温室气体 企业碳足迹量化方法与要求

污水处理厂（征求意见稿）

编制说明

《温室气体 企业碳足迹量化方法与要求 污水处理厂》

编制组

2025年8月

.目 录

[1. 概述 1](#_Toc204100076)

[1.1. 项目背景 1](#_Toc204100077)

[1.2. 任务来源 7](#_Toc204100078)

[1.3. 标准起草单位和主要起草人 8](#_Toc204100079)

[1.4. 主要工作过程及所做工作 8](#_Toc204100080)

[2. 标准编制原则和确定标准的主要内容 9](#_Toc204100081)

[2.1. 编制原则 9](#_Toc204100082)

[2.2. 确定标准主要内容的依据 10](#_Toc204100083)

[3. 主要试验（或验证）的分析、综述报告 18](#_Toc204100084)

[3.1. 主要试验（验证）的分析、综述报告 18](#_Toc204100085)

[3.2. 技术经济论证 19](#_Toc204100086)

[3.3. 预期的经济效果 20](#_Toc204100087)

[4. 标准中涉及专利的情况（专利和软著） 20](#_Toc204100088)

[5. 采用国际标准和国外先进标准的程度 20](#_Toc204100089)

[6. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系 20](#_Toc204100090)

[7. 重大分歧意见的处理经过和依据 20](#_Toc204100091)

[8. 作为推荐性标准的建议 20](#_Toc204100092)

[9. 贯彻团体标准的要求和措施建议 20](#_Toc204100093)

[10. 废止现行有关标准的建议 21](#_Toc204100094)

[11. 其他应予说明的事项 21](#_Toc204100095)

# 概述

## 项目背景

### 现状分析

**（1）相关政策要求**

我国明确提出2030前碳达峰、2060年前碳中和目标，国家发改委等部委《关于推进污水处理减污降碳协同增效的实施意见》提出协同推进污水处理全过程污染物削减与温室气体减排，生态环境部等部委《甲烷排放控制行动方案》指出要加强污水处理领域甲烷收集利用，江苏省委、省政府在《关于推动高质量发展做好碳达峰碳中和工作的实施意见》中提出推进水环境治理等领域减污降碳协同控制。而建立碳排放核算方法，是污水处理行业碳减排的基础工作，包含探明碳核算边界、核算方法、排放因子等内容，是政策行动、评价考核的重要技术依据。

**（2）污水收集系统现状**

江苏省新建城区普遍采用分流制排水系统，但受历史因素影响，老城区仍存在雨污合流制，与国际典型城市（如日本东京合流制占比82%、欧洲国家合流制占比45%~70%）相比，江苏省正逐步推进分流制改造。从管网建设来看，苏南地区经济发达，污水处理厂规模较大（5万～10万m³/d），管网分布集中（长度100～500km），管网密度显著高于苏北地区。长江经济带内，下游（如苏南）污水管网密度较高，而中上游（如云南、贵州）管网建设相对滞后，呈现明显的区域不平衡性。

江苏省污水收集系统存在的问题包括进水浓度偏低、管网水力条件不佳及淤积严重。污水厂进水COD平均浓度仅为218.5 mg/L，远低于居民小区实测浓度（约800 mg/L），表明外水（地下水、雨水）渗入及管道内降解导致碳源流失。与国际对比，德国、美国污水处理厂进水COD浓度（500~1000 mg/L）显著高于江苏省，反映出管网渗漏问题的严重性。此外，管网运行参数普遍低于设计标准，平均充满度为0.51（19%的管网超过规范上限0.75），平均流速仅0.39 m/s（仅21%的管网达到规范要求的0.6 m/s），且平均泥深达2.5 cm（徐州最高达5.9 cm），通沟泥以无机成分为主（占比82.8%），进一步加剧了输送效率低下问题。

江苏省城镇老旧小区仍普遍采用化粪池，其COD去除率介于34.1%~64%（平均49.8%），导致进入市政管网的污水碳源大幅降低（出水COD平均451 mg/L）。相比之下，欧美国家城市公寓住宅污水通常直接接入市政管网，乡村地区则采用土地处理法进一步处理化粪池出水，避免直接排放。江苏省内，苏南部分城市（如苏州）正逐步淘汰化粪池，但苏北（如徐州）仍广泛使用，形成区域差异。

江苏省在厂网一体化管理方面走在全国前列，但区域发展不均衡。苏南地区（如苏州、无锡）60%的县区已实现全域厂网一体化，采用“统一规划、建设、运行”模式（如太仓市）；而部分县区（如吴江区）因历史或地形因素采用分片区一体化管理。从运维层级看，仅姑苏区实现了“主管网-支管网-排水户”全链条一体化，多数地区仅整合主管网运维，支管网仍由属地政府管理。滞后地区（如江阴市）因污水处理厂和管网运维主体分散（21个厂涉及15个运维主体），一体化推进难度较大。

与国际先进水平相比，江苏省污水收集系统在厂网一体化（接近新加坡模式）等方面具有优势，但仍面临管网渗漏、低流速淤积、化粪池碳源损耗等核心问题。

**（3）污水处理系统现状**

根据《2023年度江苏省生态环境统计年报》统计，江苏省全年污水处理量69.35亿吨，其中生活污水55.78亿吨、工业废水13.57亿吨，行业碳排放总量达627.8万吨CO2e/a。现有集中式污水处理厂953座（日处理规模500吨以上），其中城镇污水处理厂728家，占比76.4%，工业污水处理厂225家，占比23.6%。

