

团 体 标 准

T/CAEPI 49—2022

污水处理厂低碳运行评价技术规范

Technical specification for low-carbon operation evaluation of sewage treatment
plant

(发布稿)

2022—06—06 发布

2022—07—01 实施

中国环境保护产业协会 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 碳排放强度核算.....	2
5 低碳运行评价.....	7
附录 A（资料性）污水处理厂碳排放强度核算主要系数参考值	16
附录 B（资料性）化学药剂种类及其 CO ₂ 排放因子	17
附录 C（资料性）碳排放强度核算参数数据源	18

CAEPI

前 言

为响应“碳达峰、碳中和”国家战略，规范并指导污水处理厂低碳运行与低碳评价，制定本标准。

本标准规定了污水处理厂碳排放强度核算、低碳运行评价等内容。

本标准首次发布。

本标准由中国环境保护产业协会组织制定。

本标准负责起草单位：中国人民大学、北京城市排水集团有限责任公司。

本标准参与起草单位：北控水务（中国）投资有限公司、深圳市水务（集团）有限公司、上海城投污水处理有限公司、长江生态环保集团有限公司、中持水务股份有限公司、北京碧水源科技股份有限公司、郑州市污水净化有限公司、国投信开水环境投资有限公司、龙江环保集团股份有限公司、中国市政工程西南设计研究总院有限公司、北京市市政工程设计研究总院有限公司、北京工业大学、青岛海泊河水务运营有限公司、浙江宁海水务集团有限公司、中建生态环境集团有限公司、中国环境保护产业协会城镇污水治理分会。

标准主要起草人：王洪臣、张建新、张景炳、陈加波、郑江、刘达克、葛勇涛、刘伟岩、邹启贤、陈广、朱向东、张翼飞、薛涛、谭云飞、侯锋、张福贵、王胤、李振川、张亮、朱四富、薛伟标、江梅、齐鲁、姚大伟、宋文波、李清、冒建华、魏彬、黎洪元、喻正昕、陈春生、庞洪涛、叶鼎、曹效鑫。

标准主要审稿人：彭永臻、姜宏、杨向平、戴晓虎、王凯军、郑兴灿、施汉昌、姚芝茂、李军、李涛、洪丹丹。

本标准由中国环境保护产业协会 2022 年 6 月 6 日批准。

本标准自 2022 年 7 月 1 日起实施。

本标准由中国环境保护产业协会负责管理，由起草单位负责具体技术内容的解释。在应用过程中如有需要修改与补充的建议，请将相关资料寄送至中国环境保护产业协会标准管理部门（北京市西城区扣钟北里甲 4 楼，邮编 100037）。

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

污水处理厂低碳运行评价技术规范

1 范围

本标准规定了污水处理厂低碳运行评价的术语和定义、碳排放强度核算、低碳运行评价。

本标准适用于污水处理厂碳排放强度核算和低碳运行水平评价。

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标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；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/T 2589	综合能耗计算通则
GB 17167	用能单位能源计量器具配备和管理通则
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
CJJ 60	城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程
CJJ/T 228	城镇污水处理厂运营质量评价标准
JJF 1139	计量器具检定周期确定原则和方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

污水处理厂 sewage treatment plant

对市政排水系统收集的污水进行处理的设施。

3.2

低碳运行 low-carbon operation

污水处理厂运行过程中，在达到规定排放或回用标准的前提下，通过精细化管理、优化运行或技术改造以达成降低碳排放的活动。

3.3

直接碳排放强度 direct carbon emission intensity

污水处理厂运行过程中，处理单位体积污水产生的氧化亚氮（ N_2O ）、甲烷（ CH_4 ）和消耗化石燃料产生的二氧化碳（ CO_2 ）碳排放当量之和。

3.4

间接碳排放强度 indirect carbon emission intensity

污水处理厂运行过程中，处理单位体积污水消耗的外购电力、热力和化学药剂对应的碳排放当量之和。

3.5

碳排放强度 carbon emission intensity

直接碳排放强度与间接碳排放强度之和，用于污水处理厂实际碳排放核算。

3.6

直接碳排放修正强度 direct carbon emission correction intensity

对受总氮去除率影响的 N_2O 排放因子进行修正后的直接碳排放强度。

3.7

间接碳排放修正强度 indirect carbon emission correction intensity

对由于处理规模、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间接碳排放强度。

3.8

评价碳排放强度 evaluating carbon emissions intensity

直接碳排放修正强度与间接碳排放修正强度之和，用于污水处理厂低碳运行水平评价。

4 碳排放强度核算

4.1 直接碳排放强度

4.1.1 N_2O 直接碳排放强度

4.1.1.1 N_2O 直接排放量

污水处理过程 N_2O 直接排放主要发生在污水生物处理单元中，直接排放量按公式（1）计算。

$$m_{N_2O,i} = \frac{Q_{rb,i} \times (TN_{rb,i} - TN_{eb,i}) \times EF_{N_2O}}{1000} \times C_{N_2O/N_2} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

