

ICS

CCS

团 体 标 准

T/CMSS XXXX—20□□

城镇污泥处理处置温室气体排放核算方法

Accounting methods for Greenhouse Gas Emissions from Municipal Sludge
Treatment and Disposal

(征求意见稿)

2025-□□-□□发布

2025-□□-□□实施

中国管理科学学会 发布

目 次

前 言	II
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	3
4.1 概述	3
4.2 核算和报告范围	4
5 核算步骤和核算方法	5
5.1 核算步骤	5
5.2 核算方法	6
5.3 活动数据收集	12
5.4 排放因子的选择	12
6 数据质量管理	13
7 城镇污泥处理设施温室气体排放评估报告编制	13
附录 A 相关参数缺省值（资料性）	15
附录 B 基础数据收集（资料性）	20
附录 C 报告内容及格式要求（资料性）	24
附录 D 城镇污泥处理处置工艺路径温室气体排放核算（资料性）	25
参考文献	28

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任

本文件由中国管理科学学会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人员：。

本文件为首次发布。

城镇污泥处理处置温室气体排放核算方法

1 范围

本文件规定了城镇污泥处理处置温室气体排放量的核算和报告相关的术语、核算边界、核算步骤与核算方法、数据质量管理、报告内容和格式等内容。

本标准适用于城镇污泥处理处置的温室气体排放量的核算和报告。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则

GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则

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

T/CAEPI 49 污水处理厂低碳运行评价技术规范

T/CABEE 040 城镇污水处理和污泥处理处置工程碳排放计算标准

IPCC 2006 年国家温室气体清单标准（2019 修订版）

固体废物分类与代码目录

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

城镇污泥 municipal sludge

未接纳工业废水的城镇污水处理厂产生的污泥或者给水厂沉淀池和滤池反冲洗排泥水沉淀后形成的污泥。按照《固体废弃物分类与代码目录废物代码》废物种类 SW90 的城镇污水污泥。本标准选 80% 含水率的城镇污泥作为研究对象。

3.2

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：如无特别说明，本文件涉及的温室气体主要包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)。

[来源：GB/T 32150-2015, 3.1]

3.3

温室气体排放 greenhouse gas emission

在特定时段内释放到大气中的温室气体总量（以质量单位计算）。

[来源：GB/T 32150-2015, 3.6]

3.4

化石燃料燃烧排放 fossil fuel combustion emission

化石燃料在氧化燃烧过程中产生的温室气体排放。

[来源：GB/T 32150-2015, 3.7]

3.5

过程排放 process emission

在生产、废弃物处理处置等过程中除化石燃料燃烧之外的物理或化学变化造成的温室气体排放。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.8]

3.6

购入的电力、热力产生的排放 emission from purchased electricity and heat

企业购入使用电力、热力所对应的电力、热力生产环节产生的二氧化碳排放。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.9]

3.7

材料消耗产生的排放 emission from material consumption

企业购入消耗的药剂和材料产生的二氧化碳排放。

3.8

避免排放 avoid emission

固体废物处理处置过程中生成的物质替代原生材料或替代能源所导致的温室气体避免排放量。

3.9

全球变暖潜势 global warming potential; GWP

将单位质量的某种碳在给定时间段内辐射强迫的影响与等量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数。

[来源：GB/T 32150-2015，3.15]

3.10

二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent; CO₂e

在辐射强迫上与某种温室气体质量相当的二氧化碳的量。

注：二氧化碳当量等于给定气体的质量乘以它的全球变暖潜势。

[来源：GB/T 33760-2017，3.7]

3.11

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]

3.12

排放因子 emission factor

表征单位生产或消费活动量的碳排放的系数。

[来源：GB/T 32150-2015，3.13]

4 核算边界

4.1 概述

城镇污泥处理处置工艺包括干化、焚烧/协同焚烧、厌氧消化/协同厌氧、好氧发酵、卫生填埋、土地利用和建材利用中的一种或多种组合。不同的污泥处理工艺对含水率有不同的要求，本标准以城镇污泥处理企业为边界，80%含水率污泥作为研究对象，核算和报告边界内处理设施所有环节和处理设施产生的温室气体排放。对于城镇污泥处理过程中可能涉及的沼气利用、建材利用、土地利用、填埋气利用等过程，需要根据企业核算边界以及实际厂区情况对其进行取舍计算。城镇污泥处理处置核算系统边界如图1所示。当存在城镇污泥与其他固体废物协同处理处置或处理处置产生多种产物时，应对碳进行分配。可考虑根据质量、能量、价值等因素对碳进行分配。

