

城镇污水处理厂碳减排评估标准 (征求意见稿)

哈尔滨工业大学
龙江环保集团股份有限公司

二〇二三年 四月

目录

- 1 总则.....1
- 2 规范性引用文件.....1
- 3 术语与符号说明.....1
- 4 评估流程与报告.....3
 - 4.1 已建成投运污水厂碳减排评估3
 - 4.1.1 一般规定.....4
 - 4.1.2 资料收集与核查.....5
 - 4.1.3 碳排放数据核算.....6
 - 4.1.4 碳减排评估报告.....7
 - 4.2 新建或改扩建污水厂低碳设计评估.....8
 - 4.2.1 一般规定.....8
 - 4.2.2 资料收集与核查.....9
 - 4.2.3 碳排放数据估算.....9
 - 4.2.4 低碳设计评估报告.....9
- 5 污水厂运维过程碳净排放量核算.....10
 - 5.1 污水处理生化反应碳排放量.....10
 - 5.1.1 甲烷排放.....10
 - 5.1.2 氧化亚氮排放.....10
 - 5.1.3 化石源与外加碳源矿化的碳排放.....11
 - 5.1.4 污水处理生化反应碳排放量.....12
 - 5.2 污水处理材料和能源消耗碳排放量.....12
 - 5.2.1 固定式燃料燃烧碳排放.....12
 - 5.2.2 电能消耗碳排放.....13
 - 5.2.3 药剂消耗碳排放.....13
 - 5.2.4 膜组件更新碳排放.....13

5.2.5 污水处理材料和能源消耗碳排放量.....	14
5.3 污泥处理生化反应碳排放量.....	14
5.3.1 污泥厌氧消化碳排放.....	14
5.3.2 污泥好氧发酵碳排放.....	15
5.3.3 污泥焚烧碳排放.....	16
5.3.4 污泥热解碳化或气碳排放.....	17
5.3.5 污泥处理生化反应碳排放量.....	17
5.4 污泥处理材料和能源消耗碳排放量.....	17
5.4.1 污泥处理过程燃料消耗碳排放.....	17
5.4.2 污泥处理过程电力消耗碳排放.....	18
5.4.3 污泥处理过程药剂消耗碳排放.....	18
5.4.4 污泥处理能源药剂消耗碳排放量.....	18
5.5 通风除臭设施的碳排放量.....	18
5.6 污水厂替碳量.....	19
5.6.1 热泵技术.....	19
5.6.2 光伏发电.....	19
5.6.3 再生水回用.....	20
5.6.4 污泥生物质能源利用.....	20
5.6.5 污泥产物资源化利用.....	21
5.6.6 污水厂替碳量.....	23
5.7 污水厂运维过程净碳排放量.....	23
6 已建成投运污水厂碳减排评估指标计算.....	24
6.1 污水厂运维过程碳排放强度.....	24
6.1.1 运维过程碳排放强度.....	24
6.1.2 污染物削减碳排放强度.....	24
6.2 污水厂碳减排量与强度减排.....	25
6.2.1 污水厂碳减排量.....	25
6.2.2 污水厂碳排放强度减排.....	25

6.3 污水厂碳减排目标差.....	26
6.4 污水厂节点碳排放贡献度.....	26
7 污水厂全生命周期碳排放量核算.....	27
7.1 建设和拆除阶段的碳排放量.....	27
7.2 污泥处置碳排放量.....	27
7.2.1 污泥卫生填埋生化反应碳排放.....	28
7.2.2 污泥土地利用生化反应碳排放.....	29
7.2.3 污泥处置阶段能源消耗碳排放.....	29
7.2.4 污泥处置碳排放量.....	30
7.3 污水排入受纳水体的延伸碳排放量.....	30
7.4 污水厂全生命周期碳排放.....	31
8 新建或改扩建污水厂低碳设计评估.....	31
8.1 污水厂设计碳排放强度.....	31
8.1.1 全生命周期碳排放强度.....	31
8.1.2 全生命周期污染物削减碳排放强度.....	32
8.2 设计污水厂全生命周期碳减排目标差.....	32
8.3 污水厂全生命周期节点碳排放贡献度.....	33
附录 A.....	1
附录 B.....	1
附表 C 污水厂碳排放核算资料收集.....	1

前 言

为响应国家“双碳”战略，规范并指导污水处理厂的碳减排（即温室气体减排）评估和低碳设计评估，特制定本标准。

本标准规定了已建成污水厂的碳减排评估和新建污水厂低碳设计评估流程、碳排放和减排的术语和定义、碳核算边界和方法、数据获取和评估报告编写内容。

本标准首次发布。

本标准由中国城镇供排水协会组织制订并负责管理，由哈尔滨工业大学和龙江环保集团负责解释。实施过程中如有修改或补充的建议，将相关资料寄送至中国城镇供水排水协会（北京市海淀区北洼路 48 号院，邮政编码：100048）。

本标准主编单位：哈尔滨工业大学，龙江环保集团股份有限公司。

参编单位：红杉天枰科技集团有限公司、同济大学、北京工业大学、中国市政工程东北设计研究总院有限公司、北控水务（中国）投资有限公司、北京城市排水集团有限责任公司、深圳市环境水务集团有限公司、中广核环保产业有限公司、广州市市政工程设计研究总院有限公司、北京建筑大学、成都市兴蓉环境股份有限公司、中国市政工程中南设计研究总院有限公司、中建环能科技股份有限公司、上海复洁环保科技股份有限公司。

编写主要起草人：任南琪、王秀衡、朴庸健、张福贵、阿里亚·阿不力米提、李哲、朴依彤、戴晓虎、杨东海、李军、高旭、刘伟岩、唐晓雪、蒋勇、张金松、汤盛达、安瑞、王广华、郝晓地、赵健、李树苑，张俊、张鹤清、卢宇飞。

标准主要审稿人：李艺、施汉昌、刘俊新、孙德智。

1 总则

本标准规定了已建成污水厂的碳减排（即温室气体减排）的评估和新建污水厂低碳设计评估流程、碳排放和减排的术语和定义、碳核算边界和方法、数据获取和评估报告编写内容。

本标准适用于已建成的城镇污水处理厂的碳排放量化报告编写、碳减排节点分析和问题识别、碳减排方案编制和污水厂碳中和方案可行性分析。

本标准适用于新建和改扩建的城镇污水处理厂在设计阶段进行全生命周期碳排放量的估算和制定低碳工艺路径。

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本文件；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 18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 2589 综合能耗计算通则

GB 55015-2021 建筑节能与可再生能源利用通用规范

GB/T 51366-2019 建筑碳排放计算标准

IPCC 2006 年国家温室气体清单标准（2019 修订版）

ISO 14064-1: 2018 温室气体——第一部分：企业层面上温室气体排放和去除量化报告标准

ISO 14064-3: 2019 温室气体——第三部分：温室气体声明核查与审定的规范及指南

3 术语与符号说明

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 城镇污水处理厂 municipal wastewater treatment plant, WWTP

指对进入城镇污水收集系统的污水进行净化处理的工厂。按照国民经济行业

分类划分属于工业行业且《国民经济行业分类》(GB/T 4754-2017)行业代码为4620的企业。后文简称为污水厂。

3.2 碳排放量 carbon emissions, CE

本标准所定义的碳排放量是指温室气体排放,通过全球变暖潜能值折算的碳排放当量(CO₂-eq)。温室气体种类包括氧化亚氮(N₂O)、甲烷(CH₄)和二氧化碳(CO₂)。

3.3 生化反应碳排放量 CE from biochemical processes

污水处理、污泥处理和处置过程中生物化学反应产生并释放的 N₂O 和 CH₄ 对应的碳排放量,与污水和污泥中非生源性碳和外加碳源在生物化学反应中矿化释放的 CO₂ 量之和。

3.4 材料和能源消耗碳排放量 CE from resource and energy consumption

污水处理、污泥处理和处置过程中消耗的化石燃料和外购的电力、热力、药剂和材料生产(包含运输)对应的碳排放量。

3.5 污水厂运维过程净碳排放量 net CE during the operation process of WWTP

污水厂运维过程中在厂界内发生的生化反应碳排放量与材料、药剂和能源消耗产生的碳排放量之和,与厂界外应用的替碳量和厂界内的碳汇量之差。碳排放量的核算周期为一年度。

3.6 污水厂碳减排量 CE reductions of WWTP

已建成投运污水厂在评估年度(实行碳减排措施后的第 n 年)与基准年度(实行碳减排措施前一年)的运维过程净碳排放量之差。碳减排包含减碳、替碳和碳汇三个范畴。

3.6.1 减碳量 carbon reductions

指通过加强精细化管理、优化运行和技术改造以减少生化过程的碳排放,控制药剂和能源投入减少的碳排放量。

【条文说明】3.6.1

污水厂应确保实现污染物和温室气体的协同减排,在达到规定污染物排放或资源、能源回用标准的前提下的减碳量方可计入。

3.6.2 替碳量 energy alternatives

指通过清洁能源替代、资源和能源回收获得的副产品形成的负碳量;替碳的应用范围包含对污水厂的资源和能源加以利用的厂界外场景。

3.6.3 碳汇量 carbon sink

指通过厂界内的生态系统吸收固定的二氧化碳量。

3.7 污水厂全生命周期碳排放量 life-cycle CE from WWTP

新建或改扩建污水厂在建设和拆除过程、预期寿命周期内运维过程净碳排放量与延伸边界碳排放量之和。

3.7.1 建设与拆除过程碳排放量 CE during the construction and demolition stages

污水厂施工建设和拆除过程中器械工作消耗的化石燃料和电力产生的碳排放量和消耗的建筑材料生产和运输产生的碳排放量之和。

3.7.2 延伸边界碳排放量 CE under extended boundary

污水排入受纳水体后和发生在厂区外污泥处理、处置过程生化反应产生并释放的碳排放当量，与污泥运输、处理和处置过程中消耗的外购能源、药剂和材料（包含运输）对应的碳排放量之和。

3.8 碳排放强度 carbon emission intensity, CEI

污水厂处理单位污水量或单位污染物量对应的净碳排放量。

3.8.1 运维过程碳排放强度 CEI during the operation process

污水厂单位污水处理量对应的运维过程净碳排放量。

3.8.2 运维过程污染物削减碳排放强度 CEI per unit pollutant removal

污水厂去除单位耗氧污染物量对应的运维过程净碳排放量。

3.8.3 全生命周期碳排放强度 life-cycle CEI

单位污水处理量对应的污水厂全生命周期碳排放量。

3.8.4 全生命周期污染物削减碳排放强度 life-cycle CEI per unit pollutant removal

污水厂去除单位耗氧污染物量对应的全生命周期碳排放量。

4 评估流程与报告

4.1 已建成投运污水厂碳减排评估

建议已完成环保验收、连续运行满一年且污染物排放达到国家和地方标准规定的新建、改扩建污水处理厂进行碳减排评估。

通过污水厂实行碳减排措施后的第 n 年（评估年度）相对于实行碳减排措施前一年（基准年度）的运维过程净碳排放量与碳排放强度的核算与对比，完成评

估年度和基准年度碳排放量化报告编写、碳排放贡献度分析、碳减排节点分析、深度碳减排问题识别和进一步改进方案，并可选择性地提供污水厂碳中和运行管理或改造方案。

4.1.1 一般规定

遵循属地管理原则，已建成投运污水厂碳减排评估的核算空间边界设置为企业法人或独立核算的当地污水厂、污泥处理厂或集团式污水污泥处理厂的厂界，在时间边界上只核算城镇污水厂在运维阶段的碳排放，详见 4.1.3。术语 3.5 所述的运行和维护过程均包含污水处理过程和厂界内的污泥处理过程。以一年为一个评估周期内（通常为每年 1 月 1 日至 12 月 31 日）。

污水厂运维过程碳减排评估包括资料收集与核查、碳排放量数据核算（含编写碳排放量化报告）、评估报告（含碳排放量化结果分析报告和评估结论）三个步骤，具体流程如图 1 所示：