- $m_{N_2O,i}$ —— 第 i 天 N_2O 直接排放量, kgN_2O ;
- $Q_{rb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天进水水量, m^3 ;
- $TN_{rb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天平均进水 TN 浓度, mg/L ;
- $TN_{eb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天平均出水 TN 浓度, mg/L ;
- EF_{N_2O} —— N_2O 排放因子, 取值为 $0.016 kgN_2O-N/kgTN$;
- C_{N_2O/N_2} —— N_2O/N_2 分子量之比, 取值为 $44/28$ 。

注: 如预处理或一级处理后没有溢流或跨越, 污水处理厂进水水量即为污水生物处理单元的进水水量; 如无污水生物处理单元的进出水 TN 浓度, 可用污水处理厂进出水 TN 浓度近似代替。

4.1.1.2 N_2O 直接碳排放强度

污水处理过程 N_2O 直接碳排放强度按公式 (2) 计算。

$$E_{N_2O} = \frac{\sum_{i=1}^t (f_{N_2O} \times m_{N_2O,i})}{\sum_{i=1}^t Q_{rb,i}} \dots \dots \dots (2)$$

式中:

- E_{N_2O} —— N_2O 直接碳排放强度, $kgCO_2/m^3$;
- t —— 评价周期内日历年数, d ;
- f_{N_2O} —— N_2O 温室效应指数, 取值为 $265 kgCO_2/kgN_2O$;
- $m_{N_2O,i}$ —— 第 i 天 N_2O 直接排放量, kgN_2O ;
- $Q_{rb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天进水水量, m^3 。

4.1.2 CH_4 直接碳排放强度

4.1.2.1 CH_4 直接排放量

污水处理过程 CH_4 直接排放主要发生在初沉池以及生物处理等单元存在的厌氧过程中, 直接排放量按公式 (3) 计算。

$$m_{CH_4,i} = \left[\frac{Q_{ra,i} \times (COD_{ra,i} - COD_{ea,i})}{1000} - SG_i \times P_{v,i} \times \rho_s \right] \times B_0 \times MCF - R_{CH_4,i} \times 0.717 \dots \dots \dots (3)$$

式中

- $m_{CH_4,i}$ —— 第 i 天 CH_4 直接排放量, $kgCH_4$;
- $Q_{ra,i}$ —— 污水处理厂第 i 天进水水量, m^3 ;
- $COD_{ra,i}$ —— 污水处理厂第 i 天平均进水 COD_{Cr} 浓度, mg/L ;

$COD_{ea,i}$ —— 污水处理厂第 i 天平均出水 COD_{Cr} 浓度, mg/L;

SG_i —— 污水处理厂第 i 天产生的干污泥量, kgDS;

$P_{v,i}$ —— 污水处理厂第 i 天干污泥的有机分, %;

ρ_s —— 污泥中的有机物与 COD_{Cr} 的转化系数, 取值为 1.42 kg COD_{Cr} /kgDS;

B_0 —— 厌氧过程降解单位 COD_{Cr} 时 CH_4 的产率系数, 取值为 0.25 kg CH_4 /kg COD_{Cr} ;

MCF —— 污水处理过程 CH_4 修正因子。当初沉池正常刮泥排泥、厌氧和缺氧区充分混合搅拌、曝气池好氧区曝气均匀时, 各构筑物内无污泥淤积, MCF 取值 0.003; 当存在初沉池刮泥排泥不正常、厌氧或缺氧区搅拌不充分、曝气池好氧区曝气不均匀等状况时, 构筑物内存在污泥淤积, MCF 取值 0.03;

$R_{CH_4,i}$ —— 污水处理厂第 i 天 CH_4 回收体积, m^3 ;

0.717 —— 标准状况 (1 个标准大气压和温度 0 °C) 下 CH_4 的密度, kg CH_4 / m^3 。

注: 干污泥量 DS 计量误差较大, 应加强计量管理, 通过物料衡算等方法核算核实 SG_i 数据, 否则 $m_{CH_4,i}$ 计算结果偏差很大, 甚至会出现负值。

4.1.2.2 CH_4 直接碳排放强度

CH_4 直接碳排放强度按公式 (4) 计算。

$$E_{CH_4} = \frac{\sum_{i=1}^t (f_{CH_4} \times m_{CH_4,i})}{\sum_{i=1}^t Q_{ra,i}} \dots \dots \dots (4)$$

式中:

E_{CH_4} —— CH_4 直接碳排放强度, kg CO_2 / m^3 ;

f_{CH_4} —— CH_4 温室效应指数, 取值为 28 kg CO_2 /kg CH_4 ;

$m_{CH_4,i}$ —— 第 i 天 CH_4 直接排放量, kg CH_4 ;

$Q_{ra,i}$ —— 污水处理厂第 i 天进水水量, m^3 。

4.1.3 CO_2 直接排放强度

4.1.3.1 化石燃料燃烧 CO_2 直接排放量

污水处理厂可能用到的化石燃料包括煤炭、汽油、柴油、煤油、液化石油气、天然气和焦炉煤气等, 主要用于生产环节中锅炉、发电内燃机、运输车辆等设备运转所需的燃烧活动。

化石燃料燃烧 CO_2 直接排放量按公式 (5) 计算。

$$m_{CO_2,i} = \sum_{j=1}^l (f_c \times M_{f,j}) \dots \dots \dots (5)$$

式中:

$m_{CO_2,i}$ —— 第 i 天化石燃料燃烧产生的 CO_2 直接排放量, kg CO_2 ;

- f_c —— 标准煤 CO₂ 排放因子，取值为 2.7725 kgCO₂/kg 标准煤；
- $M_{f,j}$ —— 第 j 种化石燃料使用量，按标准煤计算，kg 标准煤；
- j —— 化石燃料种类代号；
- l —— 化石燃料种类数量。

4.1.3.2 CO₂ 直接排放强度

CO₂ 直接排放强度按公式 (6) 计算。

$$E_{CO_2} = \frac{\sum_{i=1}^t m_{CO_2,i}}{\sum_{i=1}^t Q_{ra,i}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- E_{CO_2} —— CO₂ 直接排放强度，kgCO₂/m³；
- $m_{CO_2,i}$ —— 第 i 天化石燃料燃烧产生的 CO₂ 直接排放量，kgCO₂；
- $Q_{ra,i}$ —— 污水处理厂第 i 天进水量，m³。

4.1.4 直接碳排放强度

直接碳排放强度按公式 (7) 计算。

$$E_d = E_{N_2O} + E_{CH_4} + E_{CO_2} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- E_d —— 直接碳排放强度，kgCO₂/m³；
- E_{N_2O} —— N₂O 直接碳排放强度，kgCO₂/m³；
- E_{CH_4} —— CH₄ 直接碳排放强度，kgCO₂/m³；
- E_{CO_2} —— CO₂ 直接排放强度，kgCO₂/m³。

4.2 间接碳排放强度

4.2.1 能耗碳排放强度

4.2.1.1 电耗碳排放强度

电耗为污水处理厂生产运行过程中的外购电量，不包括办公区和生活区的用电量。

电耗碳排放强度按公式 (8) 计算。

$$E_e = \frac{\sum_{i=1}^t (f_e \times W_i)}{\sum_{i=1}^t Q_{ra,i}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- E_e —— 电耗碳排放强度，kgCO₂/m³；
- f_e —— 电耗碳排放因子，kgCO₂/(kW·h)，取值详见表 A.2；

W_i —— 第 i 天用于生产运行的外购电量, kW·h;

$Q_{ra,i}$ —— 污水处理厂第 i 天进水水量, m^3 。

4.2.1.2 热耗碳排放强度

热耗为污水处理厂生产运行过程中的外购热力, 不包括办公区和生活区的热耗。

热耗碳排放强度按公式 (9) 计算。

$$E_h = \frac{\sum_{i=1}^t (f_c \times M_{h,i})}{\sum_{i=1}^t Q_{ra,i}} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

E_h —— 热耗碳排放强度, $kgCO_2/m^3$;

f_c —— 标准煤 CO_2 排放因子, 取值为 $2.7725 kgCO_2/kg$ 标准煤;

$M_{h,i}$ —— 第 i 天用于污水处理运行的外购热量, 按标准煤计算, kg 标准煤;

$Q_{ra,i}$ —— 污水处理厂第 i 天进水水量, m^3 。

4.2.2 物耗碳排放强度

4.2.2.1 物耗碳排放量

物耗为污水处理厂生产运行过程中消耗的混凝剂、絮凝剂、碳源、消毒剂以及清洗剂等化学药剂。

物耗碳排放量按公式 (10) 计算。

$$M_{c,i} = \sum_{g=1}^m (f_{c,g} \times M_{cg,i}) \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$M_{c,i}$ —— 第 i 天物耗 CO_2 排放当量, $kgCO_2$;

$f_{c,g}$ —— 第 g 种化学药剂的 CO_2 排放因子, 单位为 $kgCO_2/kg$, 主要化学药剂的 CO_2 排放因

子详见表 B.1;