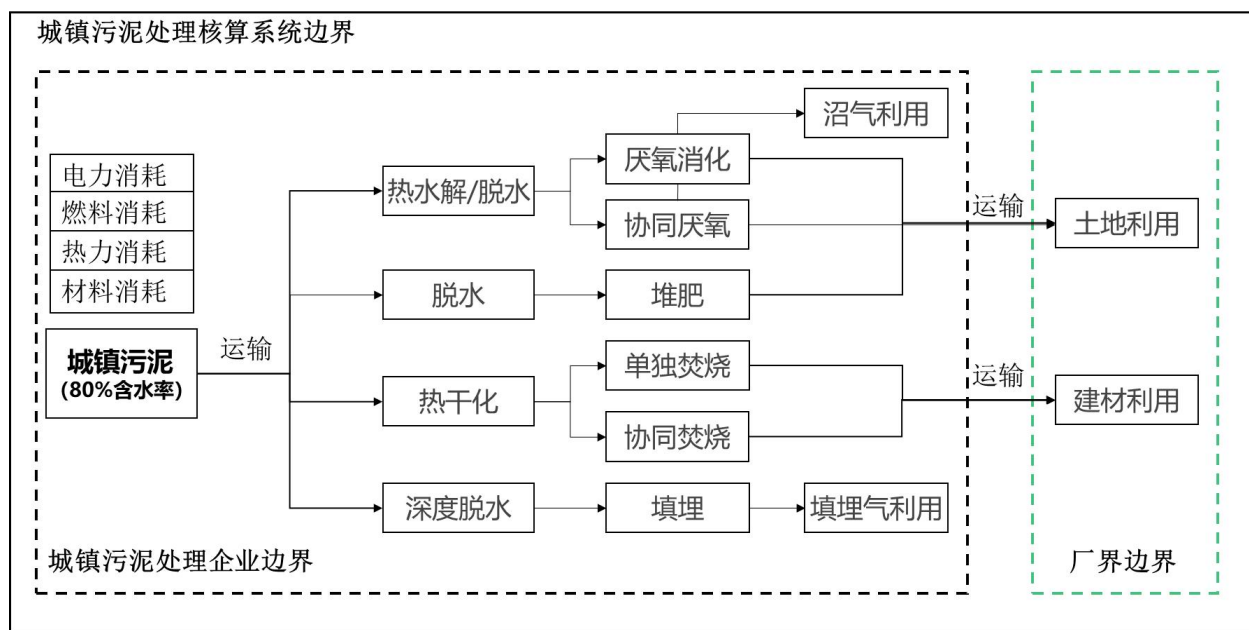


图1 城镇污泥处理处置温室气体排放核算系统边界

4.2 核算和报告范围

城镇污泥处理处置企业温室气体排放核算和报告范围包括：化石燃料燃烧排放、过程排放、购入使用电力和热力产生的排放、材料消耗产生的排放以及避免排放。

4.2.1 化石燃料燃烧排放

城镇污泥处理处置企业生产过程中厂内移动源及固定源燃烧设备（如锅炉、窑炉、内燃机、运输车辆等）中发生氧化燃烧过程产生的温室气体排放。

4.2.2 过程排放

不同城镇污泥处理处置路径中直接产生的温室气体排放。

1) 污泥好氧堆肥过程中生物化学反应产生并释放的温室气体，包括 CH_4 和 N_2O ， CO_2 作为生物源二氧化碳不计入核算；

2) 污泥厌氧消化/协同厌氧过程中沼气收集管路无意泄露的 CH_4 或沼气火炬燃烧不充分释放的温室气体；

3) 脱水污泥填埋过程中有机物降解产生的甲烷逸散或填埋气火炬燃烧不充分释放的温室气体；

4) 污泥焚烧或协同焚烧过程中产生的二氧化碳作为生物源二氧化碳，不计入核算。

4.2.3 购入使用电力、热力产生的排放

企业消耗的购入电力、热力所对应的电力、热力生产环节产生温室气体排放。

4.2.4 购入材料产生的排放

企业消耗的购入药剂或材料所对应的药剂或材料生产环节产生的温室气体排放。

4.2.5 避免排放

不同污泥处理路径中生成的物质作为替代原生材料或替代能源所导致的避免温室气体排放。

1) 污泥厌氧消化/协同厌氧处理，沼气进行发电、供热或提纯制备天然气，替代购入能源或替代天然气导致的避免排放；

2) 污泥好氧堆肥或厌氧消化处理，产物作为营养土或改良剂进行土地利用，替代原生材料生产导致的避免排放；

3) 污泥焚烧/协同焚烧处置，富余热量进行发电或对外供热，替代购入的能源导致的避免排放；

4) 污泥焚烧/协同焚烧处置后的产物进行建材利用，制作制砖、制水泥、轻质骨材、道路基材、沥青填充材料等，替代原生材料生产导致的避免排放；

5) 污泥填埋处置，收集填埋气进行发电、供热或提纯制备天然气，替代购入能源或替代天然气导致的避免排放。

5 核算步骤和核算方法

5.1 核算步骤

报告主体进行城镇污泥处理企业温室气体排放核算与报告的完整工作流程包括以下步骤：

- a) 确定核算边界；
- b) 识别排放源；
- c) 收集活动数据；
- d) 选择和获取排放因子数据；
- e) 分别计算化石燃料燃烧排放量、过程排放量、购入的电力及热力、材料所对应的排放量和避免排放量；
- f) 汇总计算企业温室气体排放量；

g) 编制排放报告并做好数据质量管理和文件存档工作。

5.2 核算方法

5.2.1 化石燃料燃烧

污泥处理过程化石燃料消耗温室气体排放涉及地面移动源及固定源消耗的燃料燃烧的温室气体排放。

(1) 运输过程化石燃料燃烧

$$E_{\text{运输}} = \sum_{i=1}^n (M_i \times D_i \times EF_i) \quad \#(1)$$

式中,

$E_{\text{运输}}$: 厨余垃圾运输阶段产生的温室气体排放量, tCO₂e;

M_i : 厨余垃圾运输第 i 种运输车辆的运输质量, t;

D_i : 厨余垃圾运输第 i 种运输车辆的实际行驶距离, km;

EF_i : 厨余垃圾运输第 i 种运输车辆的排放因子, tCO₂e/t · km, 见附表 A.1;

n : 表示有 n 种运输车辆。

(2) 固定源燃烧

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n (FC_i \times NCV_i \times CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12}) \quad \#(2)$$

式中,

$E_{\text{燃烧}}$: 固体源燃料燃烧产生的温室气体排放量, tCO₂e;

FC_i : 第 i 种化石燃料的净消耗量, 固体和液体燃料单位为吨(t), 气体燃料单位为万标立方米(10⁴Nm³);

NCV_i : 第 i 种燃料的平均低位发热量, GJ/t 或 GJ/10⁴Nm³ (参考附表 A.2);

CC_i : 第 i 种化石燃料的单位热值含碳量, tC/GJ (参考附表 A.2);

OF_i : 第 i 种化石燃料的碳氧化率, 以%表示, 取值为 0-1 (参考附表 A.2);

$\frac{44}{12}$: 二氧化碳(CO₂)与碳(C)的相对分子质量之比;

i : 化石燃料类型;

n : 总的燃料类型数量。

5.2.2 过程排放

污泥处理处置中直接产生的温室气体排放，涉及污泥焚烧/协同焚烧过程、厌氧消化/协同厌氧过程、好氧堆肥及卫生填埋过程。

5.2.2.1 好氧堆肥过程

污泥好氧堆肥过程中生物化学反应产生并释放的温室气体，包括 CH₄ 和 N₂O。

$$E_{\text{好氧堆肥-N}_2\text{O}} = m \times EF_{\text{好氧堆肥-N}_2\text{O}} \times G_{\text{N}_2\text{O}} \times 10^{-6} \#(3)$$

$$E_{\text{好氧堆肥-CH}_4} = m \times EF_{\text{好氧堆肥-CH}_4} \times G_{\text{CH}_4} \times 10^{-6} \#(4)$$

