

编者按 为深入探讨污水处理行业的节能降耗减碳问题，编辑部特邀请清华大学环境学院王凯军教授、中国科学院生态环境研究中心魏源送研究员和清华大学环境学院王启宾高级工程师为专题学术编辑，组织“面向减污降碳协同增效的污水处理系统运行管理研究与实践专题”，从本期（5篇）开始陆续刊登，以期污水处理行业落实减污降碳协同增效提供参考。



文章栏目：面向减污降碳协同增效的污水处理系统运行管理研究与实践专题

DOI 10.12030/j.cjee.202210110 中图分类号 X703 文献标识码 A

王洪臣, 陈加波, 张景炳, 等. 《污水处理厂低碳运行评价技术规范》标准解读及案例展示[J]. 环境工程学报, 2023, 17(3): 705-712.
[WANG Hongchen, CHEN Jiabo, ZHANG Jingbing, et al. Standard interpretation and case presentation *Technical Specification for Low-Carbon Operation Evaluation of Sewage Treatment Plant*[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(3): 705-712.]

《污水处理厂低碳运行评价技术规范》标准解读及案例展示

王洪臣[✉], 陈加波, 张景炳, 姜昭, 李乾岗, 邵宇婷, 张彤彤, 陈慧玲

中国人民大学环境学院低碳水环境技术研究中心, 北京 100872

摘要 为响应国家减污降碳政策的号召, 满足污水处理行业碳排放核算与评价的实际需求, 根据碳排放核算标准化工作需要, 中国环境保护产业协会于 2022 年 6 月首次发布了污水处理厂低碳相关的团体标准——《污水处理厂低碳运行评价技术规范》(T/CAEPI-2022)。该标准是我国污水处理领域首个低碳团体标准, 规定了以城镇污水处理厂为主的污水处理厂碳排放核算的方法和低碳运行的评价等级划分, 适用于污水处理厂的碳排放核算、低碳运行评价、低碳设计和改造等方面。从标准制订背景出发, 阐述了碳排放强度核算和评价的依据、基本条件、内容、流程, 并通过案例以期为广大同行理解标准、落实标准和推广标准提供参考。

关键词 污水处理厂; 低碳运行评价; 碳排放核算; 直接碳排放; 间接碳排放

为响应“碳达峰、碳中和”国家战略, 加快建立污水处理行业的低碳核算和评价标准体系, 协同推进污水处理厂减污降碳, 并引导污水处理厂实现精细化管理与低碳运行, 特制定团体标准《污水处理厂低碳运行评价技术规范》(T/CAEPI 49—2022)。该标准基于《2006 IPCC 国家温室气体清单指南》(IPCC 即联合国政府间气候变化专门委员会, 全称 Intergovernmental Panel on Climate Change), 从直接碳排放和间接碳排放两方面详细阐述了碳排放强度核算内容和步骤, 最后梳理了污水处理厂低碳运行评价的基本条件及内容, 以期为相关行业从业人员理解标准、落实标准提供参考。此标准由中国环境保护产业协会批准, 经中国环保产业协会城镇污水处理分会组织制定, 以中国人民大学为主要起草单位, 于 2022 年 6 月 6 日发布, 并于 2022 年 7 月 1 日起正式实施。

1 标准制订的背景

污水处理行业是区域经济发展的重要引擎, 其碳排放量约占全社会总碳排放的 1%~3%^[1]。到 2030 年, 全球污水处理行业的 CH₄ 和 N₂O 逸散量将分别超过 6 亿吨和 1 亿吨二氧化碳当量 (CO₂-eq), 约占非二氧化碳总排放量的 4.5%, 是重要的碳排放源^[2]。因此, 应率先将“低碳”贯穿到污水处理

收稿日期: 2022-10-24; 录用日期: 2023-02-18

第一作者: 王洪臣 (1964—), 男, 博士, 教授, whc@ruc.edu.cn; ✉通信作者

的发展理念、发展方式、产业结构、增长动力、效益评价等各环节中。目前,污水处理低碳发展面临诸多现实问题:对温室气体减排措施的研究不够深入,基础数据不足,监测手段缺乏,且实现污水处理行业碳减排的路径不够明确等。因此,亟需加强对污水处理碳排放的核算与评价,以促进减污降碳的进一步发展,其中指定相关规范性文件是污水处理行业低碳发展的重要保障。