$M_{cg,i}$ —— 第 i 天使用第 g 种化学药剂的质量, kg ;

g —— 化学药剂种类代号;

m —— 化学药剂种类数量。

4.2.2.2 物耗碳排放强度

物耗碳排放强度按公式 (11) 计算。

$$E_c = \frac{\sum_{i=1}^t M_{c,i}}{\sum_{i=1}^t Q_{ra,i}} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

E_c —— 物耗碳排放强度, $kgCO_2/m^3$;

$M_{c,i}$ —— 污水处理厂第 i 天物耗 CO_2 排放当量, kgCO_2 ;

$Q_{ra,i}$ —— 污水处理厂第 i 天进水水量, m^3 。

4.2.3 间接碳排放强度

间接碳排放强度按公式 (12) 计算。

$$E_i = E_e + E_h + E_c \dots \dots \dots (12)$$

式中:

E_i —— 间接碳排放强度, kgCO_2/m^3 ;

E_e —— 电耗碳排放强度, kgCO_2/m^3 ;

E_h —— 热耗碳排放强度, kgCO_2/m^3 ;

E_c —— 物耗碳排放强度, kgCO_2/m^3 。

4.3 碳排放强度

碳排放强度按公式 (13) 计算。

$$E_f = E_d + E_i \dots \dots \dots (13)$$

式中:

E_f —— 碳排放强度, kgCO_2/m^3 ;

E_d —— 直接碳排放强度, kgCO_2/m^3 ;

E_i —— 间接碳排放强度, kgCO_2/m^3 。

5 低碳运行评价

5.1 评价基本条件

5.1.1 在评价周期内 (以年度为一个评价周期, 即每年 1 月 1 日至 12 月 31 日) 连续运行, 达到国家和地方污染物排放 (控制) 标准规定的水、大气、固体废物、噪声等污染排放 (控制) 要求, 无超标情况。

5.1.2 新建、改扩建污水处理厂已完成环保验收, 且正式运行满 1 年。

5.1.3 评价周期内平均水力负荷率大于 50%。

5.1.4 评价周期内入流工业废水日均 COD_{Cr} 负荷与进水总 COD_{Cr} 负荷之比小于 10%。

5.1.5 应按 CJJ 60 要求的指标和频次开展日常化验分析, 记录工艺运行参数, 统计能源及物料消耗量。

5.1.6 应按 GB/T 2589 要求开展能耗计量计算, 能源计量器具配备和管理应符合 GB 17167 的要求, 物料计量器具应按 JJF 1139 要求定期检定。

5.2 低碳运行评价指标体系

低碳运行评价指标体系包括定量评价和定性评价两类。定量评价是以评价碳排放强度为基础的评价，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。低碳运行评价指标体系详见表 1。

表 1 低碳运行评价指标体系

分类	一级指标	二级指标	
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	

5.3 评价碳排放强度

5.3.1 修正系数

5.3.1.1 总氮去除率修正系数

总氮去除率 (η_{TN}) 修正系数用于修正 N_2O 排放因子，用 k_1 表示，不同 η_{TN} 对应的 k_1 详见表 2。

总氮去除率按公式 (14) 计算。

$$\eta_{TN} = \frac{\sum_{i=1}^t (TN_{rb,i} - TN_{eb,i})}{\sum_{i=1}^t TN_{rb,i}} \times 100\% \dots \dots \dots (14)$$

式中：

η_{TN} —— 总氮去除率，%；

t —— 评价周期内日历天数，d；

$TN_{rb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天平均进水 TN 浓度，mg/L；

$TN_{eb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天平均出水 TN 浓度，mg/L。

注：如无污水生物处理单元进出水 TN 浓度，可用污水处理厂进出水 TN 浓度近似代替。

表2 总氮去除率修正系数

总氮去除率 η_{TN} (%)	k_1
$\eta_{TN} < 60$	1.00
$60 \leq \eta_{TN} < 65$	0.9
$65 \leq \eta_{TN} < 70$	0.75
$70 \leq \eta_{TN} < 75$	0.60
$75 \leq \eta_{TN} < 80$	0.45
$80 \leq \eta_{TN} < 85$	0.30
$85 \leq \eta_{TN} < 90$	0.15
$90 \leq \eta_{TN} < 95$	0.05
$\eta_{TN} \geq 95$	0.00

5.3.1.2 处理规模修正系数

处理规模修正系数用于修正电耗碳排放强度，用 k_2 表示。处理规模按评价周期内污水处理厂平均进水水量计，以 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 为基准 ($k_2=1.00$)，不同处理规模对应的 k_2 详见表 3。

