约利用，有必要建立健全厨余垃圾处理项目碳排放核算方法。

目前，针对厨余垃圾的碳排放核算方法主要局限在填埋、焚烧、厌氧消化等处理情形上，难以满足对类型多样的厨余垃圾处理项目进行系统评估的需求。为此，本文件在深入调研各类厨余垃圾处理项目的基础上，以生命周期评价方法为基础，选取典型排放因子，建立了适用于典型厨余垃圾处理项目的碳排放核算方法，涵盖发酵产酸、饲养黑水虻等厨余垃圾资源化新技术，可为政府管理部门进行行业监督以及相关企（事）业单位开展碳排放核算提供依据。

厨余垃圾处理项目碳排放核算指南

1 范围

本文件规定了厨余垃圾处理项目碳排放核算边界、核算方法、不确定性分析、数据质量管理、报告编制等内容。

本文件适用于深圳市厨余垃圾处理项目的碳排放核算和报告编制。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 384 石油产品热值测定法

GB/T 6432 饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法

GB/T 11062 天然气 发热量、密度、相对密度和沃伯指数的计算方法

GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则

HJ 636 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法

HJ 828 水质 化学需氧量的测定 重铬酸钾法

NY/T 2542 肥料 总氮含量的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

厨余垃圾 food waste

容易腐烂的食物残渣、瓜皮果核等含有有机质的垃圾。

注：引自《深圳市生活垃圾分类管理条例》第十三条，包括家庭厨余垃圾、餐厨垃圾、其他厨余垃圾等。

3.2

厨余垃圾处理项目 food waste treatment project

用于实现厨余垃圾减量化、资源化和无害化的处理系统。

注：包括厨余垃圾及“三废”（废水、废渣、废气）的运输、处理。

3.3

温室气体 greenhouse gas

大气层中自然存在的和由于人类活动产生的，能够吸收和散发由地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内的辐射的气态成分。

注：一般包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、三氟化氮（NF₃）、氢氟碳化合物（HFCs）、全氟碳化合物（PFCs）、六氟化硫（SF₆）等。

[来源：GB/T 32150—2015，3.1]

3.4

全球变暖潜势 global warming potential

将单位质量的某种温室气体在给定时间段内辐射强度的影响与等量二氧化碳辐射强度的影响相关联的系数。

注：本文件选择 100 年的时间尺度，二氧化碳的全球变暖潜势为 1，甲烷的全球变暖潜势为 27，氧化亚氮的全球变暖潜势为 273，来源于联合国政府间气候变化委员会（IPCC）报告《气候变化 2021：物理科学基础》中表 7.15，可根据来源文件的最新版本适时更新。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.15]

3.5

碳排放 carbon emission

在特定时段内释放大气中的温室气体排放的总和。

注：本文件量化计算二氧化碳、甲烷和氧化亚氮，碳排放以二氧化碳当量（CO₂-eq）表示。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.6, 有修改]

3.6

碳排放源 carbon emission source

向大气中排放温室气体的物理单元或过程。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.5]

3.7

活动数据 activity data

导致温室气体排放的生产或消费活动量的表征值。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.12]

3.8

排放因子 emission factor

表征单位生产或消费活动量的温室气体排放的系数。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.13]

3.9

碳氧化率 carbon oxidation rate

燃料中的碳在燃烧过程中被完全氧化的百分比。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.14]

3.10

碳源 carbon source

污（废）水生化处理过程中投加的高含碳化合物。

注：包括甲醇、乙酸钠、葡萄糖、淀粉等。

4 核算边界

4.1 边界

厨余垃圾处理项目碳排放的核算边界为厨余垃圾及“三废”（废水、废渣、废气）的运输和处理过程。总碳排放为厨余垃圾及“三废”的运输、处理过程中产生的碳排放及碳补偿的和，可分为以下范围一、范围二、范围三和碳补偿：

- a) 范围一：直接碳排放。包括：厨余垃圾及“三废”处理工艺过程中由有机质转化及化石燃料燃烧产生的碳排放；厨余垃圾、产出物、外购能源及材料等的运输过程中由化石燃料燃烧产生的碳排放。有机质转化后最终生成的二氧化碳为生物源二氧化碳，不计入范围一，可自愿单独报

告；

- b) 范围二：能源消耗产生的间接碳排放。包括：厨余垃圾及“三废”处理工艺过程中外购并消耗的电力、热、冷等所对应的碳排放；厨余垃圾、产出物、外购能源及材料等的运输过程中外购并消耗的电力、热、冷等所对应的碳排放。
- c) 范围三：材料消耗产生的间接碳排放。包括：厨余垃圾及“三废”处理工艺过程中外购并消耗的水、药剂等所对应的碳排放。
- d) 碳补偿：厨余垃圾处理输出的能源化/资源化产物替代市场上类似产品，其生产制造的碳排放被避免，这部分被避免的碳排放即碳补偿。

注：可产生碳补偿的能源化/资源化产物包括热、电力、生物天然气、生物柴油、有机肥料、饲料原料、生物碳源等，项目边界内使用的产物不属于此条。

4.2 碳排放源识别

4.2.1 范围一

范围一包括以下主要碳排放源：

- a) 化石燃料燃烧：厨余垃圾及“三废”处理工艺过程中的化石燃料燃烧；厨余垃圾、产出物、外购能源及材料等的运输过程中的化石燃料燃烧；
- b) 处理工艺过程：厨余垃圾及“三废”处理工艺过程中的有机质经生物、物理或化学转化产生并逸散到大气中的甲烷和氧化亚氮。