江苏省污水处理量日均1876万吨，其中生活污水1495.4万吨，占比79.7%；工业废水处理量日均380.6万吨，占比20.3%。污水处理总量全省前三位是苏州、南京、无锡，均为苏南地区；苏中和苏北地区污水处理总量相对较低。

江苏省不同地区的污水厂规模分类占比存在较大差异，根据住建部污水处理厂规模分类（小于1万吨/日为小型污水厂，1~10万吨/日为中型污水厂，大于10万吨/日为大型污水厂），苏南与苏北地区污水厂规模类型存在显著差异。苏北地区的徐州、连云港、淮安、盐城以小型污水厂为主，其污水处理厂规模主要在500~5000吨/日；苏南的苏州、无锡地区以中型污水厂为主，其处理规模主要为1~10万吨/日。

江苏省污水处理系统呈现显著的区域差异性和技术特征。在进水水质方面，全省污水处理厂面临碳氮比（C/N）偏低的核心问题，BOD5/TN均值仅为1.7~3.6，远低于欧美国家（≥4.0）的反硝化需求标准，导致57.5%的污水厂需要额外投加碳源，年成本普遍低于500万元，但部分厂区碳源费用超过2000万元/年，并产生显著的间接碳排放。2023年监测数据显示，全省平均进水COD浓度仅为218.5mg/L，其中56%的污水厂COD≤150mg/L，与德国（500-1000mg/L）存在显著差距，这种差异主要源于管网渗漏和收集率不足。

在工艺特征方面，城镇污水厂以A²/O工艺为主（占比60%），工业污水厂则多采用A²/O、A/O及MBBR工艺，MBR技术主要与传统生化工艺联用。污泥特性分析显示MLSS浓度普遍在3000-5000mg/L范围内，超出设计规范，但MLVSS/MLSS比值（0.25-0.6）偏低，表明污泥活性不足。

纺织、化工等六大重点行业贡献了56.8%的工业废水，其中含有高浓度难降解有机物，73家处理厂需要预处理工艺（混凝占比71%），171家需要深度处理（滤池占比61%），当前普遍采用的芬顿、臭氧氧化等工艺存在高碳排问题（吨水成本2-4元）。

在排放标准方面，江苏省地标（DB32/4440-2022）A类标准已达到德国最严水平，但提标改造导致处理成本上升10%和吨水成本增加0.15-0.25元。与国际先进水平相比，江苏省在管网质量（德国COD浓度700mg/L以上）、能源回收（美国大型污水厂普遍实现污泥沼气发电）等方面存在明显差距。

**（4）污泥处理处置现状**

江苏省作为我国经济发达地区和污水处理大省，其污泥处理处置呈现出显著的技术特征和发展趋势。根据2022年统计数据，江苏省污泥处置量达410万吨，位居全国第二，主要采用焚烧和建材利用等处置方式，占比高达87%，而传统的填埋方式仅占2%，表明该省已基本实现由填埋为主向焚烧为主的转变。

从技术特征来看，江苏省污泥具有典型的中国污泥特性：有机质含量较低（VS/TS为30%~50%）、无机质含量高（IS/TS为50%~70%）、重金属含量较高且泥龄较长（普遍在15天以上）。这些特性导致污泥厌氧消化率较低（20%~50%），明显低于发达国家水平（50%~70%），从而影响了污泥的资源化利用途径。

在处置技术路线上，江苏省主要采用焚烧和建材利用等热化学处理方法，这与欧美国家以土地利用为主的模式形成鲜明对比。这种差异主要源于三个方面：一是江苏省污泥重金属含量较高，直接土地利用存在环境风险；二是该省经济发达，具备建设和运营高成本焚烧设施的能力；三是城镇化程度高，土地利用需求相对有限。

与国内外对比显示，江苏省污泥处理处置呈现出以下特点：一是技术路线与日本相似，以焚烧为主（日本占比67%），但建材利用比例更高；二是与欧美国家相比，土地利用比例明显偏低（德国40%、英国60%）；三是处理处置的规范化程度较高，填埋等落后方式已基本淘汰。

**（5）碳排放核算方法现状**

目前暂无团标、地标和国标中提及污水收集系统核算方法，仅2022年10月，中国城镇供水排水协会发布了《城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南》提到污水管渠CH4核算公式，但该方法在计算存在外水进入的污水收集系统时，与理论存在较大偏差。如污水管网进入市政污水管道有机物平均浓度为800 mg/L，水量为100 m3/d，污水停留时间为0.5d，则有机物衰减量为322 mg/L，CH4排放强度为80.5 mg/L。若存在400 m3/d外水进入，进入市政污水管道有机物平均浓度仍为800 mg/L，则有机物衰减量为322 mg/L，CH4排放强度为80.5 mg/L。使用该方法计算导致有外水与无外水进入计算结果一致，缺乏合理性。

当前污水处理行业碳排放核算方法体系主要包含三种主流方法：排放因子法、实测法和模型法，各具特点且应用场景各异。

1.排放因子法作为应用最广泛的方法，其技术体系已相对成熟。IPCC方法聚焦CH4和N2O的直接排放，采用固定排放因子（CH4：0.25 kg/kgCOD；N2O：0.016 kgN/kgN）。中国环境保护产业协会的团标在IPCC基础上扩展了药剂间接排放因子，而中国城镇供水排水协会的指南则进一步引入全生命周期视角，更新排放因子为CH4：0.0121±0.0140 kg/kgBOD5，N2O：0.093 kg/kgTN。该方法数据需求简单（仅需进出水浓度和处理量），与电力、石化等行业的核算方法保持兼容，但其准确性受排放因子代表性质疑。