表3 处理规模修正系数

处理规模 Q_{da} ($10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)	k_2
$0 < Q_{da} \leq 30$	$k_2 = 0.91 + 0.056 \ln Y_1$ ，其中 $Y_1 = \frac{Q_{da}}{10^4 \text{ m}^3/\text{d}}$
$Q_{da} > 30$	1.10

5.3.1.3 耗氧污染物削减量修正系数

耗氧污染物削减量修正系数用于修正间接碳排放强度，用 k_3 表示，以 250 mg/L 为基准 ($k_3=1.00$)，不同耗氧污染物削减量对应的 k_3 详见表 4。

耗氧污染物以 BOD_5 和 TKN 计（如无实测每日进出水 BOD_5 ，可根据本厂进水和出水 B/C 将 COD_{Cr} 换算成 BOD_5 ；如无实测进水 TKN，则以 TN 近似代替）。

耗氧污染物削减量按公式（15）计算。

$$\Delta X = \frac{\sum_{i=1}^t [Q_{rb,i} \times (BOD_{rb,i} + 3.5 \times TKN_{rb,i}) - Q_{eb,i} \times (BOD_{eb,i} + 3.5 \times NH_3 - N_{eb,i})]}{\sum_{i=1}^t Q_{eb,i}} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- ΔX —— 耗氧污染物削减量， mg/L ；
- t —— 评价周期内日历天数， d ；
- $BOD_{rb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天平均进水 BOD_5 浓度， mg/L ；
- $BOD_{eb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天平均出水 BOD_5 浓度， mg/L ；
- $TKN_{rb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天平均进水 TKN 浓度， mg/L ；

$NH_3-N_{eb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天平均出水 NH_3-N 浓度, mg/L;

$Q_{rb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天进水水量, m^3 ;

$Q_{eb,i}$ —— 污水生物处理单元第 i 天出水水量, m^3 。

注: 如预处理或一级处理后没有溢流或跨越, 污水处理厂进水水量即为污水生物处理单元的进水水量; 如无污水生物处理单元的进出水 BOD_5 浓度, 可用污水处理厂进出水 BOD_5 浓度近似代替; 如无污水生物处理单元进水 TKN 浓度, 可用污水处理厂进水 TN 浓度近似代替。

表 4 耗氧污染物削减量修正系数

耗氧污染物削减量 ΔX (mg/L)	k_3
$0 < \Delta X \leq 500$	$k_3 = 1.875 - 0.0035 Y_2$, 其中 $Y_2 = \frac{\Delta X}{1 \text{ mg/L}}$
$\Delta X > 500$	0.125

5.3.1.4 出水排放标准修正系数

出水排放标准修正系数用于修正间接碳排放强度, 用 k_4 表示。出水排放标准按 COD_{Cr} 浓度限值界定, 以 GB 18918—2002 表 1 中一级 A 限值为基准 ($k_4=1.00$), 不同排放标准对应的 k_4 详见表 5。

表 5 出水排放标准修正系数

出水排放标准等级	规定的 COD_{Cr} 浓度限值 (mg/L)	k_4
低于一级 A	≥ 60	1.18
一级 A	50	1.00
高于一级 A	40	0.82
	≤ 30	0.64

5.3.1.5 臭气控制程度修正系数

臭气控制程度修正系数用于修正电耗碳排放强度, 用 k_5 表示, 以无除臭为基准 ($k_5=1.00$), 不同除臭方式对应的 k_5 详见表 6。

无除臭指未对污水处理厂各工艺单元产生的臭气进行收集处理, 部分除臭指对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, 包括加盖和地下式两种方式。

表 6 臭气控制程度修正系数

除臭方式		k_5
无除臭		1.00
部分除臭		0.95
全部除臭	加盖	0.90
	地下式	0.79

5.3.2 直接碳排放修正强度计算

直接碳排放修正强度按公式（16）计算。

$$E_{dc} = E_{N_2O} \times k_1 + E_{CH_4} + E_{CO_2} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- E_{dc} —— 直接碳排放修正强度， $kgCO_2/m^3$ ；
- E_{N_2O} —— N_2O 直接碳排放强度， $kgCO_2/m^3$ ；
- k_1 —— 总氮去除率修正系数，无量纲；
- E_{CH_4} —— CH_4 直接碳排放强度， $kgCO_2/m^3$ ；
- E_{CO_2} —— CO_2 直接排放强度， $kgCO_2/m^3$ 。

5.3.3 间接碳排放修正强度计算

间接碳排放修正强度按公式（17）计算。

$$E_{ic} = [E_e \times (k_2 \cdot k_5) + E_h + E_c] \cdot k_3 \cdot k_4 \dots\dots\dots (17)$$