式中，

$E_{\text{好氧堆肥-CH}_4}$ ：污泥好氧堆肥过程中 CH₄ 产生的二氧化碳当量，tCO₂e；

$E_{\text{好氧堆肥-N}_2\text{O}}$ ：污泥好氧堆肥过程中 N₂O 产生的二氧化碳当量，tCO₂e；

m ：厨余垃圾好氧堆肥处理量，kg；

$EF_{\text{好氧堆肥-CH}_4}$ ：污泥好氧堆肥过程中 CH₄ 排放因子，gCH₄/kg 污泥，见附表 A.3；

$EF_{\text{好氧堆肥-N}_2\text{O}}$ ：污泥好氧堆肥过程中 N₂O 排放因子，gN₂O/kg 污泥，见附表 A.3；

G_{CH_4} ：CH₄ 的全球增温潜势值，见附表 A.4；

$G_{\text{N}_2\text{O}}$ ：N₂O 的全球增温潜势值，见附表 A.4。

5.2.2.2 厌氧消化过程

污泥厌氧消化/协同厌氧过程中沼气收集管路无意泄露的 CH₄ 或沼气火炬燃烧不充分释放的温室气体。

$$E_{\text{厌氧消化-CH}_4} = m \times CL \times \varphi_{\text{CH}_4} \times \rho_{\text{CH}_4} \times G_{\text{CH}_4} \times 10^{-3} \#(5)$$

式中，

$E_{\text{厌氧消化-CH}_4}$ ：污泥厌氧消化过程中 CH₄ 逸散产生的二氧化碳当量，tCO₂e；

m ：厨余垃圾厌氧消化处理量，t；

CL ：产 CH₄ 因子，以 m³CH₄/t 干污泥，见附表 A.5；

φ_{CH_4} : 污泥厌氧消化 CH_4 逸散率, %, 见附表 A.5;

ρ_{CH_4} : CH_4 密度, $0.72\text{kg}/\text{m}^3$

G_{CH_4} : CH_4 的全球增温潜势值, 见附表 A.4。

5.2.2.3 卫生填埋

脱水污泥填埋过程中有机物降解产生的甲烷逸散或填埋气火炬燃烧不充分释放的温室气体。

$$E_{\text{填埋-}CH_4} = m \times DOC \times DOC_f \times MCF \times F \times (1 - OX) \times (1 - MCR) \times \frac{16}{12} \times G_{CH_4} \times 10^{-3} \#(6)$$

式中,

$E_{\text{填埋-}CH_4}$: 脱水污泥处置卫生填埋 CH_4 排放的二氧化碳当量, tCO_2e ;

m : 脱水污泥卫生填埋处理量, t ;

DOC : 污泥中可降解有机碳含量, ($\text{kg C}/\text{kg}$ 干污泥), 见附表 A.5;

DOC_f : 可分解的 DOC 比例, %, 见附表 A.5;

MCF : CH_4 的修正因子, 见附表 A.5;

F : 填埋气中 CH_4 浓度 (体积分数), %, 见附表 A.5;

OX : CH_4 释放前被氧化比例, %, 见附表 A.5;

MCR : CH_4 回收率, %, 见附表 A.5

$16/12$: CH_4 与 C 分子质量比;

G_{CH_4} : CH_4 的全球增温潜势值, 见附表 A.4。

5.2.3 购入电力、热力产生的排放量

对于购入电力、热力消耗对应的电力、热力生产环境产生的温室气体排放量。

$$E_{\text{购入电}} = AD_{ec} \times EF_{ec,p} \times 10^{-3} \#(7)$$

$$E_{\text{购入热}} = AD_{He} \times EF_{he} \times 10^{-3} \#(8)$$

$E_{\text{购入电}}$: 购入电力所对应的电力生产环节的二氧化碳排放量, tCO_2e ;

$E_{\text{购入热}}$: 购入热力所对应的热力生产环节的二氧化碳排放量, tCO_2e ;

$AD_{\text{购入电}}$: 城镇污泥处理企业外购电力量, kWh;

$AD_{\text{购入热}}$: 城镇污泥处理企业外购热力量, MWh;

$EF_{\text{电},p}$: 企业所在区域 p 的发电行业平均的二氧化碳排放因子, $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$, 见附表 A.6;

$EF_{\text{热}}$: 热力生产的二氧化碳排放因子, $\text{kgCO}_2\text{e/MWh}$, 见附表 A.6;

5.2.4 药剂或材料消耗产生的排放

企业消耗的购入药剂或材料所对应的药剂或材料生产环节产生的温室气体排放。

$$E_{\text{材料}} = \sum_j AD_{\text{材料}j} \times EF_{\text{材料}j} \times 10^{-3} \#(9)$$

式中,

$E_{\text{材料}}$: 药剂或材料消耗产生的温室气体排放量, tCO_2e ;

$AD_{\text{材料}j}$: 第 j 种药剂或材料消耗量, kg ;

$EF_{\text{材料}j}$: 第 j 种药剂或材料生产的碳排放因子, $\text{kgCO}_2\text{e/t}$, 见附表 A.7。

j : 药剂或材料的类型。

5.2.5 避免排放

污泥通过焚烧发电、沼气回收利用、土地利用、建材利用等方式替代原生材料或能源生产过程导致的避免温室气体排放量。

5.2.5.1 污泥焚烧发电形成的避免温室气体排放量

污泥焚烧/协同焚烧处置, 富余热量进行发电或对外供热, 替代购入的能源导致的避免排放。

$$R_{\text{焚烧发电}} = m \times \left(\frac{Q_{\text{均}} - Q_{\text{损}}}{3.6} \times \alpha \times 10^3 \right) \times EF_{\text{电},p} \times 10^{-3} \#(10)$$

式中,

$R_{\text{焚烧发电}}$: 污泥干化焚烧避免温室气体排放量, tCO_2e ;

m : 干化后污泥焚烧处理量, t ;

$Q_{\text{均}}$: 污泥热值均值, GJ/t 干污泥, 见附表 A.5;

