

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

DB 4401

广 州 市 地 方 标 准

DB 4401/T XXXX—XXXX

城镇污水处理厂碳排放核算与低碳运行技术指南

Carbon emission accounting and low-carbon operation technical guide for
urban sewage treatment plants

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

广州市市场监督管理局 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 污水处理厂碳排放量的核算边界和排放源确定	2
4.1 污水处理厂碳排放量的核算边界	2
4.2 污水处理厂的碳排放来源	3
4.3 污水处理厂的碳减排来源	3
5 碳排放量核算	3
5.1 直接碳排放量核算	3
5.2 间接碳排放量核算	7
5.3 碳排放总量	111
6 碳减排量核算	11
6.1 智慧运行管理碳减排量	12
6.2 生化工艺段强化脱氮碳减排量	12
6.3 光伏发电碳减排量	12
6.4 污水源热泵碳减排量	12
6.5 污泥厌氧消化沼气利用碳减排量	12
6.6 中水回用碳减排量	13
6.7 绿化碳减排量	13
6.8 水质提升碳减排量	13
6.9 碳减排总量	14
7 污水处理厂低碳运行水平评估	14
7.1 排放强度	14
7.2 碳减排量和减排强度	16
7.3 污水处理厂低碳运行水平	16
8 污水处理厂生产数据的收集和核算要求	17
8.1 一般规定	17
8.2 生产数据的收集范围	17
8.3 生产数据核算要求	17
9 低碳运行措施	18
9.1 进水系统	错误！未定义书签。
9.2 生化处理系统	错误！未定义书签。
9.3 鼓风曝气系统	错误！未定义书签。
9.4 药剂投加系统	错误！未定义书签。
9.5 照明系统	错误！未定义书签。

9.6 用电分区计量 错误！未定义书签。

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专利的责任。

本文件由广州市水务局提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

城镇污水处理厂碳排放核算与低碳运行技术指南

1 范围

本文件规定了污水处理厂碳排放量的核算边界和排放源确定、碳排放量核算、碳减排量核算、污水处理厂低碳运行水平评估、污水处理厂生产数据的收集和核算要求、低碳运行措施等内容。

本文件适用于指导城镇污水处理厂（包括新建、改建、扩建及已建项目）的碳排放核算、低碳运行评估与管理工作，以及政府管理部门和第三方核查机构对城镇污水处理厂的碳排放监测与核查工作。

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/T 2589 综合能耗计算通则
- GB/T 13234 用能单位节能量计算方法
- 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
- GB/T 33760 基于项目的温室气体减排量评估技术规范通用要求
- 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
- CJ/T 221 城市污泥处理厂污泥检验方法
- JJF 1139 计量器具检定周期确定原则和方法
- T/CAEPI 49-2022 污水处理厂低碳运行评价技术规范
- IPCC 2006年国家温室气体清单标准（2019年修订版）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

污水处理厂 municipal wastewater treatment plant
对进入城市污水收集系统的污水进行净化处理的设施。

3.2

温室气体 greenhouse gas

大气层中自然存在的和人为产生的，吸收并放射出由地球表面、大气层和云层中产生发出红外辐射光谱中特定波长的辐射的气态成分。

3.3

全球增温潜势 global warming potential

在一定时期（通常为100年）内，排放到大气中的1千克温室气体的辐射强迫与1千克二氧化碳的辐射强迫的比值。

3.4

直接碳排放量 direct carbon emission

污水处理厂运行过程中产生的氧化亚氮(N₂O)、甲烷(CH₄)和消耗化石燃料产生的二氧化碳(CO₂)碳排放当量。

3.5

间接碳排放量 indirect carbon emission

污水处理厂运行过程中消耗的外购电力、热力、化学药剂和水对应的二氧化碳(CO₂)碳排放当量。

3.6

碳减排量 carbon emission reduction

污水处理厂内自产电能、自产热能、剩余甲烷(CH₄)回收、中水回用、绿化固碳和出水水质提升对应的二氧化碳(CO₂)碳减排当量。

3.7

碳排放强度 carbon emission intensity

污水处理厂运行过程中产生的直接和间接碳排放量总和与削减污染物总量的比值。

3.8

碳减排强度 carbon emission reduction intensity

污水处理厂内光伏发电和绿化固碳对应的碳减排量总和与削减污染物重量的比值。

3.9

评价碳排放强度 evaluating carbon emissions intensity

对由于处理规模、出水排放标准、工艺设置、污泥出厂含水率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。

3.10

节碳 carbon saving

通过优化或革新现有工艺技术，降低能源消耗或降低直接碳排放量，以实现减排目的。

3.11

替碳 carbon substitution

通过清洁能源代替化石燃料实现减排。

3.12

碳汇 carbon sink

通过植树造林等方式吸收固定大气中的温室气体，以完成对所排放温室气体的抵消。

4 污水处理厂碳排放量的核算边界和排放源确定

4.1 污水处理厂碳排放量的核算边界

4.1.1 污水处理厂碳排放量的核算边界一般为污水处理厂生产区域内的污水处理工艺设施，以及与污水处理工艺设施配套运行的照明设施、通风除臭设施和污泥处理处置设施等。

4.1.2 污水处理工艺设施为处理进厂污水所直接涉及的全部工艺设施，主要包括厂内污水提升泵房、格栅间、沉砂池、生化反应池、鼓风机房、泵房、配药加药设施、沉淀池、膜池、深度处理设施以及出水消毒设施等。

- 4.1.3 照明设施主要包括污水处理厂生产区域内的室内照明设施和室外照明设施。
- 4.1.4 通风除臭设施主要包括在污水处理厂泵站、预处理区、生化处理区、沉淀池、膜池、深度处理区、污泥处理处置区等分区设置的送、排风设备，臭气收集设备，以及在污水处理厂内设置的臭气集中处理设施设备。
- 4.1.5 污泥处理处置设施主要包括污水处理厂生产区域内的污泥传输设备、污泥浓缩设备、污泥机械脱水设备、污泥堆肥设备、污泥厌氧消化设备、污泥好氧消化设备、污泥干化与焚烧设备等。