2.实测法。实测法通过直接监测获取排放数据，曝气单元采用气袋法（F=ρcQ/A）、非曝气单元采用静态箱法（F=(V/A)ρ(dc/dt)）。检测手段涵盖离线分析（气相色谱）和在线监测（如西门子Ultramat 23）。该方法虽能获取直接数据，但设备投入大（SEIFC®系统）、采样要求高（需24小时连续监测），且难以捕捉瞬时排放峰值。

3.模型法。模型法以IWA活性污泥模型（ASM）为代表，通过数学模拟量化微生物代谢产生的温室气体。需校准11个关键参数（如SI、SS、XS等），重庆大学团队开发的化学守恒模型可计算CO2/CH4，但对N2O的量化仍存在理论缺陷。模型法对数据质量和专业能力要求较高，在运行稳定时精度较好。

现有方法存在4点不足：一是据统计，现已公开的7种方法只收集了30篇国外论文的59个污水厂的数据，以及6篇国内论文，涉及北京、上海和济南的7个污水厂数据，没有江苏省污水处理行业数据样本。二是缺少本地化的化石源CO2排放因子，现有化石碳占比（13%）是参考了1座美国污水厂10年前的研究数据，不能反映我省现状。三是N2O作为氮循环中间产物，能够继续转化为N2，无法准确定量。四是污水管网没考虑通沟泥内源释放贡献。

### 存在的问题

对于污水收集系统来说，目前暂无团标、地标和国标规定污水收集系统核算方法，而《城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南》中提出的污水管渠CH4核算公式无法有效表征存在外水渗入情况下的碳排放特征，不符合省内的实际情况。

对于污水处理系统和污泥处理系统，虽然国内外已建立包括IPCC《国家温室气体清单指南》在内的7项核算标准，但这些方法存在显著局限性：首先，现有标准基于有限样本建立（59座国外和7座国内污水厂数据），缺乏江苏省典型污水处理设施的实证数据；其次，排放因子主要引自国外研究，难以准确反映本地工艺特征；第三，关键参数如化石源CO2占比（13%）依据过时的国外数据，缺乏本土化排放因子；最后，对N2O这种氮循环中间产物的量化方法仍不完善。这些不足严重制约了碳排放核算的准确性和适用性。

以上存在的问题导致污水收集和处理行业碳排放清单缺失、底数不清，碳产排规律不明，缺少针对性的减排措施，制约了我省污水处理行业的低碳转型。

### 制定本标准解决的问题

当前，江苏省污水处理规模持续扩大，处理标准不断提高，污水处理系统的碳排放问题日益突出。然而，在碳排放核算与管理方面仍存在若干关键问题亟待解决。

首先，缺乏统一的碳排放核算标准。目前，国家和行业层面尚未建立适用于污水处理系统的专门碳排放计算方法，导致不同地区、不同工艺的核算结果缺乏可比性，难以支撑精准的碳减排管理。

其次，碳排放过程复杂，核算边界不清晰。污水处理系统涉及能源消耗、生化反应（如CH₄和N₂O排放）、污泥处理等多个排放环节，现有方法对直接排放与间接排放的界定不统一，尤其是N₂O的排放因子受工艺、水质等因素影响显著，现有模型难以准确量化。

第三，现有国内外标准存在局限性。一方面，现行标准主要针对城镇污水，未充分考虑工业废水碳核算的特殊性，而江苏省工业园区集中处理比例较高，亟需补充工业废水相关核算方法；另一方面，部分排放因子直接引用国外数据，未结合本地气候、水质及工艺特点进行修正，导致核算结果偏差。此外，化石源CO₂与生物源CO₂的区分尚不明确，影响碳排放的精准核算。

基于上述问题，本标准的制定旨在建立一套科学、适用、可操作的污水处理系统碳排放核算方法，重点解决核算标准缺失、过程复杂性和现有标准局限性等问题，为江苏省污水处理行业碳减排管理提供技术支撑，助力实现国家和省级“双碳”目标。

## 任务来源

本标准由江苏省标准化协会（JSAS）提出并归口，列入江苏省标准化协会 2025年度团体标准立项（苏标协函【2025】8号），项目名称为《温室气体 企业碳足迹量化方法与要求污水处理厂》。

## 标准起草单位和主要起草人

牵头单位：江苏省环境科学研究院

参编单位信息：镇江市水业有限责任公司、南京高科环境科技有限公司。

## 主要工作过程及所做工作

本标准编制依托于江苏省环境科学研究院承担的江苏省科技厅污水处理行业减污降碳协同增效关键技术研发及综合示范项目，课题从2022年9月30日向正式立项至今，江苏省环境科学研究院通过查阅文献、专家咨询、现场实验和组织讨论的形式，对污水处理系统碳排放核算方法开展研究，并组织人员编制了标准草案，邀请相关单位及专家对碳核算方法进行了研讨和意见交换，对标准内容进行了完善，现已完成征求意见稿的编制。项目研究过程经历以下几个主要阶段：

（1）启动阶段（2022 年 9月-2024年8 月）。本阶段主要工作如下：

2022年9月-2023年3月，标准编制组开展文献资料调研，通过广泛的文献查阅和资料查询，收集并对比污水处理相关的国家标准、行业标准、地方标准，梳理现有标准的特点及尚需解决的问题，确定标准编制的技术路线。

2023年4月-2024年12月，标准编制组多次赴南京、镇江、泰州、无锡、苏州等地的污水收集、污水处理和污泥处置项目开展调研，现场检测水质、污泥特性以及碳排放强度，为推进后续编制工作提供了重要的基础数据。