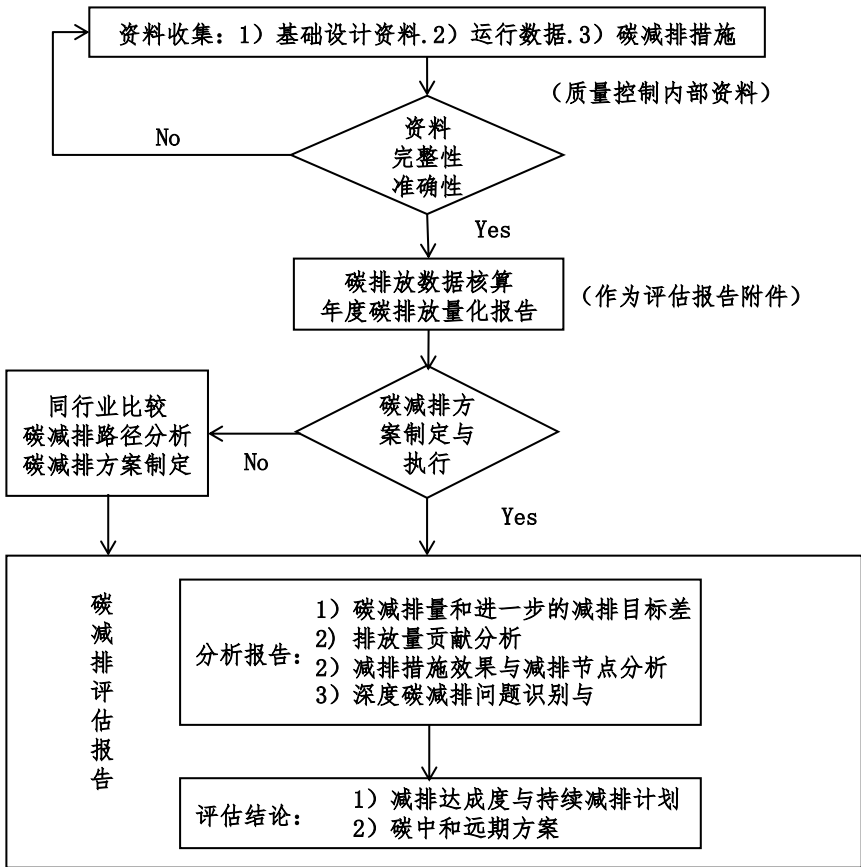


图 1 已建成投运污水厂碳减排评估流程

【条文说明】4.1.1

已建成投运污水厂碳减排评估参考《ISO 14064-1: 2018 温室气体——第一部：企业层面上温室气体排放和去除量化报告标准》建立系统边界、设定取舍原则，但是对企业温室气体排放的核算分类根据污水处理行业减排需求进行了调整。

该标准提出了“显著的间接排放”概念，即组织设定准则时考虑排放的数量级、源/汇的影响程度、数据信息的可获得性、风险或机遇等适度取舍，将显著的排放纳入清单中。建设阶段和拆除阶段在污水全生命周期的碳排放中占比约为 5%，且不同建设类型的污水厂在单位污水处理量的碳排放强度相差不大。此外，考虑建设和拆除阶段的碳排放对已建成投运污水厂碳减排工作实施意义不大，因此在已建成投运污水厂碳减排评估的时间边界上只考虑了城镇污水厂在运行和维护阶段的碳排放。

该标准对企业温室气体排放的分类。类型一为归属或受控于核算主体自身活动导致的温室气体排放和碳汇，类型二为核算主体由于购买电力和热力导致的温室气体排放，类型三为运输导致的温室气体排放，类型四为物料投入导致的温室气体排放，类型五为资产和副产品处置。该直接排放和间接排放分类主要是为了进行地区级的温室气体排放核算统计时不出现重复计算而设置，对于污水厂的减排方案设计会增加工作复杂度，不便于碳排放溯源和比对。尤其是污泥处理中涉及的能源非常复杂，有本地燃烧的燃气和煤、油，也有外购的电能和热能，在能源替代的过程中也存在替代煤和燃气，或者替代热力等，可能导致核减时的漏算或多算。

为了更好的体现污水处理过程的碳排放节点和贡献源，从系统的角度控制污水行业碳排放，制定相应的减排方案，本标准在核算时对上述分类进行了适当调整。主要如果归为六类，1) 归属污水或污泥处理生化反应的碳排放；2) 燃料燃烧的碳排放（包含运输）；3) 购买电力和热力导致的碳排放；4) 物料投入导致的碳排放（包含运输）；5) 资产和副产品处置导致的碳排放（包含 1-4 的子分类的碳排放或替碳）；6) 碳汇。

4.1.2 资料收集与核查

污水处理厂按附表 C 提供设计和建设数据、基准年度和评估年度的运维数据，污水厂的活动数据包括处理量和进出水污染物浓度等采用在线仪表连续实测或基于污水厂统计报表获得，部分可以使用替代数据或其他估算、经验数据。

污水厂提供的数据、资料应真实、可靠、完整并有源文件可查。评估服务方应对数据的真实性、准确性和完整性方面进行核查，审核数据材料中具有关联的指标间的衔接是否符合逻辑。

本标准兼顾减轻数据采集工作量和核算准确度，污水厂的活动水平数据按照日均值或月均值采集均可。温室气体的排放量采用活动数据排放因子法和实测法结合的方法获得，鼓励有条件的污水厂采用实测法或结合数学模型法获得本厂的排放因子。

【条文说明】4.1.2

在同一报告期内，不同来源数据之间的差别应控制在 5%以内，如：原料消耗量数据，可以用采购发票和原料领用单的数据进行核验；电力消耗量数据，用核对电表进行核验；污水处理量和进出水污染物浓度通过在线仪表连续实测或中控数据核实。若数据质量存疑，需返回核查数据监测、记录过程，重新收集和报告数据。

4.1.3 碳排放数据核算

完成资料收集与核查后，进行污水厂的运维过程碳排放量与碳排放强度的核算，填写年度碳排放量化报告。碳排放核算的边界与核算的分项内容如图 2 中蓝色实线框线所包含的内容。

本标准将污水处理和污泥处理分段核算碳排放。包含污泥处理的污水厂，以污泥重力浓缩阶段（即无药剂和电力投入前，96%-99%含水率）为分界线，划分污水处理和污泥处理。

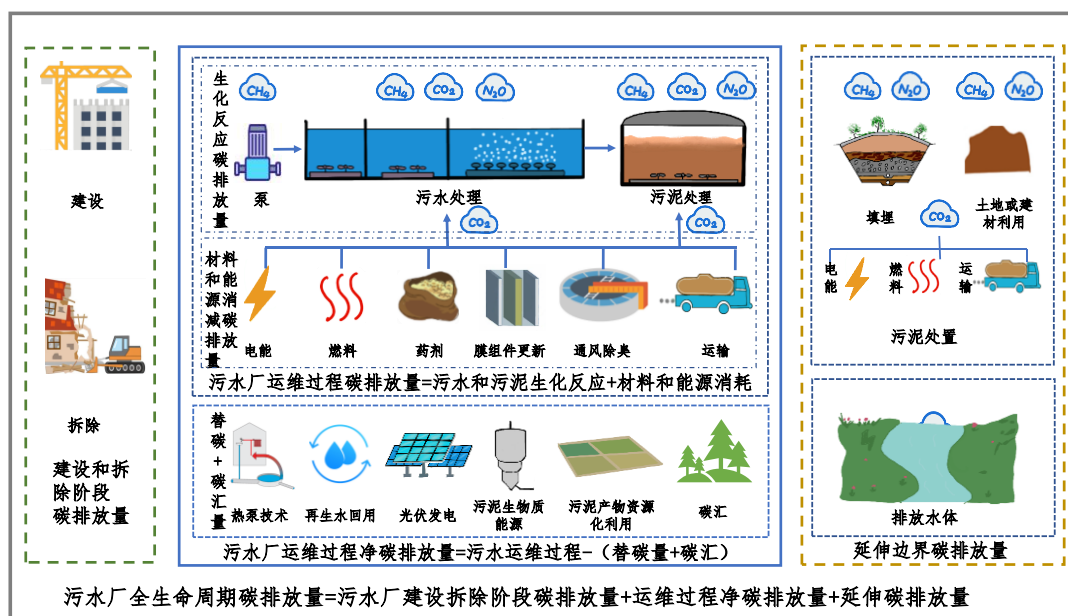


图 2 污水厂碳排放核算边界与分项框架图

4.1.3.1 未实施碳减排措施的污水厂碳排放数据核算

依据本标准第 5 章分项核算污水厂基准年度运行和维护过程中的生化反应碳排放量（对应于术语定义 3.3）、材料和能源消耗碳排放量（对应于术语定义 3.4）、污水厂运维过程净碳排放量（对应于术语定义 3.5）。依据本标准 6.1 节计算运维过程碳排放强度（对应于术语定义 3.8.1）和污染物削减量碳排放强度（对应于术语定义 3.8.2）。

4.1.3.2 已实施碳减排措施的污水厂碳排放数据核算

先完成 4.1.3.1 的基准年度核算工作，再核算实施碳减排措施后的评估年度的 4.1.3.1 所述指标和污水厂运维过程碳减排量（对应于术语定义 3.6）。

【条文说明】4.1.3

在同一报告期内，该量化报告用于污水厂年度碳排放总量报告和碳交易量核定时，则按照《温室气体 第 3 部分：温室气体声明核查与审定的规范及指南》（ISO14064-3: 2019）进行核查和审定。

4.1.4 碳减排评估报告

4.1.4.1 未实施碳减排措施的污水厂碳减排方案制定

依据本标准 6.3 节，计算本污水厂碳减排目标差。参考表 1 中的污水厂运维阶段碳减排路径，结合本厂实际情况选择可行的措施，通过对多种措施的预计减排量进行估算和比选，制定碳减排实施方案。

表 1 污水厂运维过程碳减排路径

路径	分类	措施
减碳	节电	● 基于溶解氧或氨氮控制的精准曝气 ● 泵组、搅拌设备和风机等用电设备的效率评估与改造 ● 优化通风设施
	材料和药剂节约	● 药剂优选与基于前馈/反馈控制模式的投加控制 ● 食品类为代表的无毒害高浓度工业废水（或废物）替代外加碳源
	生化系统调控与微改造	● 优化和调节回流比、SRT ● 设置缺氧区等微改造 ● 提高脱氮效率至 85%以上
替碳	能源化、资源化	● 沼气回收和利用 ● 堆肥产品、营养盐利用 ● 再生水利用
	清洁能源利用	● 厂区光伏发电 ● 利用其他清洁能源
碳汇	生态系统固碳	● 生态综合体、植被等

4.1.4.2 已实施碳减排措施的污水厂碳减排效果评估

统计 4.1.3.2 获得的数据，并计算第 5 章中的各分项排放量，依据本标准 6.2 节和 6.3 节，计算本污水厂碳减排量和待评估污水厂相对于行业同类平均水平的碳排放强度差。

完成包括以下内容的分析但不限于以下：1) 基于处理阶段、用电设备、药剂和温室气体分类的碳排放贡献度分析；2) 分项措施的碳减排效果和碳减排节点分析；3) 参考本标准 6.3 节，识别其减排需求处于基础碳减排或深度碳减排阶段；4) 结合本厂情况进行深度碳减排问题识别，规划后续减排工作（优化运行管理或工艺改造），并可选择性地制定远期污水厂碳中和方案。

【条文说明】4.1.4

污水厂碳减排包括基础碳减排和深度碳减排。基础碳减排是指碳排放强度高于行业同类平均水平的污水厂待完成的减排任务，建议行业协会督促所有污水厂在规定年限内完成基础减排，以期全面提高行业运维水平。深度碳减排是指碳排放强度低于行业同类平均水平的污水厂运维过程碳减排，用于行业协会筛选和树立标杆污水厂，以推广其运营管理经验。

当污水厂进水污染物浓度和设计值差别较大，超高(COD>1000 mg/L)或超低(COD<250 mg/L)时，或碳氮比偏低(COD/TKN<5)，制定碳减排方案时，应首先考虑提质增效改造，削减污染物削减量碳排放强度。

本标准所采用的 N_2O 的排放因子略高于已有数据统计的我国污水厂的实际值，尤其当脱氮效率大于 65% 时。因此，进行碳减排评估时，可以采用模型模拟法获得本污水厂实际的 N_2O 的排放因子。

4.2 新建或改扩建污水厂低碳设计评估

为促进污水处理行业的系统化减污协同降碳，新建或改扩建污水厂在初步设计阶段宜进行低碳设计评估。

低碳设计评估时全面考虑了污水的建设、运维和拆除，涵盖了污水提升和处理、再生水生产和输送、厂界外污泥处理和处置等全生命周期碳排放。污水处理的系统性低碳路径包含污水厂合理选址、合理设置规模、革新污水处理工艺、污水和污泥处理的协同低碳。

4.2.1 一般规定

新建和改扩建污水厂设计阶段的碳排放核算的空间边界为实际空间与虚拟空间结合，即厂界内和延伸边界。延伸边界指污水处理的副产品处置，即污水排入受纳水体后的生化反应，和发生在厂区外污泥运输、处理和处置过程。时间边

界包括污水厂建设和拆除过程、预期寿命周期内所有运行年度。污水厂和排水管道的预期寿命按照设计值选取，若没有相关资料，按照 50 年选取。其他设备如泵组件按 10 年选取，膜组件按 5-8 年选取。

污水厂低碳设计评估包括资料收集与核查、碳排放量数据核算、评估报告三个步骤。

【条文说明】4.2.1

不同污水厂采用的污水排放标准和受纳水体条件不同，污泥可能在本厂内处理，或外运至其它厂处理，为了保持不同设计方案的碳排放对比的公平性和平行性，特设置术语延伸边界碳排放量，涵盖全生命周期。

4.2.2 资料收集与核查

根据设计资料收集与核查所需的基础数据。

4.2.3 碳排放数据估算

处于设计阶段的新建或改扩建污水厂的碳排放估算的边界为图 2 中黑色实线外框线，即包含所有大类分项。

依据本标准第 5 章估算污水厂投运后的运维过程净碳排放量（对应于术语定义 3.5）。运维过程分项计算的详细程度根据项目信息完整程度确定。依据第 7 章估算污水厂建设和拆除过程的碳排放量（对应于术语定义 3.7.1）、投运后的延伸边界碳排放量（对应于术语定义 3.7.2），与全生命周期碳排放量（对应于术语定义 3.7）。计算污水厂全生命周期碳排放强度（对应于术语定义 3.8.3 和 3.8.4）。