4.2 污水处理厂的碳排放来源

- 4.2.1 污水处理厂的碳排放主要包括由污水生化处理产生的 N_2O 和 CH_4 气体和燃料燃烧产生的 CO_2 气体构成的直接碳排放和由电能、热能和物料等消耗构成的间接碳排放。
- 4.2.2 污水处理厂的 N_2O 直接碳排放主要统计污水中含氮污染物去除过程中产生的 N_2O 排放对应的碳排放当量。
- 4.2.3 污水处理厂的 CH_4 直接碳排放主要统计污水中有机污染物降解过程中产生的 CH_4 排放和污泥处理处置过程中产生的 CH_4 排放对应的碳排放当量。
- 4.2.4 污水处理厂的 CO_2 直接碳排放主要统计污水处理厂生产区域内由化石燃料燃烧所产生的 CO_2 排放量。
- 4.2.5 污水处理厂的电耗间接碳排放主要统计计算污水处理厂生产区域内的全部用电量对应的碳排放当量。
- 4.2.6 污水处理厂的热耗间接碳排放主要统计计算污水处理厂生产区域内全部供热量对应的碳排放当量。
- 4.2.7 污水处理厂的物耗间接碳排放主要统计计算污水处理厂生产区域内的全部药剂、外购生产用水等消耗对应的碳排放当量。

4.3 污水处理厂的碳减排来源

- 4.3.1 污水处理厂的碳减排主要统计污水处理厂厂域内自行生产或回收的电能、热能和燃料等能源，以及中水回用、厂区绿化等其他绿色低碳设施、措施的等效碳减排量。
- 4.3.2 自产电能一般包括厂区内配套建设的光伏、风能等新能源发电设备，污泥热电联产发电设备等产生的电能。
- 4.3.3 自产热能一般包括厂区内配套建设的污水源热泵设备、污泥热电联产供热设备所产生的热能。
- 4.3.4 自产燃料一般包括厂区内配套建设的污泥厌氧消化设备所产生的 CH_4 燃料。
- 4.3.5 中水回用一般是指污水处理厂将部分或全部处理出水进一步处理达到特定使用标准后，用作厂内设施、设备和道路等的冲洗用水，以及药剂配制，植被灌溉等的杂用水，从而替代的自来水使用量。

5 碳排放量核算

5.1 直接碳排放量核算

5.1.1 CO_2 直接碳排放量

污水处理厂 CO_2 直接碳排放主要来自化石燃料燃烧，生产运行中厂内因污泥干化、物料运输或备用发电等活动消耗的化石燃料（包括污泥厌氧消化热电联产作为燃料的 CH_4 ），产生的燃料 CO_2 直接碳排放量按照公式（1）计算。

$$m_{D,CO_2,F} = \sum_{i=1}^t \sum_{k=1}^n (M_{F,k,i} \times \eta_{F,k} \times EF_{F,k}) \times 10^{-3} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- $m_{D,CO_2,F}$ —— 核算周期内 CO₂直接碳排放量，t CO₂；
- $M_{F,k,i}$ —— 第 i 天第 k 种化石燃料消耗量，kg；
- $\eta_{F,k}$ —— 第 k 种化石燃料燃烧完全时碳氧化率，%，取值详见表 1；
- $EF_{F,k}$ —— 第 k 种化石燃料完全燃烧时碳排放因子，kg CO₂/kg，取值详见表 1。

表 1 化石燃料完全燃烧碳排放因子及碳氧化率

燃料	化石燃料完全燃烧碳排放因子		碳氧化率 (%)
	kg CO ₂ /GJ	kg CO ₂ /kg (固、液态燃料) / kg CO ₂ /m ³ (气态燃料)	
无烟煤	98.08	1.97	97.3
一般烟煤	93.11	1.86	97.0
褐煤	98.56	2.06	96
洗精煤	89.41	2.45	96
其他洗煤	89.41	0.78	96
煤制品	110.88	1.17	90
焦炭	100.25	2.85	93
焦炉煤气	49.37	0.00089	99
其他煤气	44.29	0.00017	99
原油	72.23	3.02	98
燃料油	75.82	3.17	98
汽油	67.91	2.92	98
柴油	72.59	3.10	98
喷漆煤油	70.07	3.03	98
一般煤油	70.43	3.03	98
液化石油气	61.81	3.10	98
炼厂干气	65.40	3.04	98
石脑油	71.87	3.26	98
石油焦	98.82	4.14	98
其他油品	71.87	3.26	98
天然气	55.54	0.0022	99

注：化石燃料碳排放因子（完全燃烧时）和碳氧化率综合《中国温室气体清单研究》《省级温室气体清单指南（试行）》《中国能源统计年鉴 2011》《万家企业能源利用状况》《建筑碳排放计算标准 GB T51366-2019》和《城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南》取值。

5.1.2 CH₄直接碳排放量

5.1.2.1 污水生化处理工艺 CH₄直接碳排放量

污水生化处理工艺中存在的厌氧环境会导致 CH₄产生，CH₄直接碳排放量按照公式（2）计算。

$$m_{D,CH_4,W,eq} = \sum_{i=1}^t \left\{ M_{P,CH_4,i} + Q_{W,Inf,i} \times (BOD_{5,Inf,i} + BOD_{5,Ext,i}) \times EF_{CH_4} \right\} \times G_{CH_4} \times 10^{-6} \dots \dots \dots (2)$$

式中：

$m_{D,CH_4,W,eq}$ —— 核算周期内污水生化处理 CH_4 直接碳排放量，t CO_2 ；

$M_{P,CH_4,i}$ —— 第 i 天提升泵与格栅间 CH_4 实测逸散量，建议通过实测确定，如不具备实测条件，则按照生化反应过程排放量的 20% 计算，g CH_4 ；