（2）标准初稿编制阶段（2025 年 1 月-2025年5 月）。本阶段主要工作如下：

按照各模块分工，团体标准工作组进行标准内容的撰写形成标准草案初稿。对《温室气体 企业碳足迹量化方法与要求 污水处理厂》团体标准草案进行讨论，编制工作组邀请相关单位及专家开展研讨，会后团体标准工作组针对专家给出的意见，确定下阶段具体工作安排，制定信息收集及调研方案，进行相关信息的收集及标准内容的修订完善，并于2025年6月完成标准立项工作。

（3）标准征求意见稿编制阶段（2025 年6月-2025年7月）。本阶段主要工作如下：

针对前阶段收集到的意见建议和本阶段工作安排，进一步收集污水处理系统碳排放的信息和资料，对标准草案内容进行了进一步研讨。根据调研所收集的信息进行整合，据此修订、完善标准内容，并最终形成标准征求意见稿。

# 标准编制原则和确定标准的主要内容

## 编制原则

本标准的编制工作遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性 ”的原 则，按照GB/T 1.1《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》 给出的规则编写。

1）统一性。本标准严格遵循统一性原则，确保标准内容的整体性与连贯性。 标准内部各部分的编排遵循一致的结构逻辑，术语定义、核算边界、计算方法及数据来源等核心要素均采用标准化表述，避免歧义；同时与现行国家标准《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）、《城镇污水处理厂污泥处理处置技术规范》（DB 61/T 1571-2022）、《城镇污水处理和污泥处理处置工程碳排放计算标准》（T/CAEPI 49-2022）等保持术语和核算框架的衔接，确保不同标准间的统一性。

2）协调性。为了确保标准的协调性，本标准在制定过程中充分参考了现行相关国家标准和行业标准，尤其是与国家和江苏省高碳排行业碳核算的地方标准进行了深入对比与协调。另外，与有关部门的管理需求兼容衔接，从环境管理需求出发，充分考虑废水处理设施温室气体排放机理，在明确界定污水处理行业核算边界的基础上，规范温室气体碳排放核算方法。

3）适用性。本标准内容能够直接用于污水处理系统中温室气体排放量的计算和管理。标准的条款设计便于污水处理系统及相关管理部门进行使用。同时，标准的编写也考虑了被其他相关文件引用的可能性，确保其条款具有良好的可引用性和扩展性，支持更广泛的应用。

4）一致性。在编制过程中，本标准力求与国家的先进标准保持一致性。这些细化的参数和补充的要求，体现了本标准在提高污水处理系统碳排放核算方面的先进性和实用性。

5）规范性。本标准的编制过程严格遵循国家标准化管理规定，确保符合与 标准制定相关的基础标准、法律法规以及技术规范。

## 确定标准主要内容的依据

本标准分为5章和2个附录，主要内容如下：

**第1章：适用范围。**本标准规定了污水收集单元、污水处理单元和污泥处理处置环节的直接碳排放当量和间接碳排放当量的核算方法。本标准适用于污水处理系统碳排放当量的核算。

**第2章：规范性引用文件。**全文共计引用了22项与本标准相关的标准。

**第3章：术语和定义。**本章主要明确了适用于本标准的相关术语和定义，如温室气体、碳排放、化石源、直接碳排放当量、间接碳排放当量、污水处理系统、生活污水等。

**第4章：运行过程直接碳排放核算方法。**本章主要介绍污水处理系统碳排放核算步骤及相关核算方法。核算工作围绕污水收集、污水处理、污泥处置过程的直接排放，以及电力和热力消耗产生的间接排放展开。

（1）污水收集系统直接碳排放

污水收集系统碳排放核算方法结合了排放因子法和化学平衡法。其中，排放因子法适用于区域污水收集单元的直接碳排放核算，化学平衡法适用于单个管道、化粪池和泵站等污水收集设施的直接碳排放核算。

在污水收集系统中，有机物厌氧水解过程和沉积物中厌氧内源呼吸降解过程是CH4与CO2的主要产生途经，产生的气态温室气体直接进入大气、水体中溶解态气体通过分子扩散的形式进入大气。化学平衡法围绕厌氧呼吸发生有机物（C10H19O3N）水解与微生物（C5H7O2N）内源呼吸降解过程及反应产物CH4和CO2建立化学平衡反应方程，分别得出CH4和CO2与有机物和微生物之间的化学计量关系，最后通过TOC的削减量和微生物的降解量计算得出CH4和CO2的产生量。

有机物水解过程反应方程式：

20C10H19O3N+94H2O→4C5H7O2N+49CO2+115CH4+16HCO3-+16NH4+

内源呼吸降解过程反应方程式：

2C5H7O2N+8H2O→3CO2+5CH4+2NH4++2HCO3-

厌氧过程CO2和CH4产生量：

MCO2=0.91Q(TOCin-TOCout)×10-3+0.58M降解

MCH4=0.77Q(TOCin-TOCout)×10-3+0.35M降解

M降解=Q×HRT厌氧×MLVSS×Ko×10-3

区域污水收集单元的直接碳排放则采用排放因子法进行计算。排放因子取值基于实测数据，编制组选择具有代表性的主干管20个、干管20个、主支管20个、支管20个，化粪池和污水泵站10个进行采样；采用物质守恒和化学反应规律测算每种类别管网、不同尺寸化粪池和污水泵站直接碳排放强度；统计核算区域主干管、干管、主支管和支管长度，以及化粪池和污水泵站个数、尺寸；根据核算区域典型的污水收集单元碳排放量核算结果和统计数据，计算区域碳排放总量；通过区域碳排放总量计算和碳排放核算公式，反推区域污水收集系统碳排放因子。最后针对不同水力特点和排水分区的管道提出了不同的排放因子。