国际上已发布了多项碳排放核算政策与标准,其中,基于“碳足迹”对温室气体核算的包括ISO 19694《固定源排放—确定能量密集型行业的温室气体排放》系列标准、ISO 14067:2013《温室气体—产品碳足迹—量化与沟通的规则与指南》等,基于排放因子法的核算标准有《IPCC 2006年国家温室气体清单指南 2019修订版》。国内也已发布多项温室气体排放核算标准,包括国家标准《工业企业温室气体排放核算和报告通则》(GB/T 32150-2015)和12项针对具体行业的标准(GB/T 32151.1~12)。然而,不同行业的温室气体排放核算方法仍存在差异,污水处理行业缺少统一的碳核算方法和评价标准,并缺乏相关低碳建设、运营的理论指导,难以科学全面地评价污水处理厂低碳运行水平,污水处理的节能减排仍停留在经验层面。

《污水处理厂低碳运行评价技术规范》(T/CAEPI 49—2022)的制订可填补我国污水处理领域低碳核算和低碳运行评价标准的空白,完善我国低碳评价方法体系,在提标改造的同时实现减污降碳,为后续行业标准,以及国家标准、低碳认定细则的编制提供参考。

2 标准的制定原则与科学方法

2.1 标准编制的基础与方法

1) 编制的政策、文件和标准依据。《污水处理厂低碳运行评价技术规范》(T/CAEPI 49-2022)以习近平总书记生态文明建设理念为指导,以《2030年前碳达峰行动方案》、《国家适应气候变化战略 2035》、《减污降碳协同增效实施方案》、《城镇污水处理厂运营质量评价标准》(CJJ/T228-2014)、《温室气体核算体系》和《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指南》(ISO 14064-1:2018)等国家和地方有关文件为依据。

2) 标准的制订目标、基本原则。该标准的制订目标与减污降碳的目标紧密结合,旨在完善污水处理行业评价指标体系,指导污水处理厂低碳运行和实现碳减排目标。该标准制订的基本原则为:与国家和地方相关环境标准和污染物排放标准相协调的同时,从全局出发,兼顾全社会与全行业的综合效益,广泛调动各方积极性,综合分析实施标准的技术经济可行性,充分考虑标准使用要求,使该标准具有可操作性。

3) 标准制订的方法和过程。在该标准制订过程中充分调查研究、广泛征求意见,并依靠系统的和科学的分析方法,考虑区域环境的特点和与现有标准的衔接,以提高标准的整体性、系统性和可行性。根据低碳运行评价内容的需要,该标准引用了密切相关的现行标准作为该标准的延伸技术规定,引用文件的管理规定和技术要求视为该标准的一部分。

2.2 核算边界

核算边界是重要的碳排放核算与评价依据。在时间边界上,污水处理厂运行包括污水进入污水处理厂的粗格栅后,经过一系列的一级处理、二级处理和三级处理后排出的过程。此过程包括去除污水中固体污染物质、有机污染物以及难降解有机和无机污染物等。具体在空间边界的体现,即污水在上述处理过程中厂界内各具体构筑物,因此,本标准的空间边界不包括办公区和污泥深度处理区(即污泥脱水外的过程)。

本标准以城市污水处理厂为主,不包括工业污水处理厂和汇入较多工业污水的城镇污水处理厂。根据城镇污水处理厂的碳排放活动,确定以下6种碳排放类型:1)全生命周期各个阶段直接燃烧消耗化石燃料的直接碳排放;2)污水处理厂内各处理构筑物及传输过程由微生物为主产生并

排放的 CH_4 、 N_2O 和非生源性 CO_2 直接碳排放；3) 全生命周期各个阶段化石燃料生产电能、热能等过程产生的间接碳排放；4) 全生命周期所消耗材料，主要为化学药剂生产产生的间接碳排放；5) 运输材料过程所产生的直接碳排放；6) 资源、能源等回收形成的碳补偿。

3 标准的主要内容

标准内容主要分为碳排放强度核算与低碳运行评价两部分。碳排放强度核算可分为直接碳排放核算和间接碳排放核算。评价指标体系分为定量评价和定性评价。定量评价是以碳排放核算为基础的评价；定性评价是对设施设备低碳改造、优化运行、低碳建设、监测与核算等低碳行为的评价。