4.2.2 范围二

范围二包括以下主要碳排放源：

- a) 外购并消耗的电力；
- b) 外购并消耗的热、冷等。

4.2.3 范围三

范围三包括以下主要碳排放源：

- a) 外购并消耗的水；
- b) 外购并消耗的药剂等。

4.2.4 碳补偿

碳补偿包括以下能源化/资源化产物：

- a) 输出热、电力等；
- b) 输出生物天然气、生物柴油、有机肥料、饲料原料、生物碳源等。

5 核算方法

5.1 核算原则

5.1.1 相关性

选择与项目有关的碳排放源数据和方法。

5.1.2 一致性

碳排放在不同项目的碳排放效应评估中代表的内涵具有一致性，可进行比较。

5.1.3 准确性

尽可能减少偏差和不确定性。

5.2 核算流程

报告主体进行碳排放核算的工作流程包括以下步骤：

- a) 识别排放源；
- b) 收集活动数据；
- c) 确定排放因子；
- d) 分别核算范围一、范围二、范围三对应的碳排放及碳补偿；
- e) 汇总报告主体的总碳排放；
- f) 编制项目碳排放核算报告。

5.3 核算内容

5.3.1 总碳排放

厨余垃圾处理项目的总碳排放见公式（1）。

$$E = E_a + E_b + E_c + E_r \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- E ——总碳排放（tCO₂-eq）；
- E_a ——范围一的碳排放（tCO₂-eq）；
- E_b ——范围二的碳排放（tCO₂-eq）；
- E_c ——范围三的碳排放（tCO₂-eq）；
- E_r ——碳补偿（tCO₂-eq）。

5.3.2 排放源碳排放

排放源的碳排放核算采用排放因子法，见公式（2）。

$$E_i = \sum_{i=1}^n AD_i \times EF_i \times GWP_i \dots \dots \dots (2)$$

式中：

- i ——排放源编号；
- E_i ——排放源 i 的碳排放（tCO₂-eq）；
- AD_i ——排放源 i 的活动数据，例如某化石燃料消耗量、厨余垃圾处理量、废水 BOD（生化需氧量）或 COD（化学需氧量）、废水 TN（总氮）、废渣处理量、外购并消耗的电量、外购并消耗的热量、某外购并消耗的水量、某外购并消耗的药剂剂量等；
- EF_i ——排放源 i 的排放因子，例如某化石燃料的排放因子、厨余垃圾处理过程的直接排放因子、废水处理过程的直接排放因子、废渣处理过程的直接排放因子、电力排放因子、热力排放因子、某用水排放因子、某药剂排放因子等，见附录 A；
- GWP_i ——排放源 i 排放气体对应的全球变暖潜势，取值见 3.4。

5.3.3 碳补偿

碳补偿的核算采用改进的排放因子法，见公式（3）。

$$E_r = - \sum_{j=1}^n BC_j \times \Phi_j \times EF_j \times GWP_j \dots \dots \dots (3)$$

式中：

E_r ——碳补偿 (tCO₂-eq)；

BC_j ——输出能源化/资源化产物 j 的量；

Φ_j ——能源化/资源化产物 j 替代市场上类似产品的系数，见表 A. 10；

EF_j ——能源化/资源化产物 j 所替代产品的排放因子，见表 A. 10，其中排放因子均按二氧化碳计，未给出的按其实际情况考虑；

GWP_j ——能源化/资源化产物 j 所替代产品的排放气体对应的全球变暖潜势，取值见 3. 4。

5.3.4 生物源二氧化碳

厨余垃圾有机质转化生成的二氧化碳为生物源二氧化碳，不计入总碳排放，但不同厨余垃圾处理项目的生物源二氧化碳差异较大，其数值可为全面评价不同处理项目的碳排放效应提供参考，项目可自愿将生物源二氧化碳独立于三个范围之外单独报告。生物源二氧化碳核算采用质量平衡法，见公式 (4)。

$$E_{\text{bio}} = W_{\text{FW}} \times (TOC_{\text{FW}} - TOC_{\text{effluent}} - TOC_{\text{residue}} - TOC_{\text{product}} - TOC_{\text{gas}}) \times 44/12 \times GWP_{\text{bio}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

E_{bio} ——总生物源二氧化碳 (tCO₂-eq)；

W_{FW} ——处理的厨余垃圾量 (t)；

TOC_{FW} ——单位质量厨余垃圾中的总有机碳含量 (t/t)；

TOC_{effluent} ——单位质量厨余垃圾处理废水中的总有机碳含量 (t/t)；

TOC_{residue} ——单位质量厨余垃圾处理废渣中的总有机碳含量 (t/t)；

TOC_{product} ——单位质量厨余垃圾处理能源化/资源化产物中的总有机碳含量 (t/t)；

TOC_{gas} ——单位质量厨余垃圾处理废气中的总有机碳含量 (t/t)；

GWP_{bio} ——生物源二氧化碳对应的全球变暖潜势，取值见 3. 4。

5.4 活动数据收集

宜参照表 1，按 GB 17167、HJ 636、HJ 828，通过测定、记录、计算等方式收集活动数据，优先选择质量较高的活动数据，活动数据按照数据质量依次递减的顺序分为下列三类：

- a) 连续测量数据：仪器不间断测量的活动数据；
- b) 间歇测量数据：仪器间歇工作测量的活动数据；
- c) 推估数据：非仪器测量的、根据一定方法推估的活动数据。

表 1 项目碳排放核算汇总表

排放源/产物	排放形式	活动数据	排放因子	备注
范围一				
化石燃料燃烧（处理工艺过程）	二氧化碳	燃料消耗量		
化石燃料燃烧（运输过程）	二氧化碳	燃料消耗量		
厨余垃圾处理过程	甲烷	厨余处理量		
	氧化亚氮	厨余处理量		
废水处理过程	甲烷	废水 BOD 或 COD		
	氧化亚氮	废水 TN		
废渣处理过程	甲烷	废渣处理量		
	氧化亚氮	废渣处理量		

表 1 项目碳排放核算汇总表（续）

排放源/产物	排放形式	活动数据	排放因子	备注
废气处理过程	甲烷	废气处理量		
	氧化亚氮	废气处理量		
.....				
范围二				
外购电力	/	外购并消耗的电量		
外购热	/	外购并消耗的热量		
.....				
范围三				
外购水	/	外购并消耗的水量		
外购药剂	/	外购并消耗的药剂剂量		
.....				
碳补偿				
热	/	对外输出量		
电力	/	对外输出量		
生物天然气	/	对外输出量		
生物柴油	/	对外输出量		
有机肥料	/	对外输出量		
饲料原料	/	对外输出量		
生物碳源	/	对外输出量		
.....				