（2）污水处理系统直接碳排放

编制组采集了江苏省生活污水5个样品，以及主要工业行业废水样品，包括纺织印染行业废水4个样品、造纸行业废水3个样品、化工行业废水5个样品、电子行业废水5个样品。采用美国材料协会放射性碳分析方法ASTMD6866-12，使用加速质谱仪进行14C含量分析。经检测，生活污水化石碳占比27.9%，医药、电子、机加工、石化、印染废水化石碳分别占比44.7%、77.8%、83.2%、85.1%和75.6%。

表 4.5.2-2 化石源碳测定结果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品 | 样品类型 | Fm | 化石源碳比例 | age (y) | ∆14C (‰) |
| 1 | 5个生活污水混合样 | 0.7215 | 27.9% | 2622 | -284.9 |
| 2 | 3个医药废水混合样 | 0.5527 | 44.7% | 4764 | -452.3 |
| 3 | 5个电子废水混合样 | 0.2223 | 77.8% | 12078 | -779.6 |
| 4 | 6个机械加工废水混合样 | 0.1678 | 83.2% | 14337 | -833.7 |
| 5 | 3个石化废水混合样 | 0.1491 | 85.1% | 15014 | -855.8 |
| 6 | 4个印染废水混合样 | 0.2439 | 75.6% | 8513 | -750.1 |

污水处理过程碳排放核算方法分为排放因子法和化学平衡法两种，其中排放因子法适用于管理部门对A2/O、A/O、氧化沟和SBR工艺污水厂碳排放总量的快速估算；化学平衡法适用于在数据充足的情况下，对A2/O、A/O、SBR、氧化沟、巴颠甫等常见工艺的污水处理厂碳排放详细核算。新污水处理工艺则适用于实测法。

在污水处理过程中，温室气体的直接排放主要来源于微生物对有机物降解及氮类化合物转化，主要排放气体为二氧化碳（CO2）甲烷（CH4）和氧化亚氮（N2O）。微生物在不同氧气浓度下有不同的代谢通路，所以在化学平衡法中，考虑微生物有氧条件下分解有机物产生CO2、微生物内源呼吸分解细胞质产生CO2、反硝化过程产生CO2、有机物厌氧消化产生CH4、CO2和H2O几个化学反应过程，并围绕反应物和产物建立化学反应方程式，得出温室气体与有机物和微生物的化学计量学关系，对直接碳排放量进行计算。

CH4和CO2的排放因子通过碳排放量和COD及TN的削减量确定。编制组对南京、无锡、镇江、苏州、泰州、徐州和连云港等地87个污水处理厂进行采样，覆盖A2/O、A/O、氧化沟和SBR等主流工艺类型。基于采样数据采用化学平衡法计算直接碳排放量，并结合箱体图确定了不同工艺排放因子的取值范围，进而求平均值，确定最终排放因子取值。

N2O排放因子通过实测法确定。编制组选取运行良好污水处理厂，对常见生化工艺（A2/O、A/O）不同构筑物进行活性污泥采样，记录不同构筑物采样位点的水质条件和环境水平；对样品进行宏基因组检测，依照KEGG数据库筛选N2O产生和转化的关键酶对应的功能基因，并进行丰度标记；对比N2O硝化过程和反硝化过程三条产生路径相关功能基因的丰度，结合构筑物进出水水质数据和运行条件，得出进出水TN削减与N2O产生和转化的关系。

（3）污泥处理处置直接碳排放

污泥是污水处理的主要副产物之一，富含有机物和营养元素，在后续处理处置过程中会产生温室气体。编制组首先研究了污泥处理处置相关政策要求并对江苏省内污泥处理处置工艺进行了调研，目前江苏省内污泥处理处置方法主要有厌氧消化、好氧堆肥、焚烧、建材利用和土地利用五种，并对不同污泥处理处置装置进行了现场监测和实验，确定了产生的温室气体种类、有机物转化率等。

污泥厌氧消化是指在无氧条件下，污泥中可生物降解的有机物在兼性菌和厌氧细菌的作用下分解为CH4、CO2、H2O和H2S的过程。实际调研中发现，通过控制反应温度和pH值可以使厌氧消化反应器内进行稳定产气。厌氧消化产生的沼气收集在气包中，气体泄漏率小于0.1%，污泥厌氧消化过程视为有机物理想厌氧分解，生成气体完全收集。

厌氧消化反应原理构建化学方程式为：

C5H7O2N+3H2O→2.5CO2+2.5CH4+NH3

CH4用于资源回收利用时不计算在碳排放量当中，但由于污泥中部分有机物为化石源有机物经微生物摄取而来，其消化后产生的沼气为化石源。因此该部分化石源CH4燃烧后产生的化石源CO2需要计入计算。当厌氧消化产甲烷用于资源回收利用时，相应产生的化石源二氧化碳核算为：

CH4+O2→CO2+H2O

由于在厌氧消化反应中，污泥有机质不能完全发生转化，需要引入污泥厌氧消化有机物转化率（μre）以表征厌氧消化过程中污泥有机质的转化效率。编制组对污泥厌氧发酵产甲烷、不同质量比污泥与城市有机废弃物共消化产甲烷的效能以及水热预处理不同含固率污泥后产甲烷效能进行了实验室试验。试验结果表明，单独污泥厌氧消化甲烷产量为99.7-131.2 mL/g VSS。餐厨垃圾的添加使得甲烷产量有明显的提高，甲烷增长约40.08-76.52%，污泥中有机质最大转化率约为30%。即污泥与有机废弃物共消化时，有机质转化率可提升至30%，若要显著提高有机质去除率须经水热预处理，有机质去除率可提升至40%-50%。本方法以不经水热预处理实验中污泥有机质转化率为核算依据，有机质的去除率μre推荐值取30%。