$Q_{W,Inf,i}$ —— 第 i 天进水量， m^3 ；

$BOD_{5,Inf,i}$ —— 第 i 天进水 BOD_5 ，如无进水 BOD_5 数据，则按照 COD 的 0.4 倍计算，mg/L；

$BOD_{5,Ext,i}$ —— 第 i 天外加碳源 BOD_5 当量，mg/L；

EF_{CH_4} —— CH_4 排放系数，kg CH_4 /kg BOD_5 ，不同工艺取值见表 2；

G_{CH_4} —— CH_4 全球增温潜势，取 28 kg CO_2 -eq/kg CH_4 。

表 2 不同污水处理工艺 CH_4 排放系数

污水处理工艺	CH_4 排放系数 (kg CH_4 /kg BOD_5)
A ² /O	0.0142
A/O	0.0083
氧化沟	0.0096
SBR	0.0100
曝气池	0.0152

注：不同污水处理工艺 N_2O 排放系数参考《城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南》

5.1.2.2 污泥堆肥处理 CH_4 直接碳排放量

污泥堆肥处理过程中会生成少量 CH_4 直接逸散到大气中，产生的碳排放量按照公式 (3) 计算。

$$m_{D,CH_4,SC,eq} = \sum_{i=1}^t M_{SC,i} \times EF_{SC} \times G_{CH_4} \times 10^{-6} \dots \dots \dots (3)$$

式中：

$m_{D,CH_4,SC,eq}$ —— 核算周期内污泥堆肥处理 CH_4 直接碳排放量，t CO_2 ；

$M_{SC,i}$ —— 第 i 天厂界内堆肥处理污泥干重，kg；

EF_{SC} —— 污泥堆肥 CH_4 排放因子，取 10 g CH_4 /kg 干污泥；

G_{CH_4} —— CH_4 全球增温潜势，取 28 kg CO_2 -eq/kg CH_4 。

5.1.2.3 CH_4 直接碳排放总量

CH_4 直接碳排放总量按照公式 (4) 计算。

$$m_{D,CH_4,eq} = m_{D,CH_4,W,eq} + m_{D,CH_4,SC,eq} \dots \dots \dots (4)$$

式中：

$m_{D,CH_4,eq}$ —— 核算周期内 CH_4 直接碳排放总量，t CO_2 ；

$m_{D,CH_4,W,eq}$ —— 核算周期内污水生化处理 CH_4 直接碳排放量，t CO_2 ；

$m_{D,CH_4,SC,eq}$ —— 核算周期内污泥堆肥处理 CH_4 直接碳排放总量，t CO_2 。

5.1.3 N_2O 直接碳排放量

5.1.3.1 污水生化处理 N_2O 直接碳排放量

污水生化处理工艺缺氧阶段、好氧阶段脱氮过程会产生 N_2O ，对应的直接碳排放量按照公式 (5) 计

算。

$$m_{D,N_2O,W,eq} = \sum_{i=1}^t \frac{Q_{W,Inf,i} \times TN_{Inf,i} \times EF_{N_2O,Base} \times k_{Rem,i}}{\omega_{N/N_2O}} \times G_{N_2O} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- $m_{D,N_2O,W,eq}$ —— 核算周期内污水生化处理 N₂O 直接碳排放量，t CO₂；
 - $Q_{W,Inf,i}$ —— 第 i 天进水量，m³；
 - $TN_{Inf,i}$ —— 污水处理厂第 i 天进水 TN 浓度，mg/L；
 - $EF_{N_2O,Base}$ —— N₂O 基础排放系数，取 0.016 kg N₂O-N/kg TN；
 - k_{Rem} —— 核算周期内污水处理厂 TN 去除率修正系数，不同 TN 去除率 ($TN_{Rem,i}$) 对应的 $k_{Rem,i}$ 见表 3；
 - ω_{N/N_2O} —— N₂O 中 N 质量分数，取 28/44；
 - G_{N_2O} —— N₂O 全球增温潜势，取 265 kg CO₂/kg N₂O。
- TN 去除率 ($TN_{Rem,i}$) 按照公式 (6) 计算。

$$TN_{Rem} = \frac{\sum_{i=1}^t [Q_{W,Inf,i} \times (TN_{Inf,i} - TN_{Eff,i})]}{\sum_{i=1}^t (Q_{W,Inf,i} \times TN_{Inf,i})} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- TN_{Rem} —— 核算周期内污水处理厂 TN 去除率，%；
- $Q_{W,Inf,i}$ —— 第 i 天进水量，m³；
- $TN_{Inf,i}$ —— 污水处理厂第 i 天进水 TN 浓度，mg/L；
- $TN_{Eff,i}$ —— 污水处理厂第 i 天出水 TN 浓度，mg/L。

表 3 TN 去除率修正系数

TN_{Rem} (%)	k_{Rem}
<60	1.00
$60 \leq TN_{Rem,i} < 65$	0.90
$65 \leq TN_{Rem,i} < 70$	0.75
$70 \leq TN_{Rem,i} < 75$	0.60
$75 \leq TN_{Rem,i} < 80$	0.45
$80 \leq TN_{Rem,i} < 85$	0.30
$85 \leq TN_{Rem,i} < 90$	0.15
$90 \leq TN_{Rem,i} < 95$	0.05
$TN_{Rem,i} \geq 95$	0.00

注：TN去除率修正系数参考《污水处理厂低碳运行评价技术规范》

5.1.3.2 污泥焚烧 N₂O 直接碳排放量

污泥焚烧处置过程会产生 N₂O，对应的直接碳排放量按照公式 (7) 计算。

$$m_{D,N_2O,S,eq} = \sum_{i=1}^t (M_{SS,I,i} \times EF_{N_2O,SI}) \times G_{N_2O} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $m_{D,N_2O,S,eq}$ —— 核算周期内污泥焚烧 N₂O 直接碳排放量，t CO₂；
- $M_{SS,I,i}$ —— 第 i 天焚烧处置污泥干重，t；
- $EF_{N_2O,SI}$ —— 污泥焚烧 N₂O 排放系数，取 0.99 kg N₂O/t 干污泥；