3.1 碳排放强度的核算内容

3.1.1 核算公式

根据 IPCC 排放因子法^[1] 计算污水处理厂 N_2O 、 CH_4 和 CO_2 的排放强度，计算公式见式 (1)。

$$\text{温室气体排放强度} = \text{活动数据} \times \text{排放因子} \times \text{全球变暖潜能值(GWP}_{100}) \quad (1)$$

式中：活动数据是污水处理过程中排放的温室气体和生产或消费活动的活动量，如污水处理构筑物产生的温室气体、化石燃料的消耗量、净购入的电量、化学药品的消耗量、净购入的热量等；排放因子是与活动水平数据对应的系数，表征单位生产或消费活动量的温室气体排放系数。排放因子与全球变暖潜能值 GWP_{100} 参考自《IPCC 2006 年国家温室气体清单指南 2019 修订版》^[3]。

3.1.2 直接碳排放强度

直接碳排放为污水生物处理单元产生的 N_2O 排放、 CH_4 排放和化石燃料燃烧产生的 CO_2 排放，如公式 (2) 所示。计算出的温室气体排放量乘相应气体的 GWP_{100} ，即为该气体直接碳排放强度值。IPCC 认为污水处理厂由生物分解产生的 CO_2 归为生源性碳，因此产生的 CO_2 不纳入碳排放的计算^[3]。

$$E_d = E_{\text{N}_2\text{O}} + E_{\text{CH}_4} + E_{\text{CO}_2} \quad (2)$$

式中：碳排放强度单位为 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ，是以 CO_2 排放当量计，即每方水排放碳强度为多少千克 $\text{CO}_2\text{-eq}$ ，本文所有碳排放强度皆为此单位，后不再赘述； E_d 为直接碳排放强度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ； $E_{\text{N}_2\text{O}}$ 为 N_2O 直接碳排放强度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ； E_{CH_4} 为 CH_4 直接碳排放强度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ； E_{CO_2} 为 CO_2 直接碳排放强度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

3.1.3 间接碳排放强度

间接碳排放强度按公式 (3) 计算，包括电力、热力等能耗碳排放和化学药剂 (碳源、除磷药剂、脱水药剂、消毒药剂等) 消耗的物耗碳排放。

$$E_i = E_e + E_h + E_c \quad (3)$$

式中： E_i 为间接碳排放强度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ； E_e 为电耗碳排放强度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ； E_h 为热耗碳排放强度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ； E_c 为物耗碳排放强度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

3.2 污水处理厂的低碳运行评价

3.2.1 评价基本条件

该标准主要适用于城镇污水处理厂碳排放核算和低碳运行水平的评价，进行核算与评价的污水处理厂应满足如下 5 个基本条件。1) 符合其他污染物排放标准，无超标现象。2) 评价周期为一年，一般从每年的 1 月 1 日至 12 月 31 日计，取日平均值，以避免一年中不同季节、不同月份或一天中不同时间的温度、湿度及其它因素引起的碳排放差异。3) 污水处理厂需完成环保验收才能参与评价，且要投产 1 年以上，以保证污水处理厂运行数据的准确性和有效性。4) 污水处理厂平均水量负荷率应该大于设计处理水量的 50%，工业废水进水比例应小于 10%；污水处理厂设计处理

水量与实际处理水量差距过大,造成基础建设、设备采购、运行成本等方面碳排放增加,造成资源的浪费,也与低碳相悖。工业废水的汇入对城镇污水处理厂运行有一定影响,若出水需达标则需要增加碳排放例如电耗或药剂,因此工业废水进水比例应小于10%。5) 监测、运行与样品采集、记录过程中均要遵循现行的标准和工艺运行管理原则。化验监测、日常化验检测项目及周期应遵循国家现行标准和工艺运行管理需要的原则。此外,污水处理厂应完整并准确记录工艺运行参数和能耗物耗等数据。规范样品的采集、化验、记录过程,确保核算与评价结果的准确性。

3.2.2 低碳运行评价指标体系

根据文献资料与实践调研分析,评价指标体系分为定量评价指标和定性评价指标两大类,细分为二级评价指标体系(表1)。定量评价指标包括一级指标(评价碳排放强度)、二级指标(直接碳排放修正强度、间接碳排放修正强度)。定性评价指标包括一级指标(低碳行为)、二级指标(设施设备低碳改造、优化运行、低碳建设、监测与核算)。