4.2.4 低碳设计评估报告

参考本标准 8.2 节，完成设计项目与同类已投运的污水厂碳排放强度平均值的比对，评估设计方案、工艺选择和设计参数的合理性，本着低碳协同降污的原则优化污水厂设计，形成低碳设计评估报告。

对于碳排放强度高于行业同类平均水平的污水厂，可选择的低碳设计路径包括：1）优化污水厂选址，缩短污水进入污水厂前的厌氧时间；2）充分调研水质水量，以保障投运后负荷率；3）因地制宜适配工艺类型；4）排水标准较高的污水厂宜充分落实再生水用途；5）系统化污水污泥处理处置，从全生命周期碳排放的角度进行低碳优化；6）开发多种替碳路径；7）采用装配式水厂等低碳建设

方式。

对于低碳概念污水厂，应充分革新污水处理工艺、污水和污泥处理的协同低碳、并开发多种替碳路径，使其碳排放强度应明显低于行业同类平均水平。

5 污水厂运维过程碳净排放量核算

本标准碳排放量核算公式采用附表 A-1 符号进行编写。

5.1 污水处理生化反应碳排放量

5.1.1 甲烷排放

污水处理段的甲烷排放的二氧化碳当量按公式（1）计算：

$$CE_{w-CH_4,m} = Q_{in,m} \times (COD_{in,m} - COD_{out,m}) \times EF_{w-CH_4} \times f_{CH_4} \times 10^{-3} + M_{pump-CH_4,m} \times f_{CH_4} \quad (1)$$

式中：

$CE_{w-CH_4,m}$ ：污水厂污水处理段第 m 天 CH_4 排放的二氧化碳当量，kg CO_2 -eq；

$Q_{in,m}$ ：污水厂第 m 天的进水量， m^3 ；

$COD_{in,m}$ ：污水厂第 m 天的平均进水 COD 浓度，mg/L；

$COD_{out,m}$ ：污水厂第 m 天的平均出水 COD 浓度，mg/L；

EF_{w-CH_4} ：污水处理中 CH_4 的排放因子，kg CH_4 /kg COD；常规推荐值 0.0040~0.0075，当构筑物内存在污泥淤积时取大值；

$M_{pump-CH_4,m}$ ：提升泵和格栅间第 m 天逸散的 CH_4 量，kg；建议实测，没有实测条件的按照处理过程的排放量 20%计算；

f_{CH_4} ： CH_4 的全球变暖潜能，见附表 B-1。

5.1.2 氧化亚氮排放

污水生物处理脱氮过程排放的氧化亚氮的二氧化碳当量按公式（2）计算：

$$CE_{w-N_2O,m} = Q_{in,m} \times (TN_{in,m} - TN_{out,m}) \times EF_{w-N_2O} \times 44/28 \times f_{N_2O} \times 10^{-3}$$

(2)

式中：

$CE_{w-N_2O,m}$ ：污水厂污水处理段第 m 天 N_2O 排放的二氧化碳当量，kg CO_2 -eq；

$Q_{in,m}$ ：污水厂第 m 天的进水量， m^3 ；

$TN_{in,m}$ ：污水厂第 m 天的平均进水 TN 浓度，mg/L；

$TN_{out,m}$ ：污水厂第 m 天的平均出水 TN 浓度，mg/L；

EF_{w-N_2O} ：污水处理中 N_2O 的排放因子，kg N_2O -N/kg N；推荐值 0.016 kg N_2O -N/kg N，或采用数学模型法计算，或采用实测法获取；

44/28：转换系数，kg N_2O /kg N_2O -N；

f_{N_2O} ： N_2O 的全球变暖潜能，见附表 B-1。

5.1.3 化石源与外加碳源矿化的碳排放

化石源碳矿化产生的碳排放量按公式（3）计算：

$$CE_{w-fCO_2,m} = Q_{in,m} \times (COD_{in,m} - COD_{out,m}) \times EF_{w-fCO_2} \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中：

$CE_{w-fCO_2,m}$ ：污水厂污水处理段第 m 天的化石源 CO_2 碳排放量，kg CO_2 -eq；

$Q_{in,m}$ ：污水厂第 m 天的进水量， m^3 ；

$COD_{in,m}$ ：污水厂第 m 天的平均进水 COD 浓度，mg/L；

$COD_{out,m}$ ：污水厂第 m 天的平均出水 COD 浓度，mg/L；

EF_{w-fCO_2} ：污水处理中化石源 CO_2 当量的排放因子，kg CO_2 -eq/kg COD；推荐值 0.014~0.063，当污水厂进水包含有石化产业废水时，取较大值，当工业废水比例大于 10%时，推荐采用实测法；

外加碳源矿化产生 CO_2 碳排放量，按公式（4）计算：

$$CE_{w-eCO_2,m} = EF_{w-eCO_2} \times M_{e,m} \quad (4)$$

式中：

$CE_{w-eCO_2,m}$: 污水厂污水处理段第 m 天由于外加碳源导致的化石源 CO_2 碳排放量, kg CO_2 -eq;

EF_{w-eCO_2} : 污水处理中外加碳源的化石源 CO_2 当量的排放因子, kg CO_2 -eq/kg;
取值为葡萄糖 0.98, 乙酸钠 0.72, 乙酸 0.98, 甲醇 0.92;

$M_{e,m}$: 污水处理第 m 天的外加碳源的平均用量, kg。

5.1.4 污水处理生化反应碳排放量

污水处理生化反应碳排放量按公式 (5) 计算:

$$CE_{w-b} = \sum_{m=1}^t (CE_{w-CH_4,m} + CE_{w-N_2O,m} + CE_{w-fCO_2,m} + CE_{w-eCO_2,m}) \quad (5)$$

式中:

CE_{w-b} : 污水厂污水处理段核算周期内的生化反应碳排放量, kg CO_2 -eq;

t : 核算周期内的日历天数;

$CE_{w-CH_4,m}$: 污水厂污水处理段第 m 天 CH_4 排放的二氧化碳当量, kg CO_2 -eq;

$CE_{w-N_2O,m}$: 污水厂污水处理段第 m 天 N_2O 排放的二氧化碳当量, kg CO_2 -eq;

$CE_{w-fCO_2,m}$: 污水厂污水处理段第 m 天的化石源 CO_2 碳排放量, kg CO_2 -eq;

$CE_{w-eCO_2,m}$: 污水厂污水处理段第 m 天外加碳源矿化的 CO_2 碳排放量, kg CO_2 -eq。

5.2 污水处理材料和能源消耗碳排放量

5.2.1 固定式燃料燃烧碳排放

用于污水处理段的锅炉、热蒸汽生产、设备运转等固定式能源燃料消耗产生的碳排放按公式 (6) 计算:

$$CE_{w-fc,m} = \sum_{j=1} M_{fc,j,m} \times EF_{fc,j} \quad (6)$$

式中:

$CE_{w-fc,m}$: 污水厂内固定式燃料燃烧在第 m 天产生的碳排放量, kg CO_2 -eq;

$M_{fc,j,m}$: 第 j 类燃料的第 m 天的燃烧量, TJ;

$EF_{fc,j}$: 第 j 类燃料的 CO₂ 当量排放因子, kg CO₂-eq/TJ; 见附表 B-2。

5.2.2 电能消耗碳排放

污水处理段所运行设备的电能消耗碳排放量按公式 (7) 计算:

$$CE_{w-ec,m} = E_{ec,m} \times EF_{ec,p} \quad (7)$$

式中:

$CE_{w-ec,m}$: 污水厂污水处理段第 m 天电能消耗的碳排放量, kg CO₂-eq;

$E_{ec,m}$: 污水厂污水处理段第 m 天耗电量, kWh;

$EF_{ec,p}$: 污水厂所在区域 p 的发电行业平均 CO₂ 当量排放因子, kg CO₂-eq/kWh;

见附表 B-3。

5.2.3 药剂消耗碳排放

污水处理段投加的化学与生物药剂的生产与运输过程的碳排放量按公式 (8) 计算:

$$CE_{w-cc,m} = \sum_{j=1} (M_{cc,j,m} \times EF_{cc,j} + M_{cc,j,m} \times L_{cc,j,k} \times EF_{cc,k} \times 10^{-3}) \quad (8)$$

式中:

$CE_{w-cc,m}$: 污水厂污水处理段第 m 天使用药剂的碳排放量, kg CO₂-eq;

$M_{cc,j,m}$: 污水厂污水处理段第 j 种药剂第 m 天的投加量, kg;

$EF_{cc,j}$: 第 j 种药剂生产的 CO₂ 当量排放因子, kg CO₂-eq/kg; 参考附表 B-4;

$L_{cc,j,k}$: 第 j 种药剂采用 k 种运输方式的运输距离, km;

$EF_{cc,k}$: k 种运输方式的 CO₂ 当量排放因子, kg CO₂-eq/(t km); 公路运输方式取值 0.10, 铁路和水运取值 0.01。

5.2.4 膜组件更新碳排放

按照被更新膜组件总量年折旧计算碳排放量, 见公式 (9):

$$CE_{w-rp,m} = M_{rp} \times EF_{rp,j} / T \quad (9)$$

式中：

$CE_{w-rp,m}$ ：污水厂污水处理段第 m 天膜组件更新的碳排放量，kg CO₂-eq；

M_{rp} ：污水厂污水处理厂段膜组件更新的质量或面积，kg 或 m²；

$EF_{rp,j}$ ：第 j 种材质膜组件 CO₂ 当量排放因子，kg CO₂-eq/kg 或 kg CO₂-eq/m²；

参考附表 B-5；

T ：膜组件使用寿命年限折旧对应的天数，d。

5.2.5 污水处理材料和能源消耗碳排放量

污水处理材料和能源碳排放量按公式（10）计算：

$$CE_{w-re} = \sum_{m=1}^t (CE_{w-fc,m} + CE_{w-ec,m} + CE_{w-cc,m} + CE_{w-rp,m}) \quad (10)$$

式中：

CE_{w-re} ：污水厂污水处理段在核算周期内材料和能源消耗的碳排放量，kg CO₂-eq；

t ：核算周期内的日历天数；

$CE_{w-fc,m}$ ：污水厂内固定式燃料燃烧在第 m 天产生的碳排放量，kg CO₂-eq；

$CE_{w-ec,m}$ ：污水厂污水处理段第 m 天电能消耗的碳排放量，kg CO₂-eq；

$CE_{w-cc,m}$ ：污水厂污水处理段第 m 天使用药剂的碳排放量，kg CO₂-eq；

$CE_{w-rp,m}$ ：污水厂污水处理段第 m 天膜组件更新的碳排放，kg CO₂-eq。

5.3 污泥处理生化反应碳排放量

污泥处理方式主要包括厌氧消化、好氧发酵、深度脱水、焚烧、热解碳化等。根据污泥实际处理路线和处理量，分别计算其生化反应的 CH₄、N₂O 和化石源 CO₂ 排放量。

5.3.1 污泥厌氧消化碳排放

污泥厌氧消化沼气收集管路无意泄露的 CH₄ 或沼气火炬燃烧不充分导致的碳排放，其二氧化碳排放当量按公式（11）计算：

$$CE_{s-CH_4,ad,m} = V_{biogas,m} \times P_{CH_4} \times F \times 16/22.4 \times f_{CH_4} \quad (11)$$

式中：

$CE_{S-CH_4,ad,m}$ ：第 m 天污泥厌氧消化过程 CH_4 排放的二氧化碳当量，kg CO_2 -eq；

$V_{biogas,m}$ ：第 m 天沼气产量， m^3 ；

P_{CH_4} ：沼气中 CH_4 所占比例，%；

F ：沼气泄露比例，0~10%；缺省值为 5%；如果沼气厂的技术标准能确保无意泄露的 CH_4 均被火炬燃烧，则 CH_4 排放就可以近似为 0；

16/22.4： CH_4 的摩尔质量与摩尔体积的换算系数， kg/m^3 ；

f_{CH_4} ： CH_4 的全球变暖潜能，见附表 B-1。

污泥厌氧消化过程会产生沼液，沼液在生物脱氮过程会产生 N_2O ，根据沼液的量与 TN 浓度，采用与污水处理段相同的计算方法，见 5.1.2。

5.3.2 污泥好氧发酵碳排放

污泥好氧发酵过程生化反应的碳排放包括 CH_4 和 N_2O ，其二氧化碳排放当量按照公式（12）和（13）计算：

$$CE_{S-CH_4,af,m} = M_{ss,m} \times EF_{S-CH_4,af} \times 10^{-3} \times f_{CH_4} \quad (12)$$

$$CE_{S-N_2O,af,m} = M_{ss,m} \times EF_{S-N_2O,af} \times 10^{-3} \times f_{N_2O} \quad (13)$$