G_{N_2O} —— N_2O 全球增温潜势，取 265 kg CO_2 /kg N_2O 。

5.1.3.3 N_2O 直接碳排放总量

N_2O 直接碳排放总量按照公式 (8) 计算。

$$m_{D,N_2O,eq} = m_{D,N_2O,W,eq} + m_{D,N_2O,SI,eq} + \dots \quad (8)$$

式中：

$m_{D,N_2O,eq}$ —— 核算周期内 N_2O 直接碳排放总量，t CO_2 ；

$m_{D,N_2O,W,eq}$ —— 核算周期内污水生化处理 N_2O 直接碳排放量，t CO_2 ；

$m_{D,N_2O,SI,eq}$ —— 核算周期内污泥焚烧 N_2O 直接碳排放量，t CO_2 。

5.1.4 直接碳排放总量

直接碳排放总量按照公式 (9) 计算。

$$m_D = m_{D,CO_2} + m_{D,CH_4,eq} + m_{D,N_2O,eq} + \dots \quad (9)$$

式中：

m_D —— 直接碳排放总量，t CO_2 ；

m_{D,CO_2} —— 核算周期内 CO_2 直接碳排放总量，t CO_2 ；

$m_{D,CH_4,eq}$ —— 核算周期内 CH_4 直接碳排放总量，t CO_2 ；

$m_{D,N_2O,eq}$ —— 核算周期内 N_2O 直接碳排放量，t CO_2 。

5.2 间接碳排放量核算

5.2.1 外购电能消耗间接碳排放量

污水处理厂生产运行过程中（不包括生活用电）消耗大量外购电量，产生的外购电能消耗间接碳排放量按照公式 (10) 计算。

$$m_{I,E,Ext} = \sum_{i=1}^t W_{Ext,i} \times EF_{E,Ext} \times 10^{-3} \dots \quad (10)$$

式中：

$m_{I,E,Ext}$ —— 核算周期内外购电能消耗间接碳排放量，t CO_2 ；

$W_{Ext,i}$ —— 第 i 天用于生产运行的外购电能消耗量，kW·h；

$EF_{E,Ext}$ —— 外购电能消耗碳排放因子，kg CO_2 /(kW·h)，取值 0.045 kg CO_2 /(kW·h)。

5.2.2 外购热能消耗间接碳排放量

污水处理厂生产运行过程中（不包括生活用热）可能消耗外购热量，产生的外购热能消耗间接碳排放量按照公式 (11) 计算。

$$m_{I,H,Ext} = \sum_{i=1}^t H_{Ext,i} \times EF_{H,CE} \times 10^{-3} \dots \quad (11)$$

式中：

$m_{I,H,Ext}$ —— 核算周期内外购热能消耗间接碳排放量，t CO_2 ；

$H_{Ext,i}$ —— 第 i 天用于生产运行的外购热能消耗量，按标准煤计算，kg 标准煤；

$EF_{H,CE}$ —— 标准煤碳排放因子，取 2.7725 kg CO_2 /kg 标准煤。

5.2.3 物料消耗间接碳排放量

5.2.3.1 药剂消耗间接碳排放量

污水处理厂生产运行过程中消耗碳源、混凝剂、絮凝剂、消毒剂等化学药剂，药剂消耗间接碳排放量按照公式（12）计算。

$$m_{I,C} = \sum_{i=1}^t \sum_{k=1}^n (M_{C,k,i} \times EF_{C,k}) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- $m_{I,C}$ —— 核算周期内药剂消耗间接碳排放量，t CO₂；
- $M_{C,k,i}$ —— 第 i 天第 k 种药剂消耗量，kg；
- $EF_{C,k}$ —— 第 k 种药剂碳排放因子，kg CO₂/kg，取值详见表 4。

表 4 化学药剂碳排放因子

药剂		排放因子 (kg CO ₂ /kg)
类别	名称	
碳源	乙酸	0.852 ^[1]
	乙酸钠	0.623 ^[1]
	葡萄糖（白色粉末，含量≥99%）	1.40 ^[2]
	甲醇	0.66 ^[3]
		0.462 ^[4]
		0.375 ^[5]
		0.985 ^[1]
	淀粉（平均淀粉含量 83%）	0.63 ^[2]
面粉（平均淀粉含量 72%）	1.00 ^[2]	
混凝剂/絮凝剂	聚合氯化铝	0.6 ^[3]
		0.455 ^[4]
		0.537 ^[6]
	硫酸铝	0.16 ^[1]
	氯化铁	0.18 ^[3]
		0.395 ^[4]
		0.077 ^[6]
		0.395 ^[7]
	氯化亚铁	0.22 ^[2]
	硫酸铁（按 Fe ³⁺ 质量计）	0.23 ^[7]

表4 化学药剂碳排放因子（续）

药剂		排放因子 (kg CO ₂ /kg)
类别	名称	
	硫酸亚铁	0.029 ^[7]
		0.038 ^[1]
	聚丙烯酰胺	1.48 ^[1]
	微砂	0.12 ^[2]
	磁铁	0.0081 ^[2]
中和剂	硫酸	0.14 ^[3]
		0.182 ^[1]
	盐酸	1.20 ^[3]
	柠檬酸（工业级一水柠檬酸结晶）	8.17 ^[2]
	氢氧化钠（50% in H ₂ O）	1.12 ^[3]
	氢氧化钙（固体粉末）	1.11 ^[2]
	碳酸钠	0.59 ^[3]
		1.84 ^[4]
		0.415 ^[5]
	碳酸氢钠（工业用白色结晶粉末，NaHCO ₃ 含量≥99.0%）	1.17 ^[8]
	磷酸氢二铵	0.018 ^[1]
	生石灰	0.3 ^[4]
1.26 ^[6]		
1.74 ^[1]		
消毒剂	液氯	1.08 ^[3]
		0.78 ^[6]
	次氯酸钠	0.92 ^[3]
		1.065 ^[7]
	二氧化氯（白色结晶，含量≥99%）	9.31 ^[2]
	氯酸钠（固体，氯酸钠含量≥99%）	5.11 ^[2]
	臭氧	8.01 ^[3]
		14.7 ^[1]
双氧水（50% in H ₂ O）	1.14 ^[3]	

表 4 化学药剂碳排放因子（续）

药剂		排放因子 (kg CO ₂ /kg)
类别	名称	
其他药剂	氧气	0.41 ^[3]
		0.226 ^[6]
	高锰酸钾	1.73 ^[2]
	活性炭粉末	7.96 ^[2]