好氧发酵是在有氧条件下，利用好氧微生物将污泥中有机物进行氧化、分解，转化为腐殖质的过程，其中有机物料代谢为CO2、水和热，部分在局部厌氧条件下不完全分解产生CH4。在好氧堆肥的升温阶段、降温阶段和腐熟阶段也会产生部分N2O。

依据厌好氧堆肥原理及现场监测结果，好氧堆肥工艺CH4和N2O忽略不计，只核算CO2释放量，核算依据的化学反应方程式为：

C5H7O2N+O2→5CO2+3.5H2O+NH3

污泥焚烧是指在焚烧炉内利用高温将污泥中的可燃物质充分燃烧，最后生成水蒸气、CO2等无害物质并产生固体残渣的过程。掺烧污泥的焚烧装置的监测结果显示CH4、N2O的二氧化碳当量贡献率很低，仅有0.38%和0.03%，可以忽略不计。

污泥焚烧核算依据的化学反应方程式为：

C5H7O2N+O2→5CO2+3.5H2O+0.5N2

污泥建材利用是指将污泥作为制作建筑材料的部分原料的处置方式，污泥建材利用包括污泥制水泥、污泥制砖、制陶粒等。建材利用过程的反应条件为高温条件下燃烧，参照污泥焚烧过程的烟气成分，污泥建材利用只核算CO2气体，核算依据的化学反应方程式为：

C5H7O2N+O2→5CO2+3.5H2O+0.5N2

土地利用是城镇生活污水处理厂产生的污泥经厌氧消化或好氧发酵处理后，作为肥料或土壤改良剂，用于国土绿化、园林建设、废弃矿场以及非农用的盐碱地和沙化地。用于肥料或土壤改良剂的污泥仅限于生活污水单独处理的污泥，对于含有毒有害水污染物的工业废水和生活污水混合处理的污水处理厂产生的污泥不用于农业生产。

江苏省污泥土地利用以园林绿化为主，污泥用于园林绿化时通常以作顶肥的形式施用与植物根茎附近，有机碳具有水溶性高、见效快和易吸收等优点，对作物的生长具有显著地促进作用。污泥中有机物部分经微生物腐解为小分子后被植物吸收，其余在好氧条件下发生自然分解。依据污泥土地利用过程的反应原理和利用方式限制，污泥用于园林绿化时核算CO2气体，核算依据的化学反应方程式为：

C5H7O2N+O2→5CO2+3.5H2O+NH3

由于在土地利用过程中，污泥有机质转移路径不唯一，所以需要引入污泥土地利用有机质吸收率（μab）这一参数。

污泥进行土地利用时污泥有机质主要有土地吸收和分解两条消解路径，由于污泥土地利用尚缺少可靠的监测研究，为确定上述两部分在实际反应中的比例，参考了以玉米秸秆等物质制成的有机肥料为对象的相关研究，同时根据《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》（GB/T 23486-2009）《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》（GB/T 24600-2009）中污泥各环节有机质控制标准确定本标准中污泥土地利用有机质吸收率。

利用污泥、玉米秆等材料制成的有机肥用于土地改良时可以增强土壤中酶活性、改变土壤微生物细菌群落结构、提高氮素利用率、改变土壤的有机质组成，有利于土壤有机质的积累。调研以不同材料制成的有机肥在相同条件施用时的有机质吸收效率。其中，棉浆粕有机质收率为46.33±0.77%，玉米秆有机质收率为31.56±0.32%，甘蔗渣有机质收率为30.14±0.28%（参考刘朝霞《基于能源和肥料化利用的秸秆生物炭制备工艺与特性研究》）。污泥制有机肥（混掺秸秆）有机质吸收率取参考上述有机质吸收率取30%。

**第5章：间接碳排放。**本章主要介绍污水收集单元、污水处理单元和污泥处理处置单元在运行过程中产生间接碳排放的计算方法。间接碳排放核算包含电力消耗和化学药剂消耗。其中电耗碳排放核算方法采用排放因子法，电耗排放因子参考生态环境部、国家统计局、国家能源局三部委联合会发布的全国电力碳足迹因子。药剂排放因子选取参考T/CAEPI 49－2022《污水处理厂低碳运行评价技术规范》。

**第5章：建设拆除过程碳排放。**本章主要介绍污水处理系统建设拆除过程碳排放。核算工作围绕污水处理系统建设过程中化石燃料、电力消耗、材料消耗和运输过程中的间接碳排放和污水处理系统拆除过程中化石燃料燃烧、电力消耗、运输过程的间接碳排放以及材料回收碳补偿展开。燃料燃烧、电力消耗和热力消耗的核算方法及排放因子，与GB 32151系列国家标准保持一致。

**附录A，B，C。**附录A介绍碳排放检测计量方法，包含A.1曝气处理单元碳排放检测计量方法和A.2非曝气处理单元碳排放检测计量方法；附录B介绍间接碳排放计算所需的排放因子，包含B.1化石燃料排放因子，B.2中国地区电力排放因子，B.3常见建筑材料排放因子，B.4各类运输方式排放因子。附录C介绍用于污水处理单元直接碳排放计算的化学平衡法。