式中：

- E_{ic} —— 间接碳排放修正强度， $kgCO_2/m^3$ ；
- E_e —— 电耗碳排放强度， $kgCO_2/m^3$ ；
- E_h —— 热耗碳排放强度， $kgCO_2/m^3$ ；
- E_c —— 物耗碳排放强度， $kgCO_2/m^3$ ；
- k_2 —— 处理规模修正系数，无量纲；
- k_3 —— 耗氧污染物削减量修正系数，无量纲；
- k_4 —— 出水排放标准修正系数，无量纲；
- k_5 —— 臭气控制程度修正系数，无量纲。

5.3.4 评价碳排放强度计算

评价碳排放强度按公式（18）计算。

$$E_p = E_{dc} + E_{ic} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- E_p —— 评价碳排放强度， $kgCO_2/m^3$ ；
- E_{dc} —— 直接碳排放修正强度， $kgCO_2/m^3$ ；
- E_{ic} —— 间接碳排放修正强度， $kgCO_2/m^3$ 。

5.4 低碳行为鼓励

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进行鼓励，引导低碳运行。

低碳行为详见表 7。

表 7 低碳行为

二级指标	三级指标
设施设备低碳改造	除渣除砂设备效率评估与改造
	泵组效率评估与改造
	混合搅拌设备效率评估与改造
	曝气系统效率评估与改造
	污泥脱水系统效率评估与改造
优化运行	用电分区计量与评估
	药剂优选与精准投加
	生物处理系统优化调控
低碳建设	污泥稳定化
	清洁能源回收与利用
监测与核算	温室气体 (CH ₄ 、N ₂ O) 现场监测并形成监测报告
	碳排放核算与低碳运行自评价

5.5 低碳运行评价规则

5.5.1 一般规定

低碳运行评价分数由评价碳排放强度分数和低碳行为鼓励分数两部分组成。其中，评价碳排放强度分数以 F_1 表示，低碳行为鼓励分数以 F_2 表示。

5.5.2 评价碳排放强度分数

根据评价碳排放强度的计算结果，对不同区间的评价碳排放强度进行赋分，详见表 8。

表 8 评价碳排放强度分数

评价碳排放强度 E_p (kgCO ₂ /m ³)	分数 F_1 (分)
$E_p < 0.164$	100
$0.164 \leq E_p < 0.451$	$F_1 = 128.64 - 174.3Y_3$, 其中 $Y_3 = \frac{E_p}{1 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3}$
$E_p \geq 0.451$	50

5.5.3 低碳行为鼓励分数

低碳行为鼓励总分数为 100 分，不同低碳行为的鼓励分数用 S_q 表示，详见表 9。

表 9 低碳行为鼓励分数

三级指标	具体低碳行为	分数 S_q (分)
除渣除砂设备效率评估与改造	除渣除砂设备效率评估	3
	除渣除砂设备改造	7

三级指标	具体低碳行为	分数 S_q (分)	
泵组效率评估与改造	泵组效率评估	2	
	泵组改造	5	
混合搅拌设备效率评估与改造	混合搅拌设备效率评估	1	
	混合搅拌设备改造	3	
曝气系统效率评估与改造	曝气系统效率评估	3	
	曝气系统改造	7	
污泥脱水系统效率评估与改造	污泥脱水系统效率评估	1	
	污泥脱水系统改造	3	
用电分区计量与评估	生产用电和生活用电单独计量	2	
	生产用电分区 计量与评估	预处理单元用电单独计量与评估	1
		一级处理单元用电单独计量与评估	1
		二级处理单元用电单独计量与评估	1
		深度处理单元用电单独计量与评估	1
		除臭系统用电单独计量与评估	1
		污泥处理单元用电单独计量与评估	1
曝气系统用电单独计量	3		
药剂优选与精准投加	通过实验优选化学药剂种类	2	
	优化投加点	1	
	设置精准加药控制系统	2	
生物处理系统优化调控	定期校核并调整 SRT	5	
	定期校核并调整回流比	3	
污泥稳定化	采用厌氧消化或高温好氧发酵实现污泥稳定化	8	
清洁能源回收与利用	沼气回收与利用	6	
	光伏发电	5	
	污水源热泵	5	
温室气体 (CH ₄ 、N ₂ O) 现场监测	开展 CH ₄ 、N ₂ O 现场监测并形成监测报告	5	
碳排放核算与低碳运行评价	按照本标准开展碳排放强度核算并形成年度碳排放核算报告	6	
	按照本标准开展低碳运行自评价并形成年度低碳运行评价报告	6	