式中：

$CE_{S-CH_4,af,m}$ ：第 m 天污泥好氧发酵过程 CH_4 排放的二氧化碳当量，kg CO_2 -eq；

$CE_{S-N_2O,af,m}$ ：第 m 天污泥好氧发酵过程 N_2O 排放的二氧化碳当量，kg CO_2 -eq；

$M_{ss,m}$ ：第 m 天污泥好氧发酵处理量，kg 污泥；

$EF_{S-CH_4,af}$ ：污泥好氧发酵过程 CH_4 的排放因子，g CH_4 /kg 污泥；

$EF_{S-N_2O,af}$ ：污泥好氧发酵过程 N_2O 排放因子，g N_2O /kg 污泥；

f_{CH_4} ， f_{N_2O} ： CH_4 ， N_2O 的全球变暖潜能，见附表 B-1。

【条文说明】5.3.2

污泥在好氧发酵过程会产生 CH_4 和 N_2O 气体，分别是污泥初始碳含量的（1%~4%）和（0.5%~5%），主要与污泥碳含量、通气状况、发酵工艺等因素有关。

当有实测值时，可采用实测值进行计算。当缺乏实测值时，可采用 IPCC 推荐值，其中 CH_4 取 10 g CH_4 /kg 干污泥（范围 0.08~20 g CH_4 /kg 干污泥），或 4 g CH_4 /kg 湿污泥（范围 $0.03 \sim 8 \times 10^{-3}$ kg CH_4 /kg 湿污泥）， N_2O 取 0.6 g N_2O /kg 干污泥（范围 0.2~1.6 g N_2O /kg 干污泥），或 0.3 g N_2O /kg 湿污泥（范围 0.06~0.6 g N_2O /kg 湿污泥）。

后续版本修订面临的工作：更新文献数据，并征集污泥好氧堆肥工程案例的数据，包括

传统高温好氧发酵、滚筒好氧发酵、智能好氧发酵、超高温好氧发酵等不同好氧发酵方式，以进一步优化排放因子。

5.3.3 污泥焚烧碳排放

在污泥干化焚烧或协同焚烧过程，化石碳被氧化产生的 CO_2 ，不完全燃烧产生的 CH_4 和 N_2O 。

污泥焚烧化石源 CO_2 排放，按公式（14）计算：

$$CE_{S-f\text{CO}_2,inc,m} = M_{ss,m} \times CF \times FCF \times OF \times 44/12 \quad (14)$$

式中：

$CE_{S-f\text{CO}_2,inc,m}$ ：第 m 天污泥焚烧过程化石源 CO_2 碳排放量， $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ；

$M_{ss,m}$ ：第 m 天污泥焚烧处理干基重量， kg 干污泥；

CF ：干物质中含碳比例，%；计算是湿污泥的 40%~50%；

FCF ：污泥中化石碳比例，5%~20%；当污水厂进水中含有石化类废水或外加反硝化碳源量大时取高值；

OF ：氧化因子，假定污泥焚烧时充分反应，则氧化因子取值为 100%；

44/12： CO_2 与 C 分子质量比。

污泥焚烧过程 CH_4 和 N_2O 的二氧化碳排放当量，按公式（15）和（16）计算：

$$CE_{S-\text{CH}_4,inc,m} = M_{ss,m} \times EF_{S-\text{CH}_4,inc} \times f_{\text{CH}_4} \times 10^{-3} \quad (15)$$

$$CE_{S-\text{N}_2\text{O},inc,m} = M_{ss,m} \times EF_{S-\text{N}_2\text{O},inc} \times f_{\text{N}_2\text{O}} \quad (16)$$

式中：

$CE_{S-\text{CH}_4,inc,m}$ ：第 m 天污泥焚烧过程 CH_4 排放的二氧化碳当量， $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ；

$CE_{S-\text{N}_2\text{O},inc,m}$ ：第 m 天污泥焚烧过程 N_2O 排放的二氧化碳当量， $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ；

$M_{ss,m}$ ：第 m 天焚烧处理的污泥量， kg 污泥；

$EF_{S-\text{CH}_4,inc}$ ：污泥焚烧过程 CH_4 的排放因子， $\text{g CH}_4/\text{kg}$ 污泥；见附表 B-6；

$EF_{S-\text{N}_2\text{O},inc}$ ：污泥焚烧过程 N_2O 的排放因子， $\text{kg N}_2\text{O}/\text{t}$ 干污泥（以 SS 计），

可采用 IPCC 推荐值：0.99 $\text{kg N}_2\text{O}/\text{t}$ 干污泥（以 SS 计）；

f_{CH_4} ， $f_{\text{N}_2\text{O}}$ ： CH_4 ， N_2O 的全球变暖潜能，见附表 B-1。

【条文说明】5.3.3

对于不同焚烧处理方式的甲烷和氧化亚氮排放因子，包括独立焚烧、不同含水率入炉焚烧、电厂或垃圾焚烧厂掺烧、水泥窑协同焚烧等，应随着文献数据的逐年更新，并征集国内

不同污泥焚烧处理工程案例数据，以进一步优化排放因子。

5.3.4 污泥热解碳化或气化碳排放

污泥热解碳化或气化过程直接碳排放和焚烧类似，主要包括化石源 CO_2 ($CE_{S-f\text{CO}_2,py,m}$) 排放、 CH_4 ($CE_{S-\text{CH}_4,py,m}$) 和 N_2O ($CE_{S-\text{N}_2\text{O},py,m}$) 排放，具体计算方法参考 5.3.3 节。

【条文说明】5.3.4

目前热解碳化技术在国内处于起步阶段，根据 IPCC 2019 修订版，对于采用回转窑的热解系统，其 CH_4 和 N_2O 排放因子（以湿基计），分别为 5.4 g/t 污泥（湿基）、8.38 g/t 污泥（湿基）。其他系统具体详见附表 B-7。随着技术的发展，国内污泥热解处理工程案例的增加，排放因子需要进一步优化。

5.3.5 污泥处理生化反应碳排放量

根据污泥实际处理方法，计算污泥处理生化反应碳排放总量，包括化石源 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放量，按公式（17）计算：

$$CE_{S-b} = \sum_{r=1} \sum_{m=1}^t (CE_{S-\text{CH}_4,r,m} + CE_{S-\text{N}_2\text{O},r,m} + CE_{S-\text{CO}_2,r,m}) \quad (17)$$

式中：

CE_{S-b} ：污泥处理段核算周期内的生化反应碳排放量，kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ ；

t ：核算周期内的日历天数；

r ：污泥处理方式，包括厌氧消化，好氧发酵，焚烧，热解；

$CE_{S-\text{CH}_4,r,m}$ ， $CE_{S-\text{N}_2\text{O},r,m}$ ， $CE_{S-\text{CO}_2,r,m}$ ：污泥处理段第 m 天第 r 种处理方式 CH_4 、 N_2O 和 CO_2 排放的二氧化碳当量，kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ 。

5.4 污泥处理材料和能源消耗碳排放量

污泥处理能源药剂消耗碳排放主要包括化石燃料消耗、电力消耗、以及药剂消耗导致的碳排放。对于不同的污泥处理方式，需要分别从污泥处理全流程角度进行核算。以厌氧消化工艺为例，需要综合考虑污泥浓缩或脱水、泵送或运输、（预处理）厌氧消化、沼气净化、沼液处理、沼渣处理等全流程化石燃料、电力和药剂消耗导致的碳排放。

5.4.1 污泥处理过程燃料消耗碳排放

污泥处理过程燃料消耗碳排放包括用于生产环节中锅炉、蒸汽、燃料、车辆

运输等所需的燃烧活动，可能用到的化石燃料包括煤炭、汽油、柴油、天然气等。

排放量（ $CE_{s-fc,r}$ ）计算方法参考 5.2.1 节，本节不再赘述。

【条文说明】5.4.1

污泥厌氧消化或干化焚烧系统产生的热量或余热通常会先用于供给系统内部热量需求，如果不能满足系统能耗需求，则需要消耗外部能源，由此会产生燃料消耗碳排放；如果厌氧消化或干化焚烧产生的热量能够满足系统热量需求，则富余热量实现利用会产生碳减排。因此，在对实际污泥处理工程进行碳排放核算时，应从系统能量衡算的角度，可以不考虑污泥沼气能源或热处理余热用于系统内部供热的能量，只计算外部能源消耗所产生的碳排放，避免重复计算。

5.4.2 污泥处理过程电力消耗碳排放

污泥处理过程中电力消耗导致的间接碳排放，需要考虑污泥处理厂区所有环节消耗的电量，以污泥焚烧为例，主要包括污泥脱水、干化、焚烧、烟气处理以及其他附属设备电力消耗的总和（ $CE_{s-ec,r}$ ），计算方法参考 5.2.2 节。

5.4.3 污泥处理过程药剂消耗碳排放

污泥处理段药剂或材料消耗的碳排放（ $CE_{s-cc,r}$ ），计算方法参考 5.2.3 节。

【条文说明】5.4.3

关于药剂碳排放核算，主要是为了对不同处理工艺路线进行系统比较。此外，污泥处理要考虑不同处理阶段的药剂消耗，包括脱水药剂、厌氧沼气净化和沼液处理药剂、好氧发酵辅料和臭气处理药剂、焚烧烟气处理药剂等。不同药剂碳排放因子见附录 B-4。

5.4.4 污泥处理能源药剂消耗碳排放量

污泥处理能源药剂消耗碳排放量按公式（18）计算：

$$CE_{s-re} = \sum_r \sum_{m=1}^t (CE_{s-fc,r,m} + CE_{s-ec,r,m} + CE_{s-cc,r,m}) \quad (18)$$

式中：

CE_{s-re} ：污泥处理在核算周期内材料和能源消耗的碳排放量，kg CO₂-eq；

t ：核算周期内的日历天数；

r ：污泥处理方式，包括厌氧消化，好氧发酵，焚烧，热解；

$CE_{s-fc,r,m}$ ， $CE_{s-ec,r,m}$ ， $CE_{s-cc,r,m}$ ：污泥处理段第 m 天第 r 种处理方式固定式燃料燃烧、电能消耗和使用药剂的碳排放量，kg CO₂-eq。

5.5 通风除臭设施的碳排放量

本部分主要计算通风与除臭设施的碳排放按公式（19）计算，当污水厂能耗

和物料清单未分割时，不可与前述污水和污泥处理段消耗重复计算。

$$CE_{vt,m} = CE_{vt-ec,m} + CE_{od-cc,m} \quad (19)$$

式中：

$CE_{vt,m}$ ：污水厂通风和除臭设施在第 m 天的碳排放量，kg CO₂-eq；

$CE_{vt-ec,m}$ ：污水厂通风和除臭设施在第 m 天电能消耗的碳排放量，kg CO₂-eq；

其计算过程参考 5.2.2；

$CE_{od-cc,m}$ ：污水厂第 m 天使用除臭药剂的碳排放量，kg CO₂-eq；其计算过程参考 5.2.3。

5.6 污水厂替碳量

对于污水厂内产生的能源和资源被利用带来的替碳量，本标准优先推荐使用从设备厂商处获取各设备的实际数据核算。若无实际数据，可参考标准条文说明对应部分的计算公式核算替碳量。

5.6.1 热泵技术

采用热泵技术回收利用污水中蕴含的热能时，推荐使用热泵的实际数据（供热量、供冷量、功率），按照公式（20）计算替碳量：

$$CA_{hp,m} = A_m \times EF_{fc,j} \times 10^{-9} \quad (20)$$

式中：

$CA_{hp,m}$ ：第 m 天热泵产热或制冷的替碳量，kg CO₂-eq；

A_m ：热泵在第 m 天的实际供热量、供冷量，仪表测量结果，kJ；

$EF_{fc,j}$ ：被替代的第 j 类燃料的 CO₂ 当量排放因子，kg CO₂-eq/TJ；见附表 B-2；

5.6.2 光伏发电

推荐使用光伏企业提供的厂内发电量，按公式（21）计算替碳量：

$$CA_{pv,m} = E_{pv,m} \times EF_{ec,p} \quad (21)$$

式中：

$CA_{pv,m}$ ：第 m 天光伏发电的替碳量，kg CO₂-eq；

$E_{pv,m}$: 第 m 天污水厂光伏发电量, kWh;

$EF_{ec,p}$: 污水厂所在区域 p 的发电行业平均 CO₂ 当量排放因子, kg CO₂-eq/kWh;
见附表 B-3。

5.6.3 再生水回用

再生水回用的替碳量按照替代的供水的碳排放计算, 包括替代供水的取水阶段、生产阶段以及输送阶段。若再生水利用输送距离较长, 则也应核减该部分由回用水输送带来的碳排放。按照公式 (22) 计算:

$$CA_{ws,m} = Q_{ws,m} \times [(EI_{it,j} + EI_{sp,j} - EI_{ws,j}) \times EF_{ec,p} + CI_{ws}] \quad (22)$$

式中:

$CA_{ws,m}$: 污水厂第 m 天回用水替代供水的替碳量, kg CO₂-eq;

$Q_{ws,m}$: 污水厂第 m 天回用水供应量, m³;

$EI_{it,j}$: 城市 j 取水能源强度, kWh/m³, 缺省值取 0.2;

$EI_{sp,j}$: 城市 j 供水输送阶段的能源强度, kWh/m³, 缺省值取 0.5; 对于长距离调水和输水的城市需实际调研;

$EI_{ws,j}$: 城市 j 回用水输送的能源强度, kWh/m³, 缺省值取 0.5;