$Q_{损}$ ：污泥焚烧损失热值，GJ/t 干污泥，见附表 A.5；

α ：热能发电效率，%；

3.6：热量与电量转化系数；

$EF_{电,p}$ ：企业所在区域 p 平均的二氧化碳温室气体排放因子，kgCO₂e/kWh，见附表 A.4。

5.2.5.2 沼气回收利用形成的避免温室气体排放量

脱水污泥卫生填埋和厌氧消化产生的沼气进行发电、供热或提纯制备天然气，替代购入能源或替代天然气导致的避免排放。

$$R_{沼气发电} = m \times CL \times (1 - \varphi_{CH_4}) \times CD_{发电} \times EF_{电,p} \times 10^{-3} \#(11)$$

$$R_{沼气供热} = m \times CL \times (1 - \varphi_{CH_4}) \times CD_{发热} \times EF_{热} \times 10^{-3} \#(12)$$

$$R_{沼气提纯} = m \times CL \times (1 - \varphi_{CH_4}) \times \rho_{CH_4} \times \frac{44}{16} \times G_{CH_4} \times 10^{-3} \#(13)$$

式中，

$R_{沼气发电}$ ：污泥卫生填埋/厌氧消化沼气发电形成的避免排放量，tCO₂e；

$R_{沼气供热}$ ：污泥卫生填埋/厌氧消化沼气供热形成的避免排放量，tCO₂e；

$R_{沼气提纯}$ ：污泥卫生填埋/厌氧消化沼气提纯天然气形成的避免排放量，tCO₂e；

m ：污泥卫生填埋/厌氧消化处理量，t；

CL ：产 CH₄ 因子，m³CH₄/t 污泥，见附表 A.5；

φ_{CH_4} ：CH₄ 逸散率，%；

$CD_{发电}$ ：CH₄ 发电效率，kWh/m³；

$CD_{发热}$ ：CH₄ 发热效率，MWh/m³；

$EF_{电,p}$ ：企业所在区域 p 的发电行业平均的二氧化碳排放因子，kgCO₂e/kWh，见附表 A.6；

$EF_{热}$ ：热力生产的二氧化碳排放因子，kgCO₂e/MWh，见附表 A.5；

ρ_{CH_4} ：CH₄ 密度 0.72kg/m³；

44/16 为 CO₂ 与 CH₄ 的分子量比率；

G_{CH_4} : CH_4 的全球增温潜势值, 见附表 A.4。

5.2.5.3 土地利用

污泥经过厌氧或好氧处理后的产物进行土地利用, 替代原生材料生产导致的避免排放。

$$R_{\text{土地利用}} = \frac{M_{\text{土地利用}}}{1-w} \times (\omega_N \times EF_N + \omega_P \times EF_P) \times \frac{44}{12} \times 10^{-3} \#(14)$$

式中,

$R_{\text{土地利用}}$: 污泥土地利用替代肥料形成的避免温室气体排放量, tCO_2e ;

$M_{\text{土地利用}}$: 回收作为肥料的干污泥量, t;

w : 含水率, %, 见附表 A.5;

EF_N : 单位氮肥制造排放因子 (以元素 C 计), kgC/kgN 。见附表 A.3;

EF_P : 单位磷肥制造排放因子 (以元素 C 计), kgC/kgP , 见附表 A.3;

ω_N 为污泥产品氮含量, gN/kg , 见附表 A.5;

ω_P 为污泥产品磷含量, gP/kg , 见附表 A.5。

5.2.5.4 建材利用

污泥焚烧产物进行建材利用, 替代原生材料生产导致的避免温室气体排放。

$$R_{\text{建材利用}} = M_{\text{焚烧产物}} \times \varphi_{\text{焚烧产物}} \times EF_{\text{建筑材料}} \times 10^{-3} \#(15)$$

式中,

$R_{\text{建材利用}}$: 污泥焚烧产物替代材料形成的避免温室气体排放量, tCO_2e ;

$M_{\text{焚烧产物}}$: 污泥焚烧产物, t;

$\varphi_{\text{焚烧产物}}$: 污泥焚烧产物平均占比, %;

$EF_{\text{建筑材料}}$: 建筑材料生产排放因子, $kgCO_2e/t$, 见附表 A.8。

5.2.6 温室气体总排放量

$$E = E_a + E_b + E_c + E_d + E_e - E_r \#(16)$$

式中:

E: 温室气体总排放量, tCO₂e;

E_a: 化石燃料燃烧温室气体排放量, tCO₂e;

E_b: 城镇污泥不同处理路径下的过程温室气体排放量, tCO₂e;

E_c: 购入的电力所产生的温室气体排放, tCO₂e;

E_d: 购入的热力所产生的温室气体排放, tCO₂e;

E_e: 消耗的药剂、材料所产生的温室气体排放, tCO₂e;

E_f: 污泥不同处理路径处理后的物质替代原生材料或能源生产过程导致的避免温室气体排放量, tCO₂e。

5.3 活动数据收集

城镇污泥处理处置企业的活动数据包括污泥进厂量（或处理量）、净购入电力、热力的活动数据、化石燃料数据等通过处理企业统计报表获得，如购入电力、热力的活动数据以城镇污泥处理企业电表或热力表读数为准，或采用供应商提供的发票或结算凭证数据、能源消费台账等。部分数据可以使用替代数据或其他估算数据、经验数据。城镇污泥厂按附表 B 提供基准年度和评估年度的运维数据。

5.4 排放因子的选择

排放因子包括上述活动的碳排放系数。在获取碳排放因子时，应考虑以下方面：

- a) 来源明确，有公信力；
- b) 适用性；
- c) 时效性。

碳排放因子获取的优先级如表 2 所示。

表 2 碳排放因子获取优先级

数据类型	描述	优先级
排放因子实测值或测算值	通过工业企业内的直接测量、能量平衡或物料平衡等方法得到的排放因子或相关参数值	高
排放因子参考值	采用附录或其他相关指南和文件中提供的排放因子 注：排放因子的获取可参考《2006/2019 年 IPCC 国家温室气体清单指南》、IPCC 第六次评估报告常见温室气体全球变暖潜势、《省级温室气体清单编制指南（试行）》、《中国能源统计年鉴》等文件。	低