5.5 排放因子确定

宜按 GB/T 11062、GB 384、NY/T 2542、GB/T 6432、HJ 636、HJ 828，通过测定、记录、计算等方式确定排放因子，考虑所选排放因子在核算期内的时效性，优先选择数据质量较高的排放因子。排放因子按照数据质量依次递减的顺序包括下列三类：

- a) 测量/物料平衡法获得的排放因子，包括以下两种：
 - 1) 根据经过计量检定、校准的仪器测量获得的数据；
 - 2) 依据物料平衡法获得的因子，例如通过化学反应方程式与质量守恒推估的因子。
- b) 相同工艺/设备的经验系数获得的排放因子：由相同的工艺或设备根据相关经验和证据获得的因子；
- c) 附录 A 中给出的推荐值。

6 不确定性分析

6.1 主要流程

核算项目碳排放的不确定性分析主要包括以下流程：

- a) 确定单个变量的不确定性；
- b) 将单个变量的不确定性合并为总不确定性；
- c) 识别清单不确定性的主要来源，以帮助确定数据收集和质量改进的优先顺序。

6.2 降低不确定性的方法

在报告编制过程中，使用能够反映实际情况的模型和数据。在降低不确定性时，优先考虑对整个报告不确定性有重大影响的部分。确定降低不确定性优先顺序的工具包括关键类别分析和评估特定类别的不确定性对总不确定性的贡献。根据不确定性出现的原因，可从以下几个方面降低不确定性：

- a) 提高数据的代表性：如使用连续排放监测系统来监测，可得到不同阶段的数据，从而可以更加准确地描述排放源的排放属性；
- b) 使用更精确的测量方法：包括提高测量方法的准确度以及使用一些校准技术；
- c) 大量收集测量数据：增加样本量可以降低随机取样的误差，填补数据漏缺可以减少偏差和随机误差，这对测量和调查均适用；
- d) 消除已知的偏差：确保仪器仪表准确地定位和校准，确保模型或其他估算过程准确且具有代表性，以及系统性地使用专家判断；
- e) 提高相关人员的技术能力：包括提高对项目的处理工艺、排放源和本文件等相关内容的了解，从而发现和纠正问题。

7 数据质量管理

项目碳排放数据质量管理包括但不限于以下内容：

- a) 建立碳排放核算和报告的规章制度，包括负责机构和人员、工作流程和内容、工作周期和时间节点等；指定专职人员负责报告主体的碳排放核算和报告工作；
- b) 建立碳排放源一览表，对排放源的活动数据收集提出相应的要求；
- c) 对现有监测条件进行评估，制定监测计划并严格执行，定期对计量器具、检测设备和监测仪表进行维护管理，并记录存档；提高自身对活动数据及排放因子等参数的监测能力；
- d) 建立健全的碳数据记录管理体系，包括数据来源，数据获取时间以及相关责任人等信息的记录管理；
- e) 建立碳排放报告内部审核制度。定期对碳排放数据进行交叉校验，对可能产生的数据误差风险进行识别，并提出相应的解决方案。

8 报告编制

8.1 项目信息

项目信息包括以下内容，相关示例见附录 B：

- a) 基本信息：项目名称、运营单位、统一社会信用代码、法定代表人、填报负责人、联系人信息和核算时间区间等；
- b) 工艺流程：项目采用的厨余垃圾处理工艺和各单元采用的技术；
- c) 污染控制：项目的“三废”处理方式及最终的污染物排放情况等；
- d) 物质流图：项目物质、能量的输入与输出情况，绘制项目的物质流图；
- e) 产物性质：项目输出的能源化/资源化产物的具体性质。

8.2 碳排放核算

根据项目所用工艺，按照表 1 进行排放源/产物的识别，完成项目碳排放的核算，报告总碳排放、范围一、范围二、范围三对应的碳排放及碳补偿的明细，相关示例见附录 B。

8.3 数据来源说明

报告核算范围一、范围二、范围三对应的碳排放及碳补偿时所用活动数据及排放因子的来源，相关示例见附录 B。

8.4 真实性声明

就报告真实性做书面声明，相关示例见附录 B。

附录 A
(资料性)
相关参数推荐值

相关参数推荐值见表 A.1~A.10。推荐值根据来源文件的最新版本适时更新。

表 A.1 化石燃料的排放因子

化石燃料种类	单位热值含碳量 ^a (tC/TJ)	碳氧化率 ^b (%)	热值 ^c		排放因子 ^d		密度 (kg/m ³)
			数值	单位	数值	单位	
汽油	18.9	98	43124	kJ/kg	2.93	tCO ₂ -eq/t 燃料	775 ^e
一般煤油	19.6	98	43124	kJ/kg	3.04	tCO ₂ -eq/t 燃料	840 ^f
柴油	20.2	98	42705	kJ/kg	3.10	tCO ₂ -eq/t 燃料	845 ^g
液化石油气	17.2	98	50242	kJ/kg	3.11	tCO ₂ -eq/t 燃料	/
天然气	15.3	99	38979	kJ/m ³	0.00216	tCO ₂ -eq/m ³ 燃料	/

^a 单位热值含碳量数据来源于《省级温室气体清单编制指南（试行）》表 1.7。
^b 碳氧化率来源于《省级温室气体清单编制指南（试行）》表 1.7。
^c 热值数据来源于 GB/T 2589—2020 中表 A.1 各种能源折标煤参考系数表，以区间段给出的取其最高值。
^d 排放因子计算方法为：排放因子=单位热值含碳量×碳氧化率×热值×44/12。
^e 汽油密度来源于 GB 17930—2016。
^f 煤油密度来源于 GB 253—2008。
^g 柴油密度来源于 GB 19147—2016。