低碳行为鼓励分数按公式 (19) 计算。

$$F_2 = \sum_{q=1}^n S_q \dots \dots \dots (19)$$

式中：

F_2 —— 低碳行为鼓励分数；

S_q —— 第 q 种低碳行为鼓励分数；

n —— 低碳行为数量。

5.5.4 低碳运行评价总分数

污水处理厂低碳运行评价总分数（ F ）为评价碳排放强度分数（ F_1 ）和低碳行为鼓励分数（ F_2 ）的加权之和，按公式（20）计算。分数权重详见表 10。

$$F = \lambda_1 \cdot F_1 + \lambda_2 \cdot F_2 \dots \dots \dots (20)$$

式中：

F —— 低碳运行评价总分数；

F_1 —— 评价碳排放强度分数；

F_2 —— 低碳行为鼓励分数；

λ_1 —— 评价碳排放强度权重；

λ_2 —— 低碳行为鼓励权重。

表 10 指标评分权重

指标	权重	权重值
F_1	λ_1	0.8
F_2	λ_2	0.2

5.5.5 评价等级

根据污水处理厂低碳运行评价总分数，评价等级分为一级、二级和三级，详见表 11。

表 11 低碳运行评价等级划分

低碳运行评价总分数 F	评价等级
$85 \leq F \leq 100$	一级
$75 \leq F < 85$	二级
$60 \leq F < 75$	三级

5.6 评价流程

5.6.1 一般规定

污水处理厂低碳运行评价包括资料收集、资料核查、数据核算和等级评定四个步骤，具体评价流程如图 1 所示。

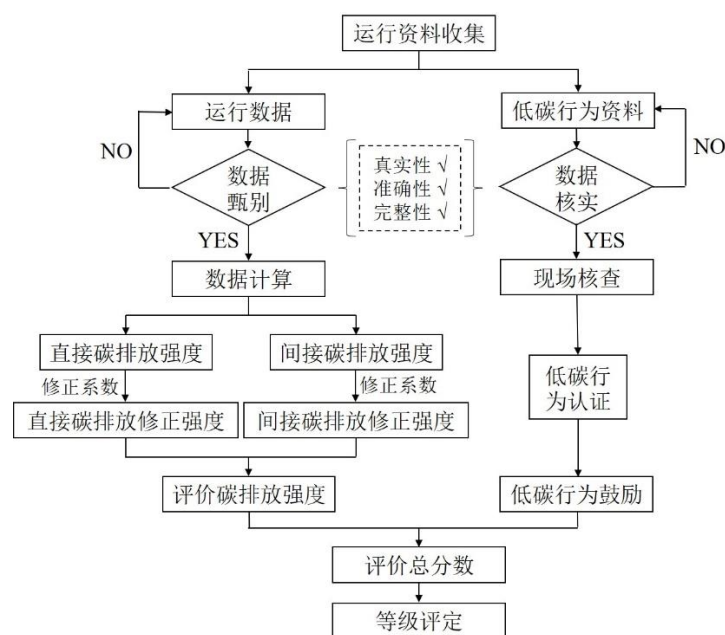


图 1 低碳运行评价流程

5.6.2 资料收集

被评价的污水处理厂应按表 C.1、C.2、C.3 和 C.4 提供评价周期内的运行数据，优先使用实际监测/检测数据，如无，则取估算值。按表 9 提供可证明采取低碳行为的图片、视频、评估改造报告等资料。提供的数据、资料应真实、可靠，有据可查。

5.6.3 资料核查

评价方应对污水处理厂提供的数据从真实性、准确性和完整性方面进行核查，所有数据应符合物料平衡与能流核算的要求，物料平衡偏差不超过 15%，能流核算偏差不超过 5%。若核查后数据符合要求，则表示收集数据基本可信，可进行碳排放强度计算；若不符合，则表示数据存疑，需返回核查数据监测、记录过程，重新收集数据，或中止评价。低碳行为评价过程中，应对提供的低碳行为证明材料进行核查，必要时应进行现场复核。

5.6.4 数据核算

依据本标准第 4 章计算污水处理厂直接碳排放强度、间接碳排放强度和碳排放强度等，依据本标准第 5 章计算直接碳排放修正强度、间接碳排放修正强度和评价碳排放强度，并计算评价碳排放强度分数、低碳行为鼓励分数和低碳运行评价总分数。

5.6.5 等级评定

根据计算所得低碳运行评价总分数，按表 11 对污水处理厂低碳运行水平进行等级评定。

附录 A

(资料性)