6 数据质量管理

报告主体应加强温室气体排放数据质量管理工作，包括但不限于：

- a) 建立企业温室气体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；指定专职人员负责企业温室气体排放核算和报告工作；
- b) 根据各种类型的温室气体排放源的重要程度对其进行等级划分，并建立企业温室气体排放源一览表，对于不同等级的排放源的活动数据和排放因子数据的获取提出相应的要求；
- c) 依照 GB 17167 对现有监测条件进行评估，不断提高自身监测能力，并制定相应的监测计划，包括对活动数据的监测和对化石燃料低位发热量等参数的监测；定期对计量器具、检测设备和在线监测仪表进行维护管理，并记录存档；
- d) 建立健全温室气体数据记录管理体系，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) 建立企业温室气体排放报告内部审核制度。定期对温室气体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。

7 城镇污泥处理设施温室气体排放评估报告编制

企业可参照本指南附录 C 格式进行报告，城镇污泥处理设施温室气体排放报告的内容包括但不限于：

- a) **处理企业基本信息** 单位名称、报告年度、所属行业、统一社会信用代码、法定代表人、经营地址、通讯地址、联系人等。
- b) **处理设施信息** 企业层级处理设施信息包括各种副产品产能信息，企业核算边界、工艺流程、以及排放源情况的说明（必要时应附表和附图）。
- c) **温室气体排放量** 在阐述核算边界及排放源识别的基础上，以吨二氧化碳当量（t CO₂e）的形式报告本企业在整个核算报告期内的温室气体排放总量，并分别报告化石燃料燃烧温室气体排放量、生化过程等直接温室气体排放量、购入的电力、热力所产生的温室气体排放、输出的电力、热力所产生的温室气体排放、药剂或材料消耗所产生的温室气体排放、以及处理过程中生成的物质作为替代原生材料或替代能源所导致的避免温室气体排放。
- d) **活动数据及来源** 核算的各个排放源的活动数据的来源，包括核算期内的垃圾组分信息及其监测方法、城镇污泥处置量和含水率、购入的电力和热力量、不同品种燃料的消耗量和相应的低

位发热量、不同工艺环节消耗的药剂类型和数量等。

- e) **排放因子数据及其来源** 消耗的各种燃料单位热值含碳量和碳氧化率，相关排放因子，各种药剂排放因子、购入电力和热力的生产排放因子，并说明来源。
- f) **辅助参数报告项** 企业通过市场化交易各种副产品利用处置情况。

附录 A
相关参数缺省值
(资料性)

附表 A.1 道路运输排放因子缺省值

运输方式	排放因子类型	排放因子数值	单位
道路运输	道路货运平均	7.4×10^{-5}	t CO ₂ e/t·km
	重型货车	4.9×10^{-5}	
	中型货车	4.2×10^{-5}	
	轻型货车	8.3×10^{-5}	
	微型货车	1.2×10^{-5}	

注：引用 WB/T 1135-2023《物流企业温室气体排放核算与报告要求》中数值。

附表 A.2 常见化石燃料特性参数缺省值

燃料种类		平均低位发热值 (GJ/t 或 GJ/万 Nm ³)	单位热值含碳量 (10 ⁻³ tC/GJ)	碳氧化率 ^c
固体燃料	无烟煤	26.700 ^b	27.4 ^c	94%
	烟煤	25.800 ^b	26.1 ^c	93%
	褐煤	11.900 ^b	28.0 ^c	96%
	炼焦煤	28.200 ^b	25.4 ^c	98%
	焦炭	28.435 ^a	29.5 ^c	93%
液体燃料	原油	41.816 ^a	20.1 ^c	98%
	燃料油	41.816 ^a	21.1 ^c	98%
	汽油	43.070 ^a	18.9 ^c	98%
	柴油	42.652 ^a	20.2 ^c	98%
	喷气煤油	43.070 ^a	19.5 ^c	98%
	一般煤油	43.070 ^a	19.6 ^c	98%
	液化天然气	44.200 ^b	17.2 ^c	98%
	液化石油气	50.179 ^a	17.2 ^c	98%
	炼厂干气	45.998 ^a	18.2 ^c	98%
	石脑油	44.500 ^b	20.0 ^c	98%
	沥青	40.200 ^b	22.0 ^c	98%
	润滑油	40.200 ^b	20.0 ^c	98%
	石油焦	32.500 ^b	27.5 ^c	98%
	石化原料油	43.000 ^b	20.0 ^c	98%
	其他油品	40.200 ^b	20.0 ^c	98%
气体燃料	天然气	32.238~38.931 ^a	15.3 ^c	99%
	焦炉煤气	16.726~17.981 ^a	13.6 ^c	99%

数据来源：

a 数据取值来源为《中国能源统计年鉴 2020》；

b 数据取值来源为《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》；

c 数据取值来源为《省级温室气体清单编制指南（试行）》。

附表 A.3 污泥处理技术相关排放因子参考值

符号	含义	数值	单位
$EF_{N_2O,AC}$	好氧堆肥过程中 N_2O 排放因子	0.6 ^a	gN_2O/kg (干重)
		0.3 ^a	gN_2O/kg (湿重)
$EF_{CH_4,AC}$	好氧堆肥过程中 CH_4 排放因子	10 ^a	gCH_4/kg (干重)
		4 ^a	gCH_4/kg (湿重)
EF_N	单位氮肥制造排放因子 (以元素 C 计)	2.116 ^b	kgC/kgN
EF_P	单位磷肥制造排放因子 (以元素 C 计)	0.636 ^b	kgC/kgP

数据来源：
a 数据取值来源为《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》；
b 数据取值来源为陈舜等 (2015)。