表 A.2 厨余垃圾处理过程的直接排放因子

工艺	CH ₄ 排放因子 (kgCH ₄ /t 厨余垃圾)	N ₂ O 排放因子 (kgN ₂ O/t 厨余垃圾)
厌氧消化 ^a	1	0
好氧堆肥 ^b	4	0.3
其他处理 ^c	0	0

注 1：好氧堆肥包括生物干燥等衍生工艺。
注 2：其他处理包括饲养黑水虻、发酵产酸和物化处理。

^a 厌氧消化的排放因子来源于《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》第 5 卷表 4.1。
^b 好氧堆肥的排放因子来源于《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》第 5 卷表 4.1。
^c 其他处理的排放因子来源如下：根据 ERMOLAEV 等（2019）、Iwasa 等（2015）、MERTENAT 等（2019）、庞万程（2020）的研究结果，饲养黑水虻时，黑水虻的活动导致物料内部通风良好及相关微生物活性受抑，CH₄、N₂O 排放可忽略不计；根据 Akao 等（2007）、Kim 等（2016）、Peinemann 等（2019）、DAHIYA 等（2015）的研究结果，发酵产酸一般采用酸性（pH<6.5）或碱性（pH>8.5）条件，相关微生物活性受抑，CH₄、N₂O 排放可忽略不计；物化处理指压榨脱水、加热干燥、热水解等技术，根据项目调研结果、刘欢和陈朝（2022）、赵凤秋（2019）的研究结果，厨余垃圾在这些技术处理过程中，只发生了水分脱除、有机质溶出等物理、化学变化，并未发生有机物质向其他物质的转化过程，无 CH₄、N₂O 排放。

表 A.3 废水处理过程的直接排放因子

处理工艺	CH ₄ 排放因子 (kgCH ₄ /kgBOD)		N ₂ O 排放因子 (kgN ₂ O/kgTN)
	计算公式	推荐值	
厌氧工艺 (不回收 CH ₄)	/	0.48 ^a	0
厌氧工艺 (回收 CH ₄)	$(0.48-R)^b$	0.004 ^c	0
好氧为主工艺 ^d	/	0.00054	0.0251

^a 厌氧工艺 (不回收 CH₄) 的 CH₄ 排放因子推荐值参考《广东省市县 (区) 温室气体清单编制指南 (试行)》计算得。

^b 厌氧工艺 (回收 CH₄) 的 CH₄ 排放因子计算公式参考《广东省市县 (区) 温室气体清单编制指南 (试行)》确定, 其中, R 为 CH₄ 回收量 (单位为 kgCH₄/kgBOD)。

^c 厌氧工艺 (回收 CH₄) 的 CH₄ 排放因子推荐值来源于蔡博峰等 (2015) 的研究结果。

^d 好氧为主工艺的排放因子推荐值参考《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南 2019 年细化报告》第 5 卷表 6.3 (更新)、表 6.8 (新) 计算得。

表 A.4 废渣处理过程的直接排放因子

处理工艺	CH ₄ 排放因子 (kgCH ₄ /t 废渣)		N ₂ O 排放因子 (kgN ₂ O/t 废渣)
	计算公式	推荐值	
焚烧 ^a	/	0.0002	0.0470
好氧堆肥 ^b	/	4	0.3
填埋 (不回收 CH ₄)	/	45 ^c	0
填埋 (回收 CH ₄)	$(45-0.9R)^d$	9 ^e	0

^a 焚烧的排放因子来源于《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》第 5 卷表 5.3、表 5.4。

^b 好氧堆肥的排放因子来源于《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》第 5 卷表 4.1。

^c 填埋 (不回收 CH₄) 的 CH₄ 排放因子推荐值参考《广东省市县 (区) 级温室气体清单编制指南 (试行)》计算得。

^d 填埋 (回收 CH₄) 的 CH₄ 排放因子计算公式参考《广东省市县 (区) 级温室气体清单编制指南 (试行)》确定, 其中, R 为 CH₄ 回收量 (单位为 kgCH₄/t 废渣)。

^e 填埋 (回收 CH₄) 的 CH₄ 排放因子推荐值参考李欢等 (2011) 的研究结果计算得。

表 A.5 电力和热力排放因子

消耗项目	排放因子
电力 ^a	0.6379 tCO ₂ -eq/MWh
热力 ^b	0.11 tCO ₂ -eq/GJ

^a 电力排放因子来源于《广东省企业 (单位) 二氧化碳排放信息报告指南 (2023 年修订)》附录 C 中的电力排放因子。

^b 热力排放因子来源于《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南 (试行)》。

表 A.6 饱和蒸汽排放因子

压力 (MPa)	温度 (°C)	排放因子 (kgCO ₂ -eq/kg)	压力 (MPa)	温度 (°C)	排放因子 (kgCO ₂ -eq/kg)
0.001	6.98	0.27	1.00	179.88	0.30
0.002	17.51	0.27	1.10	184.06	0.30
0.003	24.1	0.27	1.20	187.96	0.30

表 A.6 饱和蒸汽排放因子（续）

压力 (MPa)	温度 (℃)	排放因子 (kgCO ₂ -eq/kg)	压力 (MPa)	温度 (℃)	排放因子 (kgCO ₂ -eq/kg)
0.004	28.98	0.27	1.30	191.60	0.30
0.005	32.9	0.27	1.40	195.04	0.30
0.006	36.18	0.27	1.50	198.28	0.30
0.007	39.02	0.27	1.60	201.37	0.30
0.008	41.53	0.27	1.40	204.30	0.30
0.009	43.79	0.27	1.50	207.10	0.30
0.010	45.83	0.28	1.90	209.79	0.30
0.015	54.00	0.28	2.00	212.37	0.30
0.020	60.09	0.28	2.20	217.24	0.30
0.025	64.99	0.28	2.40	221.78	0.30
0.030	69.12	0.28	2.60	226.03	0.30
0.040	75.89	0.28	2.80	230.04	0.30
0.050	81.35	0.28	3.00	233.54	0.30
0.060	85.95	0.28	3.50	242.54	0.30
0.070	89.96	0.28	4.00	250.33	0.30
0.080	93.51	0.28	5.00	263.92	0.30
0.090	96.71	0.28	6.00	275.56	0.30
0.100	99.63	0.29	7.00	285.80	0.30
0.120	104.81	0.29	8.00	294.98	0.29
0.140	109.32	0.29	9.00	303.31	0.29
0.160	113.32	0.29	10.00	310.95	0.29
0.180	116.93	0.29	11.00	318.04	0.29
0.200	120.23	0.29	12.00	324.64	0.29
0.250	127.43	0.29	13.00	330.81	0.28
0.300	133.54	0.29	14.00	336.63	0.28
0.350	138.88	0.29	15.00	342.12	0.28
0.400	143.62	0.29	16.00	347.32	0.27
0.450	147.92	0.29	17.00	352.26	0.27
0.500	151.85	0.29	18.00	356.96	0.27
0.600	158.84	0.29	19.00	361.44	0.26
0.700	164.96	0.29	20.00	365.71	0.26
0.800	170.42	0.30	21.00	369.79	0.25
0.900	175.36	0.30	22.00	373.68	0.23