$EF_{ec,p}$: 污水厂所在区域 p 的发电行业平均 CO₂ 当量排放因子, kg CO₂-eq/kWh;
见附表 B-3;

CI_{ws} : 回用水替代的供水生产过程的碳排放强度, kg CO₂-eq/m³; 根据地区平均水平核算, 具体数值见附表 B-8。

【条文说明】5.6.3

再生水回用场景包括药剂稀释、格栅冲洗、绿化浇灌等厂内回用, 也包括厂外绿化浇灌、市政道路冲洗、替代工业用水等。

5.6.4 污泥生物质能源利用

污泥生物质能源利用的替碳主要是通过厌氧消化或干化焚烧等方式实现生物质能的回收, 进而替代外部能源或对外供给热能或电能。

污泥厌氧消化沼气利用的替碳量只计算富余沼气实际供热或发电量，或者富余沼气经过净化提纯产生的天然气量，按照公式（23）计算：

$$CA_{ad,m} = E_{ad,m} \times EF_{ec,p} + H_{ad,m} \times EF_{fc,j} + V_{ng,m} \times EF_{fc,ng} \quad (23)$$

式中：

$CA_{ad,m}$ ：第 m 天污泥厌氧消化沼气利用的替碳量，kg CO₂-eq；

$E_{ad,m}$ ：第 m 天污泥厌氧消化沼气发电量，kWh；

$EF_{ec,p}$ ：污水厂所在区域 p 的发电行业平均 CO₂ 当量排放因子，kg CO₂-eq/kWh；
见附表 B-3；

$H_{ad,m}$ ：第 m 天污泥厌氧消化沼气富余热能利用量，TJ；

$EF_{fc,j}$ ：被替代的第 j 类燃料的 CO₂ 当量排放因子，kg CO₂-eq/TJ；见附表 B-2；

$V_{ng,m}$ ：沼气提纯并网的天然气量，m³ CH₄；

$EF_{fc,ng}$ ：天然气的 CO₂ 当量排放因子，kg CO₂-eq/m³ CH₄；见附表 B-2。

对于污泥干化焚烧或热解处理，烟气余热除满足污泥干化外，如果有富余热量用来发电或对外供热，相应的替碳量按公式（24）计算：

$$CA_{inc,m} = E_{inc,m} \times EF_{ec,p} + H_{ad,m} \times EF_{fc,j} \quad (24)$$

式中：

$CA_{inc,m}$ ：第 m 天污泥焚烧或热解热能利用的替碳量，kg CO₂-eq；

$E_{inc,m}$ ：第 m 天污泥焚烧或热解产生电能利用量，kWh；

$EF_{ec,p}$ ：污水厂所在区域 p 的发电行业平均 CO₂ 当量排放因子，kg CO₂-eq/kWh；
见附表 B-3；

$H_{ad,m}$ ：第 m 天污泥焚烧或热解热能利用量，TJ；

$EF_{fc,j}$ ：被替代的第 j 类燃料的 CO₂ 当量排放因子，kg CO₂-eq/TJ；见附表 B-2。

5.6.5 污泥产物资源化利用

污泥经过厌氧、好氧或碳化处理后，产生的稳定产物可以作为营养土或改良

剂进行土地利用，由此产生的替碳量按公式（25）计算：

$$CA_{land,m} = M_{land,m} \times (P_N \times \omega_N \times EF_{N-FERT} + P_P \times \omega_P \times EF_{P-FERT}) \quad (25)$$

式中：

$CA_{land,m}$ ：第 m 天污泥产物土地利用的替碳量，kg CO₂-eq；

$M_{land,m}$ ：第 m 天回收作为肥料的干污泥量，kg；

P_N ：污泥含氮的质量，0.03 kg N/kg（干污泥）DS；

ω_N ：污泥中氮可被植物吸收的比例，61%；

EF_{N-FERT} ：全国尺度氮肥生产的能耗排放因子，kg CO₂-eq/kg N；根据中国氮磷钾肥制造温室气体排放系数的估算，取 2.166 kg CO₂-eq /kg N；

P_P ：污泥含磷的质量，0.006 kg N/kg（干污泥）DS；

ω_P ：污泥中磷可被植物吸收的比例，70%；

EF_{P-FERT} ：全国尺度磷肥生产的能耗排放因子，kg CO₂-eq /kg P；根据中国氮磷钾肥制造温室气体排放系数的估算，取 1.45 kg CO₂-eq /kg P。

污泥焚烧产物可以进行建材利用，包括制砖、制水泥、轻质骨材、道路基材、沥青填充材料等，烧制过程排放的 CO₂ 计算同 5.3.3，记为 $CE_{S-CO_2,inc,m}$ 。污泥建材综合利用替代建材的替碳量，根据生产的建材量，参考《建筑碳排放计算标准》进行核减。

【条文说明】5.6.5

污泥土地利用替代化肥的碳补偿，可以用全国尺度的化肥生产消耗的煤、天然气、电等能源消耗量乘以相应的排放因子核算。

污泥作为肥料被土地利用的过程中，约有 61% 的 N（质量分数）和 70% 的 P（质量分数）可被植物或农作物吸收。换算后可得到污泥作为肥料被土地利用过程的碳减排量。

对于污泥土地利用或建材利用过程产生的能源消耗以及非二温室气体排放，分别在其他章节单独计算。

此外，对于污泥处理产物施用对土壤有机碳库是否产生碳汇效应，还需要进一步研究。如果认为产生碳汇效应，则添加生物炭的土壤碳库年变化量可参照公式（25-1）计算方法：

$$\Delta CE_{chrcl} = \sum_{j=1} (M_{chrcl,j} \times P_{chrcl,j} \times \omega_{perm,j}) \quad (25-1)$$

式中：

ΔCE_{chrcl} —— 与生物炭改良有关的矿物质土壤碳库的变化，吨/年；

$M_{chrcl,j}$ —— 每种生物炭 j 在清单年度内施入矿物土壤中的生物炭的质量，吨生物炭干物

质/年；

$P_{chrcl,j}$ —— 每种生物炭 j 中的有机碳含量，吨/吨生物炭干物质；根据 IPCC 指南 2019 修订版，生物炭来自生物固体（市政污泥）热解时， $P_{chrcl,j}$ 取值为 $0.35 \pm 40\%$ ；

$\omega_{perm,j}$ —— 每种生物炭 j 在 100 年后的剩余生物炭量（未矿化），吨结合碳/吨生物炭；根据 IPCC 指南 2019 修订版，在进行中温热解（450-600°C）时， $\omega_{perm,j}$ 取值为 $0.80 \pm 11\%$ 。

5.6.6 污水厂替碳量

污水厂替碳量按公式（26）计算：

$$CA = \sum_{m=1}^t (CA_{hp,m} + CA_{pv,m} + \sum_{r=1} CA_{r,m} + CA_{ws,m} + CA_{other,m}) \quad (26)$$

式中：

CA ：核算周期内污水厂替碳量，kg CO₂-eq；

t ：核算周期内的日历天数；

$CA_{hp,m}$ ：第 m 天热泵产热或制冷的替碳量，kg CO₂-eq；

$CA_{pv,m}$ ：第 m 天光伏发电的替碳量，kg CO₂-eq；

r ：污泥第 r 种处理方式，包括厌氧消化，污泥干化，焚烧热解，土地利用；

$CA_{r,m}$ ：污泥第 r 种处理方式第 m 天污泥利用的替碳量，kg CO₂-eq；

$CA_{ws,m}$ ：污水厂第 m 天回用水替代供水的替碳量，kg CO₂-eq；

$CA_{other,m}$ ：污水厂第 m 天其他类型回收可利用材料的替碳量，kg CO₂-eq。

【条文说明】5.6.6

替碳量为厂界内产生，用于厂界外使用时按照 5.6.6 中的公式计算。当热泵产热或制冷，光伏发电运用于厂界内时，应校核 5.2 和 5.4 节的能源输入中是否已经减去自产能源，避免重复计算。

污水厂回收的其他材料的替碳量，如果为建筑材料，按照《建筑碳排放计算标准》中替代的建材碳排放的计算。

5.7 污水厂运维过程净碳排放量

污水厂运维过程的净碳排放量核算，需要根据实际厂区情况对各分项进行取舍计算。相应的污水厂运维过程净碳排放量按公式（27）计算：

$$CE_{net} = CE_{w-b} + CE_{w-re} + CE_{s-b} + CE_{s-re} + CE_{vt,m} - CA \quad (27)$$

式中：

CE_{net} : 污水厂核算周期内的运维过程净碳排放量, kg CO₂-eq;

CE_{w-b} : 污水厂污水处理段核算周期内的生化反应碳排放量, kg CO₂-eq;

CE_{w-re} : 污水厂污水处理段在核算周期内材料和能源消耗的碳排放量, kg CO₂-eq;

CE_{s-b} : 污泥处理段核算周期内的生化反应碳排放量, kg CO₂-eq;

CE_{s-re} : 污泥处理在核算周期内材料和能源消耗的碳排放量, kg CO₂-eq;

$CE_{vt,m}$: 污水厂通风和除臭设施在第 m 天的碳排放量, kg CO₂-eq;

CA : 核算周期内污水厂替碳量, kg CO₂-eq。

【条文说明】5.7

有关污水生态处理的是净碳排放还是负碳的争议一直存在, 其和水质、生态塘的水深、供氧等情况有较大关系。污水厂的生态综合体和绿化虽然有固碳效益, 但是, 1) 目前城市绿化的固碳参数未有官方数据, 关于植物碳汇数据均来源于林业, 其固碳量按照乔木类计算, 引入此处不甚合理; 2) 草本植物和灌木的碳汇量有限, 对评估结果影响不大。因此, 本标准的初版暂不计算碳汇量, 不对生态设施的碳排放进行评估, 待修订版补充。

当污水厂能耗和物料清单未分割时, 通风和除臭设施的碳排放、替碳量均不可与前述污水和污泥处理段消耗重复计算。

6 已建成投运污水厂碳减排评估指标计算

6.1 污水厂运维过程碳排放强度

6.1.1 运维过程碳排放强度

污水厂运维过程碳排放强度, 即单位污水处理量对应的净碳排放量, 按公式(28)计算:

$$CI_{net} = CE_{net}/Q_{in} \quad (28)$$

式中:

CI_{net} : 污水厂核算周期内的运维过程净碳排放强度, kg CO₂-eq/m³;

CE_{net} : 污水厂核算周期内的运维过程净碳排放量, kg CO₂-eq;

Q_{in} : 污水厂核算周期内的实际进水量, m³。

6.1.2 污染物削减碳排放强度

污染物削减碳排放强度, 即污水厂去除单位耗氧污染物量对应的净碳排放量,

按公式（29）和（30）计算：

$$CI_x = CE_{net}/X \quad (29)$$

$$X = Q_{in} \times [(BOD_{in} - BOD_{out}) + 3.5 \times (NH_3-N_{in} - NH_3-N_{out})] \times 10^{-3} \quad (30)$$

式中：

CI_x ：污水厂核算周期内的运维过程污染物削减净碳排放强度，kg CO₂-eq/kg；

CE_{net} ：污水厂核算周期内的运维过程净碳排放量，kg CO₂-eq；

X ：污水厂核算周期内的耗氧污染物削减量，kg；

Q_{in} ：污水厂核算周期内的实际进水量，m³；

BOD_{in} ：核算周期内污水厂进水 BOD 的平均浓度，mg/L；

BOD_{out} ：核算周期内污水厂出水 BOD 的平均浓度，mg/L；

NH_3-N_{in} ：核算周期内污水厂进水 NH_3-N 的平均浓度，mg/L；

NH_3-N_{out} ：核算周期内污水厂出水 NH_3-N 的平均浓度，mg/L。

【条文说明】6.1.2

对于缺少 BOD 数据的污水厂，当工业废水占比小于 10%时，进水 BOD 按照 0.417 COD 计算。当工业废水占比大于 10%时，需实测。

6.2 污水厂碳减排量与强度减排

6.2.1 污水厂碳减排量

评估年度相对于基准年度的净碳减排量，按照公式（31）计算：

$$CR_{net} = CE_{net,vy} - CE_{net,by} \quad (31)$$

式中：

CR_{net} ：评估年度相对于基准年度的运维过程净碳减排量，kg CO₂-eq；

$CE_{net,vy}$ ：污水厂评估年度的运维过程净碳排放量，kg CO₂-eq；

$CE_{net,by}$ ：污水厂基准年度的运维过程净碳排放量，kg CO₂-eq。

6.2.2 污水厂碳排放强度减排

评估年度相对于基准年度的净碳排放强度减排，按照公式（32）计算：

$$CRI_{net} = CI_{net,vy} - CI_{net,by} \quad (32)$$

式中：

CRI_{net} ：评估年度相对于基准年度的运维过程净碳排放强度减排，kg CO₂-eq/m³；

$CI_{net,vy}$ ：污水厂评估年度的运维过程净碳排放强度，kg CO₂-eq/m³；

$CI_{net,by}$ ：污水厂基准年度的运维过程净碳排放强度，kg CO₂-eq/m³。

评估年度相对于基准年度的污染物削减净碳排放强度减排，按照公式（33）计算：

$$CRI_x = CI_{x,vy} - CI_{x,by} \quad (33)$$

式中：

CRI_x ：评估年度相对于基准年度的运维过程污染物削减净碳排放强度减排，kg CO₂-eq/m³；

$CI_{x,vy}$ ：污水厂评估年度的运维过程污染物削减净碳排放强度，kg CO₂-eq/m³；

$CI_{x,by}$ ：污水厂基准年度的运维过程污染物削减净碳排放强度，kg CO₂-eq/m³。

6.3 污水厂碳减排目标差

待评估污水厂相对于行业同类平均水平的净碳排放强度目标差，按照公式（34）计算：

$$CI_g = CI_{net,vy} - CI_{net,av} \quad (34)$$

式中：

CI_g ：待评估污水厂运维过程相对于行业同类平均水平的净碳排放强度差，kg CO₂-eq/m³；

$CI_{net,vy}$ ：评估污水厂评估年度的运维过程净碳排放强度，kg CO₂-eq/m³；

$CI_{net,av}$ ：行业同类平均水平运维过程净碳排放强度，kg CO₂-eq/m³；见附表 B-9。

6.4 污水厂节点碳排放贡献度

污水厂各处理阶段(或用电设备或药剂类型等)的碳排放贡献度，按公式(35)