附表 A.4 温室气体全球增温潜势值

温室气体种类	CO_2	CH_4	N_2O
GWP ($kgCO_2e/kg$) *	1	27	273

注：*来自 IPCC 第六次评估报告，该数值随 IPCC 官方数据更新

附表 A.5 污泥处理过程相关参数参考值

排放因子/参数	含义	数值	数据来源
CL	污泥厌氧消化产 CH_4 因子	$341m^3CH_4/t$ 干污泥	宋晓雅 (2019)
φ_{CH_4}	污泥厌氧消化过程中 CH_4 逸散率	0-10%，缺省值 5% ^b 如果能确保无意泄漏的 CH_4 排放均被喷焰燃烧，则可忽略 CH_4 排放	IPCC 推荐值
DOC:	可降解有机碳的比例	15%(IPCC 推荐值为 50%，污泥含水率按 90%计) ^c	郭恰 (2020)
DOC_f	实际分解的可降解有机碳的比例	50%	IPCC 推荐值
MCF	CH_4 的修正因子	根据填埋场的甲烷回收和利用方式确定，无回收默认值为 1； 填埋气收集直燃部分为 1/28	IPCC 推荐值
F	填埋气中 CH_4 浓度 (体积分数)	50%	IPCC 推荐值
OX	CH_4 释放前被氧化比例	0.1	IPCC 推荐值
MCR	CH_4 回收率	我国常规集气效率 40%	张笑千 (2018)
$Q_{均}$	污泥热值均值	$11.9 GJ/t$ 干污泥	郝晓地 (2019)
$Q_{损}$	污泥热值均值	$0.8 GJ/t$ 干污泥	郝晓地 (2019)
CD_{ec}	CH_4 发电效率	$2.30 kWh/m^3$	郝晓地 (2014) Dalpaz R (2020)
w	含水率	57.8%	杨喆程 (2021)
ω_N	污泥产品氮含量	$18.8gN/kg$ 污泥	杨喆程 (2021)
ω_P	污泥产品磷含量	$12.7gP/kg$ 污泥	
$\varphi_{residue}$	灰渣平均占比	17.5%	蒋自力 (2018)

附表 A.6 我国分区电能、热力的温室气体排放因子

电网名称	服务省份	排放因子 kg CO ₂ e/kWh
华北区域电网	北京市、天津市、河北省、山西省、山东省、内蒙古自治区	0.6776
东北区域电网	辽宁省、吉林省、黑龙江省	0.5564
华东区域电网	上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省	0.5617
华中区域电网	河南省、湖北省、湖南省、江西省	0.5395
西北区域电网	陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区	0.5857
南方区域电网	广东省、广西壮族自治区、云南省、贵州省、海南省	0.3869
西南区域电网	四川省、重庆市	0.2268
全国平均		0.5366

注：数据来源于生态环境部、国家统计局发布的《2022年电力二氧化碳排放因子》，随官方数据更新；热力排放因子取推荐值0.11 tCO₂/GJ，来自DB11/T 1784-2020

附表 A.7 药剂或材料碳排放因子

处理过程	药剂/材料	排放因子	单位
烟气净化处理	氢氧化钠（50% in H ₂ O）	1.12 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	活性炭	7.96 ²	kgCO ₂ -eq/kg
	盐酸（工业用盐酸溶液，浓度30%）	1.20 ³	kgCO ₂ -eq/kg
	次氯酸钠（工业级次氯酸钠溶液，含次氯酸钠15%）	2.99 ²	kgCO ₂ -eq/kg
	硫酸	0.16 ⁴	kgCO ₂ -eq/kg
	尿素	0.956 ⁵	kgCO ₂ -eq/kg
	氨水	0.114 ²	kgCO ₂ -eq/kg
	熟石灰	1.11 ⁵	kgCO ₂ -eq/kg
	生石灰	1.18 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
飞灰处置	水泥	0.88 ⁵	kgCO ₂ -eq/kg
	螯合剂	4.2	kgCO ₂ -eq/kg
污水处理	碱度	1.74 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	甲醇	1.54 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	葡萄糖	1.48 ⁵	kgCO ₂ -eq/kg
	乙酸钠	0.623 ⁴	kgCO ₂ -eq/kg
	磷酸氢二铵	0.03 ⁴	kgCO ₂ -eq/kg
	硫酸亚铁	0.26 ⁴	kgCO ₂ -eq/kg
	碳酸钠	0.95 ⁴	kgCO ₂ -eq/kg
	六水三氯化铁	2.71 ¹	kgCO ₂ -eq/kg

	聚丙烯酰胺(BAM)	1.5 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	聚合氯化铝(PAC)	1.62 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	硫酸铝	0.50 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	其他絮凝剂	2.5 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	液氯	2.00 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	臭氧（液）	8.10 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	双氧水（50% in H ₂ O）	1.14 ¹	kgCO ₂ -eq/kg
	其他消毒剂	1.40 ¹	kgCO ₂ -eq/kg

数据来源：

¹ 来源于 T/CAEPI 49—2022 表 B.

² Ecoinvent Database 或基于该数据库的二次建模计算

³ INCOPA. Life Cycle Analysis of Leading Coagulants : Executive Summary Format of this document. (2014)

⁴ 来源于《城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南》

⁵ 来源于中国产品全生命周期温室气体排放系数库

附表 A. 8 建筑材料碳排放因子

建筑材料类别	建筑材料碳排放因子	单位
普通硅酸盐水泥（市场平均）	735	kg CO ₂ e/t
C30 混凝土	295	kg CO ₂ e/m ³
C50 混凝土	385	kg CO ₂ e/m ³
石灰生产(市场平均)	1190	kg CO ₂ e/t
消石灰（熟石灰、氢氧化钙）	747	kg CO ₂ e/t
天然石膏	32.8	kg CO ₂ e/t
砂(f1.6~3.0)	2.51	kg CO ₂ e/t
碎石(d=10mm~30mm)	2.18	kg CO ₂ e/t
页岩石	5.08	kg CO ₂ e/t
黏土	2.69	kg CO ₂ e/t
混凝土砖(240mmX115mm×90mm)	336	kg CO ₂ e/m ³
蒸压粉煤灰砖（240mm×115mm×53mm）	341	kg CO ₂ e/m ³
烧结粉煤灰实心砖（240mm×115mm×53mm 掺入量为 50%）	134	kg CO ₂ e/m ³
页岩实心砖(240mm×115mmX53mm)	292	kg CO ₂ e/m ³
页岩空心砖(240mm×115mm×53mm)	204	kg CO ₂ e/m ³
黏土空心砖(240mm×115mm×53mm)	250	kg CO ₂ e/m ³

煤研石实心砖（240mm×115mm×53mm，90%掺入量）	22.8	kg CO ₂ e/m ³
煤研石空心砖（240mm×115mm×53mm，90%掺入量）	16.0	kg CO ₂ e/m ³
数据来源：《建筑碳排放计算标准》（GB/T 51366-2019）		

附录 B
基础数据收集
(资料性)