表1 污水处理厂低碳运行评价指标体系
Table 1 Low-carbon operation evaluation index system of sewage treatment plant

分类	一级指标	二级指标	其他指标与系数
定量评价	评价碳排放强度 (E_p)	直接碳排放修正强度 (E_{dc})	直接碳排放强度 (E_d)
			总氮去除率修正系数 (k_1)
		间接碳排放修正强度 (E_{ic})	间接碳排放强度 (E_i)
			处理规模修正系数 (k_2)
			耗氧污染物削减量修正系数 (k_3)
		出水排放标准修正系数 (k_4)	
		臭气控制程度修正系数 (k_5)	
定性评价	低碳行为	设施设备低碳改造 优化运行 低碳建设 监测与核算	

3.2.3 评价碳排放强度

(1) 碳排放修正强度分数

针对污水处理过程的差异性,该标准提出归一化的碳排放评价方法。碳排放修正强度是对由于总氮去除率、处理规模、耗氧污染物削减量、出水排放标准以及臭气控制程度等因素导致的客观碳排放差异进行修正后的碳排放强度。为了避免不同污水处理厂的规模、总氮去除率、出水排放标准、耗氧污染物削减量和除臭程度差异的情况,确保污水处理厂低碳运行评价的有效性、合理性和公平性,在评价指标中提出了修正系数,用于碳排放强度的修正。修正系数是基于污水处理厂运行过程中上述因素对单位污水处理碳排放的影响系数。该标准确定了用于修正碳排放强度的5项修正系数,分别为总氮去除率修正系数 k_1 、处理规模修正系数 k_2 、耗氧污染物削减量修正系数 k_3 、出水排放标准修正系数 k_4 和臭气控制程度修正系数 k_5 。

1) 总氮去除率修正系数 k_1 。总氮去除率修正系数 k_1 的提出是基于总氮去除率对直接碳排放的影响。污水处理厂的总氮去除率 (η_{TN}) 越高, N_2O 排放因子越低^[4],直接碳排放强度越低。因此,采用总氮去除率修正系数 k_1 修正直接碳排放强度。

2) 处理规模修正系数 k_2 。处理规模修正系数 k_2 的提出是基于处理水量对电耗的影响。当处理规模较小时，吨水电耗较高；当处理规模较大时会呈现出一定的规模效应，吨水电耗较小。

3) 耗氧污染物削减量修正系数 k_3 。进水水质常见指标包括 COD、BOD₅、SS、NH₄⁺-N、TN 和 TP 这 6 项。其中，进水 COD (或 BOD₅) 和 NH₄⁺-N (或 TN) 的降解和转化需要消耗大量氧气，会直接增加电耗；TN 的去除还可能需外加碳源，增加药耗；TP 的去除需要化学除磷药剂，同样会增加药耗。因此，耗氧污染物削减量修正系数 k_3 的提出是基于污染物削减量对间接碳排放强度的影响。

4) 出水排放标准修正系数 k_4 。现行出水排放标准主要为一级 A、一级 B 或者地方标准，基于此，该标准将出水排放标准划分为高于一级 A、一级 A 和低于一级 A 三档，高于一级 A 又分为 COD 限值为 40 mg·L⁻¹ 和 COD 限值小于等于 30 mg·L⁻¹ 两档。出水排放标准是出水水质的区分，也是污水处理工艺的区分。当出水排放标准执行一级 A 或高于一级 A 时，必定会有深度处理单元，这会进一步增加污水处理厂的电耗、物耗，也会增加直接碳排放。因此，本标准规定出水排放标准修正系数 k_4 主要用于间接碳排放强度的修正。

5) 臭气控制程度修正系数 k_5 。目前，部分污水处理厂增加了除臭设施设备，该部分主要会增加电耗。因此，臭气控制程度修正系数 k_5 用于修正间接碳排放强度。无除臭指对污水处理厂各工艺单元产生的臭气未进行收集处理，部分除臭指对污水处理厂部分工艺单元的臭气进行收集处理，全部除臭指对全部工艺单元的臭气进行收集处理，包括加盖和地下式 2 种方式。