污水处理厂碳排放强度核算主要系数参考值

A.1 污水处理厂碳排放强度核算主要系数参考值如表 A.1 所示。当官方或权威机构发布最新系数值时，以最新系数值为准。

表 A.1 污水处理厂碳排放强度核算主要系数参考值

序号	系数名称	符号	系数值	计量单位
1	N ₂ O排放因子	EF_{N_2O}	0.016 ^a	kgN ₂ O-N/kgTN
2	N ₂ O温室效应指数	f_{N_2O}	265 ^a	kgCO ₂ /kgN ₂ O
3	污泥有机物与COD _{Cr} 的转化系数	ρ_S	1.42 ^b	kgCOD _{Cr} /kgDS
4	单位COD _{Cr} 的CH ₄ 产率系数	B_0	0.25 ^a	kgCH ₄ /kgCOD _{Cr}
5	CH ₄ 温室效应指数	f_{CH_4}	28 ^a	kgCO ₂ /kgCH ₄
6	标准煤CO ₂ 排放因子	f_c	2.7725 ^a	kgCO ₂ /kg标准煤

^a 数据取值来源为《IPCC 2006年国家温室气体清单指南2019修订版》；
^b 以活性污泥微生物（C₂H₇O₂N）的COD_{Cr}质量当量近似作为污泥中有机物的COD_{Cr}转化系数。

A.2 电耗碳排放因子如表 A.2 所示。当官方或权威机构发布最新值时，以最新值为准。

表 A.2 电耗碳排放因子

电网名称	省份	f_e [kgCO ₂ / (kW·h)]
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 ^b	0.9419 ^a
东北区域电网	辽宁省、吉林省、黑龙江省、内蒙古自治区 ^c	1.0826 ^a
华东区域电网	上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省	0.7921 ^a
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 ^a
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 ^a
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 ^a

^a 数据取值来源为生态环境部发布的《2019年度减排项目中国区域电网基准线排放因子》；
^b 除赤峰、通辽、呼伦贝尔和兴安盟外的内蒙古地区采用“华北区域电网”碳排放因子；
^c 赤峰、通辽、呼伦贝尔和兴安盟采用“东北区域电网”碳排放因子。

附录 B

(资料性)

化学药剂种类及其 CO₂ 排放因子

B.1 不同种类化学药剂及其 CO₂ 排放因子如表 B.1 所示。

表 B.1 化学药剂种类及其 CO₂ 排放因子

化学药剂	排放因子 f_c (kgCO ₂ /kg)
碱度	1.74 ^a
氢氧化钠 (50% in H ₂ O)	1.12 ^b
甲醇	1.54 ^a
聚合氯化铝 (PAC)	1.62 ^a
硫酸铝	0.50 ^b
聚丙烯酰胺 (PAM)	1.50 ^a
六水三氯化铁	2.71 ^a
石灰	0.68 ^a
其他絮凝剂	2.50 ^a
次氯酸钠 (15% in H ₂ O)	0.92 ^b
液氯	2.00 ^a
臭氧 (液)	8.01 ^b
双氧水 (50% in H ₂ O)	1.14 ^b
其他消毒剂	1.40 ^a
其他药剂	1.60 ^a

^a数据取值来源为 Parravicini V, Svardal K, Krampe J. Greenhouse gas emission from wastewater treatment plants[J]. Energy Procedia, 2016, 97(2): 246-253;

^b数据取值来源为 <https://winnipeg.ca/>。

B.2 未在表 B.1 中列出但实际消耗的其他化学药剂品种, 污水处理厂应自行添加, 并按照相关行业确定其 CO₂ 排放因子。

B.3 未公布碳排放因子的化学药剂, 宜按表 B.1 中“其他药剂”选择排放因子, 为 1.60 kgCO₂/kg。

附录 C

(资料性)

碳排放强度核算参数数据源

碳排放强度核算参数数据源记录方式如表 C.1、C.2、C.3 和 C.4 所示。

表 C.1 污水处理厂进出水水量水质检测记录台账

日期	日均水量 (m ³ /d)		日均水质浓度 (mg/L)													
	进水量	出水量	进水水质						出水水质							
			COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TKN	TN	TP	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP	

表 C.2 污水生物处理单元进出水水量水质检测记录台账

日期	日均水量 (m ³ /d)		日均水质浓度 (mg/L)													
	进水量	出水量	进水水质						出水水质							
			COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TKN	TN	TP	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP	

表 C.3 污水处理厂污泥产生及处理记录台账

日期	日均干污泥产生量 (kg/d)	污泥有机分 (%)	日均污泥处理量 (kg/d)	日均污泥外运量 (kg/d)	日均 CH ₄ 回收体积 (m ³ /d)

表 C.4 污水处理厂能耗物耗记录台账

日期	每日用于生产的外购总耗电量 [(kW·h)/d]	各工艺单元及其每日耗电量 [(kW·h)/d]	每日热力热能消耗量 (折合为标准煤量) (kg/d)	每日化石燃料种类及其使用量 (使用量折合为标准煤量) (kg/d)	每日化学药剂种类及其使用量 (kg/d)