5.2.3.2 生产用外购水消耗间接碳排放量

污水处理厂生产运行过程中消耗外购水用于设施、设备、道路等冲洗、药剂配制、植被灌溉等（不包括生活用水），生产用外购水消耗间接碳排放量，按照公式（13）计算。

$$m_{l,TW} = \sum_{i=1}^t Q_{TW,i} \times EF_{TW} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$m_{l,TW}$ —— 核算周期内生产用外购水消耗间接碳排放量，t CO₂；

$Q_{TW,i}$ —— 第 i 天用于生产运行的外购水消耗量，m³；

EF_{TW} —— 外购水消耗碳排放因子，kg CO₂/m³外购水，按照最新中国统计年鉴中水的生产和供应业年度能源消费量和供水用水情况计算，取值 1.013 kg CO₂/m³外购水。

5.2.3.3 大型组件更新间接碳排放量

污水处理厂生产运行过程中按需更新 MBR 膜等大型组件，更新大型组件产生的间接碳排放量按照公式（14）计算。

$$m_{l,U,Rep} = \sum_{k=1}^n (M_{U,k} \times EF_{U,k}) \times \frac{t}{T} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$m_{l,U,Rep}$ —— 核算周期内大型组件更新间接碳排放量，t CO₂；

$M_{U,k}$ —— 污水厂污水处理厂段第 k 类大型组件更新的质量或面积，kg 或 m²；

$EF_{U,k}$ —— 第 k 类组件碳排放因子，kg/kg 或 kg/m²，部分大组件的排放因子参考表 4；

t —— 核算周期内组件使用时间，d；

T —— 组件使用折旧年限，d。

表 5 部分大型组件碳排放因子

类别	材质	碳排放因子
MBR 膜组件	聚氯乙烯 (PVC)	3.19 (kg/kg)
	聚四氟乙烯 (PTFE)	11.4 (kg/kg)
反渗透膜	醋酸纤维素 (CTA)	1.29 (kg/m ²)
	复合薄膜 (TFC)	0.686 (kg/m ²)

注：参考《城镇污水处理厂碳减排评估标准》(T/CUWA 50055-2023)

5.2.3.4 物料消耗间接碳排放总量

物料消耗间接碳排放总量按照公式 (15) 计算。

$$m_{I,M} = m_{I,C} + m_{I,TW} + m_{I,U,Rep} \dots \dots \dots (15)$$

式中：

$m_{I,M}$ ——核算周期内物料消耗间接碳排放总量，t CO₂；

$m_{I,C}$ ——药剂消耗间接碳排放量，t CO₂；

$m_{I,TW}$ ——外购水消耗间接碳排放量，t CO₂。

$m_{I,U,Rep}$ ——大型组件更换间接碳排放量，t CO₂。

5.2.4 间接碳排放总量

间接碳排放总量按照公式 (16) 计算。

$$m_I = m_{I,E,Ext} + m_{I,H,Ext} + m_{I,M} \dots \dots \dots (16)$$

式中：

m_I ——核算周期内间接碳排放总量，t CO₂；

$m_{I,E,Ext}$ ——核算周期内外购电能消耗间接碳排放量，t CO₂；

$m_{I,H,Ext}$ ——核算周期内外购热能消耗间接碳排放量，t CO₂；

$m_{I,M}$ ——核算周期内物料消耗间接碳排放总量，t CO₂。

5.3 碳排放总量

碳排放总量按照公式 (17) 计算。

$$m_{Total} = m_D + m_I \dots \dots \dots (17)$$

式中：

m_{Total} ——核算周期内碳排放总量，t CO₂；

m_D ——核算周期内直接碳排放总量，t CO₂；

m_I ——核算周期内间接碳排放总量，t CO₂。

6 碳减排量核算

6.1 智慧运行管理碳减排量

智慧运行管理可以降低污水处理厂运行电耗和药耗，以上碳减排量按照公式（18）计算。

$$R_{SOM} = EF_{E,Ext} \times \sum_{i=1}^t W_{R,i} \times 10^{-3} + \sum_{i=1}^t \sum_{k=1}^n (EF_{C,k} \times M_{R,k,i}) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- R_{SOM} —— 智慧运行管理碳减排量，t CO₂；
- $EF_{E,Ext}$ —— 外购电能消耗碳排放因子，kg CO₂/(kW·h)，取值详见表；
- $W_{R,i}$ —— 第 i 天节省的电量，kW·h；
- $EF_{C,k}$ —— 第 k 种药剂碳排放因子，kg CO₂/kg，取值详见表；
- $M_{R,k,i}$ —— 第 i 天第 k 种药剂的节省量，kg。

6.2 生化工艺段强化脱氮碳减排量

生化工艺段强化脱氮能降低外加碳源的使用量，并且脱氮效率的提升能减少生化过程的 N₂O 直接排放（不包括强化内碳源反硝化脱氮和短程硝化反硝化类型的工艺），以上碳减排量按照公式（19）计算。

$$R_{BNR} = \sum_{i=1}^t \sum_{k=1}^n (EF_{C,k} \times M_{CR,k,i}) \times 10^{-3} + m_{D,N_2O,B} - m_{D,N_2O,A} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

- R_{BNR} —— 生化工艺段强化脱氮碳减排量，t CO₂；
- $EF_{C,k}$ —— 第 k 种药剂碳排放因子，kg CO₂/kg，取值详见表；
- $M_{CR,k,i}$ —— 第 i 天第 k 种碳源药剂的节省量，kg；
- $m_{D,N_2O,B}$ —— 强化脱氮前污水生化处理 N₂O 直接碳排放量，t CO₂；
- $m_{D,N_2O,A}$ —— 强化脱氮后污水生化处理 N₂O 直接碳排放量，t CO₂。

6.3 光伏发电碳减排量

光伏发电碳减排量按照公式（20）计算。

$$R_{E,Int,PV} = EF_{E,Ext} \times \sum_{i=1}^t W_{Int,PV,i} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