(2) 碳排放修正强度计算

该标准碳排放修正强度是基于总氮去除率修正系数、处理规模修正系数、耗氧污染物削减量修正系数、出水排放标准修正系数和臭气控制程度修正系数这 5 项修正系数对碳排放强度进行修正。

$$E_p = E_{dc} + E_{ic} \quad (4)$$

$$E_{dc} = E_{N_2O} \times k_1 + E_{CH_4} + E_{CO_2} \quad (5)$$

$$E_{ic} = [E_e \times (k_2 \cdot k_3) + E_h + E_c] \cdot k_3 \cdot k_4 \quad (6)$$

式中： E_p 为评价碳排放强度，kg·m⁻³； E_{ic} 为间接碳排放修正强度，kg·m⁻³； E_{dc} 为直接碳排放修正强度，kg·m⁻³； E_{N_2O} 为 N₂O 直接碳排放强度，kg·m⁻³； k_1 为总氮去除率修正系数，无量纲； E_{CH_4} 为 CH₄ 直接碳排放强度，kg·m⁻³； E_{CO_2} 为 CO₂ 直接排放强度，kg·m⁻³； E_e 为电耗碳排放强度，kg·m⁻³； E_h 为热耗碳排放强度，kg·m⁻³； E_c 为物耗碳排放强度，kg·m⁻³； k_2 为处理规模修正系数，无量纲； k_3 为耗氧污染物削减浓度修正系数，无量纲； k_4 为出水排放标准修正系数，无量纲； k_5 为臭气控制程度修正系数，无量纲。

3.2.4 低碳行为鼓励

该标准对污水处理厂低碳行为进行了界定，对开展污水处理设施设备低碳改造、全流程工艺单元的优化运行管理、低碳建设、温室气体监测与低碳运行核算等低碳行为进行加分鼓励。其中，设施设备主要体现在集约化、自动化、绿色高效等方面。优化运行则包括用电分区计量与评估、化学药剂优选与精准投加、生物处理系统优化调控。低碳建设包括采用污泥稳定化技术和清洁能源技术。温室气体监测与低碳运行核算包括污水处理厂开展重点温室气体 (CH₄、N₂O) 的现场监测并形成相关监测报告、实际碳排放核算并编制相关报告和低碳运行评价并形成年度报告。

3.2.5 低碳运行评价规则

评价分数是碳排放修正强度分数和低碳行为鼓励分数两部分的加权之和。经专家组评议，考虑现阶段污水处理行业的低碳行为占污水处理厂碳减排比重，将碳排放修正强度分数权重值定为

0.8, 低碳行为鼓励分数权重值定为0.2。根据分级需要及污水处理厂低碳运行评价总分数, 将污水处理厂低碳运行等级分为一级、二级和三级, 分别代表污水处理厂低碳运行水平优秀、良好和一般。

3.2.6 评价流程

污水处理厂低碳运行评价流程包括资料收集、资料核查、数据核算和等级评定4个部分, 如图1所示。根据运行数据, 经过甄别、计算和修正得到评价碳排放强度分数。根据低碳行为资料, 经过数据合适、现场核查、低碳行为认证得到低碳行为鼓励分数, 最终得出评价总分数并进行等级评。监管层面的低碳行为认证由监管部门专门成立的机构进行材料认定, 污水处理厂内部的评价由本厂专门负责低碳运行评价的部门认证。认证过程包括认证委托、文件评审、初始现场核查、认证结果评价与批准等。评价过程应保证数据的真实性、准确性与完整性。