计算：

$$CB_{st} = (CE_{st}/CE_{net}) \times 100\% \quad (35)$$

式中：

CB_{st} ：核算周期内任意待分析的处理阶段（或用电设备或药剂类型等）的碳排放贡献度，%；

CE_{st} ：污水厂核算周期内任意待分析的处理阶段的碳排放量，kg CO₂-eq；

CE_{net} ：污水厂核算周期内的运维过程净碳排放量，kg CO₂-eq。

7 污水厂全生命周期碳排放量核算

7.1 建设和拆除阶段的碳排放量

污水厂建设阶段的碳排放量根据工程量清单参照 GB/T51366-2019 《建筑碳排放计算标准》和 GB 55015-2021 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》计算。或按照公式（36）计算：

$$CE_{cs} = 1.2 \times Y \times 10^3 \quad (36)$$

式中：

CE_{cs} ：污水厂建设阶段的碳排放量，kg CO₂-eq；

1.2：投资排放强度系数，t CO₂-eq/万元；

Y：规划建设投资总额，万元。

污水厂拆除阶段的碳排放量根据工程量清单参照 GB/T 51366-2019 《建筑碳排放计算标准》和 GB 55015-2021 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》计算，或按照与建设阶段相等的碳排放量估算，记为 CE_{dm} 。

污水厂建筑物拆除过程的资产重置具有不可预见性，除非有明确的建筑材料回收利用方案，否则资产重置可能产生的替碳量不计入本阶段的核算。

7.2 污泥处置碳排放量

污水处理厂污泥处理后，应追踪其污泥处置路径，根据技术路线采用活动水平排放因子法计算其延伸碳排放。

7.2.1 污泥卫生填埋生化反应碳排放

脱水污泥卫生填埋或与生活垃圾混合填埋，有机物降解会产生甲烷，甲烷逸散造成的二氧化碳排放当量按照公式（37）计算：

$$CE_{sd-CH_4,lf} = \sum_{m=1}^t (M_{ss,m} \times MCF \times 2.52) \quad (37)$$

式中：

$CE_{sd-CH_4,lf}$ ：核算周期内污泥处置卫生填埋 CH_4 排放的二氧化碳当量，kg CO_2 -eq；

t ：核算周期内的日历天数；

$M_{ss,m}$ ：第 m 天污泥填埋处置量，kg 干污泥；

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（IPCC 推荐值，厌氧填埋）；填埋气收集直燃部分为 1/28；填埋气 CDM 项目根据发电量和排放因子计入替碳量。

【条文说明】7.2.1

依据《2019 年 IPCC 国家温室气体清单编制标准更新》第五卷第三章固体废物处置，采用质量平衡法，本核算方法按照公式（37-1）估算。

$$CE_{sd-CH_4,lf} = \sum_{m=1}^t (M_{ss,m} \times DOC \times DOC_f \times MCF \times F \times (1 - OX) \times \frac{16}{12} \times f_{CH_4}) \quad (37-1)$$

式中：

$CE_{sd-CH_4,lf}$ ：核算周期内污泥处置卫生填埋 CH_4 排放的二氧化碳当量，kg CO_2 -eq；

$M_{ss,m}$ ：第 m 天污泥填埋处置量，kg 干污泥；

DOC ：污泥中可降解有机碳含量，(kg C/kg 干污泥)，取 0.3；

DOC_f ：可分解的 DOC 比例，%，卫生填埋中取 50%；

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（IPCC 推荐值，厌氧填埋）；填埋气收集直燃部分为 1/28；填埋气 CDM 项目根据发电量和排放因子计入碳减排量；

F ：填埋气中 CH_4 浓度（体积分数），可取 IPCC 推荐值：50%；

OX ： CH_4 释放前被氧化比例，可取 IPCC 推荐的氧化因子，取 0.1；

16/12： CH_4 与 C 分子质量比；

28： CH_4 的全球变暖潜能，常数，28 kg CO_2 -eq/kg CH_4 ；

f_{CH_4} ： CH_4 的全球变暖潜能，见附表 B-1。

当污泥性质和填埋场信息不充分时，上述公式参数全部取默认值，则为公式（37）。

此外，对于不同处理阶段的污泥，包括不同调理脱水污泥、石灰稳定深度脱水污泥、厌氧污泥、干化污泥，以及不同填埋时期，不同填埋方式，污泥填埋碳排放规律需要进一步整理文献数据，并征集国内污泥填埋工程案例的数据，以进一步优化排放因子。

对于焚烧灰渣填埋，不存在非二温室气体的排放，因此只需计算灰渣运输和填埋过程燃料消耗导致的间接碳排放。

7.2.2 污泥土地利用生化反应碳排放

污泥的土地利用方式包括污泥及污泥产品的应用，可用于农业、林业、园林绿化和土壤改良。土地利用后分解产生的 CH_4 、 N_2O 排放的二氧化碳当量按照公式 (38) 和 (39) 计算：

$$CE_{sd-\text{CH}_4,\text{land}} = \sum_{m=1}^t (M_{ss,m} \times EF_{sd-\text{CH}_4,\text{land}} \times f_{\text{CH}_4}) \quad (38)$$

$$CE_{sd-\text{N}_2\text{O},\text{land}} = \sum_{m=1}^t (M_{ss,m} \times P_N \times EF_{sd-\text{N}_2\text{O},\text{land}} \times f_{\text{N}_2\text{O}} \times 44/14) \quad (39)$$

式中：

$CE_{sd-\text{CH}_4,\text{land}}$ ：核算周期内污泥处置土地利用 CH_4 排放的二氧化碳当量， $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ；

$CE_{sd-\text{N}_2\text{O},\text{land}}$ ：核算周期内污泥处置土地利用 N_2O 排放的二氧化碳当量， $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ；

t ：核算周期内的日历天数；

$M_{ss,m}$ ：第 m 天污泥处置土地利用量， kg ；

$EF_{sd-\text{CH}_4,\text{land}}$ ：污泥处置土地利用 CH_4 排放因子，通常取 $0.003 \text{ kg CH}_4/\text{kg}$ ；

$EF_{sd-\text{N}_2\text{O},\text{land}}$ ：污泥处置土地利用 N_2O 排放因子，通常取 $0.011 \text{ kg N}_2\text{O}/\text{kg N}$ ；

P_N ：污泥含氮的质量， 0.03 kg N/kg （干污泥）DS；

f_{CH_4} ， $f_{\text{N}_2\text{O}}$ ： CH_4 和 N_2O 的全球变暖潜能，见表 B-1；

$44/14$ ： N_2O 和 N 的分子量比。

【条文说明】7.2.2

污泥土地利用甲烷和氧化亚氮排放因子，还需要根据污泥产物特性，结合污泥产物不同土地利用方式，进一步整理文献数据，并征集污泥土地利用工程案例的数据，以进一步优化排放因子。

7.2.3 污泥处置阶段能源消耗碳排放

污泥处置过程能源消耗碳排放指污泥及其处理产物进行填埋、土地利用、建材利用等处置方式，污泥运输（ $CE_{sd-\text{trans},r,k}$ ）和处置作业过程燃料（ $CE_{sd-\text{fc},r}$ ）或电力消耗导致（ $CE_{sd-\text{ec},r}$ ）的间接碳排放，计算方法参照 5.2.1 至 5.2.2 节。

【条文说明】7.2.3

建材利用的碳排放的计算参照 GB/T 51366-2019《建筑碳排放计算标准》，部分直接碳排放在污泥焚烧过程中产生，应避免重复计算，建材利用将产生替代原生建材的替碳量，需核减，见 5.6.5 和 5.6.6。

7.2.4 污泥处置碳排放量

污泥处置碳排放量按照公式（40）计算：

$$CE_{sd} = \sum_r (CE_{sd-CH_4,r} + CE_{sd-N_2O,r} + CE_{sd-fc,r} + CE_{sd-ec,r} + CE_{sd-trans,r,k}) \quad (40)$$

式中：

CE_{sd} ：污泥处置在核算周期内的碳排放量，kg CO₂-eq；

r ：污泥处置方式，卫生填埋、建材利用、土地利用等；

$CE_{sd-CH_4,r}$ ， $CE_{sd-N_2O,r}$ ：核算周期内的第 r 种污泥处置方式 CH₄、N₂O 排放的二氧化碳当量，kg CO₂-eq；

$CE_{sd-fc,r}$ ， $CE_{sd-ec,r}$ ：核算周期内的第 r 种污泥处置方式燃料、电能消耗排放的二氧化碳当量，kg CO₂-eq；

$CE_{sd-trans,r,k}$ ：核算周期内的第 r 种污泥处置方式采用第 k 种运输方式排放的二氧化碳当量，kg CO₂-eq。

【条文说明】

本标准提供了根据我国实际数据计算的不同污泥处置方式的碳排放缺省值，见表 B-10，当设计资料或水厂运行资料不全时，可以参考该数值计算。

7.3 污水排入受纳水体的延伸碳排放量

经处理后的污水仍含有少量有机物和含氮化合物，在微生物的作用下，可能产生 CH₄ 和 N₂O 的排放，根据我国的水环境现状，厌氧水体逐步减少，本标准忽略 CH₄ 排放，按照污水中氮含量的排放因子法按公式（41）计算 N₂O 的排放：

$$CE_{ex-N_2O} = \sum_{m=1}^t (Q_{out,m} \times TN_{out,m} \times EF_{ex-N_2O} \times 44/28 \times f_{N_2O} \times 10^{-3}) \quad (41)$$

式中：

CE_{ex-N_2O} ：核算周期内污水排至受纳水体的 N₂O 排放的二氧化碳当量，kg CO₂-eq；

t ：核算周期内的日历天数；

$Q_{out,m}$ ：污水厂第 m 天排放至受纳水体的污水量，m³；

$TN_{out,m}$ ：污水厂第 m 天平均出水 TN 浓度，mg/L；

EF_{ex-N_2O} : 受纳水体的 N_2O 的排放因子, $kg\ N_2O-N/kg\ N$; 取值见条文说明

7.3;

44/28: 转换系数, $kg\ N_2O/kg\ N_2O-N$;

f_{N_2O} : N_2O 的全球变暖潜能, 见附表 B-1。

【条文说明】7.3

受纳水体的 N_2O 的排放因子可选择 IPCC 推荐值, $0.001\sim0.005\ kg\ N_2O-N/kg\ N$ 。具体可根据受纳水体的水质状况进行取值, III 类水取低值, V 类及劣 V 类水取高值。

7.4 污水厂全生命周期碳排放

污水厂全生命周期碳排放量按公式 (42) 计算:

$$CE_{lc,net} = CE_{cs} + CE_{dm} + T * (CE_{net} + CE_{sd} + CE_{ex-N_2O}) \quad (42)$$

式中:

$CE_{lc,net}$: 污水厂全生命周期碳排放量, $kg\ CO_2-eq$;

CE_{cs} : 污水厂建设阶段的碳排放量, $kg\ CO_2-eq$;

CE_{dm} : 污水厂拆除阶段的碳排放量, $kg\ CO_2-eq$;

T : 污水厂服务年限, 年;

CE_{net} : 预期的污水厂运维过程年平均净碳排放量, $kg\ CO_2-eq$;

CE_{sd} : 污泥处置年平均碳排放量, $kg\ CO_2-eq$;

CE_{ex-N_2O} : 污水排至受纳水体的年 N_2O 排放的二氧化碳当量, $kg\ CO_2-eq$ 。

【条文说明】7.4

无论污水厂设计是否包含污泥处理过程, 其污泥处理处置均应包含在计算过程。可参照 5.3、5.4 和 7.2 的计算过程, 按照预期污泥产量和处置路径根据推荐参数计算。按照设计参数和设备选型计算预期的污水厂运维过程中年净碳排放总量。

8 新建或改扩建污水厂低碳设计评估

8.1 污水厂设计碳排放强度

8.1.1 全生命周期碳排放强度

设计污水厂单位污水处理量对应的全生命周期内的碳排放量按照公式 (43) 计算:

$$CI_{lc,net} = CE_{lc,net} / (T \times Q_{in}) \quad (43)$$

式中：

$CI_{lc,net}$ ：污水厂全生命周期碳排放强度， $\text{kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ ；