注：饱和蒸汽排放因子参考《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》表 2.4 计算得。

表 A.7 过热蒸汽排放因子（单位：kgCO₂-eq/kg）

温度（℃）	压力（Mpa）							
	0.01	1	3	5	14	20	25	30
0	0	1	3	5	14.1	20.1	25.1	30
10	42	43	44.9	46.9	55.6	61.3	66.1	70.8
20	83.9	84.8	86.7	88.6	97	102.5	107.1	111.7
40	167.4	168.3	170.1	171.9	179.8	185.1	189.4	193.8
60	2611.3	251.9	253.6	255.3	262.8	267.8	272	276.1
80	2649.3	35.7	337.3	338.8	346	350.8	354.8	358.7
100	2687.3	419.7	421.2	422.7	429.5	434	437.8	441.6
120	2725.4	504.3	505.7	507.1	513.5	517.7	521.3	524.9
110	2763.6	589.5	590.8	592.1	598	602	605.1	603.1
160	2802	675.7	676.9	678	683.4	687.1	690.2	693.3
180	2840.6	2777.3	764.1	765.2	769.9	773.1	775.9	778.7
200	2879.3	2827.5	853	853.8	857.7	860.1	862.8	856.2
220	2918.3	2874.9	9413.9	9141.4	917.2	919.3	951.2	953.1
240	2957.4	2920.5	2823	1037.8	1039.1	1040.3	1011.5	1024.8
260	2996.8	2964.8	2885.5	1135	1134.1	1134	1134.3	1134.8
280	3036.5	3008.3	2941.8	2857	1233.5	1231.6	1230.5	1229.9
300	3076.3	3051.3	2991.2	2925.1	1339.5	1334.6	1331.5	1329
350	3177	3157.7	3115.7	3069.2	2753.5	1648.4	1626.4	1611.3
400	3279.4	3264	3231.6	3196.9	3004	2820.1	2583.2	2159.1
420	3320.96	3306.6	3276.9	3245.4	3072.72	2917.02	2730.76	2424.7

注：过热蒸汽排放因子参考《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》表 2.5 计算得。

表 A.8 用水排放因子

用水类型	排放因子（kgCO ₂ -eq/t）
自来水 ^a	0.82
再生水	0

^a 自来水排放因子来源于中国产品全生命周期温室气体排放系数库。

表 A.9 药剂排放因子

化学药剂	排放因子	单位
碱度	1.74 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
氢氧化钠（50% in H ₂ O）	1.12 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
甲醇	1.54 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
葡萄糖	1.48 ^b	kgCO ₂ -eq/kg 产品
乙酸钠	0.623 ^c	kgCO ₂ -eq/kg 产品
硫酸	0.16 ^c	kgCO ₂ -eq/kg 产品
盐酸	1.2 ^c	kgCO ₂ -eq/kg 产品
磷酸氢二铵	0.03 ^c	kgCO ₂ -eq/kg 产品

表 A.9 药剂排放因子（续）

化学药剂	排放因子	单位
硫酸亚铁	0.26 ^c	kgCO ₂ -eq/kg 产品
碳酸钠	0.95 ^c	kgCO ₂ -eq/kg 产品
六水三氯化铁	2.71 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
聚丙烯酰胺（PAM）	1.5 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
聚合氯化铝（PAC）	1.62 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
硫酸铝	0.50 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
石灰	0.68 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
其他絮凝剂	2.5 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
次氯酸钠（15% in H ₂ O）	0.92 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
液氯	2.00 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
臭氧（液）	8.10 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
双氧水（50% in H ₂ O）	1.14 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品
其他消毒剂	1.40 ^a	kgCO ₂ -eq/kg 产品

^a 药剂排放因子来源于 T/CAEPI 49—2022 表 B.1。
^b 药剂排放因子来源于中国产品全生命周期温室气体排放系数库。
^c 药剂排放因子来源于《城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南》。

表 A.10 碳补偿相关排放因子

能源化/资源化产物	被替代产品排放因子	替代系数		备注
		计算公式	推荐值	
生物天然气	见表 A.1	$(H/38979)^a$	1	/
热	见表 A.5	/	1	/
电力	见表 A.5	/	1	/
生物柴油	见表 A.1	$(Q/42705)^b$	0.87 ^c	/
有机肥料	4.37 kgCO ₂ -eq/kg 尿素 ^d	$(\omega_{\text{TN}}/46.67\%)^e$	0.066 ^f	/
饲料原料	0.6 kgCO ₂ -eq/kg 豆粕饲料 ^g	$(\omega_{\text{protein}}/42.5\%)^h$	1 ⁱ	此推荐值仅适用于饲料原料为黑水虻虫干时
生物碳源	1.54 kgCO ₂ -eq/kg 甲醇 ^j	$[(\text{COD}-5 \times \text{TN}) \times 10^{-6}/1.5]^k$	/	/