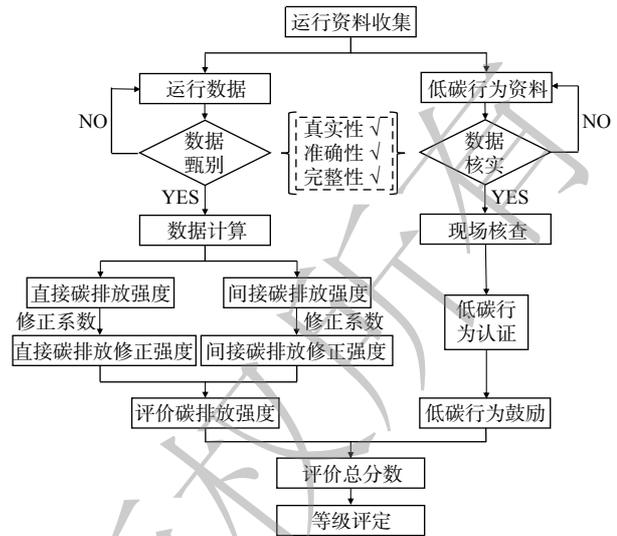


图1 污水处理厂低碳运行评价流程示意图

Fig. 1 Diagram of sewage low carbon operation evaluation process

4 案例展示

按照《污水处理厂低碳运行评价技术规范》(T/CAEPI 49—2022) 附录D表D.1、D.2和D.3要求, 收集A、B、C污水处理厂2021年1月1日—2021年12月30日每日运行数据(日平均值), 收集台账详见表2和表3。根据规范内公式计算得出污水处理厂低碳运行评价等级, 如表4所示。

表2 污水处理厂低碳运行评价资料收集表1

Table 2 Data collection table 1 for low-carbon operation evaluation of sewage treatment plant

污水设计处理厂	进水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	工业废水/进水比例/%	排放限值(COD)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	除臭型式	除臭程度	日进水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	进水COD/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	进水 BOD_5 / $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	进水氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	进水总氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	出水COD/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	出水 BOD_5 / $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	出水氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	出水总氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	污泥产量/ $(\text{kg} \cdot \text{d}^{-1})$	脱水率/%	污泥含水率/%	CH_4 回收体积/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
A	50 000	5.0	30	地下式	有除臭电耗	18 938	299	137	45	50	16	2.0	0.80	7.0	14	78	0	0
B	70 000	0	30	地上式	有除臭电耗	53 569	236	103	38	42	17	2.0	0.71	8.0	56 218	79	0	0
C	40 000	10	30	地上式	有除臭电耗	22 417	140	68	26	35	16	2.0	0.62	6.0	26	74	0	0

5 评述

污水处理厂的碳排放核算主要是依据IPCC排放因子法, 而污水处理厂的低碳运行评价内容是首次提出。评价标准制定过程主要是将不同的污水处理厂低碳运行水平受不同运行情况(例如水量、进水水质和排放标准等)进行类似归一化处理。低碳行为的鼓励是对污水处理厂低碳工作的定性评价指标, 旨在对污水处理厂现有低碳工作的肯定, 以及鼓励污水处理厂在后续设计、运行和

表3 污水处理厂低碳运行评价资料收集表2

Table 3 Data collection table 2 for low-carbon operation evaluation of sewage treatment plant

污水处理厂	用于生产的外购总耗电量/ (kW·h·d ⁻¹)	每日热能消耗量 (折合为标准煤量)/(kg·d ⁻¹)	每日化石燃料 种类及其使用量 (折合为标准煤量)/ (kg·d ⁻¹)	每日化学药剂 种类和纯品重量/ (kg·d ⁻¹)
A	15 813	0	0	乙酸钠878、聚丙烯酰胺27、聚合硫酸铝141、次氯酸钠644
B	24 788	0	0	除磷剂188、次氯酸钠1 744、聚丙烯酰胺49、碳源805
C	6 158	0	0	乙酸钠395、PAM聚丙烯酰胺17、聚合氯化铝169、次氯酸钠756

表4 污水处理厂低碳运行评价等级计算表

Table 4 Calculation table of low-carbon operation evaluation grade of sewage treatment plant

污水处理厂	总氮去除率修正系数 k_1	处理规模修正系数 k_2	耗氧污染物削减量修正系数 k_3	出水排放标准修正系数 k_4	臭气控制程度修正系数 k_5	直接碳排放修正强度 $E_{dc}/$ (kg·m ⁻³)	间接碳排放修正强度 $E_{ic}/$ (kg·m ⁻³)	评价碳排放强度 $E_p/$ (kg·m ⁻³)	评价碳排放强度分数 F_1	低碳行为鼓励分数 F_2	低碳运行评价总分 F	评价等级
A	0.003 5	0.95	0.80	0.64	0.90	0.065	0.35	0.41	63	61	63	三级
B	0.007 4	1.00	0.97	0.64	0.95	0.087	0.24	0.33	75	80	76	二级
C	0.006 6	0.95	1.05	0.64	0.95	0.063	0.19	0.25	86	84	86	一级