- $R_{E,Int,PV}$ —— 自产光伏电能碳减排量，t CO₂；
- $EF_{E,Ext}$ —— 外购电能消耗碳排放因子，kg CO₂/(kW·h)，取值详见表；
- $W_{Int,PV,i}$ —— 第 i 天自产光伏电量，kW·h。

6.4 污水源热泵碳减排量

污水处理厂应用热泵技术回收利用污水热能的碳减排量按照公式（21）计算。

$$R_{H,Int,WW} = EF_{H,CE} \times \sum_{i=1}^t H_{Int,WW,i} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

- $R_{H,Int,WW}$ —— 自产污水源热能碳减排量，t CO₂；
- $EF_{H,CE}$ —— 标准煤碳排放因子，取 2.7725 kgCO₂/kg 标准煤；
- $H_{Int,WW,i}$ —— 第 i 天自产污水源热量，按标准煤计算，kg 标准煤。

6.5 污泥厌氧消化沼气利用碳减排量

污泥厌氧消化产生的沼气可用于供热和发电，利用的碳减排量按照公式（22）计算。

$$R_{CH_4} = EF_{E,Ext} \times \sum_{i=1}^t W_{Int,BG,i} \times 10^{-3} + EF_{H,CE} \times \sum_{i=1}^t H_{Int,BG,i} \times 10^{-3} + EF_{CH_4} \times \sum_{i=1}^t V_{CH_4,i} \times 10^{-3} \quad (22)$$

式中：

R_{CH_4} —— 沼气利用碳减排总量，t CO₂；

$EF_{E,Ext}$ —— 外购电能消耗碳排放因子，kg CO₂/(kW·h)，取值详见表；

$W_{Int,BG,i}$ —— 第 i 天沼气利用的发电量，kW·h；

$EF_{H,CE}$ —— 标准煤碳排放因子，取 2.7725 kgCO₂/kg 标准煤；

$H_{Int,BG,i}$ —— 第 i 天沼气利用产热量，按标准煤计算，kg 标准煤；

$V_{CH_4,i}$ —— 第 i 天沼气提纯并网量，m³ CH₄；

EF_{CH_4} —— 天然气的 CO₂当量排放因子，取 0.0022 kg CO₂-eq/m³ CH₄。

6.6 中水回用碳减排量

污水处理厂的部分中水可以替代自来水用于厂内和厂外作业，这部分中水回用碳减排量按照公式（23）计算。

$$R_{RW} = \sum_{i=1}^t Q_{RW,i} \times EF_{TW} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中：

R_{RW} —— 中水回用碳减排量，t CO₂；

$Q_{RW,i}$ —— 第 i 天中水回用量，m³；

EF_{TW} —— 生产、供应单位体积自来水碳排放量，取 0.20515 kg CO₂/m³ 自来水。

6.7 绿化碳减排量

污水处理厂内绿化碳减排量按照公式（24）计算。

$$R_G = A_G \times CS_G \times t \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中：

R_G —— 绿化碳减排量，t CO₂；

A_G —— 污水处理厂厂界内绿化面积，m²；

CS_G —— 绿色植被固碳因子，取 0.00534 kg/m²/d；

t —— 污水处理厂碳排放核算天数，d。

6.8 水质提升碳减排量

污水处理厂出水水质越好，出水污染物在受纳水体中产生的碳排放量就越低，污水处理厂出水水质高于出水标准规定而使受纳水体减少的碳排放量按照公式（25）计算。

$$R_{WQI} = \sum_{i=1}^t Q_{W,Eff,i} \times \left[\begin{aligned} & (COD_{Std,i} - COD_{Eff,i}) \times EF_{CH_4,SW} \times G_{CH_4} \\ & + (TN_{Std,i} - TN_{Eff,i}) \times EF_{N_2O,SW} \times G_{N_2O} \end{aligned} \right] \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中：

R_{WQI} —— 水质提升碳减排，t CO₂；

$Q_{W,Eff,i}$ —— 第 i 天出水量，m³；

$COD_{Std,i}$ —— 出水标准规定 COD，mg/L；

$COD_{Eff,i}$ ——第 i 天出水 COD, mg/L;

$EF_{CH_4, SW}$ ——出水接纳水体 CH_4 排放系数。接纳水体为水库、湖泊、河口等水流缓慢的水体时, 取 0.048 kg CH_4 /kg COD; 接纳水体为水流较快的水体时, 取 0.009 kg CH_4 /kg COD;

G_{CH_4} —— CH_4 全球增温潜势, 取 28 kg CO_2 -eq/kg CH_4 ;

$TN_{Std,i}$ ——出水标准规定 TN, mg/L;

$TN_{Eff,i}$ ——第 i 天出水 TN, mg/L;

$EF_{N_2O, SW}$ ——出水接纳水体 N_2O 排放系数。接纳水体为富氧状态的水体时, 取 0.005 kg N_2O -N/kg TN; 接纳水体为富营养状态和/或低氧状态的水体时, 取 0.019 kg N_2O -N/kg TN;

G_{N_2O} —— N_2O 全球增温潜势, 取 265 kg N_2O -N/kg TN。

6.9 碳减排总量

碳减排总量按照公式 (26) 计算。

$$R_{Total} = R_{SOM} + R_{BNR} + R_{E,Int,PV} + R_{H,Int,WW} + R_{CH_4} + R_{RW} + R_G + R_{WQI} \dots \dots \dots (26)$$

式中:

R_{Total} ——碳减排总量, t CO_2 ;

R_{SOM} ——智慧运行管理碳减排量, t CO_2 ;

R_{BNR} ——生化工艺段强化脱氮碳减排量, t CO_2 ;

$R_{E,Int,PV}$ ——自产光伏电能碳减排量, t CO_2 ;

$R_{H,Int,WW}$ ——自产污水源热能碳减排量, t CO_2 ;

R_{CH_4} ——沼气利用碳减排量, t CO_2 ;

R_{RW} ——中水回用碳减排量, t CO_2 ;

R_G ——绿化碳减排量, t CO_2 ;