^a H 为生物天然气热值（单位为 kJ/m³），宜按 GB/T 11062 测定；38979 为天然气热值（单位为 kJ/m³），见表 A.1。
^b Q 为生物柴油热值（单位为 kJ/kg），宜按 GB 384 测定；42705 是柴油的热值（单位为 kJ/kg），见表 A.1。
^c 生物柴油替代系数的推荐值根据倪梓皓（2022）和王全振（2022）的研究结果计算得。
^d 尿素排放因子来源于陈舜等（2015）的研究结果。
^e ω_{TN} 为有机肥料总氮含量，宜按 NY/T 2542 测定；46.67%为尿素的总氮含量。
^f 有机肥料替代系数的推荐值根据李欢等（2021）的研究结果计算得。
^g 豆粕饲料的排放因子来源于郭丽平（2022）和张振华等（2022）的研究结果。
^h ω_{protein} 为饲料原料的蛋白质含量，宜按 GB/T 6432 测定；42.5%为豆粕饲料的蛋白质含量，来源于周元清（2018）的研究结果。
ⁱ 饲料原料替代系数的推荐值仅适用于饲料原料为黑水虻虫干时，根据胡文举等（2022）和毛元坤等（2022）的研究结果计算得；其他类型饲料原料的替代系数宜按公式进行计算。

表 A.10 碳补偿相关排放因子（续）

产品种类	排放因子	替代系数		备注
		计算公式	推荐值	
<p>^j 甲醇排放因子来源于 T/CAEPI 49—2022 表 B.1。</p> <p>^k COD、TN 为生物碳源的 COD、TN 浓度（单位为 mg/L），宜按 HJ 636、HJ 828 测定；5 是单位质量的 TN 转化消耗 COD 的系数（大量研究结果和工程经验表明，污水处理微生物利用降解污染物的最佳碳氮比为 5:1），10⁻⁶ 为 mg 到 kg 的单位转换系数，1.5 为甲醇的氧当量（单位 kgCOD/kg）。</p>				

附录 B
(资料性)
报告格式模板

厨余垃圾处理项目碳排放核算报告的相关示例见图 B.1。

XXX 项目碳排放核算报告

报告主体（盖章）：

核算时间区间： 年 月 日至 年 月 日

编制日期： 年 月 日

图 B.1 厨余垃圾处理项目碳排放核算报告（第 1 页/共 6 页）

本报告主体核算了本项目的碳排放，并填写了相关数据表格。现将有关情况报告如下：

一、项目信息

二、碳排放核算结果

三、活动数据及排放因子的来源说明

本报告主体对本报告的真实性和准确性负责。

法人代表人（或授权代表）

签字/盖章

年 月 日

图 B.1 厨余垃圾处理项目碳排放核算报告（第 2 页/共 6 页）

表 1 项目基本信息

项目名称				
运营单位			统一社会信用代码	
项目地址	广东省 市 区 街道 路 号			
法定代表人		电话		电子邮件
通信地址			邮编	
负责人		电话		传真
单位碳排放管理机构名称				
填报负责人		电话		手机
电子邮件			传真	
联系人		电话		手机
电子邮件			传真	
通信地址			邮编	
项目主要产物或服务				
核算和报告边界				
核算和报告边界变化				

表 2 项目运营情况详细说明

1. 工艺流程（说明项目采用的工艺和各单元采用的技术）
2. 污染控制（说明项目采用的“三废”处理方式及最终的污染物排放情况等）
3. 物质流图（说明项目物质、能量的输入与输出情况，绘制项目的物质流图）
4. 产物性质（说明项目输出的能源化/资源化产物的具体性质）

图 B.1 厨余垃圾处理项目碳排放核算报告（第 3 页/共 6 页）

表 3 总碳排放

碳排放明细	数量 (t)
总碳排放	
范围一碳排放	
范围二碳排放	
范围三碳排放	
碳补偿	
生物源二氧化碳 (不计入总碳排放)	

表 4 范围一碳排放明细

排放源		活动数据		排放因子		碳排放	
		数值	单位	数值	单位	数值	单位
化石燃料燃烧 (处理工艺过程)	汽油						
	一般煤油						
	柴油						
	液化石油气						
	天然气						
						
化石燃料燃烧 (运输过程)	汽油						
	一般煤油						
	柴油						
	液化石油气						
	天然气						
						
厨余垃圾处理过程	甲烷						
	氧化亚氮						
废水处理过程	甲烷						
	氧化亚氮						
废渣处理过程	甲烷						
	氧化亚氮						
废气处理过程	甲烷						
	氧化亚氮						
.....							
范围一碳排放							
活动数据来源:							
排放因子来源:							

图 B.1 厨余垃圾处理项目碳排放核算报告 (第 4 页/共 6 页)

表 5 范围二碳排放明细

排放源	活动数据		排放因子		碳排放	
	数值	单位	数值	单位	数值	单位
外购电力						
外购热						
.....						
范围二碳排放						
活动数据来源:						
排放因子来源:						

表 6 范围三碳排放明细

排放源		活动数据		排放因子		碳排放	
		数值	单位	数值	单位	数值	单位
外购水	自来水						
	再生水						
						
外购药剂	药剂 1						
	药剂 2						
	药剂 3						
						
.....							
范围三碳排放							
活动数据来源:							
排放因子来源:							

图 B.1 厨余垃圾处理项目碳排放核算报告（第 5 页/共 6 页）

表 7 碳补偿明细

输出的能源化/ 资源化产物	活动数据		排放因子		碳补偿	
	数值	单位	数值	单位	数值	单位
热						
电力						
生物天然气						
生物柴油						
有机肥料						
饲料原料						
生物碳源						
.....						
碳补偿						
活动数据来源： 排放因子来源：						