$CE_{lc,net}$ ：污水厂全生命周期碳排放量， $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ；

T ：污水厂服务年限，年；

Q_{in} ：污水厂年平均进水量， m^3 。

8.1.2 全生命周期污染物削减碳排放强度

污水厂去除单位耗氧污染物量对应的全生命周期净碳排放量按照公式（44）和（45）计算：

$$CI_{lc,x} = CE_{lc,net} / (T \times X) \quad (44)$$

$$X = Q_{in} \times [(BOD_{in} - BOD_{out}) + 3.5 \times (NH_3-N_{in} - NH_3-N_{out})] \times 10^{-3} \quad (45)$$

式中：

$CI_{lc,x}$ ：污水厂全生命周期污染物削减碳排放强度， $\text{kg CO}_2\text{-eq/kg}$ ；

$CE_{lc,net}$ ：污水厂全生命周期碳排放量， $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ；

T ：污水厂服务年限，年；

X ：污水厂年均耗氧污染物削减总量， kg ；

Q_{in} ：污水厂年平均进水量， m^3 ；

BOD_{in} ：污水厂进水 BOD 的年平均浓度， mg/L ；

BOD_{out} ：污水厂出水 BOD 的年平均浓度， mg/L ；

NH_3-N_{in} ：污水厂进水 NH_3-N 的年平均浓度， mg/L ；

NH_3-N_{out} ：污水厂出水 NH_3-N 的年平均浓度， mg/L 。

8.2 设计污水厂全生命周期碳减排目标差

待设计污水厂相对于行业同类平均水平的全生命周期碳排放强度差按公式（46）计算：

$$CI_{lc,g} = CI_{lc,net,vy} - CI_{lc,net,av} \quad (46)$$

式中：

$CI_{lc,g}$: 设计污水厂相对于行业同类平均水平的全生命周期碳排放强度差, kg CO₂-eq/m³;

$CI_{lc,net,vy}$: 设计污水厂全生命周期碳排放强度, kg CO₂-eq/m³;

$CI_{lc,net,av}$: 行业同类平均水平的全生命周期碳排放强度, kg CO₂-eq/m³; 见附表 B-11。

8.3 污水厂全生命周期节点碳排放贡献度

污水厂全生命周期碳排放节点分析基于各处理阶段(或用电设备或药剂类型等)的碳排放贡献度, 按公式(47)计算:

$$CB_{lc,st} = (CE_{lc,st}/CE_{lc,net}) \times 100\% \quad (47)$$

式中:

$CB_{lc,st}$: 污水厂全生命周期任意待分析的处理阶段(或用电设备或药剂类型等)的碳排放贡献度, %;

$CE_{lc,st}$: 污水厂全生命周期内任意待分析的处理阶段的碳排放量, kg CO₂-eq;

$CE_{lc,net}$: 污水厂全生命周期碳排放量, kg CO₂-eq。

附录 A

表 A-1 本标准碳排放量核算公式采用以下符号进行编写。

符号			
碳排放量	CE	替碳量	CA
污染物	COD, TN, TOC	排放因子	EF
不同温室气体的全球排放潜能	f	物质消耗质量	M
水量	Q	电量	E
气体体积	V	热量	H
距离	L	强度	CES
污染物削减排放强度	$CESP$	能源强度	EI
质量分数	P	其他比例关系	ω
服务年限	T	核算周期(每个二级标题的最后 一个三级标题汇总该部分碳排 放之和, 此时使用核算周期)	t
干物质中含碳比例	CF	污泥中化石碳比例	FCF
沼气泄露比例	F	氧化因子	OF
实际供热量、供冷量	A	碳排放强度	CI
耗氧污染物削减量	X	评估年度相对于基准年度碳减 排量	CR
评估年度相对于基准年度碳排 放强度减排	CRI	碳排放贡献度	CB
甲烷修正因子	MCF		
脚标			
甲烷	CH_4	氧化亚氮	N_2O
二氧化碳	CO_2	天然气	ng
污水处理过程	w	污泥处理过程	s
进	in	出	out
外加碳源	e	燃料	fc

电能	<i>ec</i>	药剂	<i>cc</i>
膜组件	<i>rp</i>	不同电网	<i>p</i>
资源能源	<i>re</i>	运输方式	<i>k</i>
污泥厌氧消化过程	<i>ad</i>	污泥好氧发酵	<i>af</i>
污泥焚烧过程	<i>inc</i>	污泥热解碳化	<i>py</i>
热泵	<i>hp</i>	光伏	<i>pv</i>
泵	<i>pump</i>	化石源	<i>f</i>
沼气	<i>biogas</i>	污泥	<i>ss</i>
延伸过程	<i>ex</i>	回用水	<i>ws</i>
城市取水	<i>it</i>	城市供水输送	<i>sp</i>
通风设施	<i>vt</i>	除臭设施	<i>od</i>
污泥处置过程	<i>sd</i>	污泥运输	<i>trans</i>
污泥土地利用	<i>land</i>	污泥卫生填埋	<i>lf</i>
天（以天为最小核算单位）	<i>m</i>	并列的参数，比如药剂、 燃料等	<i>j</i>
氮	<i>N</i>	磷	<i>P</i>
氮肥	<i>N – FERT</i>	磷肥	<i>P – FERT</i>
基准年度	<i>by</i>	评估年度	<i>vy</i>
净值	<i>net</i>	污水处理任意阶段	<i>st</i>
其他类型回收可利用材料	<i>other</i>	行业平均水平	<i>av</i>
评估污水厂相对于行业同类水平	<i>g</i>	耗氧污染量	<i>x</i>
任意待分析污水处理阶段	<i>st</i>	建设阶段	<i>cs</i>
拆除阶段	<i>dm</i>	全生命周期	<i>lc</i>

符号示例

符号	含义
----	----

$CE_{w-CH_4,m}$	污水厂污水处理阶段第 m 天的 CH_4 排放的二氧化碳当量
$COD_{in,m}$	污水厂第 m 天的平均进水 COD 浓度
EF_{w-CH_4}	污水处理中 CH_4 的排放因子
$M_{e,m}$	污水处理第 m 天的外加碳源的平均用量
$M_{fc,j,m}$	第 j 类燃料的第 m 天的燃烧量
$EF_{ec,p}$	污水厂所在区域 p 的发电行业平均 CO_2 当量排放因子
$L_{cc,j,k}$	第 j 种药剂采用 k 种运输方式的运输距离
CE_{w-b}	污水厂污水处理段核算周期内的生化反应碳排放量
$CE_{s-CH_4,ad,m}$	第 m 天污泥厌氧消化过程 CH_4 排放的二氧化碳当量
$EF_{s-CH_4,af}$	污泥好氧发酵过程 CH_4 的排放因子
$CE_{sd-fc,r}$	核算周期内的第 r 种污泥处置方式燃料消耗排放的二氧化碳当量
$CA_{hp,m}$	第 m 天热泵产热或制冷的替碳量
CE_{net}	污水厂核算周期内的运维过程净碳排放量
CI_{net}	污水厂核算周期内的运维过程净碳排放强度
CR_{net}	评估年度相对于基准年度的运维过程净碳减排量
CRI_{net}	评估年度相对于基准年度的运维过程净碳排放强度减排

附录 B

附表 B-1 温室气体变暖潜能

类别	*温室气体变暖潜能 kg CO ₂ -eq/kg
f_{CH_4}	28
f_{N_2O}	265

说明：*来自 IPCC 第五次评估报告。该数值随 IPCC 官方数据更新。

附表 B-2 化石燃料燃烧的碳排放因子

燃料	CO ₂ (kg CO ₂ / TJ)	CH ₄ (kg CH ₄ / TJ)	N ₂ O (kg N ₂ O/ TJ)	CO ₂ 排放总量 (kg CO ₂ -eq/ TJ)
炼焦煤	94600	300	1.5	103398
烟煤	94600	300	1.5	103398
无烟煤	98300	300	1.5	107098
焦炭	10700	300	1.5	19498
原油	73300	10	0.6	73739
汽油	69300	10	0.6	69739
煤油	71900	10	0.6	72339
柴油	74100	10	0.6	74539
液化石油气	63100	5	0.1	63267
炼厂干气	57600	5	0.1	57767
煤焦油	80700	300	1.5	89498
天然气	56100	5	0.1	56267
焦炉煤气	44400	5	0.1	44567
焦炭制气	10700	5	0.1	10867
数据来源：IPCC 2006 指南-固定式燃烧的默认排放因子（住宅和农林渔业）				

附表 B-3 我国分区电能的碳排放因子

电网名称	服务省份	排放因子 kg CO ₂ -eq/(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 ^a	0.9419
东北区域电网	辽宁省、吉林省、黑龙江省、内蒙古自治区 ^a	1.0826
华东区域电网	上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省	0.7921
华中区域电网	河南省、湖北省、湖南省、江西省、四川省、 重庆市	0.8587
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	0.8922
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	0.8042

数据来源于生态环境部发布的《2019 年度减排项目中国区域电网基准线排放因子》，随官方数据更新；
^a 赤峰、通辽、呼伦贝尔和兴安盟采用“东北区域电网”因子，其外的内蒙古地区采用“华北区域电网”因子。

附表 B-4 化学药剂种类与碳排放因子

药剂类别	药剂名称与性质	排放因子 kg CO ₂ -eq/kg
碳源	葡萄糖（白色粉末，含量≥99%）	1.40 ¹
	乙酸钠（白色粉末，含量≥99%）	2.90 ¹
	甲醇（天然气制备甲醇）（液体，含量≥99%）	0.65 ¹
	甲醇（煤制甲醇）（液体，含量≥99%）	2.96 ²
	乙酸（含乙酸 98%）	1.92 ¹
	淀粉（平均淀粉含量 83%）	0.63 ¹
	面粉（平均淀粉含量 72%）	1.00 ¹
除磷药剂	聚合氯化铝（按 Al ³⁺ 质量计）	6.19 ³
	氯化铁（按 Fe ³⁺ 质量计）	2.86 ³
	氯化亚铁	0.22 ¹
	硫酸铝（液体，Al ₂ O ₃ 质量分数 8.25%，符合 GB31060-2014 水处理机 硫酸铝要求）	0.15 ³
	硫酸铝（固体，Al ₂ O ₃ 质量分数 17%，符合 GB31060-2014 水处理机 硫酸铝要求）	0.30 ³
	硫酸铁（按 Fe ³⁺ 质量计）	0.23 ³
	聚丙烯酰胺（固体粉末，固含量≥90%）	2.85 ¹
中和剂	碳酸氢钠（工业用白色结晶粉末，NaHCO ₃ 含量≥99.0%）	1.17 ⁴
	氢氧化钠（固体粉末）	0.46 ⁴
	氢氧化钙（固体粉末）	1.11 ¹
	碳酸钠（白色晶体，NaCO ₃ 含量≥99%）	1.46 ¹
	生石灰（粉状，CaO 含量≥99%）	1.18 ¹
	盐酸（工业用盐酸溶液，浓度 30%）	1.20 ⁴
	柠檬酸（工业级一水柠檬酸结晶）	8.17 ¹
消毒剂	次氯酸钠（工业级次氯酸钠溶液，含次氯酸钠 15%）	2.99 ¹
	二氧化氯（白色结晶，含量≥99%）	9.31 ¹
	液氯	1.08
	氯酸钠（固体，氯酸钠含量≥99%）	5.11 ¹
	臭氧（使用臭氧发生器的污水厂，可使用发生器耗电量代替臭氧的碳足迹）	12.88 ¹
	氧气	0.32 ⁵
其他药剂	磁铁	0.0081 ¹
	微砂	0.12 ¹
	高锰酸钾	1.73 ¹
	活性炭粉末	7.96 ¹

***数据来源:

1. Ecoinvent Database 或基于该数据库的二次建模计算.
2. Kajaste, R., Hurme, M. & Oinas, P. Methanol-Managing greenhouse gas emissions in the production chain by optimizing the resource base. *AIMS Energy* **6**, 1074–1102 (2018).
3. INCOPA. Life Cycle Analysis of Leading Coagulants : Executive Summary Format of this document. (2014).
4. Veolia Water & City of Winnipeg. WINNIPEG SEWAGE TREATMENT PROGRAM - South End PLant. Appendix 7 (2011).
5. Xiang X, Jia S. China's water-energy nexus: Assessment of water-related energy use Resources, Conservation and Recycling, 2019, 144: 32-38.

附表 B-5 膜组件更新的碳排放因子

类别	膜材质	排放因子
MBR 膜组件	聚氯乙烯 (PVC)	3.19 (kg CO ₂ -eq/kg) ^a
	聚四氟乙烯 (PTFE)	11.4 (kg CO ₂ -eq/kg) ^a
反渗透膜	醋酸纤维素 (CTA)	1.29 (kg CO ₂ -eq/m ²) ^b
	复合薄膜 (TFC)	0.686 (kg CO ₂ -eq/m ²) ^b
数据来源:		
a. 实景数据来自膜组件厂家和文献调研, 根据加工过程进行生产过程及原材料消耗进行生命周期碳排放建模, 构建数据集, 背景数据来自Ecoinvent Database.		
b. SEN ÆN-SALINAS J, et al.. Resources, Conservation and Recycling, 2022, 179: 106075.		