# 主要试验（或验证）的分析、综述报告

## 主要试验（验证）的分析、综述报告

本标准总结了江苏省省内污水收集和处理系统温室气体排放的相关研究结果，并对省内污水收集和处理系统进行了长期、系统化的调研和研讨，征求行业意见后完成的。本标准在确定内容之前开展以下工作：

1）收集、分析了污水收集和处理系统温室气体排放与核算相关的国内外标准、文献和统计资料。

2）开展省内调研采样，通过研究污水收集和处理系统主要生产单元、主要生产设备、原辅料、主要工艺过程、温室气体产生种类、温室气体排放来源识别、排放因子数据等内容，确定污水收集和处理系统的碳核算方法。

3）组织专家针对主要技术问题多次召开线上线下的研讨会，对标准中的核心问题广泛吸纳了相关单位的专业意见和建议。

4）确定碳核算方法后，分别对污水排放系统和污水处理系统开展试算，其中污水处理系统选取南京市高科水务作为连续在线监测污水厂研究样本。污水收集系统和污水处理系统的试算结果表明，本标准确定的核算方法计算出的碳排放量与实测碳排放量之间的误差均在20%以内，能准确反应江苏省污水收集和处理行业的碳排放情况，且各主要参数均合理有效、切实可行。

试算结果表明，采用本标准核算方法计算的污水收集系统碳排放量与实测碳排放量相比，两者之间的差距呈随时间增大而减小的趋势，两者之间的差距总体在20%以内。

图4.5.1-8 研究管段实测与核算碳排放量对比图

污水处理系统试算比较了以长时间污水处理厂碳排放现场检测浓度、本标准构建的核算方法与IPCC排放因子法。经过连续30天碳排放量在线监测，本研究构建的方法核算结果与碳排放现场检测差异＜20%；对比IPCC方法计算结果与碳排放现场检测，瞬时差异＜15%，但采样30天后，差异扩大至50%~70%。

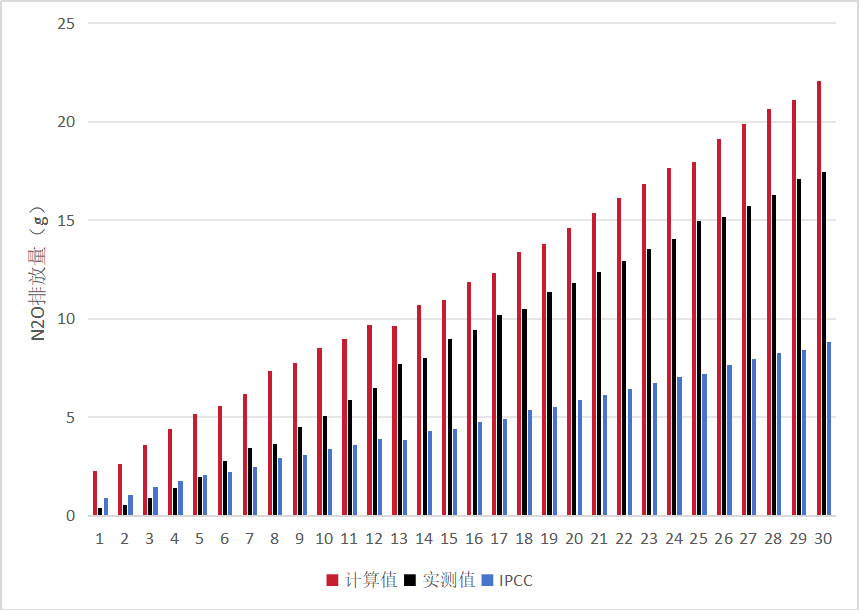
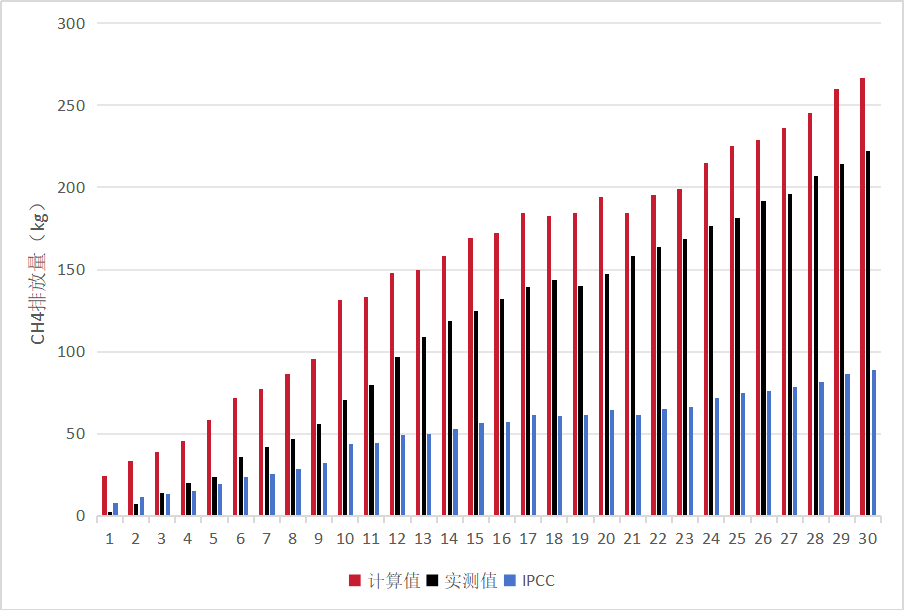