图 B.1 厨余垃圾处理项目碳排放核算报告（第 6 页/共 6 页）

参 考 文 献

- [1] GB 253—2008 煤油
- [2] GB/T 2589—2020 综合能耗计算通则
- [3] GB/T 10647—2008 饲料工业术语
- [4] GB 10648—2013 饲料标签
- [5] GB 13078—2017 饲料卫生标准
- [6] GB 17930—2016 车用汽油
- [7] GB 19147—2016 车用柴油
- [8] GB/T 32150—2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则
- [9] GB/T 33760—2017 基于项目的温室气体减排量评估技术规范通用要求
- [10] CJJ 184—2012 餐厨垃圾处理技术规范
- [11] HJ 501—2009 水质 总有机碳的测定 燃烧氧化—非分散红外吸收法
- [12] HJ 615—2011 土壤 有机碳的测定 重铬酸钾氧化—分光光度法
- [13] NY/T 525—2021 有机肥料
- [14] DB4403/T 423—2024 厨余垃圾处理设施运行管理规范
- [15] SZDB/Z 69—2018 组织的温室气体排放量化和报告指南
- [16] DB11/T 1119—2014 餐厨垃圾生化处理能源消耗限额
- [17] DB11/T 1787—2020 二氧化碳排放核算和报告要求 其他行业
- [18] T/CAEPI 49—2022 污水处理厂低碳运行评价技术规范
- [19] T/ZSA 62—2019 厨余废弃物资源化还田项目温室气体减排量核算技术规范
- [20] ISO 14064—1: 2018 温室气体 第一部分 组织层次上对温室气体排放和清除的量化和报告的规范及指南
- [21] ISO 14064—2: 2018 温室气体 第二部分 项目层次上温室气体减排和清除增加的量化、监测和报告的规范及指南
- [22] SH/MRV—001—2012 温室气体排放核算与报告指南（试行）
- [23] 中华人民共和国生态环境部. 2019 年度减排项目中国区域电网基准线排放因子. 2020 年
- [24] 国家发展和改革委员会. 省级温室气体清单编制指南（试行）：发改办气候〔2011〕1041号. 2012 年
- [25] 国家发展和改革委员会. 工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）：发改办气候〔2015〕1722 号. 2015 年
- [26] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2020. 2020 年
- [27] 广东省生态环境厅. 广东省市县（区）温室气体清单编制指南（试行）. 2020 年
- [28] 广东省生态环境厅. 广东省企业（单位）二氧化碳排放信息报告指南（2023 年修订）. 2023 年
- [29] 深圳市第六届人民代表大会常务委员会. 深圳市生活垃圾分类管理条例：深人常〔2020〕199号. 2020 年
- [30] 深圳市政府五届五十五次常务会议. 深圳市餐厨垃圾管理办法：深圳市人民政府〔2012〕243号. 2012 年
- [31] 联合国政府间气候变化委员会. 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南. 2006 年
- [32] 联合国政府间气候变化委员会. 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南 2019 年细化报告. 2019

年

[33] 联合国政府间气候变化委员会. 气候变化 2021: 物理科学基础. 2021 年

[34] 世界资源研究所和世界可持续发展工商理事会. 温室气体核算体系: 企业核算与报告标准(修订版). 2011 年

[35] 重庆市发展和改革委员会. 重庆市工业企业碳排放核算和报告指南(试行): 渝发改环(2014)544 号. 2014 年

[36] 湖南省发展和改革委员会. 湖南省重点企(事)业单位温室气体排放核算方法与报告指南(试行). 2014 年

[37] 湖北省发展和改革委员会. 湖北省工业企业温室气体排放监测、量化和报告指南(试行). 2014 年

[38] 天津市发展和改革委员会. 天津市其他行业碳排放核算指南(试行). 2014 年

[39] United Nations Environment Programme. UNEP Food waste index report 2021. 2021 年

[40] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. 2021 年

[41] European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 年

[42] United States Environmental Protection Agency. Greenhouse Gas Reporting Program. 2009 年

[43] British Standards Institution. PAS 2070—Specification for the assessment of greenhouse gas emissions of a city. 2013 年

[44] Akao S, Tsuno H, Horie T, et al. Effects of pH and temperature on products and bacterial community in L-lactate batch fermentation of garbage under unsterile condition[J]. Water research, 2007, 41(12): 2636 - 2642.

[45] CHEN S, HUANG J, XIAO T, et al. Carbon emissions under different domestic waste treatment modes induced by garbage classification: Case study in pilot communities in Shanghai, China[J/OL]. Science of The Total Environment, 2020, 717: 137193.

[46] DAHIYA S, SARKAR O, SWAMY Y V, et al. Acidogenic fermentation of food waste for volatile fatty acid production with cogeneration of biohydrogen [J]. Bioresource Technology, 2015, 182: 103-113.

[47] ERMOLAEV E, LALANDER C, VINNERÅS B. Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with *Hermetia illucens*[J/OL]. Waste Management, 2019, 96: 65-74.

[48] FOLEY J, DE HAAS D, YUAN Z, et al. Nitrous oxide generation in full-scale biological nutrient removal wastewater treatment plants[J/OL]. Water Research, 2010, 44(3): 831-844.

[49] GUO J, HE P, LIAO N, et al. Climate Change Impact of Diverse Food Waste Valorization Processes beyond Anaerobic Digestion[J/OL]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2023, 11(14): 5656-5664.

[50] Iwasa M, Moki Y, Takahashi J. Effects of the activity of coprophagous insects on greenhouse gas emissions from cattle dung pats and changes in amounts of nitrogen, carbon, and energy[J]. Environmental Entomology, 2015, 44: 106-113.

[51] Kim M, Na J, Lee M, et al. More value from food waste: Lactic acid and biogas recovery[J]. Water research, 2016, 96: 208 - 216.

[52] KYUNG D, KIM M, CHANG J, et al. Estimation of greenhouse gas emissions from a hybrid wastewater treatment plant[J/OL]. Journal of Cleaner Production, 2015, 95: 117-123.