附表 B-6 城市生活垃圾焚烧的 CH₄ 排放因子

城市生活垃圾焚烧的 CH ₄ 排放因子		
焚烧类型/技术 CH ₄ 排放系数 (以湿重为基础焚烧的 kg/Gg 废物)		CH ₄ 排放系数 (以湿重为基础焚烧的 kg/Gg 废物)
连续焚烧	加煤机	0.2
	流化床	~0
半连续焚烧	加煤机	6
	流化床	188
间歇性焚烧	加煤机	60
	流化床	237
数据来源: 源自 2006 年 IPCC 指南		

附表 B-7 城市生活垃圾热解熔融装置排放因子

城市生活垃圾热解熔融装置 CH ₄ 排放因子			
过程	工作温度	CH ₄ 排放因子 (湿基废物 g/t)	反应堆类型
热解熔融和 气化熔融	热解: 300-600°C	7.212 (n=11)	竖井类型
	气化: 700-900°C	9.70 (n=10)	流化床式

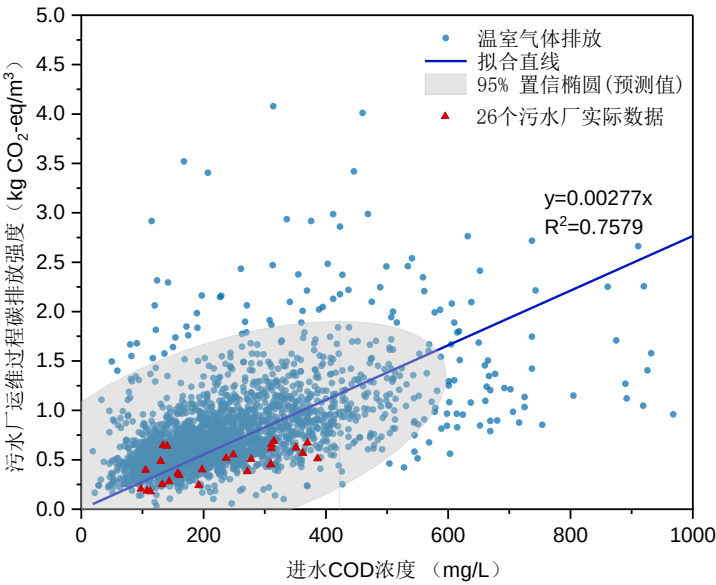
	熔化温度：1300-1700℃	5.40 (n=5)	回转窑式
城市生活垃圾热解熔融装置 N ₂ O 排放因子研究			
过程	工作温度	N ₂ O 排放因子 (湿基废物 g/t)	反应堆类型
热解熔融和 气化熔融	热解：300-600℃	17.42 (n=11)	竖井类型
	气化：700-900℃	7.20 (n=10)	流化床式
	熔化温度：1300-1700℃	8.383 (n=6)	回转窑式
数据来源：源自 2019 年 IPCC 指南更新			

附表 B-8 回用水替代供水生产过程的碳排放强度

给水厂类型	给水厂规模	供水过程的碳排放强度 kg CO ₂ -eq/m ³
小型	<5 万	0.52
中型	5 万-10 万	0.41
大型	10 万以上	0.30

附表 B-9 污水处理厂运维过程行业同类平均水平的碳排放强度 (kg CO₂-eq/m³)

处理 规模 (万 m ³ /d)	一级 B		一级 A		地表 IV (无再生水回用)		地表 IV (含再生水回用)	
	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围
0-1	0.89	0.14-4.12	0.92	0.17-6.50	0.92	0.48-1.79	0.77	0.1-1.43
1-10	0.65	0-6.55	0.77	0.13-3.31	0.82	0.4-1.91	0.60	0-1.84
10-5	0.59	0.24-1.35	0.70	0.29-1.34	0.85	0.48-1.35	0.46	0-1.35
≥50	——	——	0.99	0.44-1.81	1.12	0.88-1.37	0.92	0.66-1.27



附图 1 污水处理厂核算周期内进水 COD 与运维过程碳排放强度线性关系。(蓝点为来自统计年鉴的 2439 个污水处理厂碳排放强度，红点为实际调研的 26 个污水处理厂运行数据)

【图表说明】附表 B-9，附图 1

由于年鉴中各水厂的污泥处理处置的信息不全面，统计图表中 2439 个污水厂运维过程净碳排放量均值中污泥处理排放对应建设部给出的分省份污泥厂内处理处置路径的百分比构成折算。

路径如下：A) 厌氧消化+部分厂内土地利用；B) 好氧堆肥+部分厂内土地利用；C) 脱水至 60%-80%含水率外运处理；D) 深度脱水外运；E) 焚烧。

运维过程的厂内污泥处理碳排放最小值对应路径 A，最大值对应路径 B。

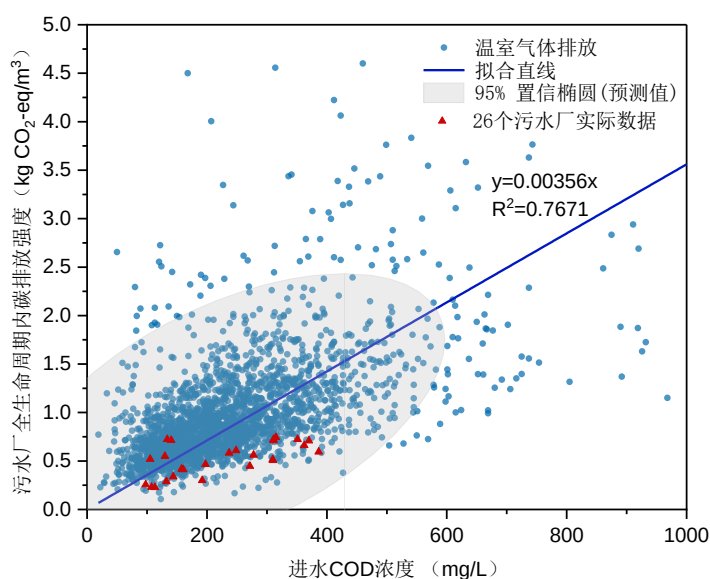
实际调研的 26 个污水处理厂的污泥处理处置为实际情况。

附表 B-10 5 种常规污泥处置途径的平均碳排放量 (kg CO₂-eq/干污泥)

污泥处置类型	平均碳排放强度
厌氧消化+土地利用	339.38
好氧堆肥+土地利用	548.36
卫生填埋	3487.02
焚烧+填埋	519.57
焚烧+建材	325.34

附表 B-11 污水处理厂全生命周期内行业同类平均水平的碳排放强度 (kg CO₂-eq/m³)

处理 规模 (万 m ³ /d)	一级 B		一级 A		地表 IV (无再生水回用)		地表 IV (含再生水回用)	
	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围
0-1	1.16	0.18-5.11	1.19	0.23-15.54	1.08	0.53-2.16	0.92	0.15-1.99
1-10	0.84	0.05-12.34	0.97	0.21-6.03	1.05	0.52-4.49	0.83	0.06-4.42
10-5	0.79	0.29-2.18	0.89	0.34-2.72	1.06	0.53-2.13	0.67	0-1.9
≥50	—	—	1.22	0.49-4.33	1.29	0.95-2.17	1.09	0.77-2.07



附图 2 污水处理厂全生命周期内进水 COD 与温室气体碳排放强度线性关系。(蓝点为统计

年鉴 2439 个污水处理厂碳排放强度，红点为实际调研的 26 个污水处理厂运行数据）

【图表说明】附表 B-11，附图 2

由于年鉴中各水厂的污泥处理处置的信息不全面，统计图表中 2439 个污水厂全生命周期碳排放量均值中污泥处理处置排放对应建设部给出的分省份污泥处理处置路径的百分比构成折算。

路径如下：A) 厌氧消化+土地利用；B) 好氧堆肥+土地利用；C) 脱水+填埋；D) 焚烧+建材利用；E) 焚烧+填埋。

运维过程的厂内污泥处理碳排放最小值对应路径 A 和 D，最大值对应路径 C。

实际调研的 26 个污水处理厂的污泥处理处置为实际情况。

附表 C 污水厂碳排放核算资料收集

污水处理碳排放核算基础数据收集表														
基础信息														
公司名称		水厂名称		污水厂位置		设计服务年限		排水体制	是否为地下式		除臭方式		服务人口 (万人)	
XXX		XX 污水处理厂		XX 省 XX 市		XX 年		示例： 分流制	地上式/半地下式/ 地下式		示例：地上式且无除臭 电耗			
设计处理能力 (万 m³/d)		实际处理能力 (万 m³/d)		水力负荷率 (%)		出水执行标准		设计进水 COD (mg/L)		投资成本 (万元)		运行成本 (元/m³)		
				实际/设计*100		一级 A				XX				
工艺信息														
一级处理	示例：粗格栅+细格栅+曝气沉砂 +初沉池			二级处理		示例：AAO+二次沉淀池			三级处理		示例：混凝+高效沉淀池+V 型滤池			
再生水信息									出渣量					
再生水 用途	例：格栅 冲洗	再生水产量 (万 m³/d)		再生水回用量 (万 m³/d)			再生水设计能力 (万 m³/d)			格栅除渣量 (m³/d)			沉沙除渣量 (m³/d)	
水量水质信息				物质和能源信息										
项目		单位	数值	电能 (kWh/d)		燃料 (折合的标准煤量) (t/d)		药耗 (kg/d)						
水量数据	进水 水量	万 m³/d		项目	数值	项目	数值	处理 阶段	药耗种类	种类	有效成分	用量		
	出水 水量	万 m³/d		总电耗			全厂总燃料消耗量		二级 处理	同步化学 除磷药剂				

	自来水 用量	万 m ³ /d		污水过程总电耗 (不含污泥)		燃煤			外加碳源			
进水水质	COD	mg/L		污泥处理总电耗 (不含污水)		油料			膜清洗 药剂			
	BOD ₅	mg/L		外购电量		燃气		三级 处理	深度处理 混凝剂			
	氨氮	mg/L		厂内清洁能源电量		总外购热量			反硝化外 加碳源			
	总氮	mg/L		光伏发电量		沼气产热利用量			高级氧化 和消毒剂			
	总磷	mg/L		沼气发电量		水源热泵产热量		其他 药剂	中和剂			
	TOC	mg/L		污泥焚烧发电量		污泥焚烧产热量						
出水水质	COD	mg/L				污泥焚烧产热量						
	BOD ₅	mg/L				其他						
	氨氮	mg/L						膜组件信息				
	总氮	mg/L						膜组件种类	单位	数值		
	总磷	mg/L						示例：聚氯乙烯 (PVC)	kg 或 m ²			
	TOC	mg/L						更换周期				

污泥处理处置碳排放核算基础数据收集表										
污泥处理厂位置	项目	数值	单位	项目	数值	单位	项目	数值	单位	
XX 省 XX 市	二沉池污泥产量		t/d	出厂污泥含水率		%	最终出场污泥处置量（干污泥）		t/d	
	污泥有机质含量		t/d	全链条污泥处理方式	浓缩脱水-卫生填埋		污泥处理过程总电耗（不含污水）		kWh/d	
污泥浓缩或脱水（含深度脱水）										
项目	内容	项目	数值	单位	项目	数值	单位	项目	数值	单位
浓缩方式	重力浓缩	干污泥产量		t/d	浓缩药耗（标注有效成分）		kg/d	浓缩电耗		kwh/d
脱水方式	带式脱水	脱水污泥含水率		%	脱水药耗（标注有效成分）		kg/d	脱水电耗		kwh/d
处理路径										
厌氧消化			好氧发酵			干化-焚烧/协同焚烧			热解碳化/气化	
沼气产量		m³/d	污泥处理量		t 干污泥/d	脱水污泥量		t/d	脱水污泥量	t 干污泥/d
甲烷回收体积		m³/d	有机质含量		t/d	焚烧系统进泥含水率		%	热解进泥含水率	%
未被发电沼气产量		m³/d	系统总电耗		kWh/d	焚烧处理量		t/d	热解处理量	t 干污泥/d
沼气发电量		kWh/d	系统燃料消耗		kJ/d	焚烧系统富余热量		kJ/d	热解系统富余热量	kJ/d
沼气产热量		kJ/d	药剂种类与消耗量		kg/d	系统总电耗		kwh/d	热解炭产量	t/d
系统总电耗(不含沼气发电)		kWh/d				系统燃料消耗		kJ/d	系统总电耗	kWh/d
系统燃料消耗		kJ/d				药剂种类与消耗量		kg/d	系统燃料消耗	kJ/d
药剂种类与消耗量		kg/d							药剂种类与消耗量	kg/d
处置路径										
土地利用			污泥（灰渣）填埋				建材利用			
污泥产物产量	数值	单位	污泥有机碳含量	数值	单位		焚烧灰渣量	数值	单位	
污泥氮含量			运输距离				建材利用方式			
污泥磷含量			污泥填埋方式				建材利用替代量			
运输距离			沼气收集利用量				运输距离			