附表B.1 污泥处理处置温室气体排放核算基础数据收集表

城镇污泥处理项目温室气体排放评估活动数据收集			
基础信息			
公司名称	设计服务年限	设计处理能力 (t/d)	实际处理能力 (t/d)
xxxxx	XXX 年	xxxxx	xxxxx
污泥处理厂位置	XX 省 XX 市	城镇污泥入场量 (t/d)	
入场污泥含水率%		出厂污泥处置量 (t/d)	
污泥处理技术信息	示例城镇污泥干化焚烧		
数据收集表			
处理路径		数值	单位
污泥深度脱水	脱水方式		
	脱水污泥含水率		%
	脱水电耗		kWh/d
	脱水药剂及消耗量		Kg/d
污泥厌氧消化	沼气产量		m ³ /d
	甲烷回收体积		m ³ /d
	未被发电沼气产量		m ³ /d
	沼气发电量		kWh/d
	沼气产热量		kJ/d
	总电耗 (不含沼气发电)		kWh/d
	燃料种类与消耗量		kJ/d

	消耗药剂与消耗量		Kg/d
污泥好氧发酵	污泥处理量		t 干污泥/d
	有机质含量		t/d
	总电耗		kWh/d
	燃料种类与消耗量		kJ/d
	消耗药剂与消耗量		Kg/d
污泥干化-焚烧/协同焚烧	脱水污泥量		t/d
	焚烧系统进泥含水率		%
	焚烧处理量		t/d
	焚烧系统富余热量		kJ/d
	总电耗		kwh/d
	燃料种类与消耗量		kJ/d
	消耗药剂与消耗量		Kg/d
土地利用	污泥产物产量		
	污泥氮含量		
	污泥磷含量		
	运输距离		
建材利用	焚烧灰渣量		
	建材利用方式		
	建材利用替代量		
	运输距离		

附表B.2 化石燃料燃烧排放活动数据和排放因子数据一览表

燃料品种	消耗量/ t 或 10 ⁴ m ³	低位发热量		单位热值含碳量/ tC/GJ	碳氧化率/%	
		数据	数据来源		数据	数据来源
煤			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值
汽油			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值
柴油			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值
液化天然气			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值
液化石油气			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值
天然气			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值
煤气			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值			<input type="checkbox"/> 实测值 <input type="checkbox"/> 推荐值

附表 B.3 过程排放活动数据及排放因子数据一览表

处理过程	参数	数据	CH ₄ 产量 (t)	排放因子/ (tCO ₂ /MWh)	N ₂ O 产量 (t)	排放因子/ (tCO ₂ /MWh)	排放量/tCO ₂
厌氧消化	厌氧消化处 理量 (t)						
好氧堆肥	好氧堆肥处 理量 (t)						
卫生填埋	卫生填埋处 理量 (t)						

附表 B.4 购入和输出的电力产生的排放活动数据及排放因子数据一览表

项目	电量/MWh	排放因子/ (tCO ₂ /MWh)	排放量/tCO ₂
购入			
输出			

附表 B.5 购入和输出的热力产生的排放活动数据及排放因子数据一览表

项目	热量/GJ	排放因子/ (tCO ₂ /GJ)	排放量/tCO ₂
购入			
输出			

附表 B.6 材料消耗排放的活动数据及排放因子数据一览表

材料类别	消耗量/t	排放因子/ (tCO ₂ /t)	排放量/tCO ₂

附表 B.7 避免排放活动数据及排放因子数据一览表

处理技术	参数	数据	产品/能源的碳排放因 子 (tCO ₂ /t)	避免排放量/tCO ₂
干化焚烧	焚烧余热发电量 (kWh)			
	焚烧产物替代建筑材料量 (kWh)			

厌氧消化	厌氧消化沼气发电 (kWh)			
	厌氧消化沼气供热 (MWh)			
	厌氧消化沼气净化提纯量 (t)			
	厌氧消化产物替代肥料量 (t)			
好氧堆肥	堆肥产品质量 (t)			
卫生填埋	填埋气回收发电量 (kWh)			

附录 C
报告内容及格式要求
(资料性)

附表 C.1 XX 城镇污泥处理企业温室气体排放评估报告

XX 城镇污泥处理项目温室气体排放评估报告	
报告年度：	编制日期：
一、 企业基本情况	
二、 温室气体排放 (包括具体边界的划定、排放来源的识别、排放因子数据及工艺输入数据说明等)	
三、 活动数据及来源说明	
四、 排放因子、计算参数及来源说明	
五、 辅助参数报告项	
本报告真实、可靠，如报告中的信息与实际情况不符，本企业法人将承担相应的法律责任。	
法人(签字): 企业法人： (公章) 年 月 日	

附录 D
城镇污泥处理处置工艺路径温室气体排放核算
(资料性)

(1) 污泥热水解+厌氧消化+土地利用

$$E = E_{\text{运输}} + E_{\text{燃烧}} + E_{\text{厌氧消化-CH}_4} + E_{\text{购入电}} + E_{\text{购入热}} + E_{\text{材料}} + R_{\text{沼气发电}} + R_{\text{沼气供热}} + R_{\text{沼气提纯}} - R_{\text{土地利用}} \quad \#(18)$$

式中,

E : 污泥热水解+厌氧消化处理温室气体排放量, tCO₂e;

$E_{\text{运输}}$: 厌氧消化过程运输阶段产生的温室气体排放量, tCO₂e

$E_{\text{燃烧}}$: 厌氧消化过程固定源化石燃料燃烧产生的温室气体排放量, tCO₂e;

$E_{\text{厌氧消化-CH}_4}$: 厌氧消化过程 CH₄ 逸散产生的温室气体排放, tCO₂e;

$E_{\text{购入电}}$: 厌氧消化过程购入电力所对应的电力生产环节的二氧化碳排放量, tCO₂e;

$E_{\text{购入热}}$: 厌氧消化过程购入热力所对应的电力生产环节的二氧化碳排放量, tCO₂e;

$E_{\text{材料}}$: 厌氧消化过程材料消耗产生的温室气体排放量, tCO₂e;

$R_{\text{沼气发电}}$: 厌氧消化沼气发电形成的避免排放量, tCO₂e;

$R_{\text{沼气供热}}$: 厌氧消化沼气供热形成的避免排放量, tCO₂e;