- [53] MERTENAT A, DIENER S, ZURBRÜGG C. Black Soldier Fly biowaste treatment - Assessment of global warming potential[J/OL]. Waste Management, 2019, 84: 173-181.
- [54] Peinemann J, Demichelis F, Fiore S, et al. Techno-economic assessment of non-sterile batch and continuous production of lactic acid from food waste[J]. Bioresource technology, 2019, 289: 121631.
- [55] Silvia Scherhauser, Graham Moates, Hanna Hartikainen, Keith Waldron, and Gudrun Obersteiner. Environmental Impacts of Food Waste in Europe. Waste Management, 2018: 98-113.
- [56] 边潇, 宫徽, 阎中, 等. 餐厨垃圾不同“收集-处理”模式的碳排放估算对比[J]. 环境工程学报, 2019, 13(2): 449-456.
- [57] 蔡博峰, 陈彬, 陈绍晴, 等. 中国产品全生命周期温室气体排放系数库[EB/OL]. [2023-10-26].
- [58] 蔡博峰, 高庆先, 李中华, 等. 中国城市污水处理厂甲烷排放因子研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(04): 118-124.
- [59] 陈舜, 逯非, 王效科. 中国氮磷钾肥制造温室气体排放系数的估算[J]. 生态学报, 2015, 35(19): 6371-6383.
- [60] 陈文昊, 袁辉洲, 柯水洲等. 厨余垃圾资源化处置方式的碳补偿与能源回收潜力对比分析[J]. 环境工程, 2023, 41(07): 37-44.
- [61] 陈燕. 厌氧-好氧工艺处理垃圾焚烧厂渗滤液的效果分析及其碳排放核算. [D/OL]. 江南大学, 2015.
- [62] 陈之均. 垃圾渗滤液深度脱氮工艺中试应用及碳排放分析[D/OL]. 桂林理工大学, 2023.
- [63] 郭丽平. 猪饲料碳足迹生命周期评价[D/OL]. 北京建筑大学, 2022.
- [64] 何晶晶, 陈淼, 杨娜, 等. 我国生活垃圾焚烧发电过程中温室气体排放及影响因素——以上海某城市生活垃圾焚烧发电厂为例[J]. 中国环境科学, 2011, 31(3): 402-407.
- [65] 胡文举, 宋艳画. 黑水虻的产业化开发应用研究进展[J/OL]. 中国饲料, 2022(18): 5-8.
- [66] 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.
- [67] 李欢, 周颖君, 刘建国, 等. 我国厨余垃圾处理模式的综合比较和优化策略[J]. 环境工程学报, 2021, 15(07): 2398-2408.
- [68] 刘欢, 陈朝. 湿热水解技术协同处理厨余垃圾与果蔬垃圾的工程应用[J]. 环境科技, 2022, 35(02): 52-55.
- [69] 毛元坤, 张子辰, 刘世奇, 等. 黑水虻生物处理餐厨垃圾与剩余污泥的效果[J]. 环境工程技术学报, 2023, 13(02): 793-799.
- [70] 倪梓皓. 生物质液体燃料燃烧反应动力学及燃烧火焰特性研究[D]. 昆明理工大学, 2022.
- [71] 庞万程. 水虻对有机废弃物碳氮转化率及其温室气体减排研究[D]. 华中农业大学, 2020.
- [72] 宋宝木, 秦华鹏, 马共强. 污水处理厂运行阶段碳排放动态变化分析: 以深圳某污水处理厂为例[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(10): 204-209.
- [73] 孙建亭, 郑威, 胡钢, 等. 基于不同回流方式的厨余垃圾湿式厌氧消化处理全路径碳排放分析[J]. 环境工程, 2023, 41(S2): 1211-1214.
- [74] 王航, 王先恺, 陈祥, 等. 城市有机固体废弃物协同处置碳排放分析[J]. 环境工程, 2024, 42(02): 66-72.
- [75] 王琳, 李德彬, 刘子为, 等. 污泥处理处置路径碳排放分析[J]. 中国环境科学, 2022, 42(5): 2404-2412.
- [76] 王庆会. 新概念污水处理厂碳排放量核算研究[D]. 华北水利水电大学, 2022.
- [77] 王全振. 废弃油脂生物柴油/柴油掺混燃烧及非常规排放的试验研究[D]. 山东理工大学,

2023.

[78] 武俊尧, 李向炜, 丁燕, 等. 餐厨垃圾沼渣制备生物炭回用促进厌氧消化产沼气工艺的碳排放特征研究[J]. 环境科学学报, 2024, 44(03): 227-236.

[79] 谢淘, 汪诚文. 污水处理厂温室气体排放评估[J/OL]. 清华大学学报(自然科学版), 2012, 52(4): 473-477.

[80] 闫秋鹤, 王洪涛, 刘彦廷. 应用含水率评价厨余垃圾和其他垃圾的分类效果以及垃圾的能源利用效率: 以张家港市为例[J/OL]. 环境工程, 2021, 39(2): 105-109+159.

[81] 严祥瑞, 辛立庆, 王昊书, 等. 新型全混合式厨余垃圾生物干化工艺效能实证研究[J/OL]. 中国环境科学, 2021, 41(7): 3291-3297.

[82] 张炳康, 李云玉, 张欣, 等. 垃圾焚烧发电项目碳排放核算与减排效应研究[J]. 环境保护科学, 2023, 49(1): 75-81.

[83] 张振华, 胡凯, 曾德源. 基于 LCA 的江西省典型生猪供应链的碳排放测算[J]. 家畜生态学报, 2022, 43(10): 78-85.

[84] 赵晨晨. 污水处理工艺生命周期环境影响分析与比较[D/OL]. 大连理工大学, 2015.

[85] 赵丛. 污水处理过程中温室气体甲烷和氧化亚氮的释放量研究[J]. 低碳世界, 2019, 9(01): 5-6.

[86] 赵凤秋. 厨余垃圾“热水解+压榨制浆”预处理+浓浆湿式厌氧处理系统研究与工程示范. 北京市, 北京洁绿环境科技股份有限公司, 2019-12-01.

[87] 中国城镇供水排水协会. 城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.

[88] 周元清. 中国规模化生猪养殖碳足迹评估方法与案例研究[D/OL]. 中国农业科学院, 2018.

[89] 周政, 李怀波, 王燕, 等. 低碳氮比进水 AAO 污水处理厂低碳运行[J]. 中国环境科学, 2022, 42(11): 5088-5099.