R_{WQI} ——水质提升碳减排, t CO_2 。

7 污水处理厂低碳运行水平评估

7.1 排放强度

7.1.1 排放强度分类

排放强度分为吨水碳排放强度和污染物削减排放强度, 即分别核算处理单位水量和削减单位污染物对应的排放量。根据核算评估的目标范围不同, 排放强度分为碳排放强度和净碳排放强度。

7.1.2 碳排放强度

碳排放强度对应排放量的核算评估范围是污水处理厂全流程所有类型的排放总量。按公式 (27) 和 (28) 计算污水处理厂界内的碳排放强度。

$$E_{m,water} = \frac{M_{Total} \times 1000}{Q} \dots \dots \dots (27)$$

式中:

$E_{m,water}$ ——处理单元水量的碳排放强度, kg CO_2 /m³;

M_{Total} ——核算周期内的碳排放总量, t CO_2 ;

Q ——核算周期内的处理污水水量, m³。

$$E_{m,pollute} = \frac{M_{Total} \times 1000}{Q \times [(COD_{in} - COD_{out}) + (NH_{3,in} - NH_{3,out}) \times 3.5]} \dots\dots\dots (28)$$

式中:

$E_{m,pollute}$ —— 削减单位污染物的碳排放强度, kg CO₂/ kg;

M_{Total} —— 核算周期内的碳排放总量, t CO₂;

Q —— 核算周期内的处理污水水量, m³。

COD_{in} —— 核算周期内进水COD的平均浓度, mg/L;

COD_{out} —— 核算周期内出水COD的平均浓度, mg/L;

$NH_{3,in}$ —— 核算周期内进水NH₃的平均浓度, mg/L;

$NH_{3,out}$ —— 核算周期内出水NH₃的平均浓度, mg/L。

7.1.3 净碳排放强度

7.1.3.1 污水处理厂运行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碳排放和碳减排量。污水处理厂运行过程中净碳排放量按照公式(29)计算。

$$MR_{net} = M_{Total} - (R_{CH_4,eq} + R_G + R_{WQI}) \dots\dots\dots (29)$$

式中:

MR_{net} —— 污水处理厂运行过程中的净碳排放量, t CO₂;

M_{Total} —— 核算周期内的碳排放总量, t CO₂;

$R_{CH_4,eq}$ —— CH₄回收碳减排量, t CO₂;

R_G —— 绿化碳减排量, t CO₂;

R_{WQI} —— 水质提升碳减排量, t CO₂;

7.1.3.2 净碳排放强度分为吨水排放强度和污染物削减排放强度, 按式(30)和(31)计算污水处理厂界内的净碳排放强度。

$$E_{net,water} = \frac{MR_{net} \times 1000}{Q} \dots\dots\dots (30)$$

式中:

$E_{net,water}$ —— 处理单元水量的净碳排放强度, kg CO₂/m³;

MR_{net} —— 核算周期内的净碳排放总量, t CO₂;

Q —— 核算周期内的处理污水水量, m³。

$$E_{net,pollute} = \frac{MR_{net} \times 1000}{Q \times [(COD_{in} - COD_{out}) + (NH_{3,in} - NH_{3,out}) \times 3.5]} \dots\dots\dots (31)$$

式中:

$E_{net,pollute}$ —— 削减单位污染物碳排放强度, kg CO₂/ kg;

MR_{net} —— 核算周期内的净碳排放总量, t CO₂;

Q —— 核算周期内的处理污水水量, m³。

COD_{in} —— 核算周期内进水COD的平均浓度, mg/L;

COD_{out} —— 核算周期内出水COD的平均浓度, mg/L;

$NH_{3,in}$ —— 核算周期内进水NH₃的平均浓度, mg/L;

$NH_{3,out}$ ——核算周期内出水 NH_3 的平均浓度，mg/L。

7.2 碳减排量和减排强度

7.2.1 碳减排量

根据碳减排原理和机制，将碳减排技术分为节碳、替碳和碳汇三类，年度碳减排量是评估年度内节碳和替碳措施达到的碳减排量，按照6.9公式（26）核算。

7.2.2 碳减排强度

减排强度分为吨水减排强度和污染物削减减排强度，分别按式（32）和（33）计算污水处理厂界内的净碳排放强度。

$$E_{R,water} = \frac{R_{total} \times 1000}{Q} \dots\dots\dots (32)$$

式中：

- $E_{R,water}$ ——单位水量的碳减排强度，kg CO_2/m^3 ；
- R_{total} ——核算周期内的碳减排总量，t CO_2 ；
- Q ——核算周期内的处理污水水量， m^3 。

$$E_{R,pollute} = \frac{R_{total}}{Q \times [(COD_{in} - COD_{out}) + (NH_{3,in} - NH_{3,out}) \times 3.5]} \dots\dots\dots (33)$$

式中：

- $E_{R,pollute}$ ——削减单位污染物的碳减排强度，kg CO_2/kg ；
- R_{total} ——核算周期内的碳减排总量，t CO_2 ；
- Q ——核算周期内的处理污水水量， m^3 。
- COD_{in} ——核算周期内进水COD的平均浓度，mg/L；
- COD_{out} ——核算周期内出水COD的平均浓度，mg/L；
- $NH_{3,in}$ ——核算周期内进水 NH_3 的平均浓度，mg/L；
- $NH_{3,out}$ ——核算周期内出水 NH_3 的平均浓度，mg/L。

7.3 污水处理厂低碳运行水平

根据核算的污水处理厂碳排放强度评估目标污水处理厂相对于行业同类平均水平的差异，按照公式（34）计算：

$$E_g = E_{m,water} - E_{av} \dots\dots\dots (34)$$

式中：

- E_g ——评估污水处理厂运维过程中相对于行业同类平均水平的碳排放强度差，kg CO_2/m^3 ；
- $E_{m,water}$ ——处理单元水量的净碳排放强度，kg CO_2/m^3 ；
- E_{av} ——行业同类平均水平运维过程碳排放强度，kg CO_2/m^3 ；见表6。