改造过程中补充低碳行为，以获得更高的低碳等级。权重的比例对污水处理厂低碳运行评价结果影响较大，因此，该比例的确定由标准评审专家集体讨论最终确定。

标准后续可完善的内容包括如下4点。1) 基于现有的IPCC排放因子法的样本数较少，未有针对我国的特定排放因子，各省也未根据本省情况制定温室气体排放因子。从行业的角度，化工行业也尚未对污水处理行业常用的大部分化学试剂排放因子进行确定。2) 基于IPCC排放因子法的计算方法具备较高的可操作性，除了未考虑不同地域、也未考虑不同处理工艺的影响，是污水处理厂未获得实测数据结果的替代方法。3) 污水处理厂的污泥处理处置方式包括外运、填埋、厌氧堆肥、热水解、脱水干化后焚烧、焚烧后作为建筑材料等，污泥处理处置情况不同导致的碳排放情况差异较大，目前也无相关标准可参考，因此，污水处理厂低碳运行评价不包括污泥处理处置的碳排放核算与评价。4) 根据低碳发展的需要，污水处理行业仍需完善一系列低碳标准，如污水处理行业低碳建设、污水处理厂温室气体(N₂O和CH₄)监测的标准和核算方法学、污水处理厂低碳管理标准以及报告要求等。

6 结语

《污水处理厂低碳运行评价技术规范》(T/CAEPI 49—2022)作为我国首部污水处理领域低碳团体标准，对污水处理厂的低碳时代有开创性的意义。低碳运行评价是实现污水处理行业减污降碳的重要途径之一，是推动资源循环利用和低碳发展的重要措施。《污水处理厂低碳运行评价技术规范》(T/CAEPI 49—2022)规定了污水处理厂低碳运行评价的分级及其基本依据。该团体标准的制定、颁布和实施，对规范污水处理厂低碳运行评价工作，指导污水处理厂开展低碳工作，促进资源合理利用具有积极意义。今后需进一步做好该标准的宣贯工作，加强实施和减污降碳的落实推广工作，充分发挥标准的规范和引领作用。

参考文献

- [1] European Environment Agency European Commission, DG Climate Action. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2020 and inventory report 2022 Submission to the UNFCCC Secretariat [EB/OL]. [2022-12-05]. <https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-1>
- [2] U. S. Environmental Protection Agency. Inventory of U. S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2019 [EB/OL]. [2022-10-22]. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2019>
- [3] IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change [EB/OL]. [2022-10-22]. <https://www.ipcc.ch/>
- [4] PARRAVICINI V, SVARDAL K, KRAMPE J. Greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants[J]. *Energy Procedia*, 2016, 97: 246-253.

(责任编辑: 靳炜)

Standard interpretation and case presentation *Technical Specification for Low-Carbon Operation Evaluation of Sewage Treatment Plant*

WANG Hongchen*, CHEN Jiabo, ZHANG Jingbing, JIANG Zhao, LI Qiangang, SHAO Yuting, ZHANG Tongtong, CHEN Huiling

Research Center for Low Carbon Technology of Water Environment, School of Environment & Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

*Corresponding author, E-mail: whc@ruc.edu.cn

Abstract According to the requirement of carbon accounting standardization work, the group standard *Technical Specification for Low-Carbon Operation Evaluation of Sewage Treatment Plant* (T/CAEPI-2022) for the carbon emissions accounting and evaluation of sewage treatment plants was published by the China Association of Environmental Protection Industry for the first time in July 2022. The purpose of the standard was to satisfy the national policy of reducing pollution and carbon and the actual needs of carbon emissions accounting and evaluation in the wastewater treatment field. This standard was the first low-carbon group standard in the field of sewage treatment in China. It stipulated the method of carbon emissions accounting and the evaluation grade of low-carbon operation of sewage treatment plants mainly based on urban sewage treatment plants. The standard can be applied to carbon emissions accounting, low-carbon evaluation, low-carbon design, and low-carbon transformation. From the perspective of a standard setting background, this paper introduced the content, basis, and process of carbon emissions intensity accounting and operation evaluation to provide a reference for peers to understand, implement, and promote the standard.

Keywords sewage treatment plant; low-carbon operation evaluation; carbon emissions accounting; direct carbon emissions; indirect carbon emissions