图 4.5.2-2 污水处理厂CH4（左）和N2O（左）计算值与实测值对比

## 技术经济论证

无

## 预期的经济效果

无

# 标准中涉及专利的情况（专利和软著）

无。

# 采用国际标准和国外先进标准的程度

本标准为自主制定，未采用国际标准。

# 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与IPCC编制的《国家温室气体清单指南》相比，相同点是均用到了排放因子法，不同点是本标准核算边界更加完整，排放因子更加本地化。

《城镇污水处理厂污染物去除协同控制温室气体核算技术指南》完全参考IPCC编制的《国家温室气体清单指南》，本标准与其相比，相同点也是均用到了排放因子法，不同点也是本标准核算边界更加完整，排放因子更加本地化。

本标准与中国城镇供水排水协会编制的《城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南》相比，相同点是均用到了排放因子法且核算边界均是从污水收集系统开始到污水厂全流程进行核算，不同点是本标准排放因子更加本地化，且提出化学平衡法用于核算不同情景。

本标准与中国建筑节能协会编制的《城镇污水处理和污泥处理处置工程碳排放计算标准》相比，相同点是均用到了排放因子法，不同点是本标准排放因子更加本地化，核算边界除污水处理厂和污泥处理处置外，还包含了污水收集系统。

本标准与中国城镇供水排水协会编制的《城镇污水处理厂碳减排评估标准》相比，相同点是均用到了排放因子法，不同点是本标准重点在于污水处理厂不同工艺的碳排放核算，而《城镇污水处理厂碳减排评估标准》重点在于减排措施减碳量评估。

本标准与中国环境保护产业协会编制的《污水处理厂低碳运行评价技术规范》相比，相同点是均用到了排放因子法，不同点是在于本标准排放因子更加本地化，核算边界除污水处理厂和污泥处理处置外，还包含了污水收集系统。

本标准与兰州大学编制的《温室气体排放核算方法与报告指南 第1部分 污水处理厂》相比，相同点是均用到了排放因子法，不同点是在于本标准排放因子更加本地化，核算边界除污水处理厂外，还包含了污水收集系统和污泥处理处置。

本标准与上海城投、上海环科院编制的《上海城镇污水处理厂温室气体排放核算指南》相比，相同点是均用到了排放因子法，不同点是在于提出化学平衡法用于核算不同情景，制定了本地化的排放因子，完善了碳排放核算边界。

本标准与上海环科院编制的《工业污水处理设施温室气体排放核算技术标准》相比，相同点是均用到了排放因子法，不同点是在于本标准不仅适用于工业污水，还适用于生活污水，且提出化学平衡法用于核算不同情景，核算边界除污水处理厂外，还包含了污水收集系统和污泥处理处置。

引用标准列表：

GB 4282-2018 农用污泥污染物控制标准 引用了本标准中污泥农用的相关名词。

GB/T 8984-2008 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 气相色谱法引用了本标准中二氧化碳的测量方法。

GB 23486-2009 城镇污水处理厂 园林绿化用泥质 引用了本标准中污泥用于园林绿化的相关名词和参数。

GB 24600-2009 城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质 引用了本标准中污泥土地利用的相关名词和参数。

GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则 引用了本标准中温室气体、工业废水的相关名词。

GB 50014-2021 室外排水设计标准 引用了本标准中污水收集系统的相关名词。

GB 50015-2019 建筑给水排水设计标准 引用了本标准中居民生活污水定额的参数。

CJJ 68-2016 城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程 引用了本标准中管道分级分类的方法

CJ/T 307-2009 城镇排水设施气体的检测方法 引用了本标准中温室气体的检测方法。

HJ 38-2017 固定污染源废气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 气相色谱法 引用了本标准中甲烷的检测方法。

HJ 493-2009 水质 样品的保存和管理技术规定 引用了本标准中水样的保存管理。

HJ 494-2009 水质采样技术指导 引用了本标准中水样的采样方法。

HJ 495-2009 水质 采样方案设计技术指导 引用了本标准中采样点位选取原则。

HJ/T 199-2023 水质 总氮的测定 气相分子吸收光谱法 引用了本标准中总氮的测量方法。

HJ/T 399-2007 水质 化学需氧量的测定 快速消解分光光度法 引用了本标准中化学需氧量的测量方法。

DB 61/T 1571-2022 城镇污水处理厂污泥处理处置技术规范 引用了本标准中污泥处理处置的相关名词。

T/CABEE 040-2022 城镇污水处理和污泥处理处置工程碳排放计算标准 引用了本标准中碳排放强度等相关名词。

T/CAEPI 49-2022 污水处理厂低碳运行评价技术规范 引用了本标准中直接碳排放当量等相关名词。

T/CUWA 50051-2022 城镇排水系统通沟污泥处理处置技术规程 引用了本标准中通沟污泥清掏频次等参数。

T/LCAA 0007-2020 气体中甲烷、氧化亚氮和二氧化碳浓度测定——气相色谱法引用了本标准中甲烷、氧化亚氮和二氧化碳的测量方法。

HJ-BAT-002 城镇污水处理厂污泥处理处置污染防治最佳可行技术指南（试行）引用了本标准中污泥处理处置方式及技术参数。

IPCC 2006年国家温室气体清单标准（2019修订版）引用了本标准中排放因子等相关名词。

# 重大分歧意见的处理经过和依据

标准编制过程中无重大分歧意见。

# 作为推荐性标准的建议

本标准不涉及保障人体健康，人身、财产安全等强制性条款和内容，建议作为推荐性团体标准发布并实施。

# 贯彻团体标准的要求和措施建议

建议本标准在批准发布 3 个月后实施。

本标准发布后，应向江苏省标准经协会会员单位进行宣传、贯彻，向行业相关企业推荐执行本标准。

# 废止现行有关标准的建议

不涉及。

# 其他应予说明的事项

无。