表 6 污水处理厂运维过程行业同类平均水平的碳排放强度

工艺形式		处理规模 (万 m ³ /d)		排放强度 (kg CO ₂ /m ³)	
		平均	范围	平均	范围
A ² O	地上	9.98	0.13-55.00	0.39	0.22-0.80
	地下	12.60	3.00-30.00	0.43	0.34-0.58
MBR	地上	5.33	1.00-13.00	0.70	0.38-1.21
	地下	9.70	5.00-16.00	0.54	0.45-0.76
SBR 类	地上	4.67	1.00-10.00	0.45	0.30-0.56
	地下	2.38	1.00-3.00	0.67	0.53-0.99
氧化沟		4.80	1.00-15.00	0.32	0.23-0.42

8 污水处理厂生产数据的收集和核算要求

8.1 一般规定

8.1.1 污水处理厂（站）宜以自然年为评价周期，在评价周期内应连续运行，并且达到国家、地方的相关污染物排放标准要求，无超标情况。

8.1.2 开展碳排放评价的新建、改扩建污水处理厂（站）应已完成试运行，并正式运行满 1 年。

8.2 生产数据的收集范围

8.2.1 污水处理厂提供的生产数据应包含以下内容：

- 污水处理厂基本情况介绍，内容包括：污水处理厂全称、建设地点、处理规模、工艺流程、主要工艺技术参数、执行的排放标准、运行时间、验收情况等；
- 污水处理厂实施的碳减排措施介绍，内容包括：采取的技术改造措施、工艺优化措施、更换低效率生产设备情况、能源生产（回收）情况、中水回用情况、厂区绿化面积等，及证明其实际碳减排效果的设备效率评估报告、技术改造报告、运行评价报告等；
- 污水处理厂每日进、出水的水量、水质数据，具体包括：每日进、出水流量，每日进、出水的 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N、KTN (TN) 和 TP 浓度值；
- 污水处理厂的每日剩余污泥产生量和处理处置量，具体包括：每日污泥产生量（湿重）及其含水率；干污泥的有机物含量（%）和污泥有机物降解率；
- 污水处理厂的每日电力、热能和物料消耗量，具体包括：生产区域内化石燃料种类及消耗量，总用电量（或各工艺单元分区用电量），热能消耗量，药剂种类及消耗量，以及外购自来水消耗量。

8.3 生产数据核算要求

8.3.1 碳排放核算单位应对污水处理厂提供的生产数据进行甄别，宜随机抽取 10% 的运行数据，从数

据准确性、完整性和合理性三个方面进行分析、验证，判断数据的可靠性。若数据基本符合实际运行规律，则表示数据可信，可用于碳排放核算；若不符合，则表示数据存疑，应由污水处理厂重新提供数据。

8.3.2 污水处理厂应参照生产数据的收集范围优先提供实验室检测数据，如无，则提供在线监测数据。

8.3.3 污水处理厂应参照 CJJ 60 要求的指标和频次开展日常化验分析，并记录工艺运行参数、能量及物料消耗量。

8.3.4 污水处理厂应参照 GB 17167 要求开展能源计量，参照 JJF 1139 要求开展物料计量器的定期检定。

9 低碳运行措施

9.1 城镇污水处理厂应开展碳排放核算工作，摸清碳排放家底，掌握碳排放变化规律，助力污水处理厂低碳运行。

9.2 城镇污水处理厂应开展单位污水耗电量、单位耗氧污染物耗电量、单位干污泥耗药量、单位总氮削减碳源消耗量、单位总磷削减除磷药剂消耗量、再生水利用率、厂区能源自给率等指标分析与评估，掌握污水处理厂运行状况，加强相关改造，优化工艺运行，提高处理效率，助力污水处理厂低碳运营生产。

9.3 宜加强高效脱氮除磷等低碳工艺应用，减少工艺运行过程中的能耗、物耗以及氧化亚氮等温室气体的排放，在保证水质水量的同时，提升生物脱氮除磷效率及挖潜原水碳源利用率。

9.4 以精细化管理为导向，开展工艺全流程分析与评估，掌握全流程各工艺单元能耗、药耗及运行状况等关键指标，通过调控污泥浓度、回流比、曝气量等关键参数，建立全流程运行优化控制策略，充分发挥处理效能。

9.5 宜定期评估主要用电设备效能，对污水处理过程中的提升泵、除渣砂设备、鼓风机、MBR 系统设备、通风除臭设备、污泥干化设备等主要设备进行监控及运行效率定期评估，对高功率用能设备进行逐台监控，优化设备运行，实现设备系统化管理。

9.6 结合水质、水量高负荷与低负荷运行实际情况，优化负荷匹配，实施风机、水泵大小搭配，满足设备高效工况运行要求，避免“大马拉小车”。

9.7 应优选高效节能的电机、风机、水泵及照明设备，以替代老旧、低效的能源消耗设备。

9.8 根据地下式污水处理厂不同区域臭味特征污染源控制标准、运行工况等实际情况，通风除臭系统宜实施分时分区运行管控，降低运行能耗。

9.9 宜优化除磷剂、碳源、消毒剂和混凝剂的使用，通过调控药剂配比、药剂种类、投加位置、投加量等措施，降低药耗，推广新型绿色药剂使用。

9.10 推进智慧水务系统建设，逐步建立精准曝气、智能投加、回流控制、工艺智能决策系统等，开展污水处理全过程智能控制、智慧决策与优化，实现少人干预、节能降耗及工艺低碳优化运行。

9.11 优选高效、节能的污泥脱水干化技术，以降低处理过程中的能源和物料消耗。

9.12 优化中水循环利用途径，以需定供、分质利用、就近利用，推广中水应用于厂内绿化灌溉、污泥干化冷却、药剂配置等，因地制宜推进中水用于工业生产、市政杂用、生态补水、绿化景观等。

9.13 宜在保证厂区建筑安全和功能不受影响的前提下，利用污水厂屋顶、处理设施和开阔构筑物等闲置空间，合理布局光伏等再生能源发电设施。

9.14 宜利用污水厂尾水低水头、流量大、出水稳定、蕴含富余水能的特点，结合厂区出水渠箱位置、出水流速等条件，开展小水头发电、低水头发电。

9.15 推广污水源热泵技术，因地制宜对厂内及周边区域供暖供冷，适时布局新型储能设施。