$R_{\text{沼气提纯}}$: 厌氧消化沼气提纯天然气形成的避免排放量, tCO₂e。

$R_{\text{土地利用}}$: 土地利用替代肥料或土壤改良剂形成的避免温室气体排放量, tCO₂e;

(2) 好氧堆肥+土地利用

$$E = E_{\text{运输}} + E_{\text{燃烧}} + E_{\text{好氧堆肥-N}_2\text{O}} + E_{\text{好氧堆肥-CH}_4} + E_{\text{购入电}} + E_{\text{购入热}} + E_{\text{材料}} - R_{\text{土地利用}} \quad \#(19)$$

式中,

E : 污泥好氧堆肥处理温室气体排放量, tCO₂e;

$E_{\text{运输}}$: 好氧堆肥过程运输阶段产生的温室气体排放量, tCO₂e

$E_{\text{燃烧}}$: 好氧堆肥过程固定源化石燃料燃烧产生的温室气体排放量, tCO₂e;

$E_{\text{好氧堆肥-N}_2\text{O}}$: 好氧堆肥过程 N₂O 排放的二氧化碳当量, tCO₂e;

$E_{\text{好氧堆肥-CH}_4}$: 好氧堆肥过程 CH₄ 排放的二氧化碳当量, tCO₂e;

$E_{\text{购入电}}$: 好氧堆肥购入电力所对应的电力生产环节的二氧化碳排放量, tCO₂e;

$E_{\text{购入热}}$: 好氧堆肥购入热力所对应的电力生产环节的二氧化碳排放量, tCO₂e;

$E_{\text{材料}}$: 好氧堆肥过程材料消耗产生的温室气体排放量, tCO₂e;

$R_{\text{土地利用}}$: 土地利用替代肥料或土壤改良剂导致的避免排放量, tCO₂e。

(3) 热干化+焚烧

$$E = E_{\text{运输}} + E_{\text{燃烧}} + E_{\text{购入电}} + E_{\text{购入热}} + E_{\text{材料}} - R_{\text{焚烧发电}} - R_{\text{建材利用}} \quad \#(20)$$

式中,

E : 污泥热干化+焚烧处理温室气体排放量, tCO₂e;

$E_{\text{运输}}$: 干化焚烧过程运输阶段产生的温室气体排放量, tCO₂e

$E_{\text{燃烧}}$: 干化焚烧过程固定源化石燃料燃烧产生的温室气体排放量, tCO₂e;

$E_{\text{购入电}}$: 干化焚烧购入电力所对应的电力生产环节的二氧化碳排放量, tCO₂e;

$E_{\text{购入热}}$: 干化焚烧购入热力所对应的电力生产环节的二氧化碳排放量, tCO₂e;

$E_{\text{材料}}$: 干化焚烧过程材料消耗产生的温室气体排放量, tCO₂e;

$R_{\text{焚烧发电}}$: 干化焚烧发电产生的避免排放量, tCO₂e。

$R_{\text{建材利用}}$: 污泥焚烧产物替代建筑材料产生的避免温室气体排放量, tCO₂e;

(4) 深度脱水+卫生填埋

$$E = E_{\text{运输}} + E_{\text{燃烧}} + E_{\text{填埋-CH}_4} + E_{\text{购入电}} + E_{\text{材料}} - R_{\text{填埋}} \quad \#(20)$$

式中,

E : 污泥深度脱水+填埋处理温室气体排放量, tCO_2e ;

$E_{\text{运输}}$: 深度脱水+填埋过程运输阶段产生的温室气体排放量, tCO_2e

$E_{\text{燃烧}}$: 深度脱水+填埋过程固定源化石燃料燃烧产生的温室气体排放量, tCO_2e ;

$E_{\text{填埋-}CH_4}$: 深度脱水+填埋过程 CH_4 排放的二氧化碳当量, tCO_2e ;

$E_{\text{购入电}}$: 深度脱水+填埋购入电力所对应的电力生产环节的二氧化碳排放量, tCO_2e ;

$E_{\text{材料}}$: 深度脱水+填埋过程材料消耗产生的温室气体排放量, tCO_2e ;

$R_{\text{填埋}}$: 深度脱水+填埋过程 CH_4 回收发电形成的避免排放量, tCO_2e 。

参考文献

- [1] GB/T 51366-2019 建筑碳排放计算标准
- [2] WB/T 1135-2023 物流企业温室气体排放核算与报告要求
- [3] T/CAEPI 49—2022 污水处理厂低碳运行评价技术规范
- [4] 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴 2020[M]. 北京:中国统计出版社, 2021
- [5] 国家发展和改革委员会办公厅. 省级温室气体清单编制指南(试行): 发改办气候(2011)1041号
- [6] 中华人民共和国生态环境部. 2022年电力二氧化碳排放因子. 2024
- [7] Dalpaz R, Konrad O, da Silva Cyrne C C, et al. Using biogas for energy cogeneration: an analysis of electric and thermal energy generation from agro-industrial waste [J]. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2020, 40
- [8] INCOPA. Life Cycle Analysis of Leading Coagulants: Executive Summary Format of this document. (2014)
- [9] 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.
- [10] 宋晓雅. 污泥热水解厌氧消化与常规厌氧消化的运行比较[J]. 给水排水, 2019, 45(3): 26-30.
- [11] 郭怡. IPCC 污泥碳排放核算模型中 DOC 取值的不足与修正[J]. 中国给水排水, 2020, 36(16): 49-53.
- [12] 张笑千, 宫徽, 王凯军, 等. 垃圾填埋气收集利用全流程系统解决方案[J]. 中国沼气, 2018, 36(6): 61-64.
- [13] 郝晓地, 陈奇, 李季, 等. 污泥干化焚烧乃污泥处理/处置终极方式[J]. 中国给水排水, 2019, 35(4): 35-42.
- [14] 杨喆程, 杜子文, 孙德智, 等. 城市污泥产品林地施用效果与风险评价[J]. 环境工程学报, 2021, 15(4): 1432-1443.
- [15] 蒋自力, 金宜英, 张辉, 等. 污泥处理处置与资源综合利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- [16] 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.
- [17] 中国城市温室气体工作组(CCG). 中国产品全生命周期温室气体排放系数库[DB/OL]. [2025-03-31]

